

大型商场对城市轨道交通进出站客流 发生率的影响分析*

张笑天^{1,2} 苏成成³ 王 治^{1,2} 叶霞飞^{1,2} 覃素馨^{1,2}

(1. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海; 2. 同济大学道路与交通工程
教育部重点实验室, 201804, 上海; 3. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海)

摘 要 [目的]为揭示大型商场对城市轨道交通车站全日进出站客流量和晚高峰小时出站客流量的影响程度,构建考虑广义商业岗位的城市轨道交通进出站客流预测修正模型,并提高其预测精度。[方法]利用 ArcGIS 平台绘制城市轨道交通车站影响范围,以此为边界统计城市轨道交通车站影响范围内居住人口规模和就业岗位规模,利用手机信令数据平台分析提取了车站周边商场内商业岗位规模和来访人员规模、车站周边医院内医疗岗位规模和来访人员规模,提出广义商业岗位的概念用于描述顾客对城市轨道交通车站进出站客流量的贡献;分析了广义商业岗位对不同区域的城市轨道交通换乘站、非换乘站进出站客流发生率的影响,开展了城市轨道交通进出站客流发生率与广义商业岗位的单因素方差分析。[结果及结论]用广义商业岗位替代商业岗位作为模型基础参数,有助于提高城市轨道交通进出站客流量预测模型的精度;基于上海市核心区和市区的相关数据对考虑广义商业岗位的客流预测修正模型的标定结果表明,预测模型的拟合优度较高。核心区、市区换乘站因为车站换乘线路较多、车站可达性较高的原因,广义商业岗位对于城市轨道交通换乘站进出站客流发生率的影响在众多因素中并不特别显著。

关键词 城市轨道交通; 进出站客流量; 进出站客流发生率; 广义商业岗位

中图分类号 U293.1+3:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.009

Impact Analysis of Large Shopping Malls on Inbound and Outbound Passenger Flow Rates at Urban Rail Transit Stations

ZHANG Xiaotian^{1,2}, SU Chengcheng³, WANG Zhi^{1,2}, YE Xiafei¹, QIN Suxin^{1,2}

(1. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, 201804, Shanghai, China; 2. Experimental Teaching Center of Transportation Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 3. Technical Center of Shang-

hai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

Abstract [Objective] It is aimed to reveal the impact of large shopping malls on daily passenger flow and evening peak-hour outbound passenger flow at urban rail transit stations. Based on these findings, a revised passenger flow prediction model for urban rail transit stations, incorporating the concept of generalized commercial jobs is constructed and its prediction accuracy is enhanced. [Method] Using the ArcGIS platform, the influential scopes of urban rail transit stations is delineated to statistically map out the residential population and employment scales within these areas. Mobile signaling data is analyzed to extract the scale of commercial jobs and visitor volumes in nearby malls, as well as medical jobs and visitor volumes in surrounding hospitals. The concept of generalized commercial jobs is introduced to describe the contribution of customer activities to passenger flow at urban rail transit stations. The influence of generalized commercial jobs on the inbound/outbound passenger flow rates of urban rail transit interchange and non-interchange stations in different regions is analyzed. One-way ANOVA (analysis of variance) is conducted to investigate the relationship between inbound/outbound passenger flow rates and generalized commercial jobs. [Result & Conclusion] The analysis results show that replacing conventional commercial jobs with generalized commercial jobs as a fundamental model parameter improves the accuracy of urban rail transit station inbound/outbound passenger flow prediction models. Calibration results of the passenger flow prediction revised model based on data from Shanghai downtown and urban areas demonstrates a high degree of fit. Due to the high accessibility and multiple interchange lines at interchange stations in downtown and urban areas, the influence of generalized commercial jobs on inbound/outbound passenger flow rates at urban rail transit interchange stations is not particularly significant

* 上海申通地铁集团有限公司项目(2244-JS-KY18R002)

compared to other factors.

Key words urban rail transit; inbound and outbound passenger flow; inbound and outbound passenger flow rate; generalized commercial job

1 研究背景

城市轨道交通客流预测是确定城市轨道交通项目建设必要性和建设规模大小的主要参考依据。

根据既有文献研究,城市轨道交通进出站客流量的主要影响因素包括:车站影响范围内居住人口规模^[1-3],车站影响范围内就业岗位规模^[1-3],土地利用状况^[1,4-5],车站区位^[1-2],车站属性^[2-3,6-7](车站是否为换乘站、越行站等),车站周边接驳交通情况^[2-3,5],车站所属线路服务水平^[5](发车间隔、满载率等),城市轨道交通票制票价^[5]和车站所属线路沿线道路交通情况^[2,6]等。

目前,国内针对车站影响范围内的就业岗位类型与规模对于城市轨道交通进出站量的影响机理和贡献程度的深入研究较为缺乏。

根据数据调查和分析大型商场内商业岗位规模对于城市轨道交通进出站客流量有一定影响。本研究的“大型商场”指的是有一定规模,能够吸引全市范围的顾客而不是仅仅服务周边区域的商场和商业街。由“大型商场”吸引这部分来访顾客中,部分顾客的出行距离较长,对城市轨道交通进出站客流量有贡献,但是在以往的进出站客流影响因素分析中,对于商业岗位仅考虑其从业人员的通勤出行对进出站客流量的贡献,客观上削弱了商业岗位对于进出站客流量的影响。因此提出“广义商业岗位”概念,广义商业岗位是大型商场商业岗位和这些商业岗位吸引的来访顾客规模之和。通过研究大型商场内广义商业岗位规模对于城市轨道交通进出站客流量的影响机理可以为后续的进出站客流预测方法的改进提供理论依据。

由于商业岗位吸引来大型商场进行购物等活动的顾客可能在全日任何时段来访大型商场,工作日内商业岗位吸引的大型商场来访顾客更倾向于在晚高峰时段前往大型商场进行购物、休闲娱乐等活动。考虑到晚高峰小时进站客流绝大部分是下班的通勤客流,而晚高峰小时出站客流对于周边土地利用以居住用地为主的车站而言主要是归家的通勤客流,对于周边土地利用以商业用地为主的车

站而言主要是购物、休闲娱乐的客流。因此,本研究选择工作日的全日进出站客流量、晚高峰小时出站客流量作为研究对象。

本研究参考既有文献[8]研究医疗岗位对城市轨道交通进出站客流量影响的思路,首先筛选上海市典型车站,研究车站周边大型商场是否会明显影响城市轨道交通车站进出站量,然后采用单因素方差分析,从统计学角度证明大型商场内广义商业岗位规模对城市轨道交通进出站量确实存在影响。

2 典型车站进出站客流发生率的比较分析

为便于描述,文中的“商业车站”指车站影响范围内有大型商场的车站,“非商业车站”指车站影响范围内没有大型商场的车站。

为了精确分析大型商场的广义商业岗位规模与城市轨道交通进出站客流量的内在关系,且避免其他影响因素的干扰,确定进行调查的典型车站筛选原则为:①按照区位筛选周边有大型商场的商业车站;②尽可能在商业车站附近的车站中筛选非商业车站用于对比分析;③尽可能使商业车站和用于对比的非商业车站的车站区位相同且彼此相邻,车站换乘线路数相同,车站周边道路拥挤状况相类似。

最终选取的核心区(上海轨道交通4号线及以内区域)典型车站分布情况如图1所示。

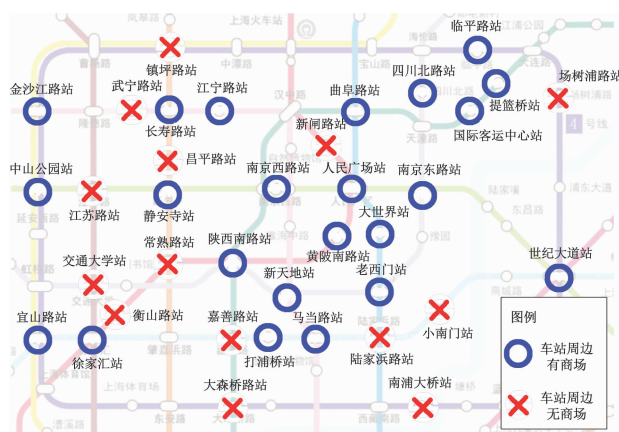


图1 核心区列入研究范围的车站

Fig. 1 Downtown stations within the research scope

最终选取的市区(上海轨道交通4号线以外,外环线以内区域)典型车站分布情况如图2所示。

2.1 广义商业岗位对换乘站进出站客流发生率的影

基于上海换乘站相关数据的处理结果,研究大型商场内商业岗位对城市轨道交通换乘站进出站

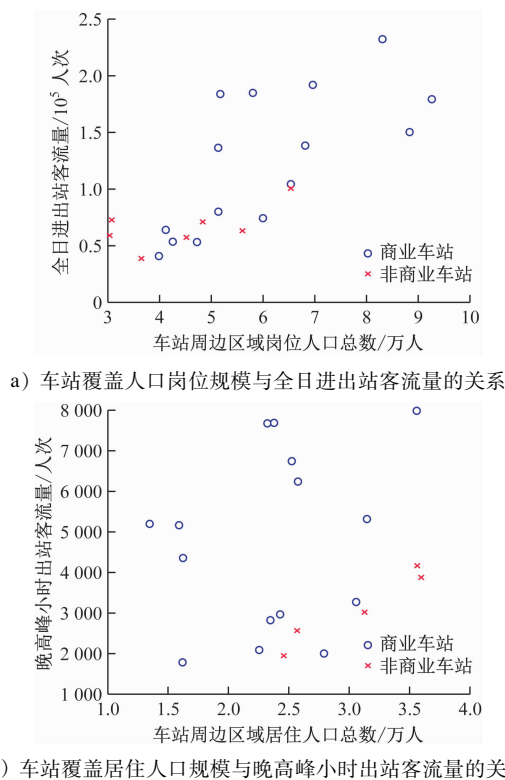


图2 市区列入研究范围的车站

Fig. 2 Urban stations within research scope

客流发生率的影响。在上海轨道交通换乘站样本中,核心区换乘站有22座,其中商业车站15座,非商业车站7座;市区换乘站有12座,其中商业车站4座,非商业车站8座。

分别绘制核心区换乘站中商业车站及非商业车站的全日进出站客流对比图、晚高峰小时出站客流对比图如图3所示。



a) 车站覆盖人口岗位规模与全日进出站客流量的关系
b) 车站覆盖居住人口规模与晚高峰小时出站客流量的关系

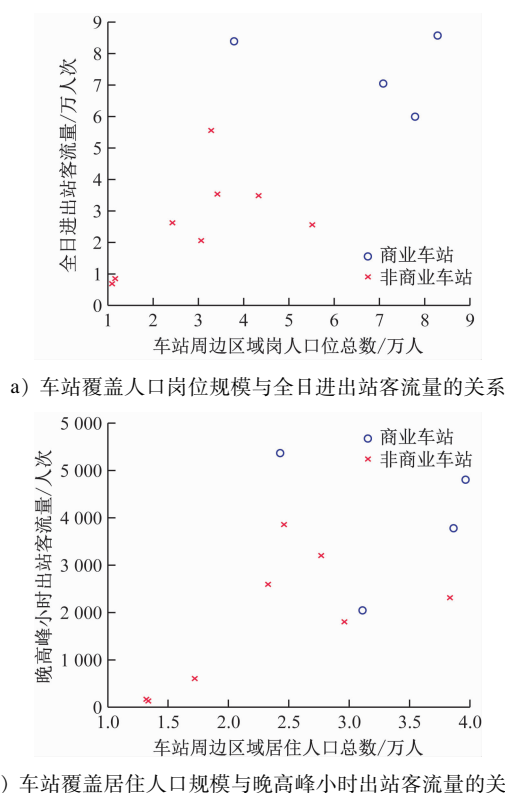
图3 核心区换乘站客流发生率散点图

Fig. 3 Scattered plot of passenger flow rates at downtown interchange stations

对比图3,样本车站坐标点越是位于左上角,车站周边人口岗位规模小但进出站客流量大,说明客流发生率越高;越是位于右下角,车站周边人口岗位规模大但进出站客流量小,说明客流发生率越低。

根据图3数据分析发现,上海核心区城市轨道交通换乘站中的商业车站与非商业车站的全日进出站客流发生率和晚高峰小时出站客流发生率存在明显的差异,商业车站总体上高于非商业车站。

依据同样方法,分别绘制市区换乘站中商业车站及非商业车站的全日进出站客流发生率散点图、晚高峰小时出站客流发生率散点图,如图4所示。



a) 车站覆盖人口岗位规模与全日进出站客流量的关系
b) 车站覆盖居住人口规模与晚高峰小时出站客流量的关系

图4 市区换乘站客流发生率散点图

Fig. 4 Scattered plot of passenger flow rates at urban interchange stations

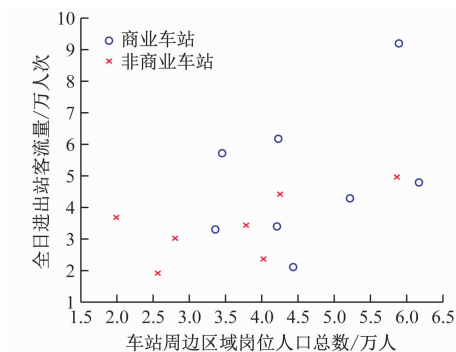
根据图4数据分析发现,上海市区轨道交通换乘站中的商业车站与非商业车站的全日进出站客流发生率和晚高峰小时出站客流发生率不存在明显的差异。产生这种情况的原因可能是:①上海市区城市轨道交通换乘站样本数量较少,车站不具有代表性,导致商业车站和非商业车站的进出站客流发生率差异并不明显;②上海市区城市轨道交通换乘站样本周边大型商场更主要服务于车站周边就近的居民,对全市范围的顾客吸引力有限;③商业

吸引的客流占车站总的客流中比例较低,及时通过广义商业方位进行修正,对整个车站的客流发生率影响作用仍然较小。

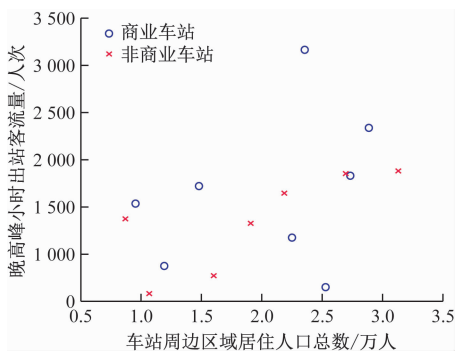
2.2 广义商业岗位对非换乘站进出站客流发生率的影响

基于上海城市轨道交通非换乘站相关数据的处理结果,研究大型商场的商业岗位对城市轨道交通进出站客流发生率的影响。在上海城市轨道交通非换乘站样本中,核心区非换乘站有 15 座,其中商业车站 8 座,非商业车站 7 座;市区非换乘站有 39 座,其中商业车站 23 座,非商业车站 16 座。

分别绘制核心区和市区非换乘站中商业车站及非商业车站的全日进出站客流对比图、晚高峰小时出站客流对比图,分别如图 5、图 6 所示。



a) 车站覆盖人口岗位规模与全日进站客流量的关系



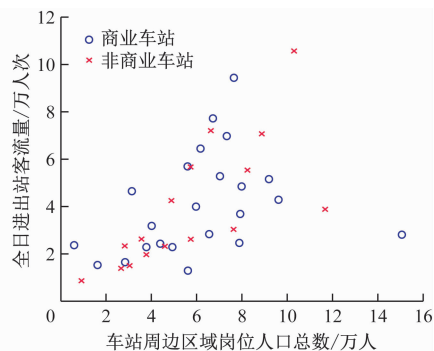
b) 车站覆盖人口规模与晚高峰小时出站客流量的关系

图 5 核心区非换乘站客流发生率散点图

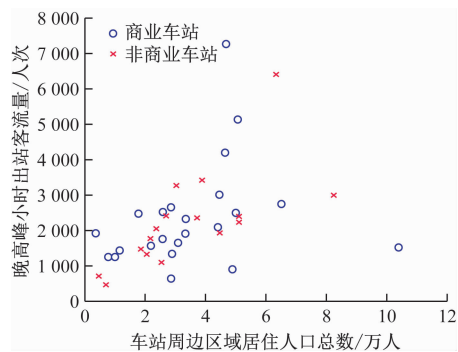
Fig. 5 Scattered plot of passenger flow rates at downtown non-interchange stations

根据图 5 和图 6 数据分析可知:上海核心区和市区城市轨道交通非换乘站中的商业车站与非商业车站的全日进出站客流发生率和晚高峰小时出站客流发生率不存在明显的差异。产生这种情况的原因可能是:非换乘站的车站可达性比换乘站低,因此周边大型商场能够吸引全市范围顾客的能力较低,导致商业车站和非商业车站的进出站客流

发生率均没有明显差异。



a) 车站覆盖人口岗位规模与全日进站客流量的关系



b) 车站覆盖人口规模与晚高峰小时出站客流量的关系

图 6 市区非换乘站客流发生率散点图

Fig. 6 Scattered plot of passenger flow rates at urban non-interchange stations

3 城市轨道交通进出站客流发生率与广义商业岗位的单因素方差分析

3.1 城市轨道交通换乘站进出站客流发生率单因素方差分析

上文通过绘图分析并不能证明大型商场内广义商业岗位对城市轨道交通进出站客流量产生明显影响,现从统计学角度出发,利用单因素方差分析的方法定量研究上海核心区城市轨道交通商业车站与非商业车站在客流发生率上的差异。提出两个原假设:① 广义商业岗位规模对全日进出站客流发生率不存在显著影响;② 广义商业岗位规模对晚高峰小时出站客流发生率不存在显著影响。分别对上海核心区城市轨道交通换乘站的全日进出站客流发生率、晚高峰小时出站客流发生率进行单因素方差分析,分析结果如表 1 所示。

在上海核心区城市轨道交通换乘站中,全日进出站客流发生率的 P 值为 0.092,说明在显著性水平为 10% 的情况下,可以拒绝原假设①,认为广义商业岗位规模对上海核心区城市轨道交通换乘站

表 1 换乘站客流发生率单因素方差分析表

Tab.1 One-way ANOVA of passenger flow rates at interchange stations

区位	比较指标	方差来源	平方和	均方和	F 值	P 值	显著性水平/%
核心区	全日进出站客流发生率	因素项	9.881	0.659	2.990	0.092	10
		误差项	1.322	0.220			
	晚高峰小时出站客流发生率	因素项	0.191	0.013	13.060	<0.01	1
		误差项	0.006	0.001			
市区	全日进出站客流发生率	因素项	1.633	0.408	2.816	0.111	15
		误差项	1.015	0.145			
	晚高峰小时出站客流发生率	因素项	0.026	0.007	2.347	0.154	20
		误差项	0.020	0.003			

注：F 值是 F 检验的统计量值，是两个均方的比值；P 值是用来判定假设检验结果的一个参数。

的全日进出站客流发生率存在显著影响；晚高峰小时出站客流发生率 P 值小于 0.01，说明在显著性水平为 1% 的情况下，可以拒绝原假设②，认为广义商业岗位规模对上海核心区城市轨道交通换乘站的晚高峰小时出站客流发生率存在显著影响。

在上海市区城市轨道交通换乘站中，全日进出站客流发生率的 P 值为 0.111，说明在显著性水平为 15% 的情况下，可以拒绝原假设①，认为广义商业岗位规模对上海市区城市轨道交通换乘站的全日进出站客流发生率存在显著影响；晚高峰小时出站客流发生率的 P 值为 0.154，说明在显著性水平为 20% 的情况下，可以拒绝原假设②，认为广义商业岗位规模对上海市区城市轨道交通换乘站的晚

高峰小时出站客流发生率存在显著影响。

3.2 城市轨道交通非换乘站进出站客流发生率单因素方差分析

依据同样方法，从统计学角度出发，利用单因素方差分析的方法定量说明上海市区城市轨道交通商业车站与非商业车站的客流发生率的差异。提出两个原假设：① 广义商业岗位规模对全日进出站客流发生率不存在显著影响；② 广义商业岗位规模对晚高峰小时出站客流发生率不存在显著影响。分别对上海市区城市轨道交通非换乘站的全日进出站客流发生率、晚高峰小时出站客流发生率进行单因素方差分析，分析结果如表 2 所示。

表 2 非换乘站客流发生率单因素方差分析表

Tab.2 One-way ANOVA of passenger flow rates at non-interchange stations

区位	比较指标	方差来源	平方和	均方和	F 值	P 值	显著性水平/%
核心区	全日进出站客流发生率	因素项	1.431	0.179	5.225	0.043	5
		误差项	0.171	0.034			
	晚高峰小时出站客流发生率	因素项	0.017	0.002	19.599	0.003	1
		误差项	0.001	0			
市区	全日进出站客流发生率	因素项	13.196	0.574	9.654	<0.001	1
		误差项	0.891	0.059			
	晚高峰小时出站客流发生率	因素项	0.228	0.010	10.925	<0.001	1
		误差项	0.014	0.001			

在上海核心区城市轨道交通非换乘站中，全日进出站客流发生率 P 值为 0.043，说明在显著性水平为 5% 的情况下，可以拒绝原假设①，认为广义商业岗位规模对上海核心区城市轨道交通非换乘站的全日进出站客流发生率存在显著影响；晚高峰小

时出站客流发生率 P 值为 0.003，说明在显著性水平为 1% 的情况下，可以拒绝原假设②，认为广义商业岗位规模对上海核心区城市轨道交通非换乘站的晚高峰小时出站客流发生率存在显著影响。

在上海市区城市轨道交通非换乘站中，全日进

出站客流发生率 P 值小于 0.001,说明在显著性水平为 1% 的情况下,可以拒绝原假设①,认为广义商业岗位规模对上海市区城市轨道交通非换乘站的全日进出站客流发生率存在显著影响;晚高峰小时出站客流发生率 P 值小于 0.001,说明在显著性水平为 1% 的情况下,可以拒绝原假设②,认为广义商业岗位规模对上海市区城市轨道交通非换乘站的晚高峰小时出站客流发生率存在显著影响。

这一结论与前文客流发生率对比分析的结论“上海核心区和市区城市轨道交通非换乘站中商业车站的全日进出站客流发生率均值和晚高峰小时出站客流发生率均值没有明显高于非商业车站”存在一定的矛盾,主要原因是客流发生率对比分析是分析商业车站和非商业车站的客流发生率均值的差异,单因素方差分析是分析商业车站和非商业车站的客流发生率方差的差异,而上海核心区和市区非换乘站中商业车站和非商业车站的客流发生率方差的差异较大,均值的差异不大,因此会导致两种分析的结论稍有区别。

4 结语

上海城市轨道交通车站进出站客流量单因素方差分析的结果表明,广义商业岗位规模对上海核心区和市区城市轨道交通车站的全日进出站客流发生率和晚高峰小时出站客流发生率均存在显著影响。因为大型商场吸引了远距离的来访顾客,这部分顾客中部分会乘坐城市轨道交通出行,从而提高了全日进出站客流发生率和晚高峰小时出站客流发生率。用广义商业岗位替代商业岗位作为模型的基础参数,有助于提高城市轨道交通进出站客流量预测模型的精度。

进一步分析可知,核心区、市区换乘站周边无论有没有大型商场,都会因车站换乘线路较多、可达性较高的原因,使得车站的客流发生率较高,因此广义商业岗位对于城市轨道交通换乘站进出站客流发生率的影响在众多因素中并不特别显著。

考虑广义商业岗位的城市轨道交通进出站客流预测修正模型,是用车站周边广义商业岗位修正全日进出站客流预测模型和晚高峰小时出站客流预测模型。基于上海市核心区和市区的相关数据对模型的标定结果表明,预测模型的拟合优度较高

(拟合优度在 0.82 ~ 0.90 之间)。相较于不考虑广义商业岗位的基础模型而言,考虑广义商业岗位的客流预测修正模型的预测精度更高。

参考文献

- [1] 邓进. 城市轨道交通车站客流特征与周边土地利用互动关系: 基于北京市的实证研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
DENG Jin. Interactive relationship between passenger flow characteristics of urban rail transit stations and surrounding land use: an empirical study based on Beijing[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [2] 杨冠华. 城市轨道交通进出站客流特征[D]. 上海: 同济大学, 2016.
YANG Guanhua. The characteristics of station ridership in urban rail transit[D]. Shanghai: Tongji University, 2016.
- [3] SOHN K, SHIM H. Factors generating boardings at metro stations in the Seoul metropolitan area[J]. Cities, 2010, 27(5): 358.
- [4] CERVERO R, KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199.
- [5] 刘剑锋, 陈必壮, 马小毅, 等. 城市轨道交通网络化客流特征及成长规律: 基于京沪穗深城市轨道交通网络客流数据分析[J]. 城市交通, 2013, 11(6): 6.
LIU Jianfeng, CHEN Bizhuang, MA Xiaoyi, et al. Characteristics and increasing trend of passenger flow over urban rail transit network: analysis on passenger flow data of rail transit network in Beijing, Shanghai, Guangzhou and Shenzhen[J]. Urban Transport of China, 2013, 11(6): 6.
- [6] GUTIÉRREZ J, CARDOZO O D, GARCÍA-PALOMARES J C. Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1081.
- [7] KUBY M, BARRANDA A, UPCHURCH C. Factors influencing light-rail station boardings in the United States[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004, 38(3): 223.
- [8] 范雪岩. 考虑不同类型岗位的城市轨道交通进出站客流量预测模型[D]. 上海: 同济大学, 2020.
FAN Xueyan. Passenger flow forecasting model of urban rail transit considering different types of jobs[D]. Shanghai: Tongji University, 2020.

· 收稿日期:2022-11-10 修回日期:2023-01-06 出版日期:2025-03-10

Received:2022-11-10 Revised:2023-01-06 Published:2025-03-10

· 第一作者:张笑天,硕士研究生,1828110381@qq.com

通信作者:覃素馨,硕士研究生,2233407@tongji.edu.cn

· ©《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