

轨道交通运营网络多维度客流特征及启示

宋海玉

中建（天津）轨道交通投资发展有限公司 天津 300381

摘要：为破解轨道交通网络化运营运力配置失衡、客流集聚拥堵等问题，本文依托多城轨道交通AFC客流、POI功能等多源数据，结合交通流与网络拓扑理论，从时间、空间、换乘多维度剖析客流核心特征。研究明确客流时空不均衡、圈层集聚、换乘压力集中等差异化规律，精准识别运营现存痛点，并从动态调度、线网优化、智慧管控等方面提出精细化运营策略，为城市轨道高效运维与客流均衡调控提供参考。

关键词：轨道交通；运营网络多维度；客流特征；启示

引言：随着城市轨道交通迈入网络化运营阶段，线网规模持续扩张，客流分布的差异化、不均衡性问题愈发凸显，高峰拥堵、运力错配、换乘效率不足等问题制约路网服务质量。当前客流研究多聚焦单一维度，难以适配网络化协同运营需求。基于此，本文结合多城实测客流数据，从多维度系统解析轨道客流演变规律，深挖客流与城市空间、运营调度的耦合关系，针对性提出优化路径，助力轨道交通精细化、智慧化运营发展。

1 轨道交通运营网络客流基础理论与数据预处理

1.1 轨道交通网络与客流核心概念界定

（1）轨道交通网络化运营内涵。网络化运营是城市轨道交通从单线独立向多线协同转变的一体化模式，特征为体制扁平、资源统筹、职责分明、应急快速、管理先进。核心通过换乘站实现线路互联，提升出行效率与服务水平，面临断面/车站负荷均衡及换乘衔接三大问题。（2）多维度客流定义。时空上，客流呈工作日早晚双峰，24小时周期显著；线路上，骨干线路承担主要输送，如北京地铁10号线、4-大兴线等；站点上，城市中心区就业主导型站点客流集中；换乘上，关键线路和车站换乘客流高度集中，效率影响路网服务水平。（3）客流核心特征。不均衡性：时空分布不均，早高峰8:30—8:45全网车站客流基尼系数达0.527；集聚性：高峰时段换乘客流脉冲式集中到达站台；周期性：24小时周期最明显，其次为7天，工作日早高峰聚集性最强，周五晚高峰持续时间最长^[1]。

1.2 客流研究理论基础

（1）城市交通流理论。揭示轨道交通客流的时空分布规律与供需平衡机制。客流分布具显著时空不均衡，可基于基尼系数定量评价。交通供需矛盾突出，拥堵传播具波动性与收敛性。（2）网络拓扑理论。基于复杂网络，采用Space-L或Space-P方法构建拓扑模型。客流对网

络级联失效的作用力约为拓扑结构的9倍，客流加权的双层耦合网络可有效表征级联失效传播。（3）城市空间耦合理论。轨道交通与土地利用、城市功能布局存在显著耦合关系。车站周边建成环境深刻影响客流时空特征，城市空间结构通过时空收敛效应重组人口与土地结构，进而影响客流时变特征。

1.3 研究数据来源与预处理

（1）核心数据来源。包括：轨道交通AFC刷卡客流数据；线路站点基础数据（坐标、拓扑、里程等）；城市POI功能数据；运营调度数据（运行图、发车间隔等）。（2）数据清洗处理。对原始AFC数据进行异常值剔除与缺失值补全，采用局部离群因子（LOF）检测异常，并开展数据标准化与时段匹配。清洗后提取全网各站点进出站客流量，分析其时空分布特征。（3）客流指标体系构建。涵盖客流量（2025年北京日均979.80万人次，工作日1114.54万；上海1015万；广州943.6万；深圳900.02万）、客流强度（深圳1.5万人次/公里居首）、换乘量（济南2026年1月换乘1063.6万，换乘系数1.62）及波动率等多维指标。

2 轨道交通运营网络多维度客流特征实证分析

2.1 客流时间维度特征分析

（1）日内客流时序特征。全网客流呈“双峰”分布形态，早高峰集中于7:30—9:00，晚高峰集中于17:30—19:00，高峰小时客流占全日客流比例超过30%。早高峰以通勤客流为主导，晚高峰叠加休闲娱乐客流，波动幅度显著高于平峰时段。在工作日条件下客流规律性极强，早晚高峰峰值特征稳定^[2]。（2）周度客流周期特征。工作日与休息日客流差异显著。2025年北京城市轨道交通日均979.80万人次，工作日日均1114.54万人次；上海全年日均客流1015万人次，工作日日均1154万人次，休息日仅722万人次。通勤客流主导工作日高峰，周

末则以休闲购物、探亲访友等弹性出行为主，客流峰值时间延后、分布趋于平缓。（3）月度及节假日客流特征。节假日客流呈“脉冲式”突变特征。2025年12月31日，广州地铁线网客运量达1409.3万人次，刷新全国单日客运量历史纪录；深圳同日达1305万人次；上海达1293万人次。节假日通勤客流与休闲娱乐客流叠加，形成年度客流峰值。

2.2 客流空间维度特征分析

（1）线路客流空间差异。骨干线与郊区线强度分层显著。2025年全国日均客运强度0.58万人次/公里，深圳1.50、广州1.26、哈尔滨1.25居前三。单线强度前三均在广州：1号线4.26、2号线3.45、8号线2.69。上海2号线日均108.8万人次居首，市域机场线仅4.3万人次。（2）站点客流空间集聚。核心商圈与枢纽站高度集聚。广州体育西路站日均40.63万人次全国第一，嘉禾望岗32.21万、珠江新城26.42万。上海内环内陆家嘴、静安寺、南京西路、人民广场早高峰出站量居前四。居住区站点呈“早进晚出”潮汐，泗泾、九亭、佘山等早高峰进站量持续前五。（3）全网客流空间格局。全网客流呈明显圈层递减格局：

城市	运营里程 (公里)	日均客运量(万 人次)	客运强度(万人 次/公里·日)
上海	906	1015	1.16
北京	909	979.80	—
广州	779.9	943.6(全制式)	1.26
深圳	634.5	900.02	1.51

（数据来源：各城市2025年度轨道交通运营报告）

上海内环内区域工作日进出站客流占全网39%，站均客流5.1万人次/日；外环外区域客流占全网比重提升至27%，站均客流2.5万人次/日。热点区域高度集中于城市中心商务区与大型交通枢纽，外围薄弱区域客流密度显著偏低。

2.3 换乘维度客流特征分析

（1）换乘站点客流承载特征。核心换乘站集散压力突出。广州嘉禾望岗日均换乘量26.2万人次，十四号线约60%客流需在此换乘；北京宋家庄、呼家楼等站换乘量常年居前。核心站承载多条线路交互，压力呈“枢纽型”集中分布。（2）换乘客流时空波动。高峰拥堵呈“脉冲式”集中。嘉禾望岗单日最高达49.8万人次（2025.12.31），2号线与3号线北段间换乘占比近30%。早高峰呈“居住区→换乘站→商务区”传播，晚高峰反向，方向性与时段集中性显著^[3]。（3）换乘衔接匹配特征。换乘效率制约路网服务水平。高峰时段“大客流聚集、站台拥挤、换乘滞留”突出。上海景洪路因算法调

整新增换乘约2790人次/日。换乘耗时受通道宽度及列车到发间隔匹配度影响，部分枢纽站高峰压力显著。

2.4 客流多维关联特征与差异化规律

（1）时空客流耦合关联。客流时空分布呈动态耦合特征——早高峰客流空间上向商务核心区集聚（如上海陆家嘴、静安寺早高峰出站量居前），晚高峰则向居住区扩散；周末客流空间分布较工作日更为分散。客流分布呈现“早聚晚散、内聚外散”的动态演变规律。（2）客流与城市功能关联。城市土地利用与功能布局深刻驱动客流分布。内环内商务就业主导型站点工作日早高峰出站客流高企；外环外大型居住区配套站点早高峰进站客流位居前列。POI数据显示，商业设施密集区、就业岗位集中区与轨道交通站点客流高度正相关。（3）新线开通客流演变特征。新线接入引发全网客流分流、转移与重构。2025年上海2号线西延伸及18号线二期开通后，全网运营里程增至906公里；15号线、17号线客流同比分别上涨4.7%、4.9%。新线一方面分流既有线路压力，另一方面通过新增换乘节点重塑全网客流分配格局。

3 基于多维度客流特征的运营优化启示与实施策略

3.1 客流特征反映的运营核心问题

（1）时间维度问题。全网客流呈“双峰”分布，高峰时段运力供给与客流需求矛盾突出。2026年6月全国城市轨道交通完成客运量27.9亿人次，总运营里程平均客运强度为0.788万人次每公里日。高峰时段部分线路断面满载率高企，平峰时段运力大量闲置，时段运力配置严重失衡。（2）空间维度问题。线路站点客流分化严重，2026年6月深圳客运强度达1.46万人次/公里日高居全国首位，而多数城市不足0.7万人次/公里日。骨干线路与郊区线路客流强度悬殊，城郊运力匹配不均、热点区域承载不足问题突出。（3）换乘维度问题。核心换乘站疏导压力巨大。北京地铁四座换乘站通过实施“高峰单向、平峰双向”弹性换乘模式，每日可惠及约5万人次。换乘通道拥挤、疏导效率偏低，客流拥堵风险突出。

3.2 客流精细化运营优化启示

（1）时序运力优化启示。基于客流周期规律实施分时段差异化运力投放。北京地铁昌平线沙河站深入分析客流时空变化规律，在不调整既有运行图框架下新增8:23空车精准切入客流峰值时段，列车最小间隔保持2分15秒。深圳地铁2026年暑运期间对10条线路分批次实施加密调整，平峰运能最高提升66%。（2）空间布局优化启示。适配客流空间格局完善线网、升级站点功能。2026年6月全国新增运营里程35.3公里，新线接入后需重新评估全网客流分配格局。针对热点站点应实施出入口分

流、站外限流等疏导措施^[4]。(3) 换乘体系优化启示。依托换乘客流特征完善换乘衔接与疏导管控体系。北京地铁对慈寿寺、首经贸、珠市口、蓟门桥4座换乘站实施分时段差异化换乘流线组织。慈寿寺站单次缩短走行距离80米,日均服务1.5万人次。

3.3 轨道交通网络运营优化具体策略

(1) 动态调度优化策略。高峰时段加密发车频次、增开大站快车缓解断面压力——北京昌平线沙河站新增8:23空车精准切入客流峰值;深圳5号线早高峰运能提升8.2%。平峰延长发车间隔节约能耗——深圳1、7、9、10号线平峰运能分别提升7.7%、18.7%、16.1%、20.0%。节假日提前预判客流——西安地铁端午节城区主要线路高峰上线列车增3-6列,单线高峰运力最大提升22%。(2) 线网与站点优化策略。针对客流偏低郊区线路,优化站点接驳配套提升吸引力。重庆1、3、6号线及环线基于客流数据精准决策,6月1日起常态化提前运营,4条线路每天最大增开载客列车142列次,预计方便近2万人次出行。针对热点站点实施出入口分流、站外限流等疏导措施。(3) 换乘系统提质策略。优化换乘流线,减少走行与换乘时间。北京慈寿寺、首经贸、珠市口、蓟门桥4座换乘站实施“高峰单向、平峰双向”弹性换乘,按“一站一策”落实。同步在换乘通道增设分时段导向标志,优化导流围栏与广播提示,提升乘客通行效率^[5]。

3.4 客流长效管控与智慧运营发展建议

(1) 构建客流动态监测预警体系。依托AFC刷卡数据、视频智能分析等多源数据,建立实时客流监测与短时预测平台。北京地铁在沙河站站厅、站台、出入口布设客流观察点,建立站内外联动响应机制,空车抵达前引导乘客快速进站。应进一步推广至全网,实现客流风险提前预判。(2) 推进智慧化运营升级。依托大数据与AI技术实现客流精准匹配与高效调度。深圳地铁结合往

年客流规律提前部署暑运行车方案;广州白云站综合交通枢纽智慧系统实现对45万平方米空间内客流、车流及设备状态的实时感知,协同疏运效率提升30%。应加快构建智能调度与应急指挥深度融合的辅助决策系统。(3) 联动城市规划引导客流均衡分布。新线规划应统筹考虑沿线用地开发与人口导入,从源头引导客流均衡分布。2026年6月全国新增运营里程35.3公里,新线接入后需及时评估客流分流效果。应推动轨道线与城市土地利用协调发展,通过TOD模式在外围区域培育新的客流增长点,缓解中心区过度集聚压力。

结束语

本文系统梳理轨道交通网络多维客流特征,证实客流具备显著的周期性、集聚性与时空不均衡性,明确了时段运力失衡、城郊客流分化、核心换乘站拥堵等核心运营问题。所提出的动态调度、站点换乘优化、智慧监测预警等策略,可有效适配网络化运营客流规律。后续可结合城市TOD开发,持续探索客流长效调控机制,推动轨道运营与城市空间发展深度协同,持续提升路网整体运营效能。

参考文献

- [1]李鑫,程晓明.城市轨道交通网络化运营客流时空多维特征分析[J].城市轨道交通研究,2022,5(10):47-52.
- [2]张鹏羽.城市轨道交通客流时空多维影响机制与演化特征[J].交通运输系统工程与信息,2025,25(4):89-97.
- [3]许得杰.城市轨道交通网络化多交路客流分配与多维特征识别[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(3):201-208.
- [4]蒋政.基于大数据的城市轨道交通客流多维度特征可视化分析[J].城市轨道交通研究,2024,27(1):135-139.
- [5]陈建均.跨区域轨道交通网络客流多维演变特征及运营优化启示[J].城市轨道交通研究,2025,28(3):62-67.