

城市轨道交通客流特征分析与行车组织优化策略研究

牟志宇

中建（天津）轨道交通投资发展有限公司 天津 300381

摘 要：城市轨道交通已经成为城市公共交通体系的核心骨干，承担着城市绝大部分通勤与日常出行客流。本文从时间空间、常规与非常规客流多个维度开展客流特征分析，系统总结日周客流变化规律、早晚高峰分布特点、区间与站点空间差异，以及节假日和突发客流的波动特征。结合现阶段行车组织存在的供需错配问题，从分时段行车间隔调整、潮汐客流适配的大小交路优化、高峰区段运力补强、平峰低谷节能降耗运营等方面提出成套优化策略。

关键词：城市；轨道交通；客流特征分析；行车组织优化；策略

引言

在长期运营过程中，多数线路仍采用较为固定的行车组织方案。运行图调整幅度有限，运力配置方式相对粗放，无法随客流波动进行动态适配。高峰饱和和区段长期存在运力缺口，客流疏导压力较大。平峰和低谷时段运力投放过多，造成大量运输资源闲置和能源浪费。节假日及突发客流出现时，常规行车模式适配性不足，容易引发短时拥堵和运营秩序波动。这些问题直接影响线路运输效率与服务质量，制约轨道交通精细化运营水平的提升。

1 城市轨道交通客流数据处理与特征分析

1.1 时间维度客流特征分析

（1）日客流变化主要体现在单日全天客流的时序分布差异。常规运营日内的客流并不会保持稳定状态，会随着居民出行节奏呈现阶段性起伏变化。清晨时段整体客流处于较低水平，出行人群数量偏少，线路整体运力处于富余状态。随着日间工作出行需求提升，客流会逐步攀升并形成集中出行时段。午后客流整体趋于平缓，出行需求相对分散，客流压力处于中等水平。晚间随着通勤返程、生活出行的叠加，客流会再次出现阶段性回升。夜间时段客流快速回落，整体线路运输压力持续降低。单日客流的起伏变化，能够直观体现轨道交通全天运力供需的动态变化关系。（2）周度客流特征主要体现在工作日与休息日的整体客流差异性。工作日居民通勤出行需求稳定且集中，整体客流基数偏大，客流时段分布相对固定，高峰时段客流聚集效应更加突出^[1]。休息日通勤需求基本消失，出行多以休闲活动和短途出行为主，客流整体规模有所下降，客流分布更加平缓，高峰时段拥挤程度明显弱化，全天客流波动幅度更小。

这种周循环的客流差异，使得轨道交通线路每周都会呈现出规律的运力供需变化，需要差异化匹配行车组织方案。（3）早晚高峰客流演变是时间维度分析的核心重点。早高峰主要集中在日间上班通勤时段，客流增长速度快，持续时间相对集中，上行方向客流压力显著提升，客流集聚特征极强。晚高峰对应下班返程时段，客流持续时间更长，客流回落速度相对平缓，双向客流压力均有所增大。平峰时段客流分布均匀，不存在明显的客流堆积问题。早晚高峰与平峰时段的客流不均衡特征，是造成线路短时运力紧张、车厢拥挤、资源分配不均的主要原因。

1.2 空间维度客流特征分析

（1）区间客流是空间分析当中的重要组成部分，反映列车在相邻两个站点之间实际承载的乘客数量。沿着线路行进方向，区间客流会随着乘客上下车行为不断发生增减变化。部分区间会持续承接大量换乘客流与通勤客流叠加，断面客流量维持在较高水平，成为整条线路的运力瓶颈位置。也有部分区间的乘客上下交换规模有限，列车载客水平长期处于偏低状态。区间客流的变化还会伴随潮汐出行特点，上下行两个方向的断面客流规模会出现明显差距。掌握区间客流的变化趋势，能够判断线路瓶颈区段的分布范围，区分高负荷区间与低负荷区间，为大小交路方案设计提供直接依据。（2）站点客流特征主要研究各个站点的客流总规模差异。受周边用地功能的影响，各个站点的客流吸引能力存在显著区别。部分站点承担大量乘客集散以及线路换乘功能，全天客流总量维持高位，高峰时段客流聚集效应会进一步扩大。另有一部分站点服务范围有限，全天集散客流规模偏小，对线路整体运力压力贡献较低。站点客流的差

异不只是体现在全天总流量上,高峰和平峰时段的站点客流增长幅度同样存在区别,部分站点仅在特定时段才会出现客流激增的情况。(3)进出站分布是从乘客出行起点与终点角度开展的空间特征解析。进站客流体现乘客的出发来源,出站客流对应乘客的到达目的地。部分站点进站客流集中在早高峰时段,出站客流集中在晚高峰时段,体现明显的通勤出行属性。另一部分站点进出站客流在全天分布相对均匀,没有出现短时集中爆发的现象。进出站的不均衡分布,直接影响站点站台、通道的客运压力,也会间接改变相邻区间的断面客流大小。

1.3 突发客流、节假日客流与非常规客流特征分析

(1)节假日客流是非常规客流中规模最大、规律性相对可控的客流类型,和工作日常规客流存在本质区别。节假日期间,居民通勤出行基本消失,整体出行目的转向休闲消费和短途出游。客流整体峰值有所降低,不再出现早晚高峰极度集中的拥堵现象。全天客流分布更加平缓,午间至傍晚时段的出行活跃度显著提升。客流空间分布也会发生改变,服务休闲商圈、景观区域的站点客流会明显增长,传统通勤站点的客流规模大幅回落^[2]。整体客流无明显潮汐特征,双向运力需求更加均衡,全天客流供需压力呈现均匀化分布的特点。(2)突发客流属于无固定规律的瞬时性客流增量,具备突发性强、持续时间短、增长速度快的显著特点。这类客流多由临时社会活动、交通接驳异动、短时人流聚集等因素引发,无法通过常规周期数据进行预判。突发客流出现时,短时间内站点进出站人数会快速攀升,区间断面运力会瞬间达到饱和状态。常规行车间隔无法匹配瞬时增长的客流需求,极易造成站台乘客堆积,加大客运组织压力。同时突发客流消退速度较快,若不能及时缩减运力,还会造成运输资源的无端浪费。(3)除节假日客流与突发客流外,恶劣天气、临时交通管制等因素催生的各类非常规客流,同样会改变原有出行结构。恶劣天气会促使更多人群选择轨道交通出行,整体客流规模被动提升,客流高峰时段有所延长。地面交通停运或管控时,轨道交通会承接大量转移客流,进一步加重线路整体运输负荷。这类客流变化没有固定周期,波动逻辑区别于日常出行规律,对弹性行车组织能力提出极高要求。

2 基于客流特征的行车组织优化策略

2.1 基于时段客流差异的行车间隔精细化优化

(1)行车间隔精细化优化需要以全天时序客流特征为核心依据,按照不同时段客流承载水平实行分级配

班。针对早高峰通勤集中时段,依托客流峰值数据压缩行车间隔,加密列车开行频次。通过提升高峰时段的瞬时运力供给,快速消化集中性客流压力,缓解站台滞留与车厢过度拥挤的问题,最大程度匹配通勤出行的高强度需求,保障高峰时段线路通行效率稳定可控。(2)针对日间平峰时段,结合客流平缓分散的特征适度放宽行车间隔。平峰时段客流不存在短时集中爆发的特点,乘客出行分布均匀,整体供需关系相对宽松^[3]。在保障基础出行服务水平不下降的前提下,合理调整发车节奏,减少冗余班次投放。这样的调整方式可以有效规避无效运力输出,降低设备损耗与电力能耗,实现运输资源的合理利用。(3)针对夜间低谷时段,结合客流快速衰减的规律进一步优化间隔配置。夜间出行客流规模持续走低,整体乘车需求大幅缩减。可以在满足基础运营服务标准的前提下,采用更为宽松的行车间隔模式。同时贴合客流递减趋势动态微调发车时刻,避免固定间隔造成的运力浪费,兼顾运营经济性与市民出行便捷性。(4)行车间隔优化需要遵循平稳过渡的调整原则,杜绝时段切换过程中的节奏突变。在高峰向平峰、平峰向低谷转换的过渡阶段,采用循序渐进的间隔调整方式,避免班次骤增骤减引发运力断层或资源浪费。保持全天行车节奏的连续性,防止出现局部时段候车时间过长、客流疏导不畅的问题。

2.2 结合潮汐客流特征的大小交路运行优化

(1)大小交路运行优化的核心逻辑,是依据潮汐客流的区间分布差异,实现运力的精准定向投放。通过前期空间客流特征分析,可以精准锁定早晚高峰客流高度集中的核心路段,同时区分客流需求偏低的线路远端路段。在此基础上设置长距离大交路与短距离小交路相结合的复合运行模式,让小交路列车集中服务客流饱和的核心区段,高频次疏导集中客流,大交路列车覆盖全线站点,保障全线基础出行服务的完整性。(2)针对早高峰潮汐客流特征,重点强化进城核心区段的小交路运力投放。早高峰客流主要集中在单一进城方向,区间客流饱和度沿行进方向逐步升高,核心区间客流压力达到全天峰值。通过加密小交路列车开行数量,压缩核心区段行车间隔,针对性填补单向高峰的运力缺口,有效缓解单向客流拥堵问题,平衡潮汐客流带来的单向运力失衡问题,快速疏导站台堆积客流。(3)针对晚高峰反向潮汐客流特征,动态调整大小交路的运行配比。晚高峰客流以出城方向为主,客流分布范围更广、持续时间更长,双向客流均存在一定压力。此时适度调整小交路覆盖区段与开行频次,兼顾双向客流疏导需求,避免单一

方向运力过剩或不足。同时弱化平峰时段大小交路的差异化配比,以均衡运力保障全线客流平稳输送。

2.3 高峰客流饱和区段运力补强与班次调整策略

(1) 运力补强工作需要以线路断面客流数据为基础,精准定位全天高峰时段的饱和区段与运力缺口。通过梳理早晚高峰各区间的满载率变化规律,筛选出长期高负荷运行的核心路段,明确客流饱和的持续时段与拥堵强度。区别于全线统一加密班次的粗放模式,区段式运力补强可以聚焦薄弱路段实施精准运力倾斜,避免全线增班带来的资源浪费,让运力投放完全贴合区段真实客流压力。(2) 在高峰客流集中时段,可通过临时增加峰值班次、压缩饱和区段最小行车间隔的方式完成运力补强^[4]。在线路行车设备条件、折返能力与信号系统允许的前提下,适度提升饱和区段的列车开行密度,快速消化短时激增的客流。针对早高峰单向饱和和严重的特点,重点强化客流主流方向的班次投放,解决单向运力不足的问题。针对晚高峰双向承压的运行特征,均衡调整双向班次配比,减少返程客流积压带来的运营压力。(3) 班次调整需要兼顾高峰起止节点的客流渐变规律,实行弹性化启停班模式。在高峰来临前提前投放预备班次,提前补足初始运力缺口,避免客流集中爆发后出现疏导滞后的情况。在高峰回落阶段逐步递减班次投放节奏,根据客流回落速度缓慢放宽行车间隔,防止运力骤减造成二次拥堵,也能避免高峰末期运力过剩的问题。(4) 班次优化过程中需要严格把控行车秩序与运行稳定性。高强度的班次加密会提升线路行车负荷,对折返效率、信号切换、岗位配合提出更高要求。运营过程中需要同步规范列车折返流程、停站时长与运行速度,避免密集班次运行引发的间隔不均、列车晚点、运行紊乱等问题,保障补强运力能够高效落地。

2.4 平峰及低谷时段节能降耗行车组织优化

(1) 平峰时段的优化需要兼顾服务稳定性与节能性。该时段客流虽低于高峰水平,但仍保持持续稳定的出行需求,不能单纯依靠大幅缩减班次来节能。可以结合实时客流分布情况,适度、平缓地放宽行车间隔,减少冗余列车开行次数。同时统一规范列车匀速行驶节

奏,减少频繁加速减速的运行状态,有效降低牵引能耗,维持平稳高效的行车状态。(2) 低谷时段客流规模大幅缩减,乘客候车容忍度相对更高,是节能优化的重点时段^[5]。在严格遵守运营服务标准、保障乘客基本出行体验的前提下,合理拉大列车运行间隔,精简无效运力投放。通过减少列车在线数量,直接降低线路整体能耗与设备磨损。同时优化列车折返调度模式,减少空车折返、空线行驶等低效运营行为,进一步压缩能源消耗。(3) 平峰与低谷时段可以配合运行图微调优化停站时长与行驶速度。在客流稀疏站点缩短无效停站时间,提升全线通行效率。通过标准化行车操作,规避人为操作差异带来的能耗增加问题。

结束语

综上所述,通过分时段精细化行车间隔调整,解决不同时段供需错位问题。依托潮汐客流特点优化大小交路运行模式,改善线路区段运力分配不均的状况。针对高峰饱和区段实施运力补强与班次动态调整,有效缓解高峰拥堵压力。通过平峰低谷节能型行车组织方式,降低日常运营能耗与资源浪费。整套策略实现了高峰保运力、平峰提效率、低谷降能耗的多层次运营目标。

参考文献

- [1] 柳雪丽.城市轨道交通换乘站大客流组织优化策略研究[J].时代汽车,2026,(7):178-180.
- [2] 王妍.城市轨道交通春节客流数据特征分析及运营策略优化研究[J].城市轨道交通研究,2025,28(4):I0024-I0025.
- [3] 李鑫.城市轨道交通高峰时段行车组织效率提升策略研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026,(1):156-159.
- [4] 庞彦知,陈建球.基于客流特征分析的城市轨道交通行车组织优化研究[J].西部交通科技,2022,(3):163-166+171.
- [5] 李新春.基于时空大数据与图神经网络的城市轨道交通早晚高峰客流预测及疏导策略优化[J].人民公交,2026,(6):166-168.