

基于客流大数据的城市轨道交通车站客运组织优化策略研究

陈莹 薛会林

郑州交通发展投资集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 随着线网规模的迅速扩张和乘客出行需求的持续增长,部分轨道交通车站尤其在高峰时段面临严重的客流拥挤、滞留甚至安全隐患等问题,传统的静态、经验型客运组织模式已难以满足精细化、动态化管理的需求。在此背景下,如何利用日益丰富的客流大数据资源,构建数据驱动的车站客运组织优化体系,成为当前城市轨道交通运营管理的重要课题。本文首先分析了城市轨道交通车站客运组织面临的典型问题与挑战,继而系统梳理了客流大数据的来源、特征及其在车站管理中的应用价值;在此基础上,提出了基于客流大数据的车站客运组织优化框架,并从客流预测、设施布局优化、动态引导、应急响应及人员调度五个维度深入探讨具体优化策略。研究表明,融合多源客流大数据并构建智能决策支持系统,可显著提升车站运营效率、安全水平与乘客满意度。

关键词: 城市轨道交通; 客流大数据; 客运组织; 优化策略; 智能调度

引言

传统车站客运组织主要依赖历史经验、固定时刻表和人工巡查,缺乏对实时客流状态的精准感知与动态响应能力。面对复杂多变的客流环境,亟需引入以数据为核心的新型管理模式。近年来,随着自动售检票系统(AFC)、视频监控系统(CCTV)、Wi-Fi/蓝牙探针、移动信令、手机APP等技术的广泛应用,轨道交通系统积累了海量、高维、实时的客流数据。这些数据蕴含着乘客出行规律、空间分布特征、行为偏好等丰富信息,为实现车站客运组织的精细化、智能化提供了前所未有的机遇。因此,本文聚焦“基于客流大数据的城市轨道交通车站客运组织优化策略”这一核心议题,旨在系统探讨如何有效整合与利用多源客流数据,构建科学、高效、安全的车站运营管理体系,为提升城市轨道交通服务品质与韧性提供理论支撑与实践路径。

1 城市轨道交通车站客运组织现状与挑战

1.1 客运组织的核心任务

城市轨道交通车站客运组织是指在保障安全的前提下,通过合理配置人力、设备与空间资源,引导乘客有序完成进站、购票、安检、候车、乘车、换乘、出站等全过程的管理活动。其根本目标在于构建一个安全、高效、便捷且人性化的出行环境。具体而言,客运组织不仅要防止因过度拥挤引发的安全事故,还需最大限度减少乘客在站内的无效等待与迂回行走时间,同时优化有限空间资源的使用效率,避免局部区域成为通行瓶颈。

此外,随着公众对出行体验要求的不断提升,提升服务温度、增强乘客满意度也逐渐成为衡量客运组织成效的重要维度。

1.2 当前面临的主要挑战

当前,城市轨道交通车站客运组织正面临多重结构性与运行性挑战。(1) 客流时空分布高度不均衡:受通勤、通学、节假日、大型活动等因素影响,客流呈现明显的“潮汐性”和“尖峰性”。例如,早高峰进城方向、晚高峰出城方向客流集中,部分换乘站在特定时段瞬时客流量远超设计容量。(2) 突发事件应对能力不足:设备故障、天气突变、公共安全事件等易引发突发大客流,传统应急预案多为静态预案,缺乏实时感知与动态调整机制,响应滞后^[1]。(3) 设施布局与客流需求脱节:部分早期建设的车站未充分考虑未来客流增长,闸机数量、扶梯配置、站台宽度等硬件设施难以适应当前需求,导致瓶颈效应。(4) 信息引导手段单一:现有导向标识多为静态设置,无法根据实时客流状态动态调整引导策略,乘客易在复杂站内迷路或聚集。(5) 人力资源调配粗放:站务人员排班多依据固定班次,难以根据实时客流波动灵活增援,造成人力资源浪费或关键岗位人手不足。上述问题表明,传统“以车为中心”的运营模式已难以适应“以乘客为中心”的高质量发展要求,亟需向数据驱动、智能响应的新范式转型。

2 客流大数据的内涵与价值

2.1 客流大数据的主要来源

表1: 客流大数据的主要来源

数据类型	来源系统	数据特征	应用价值
AFC交易数据	自动售检票系统	包含进出站时间、站点、卡号(匿名化)、票价等	宏观OD分布、断面客流、换乘行为分析
视频监控数据	CCTV系统	实时视频流、人数统计、密度热力图	实时客流监测、异常行为识别
Wi-Fi/蓝牙探针数据	车站无线网络	MAC地址(匿名)、停留时长、移动轨迹	微观乘客路径、滞留点识别
移动信令数据	运营商基站	用户位置、移动速度、驻留区域	大范围出行链、外部客流预测
APP定位数据	地铁官方/第三方APP	GPS轨迹、查询记录、反馈评价	出行意图、服务满意度
列车运行数据	ATS系统	列车到发时刻、满载率、延误信息	与站内客流联动分析

2.2 客流大数据的核心特征

客流大数据具备典型的“5V”特征。其体量之大体现在日均数千万级的交易记录与视频流数据；其生成与更新速度之快要求系统具备分钟级甚至秒级的处理能力；其多样性表现为结构化数据（如AFC交易）与非结构化数据（如视频图像、文本评论）并存；其价值密度相对较低，需要借助先进的算法模型从中提取有效信息；而其真实性则受到设备精度、信号干扰、用户行为偏差等多重因素影响，需通过数据清洗与融合技术加以保障。正是这些特征决定了客流大数据的应用不能停留在简单的统计汇总层面，而必须依托人工智能、大数据分析等技术手段进行深度挖掘与智能解读。

2.3 在客运组织中的应用价值

客流大数据的核心价值在于推动客运组织从“被动响应”向“主动干预”转变，实现全周期闭环管理。在事前阶段，通过对历史与实时数据的建模分析，可精准预测未来短时客流趋势，为资源预置提供依据；在事中阶段，系统可实时监测关键节点的客流密度，一旦发现异常聚集，立即触发动态引导、限流或人员增援等干预措施；在事后阶段，通过对比措施实施前后的客流变化，可科学评估组织方案的有效性，并反馈至模型参数优化与长期规划决策中^[2]。这种“预测—调控—评估”的闭环机制，使得客运组织不再依赖模糊的经验判断，而是建立在坚实的数据基础之上，从而显著提升运营的科学性与韧性。

3 基于客流大数据的客运组织优化框架

本文提出一个“感知—分析—决策—执行—反馈”五层闭环优化框架，以系统化整合客流大数据在车站管理中的应用。该框架以多源传感器网络为起点，全面采集站内外客流原始数据，构成感知层；随后，通过数据清洗、融合、特征提取等技术手段，将原始数据转化为具有业务意义的客流指标，形成分析层；在此基础上，结合短时预测模型与仿真平台，生成针对当前或未来场

景的优化方案，进入决策层；方案确定后，通过可变信息板、广播系统、移动终端及现场人员等渠道予以实施，即执行层；最后，系统持续收集执行过程中的客流反馈数据，用于评估措施效果并迭代优化模型与策略，完成反馈层。这一框架强调数据流与业务流的深度融合，不仅实现了对客流状态的实时掌控，更构建了“数据驱动决策、决策指导行动、行动反哺数据”的良性循环机制，为车站客运组织的智能化转型提供了系统性解决方案。

4 客运组织优化的具体策略

4.1 基于机器学习的短时客流预测

准确的客流预测是实施前瞻性客运组织的前提。传统的时间序列模型如ARIMA虽在平稳客流场景下表现尚可，但在面对节假日、恶劣天气或突发事件等非线性、突变性强的场景时，预测精度显著下降。近年来，深度学习方法因其强大的非线性拟合能力而被广泛应用于客流预测领域。长短期记忆网络(LSTM)能够有效捕捉客流数据中的时间依赖关系，适用于单个车站进出站客流的短时预测；图卷积网络(GCN)则将轨道交通线网抽象为图结构，通过节点间的邻接关系建模站点间的空间关联性，特别适合分析客流在网络中的传播与扩散效应；而Transformer模型凭借其自注意力机制，能够同时关注长时间跨度内的关键信息，在处理特殊日期或长周期趋势时展现出优势。

4.2 设施布局与通行能力优化

在掌握客流时空分布规律的基础上，可对车站内部设施布局进行精细化调整，以匹配实际需求。例如，通过分析AFC数据与视频热力图，可识别进出站与出站客流比例严重失衡的时段，进而动态调整双向闸机的通行方向，或将部分闲置的出站闸机临时转为进站使用，有效缓解入口排队压力。在垂直交通方面，针对换乘通道或站厅至站台的楼梯、扶梯区域，可根据客流流向实施“潮汐式”管理：早高峰时段将更多扶梯设置为下行（进站方向），晚高峰则反向调整，或在特定通道实行“左行

右立”与“双向通行”交替策略，以最大化通行效率^[3]。此外，安检环节作为进站流程的关键瓶颈，亦可通过预测结果实现弹性开放——在预测到大客流即将到达前，提前开启备用安检通道，并动态调配安检人员，从而显著缩短乘客排队等候时间。这些措施虽不涉及大规模土建改造，却能通过灵活的运营策略释放现有设施的潜在通行能力。

4.3 动态客流引导与信息发布

静态导向标识难以应对复杂多变的客流环境，而基于实时数据的动态引导系统则能有效提升乘客的路径选择效率。车站内设置的可变信息显示屏（PIDS）可实时显示各出口的拥挤程度、下一班列车的预计满载率以及推荐的换乘路径，帮助乘客避开拥堵区域。同时，通过与地铁官方APP或第三方导航平台对接，系统可向即将到达车站的乘客推送个性化提示，如“建议选择B出口以避免人流”或“当前1号线站台较为空旷”，实现信息的前置引导。在站内，语音广播系统亦可与客流监测平台联动：当某区域的实时密度超过预设阈值时，自动触发疏导广播，提醒乘客分散候车或选择其他路径。为确保引导策略的科学性，通常需借助AnyLogic、Legion等客流仿真软件，在虚拟环境中模拟不同方案下的乘客流线与聚集情况，择优实施，从而在保障安全的同时提升整体通行效率。

4.4 突发大客流应急响应机制

针对设备故障、大型活动散场或极端天气等可能引发突发大客流的场景，需建立一套分级、联动、快速的应急响应机制。该机制以实时客流监测为基础，设定多级预警阈值：当站台或通道的客流密度达到设计容量的70%时，触发黄色预警，启动广播引导与人员巡视；若密度进一步上升至90%，则升级为橙色预警，采取关闭部分入口、设置蛇形围栏限流等措施；一旦超过100%的安全红线，立即启动红色预警，协调公交集团开行应急接驳车，并请求调度中心安排列车跳停或加开空车疏运^[4]。整个过程依赖于视频AI对站内密度的实时计算，并结合列车满载率、外部事件信息等多维度数据进行综合风险评估，确保响应措施的及时性与精准性，最大限度降低安全风险。

4.5 智能化人员调度与岗位配置

人力资源是客运组织中最灵活也最关键的要素。传统的固定排班模式难以匹配客流的动态波动，而基于客流预测的智能调度系统则能实现人力的精准投放。通过构建车站的数字孪生模型，将三维空间与实时客流数据叠加，管理人员可直观看到各区域的人力需求缺口。站务、安检、保安等岗位人员配备移动终端，接收由系统自动生成的任务指令，快速支援拥堵区域。例如，在预测到某换乘通道将在10分钟后迎来客流高峰时，系统可提前通知附近巡逻人员前往值守。此外，通过整合乘客投诉记录、事件处理时效、现场录像等数据，还可对人员绩效进行量化评估，为后续的培训与考核提供依据，从而形成“预测—派单—执行—评估”的闭环管理，全面提升人力资源的使用效率与服务质量。

5 结语

本文系统探讨了基于客流大数据的城市轨道交通车站客运组织优化策略。研究表明，通过整合AFC、视频、移动信令等多源数据，构建“感知—分析—决策—执行—反馈”闭环体系，可在客流预测、设施优化、动态引导、应急响应和人员调度等方面实现显著提升，有效缓解车站拥堵、保障运营安全、改善乘客体验。未来研究可从以下方向深化：一是探索视频、音频、社交媒体文本等多模态数据的深度融合，构建更全面的乘客行为画像；二是基于强化学习等方法，模拟个体乘客在复杂环境中的路径选择与避让决策，提升微观仿真精度；三是推动车站组织与列车调度、公交接驳乃至城市路网信号控制的跨系统协同优化，实现更大范围的交通效率提升；四是高度重视数据应用中的隐私保护与伦理规范，通过差分隐私、联邦学习等技术手段，在释放数据价值的同时保障公民个人信息安全。

参考文献

- [1]潘明宇.大数据分析在城市轨道交通客流预测与调度中的应用[J].人民公交,2025,(18):99-101.
- [2]张世涛.大数据技术在城市轨道交通客流预测中的应用研究[J].今日制造与升级,2025,(04):91-94.
- [3]彭泽宇.轨道交通网络客流大数据可视化研究分析[J].黑龙江交通科技,2023,46(07):177-179.
- [4]杨广禄.基于城市轨道交通运营大数据的客流分析方法探讨[J].机电工程技术,2022,51(10):230-234.