

# 基于大数据的厦门岛建成环境对共享单车 起讫点分布的影响

周 艳<sup>1</sup>, 邵海雁<sup>2</sup>, 靳 诚<sup>2,3</sup>

(1.江苏省城镇与乡村规划设计院有限公司,江苏 南京 210019)

(2.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)

(3.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,江苏 南京 210023)

**[摘要]** 不同城市肌理上的共享单车出行活动迥然相异。基于共享单车和兴趣点(POI)等多源数据,运用核密度和基于最优参数的地理探测器方法,分析厦门岛共享单车起讫点分布格局及建成环境对其影响作用。研究发现:(1)厦门岛共享单车的平均骑行距离为 1.08 km,平均骑行时间为 7.19 min。(2)起讫点在空间上总体呈现“一带多核”的分布特征。(3)建筑密度和人口密度是共享单车起讫点分布的核心驱动因子,中心可达性和道路交叉口密度则是主要驱动因子。(4)不同建成环境因子围绕 2 个核心因子形成协同增强效应,不同要素优化组合是共享单车发展的有效路径。

**[关键词]** 建成环境,共享单车,大数据,地理探测器,厦门岛

**[中图分类号]** K901 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2024)01-0021-09

## The Impact of Built Environment on Distribution of Origins and Destinations of Bike-Sharing in Xiamen Island Based on Big Data

Zhou Yan<sup>1</sup>, Shao Haiyan<sup>2</sup>, Jin Cheng<sup>2,3</sup>

(1.Jiangsu Institute of Urban & Rural Planning and Design Co.,Ltd,Nanjing 210019,China)

(2.School of Geography,Nanjing Normal University,Nanjing 210023,China)

(3.Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application,Nanjing 210023,China)

**Abstract:** The bike-sharing travel activities in different urban textures are vastly different. Based on multi-source data of bike-sharing and points of interest, kernel density and Geodetector based on optimal parameters are used to analyze the distribution pattern of origins and destinations of bike-sharing in Xiamen Island and the impact of the built environment on them. Research has found that: (1) The average riding distance of bike-sharing in Xiamen Island is 1.08 km, and the average riding time is 7.19 min. (2) The origins and destinations show the spatial distribution characteristics of “one belt and multiple cores”. (3) Building density and population density are the core driving factors for the distribution of origins and destinations of bike-sharing, while central accessibility and road intersection density are the main driving factors. (4) Different built environment factors form a synergistic enhancement effect around the two core factors, and the optimized combination of different factors is an effective path for the development of bike-sharing.

**Key words:** built environment, bike-sharing, big data, Geodetector, Xiamen Island

共享单车具有良好的生存空间和受众基础,其深刻改变着居民原有的出行方式,是推动城市空间形态重塑、促进节能减排和低碳发展的有效路径<sup>[1]</sup>。不同城市肌理上的共享单车出行活动迥然相异,明晰城市建成环境对共享单车起讫点分布的影响,有利于深入理解建成环境对出行行为的作用机制,促进土地使用与交通系统的有效对接。

共享单车作为交通运输新业态,受到交通地理、城市规划等领域的广泛关注。研究内容包括:①骑行特征与影响因素。部分学者基于传统问卷调查数据研究个体社会经济属性对共享单车使用及其满意度的

收稿日期:2023-05-10.

基金项目:国家自然科学基金项目(41871137、42271235)、江苏高校“青蓝工程”项目。

通讯作者:靳诚,教授,博士生导师,研究方向:区域发展与交通地理。E-mail:jincheng2431@163.com

影响<sup>[2]</sup>;伴随地理大数据的大量涌现,学者们多基于共享单车位置数据、兴趣点(POI)等多源数据,采用多元线性回归、地理加权回归等模型分析自然环境和建成环境对共享单车骑行时空分布的影响<sup>[3]</sup>;研究发现城市紧凑度、交通可达性、人口密度、路网密度等是主要的建成环境影响因子<sup>[4-5]</sup>。②出行规律和出行目的。已有研究对骑行起点、骑行目的地、出行距离、出行时间等格局特征进行细致分析<sup>[6]</sup>;部分学者基于 POI 大数据的用地属性识别共享单车出行目的<sup>[7]</sup>。③影响效益和需求预测。研究聚焦于共享单车的环境、经济和社会效益评估<sup>[8]</sup>;部分学者通过需求预测,分析配套设施布局 and 交通决策优化<sup>[9]</sup>。总体来看,已有研究基于多源大数据和 GIS 空间分析等定量方法,提高了数据分析效率和结果评价精度;研究主要关注中、微观尺度,其中城市建成环境作为居民出行活动的关键基底,成为关注的焦点<sup>[10]</sup>。Cervero 等<sup>[11]</sup>最早以密度、多样性、设计 3 个关键指标初探建成环境对出行需求的影响,其后续相关探究在“3Ds”基础上增加了距离和目的地可达性 2 个维度,形成经典的“5Ds”模型,广泛应用于建成环境对出行行为的影响研究<sup>[12]</sup>。

综上,关于建成环境对共享单车出行影响的研究成果较丰富,但仍有亟待思考之处:①研究内容。目前建成环境对共享单车分布的影响尚未形成共性的定论,需要更多的横向佐证研究;同时,既有研究论证了诸多建成环境因子对共享单车的影响,但影响指标选取不成体系,较少关注建成环境“5Ds”维度。②研究方法。已有研究多采用地理加权回归模型等方法,存在“方法锁定”的潜在局限,往往忽视了不同驱动因子之间的交互作用。鉴于此,本文基于共享单车和兴趣点(POI)等多源大数据,运用核密度估计与基于最优参数的地理探测器方法,分析厦门岛共享单车起讫点分布格局,系统探究“5Ds”建成环境对共享单车起讫点分布的影响,以期在城市制定交通和土地利用规划、构建绿色出行体系提供科学依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

厦门市是中国东南沿海重要城市,土地总面积 1 700.61 km<sup>2</sup>。2020 年末,全市常住人口 518 万人,人均 GDP 为 12.32 万元,人口密集且经济发达。厦门市共享单车目前投放总量为 15 万辆,体现了居民对绿色出行方式的喜好。由于近 2/3 的共享单车集中于厦门岛内,因此,本文以厦门岛(不包含鼓浪屿)为研究范围。

### 1.2 数据来源及处理

研究涵盖的多源大数据如下:①共享单车轨迹数据。来自 2021 数字中国创新大赛,数据时间为 2020 年 12 月 21—25 日上午时段(6:00—10:00),属性字段包含车辆编码、经纬度、定位时间等;剔除重复和异常数据,最终获得骑行轨迹 22 344 条;使用 ArcGIS Pro 平台对起讫点进行提取。②POI 数据。源于高德地图 API 接口,利用 Python 语言获取;根据研究需要,参考 Dong 等<sup>[13]</sup>构建的分类法,将相关类别 POI 归并为公共服务设施、商业设施、办公设施和居住设施。③道路数据。来自 OpenStreetMap 网站,借助 ArcGIS 软件测算路网密度和中心可达性。④建筑数据。源于南京师范大学智慧城市感知与模拟实验室的“中国 90 座城市建筑物屋顶矢量数据集”<sup>[14]</sup>。⑤人口数据。来自 2020 年 WorldPop 人口密度数据,空间分辨率为 1 km;利用空间插值法得到细粒度的人口密度。⑥公交站、地铁站数据。通过 Python 爬取,采用 ArcGIS 中的 Near 工具测算格网中心点与站点间的欧式距离。此外,考虑尺度效应的影响,经过多次试验,将研究区划分为 500 m×500 m 格网作为分析单元。

### 1.3 变量选取

本研究的目的是科学揭示建成环境对共享单车出行的影响作用。以每个格网的共享单车起点和讫点数量作为因变量,同时,为了较为全面地表征建成环境,从 5 个维度甄选自变量。由于需求是驱动居民共享单车出行的关键动力,建筑密集、人口稠密的地区往往是需求迸发的源地,因此,密度维度选取人口密度、建筑密度 2 个因子。城市用地功能间接作用于居民出行动机的产生,故多样性维度选取土地利用混合度作为影响因子<sup>[15]</sup>。路网形态和服务设施是居民出行的主要引力<sup>[16]</sup>,一般来说,在交通环境畅通和特定用地功能区域,共享单车的使用规模与强度往往较高,故设计维度选取路网密度、道路交叉口密度、公共服务设施密度、商业设施密度、办公设施密度、居住设施密度 6 个因子<sup>[17]</sup>。考虑出行便捷性的影响,目的地可达性维度选取中心可达性作为驱动因子。诸多研究表明,“共享单车+地铁”“共享单车+公交”等组合方式

成为居民出行的普遍选择<sup>[18]</sup>,故距离维度选取距公交站距离、距地铁站距离 2 个因子。

## 1.4 研究方法

### 1.4.1 核密度估计

核密度估计(kernel density estimation, KDE)是一种非参数统计方法,可以对点要素密度的空间分布特征进行可视化表达。其以一个固定的核函数带宽作为搜索半径,通过测度搜索半径的点样本来估计点的密度。通常采用 Rosenblatt-Parzen 核估计,计算公式为:

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right), \quad (1)$$

式中,  $f_h(x)$  为核密度估计值;  $K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$  为核函数,  $x-x_i$  表示估计点  $x$  到已知点  $x_i$  的距离,  $h$  为带宽;  $n$  为带宽范围内点的数目。本文采用 ArcGIS 的 Kernel Density 工具刻画共享单车起讫点的分布格局,带宽为默认带宽。

### 1.4.2 基于最优参数的地理探测器

(1) 最优参数选择。地理探测器是一种不依赖于线性模型的空间统计学方法。其中,空间数据离散化和空间尺度效应是基础问题,通常选用经验参数。Song 等<sup>[19]</sup>开发了基于最优参数的地理探测器方法,通过  $q$  值大小定量确定空间数据离散化方法和分区数量的最优参数组合。本文借助 R 语言的 GD 包,采用相等间隔(equal interval)、自然断点(natural breaks)、分位数(quantile)、几何间隔(geometric interval)、标准差(standard deviation)分类方法,设定分区数量为 3~10 级,根据  $q$  值确定最优参数组合。

(2) 地理探测器。地理探测器的核心思想是利用空间分层异质性探析地理要素分布模式的异质性,其优点在于无需对地理变量进行任何假设,并可以从多个角度进行分析<sup>[20]</sup>。在确定最优参数的基础上,利用地理探测器的因子与交互探测模块,探究不同建成环境因子对共享单车起讫点分布的作用程度及交互效应,模型表达式为:

$$q_{D,U} = 1 - \frac{1}{n\sigma_U^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{U_{D,i}}^2, \quad (2)$$

式中,  $q_{D,U}$  为共享单车起讫点分布影响因子  $D$  的解释力;  $n$  为格网单元数量;  $m$  为各影响因子的类型数;  $n_{D,i}$  为影响因子  $D$  在类型  $i$  内的单元数量;  $\sigma_U^2$  为研究区共享单车起讫点数量的方差;  $\sigma_{U_{D,i}}^2$  为类型  $i$  内起讫点数量的方差;  $q_{D,U}$  的取值范围为  $[0, 1]$ ,  $q_{D,U}$  值越大,表明因子  $D$  对共享单车起讫点分布的影响力越强。

## 2 研究结果

### 2.1 共享单车起讫点分布格局

#### 2.1.1 轨迹特征

共享单车已成为居民“第一公里”和“最后一公里”出行的普遍选择,其轨迹分布特征在一定程度上可以反映区域用地功能的吸引力和居民对时空距离的“容忍度”。从骑行距离(图 1a)看,共享单车平均骑行距离为 1.08 km,表明其是居民短距离出行的主要方式。其中,0.5~1.0 km 的轨迹数量最多,约占全部轨迹数量的 36.02%; 0~0.5 km 和 1.0~1.5 km 的轨迹数量次之;轨迹数量随距离增加而减少,符合地理学的距离衰减规律;共享单车最长骑行距离为 15.63 km,可认为其是厦门岛居民可忍耐的骑行距离极限。从骑行时间(图 1b)看,共享单车平均骑行时间为 7.19 min。其中,0~5 min 的轨迹数量最多,占全部轨迹数量的 42.41%; 5~10 min 和 10~15 min 的轨迹数量次之;骑行时间小于 25 min 的轨迹数量占比为 98.50%,反映了共享单车是满足短途出行、便捷居民换乘、增强交通韧性的重要手段。从轨迹空间分布(图 1c、d)看,江头街道、嘉莲街道、筓筓街道、梧村街道、开元街道、鹭江街道等区域分布最为密集,长短距离轨迹交错分布;东部五缘湾、南部东坪山和曾厝垵、西部筓筓湖、北部海堤纪念公园及沿海环岛路等区域多为长距离长时间骑行轨迹,体现了生态本底和道路设施对厦门岛共享单车骑行的吸引和带动作用。

#### 2.1.2 起讫点空间分布

厦门岛共享单车起讫点在空间上总体呈现出“一带多核”的分布格局(图 2)。从共享单车起点看,核密度高值区集中在由江头街道、嘉莲街道、筓筓街道、梧村街道、开元街道、鹭江街道等串联成的西部带状区域;同时,在禾山街道、莲前街道、湖里街道等都零星地形成分布高值区;总体来看,共享单车起点分布较

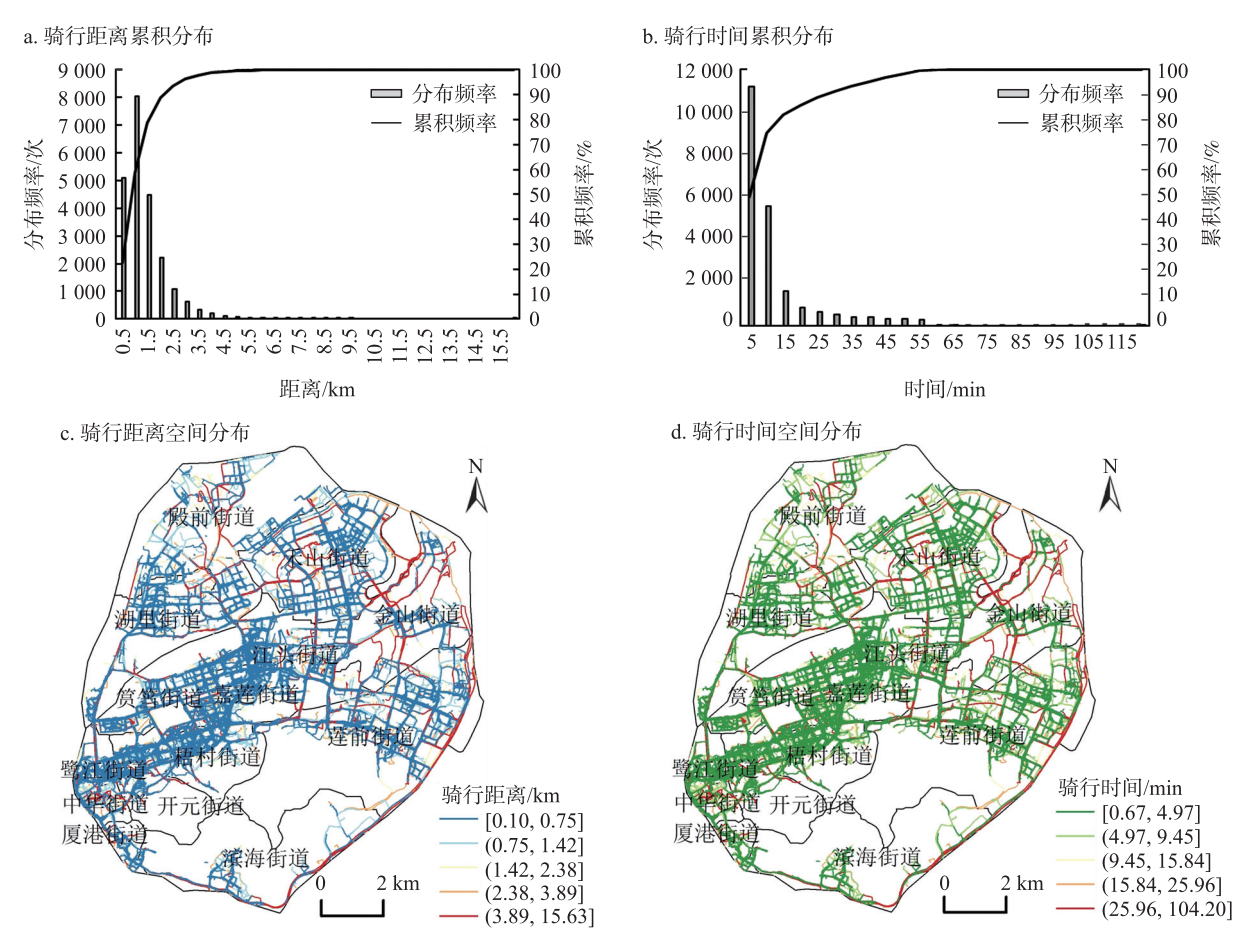


图 1 共享单车轨迹分布

Fig. 1 Distribution of trajectories of bike-sharing

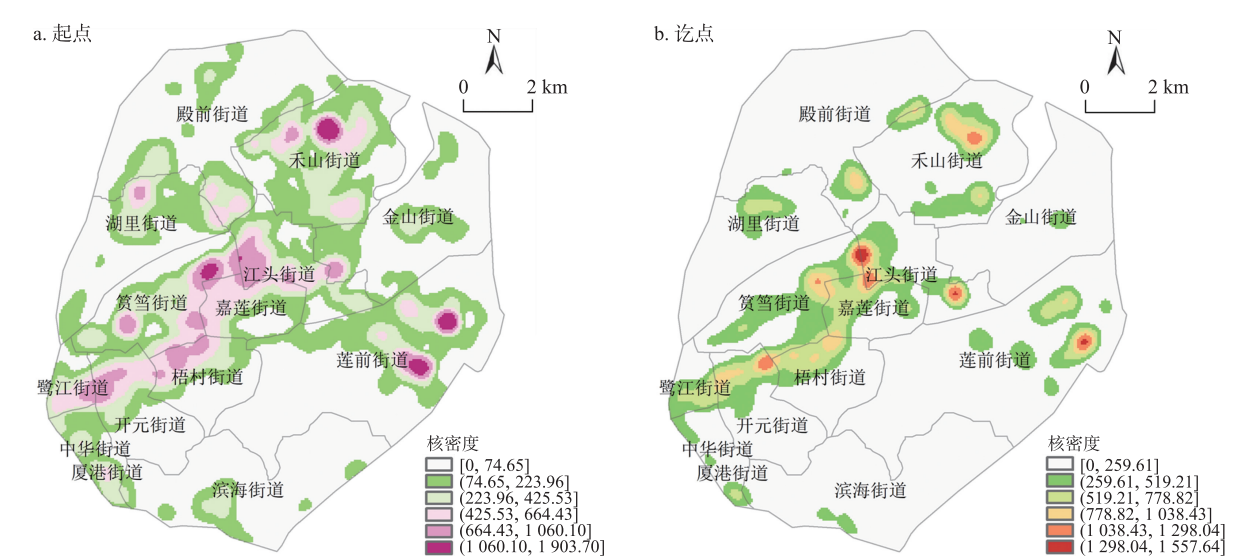


图 2 共享单车起讫点空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of origins and destinations of bike-sharing

为广泛,连片特征较为显著. 厦门市政府位于西部,且西部集中了中山路、莲坂等成熟商业、住宅区及湖滨南路、厦禾路等交通要道,要素叠加优势引导共享单车的供给调度与出行使用. 南部的滨海景观和环岛南路为居民骑行注入活力,体现了厦门岛作为海上花园的绝佳生态底色和独特慢游氛围. 南部的东坪山公园和厦门园林植物园等区域出于生态保护,多为限制建设区,成为共享单车供给空白区. 讫点空间分布与起点具有较高的相似性,表现出更为集中的分布特征,主要集中于经济发达、建筑密布的西部区域,呈现出



“整体集聚、局部分散”的特点。从起讫点分布的异质性可以推测,起点分布格局由运营商供给和居民出行共同塑造,反映了厦门岛共享单车供给的均衡性;而讫点分布格局多由居民活动所营造,附着明显的出行目的性,因此,讫点格局较起点有所收缩。

## 2.2 建成环境对共享单车起讫点分布的影响分析

### 2.2.1 最优参数选取

基于所选取的 12 个建成环境细化指标,采用地理探测器定量评估不同建成环境因子对共享单车起讫点分布的影响。地理探测器以类型变量为数据基础,连续变量的离散化是其基本环节。本文借助 R 语言的 GD 包进行空间数据离散化参数优选,克服使用经验参数的不足。限于篇幅,选择起点数量驱动因子的最优参数组合进行可视化展示。不同解释变量具有不同的最优离散化方法和分区数量(图 3)。具体而言,人口密度和路网密度的最优参数组合为 10 个区间的标准差分类;建筑密度、道路交叉口密度、商业设施密度和办公设施密度的最优参数组合为 9 个区间的分位数分类;公共服务设施密度、居住设施密度、距地铁站距离的最优参数组合为 10 个区间的分位数分类;中心可达性和距公交站距离的最优参数组合分别为 7 个区间的分位数分类和 10 个区间的几何间隔分类;此外,由于过大的分级范围设置会导致代码运行无果,将土地利用混合度的分区数量调整为 3~5 级,其最优参数组合为 5 个区间的自然断点分类。总体而言,不同

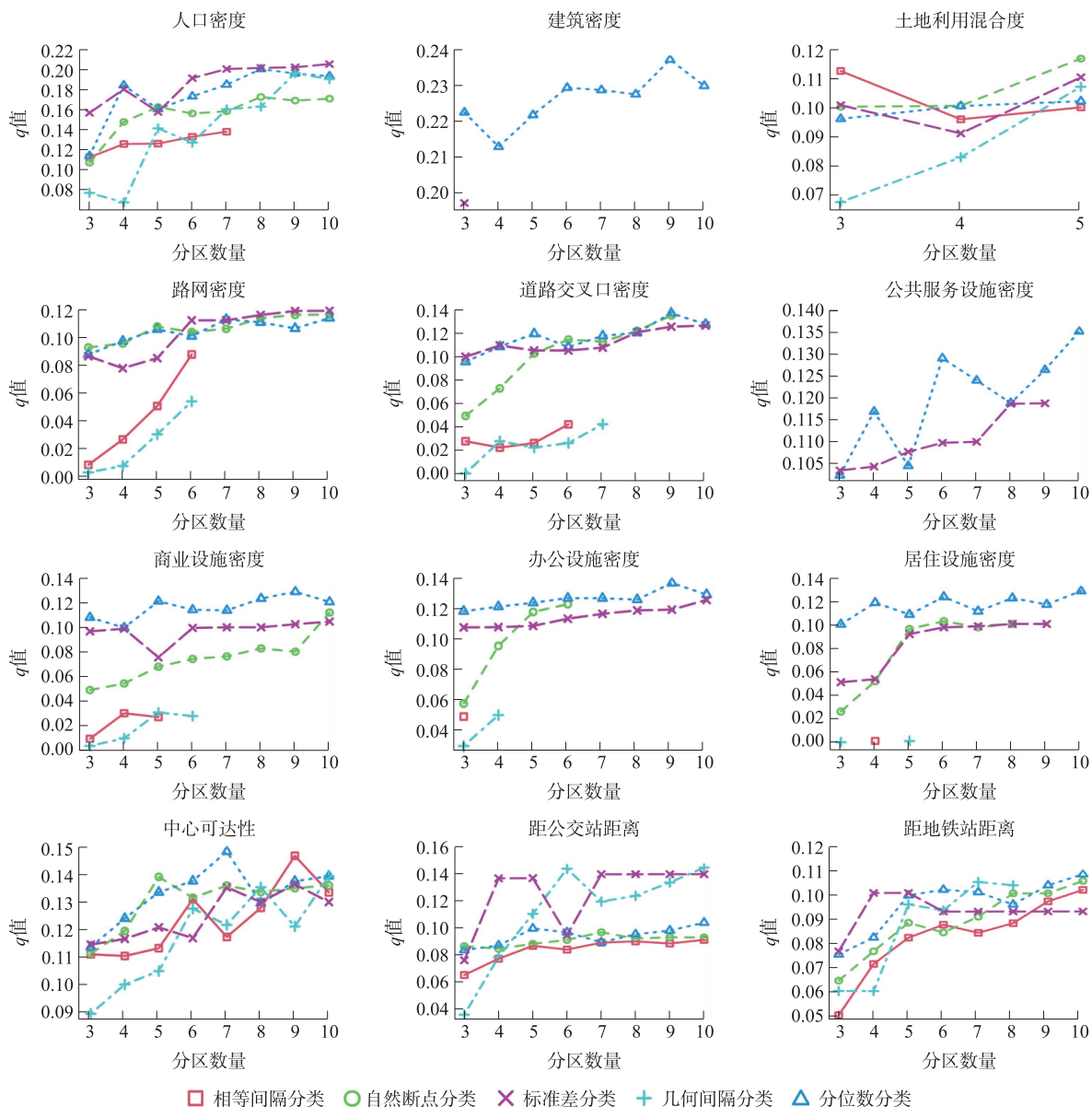


图 3 共享单车起点的不同分类方法及分区数量  $q$  值统计

Fig. 3 Different classification methods and  $q$  values of the number of partitions for origins of bike-sharing

离散化方法下的建成环境因子参数具有相似的变化趋势,随着分区数量的增加而趋于最优. 根据共享单车起讫点影响变量的最优离散化结果,最终确定 9 个区间的分位数分类为最优参数组合.

2.2.2 因子探测结果

基于最优参数组合,运用 ArcGIS 中的分位数分类方法将 12 个自变量类别化为 9 级,进而利用地理探测器计算各个因子对共享单车起讫点空间分异的影响程度(表 1). 从共享单车起点来看,所有因子均通过了显著性检验. 建筑密度、人口密度的解释力最强, $q$  值分别为 0.232 7、0.197 1,这与 Wang 等<sup>[21]</sup>对纽约市的研究结果类似,表明高密度的建筑和人口带来的需求是共享单车出行的核心驱动力. 中心可达性、道路交叉口密度是共享单车起点分布的主要驱动因子, $q$  值分别为 0.137 6、0.130 0,反映一个地区的交通便捷性和出行灵活度是共享单车出行的重要支撑. 公共服务设施密度、办公设施密度、居住设施密度、商业设施密度是共享单车起点分布的次要驱动因子, $q$  值分别为 0.128 7、0.127 6、0.126 4、0.120 5,不同用地功能对居民出行的吸引程度各不相同. 土地利用混合度、距地铁站距离、路网密度、距公交站距离的作用力较弱, $q$  值分别为 0.114 7、0.110 1、0.100 8、0.099 0. 从共享单车讫点来看,各因子均在 1%统计水平上显著,影响程度由强到弱依次为人口密度(0.197 0)、建筑密度(0.181 0)、道路交叉口密度(0.150 5)、中心可达性(0.147 6)、路网密度(0.142 0)、距地铁站距离(0.119 4)、办公设施密度(0.107 7)、公共服务设施密度(0.106 5)、土地利用混合度(0.102 3)、距公交站距离(0.095 9)、商业设施密度(0.091 5)、居住设施密度(0.085 2). 从起讫点分布的影响因子可知,需求是共享单车出行的主导动力,交通基础设施是重要支撑,服务设施则是主要拉力. 较之起点,讫点的影响因子更能体现居民出行的目的性,其受到办公设施、公共服务设施的主要驱动,且共享单车与地铁的组合方式愈发受到居民的青睐.

基于各项因子  $q$  值统计各维度的  $q$  均值,表征不同维度对共享单车起讫点分布的影响程度. 从建成环境“5Ds”维度看,共享单车起点的影响因子由强至弱依次为密度(0.214 9)、目的地可达性(0.137 6)、设计(0.122 3)、多样性(0.114 7)、距离(0.104 6);共享单车讫点的影响因子由高到低依次为密度(0.189 0)、目的地可达性(0.147 6)、设计(0.113 9)、距离(0.107 7)、多样性(0.102 3). 由此可见,建成环境的密度、目的地可达性、设计维度主要影响共享单车起讫点分布,而距离和多样性维度的作用程度稍显逊色,共享单车出行呈现出需求拉动性、交通支撑性和设施维稳性的特征.

表 1 共享单车起讫点影响因子探测结果  
Table 1 Detection results of influencing factors on origins and destinations of bike-sharing

影响因子	起点		讫点		影响因子	起点		讫点	
	$q$ 值	$p$ 值	$q$ 值	$p$ 值		$q$ 值	$p$ 值	$q$ 值	$p$ 值
人口密度	0.197 1	0.000	0.197 0	0.000	商业设施密度	0.120 5	0.000	0.091 5	0.000
建筑密度	0.232 7	0.000	0.181 0	0.000	办公设施密度	0.127 6	0.000	0.107 7	0.000
土地利用混合度	0.114 7	0.000	0.102 3	0.000	居住设施密度	0.126 4	0.000	0.085 2	0.000
路网密度	0.100 8	0.000	0.142 0	0.000	中心可达性	0.137 6	0.000	0.147 6	0.000
道路交叉口密度	0.130 0	0.000	0.150 5	0.000	距公交站距离	0.099 0	0.000	0.095 9	0.000
公共服务设施密度	0.128 7	0.000	0.106 5	0.000	距地铁站距离	0.110 1	0.000	0.119 4	0.000

2.2.3 交互探测结果

共享单车起讫点分布是一种受到密度、多样性、设计、目的地可达性、距离等多维建成环境综合作用的交通集聚现象,表现出复杂性、异质性、协同性等特点. 不同建成环境因子之间的交互作用对共享单车起讫点分布的影响程度存在较大差异,本文展示排序前 10 结果(表 2). 从共享单车起点来看,建筑密度和中心可达性的交互作用程度最强, $q$  值为 0.416 1;此外,影响力较大的交互因子为人口密度和居住设施密度(0.400 9)、人口密度和办公设施密度(0.392 2)、建筑密度和道路交叉口密度(0.372 7)、建筑密度和公共服务设施密度(0.368 8)、人口密度和建筑密度(0.368 6)、建筑密度和路网密度(0.356 6)、建筑密度和居住设施密度(0.353 3). 从共享单车讫点来看,建筑密度和道路交叉口密度、人口密度和建筑密度、人口密度和道路交叉口密度、人口密度和路网密度、中心可达性和距地铁站距离、人口密度和居住设施密度、路网密度和办公设施密度、人口密度和公共服务设施密度的交互强度较高, $q$  值分别为 0.353 7、0.350 2、0.348 2、0.344 1、0.342 1、0.337 9、0.336 8、0.335 6. 结果表明密度要素通过与交通、服务设施要素的配合,可有力地促进居民共享单车出行意愿的提升.

从交互作用类型看,在 66 组交互作用中,共享单车起点和讫点,均有 20 组呈现双因子增强类型,均有 46 组呈现非线性增强类型。Gao 等<sup>[22]</sup>发现因子交互效应对共享单车再平衡的重要程度高于单体效应。本文亦发现起讫点空间分异不是由单一因子造成的,而是多个因子共同作用的结果,且各因子叠加后对分布格局的影响是相互增强的。究其原因,共享单车出行是居民主观能动性和客观建成环境共同塑造的现象,不同建成环境因子在城市内部的集聚组合可以引导共享单车的合理供给与高效利用。建筑密度和人口密度是共享单车起讫点分布的主导驱动因子,高建筑密度的建成环境承载着大量的人口、经济、交通要素,不同建成环境因子之间的交互组合可以促进共享单车规模集聚效应的生成。由此得到启示,通过交通网络建设、配套设施优化、用地功能完善等路径推动共享单车发展,形成“1+1>2”的互补增强效应。

表 2 共享单车起讫点影响因子交互探测结果

Table 2 Interactive detection results of influencing factors on origins and destinations of bike-sharing

排序	起点			排序	讫点		
	主导交互因子	q 值	交互结果		主导交互因子	q 值	交互结果
1	建筑密度∩中心可达性	0.416 1	非线性增强	1	建筑密度∩道路交叉口密度	0.353 7	非线性增强
2	人口密度∩居住设施密度	0.400 9	非线性增强	2	人口密度∩建筑密度	0.350 2	双因子增强
3	人口密度∩办公设施密度	0.392 2	非线性增强	3	人口密度∩道路交叉口密度	0.348 2	双因子增强
4	建筑密度∩道路交叉口密度	0.372 7	非线性增强	4	人口密度∩路网密度	0.344 1	非线性增强
5	建筑密度∩公共服务设施密度	0.368 8	非线性增强	5	中心可达性∩距地铁站距离	0.342 1	非线性增强
6	人口密度∩建筑密度	0.368 6	双因子增强	6	人口密度∩居住设施密度	0.337 9	非线性增强
7	建筑密度∩路网密度	0.356 6	非线性增强	7	路网密度∩办公设施密度	0.336 8	非线性增强
8	建筑密度∩居住设施密度	0.353 3	双因子增强	8	人口密度∩公共服务设施密度	0.335 6	非线性增强
9	建筑密度∩土地利用混合度	0.349 6	双因子增强	9	人口密度∩商业设施密度	0.335 4	非线性增强
10	人口密度∩道路交叉口密度	0.348 9	非线性增强	10	建筑密度∩办公设施密度	0.330 8	非线性增强

#### 2.2.4 建成环境对起讫点分布的作用机制

城市形态决定了交通发展方向,是共享单车快速普及的重要推手。人口密度和建筑密度 2 个因子是其主要体现。密集而紧凑的城市形态缩短了起点与目的地之间的距离,促进居民短途出行方式从机动化的私家车转变为低碳化的共享单车。人口作为高建筑密度环境的承载要素,既是城市形态的塑造者,也是其重要组成部分。高密度的人口意味着更多的出行需求。厦门岛西部建筑和人口要素的叠加优势,促进了共享单车的集聚与使用。在城市规模不断扩张的背景下,以建筑和人口要素为核心,通过城市紧凑度提升和集约化发展,可推动共享单车在高密度环境的使用和向低密度环境的扩散。此外,共享单车作为私家车短途出行的替代方式,其停车空间明显缩小,是节省城市空间、优化城市形态的可行路径。

土地利用是共享单车使用的直接动力,其体现为土地利用混合度、公共服务设施密度、商业设施密度、办公设施密度、居住设施密度 5 个因子。目前,土地利用混合度对共享单车分布的影响未有定论,理论上,土地利用混合度越高,共享单车出行越频繁。就厦门岛而言,土地利用混合度的作用力不强,可能原因是区域混合土地利用差异较小的客观限制和居民出行目的明确的主观约束。日常服务设施密度对共享单车使用的重要作用已被现有研究广泛证明<sup>[23]</sup>。不同服务设施对居民出行吸引力和感知力的影响程度不一,办公和居住设施属于生存层面的出行需求,公共服务和商业设施是维持层面的出行需求。厦门岛共享单车在满足居民生存和维持需求的同时,反映了居民休闲骑行偏好。对于共享单车的发展,需要关注城市个性,围绕需求侧进行供给与调度。

交通建设是共享单车发展的基础前提,其体现为路网密度、道路交叉口密度、中心可达性 3 个因子。道路网络是支持居民出行活动的必要物质条件,共享单车的发展依赖于交通网络建设和骑行设施改善。道路交叉口密度反映了出行的灵活度,一定数量的道路交叉口为居民骑行线路改变提供便利,然而过多数量则可能导致出行时间和不安全性的增加。中心可达性是出行便捷性的量化指标,可达性越好的区域,居民越倾向于选择共享单车出行,以避免交通拥堵困境。交通要素是厦门岛共享单车起讫点分布的主要影响因素,其与建筑、人口密度等城市形态要素组合产生累积协同效应。相关研究也发现路网密度对共享单车出行的促进效应<sup>[24]</sup>。可见,交通基础设施一定程度上影响着居民出行需求,加强骑行设施建设、交通规划完善和要素优化组合,可以促进绿色出行方式的发展。

换乘环境为共享单车可持续发展提供重要抓手,其体现为距公交站距离和距地铁站距离 2 个因

子。共享单车出行具有行程较短、可长期租赁、成本相对低廉等特点,为化解城市交通“第一公里”和“最后一公里”难题提供了有效方案。当出行行程无法直达时,居民倾向于采用多种交通方式实现出行安排。在国家鼓励共享经济和 TOD 发展、提倡绿色出行背景下,共享单车与公交、轨道交通组合模式是主流趋势。厦门岛共享单车平均骑行距离为 1.08 km,平均骑行时间为 7.19 min,其短距离短时间特征与公交、轨道交通形成互补效应。距地铁站距离对共享单车起讫点分布的作用程度较大,表明两者形成较好的协同互动关系;这与对苏州的实证研究结论高度一致<sup>[25]</sup>,共享单车被更多地用于换乘。由此可知,推进“共享单车+公交”“共享单车+地铁”组合模式,可以促进交通生态良性发展,提升城市交通韧性。

### 3 结论

本文基于共享单车和 POI 等多源大数据,采用核密度和基于最优参数的地理探测器对厦门岛共享单车起讫点分布格局、影响因素进行探究,研究发现:(1)厦门岛共享单车平均骑行距离为 1.08 km,平均骑行时间为 7.19 min,长距离轨迹主要集中于滨海环岛公路地带;共享单车起讫点呈现“一带多核”的分布特征,建成环境要素差异塑造其空间分异格局。(2)建筑密度、人口密度是共享单车起讫点分布的核心作用因子,中心可达性和道路交叉口密度是主要作用因子;共享单车出行具有需求拉动、交通支撑和设施吸引特征。(3)不同建成环境因子间的交互类型为非线性增强和双因子增强,密度要素通过与交通、服务设施要素的组合,形成“1+1>2”的互补增强效应;以城市形态、土地利用、交通建设、换乘环境为表征的建成环境综合作用于共享单车出行。

针对上述分析,提出以下建议:(1)以城市紧凑度提升和集约化发展为重要路径,推动共享单车从西部高密度环境向北、东、南部低密度环境扩散。(2)加强服务设施和交通网络建设,引导共享单车的供给调度与需求对接。(3)围绕骑行设施建设、交通规划完善和要素优化组合,促进共享单车有效利用。(4)在地铁和公交站点附近合理供应共享单车,促进城市交通可持续发展。

尽管本文对共享单车起讫点分布的建成环境驱动因子进行了定量测度,但仍存在一定的局限:(1)研究数据聚焦早高峰时段,未来可通过数据可获取性的提升进行时空双维度的分析。(2)本文探讨建成环境对起讫点分布的影响,弱化了共享单车起讫点之间的关联,未来可从流动网络视角进行节点特征和出行行为分析。(3)共享单车的供需适配关系着资源的有效配置和高效利用,未来可围绕公交站、地铁站等重点区域,对骑行数量及供需特征进行系统分析。

### [参考文献]

- [1] HAN S S. The spatial spread of dockless bike-sharing programs among Chinese cities[J]. Journal of transport geography, 2020, 86: 102782.
- [2] 杨鸿麟,曹小曙,李涛,等. 城市居民使用共享单车的行为意愿及影响因素分析:以西安市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(6): 78-83.
- [3] WANG X, CHENG Z, TRÉPANIÉ M, et al. Modeling bike-sharing demand using a regression model with spatially varying coefficients[J]. Journal of transport geography, 2021, 93: 103059.
- [4] 喻冰洁,梁源,杨林川. 波士顿共享单车出行与街区建成环境的关系研究:基于广义可加混合模型[J]. 世界地理研究, 2023, 32(2): 48-58.
- [5] 高枫,李少英,吴志峰,等. 广州市主城区共享单车骑行目的地时空特征与影响因素[J]. 地理研究, 2019, 38(12): 2859-2872.
- [6] SHEN Y, ZHANG X, ZHAO J. Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore[J]. International journal of sustainable transportation, 2018, 12(9): 686-700.
- [7] XING Y, WANG K, LU J J. Exploring travel patterns and trip purposes of dockless bike-sharing by analyzing massive bike-sharing data in Shanghai, China[J]. Journal of transport geography, 2020, 87: 102787.
- [8] 李文翔,唐桂孔,刘博,等. 基于摩拜骑行数据的上海市共享单车减排效益时空分析[J]. 环境科学学报, 2021, 41(11): 4752-4759.
- [9] 高楹,宋辞,舒华,等. 北京市摩拜共享单车源汇时空特征分析及空间调度[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(8): 1123-



1138.

- [ 10 ] WU C,KIM I,CHUNG H. The effects of built environment spatial variation on bike-sharing usage;a case study of Suzhou, China[ J ]. Cities,2021,110:103063.
- [ 11 ] CERVERO R,KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds:density,diversity,and design[ J ]. Transportation research part D: transport and environment,1997,2( 3 ):199-219.
- [ 12 ] MUNSHI T. Built environment and mode choice relationship for commute travel in the city of Rajkot,India[ J ]. Transportation research part D:transport and environment,2016,44:239-253.
- [ 13 ] DONG Y H,PENG F L,LI H,et al. Spatial autocorrelation and spatial heterogeneity of underground parking space development in Chinese megacities based on multisource open data[ J ]. Applied geography,2023,153:102897.
- [ 14 ] ZHANG Z,QIAN Z,ZHONG T,et al. Vectorized rooftop area data for 90 cities in China[ J ]. Scientific data,2022,9:1-12.
- [ 15 ] FAGHIH-IMANI A,ELURU N,EL-GENEIDY A M,et al. How land-use and urban form impact bicycle flows:evidence from the bicycle-sharing system(BIXI)in Montreal[ J ]. Journal of transport geography,2014,41:306-314.
- [ 16 ] 龙雪琴,赵欢,周萌,等. 成都市建成环境对网约车载客点影响的时空分异性研究[ J ]. 地理科学,2022,42( 12 ):2076-2084.
- [ 17 ] 邵海雁,靳诚,钟业喜,等. 共享单车起讫点与城市微观土地利用格局的空间关联:基于厦门岛的 POI 大数据[ J ]. 经济地理,2023,43( 3 ):109-119.
- [ 18 ] SHAO H,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/Géographies Canadiennes,2023,67:550-563.
- [ 19 ] SONG Y,WANG J,GE Y,et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis:cases with different types of spatial data[ J ]. GIScience & remote sensing,2020,57( 5 ):593-610.
- [ 20 ] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[ J ]. 地理学报,2017,72( 1 ):116-134.
- [ 21 ] WANG K,CHEN Y J. Joint analysis of the impacts of built environment on bikeshare station capacity and trip attractions[ J ]. Journal of transport geography,2020,82:102603.
- [ 22 ] GAO F,LI S,TAN Z,et al. Understanding the modifiable areal unit problem in dockless bike sharing usage and exploring the interactive effects of built environment factors[ J ]. International journal of geographical information science,2021,35( 9 ):1905-1925.
- [ 23 ] 罗桑扎西,甄峰,尹秋怡.城市公共自行车使用与建成环境的关系研究:以南京市桥北片区为例[ J ]. 地理科学,2018,38( 3 ):332-341.
- [ 24 ] ALCORN L G,JIAO J. Bike-sharing station usage and the surrounding built environments in major Texas cities[ J ]. Journal of planning education and research,2023,43( 1 ):122-135.
- [ 25 ] WU C,CHUNG H,LIU Z,et al. Examining the effects of the built environment on topological properties of the bike-sharing network in Suzhou,China[ J ]. International journal of sustainable transportation,2021,15( 5 ):338-350.

[ 责任编辑:丁 蓉 ]