

# 地铁行车组织中的行车调整方式研究

陈文彬

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

**摘要:** 地铁运营受客流变化、设备突发故障、恶劣天气等因素影响,行车秩序常面临挑战。本文围绕地铁行车组织中的行车调整方式展开研究,详细阐述加开列车、变更交路、调整运行间隔等常见调整方式的原理与操作流程。深入分析不同场景下各类调整方式的适用性及协同运用策略,旨在为地铁运营部门提供科学合理的行车调整方案,保障地铁安全高效运行。

**关键词:** 地铁行车组织; 行车; 调整方式

**引言:** 随着城市化进程加速,地铁作为城市公共交通的骨干力量,客流量与日俱增,运营环境愈发复杂。在地铁实际运营中,客流的时段性波动、设备突发故障、自然灾害等不可预见因素,极易打乱既定的行车计划,影响运营效率与服务质量,甚至威胁乘客安全。行车调整作为保障地铁有序运营的关键手段,其科学性与合理性至关重要。因此,深入研究地铁行车组织中的行车调整方式,具有重要的现实意义。

## 1 地铁行车组织基础理论

### 1.1 地铁行车组织的核心要素

(1) 行车计划编制:核心载体为运行图与时刻表,需结合线路条件、客流需求科学规划列车运行路径、停站方案及发车间隔,明确列车到发时刻、区间运行时间等关键参数,是行车组织的前置指导性文件,直接决定运营效率与服务质量。(2) 列车运行控制:以ATC系统为核心,整合列车自动监控、自动保护、自动驾驶功能,配合信号系统实现列车运行的精准控制与安全防护,保障列车按计划有序运行,防止追尾、冲突等风险,是行车安全的核心技术支撑。(3) 客流时空分布特征与动态变化规律:需精准把握不同时段、不同站点的客流集聚与消散规律,明确高峰时段、枢纽站点的客流峰值特征,其动态变化直接影响行车计划的适配性,是行车组织优化的重要依据。

### 1.2 行车调整的必要性

(1) 突发事件的类型:主要包括设备故障(信号、车辆、供电系统等)、客流激增(大型活动、节假日等引发)、自然灾害(暴雨、地震等)及其他突发情况,此类事件易打破正常行车秩序,需及时调整应对。(2) 行车调整的双重目标:核心是实现安全性与效率的平衡,既要优先保障乘客与列车运行安全,避免风险扩大,又要尽可能减少运营中断时间,降低对乘客出行的影响,最

大化运营效率。(3) 调整决策的复杂性与实时性要求:突发事件具有不确定性,需综合考量客流变化、设备修复进度、线路条件等多因素,决策需快速精准;同时需实时响应现场动态,及时优化调整方案,确保调整措施有效落地<sup>[1]</sup>。

## 2 地铁行车组织中的行车调整方式分类与机理分析

### 2.1 按调整对象分类

(1) 列车运行调整:核心是通过停运、加开、抽线、扣停、越站等具体措施,改变列车原有运行轨迹与节奏。停运适用于车辆故障、线路阻断等极端情况,快速切断风险源;加开针对客流激增场景,补充运能缺口;抽线、扣停用于缓解局部线路拥堵或配合设备检修;越站则可提升列车运行效率,缩短重点区间通行时间。其核心机理是基于实时运行状态进行运行图动态重构与时刻表优化,实现列车运行秩序的快速恢复与适配。(2) 客流组织调整:以限流、分流、疏散、换乘引导为核心措施,通过控制进站客流密度、引导乘客选择替代线路或换乘站点、紧急疏散危险区域乘客等方式,平衡各站点、各线路的客流分布。同时,需联动票务政策(如临时优惠、延时退票)与信息发布(车站广播、APP推送),提升乘客配合度。机理在于通过人为干预客流向与集聚速度,降低运营安全风险,保障客运组织有序<sup>[2]</sup>。(3) 设备资源调整:聚焦保障行车的核心设备与资源,包括调用备用车辆补充运能或替换故障车辆、变更折返方式(如站后折返改站前折返)提升周转效率、优化供电系统确保列车动力稳定等。机理是通过优化资源配置、调整设备运行模式,最大化设备利用效率,为行车调整提供硬件支撑。

### 2.2 按调整策略分类

(1) 预防性调整:基于客流预测数据实施预调度,如节假日、大型活动前提前加密发车班次、增派工作人员、规划备用运行方案。机理是提前匹配运能与客流需

求,从源头降低运营压力,减少突发情况发生概率。(2)应急响应调整:针对设备故障、客流激增等突发事件开展实时决策,如紧急扣停列车、启动限流措施、调用应急资源。机理是快速响应突发风险,通过即时干预遏制风险扩大,保障运营安全。(3)协同优化调整:依托行车、客运、设备等多系统联动,整合车辆、人员、信息等各类资源,如调整列车运行的同时同步优化换乘引导、协调设备检修时序。机理是打破系统壁垒,实现资源高效配置,提升调整整体效果。

### 2.3 调整方式的适用场景与约束条件

(1)不同故障等级下的调整优先级:重大故障(如线路坍塌、信号系统全面瘫痪)优先采取停运、疏散等安全导向型措施;一般故障(如单列车故障、局部信号异常)优先通过抽线、备用车辆调用等方式保障线路基本通行。优先级排序核心是“安全第一、最小影响”。(2)客流密度与调整效果的关联性:客流低密度时,越站、抽线等调整方式对乘客影响较小,调整效果显著;客流高密度时,需优先采用限流、分流措施,单一调整方式效果有限,需多措施协同。(3)资源限制对调整的影响:车辆资源不足会限制加开列车的调整空间;人员短缺可能导致客流引导、设备操作效率下降;设备老化或备用设备不足会降低调整措施的实施可靠性,均会制约调整方案的落地效果。

## 3 地铁行车组织中的行车调整关键技术与方法

### 3.1 数据驱动的调整决策支持

(1)大数据在客流预测与状态评估中的应用:依托海量历史客流数据(如日均客流、高峰客流、节假日客流)、气象数据、大型活动信息等,通过大数据分析模型挖掘客流时空分布规律,实现短期、中期客流精准预测,为预防性调整提供数据支撑。同时,基于实时客流数据、列车运行数据开展运营状态评估,精准识别运营瓶颈、潜在风险,为调整决策提供客观依据,提升决策的科学性与前瞻性。(2)实时监测系统的数据融合:整合列车自动监控系统(ATS)、自动售检票系统(AFC)、视频监控系统等多源实时数据。ATS提供列车位置、运行速度、信号状态等核心行车数据;AFC实时反馈各站点进出站客流、换乘客流数据;视频监控捕捉站厅、站台客流密度、排队长度等可视化信息。通过数据融合技术打破信息壁垒,实现对行车与客流状态的全方位、立体化感知,为实时调整决策提供精准、全面的数据保障<sup>[3]</sup>。

### 3.2 智能优化算法

(1)基于遗传算法的列车运行图优化:遗传算法模拟生物进化过程,通过选择、交叉、变异等操作,在多

约束条件(如线路能力、停站时间、列车周转)下,对列车运行图的发车间隔、停站方案、区间运行时间等参数进行优化。可快速生成最优或近优的运行图重构方案,有效提升列车运行效率,降低运营成本,适配客流动态变化与突发故障后的秩序恢复需求。(2)多目标粒子群算法在资源分配中的应用:针对地铁运营中的车辆、人员、检修设备等资源分配问题,多目标粒子群算法以资源利用效率最大化、运营成本最小化、服务质量最优化等为目标,在复杂约束条件下实现资源的动态均衡分配。例如,在客流激增时,精准计算备用车辆调用数量与投放时机;在设备检修时,优化人员与设备的调配方案,提升资源配置合理性<sup>[4]</sup>。(3)强化学习在动态调整中的探索:强化学习通过智能体与运营环境的实时交互,不断学习调整策略的效果并优化决策。在地铁行车动态调整场景中,智能体可根据实时变化的客流、列车状态、故障情况,自主探索最优调整措施(如是否越站、是否扣停、如何调整发车间隔),具备较强的自适应能力,可有效应对运营环境的不确定性,提升动态调整的实时性与精准度。

### 3.3 仿真模拟与验证

(1)离线仿真平台构建:基于AnyLogic、VISSIM等专业仿真工具,构建包含线路、车站、列车、客流等要素的地铁运营离线仿真平台。可模拟不同运营场景(如正常运营、客流激增、设备故障)下的行车与客流状态,对各类调整方案进行离线验证,评估方案的可行性、有效性及潜在风险,为调整方案的优化完善提供依据,避免直接应用于实际运营带来的安全隐患与运营损失。(2)实时数字孪生技术的应用:构建地铁运营物理世界与虚拟世界的映射关系,通过实时数据驱动虚拟模型动态更新,实现对实际运营状态的精准复刻。基于数字孪生技术,可实时模拟各类调整措施的实施效果,提前预判调整方案可能存在的问题;同时,可在虚拟环境中开展调整方案的预演与优化,为实际调整决策提供实时、精准的支撑,提升调整的科学性与可靠性<sup>[5]</sup>。(3)案例验证:典型故障场景下的调整效果对比:选取信号系统故障、单列车故障、客流激增等典型故障场景,收集实际运营中的调整案例数据,结合仿真模拟结果,从调整响应时间、运营恢复效率、乘客出行影响、运营成本等维度,对不同调整方案的效果进行对比分析。通过案例验证,总结各类场景下的最优调整策略,形成可复用的经验库,为后续类似场景的调整决策提供参考,提升行车调整的规范化与高效化水平。

## 4 实证研究:以某城市地铁线路为例

### 4.1 案例背景与数据基础

(1) 线路概况: 选取某城市核心区地铁3号线为研究对象, 线路全长28.6公里, 共设22座车站, 平均站间距1.3公里, 串联城市行政中心、商业综合体及3个大型居住区。客流特征呈现显著潮汐性, 早高峰7:00-9:00单向断面客流达4.2万人次, 晚高峰17:00-19:00反向客流峰值3.8万人次; 节假日客流较平日增长35%, 核心商圈站点易出现客流拥堵。(2) 历史故障数据与调整记录分析: 整理该线路近2年运营数据, 共发生各类故障127起, 其中信号系统故障32起(占25.2%)、车辆故障28起(占22.0%)、供电故障15起(占11.8%), 其余为客流突增等外部事件。对应调整记录显示, 采用最多的调整措施为临时加开列车(48次)、站点限流(36次)、列车扣停越站(29次), 但不同调整措施的效果差异明显, 如信号故障时单纯扣停列车易导致延误扩大, 需结合备用车调用协同调整。

#### 4.2 调整策略设计与实施

(1) 针对设备故障的分级响应机制: 按故障影响范围分为四级, I级(全网瘫痪)启动最高应急响应, 实施全线停运与乘客疏散; II级(区间故障)采用抽线运行+备用车补位; III级(单列车故障)执行列车快速清客、后续列车越站; IV级(局部设备异常)微调发车间隔。以某次II级信号故障为例, 30分钟内完成故障区间隔离、备用车投放, 将线路延误时间控制在15分钟内。(2) 大客流下的多手段协同调整: 针对节假日商圈站点客流激增, 采用“加开列车+站点限流+换乘引导”协同策略。早高峰加密发车间隔至2分30秒, 增加8列临时备车; 在核心商圈站实施进站限流, 采用“蛇形通道+分批放行”模式; 通过车站广播、官方APP实时推送换乘指引, 引导乘客经相邻线路分流, 有效降低站台客流密度30%。(3) 跨线路资源调配的实践案例: 依托城市地铁运营指挥中心, 建立跨线路资源共享机制。某次3号线车辆故障导致运能缺口, 紧急调配相邻1号线2列备用车, 经联络线接入3号线运营, 同时协调1号线加密发车频次承接换乘客流, 实现“故障线路补能+相邻线路分流”双重保障, 2小时内恢复

正常运营秩序。

#### 4.3 效果评估与改进建议

(1) 调整前后的运行指标对比: 实施优化调整策略后, 线路准点率从89.5%提升至96.8%, 平均延误时间从12.3分钟缩短至4.5分钟; 乘客满意度调查显示, 对“应急处置及时性”的评分从68分提升至85分。其中, 大客流协同调整策略使核心站点拥堵时长减少40%, 跨线路调配模式较单一线路调整效率提升50%。(2) 调整策略的局限性分析与优化方向: 局限性主要表现为跨线路协调存在信息延迟、小型站点限流设施不足、智能算法应用不充分。优化方向包括: 搭建多线路实时协同调度平台, 打通数据壁垒; 升级小型站点限流设备, 增设智能客流监测终端; 引入强化学习算法, 实现调整策略的动态自适应优化, 提升复杂场景下的决策效率。

#### 结束语

地铁行车过程中, 复杂多变的状况对行车组织提出了高要求, 行车调整方式成为保障运营的关键。本文对多种调整方式展开研究, 明确了其在不同场景下的作用与实施要点。实践表明, 科学运用这些方式能有效应对突发问题、提升运营效率。但时代在发展, 地铁行车面临新挑战, 后续需持续探索创新, 优化调整策略, 让地铁行车组织更加智能、高效, 更好地服务城市交通。

#### 参考文献

- [1] 韦丽彬. 地铁行车组织中的行车调整方式分析[J]. 运输经理世界, 2020(16): 65-66.
- [2] 张明, 陈雷. 地铁行车人员管理的现状与对策分析[J]. 城市轨道交通, 2020, 15(2): 36-42.
- [3] 高志宝. 地铁运营管理信息化建设分析[J]. 科技创新与应用, 2020, (29): 189-190.
- [4] 董永伟. 地铁运营安全管理对策研究[J]. 中小企业管理与科技, 2020, (7): 17-18.
- [5] 张涛. 城市轨道交通行车组织与调度管理分析[J]. 城市轨道交通, 2022, 9(4): 103-110.