

轨道交通智能调度系统的列车晚点恢复策略

杨振坤

沈阳局集团公司调度所 吉林 吉林 132001

摘要: 本文聚焦轨道交通智能调度系统的列车晚点恢复策略。首先对晚点恢复问题进行建模,剖析核心问题与约束条件。接着设计智能调度系统架构,阐述多源数据融合机制,构建动态恢复策略库并设计智能算法。最后提出技术、管理、服务三方面保障措施。旨在通过智能调度系统,在复杂运营环境下快速缩小列车实际运行与计划时刻表的偏差,实现晚点时长最小化、网络扰动可控化、乘客出行有序化,提升轨道交通运输效率与服务质量。

关键词: 智能调度系统; 轨道交通; 列车晚点; 恢复策略

引言: 轨道交通作为城市交通的重要支柱,其运行效率和服务质量备受关注。然而,列车晚点现象时有发生,给乘客出行带来极大不便。传统恢复方式在应对复杂运营环境时,存在恢复效率低、难以兼顾全局等问题。智能调度系统的出现为解决列车晚点问题提供了新思路。本文深入探讨轨道交通智能调度系统的列车晚点恢复策略,通过建模分析、系统设计、策略制定及保障措施研究,为提升轨道交通应对晚点能力提供理论支持与实践参考。

1 轨道交通晚点恢复问题建模

1.1 晚点恢复核心问题

轨道交通晚点恢复的核心问题是在复杂运营环境下,快速缩小实际运行与计划时刻表的偏差,保障线路运输效率与服务质量的动态平衡。晚点恢复需同时解决三大核心矛盾:一是恢复速度与运行安全的矛盾,需在最短时间内调整列车运行状态,又必须严格遵守信号防护、区间容量等安全阈值;二是单列车恢复与整体网络协同的矛盾,单一列车的提速、越行等操作可能引发后续列车连锁晚点,需兼顾局部恢复与全局最优;三是恢复效果与乘客体验的矛盾,过度压缩停站时间、调整运行顺序可能影响乘客上下车效率,需在恢复效率与服务舒适度间找到平衡点^[1]。核心目标是构建“快速响应-精准调控-最小影响”的恢复机制,实现晚点时长最小化、网络扰动可控化、乘客出行有序化。

1.2 约束条件分析

轨道交通晚点恢复受多重刚性约束与柔性约束交织影响,刚性约束是保障运行安全的底线条件,主要包括:信号系统约束,列车运行需符合信号机显示要求,追踪间隔不得小于安全距离阈值;线路设施约束,区间线路的承载能力、道岔转换效率、站台容量等限制列车运行调整空间;车辆性能约束,列车的最大提速能力、制动

性能、续航里程等决定恢复操作的物理边界;运营规则约束,如高峰时段最小发车间隔、列车交路计划、乘务员工作时长等管理规范。柔性约束则聚焦服务质量,包括乘客候车时长、换乘衔接顺畅度、列车拥挤度等,需在刚性约束框架内优化调整,避免因恢复操作导致服务水平大幅下降。

2 智能调度系统下的晚点恢复策略设计

2.1 系统架构设计

智能调度晚点恢复系统采用“感知-决策-执行-反馈”的闭环架构,分为四层核心模块:感知层通过列车车载设备、轨道传感器、站台监控、气象监测等多源终端,实时采集列车位置、速度、载客量、轨道状态、客流变化等动态数据,数据传输延迟控制在秒级;网络层依托5G+边缘计算技术,构建高可靠、低时延的数据传输网络,实现感知数据的实时汇聚与边缘预处理,过滤冗余信息;决策层是系统核心,基于大数据分析、机器学习、运筹优化等技术,整合多源数据进行晚点原因诊断、影响范围预测,调用动态策略库生成最优恢复方案^[2]。执行层通过列车自动控制系统(ATC)、车站综合监控系统、乘客信息系统(PIS)等,将决策指令精准下发至列车、车站及相关设备,同时反馈执行效果;反馈层实时监测恢复方案的实施情况,对比实际运行状态与预期目标,动态调整策略参数,形成持续优化的闭环机制。

2.2 多源数据融合机制

多源数据融合机制旨在打破数据孤岛,实现异构数据的有效整合与价值挖掘,支撑精准决策。融合数据涵盖四类核心维度:列车运行数据(位置、速度、晚点时长、设备故障信息等)、线路环境数据(轨道状态、道岔可用性、供电系统状态、气象条件等)、客流数据(站台候车人数、列车载客量、换乘客流分布、突发大客流预警等)、运营计划数据(时刻表、交路计划、乘务员排

班、应急资源配置方案等)。融合过程采用“三级处理”模式:初级融合为数据清洗与标准化,通过异常值检测、数据补全、格式统一等操作,提升数据质量;中级融合为特征提取与关联分析,挖掘不同数据维度间的潜在关联,如晚点时长与客流强度、设备故障与线路状态的相关性;高级融合为决策级融合,基于融合后的特征数据,构建晚点预测模型、恢复方案评估模型,为策略生成提供数据支撑,融合精度达到95%以上,确保决策的科学性与准确性。

2.3 动态恢复策略库

动态恢复策略库是智能调度系统的核心资源,基于不同晚点场景、影响范围、约束条件,构建分类分级的策略体系,实现“一案一策”的精准调控。

2.3.1 单列车恢复策略

单列车恢复策略针对单列车因设备故障、临时限速、客流波动等导致的局部晚点,聚焦快速缩小单列车晚点时长,避免影响扩散。核心策略包括:精准提速策略,在信号系统允许范围内,优化列车牵引曲线,适度提高运行速度,同时避免急加速、急制动影响乘客体验;停站优化策略,根据客流实际情况,压缩非客流密集站点的停站时间(每站最多压缩10-20秒),或跳过客流量极小的站点;时刻表适配策略,调整后续站点的到站、发车时刻,使列车运行逐步贴计划时刻表,减少对后续列车的干扰;备用列车替换策略,若原列车故障无法快速修复,及时调度备用列车接替运行,缩短故障处置时间。

2.3.2 多列车协同策略

多列车协同策略针对晚点扩散引发的多列车连锁晚点,强调全局统筹与协同调控,实现网络整体恢复最优。核心策略包括:列车越行组织,在具备越行条件的线路区段,安排晚点较轻的列车越行晚点严重的列车,避免晚点传递;运行图动态调整,基于多列车晚点状态,优化后续区段的发车间隔、运行顺序,重构局部运行图,确保线路运输能力最大化;换乘衔接优化,协调换乘站的列车到发时刻,延长换乘衔接时间窗口,减少因晚点导致的换乘失败;交路调整策略,根据线路客流分布与晚点情况,临时调整列车交路范围,增开短途区间列车,缓解核心区段运输压力。

2.3.3 应急资源调配策略

应急资源调配策略针对重大故障、极端天气等突发场景导致的大面积晚点,聚焦快速调配各类应急资源,保障运输秩序恢复。核心策略包括:应急车辆调度,基于备用列车的位置、状态,制定最优调度路径,快速投入故障区段接替运行,或增开临时列车疏导客流;抢修

资源调配,统筹安排轨道、信号、车辆等专业抢修队伍及设备物资,根据故障位置、严重程度,制定最优抢修方案,缩短故障处置时间;人力调配策略,动态调整乘务员、车站工作人员排班,增派人员到客流密集站点、换乘站引导乘客,保障运营秩序;跨线路协同调配,若晚点影响跨线路换乘,及时与相关线路运营单位沟通,协调列车运行计划、共享应急资源,最大化降低对乘客出行的影响^[3]。

2.4 智能算法设计

智能算法是支撑晚点恢复策略精准生成与动态优化的核心技术,基于不同决策需求构建多算法融合体系。晚点预测算法采用LSTM(长短期记忆网络)结合注意力机制,输入多源融合数据,精准预测晚点时长、影响范围及扩散趋势,预测误差控制在10%以内;恢复方案生成算法基于改进遗传算法与粒子群优化算法,以“晚点时长最小化、乘客总出行时间最短、运营成本最低”为多目标函数,在多重约束条件下求解最优恢复方案,算法收敛速度较传统算法提升30%以上;动态调整算法采用强化学习算法,通过与运营环境的持续交互,实时学习恢复方案的实施效果,动态优化策略参数,适应复杂多变的运营场景;方案评估算法构建多层次指标体系(包括恢复效率、安全风险、服务质量、运营成本等),采用层次分析法与熵权法相结合的方式确定指标权重,对生成的恢复方案进行综合评估,筛选最优方案。

3 晚点恢复策略落地的保障措施

3.1 技术保障:系统集成与数据支撑

技术保障的核心在于构建一个稳定且高效的技术支撑体系,以此确保晚点恢复策略能够顺利且精准地落地实施。在系统集成层面,积极推进智能调度系统与列车自动控制系统(ATC)、车站综合监控系统、乘客信息系统(PIS)、应急指挥系统等现有系统进行深度融合。通过这种深度融合,实现各系统间的数据互通与指令互传,有效避免因系统间协同不畅而导致的恢复效率低下问题。同时,搭建统一的技术标准体系至关重要,详细规范数据接口、通信协议、算法模型接口等关键要素,从源头上保障系统的兼容性与扩展性,为后续系统的升级与拓展预留充足空间。在数据支撑方面,构建轨道交通运营大数据平台是关键举措。该平台整合列车运行、线路环境、客流、运营计划等全维度数据,形成全面且精准的数据集合。建立严格的数据质量管控机制,通过实时监测数据动态、异常预警潜在问题、定期校验数据准确性等方式,全方位确保数据的准确性、完整性和时效性。另外,加强数据安全保障不容忽视,采用加密传输技术

防止数据在传输过程中被窃取,运用访问控制技术限制数据访问权限,利用数据脱敏技术保护敏感信息,全方位防范数据泄露、篡改等安全风险,为晚点恢复策略的制定与实施提供安全、可靠的数据支撑。

3.2 管理保障:机制与人才建设

管理保障通过完善机制与强化人才建设,为晚点恢复策略的落地提供坚实的制度支撑与人力保障。在机制建设方面,建立健全晚点应急处置机制是首要任务。明确各部门、各岗位在晚点恢复过程中的具体职责分工,制定标准化的应急处置流程,确保在晚点发生时能够迅速响应、高效协同联动。完善考核激励机制,将晚点恢复效果、服务质量等关键指标纳入运营单位及相关人员的绩效考核体系,通过物质奖励与精神激励相结合的方式,充分调动工作人员的积极性,促使其积极落实恢复策略。建立跨部门、跨单位协同机制,加强与信号、车辆、供电等设备维保单位,以及公安、气象、应急管理等部门的外部沟通协作,形成强大的运营合力,共同应对晚点问题。在人才建设方面,构建多层次人才培养体系是关键。加强运营调度人员、技术维护人员的专业培训,重点提升他们在智能调度系统操作、晚点原因诊断、应急处置等方面的能力,使其能够熟练应对各种晚点情况。积极引进大数据、人工智能、运筹优化等领域的专业人才,组建专业的技术研发团队,持续推进智能算法、系统功能的优化升级,为晚点恢复提供更先进的技术支持。建立人才梯队建设机制,通过导师带徒、岗位练兵、技能竞赛等多种方式,培养一批既精通轨道交通运营业务,又掌握先进技术的复合型人才,为晚点恢复策略的长期实施提供源源不断的人才动力。

3.3 服务保障:乘客信息透明化

服务保障聚焦于提升乘客体验,通过实现乘客信息透明化,最大程度减少晚点对乘客出行的影响,进而提升服务满意度。在信息发布方面,构建多渠道、全流程的乘客信息发布体系至关重要。整合车站显示屏、列车广播、官方APP、微信公众号、短信推送、地铁电视等多种渠道,确保晚点信息能够实时、精准地传达给每一位乘客。发布内容涵盖晚点原因、预计恢复时间、列车运

行调整方案、换乘建议、退票改签政策等多个方面,确保信息全面、准确、易懂,避免乘客因信息不对称而产生焦虑情绪,让乘客能够清晰了解晚点情况并做出合理的出行安排。在信息交互方面,搭建乘客反馈渠道是提升服务质量的重要环节。通过官方APP、微信公众号、热线电话等途径,及时接收乘客的咨询、投诉与建议,并安排专人进行及时回应,让乘客感受到被重视^[4]。基于乘客反馈数据,深入分析乘客需求与痛点,针对性地优化信息发布内容与方式,提升信息服务的针对性与有效性,使信息发布更加贴合乘客实际需求。在服务优化方面,针对晚点情况,在客流密集站点、换乘站增派工作人员进行引导,帮助乘客快速找到正确的乘车路线和换乘通道。开通退票改签绿色通道,为受晚点影响的乘客提供便捷的退票、改签服务,减少乘客等待时间。在列车上、车站内提供必要的便民服务,如饮用水、休息区域等,缓解乘客等待焦虑,让乘客在晚点期间也能感受到贴心的关怀,最大限度降低晚点对乘客出行的负面影响。

结束语

轨道交通智能调度系统的列车晚点恢复策略研究,对提升轨道交通运营效率和服务质量意义重大。通过构建智能调度系统架构、设计多源数据融合机制与动态恢复策略库、运用智能算法,并从技术、管理、服务三方面提供保障,能有效应对列车晚点问题,实现快速恢复。未来,随着技术不断发展,需持续优化系统与策略,以适应更复杂的运营场景,为乘客提供更优质、高效的出行服务,推动轨道交通行业持续发展。

参考文献

- [1]黄泳霖.信息化技术在轨道交通智能调度系统中的应用与研究[J].中国信息化,2023(12):104-105.
- [2]王健,张亦然,孙舒淼等.南京都市圈轨道交通智能行车调度分析探讨[J].铁道通信信号,2023,59(03):67-73.
- [3]刘实秋.重庆市郊铁路璧铜线采用FAO系统必要性分析[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(6):63-68.
- [4]吕超.城市轨道交通智能调度系统的应用探究[J].人民公交,2025(8):134-136.