城市轨道交通客流预测与行车组织优化研究

王子恒

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221000

【摘　要】：随着城市化的发展，城市轨道交通路网规模越来越大，成为城市公共交通的主要载体。客流分布的时空差异性、潮汐性、突发性越来越明显，传统的固定模式的行车组织方案不能适应动态客流的变化，容易出现高峰时段运力不足、客流拥堵，平峰时段运力闲置、资源浪费等问题。本文根据城市轨道交通客流分布特点，整理出主流的客流预测方法，联系实际运营情况分析行车组织存在的不足，从精准客流预测、运力动态匹配、运行方案优化等方面提出改进措施，用线路实例来检验方案的可行性，以提高轨道交通运输效率、降低运营成本、改善乘客出行体验为目标，为城市轨道交通精细化运营管理提供一定的借鉴。

【关键词】：城市轨道交通；客流预测；行车组织；运力匹配；运营优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.031

1 城市轨道交通客流特征与预测方法

（1）客流主要分布特征：城市轨道交通客流变化受城市居民出行规律影响，主要特点有三个。一是时间差异性，工作日客流呈典型的双峰分布，早高峰在七点到九点，晚高峰在十七点到十九点，午间和夜间客流流量急剧减少，周末和节假日客流峰值推迟，峰值时长加长，分布比较平缓。第二是空间差异性，中心城区、交通枢纽、商业密集区站点客流流量大、换乘客流集中，郊区线路站点客流稀疏，线路上下行区间有明显的潮汐客流特征。三是突发不确定性，大型文体活动、节假日商圈促销、极端天气等都会造成短时间内大客流的出现，客流增长速度快、聚集密度高，容易超过常规运力承载能力。

（2）主流客流预测方法：客流预测就是根据历史运营数据、城市出行数据、土地利用特征等信息，对未来时间段内站点、区间、线路客流流量进行预测，为行车组织方案的编制提供数据支持。目前行业内主流的预测方法有三种，适用于不同的运营场景。

一是传统的统计预测方法，以趋势外推法、时间序列法为主，利用历史客流数据的变化规律来推算未来客流的发展趋势，模型结构简单、计算速度快，适合于常规工作日、平稳时段的常态客流预测，可以迅速给出基本的客流数据，但是对突发客流、节假日客流的预测精度较低。二是机器学习预测方法，以 BP 神经网络、聚类分析模型为主，可以整合时段、天气、周边业态、出行节假日等各方面的因素来预测客流的变化规律，能够更好地预测出突发客流、特殊时段的客流情况，满足目前精细化运营的要求，是目前的主要预测方法。三是耦合预测方法，把客流廊道特征和站点属性融合起来，把土地利用、人口分布、路网结构这些静态数据同实时进站客流、列车载客量这些动态数据综合起来，从而达成对线路以及全网客流的全方位预估，适合于大型路网整体运力规划。

2 轨道交通行车组织现存主要问题

（1）客流预测精度不足，运力匹配滞后：一些中小城市的轨道交通运营仍然使用传统的单个预测模型，只用历史的客流数据进行简单的推演，并没有考虑到天气、大型活动、城市施工等扰动因素，造成客流预测的结果同实际客流存在较大的差异。高峰时段预测的客流偏低，运力投放不足，造成列车满载率偏高，站台客流积压；平峰时段预测的客流偏大，运力投放过多，造成列车空载率偏高，造成车辆、电力、人力等运营资源的浪费。

（2）行车方案固化，动态调整能力薄弱：常规行车组织大多使用固定行车间隔、固定列车编组的标准化方案，缺少动态调整机制。由于线路潮汐客流的特征，上下行运力配置均衡化造成高峰主流方向运力紧张、支流方向运力闲置。同时对于突发的大客流、列车轻微晚点等情况下，调度调整方式单一，列车周转率低，不能很好地适应客流量的变化。

（3）快慢车运营适配性不足，客流疏导效率低：郊区延伸线路普遍存在着长距离出行和短途通勤叠加的客流特点，常规站站停模式耗时太长，不能满足长距离乘客快速出行的要求。部分线路设置的快慢车方案缺少客流支撑，越行站点设置不合理，不但不能提高通行效率，反而会带来列车晚点、区间拥堵等行车秩序问题。

3 客流预测与行车组织优化策略

（1）优化客流预测模型，提升数据精准度：创建多维耦合客流预估体系，把历史客流数据同时段特性，气象状况，站点周边活动等众多要素融合起来，运用机器学习模型取代传统的统计模型，针对不同的场景展开客流预估。对于常规工作日

使用时间序列模型提高预测速度，节假日、大型活动期间使用神经网络模型提高预测精度，对各个站点、各个区间、各个时间段的客流数据进行细分。建立预测数据动态校核机制，每天将预测客流和实际客流进行比较，修正模型参数，不断减小预测误差，给行车组织优化提供准确的数据支持。

（2）推行分时段动态运力匹配：根据准确的客流预测结果，打破固定的行车方案，实行分时、分向的差异化运力调配。早晚高峰高密度发车，压缩行车间隔，用大编组列车提高峰值运力，平峰时段适当延长行车间隔，用小编组列车降低空载损耗，夜间低峰时段减少班次，优化车辆周转路径。对潮汐客流较大的线路采取上下行不同的发车间隔方式，主流方向增加班次，支流方向减少运力，使运力和客流相匹配。

（3）优化快慢车行车组织模式：根据郊区长线路客流特点，用站点客流等级划分来优化快慢车方案。把客流集中度高的交通枢纽、核心商圈站点设为一级停靠站，所有列车必须停靠；普通通勤站点为二级停靠站，普通列车停靠、快车跨越。合理设置列车越行区间的长度和位置，调整好快慢车的搭配比例，满足短途乘客出行需求的时候，也能够缩减长距离乘客的出行时间。规范快慢车调度规则，减少越行作业给整体行车秩序造成的干扰，提高线路整体通行效率。

（4）构建全网协同优化机制：创建路网一体化调度体系，破除各个线路的数据壁垒，让全网的客流数据、列车运行数据可以互通有无。加强换乘节点的专项控制，按照换乘客流预判数据联动调整相邻线路发车间隔，疏导换乘客流。按照突发大客流的状况，制定出分级应急行车组织方案，用临时加开列车、调整编组、临时限流联动等方式迅速解决客流积压的风险，提高全网运营的稳定性。

4 实例应用与效果分析

以某城市轨道交通 2 号线为研究对象，该线路经过城市的核心商圈、交通枢纽和郊区居住区，全长 22.8 公里，设站 18 座，潮汐客流特征明显，早晚高峰拥堵严重，平峰运力浪费严重。本文将上述优化策略应用到该线上平台之后，就其运行指标的变化进行了为期三个月的运营改进试验。

表 1 应用效果分析

运营指标	优化前	优化后	优化提升效果
高峰平均满载率	98.2%	85.6%	下降 12.6 个百分点
平峰空载率	42.5%	28.3%	下降 14.2 个百分点
列车准点率	96.1%	99.2%	提升 3.1 个百分点
单趟平均周转时长	52min	48min	缩短 4 分钟
日均运营能耗	2860kWh	2410kWh	下降 15.7%

从上表数据可以看出，优化之后的线路运力供需匹配度大大提高。高峰时段列车满载率在合理区间内，彻底解决了站台客流积压的问题，乘客出行的舒适度大大提高。平峰时段空载率明显降低，运营资源的浪费问题得到了有效的改善。伴随着列车周转效率的不断提高，准点率也越来越大，运营稳定性明显提高，运营能耗明显降低，从而达到安全、高效、节能的精细化运营目的。经过实践证明，以精准客流预测为基础的动态行车组织优化方案，契合城市轨道交通客流时空变化特点，具有较好的操作性以及推广意义。

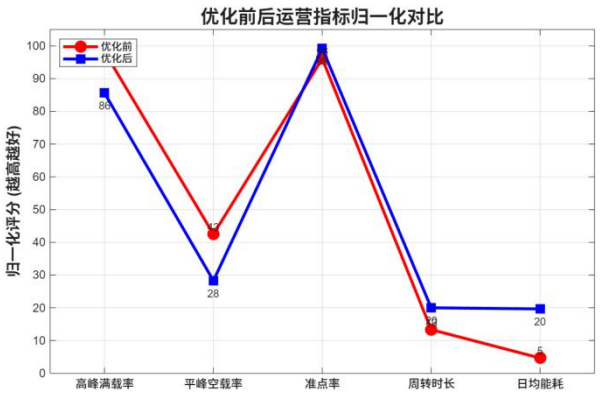


图 1 归一化对比

5 结论

城市轨道交通行车组织核心优化逻辑就是依靠精确的客流预测来达到运力资源动态最优配置的目的。通过对轨道交通客流时空分布特点的分析，找出传统运营模式下客流预测不准、行车方案固定、全网协同差等问题，给出多方面客流预测改善方法、按时间段差别化运力安排、快慢车模式改进、整个网络联动调度等具体举措。经过实例的检验，该种优化方案能较好地解决高峰拥堵和平峰空载之间的供需矛盾问题，提高列车运行效率、准点率，降低运营能耗，改善乘客的出行体验。

参考文献：

[1] 赵慧.基于数字孪生的城市轨道交通客流动态预测研究[J].人民公交,2026,(14):154-156.

[2] 吴宁宁,王东,李玲琦,等.武汉市轨道交通运营网络多维度客流特征及启示[J].都市快轨交通,2026,39(3):101-109.