

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.01.011

单轨交通综合运营调度系统建设 方案研究

刘涛, 杨超, 陈光

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 针对数据管控和综合智能运维的需要, 对中心、车站、车辆段/停车场系统设备从架构上进行整合设计, 对各子系统进行集成或接口互联, 在统一的平台上对各专业系统设备进行监视和控制。通过分析, 采用综合运营调度的单轨系统可大大提高系统集成化程度, 精简作业岗位, 有效降低建设和运维成本。综合运营调度系统可实现各专业资源互通共享, 在发生突发事件或设备故障时, 能在统一的综合平台内为用户提供完整丰富的信息支持, 通过智能联动等自动控制技术手段, 可显著提高运营效率。综合运营调度系统方案符合单轨交通系统一体化、集成化、简约化的发展方向, 将是未来我国单轨交通运营控制系统的发展趋势。

关键词: 单轨交通; 综合运营调度系统; 深度集成; 建设方案

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2025)01-0083-07

Construction Scheme of an Integrated Operations and Dispatching System for Monorail Transit

LIU Tao, YANG Chao, CHEN Guang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063)

Abstract: Monorail transportation systems currently face challenges such as relatively independent specialties, numerous workstation terminals, high usage, and elevated management and maintenance costs. Additionally, data interconnectivity between subsystems is lacking, making coordination and command difficult in the event of faults or accidents. This paper presents a comprehensive analysis and research on these issues, focusing on data control, subsystem business implementation, and operation and maintenance requirements. The paper elaborates on an architecture scheme for a deeply integrated monorail comprehensive operation and dispatch system based on a unified software/hardware platform and human-machine interface across various professional subsystems. It explores the application of this scheme in different scenarios, including upgrading existing lines, constructing new lines, and achieving network-level integration. The proposed system addresses the needs of data control and comprehensive intelligent operation and maintenance by integrating the architecture of center, station, and depot/parking lot system equipment, as well as integrating or interfacing various subsystems. This allows for monitoring and control of various professional system equipment on a unified platform. The analysis demonstrates that adopting a single track system with comprehensive operation scheduling significantly enhances system integration, simplifies job positions, and effectively reduces construction and operation costs. The comprehensive operation and dispatch system enables the interconnection and sharing of various professional resources, providing users with complete and rich information support within a unified platform

收稿日期: 2024-01-24 修回日期: 2024-09-18

第一作者: 刘涛, 男, 本科, 正高级工程师, 从事轨道交通通信信号系统设计和研究工作, xhliutao@qq.com

基金项目: 中国铁建股份有限公司科研项目(2023-B13)

引用格式: 刘涛, 杨超, 陈光. 单轨交通综合运营调度系统建设方案研究[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(1): 83-89.

LIU Tao, YANG Chao, CHEN Guang. Construction scheme of an integrated operations and dispatching system for monorail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(1): 83-89.

during emergencies or equipment failures. Through intelligent linkage and other automatic control technologies, operational efficiency can be considerably improved. The integrated operation and dispatch system solution aligns with the development direction of integrated, simplified, and streamlined monorail transportation systems. It is expected to be the future trend for China's monorail transportation operation and control systems.

Keywords: monorail transit; comprehensive operation and dispatching system; deep integration; construction scheme

1 研究背景

随着我国城市化进程的加快,日渐拥堵的市内交通对乘客出行造成较大影响。轨道交通因其环保、便捷、舒适的特点,正逐步改变着市民的出行方式。2022年7月,住房和城乡建设部与国家发展改革委联合发布的《“十四五”全国城市基础设施建设规划》^[1]中提出:“十四五”期间,I型大城市应结合实际推进轨道交通主骨架网络建设,并研究利用中低运量轨道交通系统适度加强网络覆盖,尽快形成网络化运营效益;符合条件的II型大城市结合城市交通需求,因地制宜推动中低运量轨道交通系统规划建设。同时,随着我国城市规模的逐年增长,越来越多的中小型城市或大城市郊区对城市轨道交通的需求愈发迫切。而在城市轨道交通整体规划中,中低运量轨道交通可作为大运量轨道交通网络的有效补充。由于我国各主要城市中心大运量轨道交通网络已基本建设成型,可以预见未来对于连接城市边缘至中心城区的中低运量轨道交通的建设将会得到大力发展。单轨交通作为中低运量城市轨道交通^[2],由于其建设周期短、修建成本相对较低、专有路权、速度快、噪声小、转弯半径小、爬坡能力强、具有一定观光功能等特点,近年来在越来越多的中小型城市或大城市的景观线路中扮演着举足轻重的角色。截至2023年年底,我国已有重庆、芜湖、武汉等多个城市相继开通单轨运营线路^[3]。未来,单轨交通将会是我国多制式、立体化城市公共交通体系中的重要组成部分,具有较好的应用发展前景。

随着计算机技术和网络通信技术的发展,大运量的地铁全自动运行系统中已开始出现各专业子系统采用统一的软/硬件平台和人机界面的深度融合综合运营调度系统。与地铁相比,目前单轨交通在弱电系统的集成化、信息化、智能化技术研究领域还有诸多空白,近几年也主要还是在智能运维等方面有一些研究成果^[4]。单轨交通子系统数量较多,但车站规模小、业务功能相对简单。因此,开展针对单轨交通的综合运营调度系统建设方案研究,符合单轨交通系统一体化、集成化、简约化的发展方向。本文将基于实际应用需求,从数据管控需要、各类业务实现需求、运维

的综合需要等方面开展分析研究。

2 需求分析

2.1 数据管控需求

目前传统的单轨交通控制系统大多仍采用各子系统设备分立建设的多岛监控方式。各子系统设置独立服务器设备或调度终端,设备数量多、界面风格不统一、管理维护困难。当出现故障或事故时,各系统专业之间不易实现联动,协调、指挥难度大,且各子系统无法使用统一的用户权限管理功能,大大增加了用户的管理、维护成本^[5]。

用户对单轨交通综合运营调度系统的需求包括采用分层分布式体系架构,依托骨干通信网络,将列车自动监控系统(ATS)、环境与机电设备监控系统(BAS)、电力监控系统(PSCADA)、火灾报警系统(FAS)、视频监控(CCTV)、广播系统(PA)、乘客信息系统(PIS)、门禁系统(ACS)、自动售检票系统(AFC)等各子系统纳入统一的系统平台^[6],需能提供统一的设备状态监视、控制和告警管理,实现以协同运营调度为核心的综合管理系统;能有效解决原有调度中心各专业分别设置终端、占用场地面积大、设备数量多、界面风格不统一、维护困难等问题。

单轨交通综合运营调度系统旨在提高系统集成化程度,能对各车站、变电所,正线区间及车场等设备相关信息进行监视,可推动相关领域调度中心的革新^[7]。系统通过减少设备重复配置、降低运营人员工作强度、提高生产效率、减员增效,可实现全生命周期内的降本增效,带来较大的社会经济效益。

根据目前单轨交通各子系统配置情况,可选用的集成方案主要有2个。

方案1:各子系统维持原有系统架构,建设一套界面集成、接口互联的综合运营调度管理系统。

该方案的优点是不改变既有各子系统架构,仅需统一接口协议,减少各专业自行配置的工作站终端,将各专业工作站HMI统一集成至系统平台提供的HMI上进行显示和操作,实现运营统一管理,增强系统间联动,提高应急响应速度。

该方案存在的问题包括联动功能数据流过于烦

琐；需新增应用服务器、数据库服务器、数据存储等设备，相对于单轨交通而言，系统造价偏高；虽然优化了调度人员，但是各子系统设备维护人员和工作量并未能减少。

方案 2：各子系统采用软、硬件深度集成。

其优点在于打破了传统专业壁垒，各子系统采用统一的硬件平台、软件平台、人机界面，相较于方案 1，联动功能数据流更为简洁，响应更为迅速。该方案还可实现设备集中设置、节省建设成本(减少用房使用面积)和运营成本(减少用电量、优化调度和运维人员配置)。

该方案比方案 1 优点更为突出，也与单轨交通集约化的发展趋势相匹配。既能优化建设成本，又能解决运营目前存在的中心调度人员冗余、设备冗余、运营成本高的困扰，同时还能提高单轨交通自动化水平，将是本文重点研究的技术方向。

2.2 各类业务实现需求

单轨交通的各监视和控制子系统都具有各自的业务特点，以下针对各子系统的各类业务实现需求进行深度分析研究，以确定针对各子系统最合适的集成方案。

1) 列车自动监控系统(ATS)。综合运营调度管理系统包含信号系统的列车自动监控系统功能，需通过骨干网与信号系统连接，完成信号系统的监视和控制功能。ATS 需与其他各专业子系统实现数据共享，实现火灾、供电系统异常等场景下的运行调整、行车告警等功能。因此，单轨综合运营调度管理系统需保留信号系统实时服务器、历史服务器、交换机、工作站等设备，以实现了对全线区域(含正线、车辆段/停车场等)列车运行的管理和监视功能，完成包括信号设备和列车运行状态显示、列车监视和追踪、列车运行调整、进路控制、运行图/时刻表、故障报警、运营记录与统计、综合联动等功能。

2) 电力监控系统(PSCADA)。单轨交通中 PSCADA 系统需能实现对全线供电设备及相关系统的监视与控制，包括数据采集、处理、控制操作、报警管理、显示和屏蔽、根据 ATS 的运营时间规划共享数据实现供电联动控制等功能，指挥供电设施的检修调度及事故情况下的抢修调度工作。系统平台软、硬件采用深度集成 PSCADA 系统方案，取消中心级设备，将交换机、实时服务器、历史服务器、工作站等均纳入综合运营调度管理系统进行深度集成范围。PSCADA 变电所信

息通过通信传输网络，直接与综合运营调度管理系统内的 PSCADA 模块进行信息交互。

3) 视频监视系统(CCTV)。传统视频监视系统在中心主要包含交换机、视频服务器、存储服务器、为各调度席位提供的操作员终端工作站、网管终端等设备，并与通信集中告警接口，实现 CCTV 故障信息的统一管理。根据 CCTV 系统控制功能的实现方式，综合运营调度管理系统与 CCTV 可采用系统互联、界面集成的接口方式实现对 CCTV 控制功能和视频解码(SDK 解码)功能，CCTV 中心系统增加与综合运营调度管理系统接口，其他系统结构均可保持不变。

此外，综合运营调度管理系统也可深度集成 CCTV 中心级交换机、服务器、存储及终端硬件、软件。综合运营调度管理系统与通信传输系统接口，实现故障、灾害等联动模式下的 CCTV 画面自动推送、站级 CCTV 视频流的上传，并根据 CCTV 需求提供相应解码器，实现与大屏系统接口。CCTV 系统也可不再设置中心级设备。

本文针对单轨交通正线车站规模小、CCTV 终端少等特点，从节省投资考虑，拟采用系统平台软、硬件深度集成 CCTV 系统方案。

4) 乘客信息系统(PIS)。传统 PIS 系统在中心主要包含交换机、服务器、存储、终端工作站等设备。此次综合运营调度管理系统拟深度集成 PIS 中心级交换机、服务器、存储，及终端硬件、软件。系统与通信传输系统接口，实现与 PIS 站级信息交互。PIS 系统不再设置中心级设备，并可根据联动场景要求，自动触发乘客信息发布功能。

5) 广播系统(PA)。传统 PA 系统在中心主要包含广播控制设备、各调度台播音控制盒(含话筒)、信源设备、状态显示装置、数字录音装置等设备。由于 PA 系统下发信息主要为文本信息，存储需求低，且基本未配置中心服务器设备，仅通过数字广播主机即可实现中心级广播控制功能。此次综合运营调度管理系统拟与 PA 系统采用系统互联、界面集成的方案，实现与 PA 的联动功能。

6) 火灾自动报警系统(FAS)。需能监视全线各站、段场、控制中心、变电所的火灾报警信息和火灾报警系统设备运行状态。当发生火灾时，能自动推送火灾所在区域的平面布置图，显示火灾报警点并启动声光报警信号，能记录火灾报警和相关设备故障信息。可采用深度集成方案实现中央监控功能，综合运营

调度管理系统可通过骨干网将各站点 FAS 集成起来，完成 FAS 中央监控功能。FAS 系统可不再设置中央级设备。

7) 环境与设备监控系统(BAS)和门禁系统(ACS)。BAS、ACS 可纳入综合运营调度平台深度集成，实现 BAS、ACS 中央监控功能。BAS 系统不再设置中央级设备，ACS 保留门禁授权服务器，并与综合运营调度平台接口。

8) 自动售检票系统(AFC)。AFC 系统在中心设置清分中心，主要用于票务交易数据的分析和处理，与运营调度关联性不高，用户通常更倾向于清分中心单独设置。因此，此次方案按综合运营调度管理系统与 AFC 系统互联的接口方式，接收 AFC 系统的客流信息

和设备状态信息，实现系统设备综合运维管理。

9) 时钟系统(CLK)。CLK 为运维工作人员、乘客和各相关系统提供统一的标准时间信号。可对各专业子系统集成共享，确保各专业子系统时钟保持一致，方便突发事件应急处置评估分析。

对于单轨交通项目，传统专业各子系统的功能需求相较于地铁等高运能项目有一定的弱化，这也为传统专业各子系统对中央级设备进行融合提供了条件。基于上述分析，在表 1 中阐述了综合运营调度系统对各类业务子系统的集成策略。各子系统中央级设备融合后，可有效减少、优化中央级服务器数量，更利于各子系统间的协同联动，更适用于中低运能城市轨道交通项目。

表 1 综合运营调度系统对各类业务子系统的集成策略

Table 1 Integrated strategy for various business subsystems in the comprehensive operations and dispatching system

系统名称	界面集成	软硬件集成	集成对原系统架构影响	备注
信号系统	√	√	以中央 ATS 为核心构建综合运营管理系统，信号系统通过传输系统接入，车载通过无线接入	
PSCADA 系统	√	√	取消中央级设备，变电所通过传输系统接入	
CCTV 系统	√	√	取消中央级设备，站级设备通过传输接入系统	综合运营调度系统根据 CCTV 专业需求，提供解码器设备
PIS 系统	√	√	取消中央级设备，站级设备通过传输系统接入	
PA 系统	√		无影响	接口协议满足 PA 系统需求
FAS 系统	√	√	取消中央级设备，站级设备通过传输系统接入	
BAS 系统	√	√	取消中央级设备，站级设备通过传输系统接入	
ACS 系统	√	√	取消中央级设备，站级设备通过传输系统接入 门禁授权服务设备保留，并与综合运营调度系统接口	
AFC 系统	√		无影响	接口协议满足 AFC 系统需求
CLK 系统			无影响	

2.3 综合运维需求

综合运营调度系统在深度集成或互联接入各子系统的基础上，需能为用户提供统一的智能运维综合平台，对各子系统设施设备运行状态、健康数据、维修计划等提供数据层面的信息共享，以便于综合性业务分析，为各类调度决策提供坚实基础，从而实现单轨交通系统的运维工作流程、设备及维护岗位进行优化，提高运维效率和故障应急处理能力。

3 系统方案

在对单轨交通综合运营调度管理系统需求分析、功能定位的研究基础上，结合单轨交通实际特点，可遵循对各类系统资源进行融合、减少系统配置、实现各类系统资源的动态管理，避免各个系统资源单独建设引发整体运营成本增长。

3.1 系统架构

系统平台将以信号系统中心子系统为核心，深度集成 PSCADA、CCTV、PIS、FAS、BAS 等系统设备，界面集成 PA、AFC 等系统设备，建立一个统一的综合运营调度系统平台，使各系统的信息形成一个紧密结合的整体，并能提供统一的设备维护、状态监测和报警管理平台，系统架构方案如图 1 所示。

单轨交通综合运营调度系统在中心机房配置 2 组共 4 台冗余的实时应用服务器，完成实时数据采集和应用处理工作。其中，考虑到信号、PSCADA 业务对实时性、安全型、可靠性要求较高，采用第 1 组 2 台冗余的实时服务器部署 ATS、PSCADA 实时应用，第 2 组冗余的实时服务器部署其他 PA、PIS、CCTV、BAS、ACS、AFC、FAS 等应用。每个实时服务器通过冗余的 1 000 Mbps 以太网接口与中心以太网交换机连接。

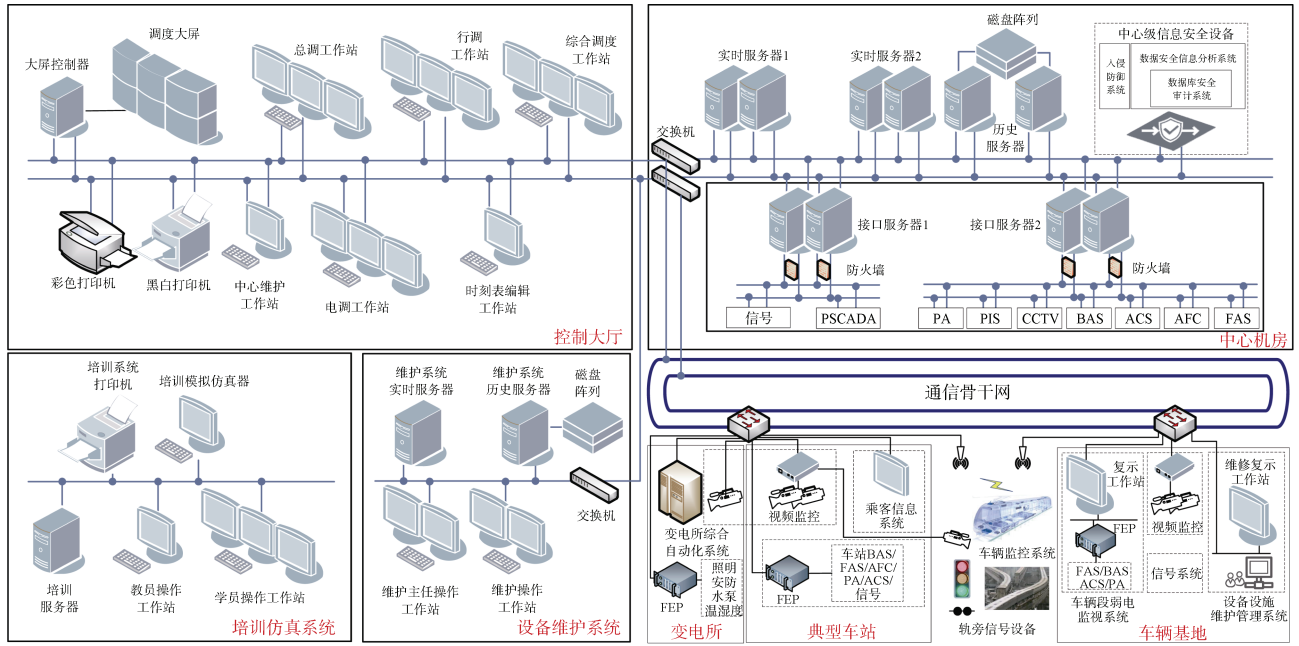


图1 深度软硬件集成单轨综合调度系统结构

Figure 1 Architecture of a deeply integrated software and hardware system for comprehensive monorail scheduling

中心机房配置1套冗余的历史数据库服务器，用于实现各系统业务历史数据的存储、记录和管理等功能。

综合运营调度系统通过冗余的接口服务器与相关子系统连接，其中变电所综合自动化系统、信号系统等通过冗余的通信骨干网络连接，车载设备通过无线通道连接，站级、场段的相关专业设备通过前置处理器(FEP)接入骨干网络。

此外，系统设置独立的智能运营维护系统平台，配置有独立的维护实时服务器和历史服务器，满足设备综合运维的业务需要。

在信息安全等级保护方面，系统应能满足国家信息安全等级保护管理规范和相关规定要求。在单轨交通中，对于采用独立路权的线路，各控制系统更贴近于地铁环境，可参照地铁中各子系统选定信息安全等级。信号系统、PSCADA系统通常要求信息安全等级3级，其他子系统通常要求不低于2级。

系统平台实现信息安全的方式主要包括：实现无线数据加密，确保网络安全；设置专用防火墙及其他网络隔离设备，隔离外部接口；加强主机审计；设置信息网络安全设备。

控制中心设置信息等保设备包括入侵防护检测系统、漏洞扫描系统、日志审计系统、安全感知系统、运维审计系统、全网行为管理、安全核查系统、防火

墙等设备，还配置了专用杀毒软件等。

3.2 软件架构

系统软件架构如图2所示。

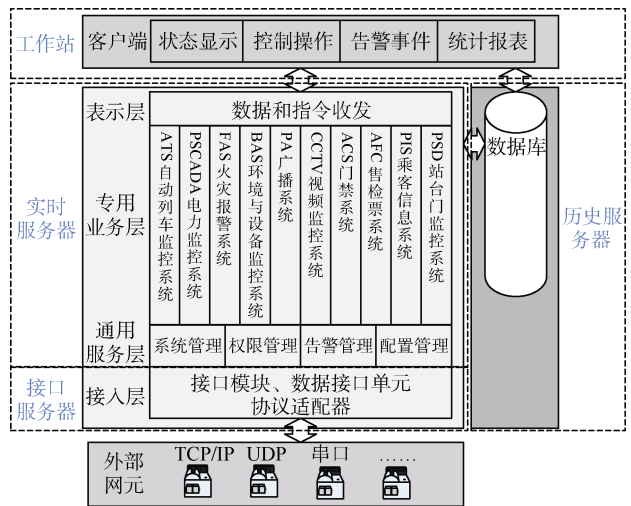


图2 系统软件架构

Figure 2 System software architecture

综合运营调度管理工作站终端以客户端的方式与系统的实时应用服务器通信。服务器端由一系列不同功能的软件模块构成，具体可分为四层实现：表示层、专用业务层、通用服务层和接入适配层；专用业务逻辑层和接入层是整个应用服务器的核心，主要完成对业务规则的控制以及数据和逻辑处理等；接入层由可

配置的数据接口单元组成,接口模块是为适应不同的通信设备终端开发,每种不同的设备需要配置对应的接口模块来实现通信协议的匹配。接口模块负责使用事先约定的协议与终端设备通信,将数据信息转换成服务器可接受的、基于统一标准的数据格式,以便传递给业务逻辑和通用服务层使用。

实时服务器内主要包括两类软件模块,一类是专用业务功能软件模块,一类是通用服务模块。这些模块之间相互交换信息,也可以直接访问数据库。专用业务功能软件模块可根据项目的实际需要进行增加或裁减,通用服务模块可为各专用业务提供系统管理、权限管理、告警管理、配置管理等功能。

3.3 方案特点及优势

与传统方案相比,本文阐述的综合运营调度系统方案特点和优势如下。

1) 统一的硬件设备配置。整个系统在统一的平台基础上搭建各专业的不同业务功能,多专业共用中心级服务器、终端设备。与传统单轨交通系统架构、设备数量对比分析,按此次综合调度系统方案硬件设备配置估算,综合运营调度管理系统通过集成各子系统服务器、存储设备、网络设备、信息安全设备的数量,减少了中心调度大厅终端设备配置、优化了工艺布置,可减少设备建设投资费用。通过实际量化分析,较各专业独立设置的传统方案,综合调度系统可减少约28%的控制中心系统设备建设成本。另外,由于系统的融合更利于各子系统信息的协同联动,在实际运营使用中,可提高运营人员的工作效率并减少运营人员的工作强度,实现减员增效。传统系统调度岗位人员配置每班设行调2人、电调1人、信息调2人、总调1人、中心工区维护调度4人(通信、信号、PSCADA、FAS/BAS/ACS等各1人)共10人;通过调度岗位复用,运营调度人员可减少2人/班,维护调度可减少2人/班,每班共可减少4人。因此,采用综合调度系统可减少约40%的中心调度和维护调度人员。

2) 统一的网络系统。采用统一的组网方案,各业务以及各车站、车辆段/停车场的分布式设备通过接口服务器/FEP接入统一的骨干网络中连至控制中心,各专业调度功能统一部署在同一个网络中。系统内部各服务器、工作站间的网络属于系统内部网络,采用冗余网络总线,并增加中心级信息安全等保设备。综合运营调度系统与车站、场段设备的接口可设置不同的接口服务器/FEP接入站段内的各系统,其网络配属可

采用共建工业以太网并划分VLAN的方式,或者采用不同站段内的系统单独建设自身的工业以太网接入综合运营调度系统的方式,提高系统应对设备和网络的鲁棒性,具体方式可结合具体项目确定。

3) 统一的调度指挥。综合运营调度系统的各专业建立在同一个软件平台和网络平台上,为用户提供统一的综合调度指挥管理平台,基于数据共享机制,可实现基于多场景的联动控制,提高运营效率,增强对突发事件的应急处置能力,更好地服务乘客。联动方式可分为全自动、半自动和手动3种。常用的联动场景主要包括以下4个方面。①正常联动:每日早上电运营、晚间结束运营、列车进站、列车出站、临时运营调整等。实现方式为根据ATS的计划运行图、列车位置等信息,在指定时间自动弹窗提示或自动触发SCADA、PIS、PA等系统的上/下电操作、自动发布乘客信息显示、广播等。②灾害模式联动:列车火灾、站台火灾、发生恐怖袭击事件等。实现方式为FAS或其他系统触发报警联动,CCTV自动推送相应视频至调度确认,ATS通过扣车、越站等列车调整联动,PIS、PA、AFC等进行灾害信息发布、疏散联动和指引等。③列车区间受阻等阻塞模式联动:实现方式为ATS追踪功能触发列车调整、PIS/PA系统自动触发安抚、提示信息等。④故障模式联动:牵引供电失电、列车紧急制动、信号设备故障、列车救援等。各系统故障信息数据共享,通过CCTV自动推送画面至调度,由调度确认是否进入故障模式,其他各系统按既定联动策略执行故障信息发布、乘客引导、故障模式下的降级联动等。

4) 统一的维护管理系统。综合运营调度系统采用统一的智能运维管理系统,可实现对全线信号、机电、电力、乘客信息、广播等系统的统一系统监控、事件和告警管理,通过丰富详尽的信息展示,辅助维护人员正确决策。

5) 缩短系统响应时间。单轨交通运营控制系统是典型的实时系统,各子系统的实时状态、告警信息必须实时反馈到实时服务器及各类工作站界面上。同样,各类控制命令也需要及时下发到各子系统的执行设备上。在计算响应时间时,无论是传统系统架构还是综合调度系统架构,在上层均采用高速以太网总线进行数据传送,因此网络传输时延忽略不计^[8],仅考虑各系统设备处理时间的系统响应时间计算公式如下。

传统分立架构系统响应时间 T_r 为:

$$T_r = T_{\text{local}} + T_{\text{FEP}} + T_{\text{ZCOM}} + T_J + T_{\text{COM}} + T_{\text{HMI}} \quad (1)$$

式中, T_{local} 为现场采集主控制器对现场设备状态信息进行采集和处理的时间; T_{FEP} 为 FEP 处理时间; T_{ZCOM} 为各专业应用服务器处理时间; T_J 为接口服务器处理时间; T_{COM} 为实时数据服务器处理时间; T_{HMI} 为调度工作站界面响应变化, 并在界面上推送相关操作换面和提示信息所需时间。

采用综合运营调度系统架构的响应时间 T_{r_new} 为:

$$T_{r_new} = T_{\text{local}} + T_{\text{FEP}} + T_{\text{COM}} + T_{\text{HMI}} \quad (2)$$

从两式对比可以看出, 将相关子系统业务功能集成整合后, 系统响应时间缩短, 系统实时性得到提升。

3.4 方案技术难点及解决方法

综合运营调度系统方案在实现上的主要难点及解决方法如下。

1) 各子系统业务对实时性、安全型、可靠性等方面的要求存在差异, 因此, 需在应用服务器软件设计和部署时, 将要求较高的如 ATS、SCADA 等系统与其他要求相对较低的系统采用差异化的软件开发管理流程, 并采用不同服务器分开部署。

2) 综合调度系统打破了传统的专业壁垒, 各系统间联动功能数据流更为简洁, 但难点在于系统融合的需求分析, 并需要基于需求分析结果制定更为合理的综合调度系统联动方案, 且联动方案必须经过实践检验, 可能会经历方案验证、迭代、优化的过程。

3) 各专业子系统数据协议、接口方式不尽相同, 缺乏统一标准口径, 需要由业主或项目总包方牵头, 约束各子系统采用统一或相近的接口协议接入综合运营调度系统。

4) 对调度人员岗位能力要求提高, 员工培训难度增大。解决方法为在综合调度岗位划分时, 可按对运营组织架构影响小、各调度内专业关联性强、减少培训难度为原则, 例如可将通信、信号相关调度作业设置为一个调度岗位, PSCADA、FAS、BAS、ACS 等设置一个调度岗位, 分别设置不同权限的综合调度工作站。

4 方案实施与应用

4.1 既有线路升级改造应用

对于已开通单轨线路的城市, 由于既有有线在前期设计时大多未考虑按综合运营调度规划, 各系统设备相互独立, 界面风格不统一, 管理、维护成本较高^[9]。可以考虑通过复示的综合运营调度系统软件实现界面

集成建设思路, 仅在中心设置统一的综合运营调度软件, 与各系统接口, 实现在一台终端上复示显示各子系统的上位机界面, 实现统一显示、调度、管理功能, 能一定程度上实现联动场景控制功能, 并可将原有各子系统终端作为后备设备使用。

4.2 新建线路实施应用

对于各城市新建的单轨交通线路, 可采用软件界面集成或深度软硬件全集成建设思路, 在统一的综合运营调度系统软件界面上实现各子系统互联互通的集中管理要求, 大大降低了系统架构复杂度, 节约了建设、管理和运维成本。

4.3 线网级实施应用

对于有多条单轨交通线路构成线网级运行的城市, 可考虑在深度集成的基础上, 整合集成多条线路, 汇聚至统一的线网级控制中心综合运营调度系统中^[10]。可根据新建或连接既有线路的不同线路条件, 分别考虑复示接入、软件界面集成、深度软硬件全集成的不同适配方式, 从而实现在统一的线网级综合调度系统中^[11], 实现对全市范围内单轨交通线路各系统的统一监控。

5 结论

本文基于单轨交通综合运营调度系统各类业务实现特点, 针对数据管控和综合智能运维的需要, 对中心、车站、车辆段/停车场系统设备从架构上进行整合设计, 对各子系统进行集成或接口互联, 在统一的平台上对各专业系统设备进行监视和控制。综上分析, 采用综合运营调度系统的单轨交通系统具有以下优势。

1) 整合系统资源, 大大提高了系统集成化程度, 精简了作业岗位, 有效降低了建设和运维成本。

2) 综合调度系统实现了各专业资源互通共享, 在发生突发事件或设备故障时, 能在统一的综合平台内为用户提供完整丰富的信息支持, 通过智能联动等自动控制技术手段, 可显著提高运营效率。

3) 综合运营调度系统建设方案研究, 符合单轨交通系统一体化、集成化、简约化的发展方向, 将是未来我国单轨交通运营控制系统的发展趋势。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部, 国家发展改革委. “十四五”全国城市基础设施建设规划[Z]. 北京: 住房和城乡建设部与国家发展改革委, 2012.

(下转第 98 页)

- [6] XU Xinyue, LIU Jun, LI Haiying, et al. Analysis of subway station capacity with the use of queueing theory[J]. *Transportation research part C: emerging technologies*, 2014, 38: 28-43.
- [7] 蔡昌俊, 姚恩建, 张永生, 等. 基于 AFC 数据的城轨站间客流量分布预测[J]. *中国铁道科学*, 2015, 36(1): 126-132. CAI Changjun, YAO Enjian, ZHANG Yongsheng, et al. Forecasting of passenger flow's distribution among urban rail transit stations based on AFC data[J]. *China railway science*, 2015, 36(1): 126-132.
- [8] 陈炎, 赵华伟, 杨军, 等. 基于多源数据融合的北京轨道交通既有线路客流特征与优化提升对策研究[J]. *铁道运输与经济*, 2024, 46(2): 176-183. CHEN Yan, ZHAO Huawei, YANG Jun, et al. Research on passenger flow characteristics and optimization and promotion countermeasures of Beijing rail transit lines based on multi-source data fusion[J]. *Railway transport and economy*, 2024, 46(2): 176-183.
- [9] CHEUNG C Y, LAM W H K. Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations[J]. *Journal of transportation engineering*, 1998, 124(3): 277-285.
- [10] Daamen W, et al. Modelling pedestrians in transfer stations[J]. *Pedestrian and evacuation dynamics*, 2001: 59-74.
- [11] RAHMAN K, GHANI N A, KAMIL A A, et al. Modelling pedestrian travel time and the design of facilities: a queueing approach[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63503.
- [12] Lawson G Predicting human behaviour in Emergencies[D]. 2011(July).
- [13] WANG Litao, SHEN Shifei. A decay model for the fundamental diagram of pedestrian movement[J]. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 2019, 531: 121739.
- [14] SUN Lishan, LUO Wei, YAO Liya, et al. A comparative study of funnel shape bottlenecks in subway stations[J]. *Transportation research part A: policy and practice*, 2017, 98: 14-27.
- [15] OSORIO C, BIERLAIRE M. An analytic finite capacity queueing network model capturing the propagation of congestion and blocking[J]. *European journal of operational research*, 2009, 196(3): 996-1007.
- [16] KERBACHEA L, MACGREGOR SMITH J. The generalized expansion method for open finite queueing networks[J]. *European journal of operational research*, 1987, 32(3): 448-461.

(编辑: 傅依萱)

(上接第 89 页)

- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通工程基本术语标准: GB/T 50833—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Standard for basic terminology of urban rail transit engineering: GB/T 50833—2012[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2012.
- [3] 赵小文. 我国中低运量城市轨道交通发展的几点思考[J]. *城市轨道交通研究*, 2019, 22(10): 1-5. ZHAO Xiaowen. Research on the development of medium and low traffic volume rail transit in China[J]. *Urban mass transit*, 2019, 22(10): 1-5.
- [4] 魏宏伟, 田沃, 雷慧锋, 等. 智慧跨座式单轨发展深化研究[J]. *都市轨道交通*, 2022, 35(6): 25-29. WEI Hongwei, TIAN Wo, LEI Huifeng, et al. Development of a smart-straddle monorail[J]. *Urban rapid rail transit*, 2022, 35(6): 25-29.
- [5] 彭飞, 杨柳燕. 我国中低运量城市轨道交通发展现状分析及可持续发展建议[J]. *现代城市轨道交通*, 2023(5): 14-17. PENG Fei, YANG Liuyan. Analysis on the development status of medium and low traffic volume urban rail transit in China and suggestions for sustainable development[J]. *Modern urban transit*, 2023(5): 14-17.
- [6] 陈国芳, 卓开阔. 城轨交通弱电一体化及在跨座式单轨交通的应用探讨[J]. *铁路技术创新*, 2018(6): 51-54. CHEN Guofang, ZHUO Kaikuo. Discussion on the integration of weak current in urban rail transit and its application to the straddle monorail transit[J]. *Railway technical innovation*, 2018(6): 51-54.
- [7] 邱鹏, 赵晓峰. 跨座式单轨全自动运行系统关键接口分析[J]. *铁道通信信号*, 2021, 57(9): 76-82. QIU Peng, ZHAO Xiaofeng. Analysis of key interfaces of fully automatic operation system for straddle monorail[J]. *Railway signalling & communication*, 2021, 57(9): 76-82.
- [8] 韩玉雄, 丁建中. 城市轨道交通综合监控系统的实时性设计[J]. *城市轨道交通研究*, 2008, 11(10): 18-22. HAN Yuxiong, DING Jianzhong. Real-time property design of the integrated supervisory control system for urban mass transit[J]. *Urban mass transit*, 2008, 11(10): 18-22.
- [9] 刘敏杰, 梁小斌. 基于云平台及数据共享模式的线网及线路层融合调度指挥系统[J]. *都市轨道交通*, 2023, 36(3): 174-179. LIU Minjie, LIANG Xiaobin. Network-integrated dispatching command system based on cloud platform and data sharing mode[J]. *Urban rapid rail transit*, 2023, 36(3): 174-179.
- [10] 张正彬, 孙柯, 张德明, 等. 城轨快线多线路网络化调度系统研究[J]. *都市轨道交通*, 2022, 35(6): 8-14. ZHANG Zhengbin, SUN Ke, ZHANG Deming, et al. Network dispatching system for multi-line of a city rail fast line[J]. *Urban rapid rail transit*, 2022, 35(6): 8-14.
- [11] 蔡佳妮. 基于网络化运营的城市轨道交通控制中心设置研究[J]. *城市轨道交通研究*, 2014, 17(2): 14-18. CAI Jiani. On urban rail transit operation control center based on network management[J]. *Urban mass transit*, 2014, 17(2): 14-18.

(编辑: 王艳菊)