

# 智能化技术在轨道交通运营调度中的应用

龚 翔

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

**摘要：**本文围绕智能化技术在轨道交通运营调度中的应用展开研究，阐述轨道交通运营调度核心职能与传统模式痛点，介绍大数据、人工智能、物联网与5G、数字孪生四大核心技术的应用原理，分析其在列车运行、客流、设备运维及应急调度中的具体应用，剖析当前技术应用现存问题及成因，提出多层次优化策略，为运营调度智能化提质增效提供理论与实践参考，助力行业从规模扩张向质量提升转型。

**关键词：**智能化技术；轨道交通；运营调度；应用

引言：随着城市化进程加速，轨道交通运营里程与网络复杂度持续提升，日均客运量大幅增长，传统人工调度模式已难以应对客流波动、设备运维及应急处置等挑战，信息孤岛、资源配置不合理等问题凸显。大数据、人工智能等智能化技术的成熟为调度模式升级提供支撑，本文聚焦二者深度融合，探索技术应用路径、现存问题及优化方案，对提升调度效率、保障行车安全、优化乘客体验具有重要现实意义。

## 1 相关理论与技术基础

### 1.1 轨道交通运营调度核心内涵与流程

(1) 运营调度核心职能：核心涵盖四大板块，列车运行调度负责统筹列车发车、运行间隔调整及线路占用管理，保障行车秩序；客流调度聚焦客流监测、疏导及运力匹配，应对峰谷客流波动；设备调度负责供电、信号、车辆等关键设备的巡检与运维调度；应急调度针对突发故障、客流激增等情况，快速启动处置方案，降低影响。(2) 传统运营调度流程与痛点：流程以人工调度为核心，依赖调度人员经验判断，存在明显短板，主要表现为响应滞后，突发情况处置效率低；资源配置不合理，运力与客流、设备状态匹配度不足；各调度环节信息不互通，形成信息孤岛，难以实现全局协同调度。

### 1.2 智能化技术核心类别及应用原理

(1) 核心技术一：大数据技术，通过轨道沿线传感器、票务系统等采集客流、设备、行车数据，经云端存储与数据分析，挖掘客流变化规律、设备运行隐患，为客流预测、调度方案优化提供数据支撑。(2) 核心技术二：人工智能技术，依托深度学习、强化学习算法，实现列车自动调度、运行参数自适应调整，同时通过故障数据训练，完成设备故障提前预警，减少人工干预。(3) 核心技术三：物联网与5G技术，通过物联网实现设备全域感知，结合5G低时延、高可靠特性，实现设备与

调度系统、列车与地面的实时数据传输，达成设备与系统协同联动。(4) 核心技术四：数字孪生技术，构建轨道交通全域虚拟映射模型，通过仿真推演模拟行车、客流、故障场景，辅助调度人员优化决策，提前预判潜在问题<sup>[1]</sup>。

### 1.3 智能化技术与轨道交通运营调度的适配性

(1) 技术适配性：大数据对应客流调度与运行分析，人工智能适配自动调度与故障预警，物联网与5G支撑设备调度与协同传输，数字孪生助力应急调度与决策预演，各类技术与调度各环节精准对应，应用可行性高。(2) 价值适配性：智能化技术可大幅提升调度效率，减少人工失误；强化设备故障预警与应急处置，提升行车安全水平；精准匹配运力与客流，优化乘客出行体验，全面支撑调度工作提质增效。

## 2 智能化技术在轨道交通运营调度中的具体应用

### 2.1 列车运行智能调度应用

(1) 基于AI的列车运行图动态优化，结合大数据采集的历史客流、实时客流数据，通过深度学习算法精准预测客流峰谷变化，自动调整列车发车间隔、停站时间，打破固定运行图的局限性，实现运力与客流的精准匹配，既避免高峰时段运力不足，也减少平峰时段资源浪费，提升行车效率。(2) 全自动运行系统(FAO)应用，整合人工智能、物联网等技术，实现列车从发车、行驶、精准停靠到收车的全流程自动驾驶，无需人工干预，停靠精度可控制在厘米级，同时系统可根据线路状态、客流变化智能调整运行参数，实现列车的协同调度，大幅提升运营安全性与稳定性。(3) 列车运行状态实时监测与故障预警，通过车载传感器、物联网设备实时采集列车牵引、制动、供电等关键系统数据，经AI算法分析识别异常信号，提前预判故障隐患并发出预警，提醒运维人员及时处置，避免故障扩大影响行车安全，

降低列车晚点率和故障停机时间。

## 2.2 客流智能调度应用

(1) 基于大数据的客流时空分布预测, 整合票务数据、车站监控数据、出行APP数据等, 通过大数据分析模型挖掘客流在时间、空间上的分布规律, 精准预测不同时段、不同车站、不同换乘节点的客流强度, 为调度人员制定弹性运力配置方案提供支撑, 提前调整列车班次, 应对客流波动。(2) 智能客流疏导系统, 利用视频监控、红外传感等设备实时监测站台、换乘枢纽的客流密度, 通过车站广播、电子显示屏、手机APP等渠道, 向乘客推送实时客流信息和最优换乘路线, 同时联动闸机、扶梯等设备智能调整运行状态, 实现客流动态管控, 缓解站台拥堵<sup>[2]</sup>。(3) 突发大客流应急调度智能化, 当车站出现突发大客流时, 系统可快速识别客流异常, 自动触发应急响应机制, 调整列车发车间隔、增开临时列车, 同时联动车站工作人员开展疏导, 通过智能调度快速疏散客流, 降低踩踏等安全风险, 提升应急处置的及时性和有效性。

## 2.3 设备智能调度与运维应用

(1) 物联网技术在轨道、接触网、车站设备的实时监测应用, 在轨道线路、接触网、电梯、信号设备等关键设施上安装物联网传感器, 实时采集设备运行状态数据, 实现设备状态的全域感知, 调度人员可远程实时监控设备运行情况, 及时发现设备异常。(2) 基于AI的设备故障预测与健康管, 通过AI算法对设备运行数据进行深度分析, 建立设备健康模型, 精准预测设备故障发生时间和部位, 推动传统“事后修”“定期修”向“预测修”转型, 减少不必要的维保作业, 提升维保针对性。(3) 设备调度资源优化配置, 通过智能化系统统筹管理维保人员、备品备件、维保工具等资源, 根据设备故障位置、严重程度智能分配维保资源, 缩短维保响应时间, 提升运维效率, 同时减少备品备件积压和人力浪费, 降低运营成本。

## 2.4 多线协同与应急智能调度应用

(1) 网络化运营下多线路协同调度, 依托智能化调度平台, 打破各线路之间的信息壁垒, 实现多线路列车运行、客流数据的实时共享, 统筹调整各线路发车间隔、换乘衔接方案, 破解换乘枢纽拥堵难题, 提升网络化运营的协同效率。(2) 数字孪生技术在应急场景的仿真推演, 构建轨道交通全域数字孪生模型, 模拟火灾、设备故障、客流激增等各类应急场景, 通过仿真推演优化应急处置流程、人员分工和资源调配方案, 为实际应急调度提供科学指导, 提升应急处置能力。(3) 多部门协同应急调度系

统, 整合调度、运维、公安、消防等多部门资源, 通过智能化平台实现信息实时共享、指令快速传达, 打破部门壁垒, 形成应急处置合力, 大幅提升突发事件的响应效率和处置效果, 保障轨道交通运营安全<sup>[3]</sup>。

## 3 智能化技术应用现存问题及成因分析

### 3.1 智能化调度应用现存主要问题

(1) 技术层面: 各智能化子系统多独立建设, 集成度偏低, 难以实现数据互通共享, 数据壁垒突出; 核心算法多基于特定场景训练, 泛化能力不足, 面对复杂客流、极端天气等突发情况时, 调度决策的精准度和适应性下降。(2) 管理层面: 既懂轨道交通调度业务, 又掌握大数据、AI等智能化技术的复合型专业人才短缺, 制约技术落地应用; 智能化运维体系不完善, 缺乏针对性的运维标准和流程, 技术与实际调度业务适配度不高, 难以充分发挥技术价值。(3) 实践层面: 智能化技术多集中于基础调度环节, 在复杂应急处置、多线深度协同等场景应用不够深入; 部分技术盲目跟风引入, 未结合线路实际需求优化, 导致落地效果未达预期, 同时技术投入、运维成本偏高, 成本管控难度较大。

### 3.2 问题产生的核心成因

(1) 技术层面: 智能化核心技术部分依赖外部引进, 自主可控性不足, 核心算法和关键硬件存在短板; 不同厂商的子系统缺乏统一标准, 接口不兼容, 导致系统集成困难、数据无法有效互通, 形成数据壁垒。(2) 管理层面: 部分运营单位智能化转型理念滞后, 仍沿用传统调度管理模式, 对技术应用的重视程度和投入力度不足; 人才培养体系与行业实际需求脱节, 高校和企业缺乏联动, 难以培养出符合岗位需求的复合型人才。(3) 政策与产业层面: 轨道交通智能化调度行业标准不完善, 缺乏统一的技术规范和应用标准, 导致行业发展无序; 产业链上下游协同不足, 设备厂商、技术服务商与运营单位衔接不畅; 相关政策支撑力度有待加强, 缺乏针对性的扶持政策和激励机制。

### 3.3 典型案例分析

(1) 国内某城市轨道交通智能化调度应用案例简介: 该城市轨道交通线网引入大数据、AI及物联网技术, 搭建智能化调度平台, 实现列车运行、客流监测的初步智能化, 但在多线协同调度和应急处置方面仍有不足, 部分技术应用效果未达预期。(2) 案例中存在的问题及对应成因分析: 存在系统集成度低、多线数据不互通、应急调度智能化不足等问题; 核心成因包括子系统标准不统一、核心技术自主适配性不够, 同时运营单位转型理念滞后, 人才储备不足, 且缺乏完善的行业标准

和政策引导,导致技术落地效果不佳。

#### 4 智能化技术在轨道交通运营调度中应用的优化策略

##### 4.1 技术层面优化策略

(1) 推进系统集成与数据融合,打破信息孤岛,构建统一数据中台。梳理各智能化子系统接口标准,推动列车运行、客流、设备等多维度数据互通,整合分散资源搭建统一数据中台,实现数据集中管理、共享与高效调用,为调度决策提供精准支撑,破解系统集成度低、数据壁垒突出的问题。(2) 加强核心技术研发与自主创新,提升算法适配性与系统稳定性。加大对大数据、AI、数字孪生等核心技术的研发投入,推动企业与科研院所联动攻关,突破核心算法和关键硬件瓶颈,提升技术自主可控性;优化不同调度场景的算法模型,强化泛化能力,保障调度工作有序开展。(3) 推动数字孪生、AI大模型与调度系统深度融合,拓展应用场景。依托数字孪生技术构建全域虚拟调度场景,实现调度流程仿真优化;将AI大模型融入调度全环节,拓展复杂应急处置、多线协同调度等深度场景应用,推动智能化技术从基础应用向深度赋能转型<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 管理层面优化策略

(1) 构建专业化人才培养体系,补齐人才短板。建立高校、企业联动培养机制,针对性设置轨道交通调度与智能化技术相关课程,培养复合型专业人才;完善在职人员培训体系,开展技术实操培训,提升现有调度人员的智能化操作能力;出台激励政策,吸引行业高端人才加入,缓解人才短缺困境。(2) 完善智能化调度运维管理制度,建立常态化运维机制。结合智能化技术应用特点,制定针对性的运维标准和流程,明确运维责任分工;搭建智能化运维平台,实现运维工作的数字化、精细化管理,建立设备故障预警、快速处置的常态化机制,提升运维效率,保障系统稳定运行。(3) 树立智能化转型理念,推动业务流程与技术应用深度适配。转变传统调度管理思维,强化运营单位的智能化转型意识,加大技术应用投入;结合实际调度业务需求,优化业务流程,推动技术应用与业务工作深度融合,避免技术与业务脱节,确保智能化技术真正服务于调度效率提升。

##### 4.3 政策与产业层面保障措施

(1) 完善行业标准与规范,引导智能化技术规范应用。相关部门加快制定轨道交通智能化调度的技术标准、应用规范和安全标准,统一子系统接口、数据格式等要求,规范行业发展秩序,避免技术应用盲目化、无序化,为技术落地提供标准支撑。(2) 加强政策扶持与资金投入,鼓励企业开展技术创新与试点应用。出台针对性的扶持政策,加大对核心技术研发、试点项目建设的资金投入;设立专项扶持资金,鼓励企业开展技术创新和场景试点,总结可复制、可推广的应用经验,推动技术规模化应用<sup>[5]</sup>。(3) 推动产业链协同发展,构建“需求牵引、技术赋能”的良性生态。加强设备厂商、技术服务商、运营单位及科研院所的协同联动,建立产学研用一体化合作机制,以运营调度实际需求为导向,推动技术研发、产品升级与场景应用精准对接,构建良性发展生态,助力智能化技术高质量应用。

##### 结束语

智能化技术为轨道交通运营调度高质量发展注入强劲动力,其在列车运行、客流管控等多环节的应用,有效破解传统调度诸多痛点,实现调度效率、安全水平与服务质量同步提升。尽管当前仍面临系统集成不足、人才短缺等问题,但通过技术创新、管理优化与政策保障协同发力,可推动技术深度落地,未来需深化融合、完善生态,助力运营调度向更智能、高效、安全方向迈进。

##### 参考文献

- [1]乐梅.城市轨道交通互联互通全局调度系统研究[J].都市轨道交通,2022,(6):10-12.
- [2]赵兴东.城市轨道交通智能行车调度系统分析[J].中国高新科技,2023,(22):18-19.
- [3]曹琨.城市轨道交通运营安全应急管理及信息化[J].华东科技(综合),2021,(06):91-96.
- [4]方周泉,聂敏.智慧城市轨道交通运营管理信息化建设的探究[J].智慧中国,2023,(6):76-79.
- [5]王新伟,罗静.城市轨道交通运营安全风险管控研究[J].运输经理世界,2021,(20):10-12.