

智慧化技术在轨道交通运营中的应用

涂峻宁

重庆城市交通开发投资(集团)有限公司数智科技分公司 重庆 400000

摘要: 随着城市化进程加快,轨道交通运营面临客流潮汐波动、设备运维低效、信息孤岛等痛点,安全、效率与服务优化需求日益迫切。本文立足数字孪生、大数据等理论,探讨感知监测、智能决策等智慧化技术在行车组织、设备运维、客运服务及安全防控中的具体应用,分析当前技术应用存在的碎片化、核心技术依赖等问题及成因,提出完善顶层设计、强化技术攻关等优化路径,为轨道交通智慧化转型提供实践参考,助力提升运营效能、优化乘客体验。

关键词: 智慧化技术;轨道交通运营;应用

引言:轨道交通作为城市公共交通的核心骨干,是保障市民便捷出行、缓解交通拥堵的关键载体,其运营质量直接关系城市交通运转效率与民生福祉。当前,传统运营模式已难以适配日益增长的客运需求,设备运维依赖人工、调度精准度不足等问题凸显。在此背景下,物联网、AI、5G等智慧化技术的快速发展,为轨道交通运营转型提供了技术支撑,推动运营向数字化、智能化升级,因此,深入研究其应用具有重要的现实意义与实践价值。

1 相关概念与分类

1.1 轨道交通运营相关概念

(1) 轨道交通运营的核心内涵是依托轨道线路、列车等设施,安全、高效地完成客运服务,核心环节包括列车调度、客流组织、设备运维、安全管控四大板块,贯穿运营全流程。(2) 核心需求是保障安全、提升效率、优化服务,现存痛点为客流潮汐波动应对不足、设备运维依赖人工、各系统信息孤岛严重,运营成本居高不下。(3) 智慧化转型核心目标是实现运营全流程数字化、智能化,提升调度精准度与运维效率,优化乘客出行体验,降低运营成本与安全风险^[1]。

1.2 智慧化技术核心概念与分类

(1) 智慧化技术是依托数字技术,结合传感器、网络传输等手段,实现数据采集、分析、决策与执行的一体化技术,核心特征为智能化、协同化、实时化、精准化。(2) 常用分类包括感知监测技术、数据处理技术、智能决策技术、执行控制技术四大类,覆盖运营各环节,支撑全流程高效运转。(3) 核心技术功能:物联网实现设备与环境实时感知;大数据完成海量运营数据挖掘分析;AI实现调度、运维等场景的智能决策与自动化执行,提升运营效率。

2 智慧化技术在轨道交通运营中的应用

2.1 行车组织中的智慧化应用

(1) 智能调度系统:以AI算法为核心,整合轨道交通实时与历史客流、列车运行及设备工况等内部数据,结合地面公交、手机信令、实时路况及天气等外部数据,精准预判客流波动,通过调整发车间隔、增开备用列车等方式,自动优化动态运行图并协同调度,解决高峰运力不足、平峰资源浪费等问题,联动车站、车辆段实现行车全流程协同,提升调度效率与运行稳定性。

(2) 全自动运行技术(FAO):重点落地GoA4级自动驾驶模式,实现列车唤醒、发车、行驶等全流程无人干预,减少人工误差,提升运行精度、缩短发车间隔、降低人力成本,目前已在多城市轨道交通线路规模化应用,保障行车安全高效^[2]。(3) 车车通信技术:依托5G专网低时延、高可靠等特性,实现列车间实时互通列车位置、运行速度、制动状态、列车状态等信息,相较于车地通信技术,减少了对地面设备的依赖,能够减少因信号干扰造成列车降级运行情况,为全自动运行提供稳定通信支撑,有助于进一步缩短列车最小追踪间隔,提高列车运行安全性、经济性和运行效率,同时支撑车载视频、设备监测等多类数据同步传输。

2.2 设备运维中的智慧化应用

(1) 预测性维护(PHM):通过在轨道、列车、供电等关键设备上安装传感器,实时采集设备运行数据,结合大数据分析技术,构建设备健康评估模型。可提前预判设备故障隐患,实现“事前预警、精准维护”,替代传统定期检修模式,减少设备停机时间,降低运维成本,延长设备使用寿命。(2) 智能巡检技术:大规模应用巡检机器人与无人机,替代人工完成高风险、高强度的巡检工作。轨道巡检机器人可实现轨道几何参数、钢

轨伤损的自动检测,无人机可对轨道控制保护区、高架线路、车站外立面等区域进行全方位巡检,提升巡检效率与精度,避免人工巡检的安全隐患,应急情况下可快速采集现场情况、引导人员疏散。(3)数字化备件管理:融合区块链与供应链协同技术,构建全流程数字化备件管理体系。实现备件采购、存储、调度、使用的全程可追溯,通过大数据分析预判备件需求,优化备件库存布局,实现跨线路、跨区域的备件协同调度,避免备件积压与短缺,提升运维保障效率^[3]。

2.3 客运服务中的智慧化应用

(1)智慧票务系统:整合电子票、信用安检与多模式支付功能,实现“一码通行、无感换乘”。乘客可通过手机扫码、刷脸等方式完成购票、进站、乘车全流程,信用安检可实现无行李乘客快速进站,多支付模式融合满足不同群体需求,大幅提升进站效率与乘车体验^[4]。

(2)客流智慧管理:依托大数据分析技术,结合历史客流数据、实时进站数据及周边重要大型活动进程、通勤群体动态,精准预测各时段、各站点的客流峰值。提前联动车站调整人员配置、进出站通道,适时增设导流装置,增开安检通道、移动闸机,避免客流拥堵,保障乘客出行安全与便捷。(3)全流程服务升级:基于MaaS(出行即服务)理念,整合轨道交通与公交、网约车、共享单车等多种出行方式,实现多网信息共享和融合调度。同时部署智能客服系统,通过语音、文字等方式快速响应乘客咨询、投诉等需求,实现客运服务全流程智能化升级。

2.4 安全防控中的智慧化应用

(1)智能监控系统:融合AI视觉识别技术,对列车车厢,车站站台、站厅、出入口、轨行区等区域进行实时监控。可自动识别车站客流积压,人员闯入轨行区、打架斗殴、晕倒、逃票、携带违禁品、异常聚集等行为,及时发出预警信号,运营单位调度、客服等部门快速处置,筑牢运营安全防线。(2)应急协同指挥:依托数字孪生技术构建轨道交通虚拟应急场景,结合车站BIM模型,快速生成电子沙盘,根据现场处置进展实时呈现突发事件的发展过程和推演结果,为应急处置决策和指挥提供支撑。同时联动公交、网约车、出租等公共交通运营单位,公安、消防、医疗、应急等多方力量,实现应急资源快速调配与协同处置,缩短应急响应时间^[5]。(3)网络安全防护:采用零信任架构与数据加密技术,构建全方位网络安全防护体系。对运营数据、调度指令、乘客信息等核心数据进行加密保护,防范网络攻击、数据泄露等风险,保障轨道交通智慧化系统安全稳定运行。

3 智慧化技术应用中的现存问题及成因分析

3.1 智慧化技术应用现存主要问题

(1)技术应用碎片化,系统间数据互通不畅。各运营环节智慧化系统独立建设、缺乏统一规划,行车调度、设备运维等系统数据标准不一,无法高效共享,形成“信息孤岛”,制约协同效能。(2)核心技术自主可控性不足,依赖外部供给。物联网、AI、核心芯片等关键技术多依赖国外或第三方企业,自主研发薄弱,增加应用风险,且受外部技术迭代、供给限制,影响转型自主性与可持续性。(3)技术应用成本偏高,投入产出比不均衡。智慧化设备采购、系统搭建及后期运维资金投入大,但部分技术未结合运营实际,落地后未能有效降本增效,导致投入与产出不成正比。(4)专业人才短缺,技术落地与运维能力不足。轨道交通智慧化需兼具运营知识与智慧技术的复合型人才,目前储备不足,现有人员技术能力难以适配系统运维、优化需求,影响落地效果。

3.2 问题产生的核心成因

(1)顶层设计缺失,转型规划不系统。缺乏统筹全局的智慧化转型规划,各部门各自为战,未明确整体目标与实施路径,导致技术应用碎片化,难以形成协同效应。(2)数据标准不统一,跨部门协同机制不完善。未建立统一的运营数据标准,各部门数据管理规范不一,且缺乏有效协同机制,数据共享、业务联动存在壁垒,加剧互通不畅问题。(3)研发投入不足,核心技术攻关力度不够。相关单位对核心技术研发的资金、人力投入不足,缺乏自主创新激励机制,难以突破关键技术瓶颈,只能依赖外部供给。(4)人才培养体系滞后,适配性不足。高校、企业未建立完善的复合人才培养体系,人才培养与岗位需求脱节,现有人员培训机制不完善,无法及时提升技术能力,导致人才短缺。

4 智慧化技术在轨道交通运营中优化应用的路径

4.1 完善顶层设计,构建一体化智慧运营体系

(1)制定系统性智慧化转型规划,明确发展优先级。结合轨道交通运营实际需求,统筹行车组织、设备运维、客运服务等各环节,制定中长期智慧化转型规划,明确各阶段发展目标、实施路径与重点任务,优先推进安全、效率相关的核心技术应用,避免盲目投入,确保转型工作有序推进。(2)统一数据标准,推动跨系统数据融合共享。建立轨道交通运营全领域统一的数据标准规范,明确数据采集、存储、传输、应用的统一要求,打破各系统“信息孤岛”,搭建一体化数据共享平台,实现行车、运维、服务、安全等数据互联互通,为

智慧化决策提供数据支撑。(3) 强化政策引导, 加大智慧化投入扶持力度。依托政府政策支持, 出台智慧化转型专项扶持政策, 加大财政投入力度, 鼓励企业加大智慧化技术研发与应用投入, 引导社会资本参与, 形成多元化投入机制, 为智慧化技术落地提供资金保障。

4.2 强化技术攻关, 提升核心技术自主可控能力

(1) 聚焦关键技术瓶颈, 深化产学研协同创新。针对核心芯片、AI算法、车车通信等关键技术短板, 联合高校、科研机构与企业开展协同攻关, 建立产学研创新联合体, 集中力量突破技术瓶颈, 提升核心技术自主研发能力, 减少对外部技术的依赖。(2) 推动数字孪生、AI大模型等前沿技术深度应用。依托数字孪生技术, 构建全线路、全设备的虚拟镜像, 实现运营全流程模拟推演与优化调控; 加快AI大模型在调度决策、客流预测、故障诊断等场景的深度应用, 提升运营智能化水平。

(3) 推广成熟技术应用, 降低智慧化落地成本。筛选已在实践中验证成熟、性价比高的智慧化技术与设备, 进行规模化推广应用, 避免重复研发与盲目引进; 优化技术应用方案, 简化系统架构, 降低设备采购、搭建及运维成本, 提升投入产出比。

4.3 健全人才体系, 强化技术落地保障

(1) 构建校企协同培养模式, 培育复合型智慧运营人才。推动高校与轨道交通企业合作, 开设适配智慧化需求的专业课程, 建立实习实训基地, 实现人才培养与岗位需求精准对接, 培育兼具轨道交通运营知识与智慧化技术的复合型人才。(2) 加强现有员工培训, 提升智慧化设备运维能力。建立常态化培训机制, 针对现有员工开展智慧化技术、设备运维等专项培训, 邀请行业专家与技术骨干授课, 提升员工操作、运维及故障处置能力, 适配智慧化系统运行需求。(3) 完善激励机制, 吸引高端智慧化技术人才。出台针对性的人才激励政策, 优化薪酬福利体系, 为高端智慧化技术人才提供广阔的职业发展空间; 搭建人才交流平台, 吸引国内外优秀人才投身轨道交通智慧化发展, 补齐人才短板。

4.4 强化实践落地, 打造示范应用场景

(1) 选取重点线路开展智慧化试点, 总结可复制经验。选取客流密集、运营压力大的重点线路, 开展智慧化技术综合试点, 整合行车、运维、服务、安全等多场景智慧化应用, 试点成熟后总结可复制、可推广的经验, 逐步向全线路推广。(2) 推动“绿智融合”, 优化节能降耗智慧应用。结合双碳目标, 将智慧化技术与节能降耗需求深度结合, 优化列车运行调度、设备能耗管控等智慧应用, 通过AI算法调节列车运行速度、优化设备运行状态, 降低运营能耗, 实现绿色智慧运营。(3) 深化数据资产化应用, 拓展智慧运营商业模式。挖掘轨道交通运营数据价值, 推动数据资产化, 基于数据开展增值服务, 拓展智慧运营商业模式; 联动周边商业、文旅等业态, 构建“轨道交通+”智慧服务生态, 提升运营效益。

结束语

智慧化技术在轨道交通运营中的应用, 实现了行车、运维、服务、安全全环节的效能提升, 有效破解了传统运营模式的诸多痛点, 为行业高质量发展注入新动能。尽管目前仍存在技术应用不均衡、人才短缺等问题, 但通过完善顶层设计、强化核心技术攻关、健全人才体系, 可推动智慧化技术深度落地。未来, 需持续深化技术融合与实践创新, 推动轨道交通向更智能、高效、绿色、安全的方向发展, 更好服务城市发展与民生需求。

参考文献

- [1] 邓敏, 赵明桂. 城市轨道交通智慧车站建设探讨[J]. 现代交通技术, 2022, 17(05): 78-82.
- [2] 祁勇, 韦明松. 轨道交通运营的智慧化探索[J]. 交通世界, 2021, 6(25): 38-40.
- [3] 汪鸣, 程世东. 城市轨道交通智慧化发展方向及实现途径[J]. 现代城市轨道交通, 2023, 14(08): 87-90.
- [4] 王佳. 关于城市轨道交通智慧化的探讨[J]. 中国航务周刊, 2021, 3(27): 55-57.
- [5] 何帆. 浅析基于“互联网+”城市轨道交通智能化发展策略[J]. 智能城市, 2024, 7(03): 121-124.