面向地铁站点的共享单车接驳出行特征及影响因素分析

马君泽[1],郑长江[1],吴 非[2],汪妍妍[1],陆 野[1],郑树康[3]

(1.河海大学 土木与交通学院,南京 210024;2.河海大学 信息学部,南京 211100;3.河海大学 环境学院,南京 210024)

摘 要:为揭示共享单车接驳地铁出行客流量的时空特征,并分析建成环境因素对接驳需求的影响,本文考虑深圳地铁站出入口周边的建成环境,结合泰森多边形构建接驳出行的识别方法。该方法从时空角度挖掘工作日早、晚高峰进、出站4类接驳客流量的特征,利用时空地理加权回归模型分析4类建成环境因素对接驳需求的影响。结果表明:接驳客流量的分布具有空间异质性,早高峰的接驳需求高于晚高峰;商务住宅类和科教文化服务类兴趣点对城市核心区的接驳客流量的影响呈正相关,对城郊区域的影响呈负相关;然而,交通设施服务类兴趣点对接驳客流量的影响变化则相反;公司企业类兴趣点对城市西部区域接驳客流量的影响呈正相关,而对城市东部区域呈负相关。

关键词:道路与交通工程;共享单车;地铁;接驳客流量;时空特征;时空地理加权回归模型

中图分类号:U491 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-5497(2025)08-2639-12

DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20240009

Analysis of characteristics and influencing factors of dockless bike sharing connected to metro

MA Jun-ze[1],ZHENG Chang-jiang[1],WU Fei[2],WANG Yan-yan[1],LU Ye[1],ZHENG Shu-kang[3]

(1. *College of Civil and Transportation Engineering*, *Hohai University*, *Nanjing* 210024, *China*; 2. *Information Department*, *Hohai University*, *Nanjing* 211100, *China*; 3. *College of Environment*, *Hohai University*, *Nanjing* 210024, *China*)

Abstract: To reveal the spatiotemporal characteristics of the dockless bike sharing connected to the metro and analyze the impact of built environment factors on connection demand, the built environment around the entrances and exits of Shenzhen metro stations was considered in this paper, a method for identifying connection travel was constructed by employing Thiessen polygons. This method explores the characteristics of four types of connection traffic on weekdays from both temporal and spatial perspectives, including access transfer (AT) of morning rush hour, egress transfer (ET) of morning rush hour, AT evening rush hours and ET of evening rush hours. The geographically and temporally weighted regression

收稿日期:2024-01-03.

基金项目:国家自然科学基金项目(51808187);江苏省交通运输厅科技项目(2021G09).

作者简介:马君泽(1994-),男,博士研究生.研究方向:城市交通规划与数据挖掘.E-mail:jz_ma@hhu.edu.cn

通信作者:郑长江(1966-),男,教授,博士.研究方向:交通运输规划与管理.E-mail:zheng@hhu.edu.cn

(GTWR) model was utilized to analyze the impact of four types of built environment factors on connection demand. The results indicate that the distribution of connection traffic exhibits spatial heterogeneity, with higher demand during the morning rush hour than during the evening rush hour. Business residential and scientific educational cultural service POIs have a positive impact on connection traffic in the urban core area, while it is negatively correlated in the suburban areas. However, the impact of transportation facility service POIs on connection traffic varies in the opposite direction. Corporate enterprise POIs have a positive impact on connection traffic in the western urban areas, while it is negatively correlated in the eastern areas.

Key words: road and traffic engineering; dockless bike sharing; metro; connection traffic; spatiotemporal characteristics; geographically and temporally weighted regression model

0 引 言

地铁为城市居民低碳出行提供了重要的选择,但因其线路固定、站点服务范围有限,因而无法满足居民"门到门"的出行需求。为此,寻找便捷高效的接驳工具十分必要。近年来,共享单车的兴起和发展为接驳地铁服务提供新的方案[1]。作为绿色、高效的出行方式,共享单车接驳地铁出行不仅有效解决"最初或最后一公里"问题,而且有助于扩大城市公共交通的服务范围,满足居民日益多元化的出行需求[2,3]。

为揭示居民使用共享单车接驳地铁出行客流量的特征,准确识别接驳出行尤为关键。由于尚未存在同步记录居民使用共享单车和地铁出行行程的平台,即共享单车与地铁的联通出行记录无法获取。因此,当前研究多以地铁站点为中心,通过简单假设在100~500 m的规则缓冲区来识别共享单车接驳地铁的出行客流[4-8]。Fan等[9]将共享单车出行起点或终点在以地铁站300 m缓冲区内的出行视为接驳出行。Li等[10]参考以往的研究,选择以地铁站为中心设置100 m的圆形缓冲区作为接驳识别区。在此基础上,学者们分析接驳客流量的时间与空间特征,采用普通最小二乘法(Ordinary least square, OLS)、负二项回归[11-13]、二元logit模型[14]、地理加权回归(Geographically weighted regression, GWR)模型[15]等方法探究社会经济属性、建成环境因素、天气因素等对接驳需求的影响。

以往接驳出行识别的方法忽略了地铁站各出入口周边的建成环境,简单假设规则的识别缓冲区会存在重复记录接驳出行数据或无效数据被记录的情况,从而导致识别准确度降低,影响出行特征的分析。例如,共享单车的起终点落在住宅区、公园或购物商场等建筑覆盖的区域,此时不应视为接驳出行。此外,分析接驳需求影响因素的方法忽略了共享单车数据在地理空间和时间上的非平稳性。因此,本文考虑地铁站点周边的建成环境,并结合泰森多边形构建共享单车接驳地铁出行的识别方法。将接驳客流划分为4类,并采用时空地理加权回归模型分析建成环境因素对接驳需求的影响。

1 研究区域与数据处理

1.1 研究区域概况

深圳市是中国南部海滨城市,位于广东省南部,全市面积1 997.47平方千米,下辖9个行政区和1个新区,包括福田区、罗湖区、盐田区、南山区、宝安区、龙岗区、龙华区、坪山区、光明区、大鹏新区,共计74个街道。截至2021年底,深圳市常住人口1 768.16万人。作为我国内地第8座开通地铁的城市,截至2021年6月,深圳市运营地铁线路11条,站点261个,如图1所示[16]。

1.2 数据来源

本文利用共享单车出行记录、人口密度、建成

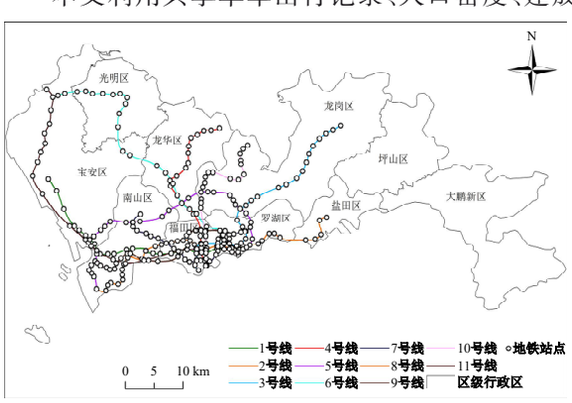


图1 研究区域

Fig. 1 Study area

环境等多源数据。其中，建成环境数据包括公共交通站点密度、兴趣点（Point of interest，POI）、城市道路网和城市建筑轮廓。数据基本信息如表1所示。共享单车出行记录数据选取2021年3月24日至2021年4月6日工作日期间的出行记录，共5 555 002条。地铁站点、公交交通站点数据从深圳市交通运输局获取，其中公交交通站点共17 935个。依据高德地图POI分类编码以及高德地图API数据开放接口获取4类POI数据，共174 006个。深圳市道路网、建筑轮廓数据从OpenStreet-Map（OSM）网站获取。

1.3　数据处理

对于共享单车出行记录：首先，剔除共享单车出行起点或终点在研究区域外的行程；其次，通过计算出行行程的时间，剔除骑行时间＜1 min或＞30 min的行程；最后，剔除行程开始或结束时间在深圳地铁运行时间（6点至24点）以外的行程。通过数据清洗，最终保留有效的共享单车出行记录为5 056 468条。对于建成环境数据：首先，剔除研究区域以外的数据；其次，合并名称和位置相同的数据；最后，以地铁站点的各出入口为中心，建立半径为2 km的缓冲区，分别获取各站点缓冲区范围内4类POI的数量。

表1　数据基本信息

Table 1　Basic information of the data

数据名称	详细信息	数据来源
共享单车出行记录	数据集为2021年3月24日—4月6日工作日期间的出行记录，包括用户ID、骑行开始时间、骑行结束时间、骑行起点经纬度、骑行终点经纬度	深圳市交通运输局
地铁站点	深圳市11条地铁线路站点和出入口经纬度坐标，241个站点名称	
公共交通站点	深圳市公交站点经纬度坐标、站点名称	
人口密度	深圳市10个区74个街道的人口密度	第七次全国人口普查数据
POI	4类POI，包括商务住宅类、公司企业类、科教文化服务类、交通设施服务类	高德地图
深圳市道路网	深圳市城市道路名称	OpenStreet-Map
深圳市建筑轮廓	深圳市建筑轮廓	

2　研究方法

2.1　共享单车接驳地铁出行的识别方法

本文定义了两种共享单车接驳地铁出行方式，如图2所示。第一种为以地铁站为终点的接驳出行（Access transfer，AT），即用户骑行的终点位于地铁站点各出入口的缓冲区内，停车后进入地铁站换乘地铁出行。第二种则为以地铁站为起点的接驳出行（Egress transfer，ET），即用户骑行的起点位于地铁站点各出入口的缓冲区内，出地铁站后换骑共享单车。

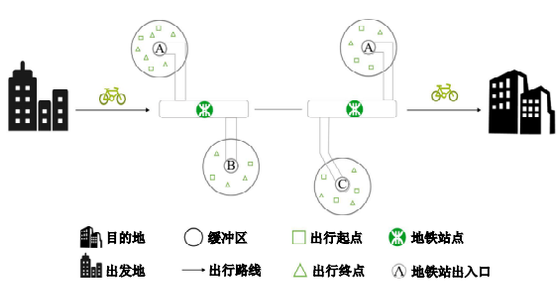


图2　共享单车接驳地铁出行方式示意图

Fig. 2　Schematic diagram of dockless bike sharing connected to the metro

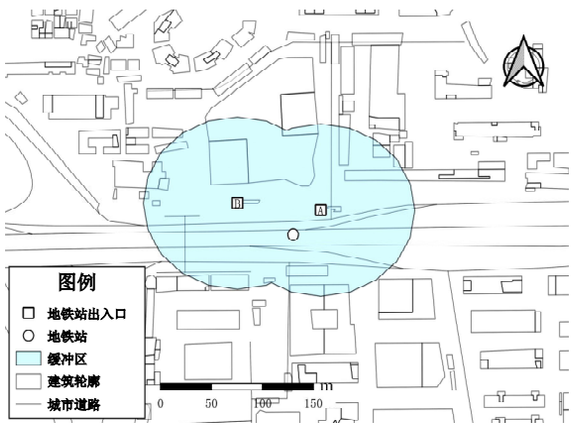
相较于以往研究设置单一圆形或多边形缓冲区的方法，本文考虑地铁站出入口附近的城市道路网、建筑轮廓等建成环境因素，并结合泰森多边形方法建立共享单车接驳地铁出行的识别方法，以提高识别精度和准确性。首先，以地铁站的出入口为中心设置半径为100 m的圆形缓冲区并将重复区域融合，如图3（a）所示。其次，利用泰森多边形对缓冲区域进行划分，避免重复识别接驳出行数据。最后，将建筑轮廓和城市道路网等要素与缓冲区进一步融合并保留建筑轮廓以外的缓冲区域，以保证识别有效的接驳出行数据，如图3（b）所示。

2.2　多重共线性检验

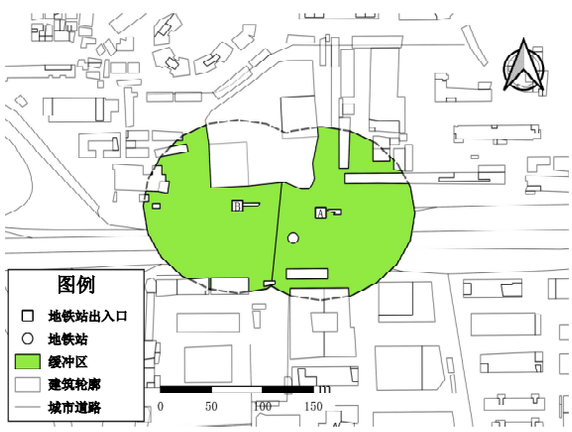
多重共线性是指自变量之间存在高度线性相关。在解释其他自变量的影响时，高多重共线性会导致偏差。方差膨胀因子（Variance inflation factor，VIF）是衡量多重共线性程度的关键指标，其表达式为：

$$\mathrm{VIF}=\frac{1}{1-R_i^2}\ (i=1,2,\cdots,k) \qquad (1)$$

式中：R_i^2为第i个自变量作为被解释变量，其对剩



(a) 基于固定距离的缓冲区



(b) 基于泰森多边形的缓冲区

图3 共享单车接驳地铁出行的识别方法

Fig. 3 Identification method of dockless bike sharing connected to the metro

余$k-1$个自变量通过线性回归获取的可决定系数。一般来说,若VIF>10,则认为自变量之间存在严重的多重共线性。

2.3 空间自相关检验

空间自相关检验是通过检验空间上某一点要素的观测值与相邻点观测值之间的相关性来判断变量在空间上是否存在异质性和空间聚类。莫兰指数(Moran′s index)是常用的空间自相关检验指标,其表达式为:

$$I=\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}}\cdot\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{2}$$

式中:n为要素的总数量;w_{ij}为要素i和j之间的空间权重;x_i和x_j为要素i和j的属性值;$\bar{x}$为所有要素的平均属性值。

莫兰指数的取值范围为$-1\sim1$,若莫兰指数>0,则自变量具有空间正相关性,且其值越大,空间相关性越明显;反之,则具有空间负相关性,且其值越小,空间差异越大。

2.4 时空地理加权回归模型

时空地理加权回归(Geographically and temporally weighted regression, GIMR)模型是在GWR模型的基础上,通过考虑空间和时间的非平稳性而构建的一种局部线性回归模型[17,18]。GTWR模型的表达式为:

$$Y_i=\beta_0(u_i,\nu_i,t_i)+\sum_k\beta_k(u_i,\nu_i,t_i)X_{ik}+\varepsilon_i \tag{3}$$

式中:Y_i为第i个样本点的因变量值;(u_i,ν_i)为第i个样本点的空间位置;t_i为观测时间;$\beta_0(u_i,\nu_i,t_i)$为截距;X_{ik}为在第i个样本点的第k个自变量;$\beta_k(u_i,\nu_i,t_i)$为第i个样本点的第k个因变量的回归系数;ε_i为随机误差项。

GTWR模型回归系数的计算公式为:

$$\hat{\beta}(u_i,\nu_i,t_i)=\left[X^{\mathrm{T}}\boldsymbol{W}(u_i,\nu_i,t_i)X\right]^{-1}X^{\mathrm{T}}\boldsymbol{W}(u_i,\nu_i,t_i)Y \tag{4}$$

式中:$\boldsymbol{W}(u_i,\nu_i,t_i)$为样本点$i$的时空权重矩阵,其形式为对角矩阵。

$$\boldsymbol{W}(u_i,\nu_i,t_i)=\begin{bmatrix}\omega_{i1} & & & \\ & \omega_{i2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \omega_{in}\end{bmatrix}=\mathrm{diag}\left[\omega_{i1}\omega_{i2}\cdots\omega_{in}\right] \tag{5}$$

式中:对角元素$\omega_{ij}(i<j<n)$为(u_i,ν_i,t_i)的时空距离函数。

$$\omega_{ij}=\exp\left[-\left(\frac{d_{ij}^{\mathrm{ST}}}{b}\right)^2\right] \tag{6}$$

式中:d_{ij}^{ST}为时空距离,计算公式如式(7)所示;b为时空带宽,其最优带宽通过交叉验证(Cross-validation, CV)值来确定。

$$\left(d_{ij}^{\mathrm{ST}}\right)^2=\lambda\left[\left(u_i-u_j\right)^2+\left(v_i-v_j\right)^2\right]+\mu\left(t_i-t_j\right)^2 \tag{7}$$

3 结果与分析

3.1 共享单车接驳地铁出行客流量的特征分析

利用本文提出的共享单车接驳地铁出行的识别方法,最终识别有效的ET客流量为1 080 110人次,AT客流量为1 028 625人次。共享单车接驳地铁出行客流量的时间分布如图4所示,结果

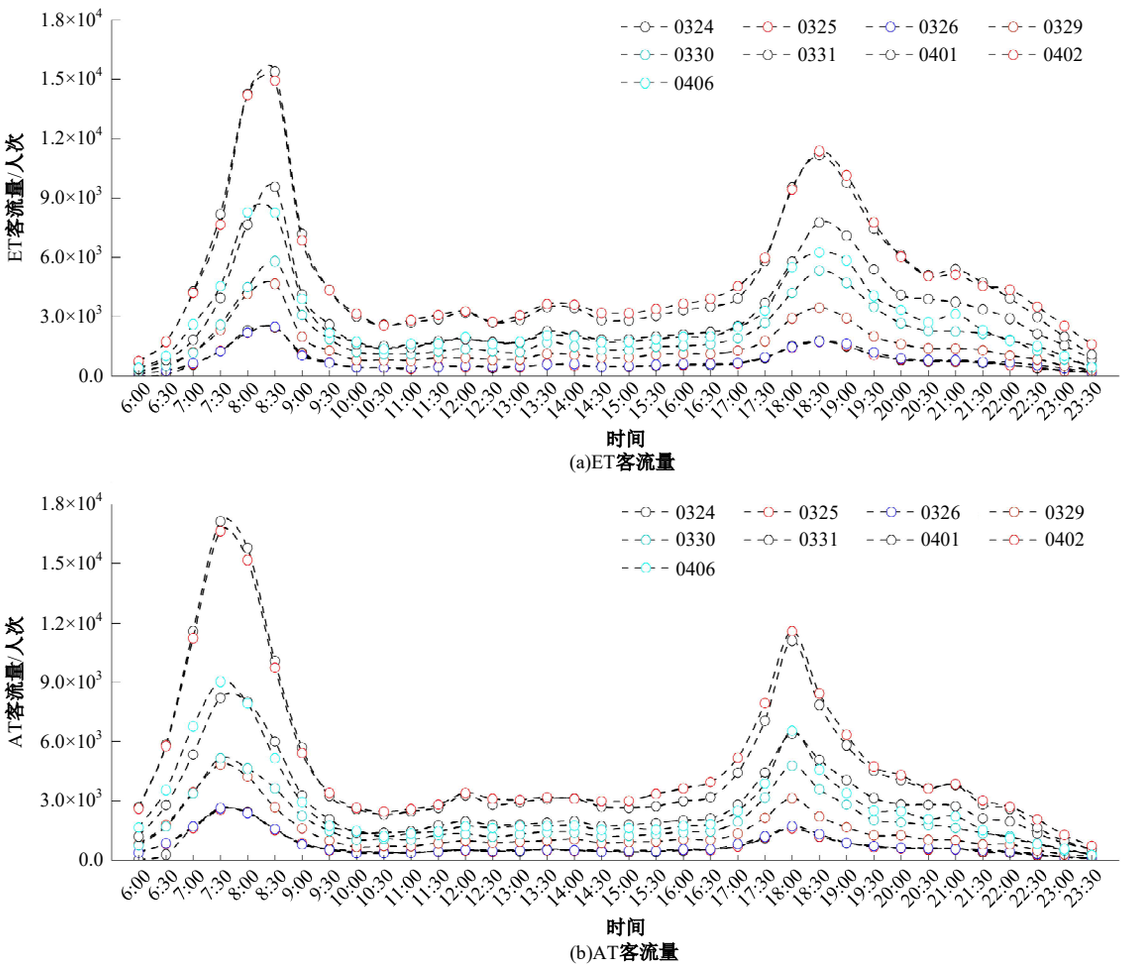


图 4　共享单车接驳地铁出行客流量的时间分布

Fig. 4　Temporal distribution of dockless bike sharing connected to the metro traffic

显示 ET 和 AT 客流量在工作日均具有明显的早、晚高峰，其中早高峰为 7 点至 9 点，晚高峰为 17 点 30 分至 19 点 30 分，居民在早高峰的接驳需求＞晚高峰。此结果与预期一致，这是由于居民上班、上学等出行目的和时间相对固定，需要在有限时间内到达目的地，而晚高峰期间居民下班、放学后出行目的和时间则相对灵活。此外，早高峰 ET 客流量的峰值时间相较于 AT 客流量的峰值时间延迟 1 h，此结果与 Guo 等[11]的研究结果一致，而晚高峰所对应的时间差值为 30 min。

图 5 为工作日早、晚高峰时段的共享单车接驳地铁出行客流量的空间分布特征，通过对比 4 类接驳客流量的分布特征发现，接驳客流量的分布具有空间异质性，呈局部聚集的特征，在宝安区的南部和龙华区的中部（图 5(a)中红框区域）接驳需求较大。这是由于深圳城市核心区的高房价或房租迫使居民选择距离更远的地方居住，上述区域居民区较为密集，居民对于共享单车接驳地铁出行的需求高。此外，在早高峰时段，接驳客流的流动趋势由地铁 5 号线以北的城郊区域向地铁 5 号线以南的城市核心区流动（图 5(b)中黄框区域），而晚高峰时段则呈相反趋势。此趋势的变化是由于城市核心区域的公共资源、商业资源、教育资源等优势明显，分布较多的科技创新园区、中央商务区（Central business district，CBD）、综合商业区以及学校等，如福田 CBD、罗湖 CBD、华强北商业区等。因此，在工作日早高峰时段，居民由于上班、上学等通勤活动导致接驳客流由城郊区域流向城市核心区域，而晚高峰时段则相反。

3.2　共享单车接驳地铁出行客流量的影响因素分析

本文选取的因变量为工作日早高峰 ET 客流量、早高峰 AT 客流量、晚高峰 ET 客流量及晚高峰 AT 客流量，自变量包括人口密度、公交站点密度、路网密度、商务住宅类 POI、公司企业类 POI、科教文化服务类 POI、交通设施服务类 POI，变量的定义与描述性统计如表 2 所示。

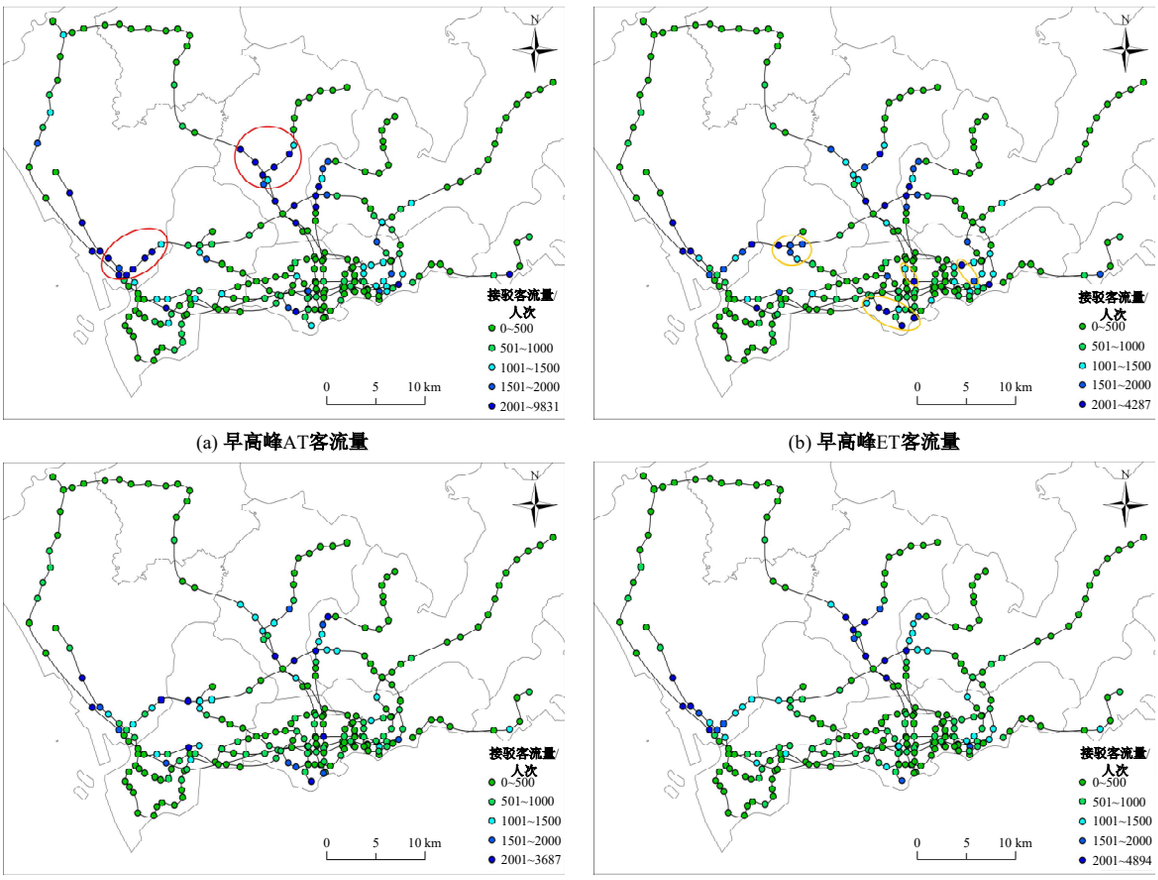


图5 共享单车接驳地铁出行客流量的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of dockless bike sharing connected to the metro traffic

表2 变量的定义与描述性统计

Table 2 Definition and descriptive statistics of variables

	变量	定义	单位	最小值	最大值	平均值	标准差
因变量	早高峰ET客流量	工作日早高峰时段以地铁站为起点的出站换乘客流量	人次	0	4 287	669.330	760.387
	早高峰AT客流量	工作日早高峰时段以地铁站为终点的进站换乘客流量		0	9 831	840.418	1 279.973
	晚高峰ET客流量	工作日晚高峰时段以地铁站为起点的出站换乘客流量		0	4 894	621.410	797.558
	晚高峰AT客流量	工作日晚高峰时段以地铁站为终点的进站换乘客流量		0	3 687	540.992	593.324
自变量	人口密度	街道一级的人口密度	千人/km^2	2.033	57.729	18.484	10.716
	公交站点密度	地铁站出入口2 km缓冲区内的密度	个/km^2	0.955	28.250	16.535	5.493
	路网密度	地铁站出入口2 km缓冲区内的密度	km/km^2	2.492	21.576	12.271	2.894
	商务住宅类POI	地铁站出入口2 km缓冲区内的POI数量	个	3	716	311.391	156.595
	公司企业类POI			48	4 343	1 585.13	871.910
	科教文化服务类POI			0	55	12.429	10.458
	交通设施服务类POI			20	1 650	654.548	402.327

通过SPSS软件对共享单车接驳地铁出行客流量空间分布的影响因素进行多重共线性检验，结果如表3所示，所有自变量的VIF值均<10，表明自变量之间不存在严重的多重共线性。表4为7个自变量的空间自相关检验结果，可以发现每个自变量的Z得分均>2.58且P值均<0.01，表明自变量间存在显著的空间自相关性。

本文采用OLS模型、GWR模型和GTWR模型分析不同建成环境因素对共享单车接驳地铁出行客流量空间分布的影响。表5所示的结果显示，早高峰ET客流量、早高峰AT客流量、晚高峰ET客流量及晚高峰AT客流量的GTWR模型的

调整决定系数均＞GWR模型和OLS模型，且赤池信息准则均＜GWR模型和OLS模型。这表明GTWR模型的性能优于GWR模型和OLS模型，使用GTWR模型可以更好地解释建成环境因素对共享单车接驳地铁出行客流量空间分布的影响。

通过分析表6的OLS模型结果发现，与预期结果不同的是，人口密度对共享单车接驳地铁出行客流量的影响并不显著，这表明人口密度对接驳出行的影响仍具有不确定性，可能与城市环境的独特性有关[12]。然而，建成环境因素对接驳客流量的影响显著，商务住宅类POI和交通设施服务类POI对4类接驳客流量具有显著的影响，科教文化服务类POI对早高峰ET客流量和晚高峰AT客流量具有显著的影响，公司企业类POI对早高峰AT客流量具有显著的影响。

表3　多重共线性检验结果

Table 3　Results of the multicollinearity test

变量	VIF
人口密度	2.157
公交站点密度	2.883
路网密度	5.665
商务住宅类POI	2.541
公司企业类POI	2.340
科教文化服务类POI	1.557
交通设施服务类POI	7.616

表4　空间自相关检验结果

Table 4　Results of spatial autocorrelation test

变量	人口密度	公交站点密度	路网密度	商务住宅类POI	公司企业类POI	科教文化服务类POI	交通设施服务类POI
莫兰指数	0.707	0.617	0.782	0.704	0.705	0.745	0.835
预期指数	−0.004	−0.004	−0.004	−0.004	−0.004	−0.004	−0.004
方差	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
*Z*得分	18.226	15.879	20.094	18.116	18.160	19.364	21.448
*P*值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表5　OLS、GWR与GTWR模型性能比较结果

Table 5　Comparison results of OLS, GWR, and GTWR model performance

变量	模型	决定系数	调整的决定系数	赤池信息准则
早高峰ET客流量	OLS	0.227	0.206	4 155.044
	GWR	0.383	0.314	4 125.312
	GTWR	0.582	0.570	4 124.630
早高峰AT客流量	OLS	0.278	0.258	4 408.928
	GWR	0.483	0.425	4 351.119
	GTWR	0.661	0.651	4 341.820
晚高峰ET客流量	OLS	0.227	0.205	4 180.032
	GWR	0.443	0.381	4 123.650
	GTWR	0.652	0.643	4 101.400
晚高峰AT客流量	OLS	0.141	0.118	4 052.995
	GWR	0.303	0.225	4 027.834
	GTWR	0.495	0.481	4 014.657

图6为商务住宅类POI对共享单车接驳地铁出行客流量空间分布的影响。在地铁5号线以南的城市核心区，商务住宅类POI对4类接驳客流量的空间分布的影响呈正相关，且系数自东向西逐渐增加，在南山区的西南部达到最高值，这表明随着商务住宅数量的增加接驳需求也随之增加。从城市空间结构分析，南山区的西南部建立了前海、南山2个城市功能中心和蛇口城市功能节点，其功能定位多元化，承担商业、科创、教育等功能，促进了居民日常通勤出行目的的多元化，并提高了出行需求。从城市用地规划分析，南山区相较于罗湖区和福田区的居民用地面积较大，其商务住宅的数量和人口数量高于罗湖区和福田区，因此在南山区西南部的接驳需求高于其他区域[16]。然而，在地铁5号线以北的城郊区域，地铁6号线、1号线、11号线和4号线部分站点的接驳客流量与商务住宅类POI呈负相关。上述站点位于工业区附近，由于工作地点分布在郊区且地铁线网密度较低，导致居民工作日通勤时间较长，为节省时间，居民通常更倾向于居住在工作地点附近。

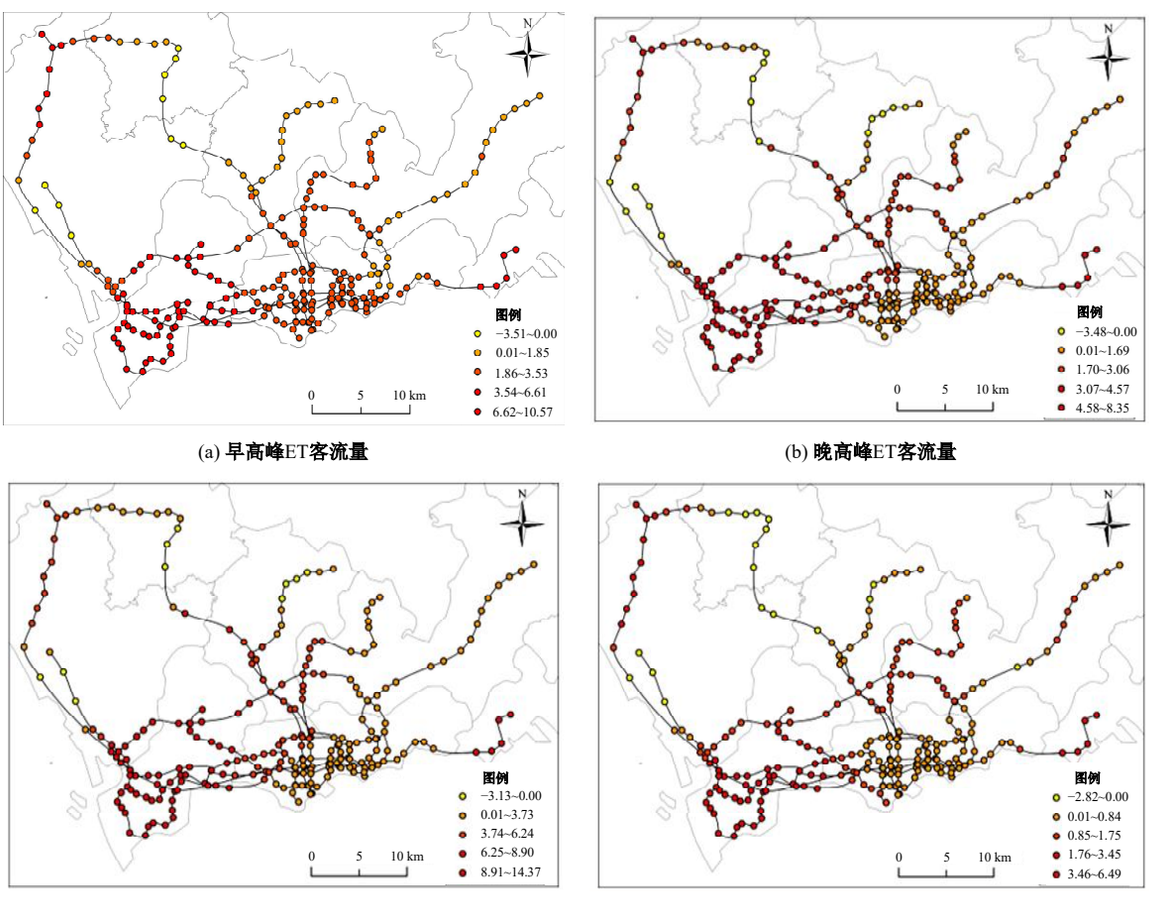
图7为交通设施服务类POI对共享单车接驳地铁出行客流量空间分布的影响。在地铁5号线以北的城郊区域，交通设施服务类POI对4类接驳客流量的空间分布的影响呈正相关，表明停车设施资源充足，其他出行方式与共享单车接驳地铁的出行方式形成互补关系。由于城郊区域地铁线网密度低，共享单车投放数量少，导致地铁站点和共享单车服务范围有限，而城郊区域交通拥堵问题较轻，且充足的停车设施为居民使用多元的

表6 OLS模型结果

Table 6 Results of OLS model

变量		人口密度	公交站点密度	路网密度	商务住宅类POI	公司企业类POI	科教文化服务类POI	交通设施服务类POI
早高峰ET客流量	系数	−6.697	−20.367	27.122	3.173	0.095	9.756	−0.789
	t	−1.163	−1.568	1.278	7.418	1.289	1.946	−2.735
	*P*值	0.246	0.118	0.203	0.000**	0.199	0.053*	0.007**
早高峰AT客流量	系数	−15.907	−23.412	26.915	6.065	0.241	−2.928	−1.428
	t	−1.698	−1.108	0.780	8.717	2.009	−0.359	−3.046
	*P*值	0.091	0.269	0.436	0.000**	0.046*	0.720	0.003**
晚高峰ET客流量	系数	−8.168	−6.140	20.424	3.262	0.130	2.251	−0.848
	t	−1.352	−0.450	0.917	7.269	1.677	0.428	−2.804
	*P*值	0.178	0.653	0.360	0.000**	0.095	0.669	0.005**
晚高峰AT客流量	系数	−2.527	−6.834	20.950	1.540	0.100	10.656	−0.572
	t	−0.533	−0.639	1.200	4.378	1.654	2.584	−2.411
	*P*值	0.594	0.523	0.231	0.000**	0.099	0.010**	0.017*

注:**表示$P<0.01$,*表示$P<0.05$。



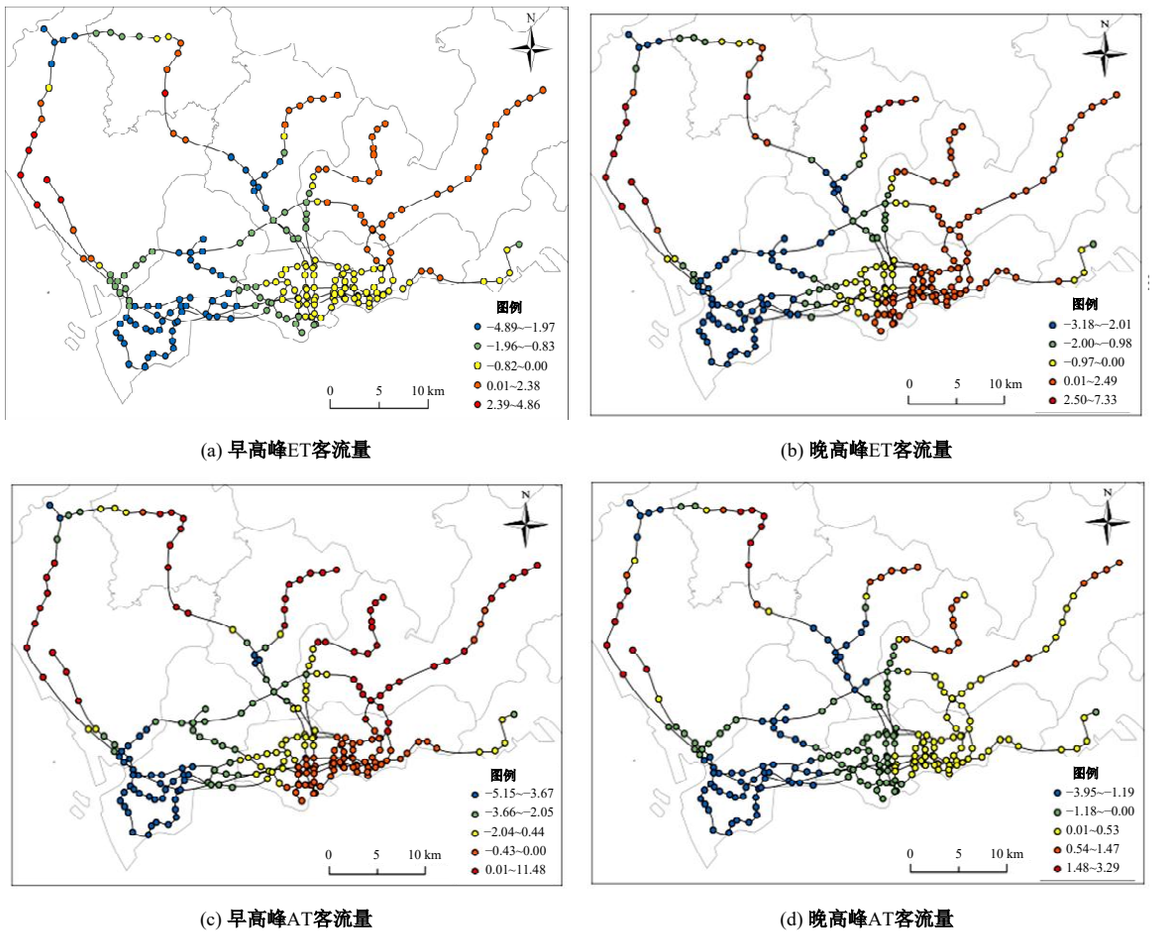
(a) **早高峰ET客流量** (b) **晚高峰ET客流量**

(c) **早高峰AT客流量** (d) **晚高峰AT客流量**

图6 商务住宅类POI对接驳客流量空间分布的影响

Fig. 6 Impact of business residential POIs on the spatial distribution of connection traffic

出行方式提供了便利,如在城郊区域分布大量的电动两轮车,从而延伸了地铁站点的接驳范围,与共享单车接驳地铁出行形成互补,共同满足居民的出行需求。然而,在地铁5号线以南的城市核心区,早、晚高峰时段呈现的变化趋势有所差别。其中,早高峰时段交通设施服务类POI对接驳客流量的影响呈负相关,且自东向西影响逐渐增加。不同于城郊区域,城市核心区停车设施资源紧张,



(a) 早高峰ET客流量　　(b) 晚高峰ET客流量

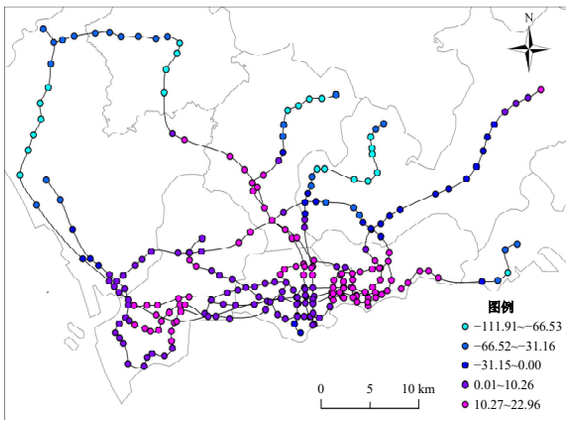
(c) 早高峰AT客流量　　(d) 晚高峰AT客流量

图 7　交通设施服务类 POI 对接驳客流量空间分布的影响

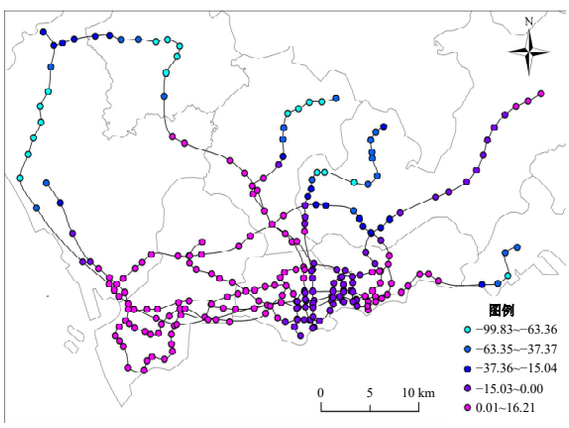
Fig. 7　Impact of transportation facility service POIs on the spatial distribution of connection traffic

交通拥堵较为严重，而地铁线网密度高，共享单车投放数量多，导致居民更愿意使用共享单车接驳地铁出行。从地区发展分析，罗湖区和福田区是深圳的金融和商务核心区，停车资源紧张，但商务活动频繁；而南山区则是科技创新和文化教育中心，拥有更多的科技企业、高等学校等，青年群体对共享单车接驳地铁出行的依赖程度更高[19,20]。此外，罗湖区和福田区是深圳的交通枢纽，且其可开发的停车设施资源相较于南山区更为紧张，因此，南山区接驳客流量受交通设施服务类 POI 的影响更显著。晚高峰时段，在华强北商圈、罗湖商圈区域，交通设施服务类 POI 对接驳客流量的影响呈正相关。究其原因，可能是早晚高峰时段的出行目的和交通需求有所不同。早高峰时段，居民以通勤为主，交通需求集中，在上述商圈停车设施紧张，选择共享单车接驳地铁出行成为替代方式之一。而晚高峰时段，居民下班时间和目的地较为分散，出行选择也更加多样。因此，共享单车接驳地铁出行的方式成为补充方式。

科教文化服务类 POI 对早高峰 ET 客流量和晚高峰 AT 客流量空间分布的影响如图 8 所示。在地铁 5 号线以北的城郊区域的早高峰时段，科教文化服务类 POI 对接驳客流量的影响呈负相关，这是由于城郊区域的科教文化设施分布稀疏，高峰时期的交通条件较城市核心区更好，居民对于共享单车接驳地铁出行的需求也相对较低，更倾向于选择其他交通方式。相反，在地铁 5 号线以南的城市核心区的早高峰时段，科教文化服务类 POI 对接驳客流量的影响呈正相关，此结果符合预期。一方面，共享单车接驳地铁的出行方式相较于其他交通方式更具经济性和灵活性，早高峰时段可节约时间，提高出行效率。另一方面，青年群体注重环保和可持续发展，一直被认为是共享单车骑行中的主力军，共享单车的使用既符合青年群体绿色、低碳的价值观，又促进健康生活方式的形成，因此使用共享单车接驳地铁的出行方式在青年群体中广受欢迎[19]。然而，在晚高峰时段，福田区东部科教文化服务类 POI 对接驳客流



(a) 早高峰ET客流量



(b) 晚高峰AT客流量

图8 科教文化服务类POI对接驳客流量空间分布的影响

Fig. 8 Impact scientific educational cultural service of POIs on the spatial distribution of connection traffic

量的影响呈负相关,由于该区域地处商业商务区,晚高峰期间接驳需求较高,且客流以上班群体为主,为避免拥挤,学生群体更倾向选择其他更加舒适的交通方式,从而降低了对接驳出行的需求。

公司企业类POI对早高峰AT客流量空间分布的影响如图9所示。结果表明,公司企业类POI对接驳客流量的影响自东向西由负相关逐渐变为正相关,影响系数为-0.84~3.46,特别是在宝安区和南山区西南部的地铁1号线、5号线和11号线区域影响显著。此结果与深圳市不同区域的产业分布和结构有关,公司企业类POI通常较为集中,这些地区在工作日的早晚高峰时段可能会吸引大量上班族和办公人员。宝安区产业结构复杂,涉及制造业、工业及现代服务业等,涵盖众多公司企业,这些企业规模较大,员工数量众多。南山区主要以科技创新企业、文化教育企业为主。上述区域相较于深圳东部的福田区、罗湖区等以

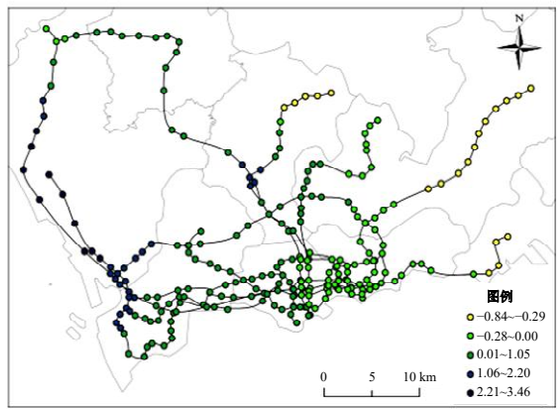


图9 公司企业类POI对接驳客流量空间分布的影响

Fig. 9 Impact of corporate enterprise POIs on the spatial distribution of connection traffic

金融、商业为主的区域,居民的收入水平差异使共享单车接驳地铁的出行方式更受欢迎。因此,公司企业类POI对接驳客流量的影响在宝安区和南山区西南部的地铁1号线、5号线和11号线区域更显著。

4 结 论

(1)共享单车接驳地铁出行客流量在工作日存在明显的早晚高峰特征,早高峰时段的接驳需求>晚高峰。接驳客流量的分布具有空间异质性,在宝安区南部和龙华区中部接驳需求较高。早高峰时段,接驳客流由城郊区域流向城市核心区,而晚高峰流向则相反。

(2)商务住宅类POI对4类接驳客流量的空间分布具有显著的影响。在地铁5号线以南的城市核心区,商务住宅类POI对接驳客流量的影响呈正相关,尤其在南山区的西南部影响系数最高,达14.37。而在地铁5号线以北的城郊区域,则对接驳客流量的影响呈负相关。

(3)交通设施服务类POI对4类接驳客流量的空间分布也具有显著的影响。与商务住宅类POI不同,在地铁5号线以南的城市核心区,交通设施服务类POI对早、晚高峰接驳客流量的影响变化有所差异。早高峰时段,交通设施服务类POI对接驳客流量的影响呈负相关。然而,晚高峰时段,在华强北和罗湖商圈周边,交通设施服务类POI对接驳客流量的影响则呈正相关。在地铁5号线以北的城郊区域,交通设施服务类POI对4类接驳客流量的影响呈正相关。

(4)科教文化服务类POI对早高峰ET客流

量、晚高峰AT客流量的空间分布的影响有所差异。早高峰时段,城郊区域与城市核心区接驳客流量的影响变化趋势相反,城市核心区科教文化服务类POI对接驳客流量的影响呈正相关,而城郊区域则呈负相关。晚高峰时段,在城市核心区的福田区东部,科教文化服务类POI对接驳客流量的影响呈负相关。

(5)公司企业类POI也是影响接驳客流量空间分布的重要因素。该因素在宝安区和南山区西南部对接驳客流量具有显著的积极影响,有助于促进当地共享单车接驳地铁出行方式的使用。然而,受产业结构分布的影响,在深圳市东部区域的接驳客流量则呈消极的影响。

参考文献:

[1] 胡莹, 邵春福, 王书灵, 等. 基于共享单车骑行轨迹的骑行质量识别方法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2023, 53(4): 1040-1046.
Hu Ying, Shao Chun-fu, Wang Shu-ling, et al. Identification of road riding quality based on shared bike trajectory data[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2023, 53(4): 1040-1046.

[2] 常山, 宋瑞, 何世伟, 等. 共享单车故障车辆回收模型[J]. 吉林大学学报:工学版, 2018, 48(6): 1679-1684.
Chang Shan, Song Rui, He Shi-wei, et al. Recycling model of faulty bike sharing[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2018, 48(6): 1679-1684.

[3] Yu S B, Liu G H, Yin C R. Understanding spatial-temporal travel demand of free-floating bike sharing connecting with metro stations[J]. Sustainable Cities and Society, 2021,74: No. 103162.

[4] Hu S H, Chen M Y, Jiang Y, et al. Examining factors associated with bike-and-ride (BnR) activities around metro stations in large-scale dockless bikesharing systems[J]. Journal of Transport Geography, 2022, 98: No. 103271.

[5] Li X F, Du M Y, Yang J Z. Factors influencing the access duration of free-floating bike sharing as a feeder mode to the metro in Shenzhen[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 277: No. 123273.

[6] 蒋源, 陈小鸿, 徐晓敏, 等. 公共自行车接驳轨道交通服务范围研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(增刊1): 94-102.
Jiang Yuan, Chen Xiao-hong, Xu Xiao-min, et al. Exploring the catchment area of public bike connecting to subway[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18 (S1): 94-102.

[7] Wu X Y, Lu L, Gong Y X, et al. The impacts of the built environment on bicycle-metro transfer trips: A new method to delineate metro catchment area based on people's actual cycling space[J]. Journal of Transport Geography, 2021, 97: No. 103215.

[8] Shao H Y, Jin C, Xu J, et al. Identifying metro station types based on transfer purposes: an application of bike-sharing data in Xiamen, China[J]. Canadian Geographies, 2023, 67(4): 550-563.

[9] Fan Y C, Zheng S Q. Dockless bike sharing alleviates road congestion by complementing subway travel: evidence from Beijing[J]. Cities, 2020, 107: No. 102895.

[10] Li L L, Li X H, Yu S B, et al. Unbalanced usage of free-floating bike sharing connecting with metro stations[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2022, 608: No. 128245.

[11] Guo Y Y, He S. Built environment effects on the integration of dockless bike-sharing and the metro[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 83: No. 102335.

[12] Guo Y Y, Yang L C, Lu Y, et al. Dockless bike-sharing as a feeder mode of metro commute? The role of the feeder-related built environment: analytical framework and empirical evidence[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 65: No. 102594.

[13] Liu X H, Fan J, Li Y, et al. Analysis of integrated uses of dockless bike sharing and ridesourcing with metros: a case study of Shanghai, China[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 82: No. 103918.

[14] Zhao P J, Yuan D D, Zhang Y X. The public bicycle as a feeder mode for metro commuters in the megacity Beijing: Travel behavior, route environment, and socioeconomic factors[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2022, 148(1): No. 04021064.

[15] Li W X, Chen S W, Dong J S, et al. Exploring the spatial variations of transfer distances between dockless bike-sharing systems and metros[J]. Journal of Transport Geography, 2021, 92: No. 103032.

[16] 深圳市统计局, 国家统计局深圳调查队. 深圳统计年鉴 2022[M]. 北京:中国统计出版社有限公司, 2022.

[17] Wu B, Li R R, Huang B. A geographically and temporally weighted autoregressive model with application to housing prices[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(5): 1186-1204.

[18] 马新卫, 季彦婕, 金雨川, 等. 基于时空地理加权回归的共享单车需求影响因素分析[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2020, 50(4): 1344-1354.
Ma Xin-wei, Ji Yan-jie, Jin Yu-chuan, et al. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in dockless bike-share usage demand[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(4): 1344-1354.

[19] Schimohr K, Scheiner J. Spatial and temporal analysis of bike-sharing use in cologne taking into account a public transit disruption[J]. Journal of Transport Geography, 2021, 92: No. 103017.

[20] 深圳市规划和自然资源局. 深圳市国土空间总体规划(2020-2035年)[R]. 深圳: 深圳市规划和自然资源局, 2021.
Planning and Natural Resources Bureau of Shenzhen Municipal People's Government. Territorial spatial master planning of Shenzhen (2020-2035)[R]. Shenzhen: Planning and Natural Resources Bureau of Shenzhen Municipal People's Government, 2021.