

城市轨道交通运输组织行车策略研究

贺成祥

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221011

摘要：城市轨道交通行车策略对提升运输效率和服务质量意义重大。本文围绕客流动态特征，从行车策略构建、协同实施、技术支撑及持续优化路径展开研究。阐述客流预测与响应、运力弹性调整、客流空间疏导等策略，分析线网级协同调度等协同机制，介绍智能监控等技术支撑，提出策略适应性分析等优化路径，为城市轨道交通科学组织行车提供参考。

关键词：城市轨道交通；行车策略；客流动态特征；协同实施；持续优化

引言：随着城市化进程加快，城市轨道交通客流量持续增长，客流时空分布更趋复杂。传统行车组织模式难以满足多样化出行需求，导致运力与客流需求不匹配，影响运营效率与服务质量。在此背景下，研究基于客流动态特征的城市轨道交通运输组织行车策略，实现运力与客流精准匹配，成为提升轨道交通运营水平的关键课题。

1 基于客流动态特征的行车策略构建

1.1 客流预测与响应机制

在构建基于客流动态特征的行车策略时，客流预测与响应机制是核心环节。为实现精准预测，需构建多源数据融合的客流预测模型架构。该架构整合了来自不同渠道的数据，包括但不限于自动售检票系统、视频监控数据、移动设备定位数据等，通过先进的数据处理与分析技术，挖掘客流变化的内在规律，为预测提供坚实的数据支撑^[1]。实时客流监测指标体系是预测与响应机制的重要基础。通过部署在车站各区域的传感器与监控设备，实时采集客流密度、移动速度、流动方向等关键指标，形成全面、准确的客流状态画像。这些指标不仅反映了当前客流的实际情况，也为后续预测与调整提供了动态依据。预测结果与行车计划调整的联动规则是确保行车策略灵活性的关键。根据预测结果，系统自动评估当前行车计划与客流需求的匹配程度，并依据预设的联动规则，对行车计划进行适时调整。这种调整可能涉及列车开行数量、发车间隔、停靠站点等多个方面，旨在实现运力与客流需求的最优匹配。

1.2 运力弹性调整策略

运力弹性调整策略是应对客流波动的重要手段。列车编组动态调整方面，根据客流时空分布特征，灵活采用大小交路套跑方式，通过调整列车编组长度，满足不同区段、不同时间段的客流需求。例如，在高峰时段，将

列车编组从4节车厢增加至6节车厢，以满足大客流区段的运输需求；在平峰时段，采用4节车厢编组，提高运营效率。行车间隔优化方面，基于客流波动情况，采用平滑调整方法，避免行车间隔的突变对乘客出行造成不便。假设平峰时段行车间隔为8分钟，当客流量逐渐增加时，以每15分钟为一个调整周期，每次将行车间隔缩短1分钟，直至达到高峰时段行车间隔为3分钟，确保行车间隔调整的平稳性。备用车启用方面，设定合理的启用阈值，当客流超过一定水平时，及时投运备用车，增加运力供给，确保乘客顺畅出行。例如，当车站实时客流量达到设计承载量的80%时，启用1列备用车；当客流量达到设计承载量的90%时，再启用1列备用车，总共启用2列备用车，以应对突发大客流。

1.3 客流空间疏导策略

客流空间疏导策略旨在通过优化车站空间布局与客流组织，提高车站通行效率。站厅层动线优化方面，通过物理隔离与导向标识设计，引导乘客有序流动，减少冲突与拥堵。例如，在站厅层设置5条主要动线通道，每条通道宽度为3米，并在通道关键位置设置清晰的导向标识，引导乘客快速到达目标区域。站台级限流方面，根据客流承载力与列车运能的匹配关系，实施科学的限流措施，确保站台安全有序。假设站台设计承载量为2000人，当实时站台客流量达到1800人时，启动限流措施，限制进入站台的乘客数量，确保站台客流量不超过设计承载量。多路径分流方面，通过支线、联络线运力调配机制，引导乘客选择不同路径出行，分散客流压力，提升整体运输效率。

2 行车策略的协同实施机制

2.1 线网级协同调度

线网级协同调度是确保城市轨道交通系统高效运行的关键。在跨线路调度指挥权限划分上，需依据线路重

要性、客流特征及运营需求,明确各线路调度中心的职责范围与指挥权限,确保调度指令的准确传达与高效执行^[2]。假设城市轨道交通线网包含5条主要线路,其中2条线路为骨干线路,承担60%的客流运输任务,其调度中心具有更高的指挥权限,负责协调与其他线路的行车计划;其余3条线路为辅助线路,调度中心在骨干线路调度中心的指导下开展工作。共线区段行车计划协调方法上,通过建立统一的协调机制,综合考虑各线路列车运行图、客流时空分布等因素,制定科学合理的行车计划,避免列车运行冲突,提升共线区段运输效率。例如,在共线区段,各线路列车按照1:1的比例交替运行,确保列车运行间隔均匀,提高共线区段的通过能力。换乘站客流压力均衡策略方面,通过优化换乘设施布局、调整列车到发时间、实施客流引导等措施,均衡各换乘方向客流压力,减少乘客换乘等待时间,提升换乘体验。

2.2 车地协同控制

车地协同控制是实现列车智能化运行的重要手段。列车自动调整系统功能边界需明确界定,确保系统在自动调整列车运行参数时,既能够充分利用线路运能,又能够保障列车运行安全。车载设备与地面系统的信息交互流程需高效顺畅,通过高速数据传输技术,实现列车状态、运行计划、调度指令等信息的实时共享,为列车自动调整提供准确的数据支持。人工干预与自动化控制的切换条件需科学合理,根据列车运行状态、线路条件及调度需求,灵活切换控制模式,确保列车运行既高效又安全。

2.3 应急场景策略切换

应急场景策略切换是应对突发事件、保障运营安全的重要措施。建立故障-降级-恢复三级响应机制,根据故障类型、影响范围及严重程度,分级启动应急预案,迅速恢复列车运行秩序。假设将故障分为3个等级,一级故障为严重影响列车运行的重大故障,如列车脱轨、信号系统瘫痪等,响应时间为10分钟内启动应急预案;二级故障为影响部分列车运行的故障,如单个车站设备故障等,响应时间为20分钟内启动应急预案;三级故障为对列车运行影响较小的故障,如个别乘客紧急报警等,响应时间为30分钟内启动应急预案。应急行车组织方案快速生成逻辑需清晰明确,通过预设的应急场景库与行车组织规则,快速生成符合实际情况的应急行车组织方案,指导现场应急处置工作。假设应急场景库中包含10种常见应急场景,每种场景对应一套应急行车组织方案,当发生突发事件时,系统在5分钟内根据事件类型从应急场景库中匹配出相应的应急行车组织方案。降级运

行模式下的服务水平维持标准需合理设定,确保在降级运行模式下,仍能够提供基本的服务水平,满足乘客出行需求,同时降低对整体运营的影响。

3 行车策略的技术支撑体系

3.1 智能监控系统

智能监控系统是行车策略有效实施的重要基础。客流热力图实时生成与动态展示技术,通过集成多源数据,运用先进的图像处理与数据分析算法,能够直观呈现车站各区域客流分布情况,为调度人员提供实时、准确的客流信息,助力科学决策^[3]。假设客流热力图每1分钟更新一次,能够精确显示车站各区域客流密度,将客流密度分为5个等级,分别用不同颜色表示,便于调度人员快速了解客流分布情况。列车运行状态监测指标体系涵盖速度、位置、加速度、振动等多维度参数,通过全面采集与分析这些数据,可实时掌握列车运行状态,及时发现潜在安全隐患。例如,列车速度监测精度达到 ± 0.5 千米/小时,位置监测精度达到 ± 1 米,加速度监测精度达到 ± 0.1 米/秒²,振动监测精度达到 ± 0.01 g,确保能够准确监测列车运行状态。设备健康度评估与故障预警模型基于设备运行历史数据与实时监测数据,运用机器学习与深度学习算法,对设备健康状况进行精准评估,提前预测设备故障,为设备维护与检修提供有力支持,确保行车安全。

3.2 决策支持系统

决策支持系统为行车策略制定提供智能化辅助。行车策略知识库构建方法注重知识的系统性、完整性与可更新性,通过收集、整理与分析历史行车数据、专家经验及行业规范,形成丰富的知识资源库,为策略制定提供坚实的知识支撑。假设行车策略知识库中包含10000条历史行车数据、500条专家经验和200项行业规范,能够为策略制定提供全面的参考依据。多目标优化算法选择综合考虑效率、安全与成本等多方面因素,运用先进的优化算法,在保障行车安全的前提下,实现运输效率与成本控制的最佳平衡。人机协同决策界面设计原则强调界面的友好性、直观性与易用性,通过优化界面布局、交互方式与信息展示形式,降低调度人员操作难度,提升决策效率与准确性。假设人机协同决策界面采用大屏幕显示,屏幕分辨率为1920×1080,将重要信息以图表、图形等形式直观展示,调度人员能够在5秒内获取所需信息,操作响应时间不超过1秒。

3.3 信息发布系统

信息发布系统是保障乘客知情权、提升服务质量的关键环节。乘客信息服务的时效性要求确保信息发布及

时、准确,满足乘客出行需求。假设乘客信息服务系统在突发事件发生后1分钟内发布预警信息,在列车运行调整后2分钟内发布调整信息,确保乘客能够及时获取相关信息。多渠道信息发布优先级规则根据信息类型、紧急程度及受众范围,合理确定信息发布渠道与顺序,确保重要信息优先传达。例如,将信息分为3个等级,一级信息为紧急重要信息,如突发事件、列车停运等,通过车站广播、电子显示屏、手机短信等多个渠道同时发布;二级信息为重要信息,如列车晚点、行车调整等,通过车站电子显示屏和手机短信发布;三级信息为一般信息,如线路介绍、服务提示等,通过车站电子显示屏发布。应急信息覆盖范围与更新频率标准明确应急信息发布的具体要求,包括发布范围、更新时间间隔等,确保在突发事件发生时,乘客能够及时获取准确信息,合理安排出行计划,降低事件对出行的影响。假设应急信息覆盖范围为受影响线路的所有车站和列车,更新时间间隔不超过10分钟,确保乘客能够及时了解事件进展情况。

4 行车策略的持续优化路径

4.1 策略适应性分析

行车策略的制定并非一成不变,需紧密贴合实际运营状况进行动态调整。客流特征变化是影响策略有效性的关键因素,随着城市发展、人口流动及出行习惯改变,客流在时空分布上呈现新特点,若策略未能及时响应这些变化,将导致运力与需求不匹配,影响运营效率与服务质量^[4]。新线开通对既有策略形成冲击,新线路的接入改变了线网结构与客流走向,原有策略可能无法适应新线网环境,需重新评估各线路间协调关系,调整行车计划与运力配置。技术升级为行车策略优化提供新方向,智能化、自动化技术应用促使策略向更高效、精准方向发展,如大数据分析助力客流预测更精准,人工智能算法优化行车调度决策,推动策略不断迭代升级。

4.2 优化方法论

科学的优化方法论是确保行车策略持续优化的重要支撑。基于仿真推演的策略验证流程,通过构建高度逼真的运营仿真模型,模拟不同场景下行车策略运行效果,提前发现潜在问题,为策略调整提供依据,降低实际实施风险。专家经验与数据驱动的混合优化模式,充分发挥专家对行业规律的深刻理解与数据对客观现实的

精准反映优势,将专家经验融入数据分析模型,提升策略优化科学性与实用性。策略库的动态更新与版本管理机制,建立完善的策略库,对不同版本策略进行分类存储与管理,记录策略调整背景、内容与效果,便于追溯与对比分析,为后续策略优化提供历史参考,推动策略持续完善。

4.3 实施保障机制

实施保障机制是行车策略持续优化落地的重要支撑。组织架构调整方面,构建中央-区域-车站三级管控体系,中央层面负责整体策略制定与资源统筹,区域层面负责区域内线路协调与策略执行监督,车站层面负责具体行车组织与现场管理,明确各级职责,提升管理效率。资源储备方案上,制定备用车辆、设备、人员配置标准,根据客流预测与运营需求,合理确定备用车辆数量与停放位置,储备关键设备与易损件,培训专业维修与应急人员,确保在突发情况下能够迅速投入使用,保障运营连续性。培训体系构建聚焦策略理解与执行能力提升,设计针对性培训课程,通过理论讲解、案例分析、模拟演练等方式,加深员工对策略内涵理解,提高实际操作技能,确保策略得到有效执行,推动行车策略持续优化取得实效。

结束语

城市轨道交通组织行车策略研究意义深远。通过构建基于客流动态特征的行车策略,完善协同实施机制,搭建技术支撑体系,并探索持续优化路径,能够有效提升城市轨道交通的运营效率与服务质量。在实际运营中,需紧密结合实际情况,不断调整和完善行车策略,确保城市轨道交通在城市公共交通体系中发挥更大的作用,为乘客提供更加便捷、舒适的出行服务。

参考文献

- [1]田春春.基于线网的城市轨道交通组织行车策略研究[J].建材与装饰,2024,20(22):145-147.
- [2]宋玉龙.城市轨道交通网络化行车组织优化策略研究[J].运输经理世界,2025(16):1-3.
- [3]胡思洋.城市轨道交通行车组织与调度策略探讨[J].科技资讯,2022,20(14):118-120.
- [4]王京.城市轨道交通网络化运营模式下行车组织优化研究[J].运输经理世界,2024(28):4-6.