

## 供需平衡视角下的苏州市轨道交通客流评估诊断\*

金 铭<sup>1</sup> 施 敏<sup>2</sup> 李喆康<sup>2</sup> 李 旭<sup>2</sup>

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 215004, 苏州; 2. 南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司, 210002, 南京)

**摘 要** [目的]截至 2022 年底,苏州市轨道交通已基本成网,但客流水平偏低,有必要开展苏州市轨道交通客流评估,剖析其发展症结,以提升客流水平。[方法]研究基于手机信令、轨道闸机数据等多源数据融合分析技术,精准把控用户全过程轨迹。鉴于传统 OD(起讫点)分析的局限性,研究采用了栅格化划分法,以城市轨道交通供需平衡为视角,从城市轨道交通职住覆盖率(居住人口及就业岗位占比)和客流转化率(城市轨道交通出行占比)两个层面构建评估指标,分析苏州市轨道交通客流情况。[结果及结论]苏州市轨道交通线网与职住分布、居民出行需求的整体契合度较高,但苏州工业园区、苏州高新区、吴江区等区域存在城市轨道交通覆盖薄弱的高密度人口岗位集聚片区,需加强公交接驳服务;苏州轨道交通 3 号线和 5 号线部分站点周边的轨道交通出行占比较低,反映出用地布局和产业结构对客流吸引力的制约。

**关键词** 城市轨道交通; 客流评估诊断; 供需平衡; 手机信令; 多源数据融合

**中图分类号** U293.1<sup>+</sup>3

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.20245823

### Evaluation and Diagnosis of Suzhou Rail Transit Passenger Flow from the Perspective of Supply-Demand Balance

JIN Ming<sup>1</sup>, SHI Min<sup>2</sup>, LI Zhekang<sup>2</sup>, LI Xu<sup>2</sup>

(1. Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215004, Suzhou, China; 2. Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., 210002, Nanjing, China)

**Abstract** [Objective] By the end of 2022, the rail transit system in Suzhou had essentially formed a network. However, the overall passenger flow has remained relatively low, necessitating an evaluation of the passenger flow on Suzhou rail transit to identify key issues in its development and passenger flow enhancement. [Method] A multi-source data fusion analysis approach is utilized, incorporating mobile signaling data and rail transit gate data, to accurately control the users' complete travel trajectories. Given the limitations of traditional OD (origin-destination) analysis, a grid-based division method is em-

ployed. From the perspective of supply-demand balance in urban rail transit, evaluation indicators are constructed from two dimensions: the residence/employment coverage rate (proportion of residential population and job positions) and the passenger flow conversion rate (proportion of urban rail transit trips). These indicators are used to analyze the passenger flow of Suzhou rail transit. [Result & Conclusion] Suzhou rail transit network generally aligns well with residence/employment distribution and the residents travel demand. However, certain high-density clusters of population and employment in areas such as Suzhou Industrial Park, Suzhou High-tech Zone, and Wujiang District exhibit weak rail transit coverage, highlighting the need to enhance bus-rail feeder services. Additionally, certain stations along Suzhou Rail Transit Line 3 and Line 5 show relatively low proportions of rail transit usage, indicating that the land-use layout and industrial structure may restrict the attractiveness to passengers.

**Key words** urban rail transit; evaluation and diagnosis of passenger flow; supply and demand balance; mobile signaling data; multi-source data integration

截至 2022 年底,苏州市轨道交通仍处在发展阶段,线网尚未成熟,局部区域客流吸引力不足,年平均客流强度为 0.435 万人次/(km·d),低于国家要求的 0.700 万人次/(km·d)<sup>[1]</sup>。因此,有必要开展城市轨道交通客流评估诊断,科学预测客流规模,明确出行机理,分析影响客流强度的关键因素,以指导新线规划和接驳优化,提升城市轨道交通效能。

目前,国内轨道交通评估多从线网规模、客流效益、服务水平等维度构建综合指标体系<sup>[2-14]</sup>,但这些指标多聚焦于轨道交通运营本身,对城市发展和综合交通的关联关注不足。部分研究虽引入网络覆盖、土地契合、交通一体化等维度,但指标过于宏观,缺乏中微观层面的供需关系分析,难以支撑现状诊断和优化措施的提出。本文拟从城市轨道交通供需平衡视角出发,探索多维度评估诊断方法,

\* 江苏省碳达峰碳中和科技创新专项资金项目(BE2022860)

精准识别城市轨道交通发展初期的问题及其根源,对改善居民出行和提升城市轨道交通运营效益具有重要意义。

## 1 城市轨道交通评估诊断指标

### 1.1 评估诊断指标

城市轨道交通线网布局与出行需求的匹配,反映了其对城市交通的支撑能力<sup>[15]</sup>。从个体角度看,影响出行者选择城市轨道交通的因素主要包括:① 出发点到城市轨道交通站点的便利性;② 其他交通方式;③ 城市轨道交通出行效率。这些因素体现为城市轨道交通的服务覆盖、客流出行吸引力和方向匹配性。

城市轨道交通评估诊断指标 1——职住覆盖率。职住分布的稳定性反映了各区域的通勤潜力,而通勤是城市出行的主要需求,其在城市轨道交通客流中占比较大<sup>[16-22]</sup>。通过对比城市轨道交通与职住分布的契合度,尤其是对职住密集区的覆盖情况,可识别出城市轨道交通服务薄弱区域,这些区域应作为新线规划和接驳服务提升的重点。

城市轨道交通评估诊断指标 2——客流转化率。客流转化率即城市轨道交通出行量占区域总出行量的比例,反映了城市轨道交通对出行者的吸引力。对于轨道交通已覆盖区域,若客流转化率较低,则需关注站点出入口设置、接驳服务、步行环境等潜在问题。

### 1.2 数据分析流程

手机信令数据是手机用户与基站之间的通信数据,能实现对用户位置变化的连续追踪,结合轨道交通专用基站,可识别用户全链条出行轨迹<sup>[23]</sup>。本研究利用手机信令和基站属性数据,通过出行停驻点识别、启发式寻路算法等数据挖掘技术<sup>[24]</sup>,完成职住识别、行程拆分和轨道交通出行识别,精准还原用户出行轨迹,并与城市轨道交通闸机数据结果进行校核、扩样,确保分析可靠性。鉴于传统交通小区的出行 OD(起讫点)分析存在交通小区划分大小不一致和差异性较高的局限性,本研究采用 1 000 m×1 000 m 的栅格划分法,更精准地诊断问题。手机信令数据和城市轨道交通闸机数据融合分析流程如图 1 所示。

## 2 苏州市轨道交通评估诊断

本研究基于 2022 年 9 月份苏州市区范围内移

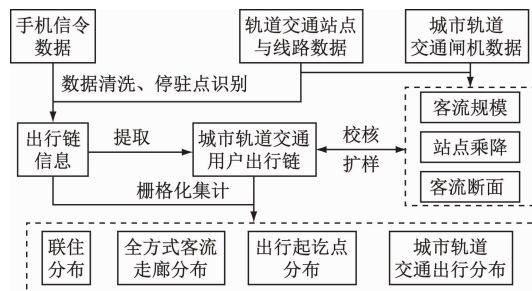


图1 手机信令数据和城市轨道交通闸机数据融合分析流程图

Fig. 1 Flow chart of mobile signaling data and urban rail transit gate data integrated analysis

动用户的手机信令数据,以苏州市 2022 年度轨道交通线网为研究对象,其研究范围为苏州市辖 6 个市辖区,从职住覆盖率和客流转化率两个层面进行评估诊断。

### 2.1 职住覆盖率分析

苏州市轨道交通沿线居住人口数量分布如图 2 所示,苏州市轨道交通沿线就业岗位数量分布如图 3 所示。图 2、图 3 中的栅格分布均叠加了该市的轨道交通运营线网。

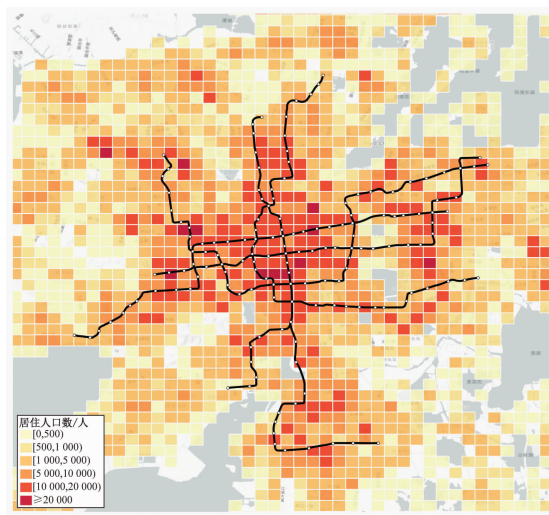


图2 苏州市轨道交通沿线居住人口数量分布

Fig. 2 Numeral distribution of residential population along Suzhou rail transit lines

将苏州市现状运营轨道交通线网按 500 m、1 000 m、1 500 m、2 000 m 范围划分为不同圈层的线路吸引范围,分别统计其覆盖人口、覆盖岗位的占比,苏州市轨道交通线网沿线不同范围内覆盖人口和岗位占比如表 1 所示。目前轨道交通线网 1 000 m 范围内聚集了苏州市区 40.9% 的居住人口和 39.7% 的就业岗位,轨道交通线网与职住分布整

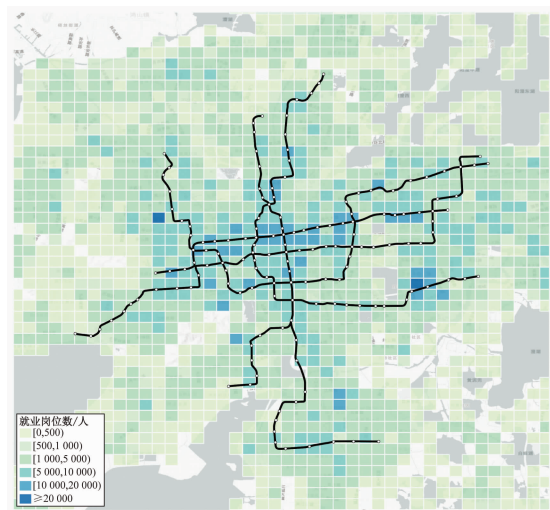


图3 苏州市轨道交通沿线就业岗位数量分布

Fig.3 Numeral distribution of employment distribution along Suzhou rail transit lines

体符合性较好;且线网周边人口、岗位呈典型“圈层式”分布特征,整体呈现“越靠近城市轨道交通站点,人口、岗位密度越高”的轴向聚集趋势。

表1 苏州市轨道交通线网沿线不同范围内覆盖人口和岗位占比

Tab.1 Population and employment proportions in different distance ranges along Suzhou rail transit network

沿线覆盖距离/m	覆盖人口占苏州市总人口的比例/%	覆盖岗位占苏州市总岗位的比例/%
(0,500]	23.90	24.70
(500,1 000]	17.00	15.00
(1 000,1 500]	9.80	9.00
(1 500,2 000]	7.10	6.70

### 2.1.1 居住人口覆盖情况

定义居住人口密度  $>1$  万人/ $\text{km}^2$  的栅格为高人口密度区域,以城市轨道交通站点 1 000 m 作为覆盖半径,苏州市轨道交通覆盖的高人口密度区域约占总量的 66%,主要集中在老城区。未被城市轨道交通覆盖的高人口密度区域占比 34%,主要分布在苏州工业园区、苏州高新区、吴江区等地。

### 2.1.2 就业岗位覆盖情况

定义就业岗位密度  $>1$  万人/ $\text{km}^2$  的区域为高岗位密度区域,以城市轨道交通站点 1 000 m 作为覆盖半径,苏州市轨道交通覆盖的高岗位密度区域约占总量的 75%,说明苏州市轨道交通对高岗位密度区域的覆盖程度较高。未被城市轨道交通覆盖

的高岗位密度区域约占总量的 25%,主要集中在苏州工业园区、吴江区主城区、石湖、虎丘等局部地区。这些区域的岗位以第三产业为主,以第二产业为主的工业用地主要分布在苏州市区外围,如湖东、吴中区、跨塘、苏州高新区等地区,产业形成集聚,岗位密度较高,但这些工业用地占地面积较大,距离城市轨道交通站点较远,未来应进一步增强城市轨道交通接驳服务。

## 2.2 客流转化率分析

为了进一步识别出潜在客流市场规模,计算全方式出行规模及城市轨道交通出行占比情况。苏州市全日交通发生量分布如图 4 所示。从图 4 可以看出:城市轨道交通对全日交通发生量在 3.0 万人次以上的栅格覆盖程度较好,仅存在少量覆盖盲区,主要分布在苏州工业园区、吴江区主城区;全日交通发生量在 1.5 ~ 3.0 万人次的栅格也大多分布在站点周围 2.0 ~ 3.0 km 范围内,主要分布在虎丘、跨塘、苏州工业园区等区域,该部分区域的接驳服务水平对城市轨道交通客流的影响较大。

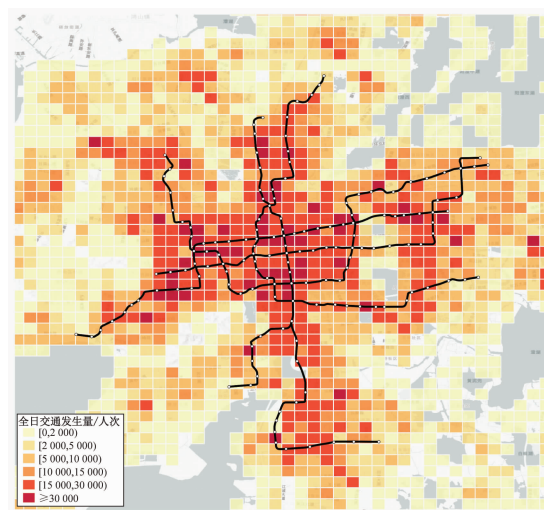


图4 苏州市全日交通发生量分布

Fig.4 Distribution of all-day traffic volume of Suzhou

苏州市全日出发端城市轨道交通出行占比分布如图 5 所示,可以看出,城市轨道交通出行占比超过 10% 的栅格基本位于以站点为圆心、半径 1.0 km 的范围内,说明接驳距离对居民出行选择的影响非常大。城市轨道交通 1.0 km 覆盖范围内,仍存在客流转化率低于 6% 的栅格,主要分布在苏州轨道交通 3 号线、5 号线周边,代表区域包括苏州轨道交通 3 号线苏州园区火车站站—葑亭大道站沿线、5 号线灵岩山站—石城站沿线。



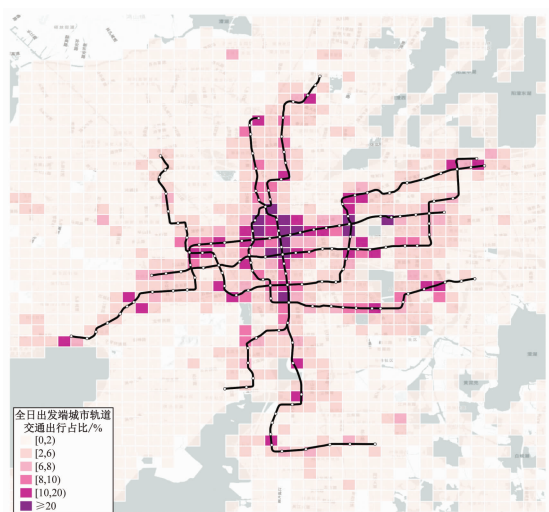


图5 苏州市全日出发端城市轨道交通出行占比分布

Fig.5 Distribution of all-day urban rail transit travel proportions by departure locations of Suzhou

以苏州轨道交通5号线灵岩山站—石城站沿线为例,手机信令数据分析结果显示该区域交通发生与吸引量较高、城市轨道交通出行占比偏低。该区域内城市轨道交通站点有渎川桥站、大治桥站、西跨塘站3个站点,周边均为大型工业园区及老旧密集型住宅,职住自平衡较好,导致城市轨道交通出行客流较少。结合现场调研结果,该地区目前存在一部分空地或在建工地(如大治桥站周边),说明旧住宅拆迁、城市更新等一系列措施正在加速推进中。未来职住分布会随着用地布局的变化在一定程度上得到调整,将孕育出新的城市轨道交通客流。

### 3 结语

本研究引入手机信令分析技术手段,采用1 000 m×1 000 m的栅格划分法,准确、精细地分析出城市轨道交通对城市职住分布的覆盖和出行需求的契合特征。研究发现,苏州市轨道交通沿线1 km范围内职住覆盖较好,然而,仍存在部分高密度居住区和岗位区未被有效覆盖,主要集中在苏州工业园区、苏州高新区、吴江区等区域。此外,部分站点周边的城市轨道交通出行量在全方式出行量中的占比较低,反映出用地布局和产业结构对客流吸引力的制约。未来,苏州市轨道交通需在完善线网、优化服务、推动城市更新等方面协同发力,以提升运营效益和服务水平,更好地支撑城市可持续发展。

### 参考文献

[1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通

规划建设管理的意见[EB/OL]. (2018-06-28) [2024-08-29]. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5309432.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5309432.htm).

General Office of the State Council. Opinions of the General Office of the State Council on further strengthening the planning and construction management of urban rail transit [EB/OL]. (2018-06-28) [2024-08-29]. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5309432.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5309432.htm).

[2] 潘珂,施澄,邹智军. 上海轨道交通网络化客流成长规律[J]. 交通与运输, 2022, 38(2): 62.

PAN Ke, SHI Cheng, ZOU Zhijun. Growth law of passenger flow on rail transit network in Shanghai[J]. Traffic & Transportation, 2022, 38(2): 62.

[3] 李旭,程晓明. 南京轨道交通客流时空分布特征分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(10): 47.

LI Xu, CHENG Xiaoming. Analysis of Nanjing rail transit passenger flow spatial-temporal distribution characteristics[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 47.

[4] 简文良,孙雨婷. 土地利用对地铁客流的多尺度空间异质性影响[J]. 交通科技与经济, 2025, 27(2): 89.

JIAN Wenliang, SUN Yuting. The effect of land use on the multi-scale spatial heterogeneity of metro passenger flow[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2025, 27(2): 89.

[5] 成一帆,李新爱. 基于多源数据划分和残差不同时更新的地铁客流区间预测[J]. 中国储运, 2025(2): 142.

CHENG Yifan, LI Xin'ai. Subway passenger flow interval prediction based on multi-source data division and different residual updates[J]. China Storage & Transport, 2025(2): 142.

[6] 孙晓黎,孙斌,马明慧,等. 考虑车站区位和用地的城市轨道交通客流预测[J]. 交通科技与经济, 2025, 27(1): 66.

SUN Xiaoli, SUN Bin, MA Minghui, et al. Passenger flow prediction for urban rail transit considering station location and land use[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2025, 27(1): 66.

[7] 庞磊,张嘉真,任利剑. 建成环境对城市轨道交通客流影响机制的研究方法述评[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2024, 26(5): 470.

PANG Lei, ZHANG Jiazhen, REN Lijian. A review of research methods on the impact mechanism of built environment on urban rail transit passenger flow[J]. Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2024, 26(5): 470.

[8] 陈凯,滕明鑫,赖力. 基于交通大数据平台的城市轨道交通客流OD模型设计与实现[J]. 城市轨道交通, 2024(6): 58.

CHEN Kai, TENG Mingxin, LAI Li. Design and implementation of OD model of urban rail transit passenger flow based on traffic big data platform[J]. China Metros, 2024(6): 58.

[9] 钟超. 城市轨道交通客流预测的方法研究[J]. 运输经理世界, 2024(16): 1.

ZHONG Chao. Research on passenger flow forecast method of urban rail transit[J]. Transport Business China, 2024(16): 1.

[10] 吕思锐,阳虎,王璞. 基于客源信息的地铁客流控制模型

- [J]. 铁道科学与工程学报, 2025, 22(4): 1530.
- LYU Sirui, YANG Hu, WANG Pu. Urban metro passenger flow control model based on passenger source information[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2025, 22(4): 1530.
- [11] 毛润彩, 戢晓峰, 尹安藤, 等. 城市地铁客流的时空动态波动特征与比较研究: 以深圳市为例[J]. 热带地理, 2024, 44(7): 1210.
- MAO Runcai, JI Xiaofeng, YIN Anteng, et al. Characteristics and comparison of spatiotemporal dynamic fluctuation of subway passenger flow: a case study of Shenzhen[J]. Tropical Geography, 2024, 44(7): 1210.
- [12] 陈婷. 地铁客流有效提升的问题剖析与对策研究[J]. 运输经理世界, 2023(24): 4.
- CHEN Ting. Analysis on the problems and countermeasures of effective promotion of subway passenger flow[J]. Transport Business China, 2023(24): 4.
- [13] 魏丽英, 石晶晶. 土地利用与城市轨道交通客流的非线性关系[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2024, 52(5): 43.
- WEI Liying, SHI Jingjing. On the nonlinear relationship between land use and urban rail transit passenger flow[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2024, 52(5): 43.
- [14] 柏成, 刘裕行, 张炜晗, 等. 四网融合条件下以客流需求为导向的市域铁路运输组织优化建议[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(4): 1.
- BAI Cheng, LIU Yuxing, ZHANG Weiha, et al. Recommendations for passenger flow demand-oriented city railway transportation organization optimization under four-network integration[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(4): 1.
- [15] 王楠, 杨少辉, 付凌峰, 等. 中国主要城市轨道交通覆盖通勤空间特征研究[J]. 城市交通, 2021, 19(5): 91.
- WANG Nan, YANG Shaohui, FU Lingfeng, et al. Spatial characteristics of commuting travel covered by rail transit in major cities in China[J]. Urban Transport of China, 2021, 19(5): 91.
- [16] 施敏, 过利超, 孙俊. 苏州轨道交通 3 号线站点客流成因分类诊断[J]. 人民公交, 2024(14): 148.
- SHI Min, GUO Lichao, SUN Jun. Classification and diagnosis of passenger flow causes in Suzhou Rail Transit Line 3[J]. People's Public Transportation, 2024(14): 148.
- [17] 才溢. “四网融合”背景下市域(郊)铁路衔接地铁客流服务研究[J]. 智慧轨道交通, 2024, 61(5): 99.
- CAI Yi. Study on the service to passenger flow transferred between urban (suburban) railway and metro under the background of 'integration of four networks'[J]. Intelligent Rail Transit, 2024, 61(5): 99.
- [18] 王存兰. 城市轨道交通线路客流分析及引流策略研究: 以苏州 5 号线为例[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(9): 211.
- WANG Cunlan. Passenger flow analysis and drainage strategy of urban rail transit line: taking Suzhou Line 5 as an example[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2024(9): 211.
- [19] 曾德津, 何鸿杰, 陈鹏. 用地布局与地铁客流互动关系分析及规划启示: 以广州地铁为例[J]. 黑龙江国土资源, 2024(11): 22.
- ZENG Dejin, HE Hongjie, CHEN Peng. Analysis of the interactive relationship between land layout and passenger flow for the metro and its planning implications: case study of Guangzhou Metro[J]. Heilongjiang Land and Resources, 2024(11): 22.
- [20] 王智永, 潘敏荣, 陈城, 等. 苏州轨道交通初步成网阶段客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(3): 108.
- WANG Zhiyong, PAN Minrong, CHEN Cheng, et al. Analysis of passenger flow characteristics at Suzhou rail transit preliminary networking stage and the inspiration[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(3): 108.
- [21] 王波, 张天然, 訾海波, 等. 上海轨道交通通勤客流特征研究[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(6): 23.
- WANG Bo, ZHANG Tianran, ZI Haibo, et al. Research on characteristics of Shanghai rail transit commuter flow[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(6): 23.
- [22] 戴运杰. 基于大数据的地铁客流预测与调度优化策略[J]. 人民公交, 2024(6): 34.
- DAI Yunjie. Subway passenger flow forecast and dispatching optimization strategy based on big data[J]. People's Public Transportation, 2024(6): 34.
- [23] 蒋寅, 郑海星, 于士元, 等. 天津市职住空间分布与轨道交通网络耦合关系: 基于手机信令数据分析[J]. 城市交通, 2018, 16(6): 26.
- JIANG Yin, ZHENG Haixing, YU Shiyuan, et al. Relationship between job-housing spatial distribution and rail transit network in Tianjin: an analysis based on cellular data[J]. Urban Transport of China, 2018, 16(6): 26.
- [24] 张天然. 基于手机信令数据的上海市域职住空间分析[J]. 城市交通, 2016, 14(1): 15.
- ZHANG Tianran. Job-housing spatial distribution analysis in Shanghai metropolitan area based on cellular signaling data[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(1): 15.
- [25] 汪雨菲, 杨皓森, 喻冰洁, 等. 站域建成环境与地铁客流量的非线性关系和协同效应: 可解释机器学习分析[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(2): 1-7.
- WANG Yufei, YANG Haosen, YU Bingjie, et al. Nonlinear and synergistic effects of station-area built environments on metro ridership: a shapley additive explanations (SHAP) analysis[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2024, 37(2): 1-7.
- 收稿日期:2024-10-22 修回日期:2025-05-10 出版日期:2025-07-10  
Received:2024-10-22 Revised:2025-05-10 Published:2025-07-10  
• 第一作者:金铭,高级工程师,jinming1@sz-mtr.com  
通信作者:施敏,工程师,640913923@qq.com  
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license