

智慧城轨背景下行车调度智能化升级 与客流组织精细化管理研究

彭博, 袁子恒, 曾宇, 李浩

成都地铁运营有限公司, 四川 成都 610051

DOI:10.61369/ME.2026050003

摘 要 : 在智慧城轨快速建设与城市轨道交通高密度常态化运营背景下, 行车调度智能化和客流组织精细化已成为城轨提质增效、安全低碳运营的核心抓手。本文以智慧城轨技术体系为支撑, 从行车调度与客流组织两大维度展开系统性研究。首先构建云-边-端协同的智能化行车调度架构, 融合深度学习、强化学习、数字孪生等技术, 分别从短时客流预测、运行图动态生成、常态化智能节能调度及突发事件应急调度推演方面, 提出智能化升级模型与实施策略, 有效提升调度精准性、节能效益与应急处置能力。其次搭建感知-分析-决策-执行-反馈闭环式客流精细化管理体系, 围绕车站微观客流实时监测评估、常态客流差异化管控诱导、大客流及突发事件应急疏散组织等内容, 建立全流程精细化管控方案, 破解传统客流管理粗放、响应滞后、疏导低效等痛点。

关 键 词 : 智慧城轨; 行车调度; 智能化升级; 客流组织

Research on Intelligent Upgrade of Train Dispatching and Refined Management of Passenger Flow Organization under the Background of Smart Urban Rail Transit

Peng Bo, Yuan Ziheng, Zeng Yu, Li Hao

Chengdu Metro Operation Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610051

Abstract : Against the backdrop of the rapid construction of smart urban rail transit and the high-density, normalized operation of urban rail transit, the intelligentization of train dispatching and the refinement of passenger flow organization have become core strategies for enhancing quality and efficiency, as well as ensuring safe and low-carbon operations in urban rail transit. Supported by the smart urban rail transit technology system, this paper conducts a systematic study from two major dimensions: train dispatching and passenger flow organization. Firstly, a cloud-edge-end collaborative intelligent train dispatching architecture is constructed, integrating technologies such as deep learning, reinforcement learning, and digital twin. Intelligent upgrade models and implementation strategies are proposed in terms of short-term passenger flow prediction, dynamic generation of train operation diagrams, normalized intelligent energy-saving dispatching, and emergency dispatching simulation for unexpected events, effectively improving dispatching accuracy, energy-saving benefits, and emergency response capabilities. Secondly, a closed-loop refined passenger flow management system encompassing perception, analysis, decision-making, execution, and feedback is established. Focusing on real-time monitoring and evaluation of microscopic passenger flow at stations, differentiated management and guidance of normal passenger flow, and emergency evacuation organization for large passenger flows and unexpected events, a comprehensive refined management plan is developed to address the pain points of traditional passenger flow management, such as rough management, delayed response, and inefficient evacuation.

Keywords : smart urban rail transit; train dispatching; intelligent upgrade; passenger flow organization

引言

随着我国新型城镇化进程持续推进, 城市人口集聚效应日益凸显, 居民出行需求呈现“高频化、多样化、高品质”特征, 城市轨道交通作为大容量、高效率、低污染的公共交通骨干, 已成为缓解城市交通拥堵、支撑城市高质量发展的核心载体。目前, 智慧城轨已经

成为产业发展的重要策略，而新一代信息技术与城市轨道交通运营管理的深度融合，为解决城市轨道交通运行管理的瓶颈问题开辟了一条崭新的技术途径。但是运行调度方式仍然是以经验为基础，依靠历史数据来进行决策，对于客流波动和设备隐患的反应相对滞后，很难实现动态优化和节能减排，在应急处理中存在方案单一、协同不够等问题。在客流组织上，传统的管理方式还比较粗放，存在着对客流监测准确性不足、时空分布无法准确把握等问题，在正常情况下容易产生局部拥堵、换乘效率低下等问题，在面对大客流和突发事件时，如何有效地保证疏散引导的科学性和高效性，不仅会影响旅客的出行体验，还会给运营带来隐患。因此，本项目以智慧城轨建设为背景，围绕运营调度智能升级和客流组织精细化这两个核心问题展开研究，通过对当前行业发展状况和存在的问题进行系统的梳理，建立一套科学、完备的智能升级和精细化管理模式，并给出有针对性的实现策略，着重突破短期客流感知不准、运行图动态调整滞后、节能调度效能不足、应急处置能力不足、客流监测粗放、疏散引导效率低下等关键问题。

一、城轨行车调度智能化升级模型与策略

（一）智能化行车调度体系架构

在城市地铁“高密度、高频率、零容错”运营背景下，行车调度指挥系统作为保障地铁列车安全、正点、顺畅运行的“中枢神经”，其智能化水平直接决定了整条线路的运营效率与安全性^[1]。基于云-边-端的智能驾驶调度系统，构建感知-传输-数据-自主决策-多主体协同-执行的五层联动框架，促进行车调度由自主智能走向自主决策^[2]。以感知层作为数据采集的中心，在列车、线路、车站等位置布设雷达、高清相机、光纤传感、轮轨监测等多种传感装置，对行车、轨道和客流进行全方位的采集，并通过边缘计算网关对数据进行预处理，为数据的积累打下坚实的基础。在传输层，以环形光缆作为主干，融合5G-RedCap、6G等网络切片，依托亚毫秒级的超低时延传输能力和安全性保障，实现数据通道的畅通，打破信息孤岛的局面^[3]。数据层对多源数据进行聚合、清洗和挖掘，采用量子密钥分配的方式对核心调度数据进行加密，保证数据的安全性；在决策协同层面上，将人工智能大模型、数字孪生等技术相结合，建立三层主体的协作系统，实现列车、车站、网络主体各司其职，实时协商，实现运力的动态优化和突发事件的协同。在执行层，使用系统自主执行和人工兜底控制的方式，对落地的调度命令进行自动转换，并配有人机互动接口，支持人工审核、修改和应急接管^[4]。五个层次的体系结构由标准化的协议连接起来，构成了一个完整的、智能的调度闭环。

（二）基于深度学习的短时客流感知与列车运行图动态生成

利用时空大数据分析方法，对未来15-30分钟内各个站点的出站量和区间满载率进行预测，并对突发事件下的乘客扩散和拥挤演变进行模拟，从而实现对突发事件下乘客的扩散和拥挤的演变规律^[5]。在此基础上，基于云-边-端协同机制，采用自主决策、多主体协同、分层执行、实时反馈的框架，对正线在途列车和库内停站列车进行全过程状态的自动切换和协同控制，以达到运力和客流的动态适应^[6]。正线列车运行状态切换：根据新的运行图参数，利用车地联网（5G/6G uRLLC切片），对自动驾驶系统进行车速调节，实现牵引/减/增/减；对列车制动系统进行停驶时间校正，以实现对缓行到达时刻的调节。当需要跳停、增开或改变线路时，该系统会自动向连锁控制系统提出进入的请求，由信号系统打开对应的信号，使道岔自动切换到预定的位置。列车智能体通过对前后车间距和信号状态的实时监控，实现对冲突的自动规避。库中动车组的快速投入：通过库内物联网，

将休眠和热备用的车辆进行匹配，并通过库内物联网发布检修命令。当接收到命令的时候，处于休眠状态的列车可以自动完成自检，蓄电池的激活，车载设备的预热，时钟的同步，网络的注册；热备用列车出库路线由调车智能体直接规划，通过牵引线路和转换线路自动连接到主线上^[7]。该系统在不需要人为介入的情况下，在线时间缩短到不到3分钟。动态检查：系统每隔5分钟进行一次容量-旅客配合度的评价。当匹配不平衡时，自主决策层会对其后的列车间隔进行调整，或者指令库中的列车提前出站，并联合车站的智能体对进出闸机的开启和扶梯的方向进行优化，从而实现一个全局的闭环。

（三）常态化场景下的智能节能调度优化

常态化城轨运营中，核心优化目标是在保障列车安全准点与服务质量可靠的前提下节能降耗，推动绿色低碳发展^[8]。据统计，2024年全国城轨交通耗电量达270.2亿kW·h，列车牵引用电占比超50%，节能调度意义重大。构建源-网-储-车一体化框架，整合多维度节能资源：供能层面通过可逆变流、储能等实现再生电能就地消纳；控制层面优化速度曲线，精准控制列车牵引、惰行与制动；运营层面采用多交路、灵活编组减少低效牵引。同时，依托深度学习技术优化速度曲线模型，结合线路条件优化工况，并通过时刻表微调提升再生能量利用率。进一步引入碳效指标，将碳排放强度纳入调度考核体系。通过优化运行图减少高峰时段空驶列车，降低全生命周期碳排放。建立与电网源网荷储互动的响应机制：当电网新能源出力波动或需削峰填谷时，调度系统可适度调整列车启停时刻，利用储能装置和列车再生制动回馈电能，实现城轨与绿色电力的协同。建立全网协同机制，统筹线路运行匹配客流需求，减少空驶与低载列车；引入节能评估指标，实时监测并优化策略，预计可实现牵引节能8%-12%，同时降低碳排放强度5%以上。

（四）突发事件下的智能应急调度与推演

城轨列车故障、轨道中断、大客流拥堵等突发事件具备突发且不确定的特征，传统应急调度依靠多方沟通、收集信息确定处置方向，存在响应滞后、方案单一、既有流程涵盖不全等问题，难以有效化解运营冲击。构建行车调度数字孪生系统，融合线路车站车辆静态信息与列车位置、客流、设备状态等动态数据，实现虚实实时映射，支撑全网态势实时监控与事件早期预警。建立突发事件分类分级机制，按事件类型、影响范围、严重程度划分等级并匹配处置预案；结合无监督学习监测设备数据，开展预测性维护，从源头减少故障。依托时空大模型与仿真推演模型，突发事件发生后可快速生成多套调度方案并仿真择优，大幅压缩响

应时长。同时健全多部门协同联动机制，对接城市交通及公安、消防、医疗等系统，实现多方一键联动，高效调配资源，降低运营影响、保障乘客安全。

二、城轨客流组织精细化管理模型与策略

（一）精细化客流组织管理体系架构

城轨客流组织精细化管理以以人为本为核心，依托智慧城轨技术搭建感知－分析－决策－执行－反馈闭环体系，突破传统粗放管理，实现客流组织精准化、个性化与高效化。体系分为五层架构：感知层搭建多源异构传感网络，覆盖车站关键区域并联动车载边缘计算，实时采集客流密度、流向及车厢满载率等数据，感知粒度细化至车厢与个体行为级^[9]。分析层运用大数据与深度学习，研判客流时空规律、出行特征，建立拥挤分级评估模型并开展趋势预测，为决策提供数据支撑。决策层结合运营条件与安全要求，制定常态管控、大客流疏散及乘客诱导等差异化方案，兼顾运营安全与出行体验。执行层通过智能广播、动态标识、闸机扶梯调控及人工引导，落地各项管控措施。反馈层评估实施成效、收集乘客意见，反向优化模型与方案，实现闭环迭代优化。

（二）车站级微观客流实时监测与状态评估

车站级微观客流实时监测与状态评估是地铁客流精细化管理的基础，旨在精准采集、实时分析客流数据，提前排查拥堵隐患，支撑客流管控与诱导。针对行业客流监测可视不清、数据不准、应用不足等痛点，依托多源数据融合与智能技术破解难题。系统整合视频、AFC、Wi-Fi/BLE 嗅探及车载称重等异构数据，经时空对齐、置信度融合算法统一时空坐标标签，通过轨迹聚类去重、透视校正网格划分与深度学习，精准估算区域客流人数与密度^[10]。搭载轻量化车载边缘计算单元，实现车厢客流实时感知，仅回传特征数据大幅节省带宽，结合自适应卡尔曼滤波修正偏差，30 秒级精准测算列车载客量与满载率。构建涵盖密度、流速、停留时长等指标的评估体系，划分拥挤分级标准，依托深度学习模型自动判定客流状态并可视化呈现。建立分级预警机制，超限自动告警、定位拥堵源头，结合客流预测提前预判隐患，以上海地铁汉中路站为实例，有效提升车站客流组织管控水平。

（三）常态化场景下的客流精细化管理与诱导

常态化场景下，客流组织精细化管理与诱导，核心是实现客流有序分布、高效流转，缓解拥堵并提升出行体验。依托车站微观客流监测与状态评估，结合乘客出行偏好及运营特征，制定差

异化管控诱导策略，保障人流通行顺畅。优化车站客流流线布局，依据客流规律合理规划出入口、换乘通道、站台动线，布设清晰导向标识，规避客流交叉拥堵。枢纽车站划分专属换乘通道，站台按车门位置划定候车区域，引导乘客分散候车。实行分时段、分区域差异化管控，高峰时段关键点位增派人员人工引导，全开闸机扶梯，拥挤区域适时限流控流；平峰时段精简设备运行数量，节能同时维持通行秩序。搭建智能诱导体系，通过 APP、广播、电子屏、智能标识推送实时客流、列车到站及换乘信息，依托大数据针对通勤、旅游等群体定制个性化引导方案，并建立乘客反馈机制，持续迭代优化客流组织策略。

（四）大客流及突发事件下的应急疏散组织

大客流及突发事件应急疏散是城轨客流精细化管理关键，以快速、有序、安全疏散为核心，最大限度减少伤亡与损失、保障运营安全。依托智慧城轨技术搭建预警－响应－疏散－恢复全流程应急疏散体系。结合客流预测与实时监测建立预警模型，提前发布大客流预警、落实人员通道及物资准备，借助监控传感快速识别突发事件并启动预案。按事件类型、影响程度制定差异化疏散预案，分层分区规划疏散路线与责任分工。运用数字孪生开展疏散仿真推演，优化路线与方案。强化运营、调度、公安消防等多部门协同联动，通过智能标识、广播及线上渠道引导乘客有序撤离、推送提示信息。疏散结束后及时清场检修恢复运营，并复盘评估流程短板，持续优化应急处置预案与能力。

三、结束语

智慧城轨的建设为城市轨道交通运营提质增效带来了崭新的契机，而列车运行调度系统的智能化升级和客流组织的精细化管理是实现城市轨道交通高密度运行的重要支撑。本文以短时客流感知、运行图动态生成、节能调度、应急处置为研究主线，结合多学科交叉，研究基于多学科交叉的多学科交叉融合的方法，解决城市轨道交通运行管理中存在的难题和难题，实现由经验驱动到数据智能的转变。在此基础上，通过对智能城轨技术的不断完善，深入开展多种技术的融合应用，强化列车运行调度和客流组织的协同机理研究，并根据实际情况制定相应的优化方案，促进研究结果在实际中的应用和不断完善，从而为国家轨道交通的智慧化和精细化运营提供更加有力的支持，从而服务于交通强国和新型城镇化的高质量发展。

参考文献

- [1] 张园园. 地铁车站行车调度指挥系统的智能化升级与应用探索 [J]. 中文科技期刊数据库（引文版）工程技术, 2025(8): 124-127
- [2] 任鑫, 杜东先. 城市轨道交通的组织调度与安全管理 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2025(1): 054-057
- [3] 付瑛. 铁路调度列调与电调间行车卡控技术研究 [J]. 西铁科技, 2022(3): 17-19
- [4] 唐凯林, 姜庆阳, 段宏伟, 窦垠锡, 白轩, 薛江涛. 智慧城轨列控系统关键技术研究 [J]. 铁道通信信号, 2025, 61(2): 21-27
- [5] 吕平, 邢春阳, 张鹏, 王义华, 蓝天. 青岛智慧城轨发展探索与思考 [J]. 现代城市轨道交通, 2025(7): 24-30
- [6] 甘超莹. 交通强国背景下的智慧城轨建设思考 [J]. 人民公交, 2025(2): 146-149
- [7] 蒲晓斌, 孙波. 基于流程优化及重构的智慧城轨方案研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2025(1): 20-26
- [8] 雷修泉. 智慧城轨背景下轨道交通信号系统数字化转型路径探析 [J]. 城市创新发展研究, 2025(5): 39-40
- [9] 青岛地铁. 数字化赋能, 打造智慧城轨体系 [J]. 建筑, 2025(2): 98-99
- [10] 卫瑶. 智慧城轨背景下的车站客运组织安全与管理 [J]. 淮北职业技术学院学报, 2025, 24(6): 113-116