

城市轨道交通运输组织行车策略研究

陈 炜

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400074

摘要：城市轨道交通行车策略是保障运输效率与服务水平的核心要素。本文围绕行车策略基础理论展开分析，探讨客流特征、线路条件、技术设备及运营目标对策略制定的影响，提出基于客流预测的动态调整、多目标协同优化及弹性策略设计等优化方法，并从跨部门协同、信息共享与人员培训三方面构建实施保障机制。研究强调，行车策略需兼顾效率、成本与服务质量，通过动态适配客流需求、强化技术支撑与组织协同，实现城市轨道交通运输组织的科学化与精细化。

关键词：城市轨道交通；行车策略；客流预测；多目标优化；协同机制

引言：随着城市化进程加速，城市轨道交通承担的客流运输压力持续增大，对行车策略的科学性与适应性提出更高要求。行车策略作为运输组织的核心环节，直接影响线路运输能力、运营成本及乘客服务体验。传统静态策略难以应对客流时空分布的动态变化，需通过优化运行图编制、调整列车编组与交路计划等方式实现动态适配。同时，技术设备升级与多模式交通融合趋势下，行车策略需统筹考虑信号系统约束、车辆性能及外部交通衔接等因素。研究城市轨道交通运输组织行车策略，对提升运输效率、降低运营成本及增强服务可靠性具有重要意义。

1 城市轨道交通行车策略基础理论

1.1 行车策略的构成要素

列车运行图编制是行车策略的核心环节，需兼顾运营规律性与灵活性^[1]。周期性运行图通过固定发车间隔实现规律化服务，适用于客流稳定的线路；非周期性运行图则根据实时需求动态调整行车间隔，更适应客流波动场景；混合模式结合两者优势，在主干线路采用周期性安排、支线或低密度区段实施非周期性调度，以平衡效率与成本。列车编组方案直接影响运输能力与成本，固定编组通过统一车辆数量与类型简化调度管理，但难以应对客流突变；灵活编组允许根据时段需求增减车厢数量，例如高峰期采用长编组提升运力、平峰期缩短编组降低能耗，但对车辆检修与司机操作提出更高要求。交路计划设计需匹配线路拓扑与客流分布，单一交路适用于直线型线路，实现全线均衡服务；分段交路将线路划分为多个独立运营区段，各区段采用不同行车密度，适用于客流空间分布不均衡的线路；嵌套交路通过主支线交路嵌套运行，在满足支线客流需求的同时避免主线运力浪费，常见于放射状线路网络。

1.2 行车策略的分类与特点

不同时段与场景下，行车策略需针对性调整以优化资源配置。高峰时段客流密度高、方向不均衡性强，策略侧重提升运输效率，通过缩短行车间隔、采用长编组列车、开行跨站快车等方式快速疏散大客流；平峰时段客流需求降低，策略转向降低运营成本，通过延长行车间隔、缩短列车编组、优化停站方案等方式实现节能降耗。常规运营中，行车策略以稳定服务为目标，通过标准化流程保障运行秩序；突发事件下，策略需快速响应客流突变或设备故障，通过临时加开列车、调整交路、启动公交接驳等措施维持基本服务水平。不同线路类型因功能定位差异需适配差异化策略，地铁作为城市骨干交通，需通过高密度、小编组运行满足短途高频出行需求；轻轨多服务于中低密度区域，可采用灵活编组与中等行车间隔平衡覆盖范围与运营成本；市域快轨连接城市中心与郊区，需通过长编组、大站距、快速运行实现中长距离高效通勤，同时需考虑与地铁网络的衔接协同。

2 行车策略的核心影响因素分析

2.1 客流特征

客流时空分布规律是行车策略制定的基础依据。通勤客流呈现明显的早晚高峰特征，方向性不均衡显著，早高峰以进城方向为主、晚高峰则相反，需通过加密行车间隔、开行跨站快车等方式快速疏散大客流；节假日客流分布相对分散，但旅游景点、商业中心周边站点可能出现阶段性客流激增，需动态调整局部区段运力；突发事件客流具有突发性和不确定性，如大型活动散场或恶劣天气导致客流短时间内聚集，需启动应急调度机制，通过临时加开列车、延长运营时间等措施保障运输能力^[2]。客流密度与运输能力的匹配关系直接影响运营效率，当实际客流超过线路设计运力时，需通过压缩行车

间隔、增大列车编组等方式提升运输能力；当客流密度较低时，过度密集的行车安排会导致资源浪费，需通过延长行车间隔、优化停站方案等方式降低运营成本。

2.2 线路条件

线路长度、站间距与行车速度构成相互制约的三角关系。线路长度越长，列车运行周期越长，需通过合理设置站间距平衡运输效率与服务覆盖范围——站间距过小会导致列车频繁启停，降低平均运行速度；站间距过大则可能增加乘客步行距离，降低服务便捷性。线路拓扑结构对行车策略具有决定性影响，直线型线路结构简单，适合采用单一交路均衡运营；环形线路可实现多方向客流衔接，但需通过优化列车运行顺序避免运力浪费；支线线路需考虑与主线的衔接方式，若采用共线运营模式，需通过合理设计交路与行车间隔避免主线运力被过度占用。

2.3 技术设备约束

信号系统类型直接决定行车间隔的理论最小值。基于通信的列车控制系统通过车地双向通信实现移动闭塞，可显著缩短行车间隔、提升线路通过能力；固定闭塞系统则依赖地面信号设备划分闭塞分区，行车间隔受限于闭塞分区长度，灵活性较低。信号系统的选择需结合线路运输需求与技术经济性，遵循城市轨道交通信号系统设计与应用规范，确保系统性能与行车策略适配。车辆性能参数影响行车策略的可行性与经济性，加速性能强的列车可缩短站间运行时间，提升运输效率；制动性能优的列车可适应更短的行车间隔，增强线路适应性；最高速度参数则需与线路设计速度匹配，避免因速度不匹配导致资源浪费。车辆编组灵活性受制于车辆设计，模块化设计的车辆可通过增减车厢数量快速调整运力，非模块化车辆则需通过整体替换实现编组调整，灵活性较低。

2.4 运营组织目标

运输效率与服务质量是行车策略需平衡的核心目标。准点率与周转率是衡量运输效率的关键指标，需通过优化运行图编制、减少列车晚点等方式提升；舒适度与便捷性则反映服务质量，需通过控制列车拥挤度、优化停站方案等方式实现。两者的平衡需结合运营实际需求，参考城市轨道交通运营服务质量评价标准，建立量化评价体系，确保策略调整符合服务与效率双重要求。成本约束下，行车策略需在保障基本服务水平的前提下降低运营成本，能耗成本可通过优化列车运行曲线、采用再生制动能量回收技术等方式控制；人力成本可通过提高自动化水平、优化司机排班等方式降低；设备维护

成本则需通过合理安排检修计划、延长设备使用寿命等方式优化。

3 行车策略的优化方法

3.1 基于客流预测的动态调整

实时客流监测技术通过整合自动售检票系统、视频分析、移动通信等多源数据，实现对车站客流密度、列车拥挤度的实时感知^[1]。短时客流预测模型结合历史数据与实时信息，采用时间序列分析、机器学习等方法，对未来时段内客流分布进行精准推演，为行车策略调整提供数据支撑。动态运行图调整机制依据客流预测结果，通过智能调度系统实现行车策略的实时优化：当预测到某区段客流激增时，可临时加开列车以补充运力，避免客流积压；当预测到客流空间分布不均衡时，可调整列车交路，将部分列车从低密度区段调至高密度区段，实现运力与需求的动态匹配。调整过程需兼顾列车运行安全与调度规则，确保行车间隔、折返能力等关键参数满足技术约束。

3.2 多目标协同优化模型

运输效率、服务质量与运营成本构成行车策略优化的核心目标集，三者间存在复杂冲突与协调关系。提升运输效率需缩短行车间隔、增加列车开行对数，但可能引发运营成本上升与服务质量下降；提高服务质量需控制列车拥挤度、优化停站方案，但可能牺牲运输效率；降低运营成本需减少能源消耗、优化设备维护，但可能影响运输效率与服务可靠性。多目标决策方法通过量化各目标权重，构建综合评价函数实现策略优化：层次分析法将复杂问题分解为多层次结构，通过两两比较确定各目标相对重要性，最终合成总排序结果；模糊综合评价引入模糊数学理论，处理目标间的不确定性关系，通过隶属度函数与权重分配实现策略的模糊优选。优化过程需结合线路实际条件与运营需求，动态调整目标权重以适应不同场景。

3.3 弹性策略设计

弹性策略设计旨在提升行车策略对突发事件的应对能力，通过预设备用方案与鲁棒性分析实现策略的灵活适配。针对大客流场景，可设计分级响应机制：当客流超过预警阈值时，启动一级响应，通过加开列车、延长站停时间等方式疏导客流；当客流持续激增时，启动二级响应，调整列车交路、启用备用车底以提升运力。分级响应机制的阈值设定需基于客流监测数据与线路运输能力，参考城市轨道交通突发事件应急处置规范，确保响应及时且合理。针对设备故障场景，可制定降级运行模式：当信号系统故障时，采用电话闭塞法组织行车；

当车辆故障时,将故障列车移至折返线或存车线,通过调整后续列车运行计划维持基本服务。策略鲁棒性分析通过构建扰动场景库,模拟不同突发事件对行车策略的影响,评估策略的抗干扰能力与适应性;适应性分析则通过对比策略在不同线路条件、客流特征下的表现,识别策略的适用范围与改进方向,为策略的持续优化提供依据。

4 行车策略的实施与协调机制

4.1 跨部门协同

运输调度与客运服务的联动是行车策略落地实施的关键环节。运输调度部门负责列车运行计划编制与实时调整,需根据客流变化、设备状态等信息动态优化行车间隔与交路安排;客运服务部门则直接面向乘客,需通过站台秩序维护、乘客引导等措施保障运输效率^[4]。两部门需建立常态化沟通机制,例如通过联合值班制度实现信息共享,当运输调度部门调整行车计划时,客运服务部门可同步调整站台岗位配置与乘客引导方案,避免因信息滞后导致服务断层。与公交、出租车等外部交通方式的衔接需构建多模式协同运输体系,通过数据共享平台实现客流信息互通,例如将地铁站点客流数据同步至公交调度系统,指导公交企业动态调整线路发车间隔;在地铁站点周边设置出租车临时停靠点,通过电子指示牌引导乘客快速换乘,减少站外滞留时间,提升整体运输效率。

4.2 信息共享与决策支持

数据驱动的行车策略决策平台是实施动态调整的技术支撑。平台架构需整合多源数据资源,包括自动售检票系统、视频监控、列车运行状态监测等,通过数据清洗与融合技术形成统一数据仓库,为策略优化提供全面信息基础。基于数据仓库构建分析模型,例如利用机器学习算法预测短时客流分布,结合遗传算法优化列车运行图,实现行车策略的科学决策。实时信息交互技术通过乘客信息系统与调度指挥系统的深度融合,提升信息传递效率:乘客信息系统可向乘客推送列车到站时间、拥挤度等实时信息,引导乘客合理选择乘车时段与车厢位置;调度指挥系统可接收乘客反馈信息,例如通过车载设备收集乘客紧急求助信号,快速定位问题并调整行车策略。信息交互需遵循标准化协议,确保不同系统间数据兼容性与传输稳定性。

4.3 人员培训与组织保障

行车策略实施对调度员、司机等岗位的专业能力提出更高要求。调度员需掌握多目标优化方法,能够根据客流波动、设备故障等突发情况快速调整运行计划;司机需熟悉不同交路、编组下的驾驶操作规范,并具备紧急情况下的手动驾驶能力。为此,需建立分层分类的培训体系,例如通过模拟驾驶系统训练司机应对复杂场景的能力,利用案例库开展调度员决策能力培训,并定期组织跨岗位联合演练,提升团队协作效率。应急预案的制定与演练是保障行车策略鲁棒性的关键环节^[5]。需针对大客流、设备故障、自然灾害等场景,编制涵盖客流疏导、列车调整、救援组织等环节的应急预案,明确各部门职责与响应流程;通过定期演练检验预案可行性,例如模拟信号系统故障时,调度部门如何快速切换备用通信方式,客运服务部门如何组织乘客有序疏散。演练结果需反馈至预案修订环节,形成“制定-演练-改进”的闭环管理机制,确保行车策略在极端情况下仍能维持基本服务功能。

结束语

城市轨道交通组织行车策略的优化需以客流需求为导向,以技术支撑为保障,通过动态调整运行计划、协同多部门资源及强化人员能力培训,构建适应复杂运营场景的策略体系。实践中,需持续完善数据驱动的决策平台,提升信息交互效率,确保策略调整的及时性与精准性;通过常态化演练与预案修订,增强策略对突发事件的应对能力。行车策略的科学化与精细化是城市轨道交通高质量发展的关键路径,需在运营实践中不断探索与完善。

参考文献

- [1]刘媛.基于路网的城市轨道交通组织行车策略分析研究[J].文渊(高中版),2021(12):2533-2534.
- [2]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.
- [3]严亚庆.基于智能调度系统的城市轨道交通行车组织优化[J].时代汽车,2025(12):181-183.
- [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.
- [5]来玉龙.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.