

轨道交通车站周边建成环境对骑行的影响 ——基于深圳市 ofo 数据的实证研究

林培楠¹, 徐媛², 杨家文¹

(1. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 广东 深圳 518000; 2. 杭州市规划和自然资源局余杭分局, 浙江 杭州 310000)

摘要: 互联网租赁自行车为城市公共交通出行“最后一公里”问题提供了有效解决方案。为深化对其接驳轨道交通的理解, 基于深圳市 ofo 共享单车大数据, 研究接驳轨道交通的骑行流量与建成环境因素的关系。在计算各轨道交通车站骑行接驳范围的基础上, 通过描述性分析并采用空间回归模型诊断影响接驳骑行的建成环境因素。结果表明: 居住和办公楼板面积、土地利用混合程度、非机动车道长度、轨道交通车站的地面出入口数量对接驳车站的骑行流量有显著的正向影响; 轨道交通车站与组团中心的距离、车站为城市综合客运枢纽、车站服务范围内的其他车站数量对于接驳骑行流量有显著的负向影响; 现有公共汽车站和公共自行车租赁点建设完善的地区, 骑行接驳轨道交通车站的流量仍然很高。提出未来的城市规划及管理应充分考虑互联网租赁自行车资源的调度分配和配套建设, 以构建更加灵活稳健的公共交通系统。

关键词: 交通规划; 互联网租赁自行车; 空间回归模型; ofo 共享单车大数据; 建成环境

Built Environment on Linking Bicycle to Rail Transit: Case Study Based on ofo Data in Shenzhen

Lin Yunan¹, Xu Yuan², Yang Jiawen¹

(1. School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen Guangdong 518000, China; 2. Yuhang Branch of Hangzhou Planning and Natural Resources Bureau, Hangzhou Zhejiang 310000, China)

Abstract: The Internet bike rental has provided an effective service for the “last mile” of urban public transportation. To better understand the linkage of bicycle and rail transit, this paper analyzes the relationship between bicycle flow accessing to rail transit and built environment based on the ofo big data in Shenzhen. By calculating the accessing distance of bicycle to different rail transit stations, the paper identifies the built environment factors that affect bicycle and rail transit connection using descriptive analysis and spatial regression model. The results show that the floor area of residential and office buildings, scope of mixed land use, the length of bicycle lanes, and the number of ground entrances/exits at rail transit stations have a significant positive impact on bicycle flow volume to the connecting stations. The elements such as distance between rail transit stations and grouped activity center, station located at a comprehensive transportation terminal, and the number of other stations within the service area have a significant negative impact on connecting bicycle flow. The bicycle flow to connection stations is still large in the areas where existing bus stops and public bicycle rental sites are well-developed. The paper points out that future urban planning and management should give full consideration to the Internet bike rental service’s allocation and supporting facility construction in order to develop a more flexible and sustainable public transportation system.

Keywords: transportation planning; Internet bike rental; spatial regression model; ofo big data; built environment

收稿日期: 2018-07-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“公交都市建设的健康效应量化甄别与影响机制研究: 居民体力活动的视角”(51678004)

作者简介: 林培楠(1994—), 男, 广东揭阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 城市与区域交通规划。E-mail: 372927896@qq.com

通信作者: 杨家文(1974—), 男, 湖南东安人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 城市与区域交通规划。E-mail: yangjw@pkusz.edu.cn

0 引言

中国大城市小汽车主导的机动化交通模式和“车本位”的思想引发了一系列负外部性，如交通拥堵、环境污染、机非冲突等。随着低碳生活、绿色出行理念的普及，以自行车出行为主导的非机动化交通模式逐渐回归人们的生活^[1-2]。20世纪80年代至今，深圳市自行车交通经历了发展—萎缩—衰退—复苏—再发展的历程，如今已拥有较为完备的公共自行车交通系统和数量庞大的互联网租赁自行车。同时，深圳市大力推行轨道交通建设和以公共交通为导向的开发(TOD)，在轨道交通车站周边建设以车站为核心的高强度、高土地利用混合度、适宜非机动车的社区^[3]。骑-乘(Bike-and-Ride)模式，即轨道交通+自行车的出行方式，自然成为提高轨道交通出行分担率的重要手段，使得交通方式多元化，缓解大城市核心区交通压力^[4]，成为解决城市轨道交通“最后一公里”出行难题的重要模式。

2017年11月，深圳市交通运输委员会发布的《深圳市互联网租赁自行车管理方案》指出，深圳市互联网租赁自行车接驳轨道交通及公共汽车日均出行量约257.5万人次·d⁻¹，占日均骑行总量的47.4%。但是自行车出行易受道路设施条件和外部环境因素的制约^[5]，深圳市当前仍缺乏安全、舒适的自行车骑行空间。非机动车专用路及停车设施缺乏^[6]、土地利用和公共交通设施布局不当等建成环境要素的不合理之处，均可能影响骑行的连续性、舒适性和安全性。这不仅不利于自行车交通的健康发展，也为轨道交通效益的充分发挥、建设公交都市和宜居TOD社区造成了阻碍。因此，深刻认识当前深圳市轨道交通车站周边建成环境对骑行的影响因素，进而创建车站周边良好的骑行环境成为当务之急。同时，通过研究深圳市的骑行影响因素得出的相关行动举措和规划建议，能为中国其他大中城市在解决互联网租赁自行车发展问题、促进良好骑行环境的营造、提高轨道交通出行分担率等方面提供借鉴和参考。

1 文献回顾

互联网租赁自行车于近几年兴起，关于这方面的研究数量不多，并以中国学者的研

究为主，主要分为两大类：一是作为一个新兴行业，梳理其发展现状、运营中出现的问题，探讨行业定位和运营策略^[7-9]；二是作为一种交通工具，从城市和交通的角度梳理其交通价值、存在问题和解决对策^[10-12]，但大多是定性的分析，缺少定量的影响因素研究。

从城市规划和设计的角度出发研究自行车骑行影响因素，更多的是指建成环境因素。对建成环境的刻画最经典的是5D模式，即人口或就业岗位密度(Density)、土地利用混合度(Diversity)、道路网络设计(Design)、与交通设施的距离(Distance to Transit)以及目的地可达性(Destination Accessibility)^[13-16]。所有这些要素的衡量都应该在一个既定的范围内部^[13]，本文中，该范围即指各轨道交通车站对骑行接驳的服务范围。

关于骑行影响因素的研究，已有研究的对象以公共自行车为主，数据使用大多依赖公共自行车运营数据或问卷统计数据。分析方法以定量为主，如多变量线性回归模型、逻辑斯蒂回归模型、相关性分析、方差分析等^[17-18]，只有少数研究采用更高级的统计模型，例如结构方程模型(Structural Equation Modeling, SEM)^[19]。但是在模型构建时，较少考虑邻近公共自行车站之间可能存在空间自相关性^[15, 20]。

国外研究大多利用公共自行车租赁点层面的流量数据，围绕公共自行车的供需及建成环境因素的关系展开。研究显示，自行车流量与建成环境特征^[13-16, 19, 21-23]以及租赁点周围的出行行为^[24-26]之间有很大关联。建成环境特征对方式选择的影响比个人主观因素的影响更大^[27]。具体来说，更高的密度、更多样的土地利用和更好的可达性^[13, 27]、更友好的骑行环境和临近租赁点^[28-29]都可能刺激自行车交通。发展中国家和发达国家的城市之间有明显的特征差异，大多数建成环境因素对自行车需求的影响在发达国家较为显著，但在发展中国家不一定显著^[28]。

中国研究中涉及的建成环境影响因素与国外研究类似，包括土地利用结构和强度、重要兴趣点(Point of Interest, POI)的规模和分布、人口和就业密度、自行车交通基础设施建设情况以及其他公共交通建设情况等^[20, 30-31]。研究结果方面与国外类似，不同城市影响自行车骑行的建成环境因素有所差异，影响程度也有所不同。

总体来说研究成果较为丰富，但对建成

环境影响自行车交通的研究大多关于公共自行车，对互联网租赁自行车骑行的影响因素研究较为缺乏。另外，已有研究对车站间的空间自相关性考虑不足，在建模时较少采用空间回归模型。因此，本文利用ofo共享单车大数据，研究深圳市轨道交通车站周边建成环境对骑行的影响因素，弥补当前对互联网租赁自行车大数据利用的不足和相关研究的缺乏，重新审视互联网租赁自行车环境下轨道交通车站的服务范围，并从建成环境角度分析影响车站周边骑行的因素，为促进轨道交通+自行车出行和建设轨道交通车站周边适宜自行车交通的TOD社区提供借鉴。

2 研究范围与数据概况

2.1 研究范围

截至2018年6月，深圳市运营轨道交通线路8条，共167个车站(换乘站计为1个)，覆盖罗湖区、福田区、南山区、宝安区、龙华区、龙岗区6个市辖区^①，运营总里程285 km(见图1)。

互联网租赁自行车在优化城市交通结构、提高居民出行便利性的同时，也伴随着一系列问题。如自行车设施建设不足、车辆违规停放、局部过度投放、部分企业运营管理规范化程度不高以及主体责任不明晰等。由于历史遗留问题，深圳市在发展自行车交通方面的基础较差。从城市建成环境角度衡量，仍旧缺乏安全、舒适的自行车骑行环境。近年随着原特区外开发建设和城市更新速度的加快，居住建筑开发量主要增加在原特区外，而以办公为代表的服务业建筑开发仍主要在原特区内，土地布局的不平衡导致职住空间分离进一步加剧，引发过量跨区交通流，引起部分轨道交通车站的骑行接驳流量在早晚高峰时段过高，骑行需求与骑行条件的矛盾更加突出。

2.2 研究数据

2.2.1 数据来源

通过编写Python程序从ofo接口获取全深圳市处于未使用状态的共享单车ID及位置信息，平均采样间隔为5.9 min，即平均5.9 min完成一次深圳市ofo闲置共享单车数据的抓取，连续采集5天得到原始数据。在本文数据的获取时间点，深圳市的ofo已基本完成带定位功能的智能锁更换，定位精度

高、数据质量优良。

深圳市轨道交通车站数据、公共汽车站数据来源于高德2016年深圳市POI数据，深圳市2014年建筑普查数据、2016年土地利用数据、非机动车道布局现状数据来源于深圳市规划和国土资源委员会，2017年9月的人口热力数据来源于百度地图，深圳市公共自行车租赁点分布现状数据来源于深圳市凡骑绿畅技术有限公司、深圳市城市公共自行车租赁有限公司、广东惠民运营股份有限公司的官方网站。

2.2.2 数据预处理

ofo共享单车数据时间跨度为2017年9月25日(星期一)至29日(星期五)，这五天为工作日且均为多云天气。数据涵盖约28万辆ofo共享单车277 219 657条车辆位置信息记录，与深圳市投放ofo共享单车数量基本一致。字段信息如表1所示。

从轨道交通车站层面出发，利用带有空间定位的ofo共享单车数据研究车站周边的骑行影响因素。数据记录的是未使用状态的共享单车信息，因此通过识别每辆共享单车相邻两次采样中的状态和定位变化，整理出



图1 深圳市轨道交通线路运营现状

Fig.1 Operation of rail transit lines in Shenzhen

表1 数据字段信息

Tab.1 Information from text data

字段名称	字段形式	字段内容
TIME	DD/hh:mm:ss, 日/时:分:秒	采集时间
BIKEID	字母与数字混合编码, 如 da0799d	车辆编号
LONGITUDE	113.76至114.60, 精确到六位小数	车辆所处的经度(E)
LATITUDE	22.40至25.85, 精确到六位小数	车辆所处的纬度(N)

共享单车的骑行记录，并计算骑行的距离、时间和速度值。

研究重点考察与轨道交通车站接驳有关的骑行情况，因此选取出行起始点或者目的地位于轨道交通车站各出入口 50 m 范围内的共享单车行车记录。剔除到达车站的时间和从车站出发的时间位于非地铁运营时段(0:00—6:30)的部分。另外，由于运维人员整理车辆会导致车站出入口部分共享单车存在小范围移动，因此剔除骑行 200 m^②以下的行车记录。在接驳轨道交通车站时，几乎不会骑行超过 5 km 或者 1 h，因此剔除该部分行车记录。除此之外，偶尔存在车站间采用货车进行共享单车调配的情况，因此剔除速

度大于 30 km·h⁻¹的行车记录。

通过剔除各项指标的异常值，保留正常的出行记录，得到 ofo 共享单车行车数据，包含共享单车 ID、采样时间、经纬度、距轨道交通车站的距离，以及该次出行的距离、时间、速度等字段。

3 描述性分析

3.1 轨道交通车站接驳范围确定

自行车接驳轨道交通通常分为两种模式：1) 自行车交通作为轨道交通的接入方式，下文记为自行车“流入”车站；2) 自行车交通作为轨道交通的输出方式，下文记为自行车“流出”车站。

首先，剔除骑行接驳流量过小的 32 个特殊车站，包括地理位置过于偏远的车站(例如龙岗区北部车站)、机场站等不适合骑行接驳的车站、大型郊野公园附近的车站；其次，对剩余的 135 个车站计算 5 天中 90%^③的骑行轨迹集中的范围，即将共享单车上下车点按照与轨道交通车站距离从近到远的顺序进行排列，取第 90% 辆共享单车距车站的距离作为车站的骑行接驳服务半径，以此明确车站接驳骑行的服务覆盖范围，分别计算流入、流出两种接驳方向的圆形缓冲区服务范围；最后，用泰森多边形分割各车站骑行接驳范围的重叠区域，作为各轨道交通车站对骑行接驳的服务范围。泰森多边形的特性可以保证提取出的各辆共享单车上下车点距离本车站的距离最小，符合接驳的特性。计算得到的各轨道交通车站骑行接驳服务范围(见图 2)作为下文界定骑行流量和影响因素的范围。

原特区内车站的骑行接驳服务范围明显小于原特区外车站。一方面，原特区外轨道交通车站的分布较为稀疏，因此单个车站的服务范围更大；另一方面，随着原特区内跨区长距离出行越来越频繁，原特区外的居民在出行中更加依赖轨道交通，同时与轨道交通接驳的其他方式(例如步行、公共汽车)等不够便捷，导致骑行接驳范围更大，与实际观察一致。

3.2 轨道交通车站接驳骑行影响因素分析

3.2.1 因变量

自行车交通接驳轨道交通的流入、流出两种模式在发生机理上略有差异，同时，时

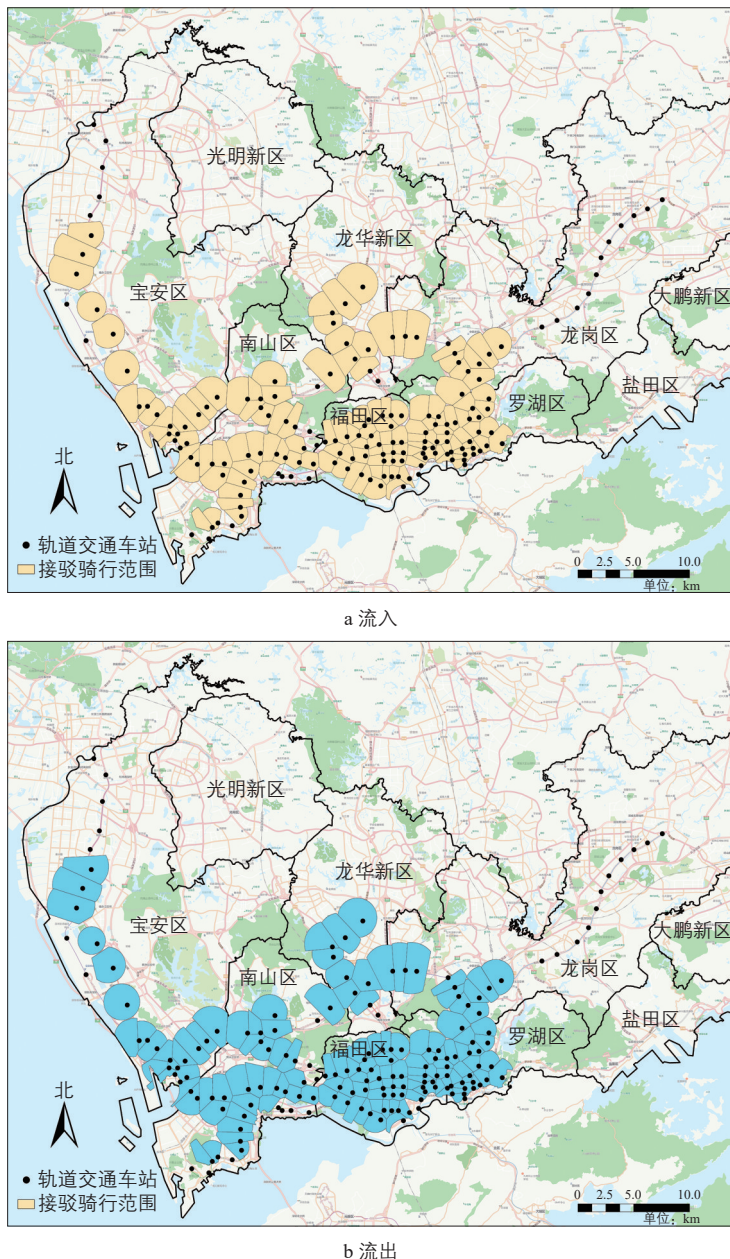


图2 深圳市 135 个轨道交通车站的骑行接驳范围
Fig.2 Bicycle accessing distance of 135 rail transit stations in Shenzhen

间效应也会对骑行接驳流量产生影响。对此,本文设计了八种情景(见表2)。

以全日情景为例,骑行流量频数分布与正态分布曲线差距较远,呈明显的右偏态(见图3)。

全日轨道交通车站接驳骑行流量空间分布见图4,5天中流入、流出骑行接驳流量较大的车站分布在宝安中心区、南山中心区、龙华区民治和龙华街道以及龙岗区的坂田街道。各车站骑行流量的差异一方面可能是车站周边土地利用和人口规模导致的需求不同,另一方面可能是自行车交通设施供给和骑行条件不一所造成的。

3.2.2 自变量

本文重点探讨轨道交通车站接驳骑行的影响因素,对建成环境的刻画采用最经典的5D模式。结合互联网租赁自行车的使用特性和深圳市的实际情况,确定影响建成环境的因素包括车站周边的土地利用情况、居住和就业人口规模、非机动车道建设情况、其他公共交通布局情况、轨道交通车站自身属性等。另外,由于轨道交通车站层面的坡度差异不明显,且5天天气均为多云,此处暂不考虑坡度、天气因素。

土地利用特征选取与接驳车站密切相关的居住、办公、商业、工业四类(考虑到深圳市的实际情况与相关性检验,剔除公园和高校两类),计算各车站骑行接驳服务范围内的各类建筑楼板面积。另外,车站周边的土地利用混合度与骑行接驳流量可能有一定的关系。通常土地利用混合度越高,越能够吸引不同出行目的的人群。采用参考文献[28,35]的方法计算土地利用混合度:

$$landusemix_i = \frac{-\sum_{k=1}^K p_{k,i} \ln(p_{k,i})}{\ln(K, i)}$$

式中: K 为车站 i 服务范围内四类用途建筑的种类数(取值1~4); $p_{k,i}$ 为第 k 种用途建筑的楼板面积与车站 i 周边建筑楼板总面积的比值。 $landusemix_i$ 取值为0~1,其大小反映不同车站周边用地功能的混合程度,取值越大表示各种土地功能分配越均衡,土地利用混合度越高;反之,则相反。

人口特征采用2017年9月28日的百度热力图数据。百度人口热力图基于智能手机使用者访问百度产品(如搜索、地图等)时所在的位置,计算得到人群空间分布情况,并用不同色块来反映热力指数^[32]。接驳范围内的热力值代表人口数量的相对值,计算时除去车站200 m缓冲区后,即除去步行接驳的潜在人群。

自行车交通设施建设直接影响骑行舒适性、安全性、连续性等,主要包括通行空间

表2 骑行情景

Tab.2 Cycling scenarios

序号	接驳方向	情景
1		全日流入车站的骑行流量
2	流入	早高峰时段流入车站的骑行流量
3		晚高峰时段流入车站的骑行流量
4		平峰时段流入车站的骑行流量
5		全日流出车站的骑行流量
6	流出	早高峰时段流出车站的骑行流量
7		晚高峰时段流出车站的骑行流量
8		平峰时段流出车站的骑行流量

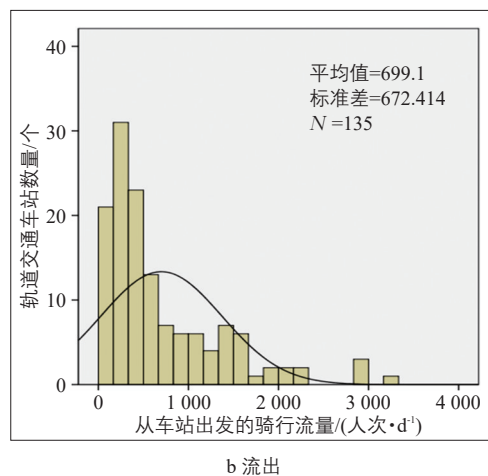
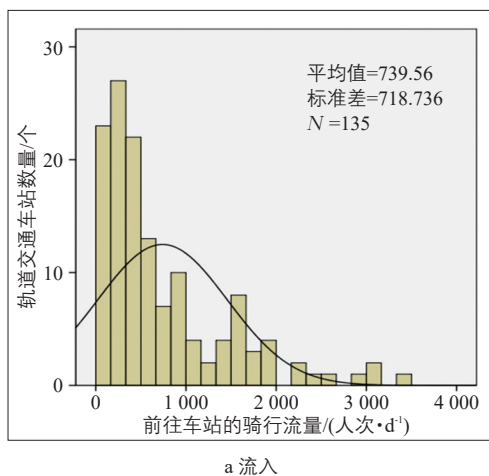


图3 全日轨道交通车站接驳骑行流量

Fig.3 Full-day connecting bicycle flow of rail transit stations

和停放空间^[33]。在实际生活中,自行车停放设施的布局更可能是骑行流量影响的结果,在因果关系不清晰的情况下,本文仅考虑非机动车道因素,计算各车站骑行接驳服务范围内人非共板无分隔、机非共板有分隔、人非共板有分隔三类车道的长度^④。通常与其他车道有分隔的非机动车道最适宜骑行。

其他公共交通在接驳轨道交通上对互联网租赁自行车的影响较为复杂,以公共汽车和公共自行车为主。统计各轨道交通车站骑行接驳服务范围内的公共汽车站和公共自行车租赁点数量,相关性分析结果初步发现,骑行接驳流量与两者的数量存在明显的正相关关系。可见,公共汽车和公共自行车建设

较为完备的地区,互联网租赁自行车接驳轨道交通的流量也可能较大。有可能是因为轨道交通接驳需求较高的地区,公共汽车和公共自行车租赁点设置也相应较多,同时,公共自行车和互联网租赁自行车对骑行环境的需求也较为相似。

轨道交通车站自身属性包括车站区位、规模、与其他车站的关系等。本文用各车站距最近组团中心的直线距离来表征各个车站的区位,以南山、福田、罗湖、宝安和龙华各区政府所在地作为各区中心。换乘站拥有更多轨道交通线路,具有更强的交通功能,可能吸引更多的骑行接驳,因此将车站是否是换乘站纳入可能的影响因素中。车站规模可以用地面出入口数量来衡量,由于研究对象为进入车站出入口50 m内的共享单车,因此车站出入口数量的差异可能影响骑行接驳流量。设置虚拟变量“是否是城市综合客运枢纽”以区分个别具有综合客运枢纽功能的车站,这类车站的骑行流量可能不全是接驳地铁,而是火车或者口岸等。另外,邻近的车站之间可能存在相互影响,因此用各车站圆形缓冲区服务范围内其他车站的数量衡量车站与邻近车站之间的关系。

分别统计接驳范围内流入和流出两种骑行方向各项变量的基本统计指标。表3列出了流入方向的统计指标,流出方向的各项指标值与流入方向较为接近,不再列出。

首先进行自变量之间的相关性分析,剔除相关性过强的变量,包括建筑楼板面积总量(A_CON)、夜间人口数量(POP_NIG)、人非共板无分隔的非机动车道长度(L_LANE0)。另外,公共汽车站数量(N_BUS)与工业楼板面积(A_IND)的相关系数大于0.7,剔除本文中相对不重要的工业楼板面积(A_IND)变量,剩下14个变量之间的相关系数都小于0.7,进入回归分析。

4 空间计量模型实证分析

4.1 模型构建

对各种情景下的骑行接驳流量取自然对数使其呈现正态分布。根据地理学第一定律,相邻车站的接驳骑行流量可能存在空间自相关。为检验是否存在空间自相关性,建立空间权重矩阵并进行自相关分析。对于面状数据的空间自相关分析,通常采用距离权重矩阵或邻接权重矩阵方法。由于各轨道交

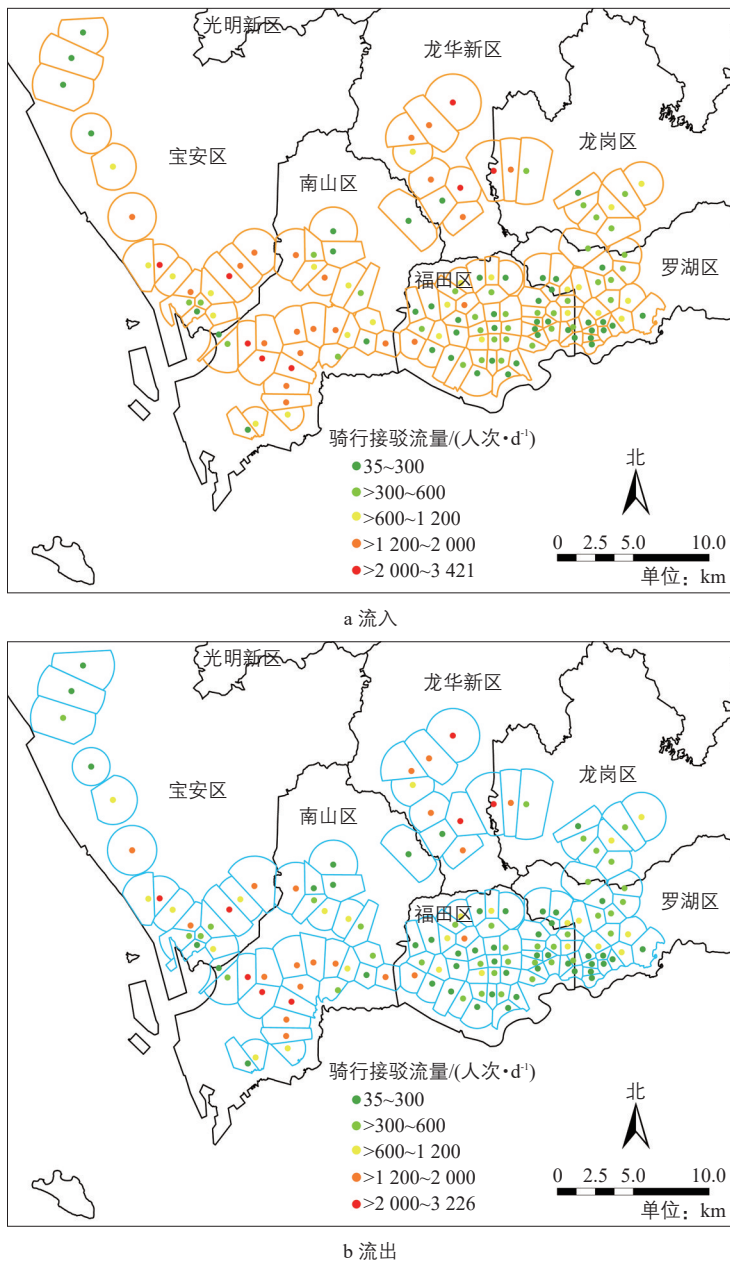


图4 全日轨道交通车站接驳骑行流量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of full-day connecting bicycle flow of rail transit stations

通车站骑行接驳范围的面积差别较大,采用距离权重矩阵将会出现“孤岛”或邻域数量较多的情况,因此采用邻接权重矩阵方法^[34]。此处邻接多边形大多具有公共边界,几乎不存在仅共享公共顶点的情况,因而采用Rook矩阵便足够反映邻接关系。经检验,各情景下均有较高且显著的全局Moran's I值,以全日为例的数据见图5。将探索性变量纳入模型,首先进行经典线性回归,分方向、分时段八种情景下残差的Moran's I均通过显著性检验,因此采用空间回归模型。经探索性回归发现,各情景下空间滞后模型的拉格朗日乘数均大于空间误差模型,且拟合优度更高,AIC值更小,因此本文采用空间滞后模型。

对各项流量值取自然对数后作为模型的因变量,并在自变量中加入因变量的空间滞后项,由GeoDa 1.6.7生成Rook矩阵并进行空间模型的运算,采用极大似然法进行参数估计。模型形式为

$$\ln Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \rho W_{\ln}(Y)$$

式中:Y为各种情景下的骑行流量; α 为常

数项;系数 β_i 表示自变量 x_i 每变化一个单位对Y产生 e^{β_i} 的效应; $W_{\ln}(Y)$ 为因变量的空间滞后项; ρ 为空间滞后项的回归系数。

4.2 模型结果分析

剔除相关性较高的自变量之后,将所有探索性变量纳入空间滞后模型,八种情景下的回归结果如表4和表5所示。

从整体情况分析,各模型R²总体相差不大,拟合效果比较接近。CI检验、Breusch-Pagan检验、Likelihood Ratio Test检验的结果说明模型不存在多重共线性和异方差的问题,并且的确存在空间滞后效应。

大多数回归系数的正负向和显著性水平在模型之间比较接近,说明大多数影响因素对各个情景下接驳骑行流量的影响较为一致。各模型中的 $W_{\ln}(Y)$ 都通过0.05的显著性检验且为正值,可见相邻轨道交通车站间的接驳骑行流量存在正向空间自相关。这可能是由于相邻车站拥有相似的建成环境因素,导致接驳骑行流量接近^[28]。

在土地利用特征方面,居住楼板面积

表3 前往车站的骑行服务范围内各变量的基本统计指标

Tab.3 Statistical indicators of all exploratory variables within the bicycle accessing distance of the stations

类别	序号	变量名称	含义	最小值	最大值	均值	标准差
土地利用特征	1	A_CON	建筑楼板面积总量/km ²	0.52	12.20	2.89	2.10
	2	A_RES	居住楼板面积/km ²	0	7.39	1.90	1.52
	3	A_OFF	办公楼板面积/km ²	0	2.42	0.28	0.44
	4	A_COM	商业楼板面积/km ²	0	0.87	0.22	0.18
	5	A_IND	工业楼板面积/km ²	0	3.74	0.32	0.64
	6	LAND_MIX	土地利用混合度	0	0.88	0.53	0.17
人口特征	7	POP_DAY	日间人口数量(相对值)	6	2 320	507.20	394.84
	8	POP_NIG	夜间人口数量(相对值)	0	2 290	448.97	441.69
非机动车道建设情况	9	L_LANE0	人非共板无分隔的非机动车道长度/km	3.12	63.19	17.97	11.96
	10	L_LANE1	机非共板有分隔的非机动车道长度/km	0	8.21	0.47	1.28
	11	L_LANE2	人非共板有分隔的非机动车道长度/km	0	11.09	1.19	2.17
其他公共交通布局情况	12	N_BUS	公共汽车站数量/个	0	209	40.76	32.52
	13	N_PUB_BIKE	公共自行车租赁点数量/个	0	27	3.96	5.28
轨道交通车站属性	14	D_CLU	车站与组团中心的距离/km	0.20	17.64	3.92	3.00
	15	INTERCHANGE	车站是否为换乘站(虚拟变量,是为1,不是为0)	0	1	0.19	0.39
	16	N_GATE	车站地面出入口数量/个	1	14	4.20	1.81
	17	TRAFFIC HUB	车站是否是城市综合客运枢纽(虚拟变量,是为1,不是为0)	0	1	0.13	0.33
	18	N_OTHER	车站服务范围内的其他车站数量/个	0	11	3.27	2.34

(A_RES) 几乎在各种情景中都发挥了正向显著的作用, 更大规模的居住小区和城中村对应更多的居住人口, 发生接驳骑行的基数更大。尤其早高峰时段, 要注意在居住小区

和城中村密集的车站出入口附近做好共享单车的整理维护工作。办公楼板面积 (A_OFF) 仅对早高峰从轨道交通车站出发和晚高峰骑行前往车站的骑行流量有影响。

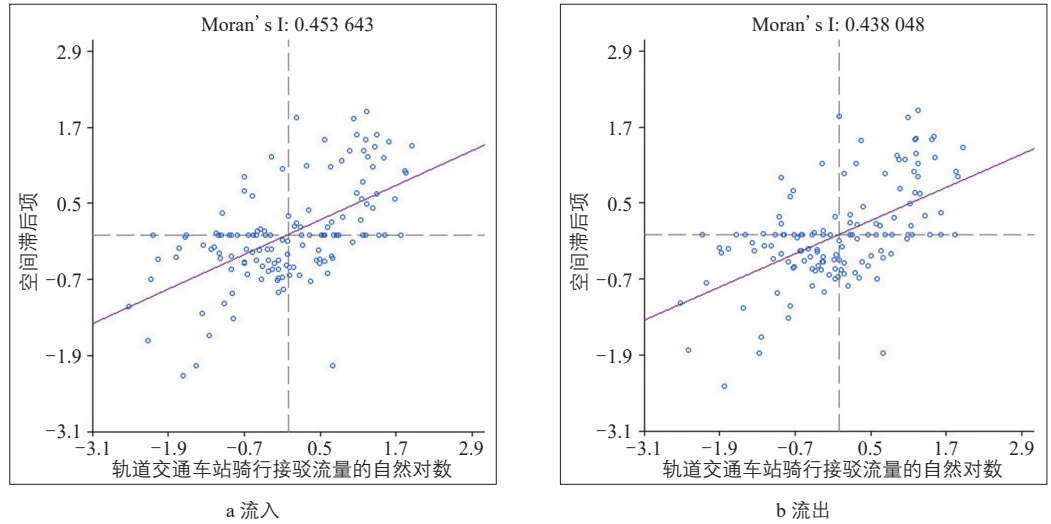


图5 轨道交通车站骑行接驳流量自然对数的全局Moran's I

Fig.5 Global Moran's I of natural logarithm of connecting bicycle flow of rail transit stations

表4 前往车站的骑行接驳情形回归结果

Tab.4 Regression of bicycle connection scenarios towards stations

自变量	全日	早高峰时段	晚高峰时段	平峰时段
$W_ln(Y)$	0.091 8***	0.123***	0.084 6**	0.103***
α	4.528***	2.781***	2.896***	4.023***
A_RES	0.230**	0.460***	-0.126	0.164*
A_OFF	0.089 0	-0.330	0.314*	0.090 6
A_COM	-0.150	-0.228	-0.198	0.026 2
$LAND_MIX$	0.882*	0.860	1.101*	0.894*
POP_DAY	-0.013 9	-0.029 9	-0.015 5	-0.008 42
L_LANE1	-0.029 0	-0.050 1	-0.024 0	-0.019 8
L_LANE2	0.052 1*	0.059 7	0.058 3*	0.050 4*
N_BUS	0.007 84*	0.009 19*	0.005 68	0.007 32*
N_PUB_BIKE	0.025 5**	0.025 9	0.045 5***	0.040 1***
D_CLU	-0.080 3**	-0.070 7*	-0.077 4**	-0.089 9***
$INTERCHANGE$	0.043 6	0.142	-0.032 8	0.087 0
N_GATE	0.173***	0.189***	0.197***	0.156***
$TRAFFIC_HUB$	-0.359*	-0.627**	-0.308	-0.293*
N_OTHER	-0.160***	-0.150**	-0.179***	-0.154***
R^2	0.609	0.610	0.558	0.587
Log Likelihood	-131.021	-168.922	-139.868	-128.469
Condition Index	4.613	4.613	4.613	4.613
Breusch-Pagan Test (P Value)	0.814	0.442	0.275	0.925
Likelihood Ratio Test (P Value)	0.000	0.001	0.016 6	0.000

注: ***代表 p 值小于 0.001; **代表 p 值小于 0.01; *代表 p 值小于 0.05。

早高峰时段，有较多的人出站后骑行前往办公地点；晚高峰时段，这部分人群又骑行前往轨道交通车站，与实际观察一致。因而在办公区密集的地区，在早晚高峰时段同样要重视车站附近共享单车的运维工作。商业楼板面积 (A_COM) 的影响在任何情景下都不显著，可能是因为工作日中商业的休闲购物作用显现得不够明显，或者“骑-乘”模式对商业来说吸引力不足。土地利用混合度 ($LAND_MIX$) 对于前往接驳车站的骑行流量具有显著的正向影响，证实了描述性分析中的假设，即车站周边混合的用地类型相比于单一的用地类型而言可能会更加吸引接驳骑行，因为混合的用地类型可能会吸引更多有不同出行目的的人。

在人口特征方面，日间人口数量 (POP_DAY) 与接驳车站骑行流量之间的关系并不显著。可能是因为夜间人口聚集的地

区主要为居住用地，而日间人口聚集的地区较为分散，包括办公、居住、商业、工业、科教、公共管理与公共服务设施等多种用地类型。各种用地类型上的骑行发生率往往不一样，因此在混合用地影响下，日间人口数量对接驳车站骑行流量的影响不显著。

在非机动车道建设方面，机非共板无分隔非机动车道长度变量 (L_LANE1) 不具有统计上的显著性意义。深圳市机非共板有分隔非机动车道较稀少，且大部分集中在龙岗区北部的龙城街道、龙岗街道。而本文不考虑龙岗区北部的车站，在考虑的车站的骑行接驳范围内，非机动车道长度仅占主、次干路总长度的5%且分布不连续，导致对骑行环境改善发挥的作用有限。相比而言，人非共板有分隔的非机动车道长度 (L_LANE2) 在研究范围内的建设较为完善，占主、次干路总长度的比例达到15%，且在宝安中心

表5 从车站出发的骑行接驳情形回归结果

Tab.5 Regression of bicycle connection scenarios departing from stations

自变量	全日	早高峰时段	晚高峰时段	平峰时段
$W_ln(Y)$	0.077 8^{***}	0.074 2[*]	0.110^{**}	0.093 5^{**}
α	4.484^{***}	2.831^{***}	3.181^{***}	3.829^{***}
A_RES	0.230^{**}	0.257^{**}	0.214[*]	0.230^{**}
A_OFF	0.166	0.451[*]	-0.022 7	0.155
A_COM	0.088 6	-0.029 2	0.133	0.160
$LAND_MIX$	0.850	1.029[*]	0.885	0.808
POP_DAY	-2.579	-3.687	-2.786	-2.212
L_LANE1	-0.006 91	-0.03 17	-0.009 06	0.004 00
L_LANE2	0.059 4[*]	0.046 7	0.063 9[*]	0.054 8[*]
N_BUS	0.007 31[*]	0.006 27	0.009 37^{**}	0.006 40[*]
N_PUB_BIKE	0.031 2^{**}	0.032 7[*]	0.030 5[*]	0.031 3^{**}
D_CLU	-0.073 0^{**}	-0.052 0	-0.085 0^{**}	-0.076 9^{**}
$INTERCHANGE$	0.032 5	0.084 3	0.085 6	0.014 9
N_GATE	0.141^{***}	0.127^{**}	0.146^{***}	0.141^{***}
$TRAFFIC_HUB$	-0.365[*]	-0.499[*]	-0.423[*]	-0.289
N_OTHER	-0.114^{***}	-0.135^{***}	-0.132^{***}	-0.103^{**}
R^2	0.569	0.546	0.568	0.557
Log Likelihood	-135.282	-149.141	-144.48	-135.303
Condition Index	4.809	4.809	4.809	4.809
Breusch-Pagan Test (P Value)	0.730	0.467	0.562	0.776
Likelihood Ratio Test (P Value)	0.003 02	0.044 7	0.001 02	0.001 20

注：***代表 p 值小于 0.001；**代表 p 值小于 0.01；*代表 p 值小于 0.05。

区、南山中心区、福田中心区和龙华中心区相对较连续。模型结果表明,人非共板有分隔非机动车道长度对接驳车站骑行流量发挥了显著的正向作用。每新建或改建5 km人非共板有分隔的非机动车道,全日骑行接驳轨道交通车站的流入、流出流量将分别增至原来的1.30倍($e^{0.0521 \times 5}$)和1.35倍($e^{0.0594 \times 5}$)。因此,加快新建和改建非机动车道、改善骑行环境,对促进骑行接驳轨道交通具有重要作用。

其他公共交通布局方面,公共汽车站数量(N_{BUS})和公共自行车租赁点数量(N_{PUB_BIKE})与接驳轨道交通车站的骑行流量在多数模型中呈现显著正相关。互联网租赁自行车为新兴产物,公共汽车和公共自行车交通系统成型相对较早,模型结果暗示,在公共汽车和公共自行车建设较为完善的地区,轨道交通车站骑行接驳流量仍然较高。一方面,互联网租赁自行车的出现提高了自行车接驳轨道交通的比例,分流了公共汽车与公共自行车的接驳量;另一方面,公共汽车和公共自行车交通设施建设完善的地区,通常也意味着具有较大的接驳轨道交通的需求。因此,在较大接驳需求基数的背景下,互联网租赁自行车接驳轨道交通的流量也会较高。

轨道交通车站属性方面,与组团中心的距离变量(D_{CLU})几乎在各个模型中都显示出与接驳流量的显著负向关系,即越靠近组团中心,骑行接驳流量越低。这可能是因为通常靠近组团中心的地区,轨道交通车站较为密集,因此平均每个车站的骑行接驳流量较低。同时,靠近组团中心的地区步行接驳环境较为适宜,而离组团中心较远的地区则往往对轨道交通依赖性更大,进而衍生出更多的接驳需求。是否是换乘站($INTERCHANGE$)对骑行接驳流量并没有显著影响,可能是对于骑行方式的接驳而言,骑行距离和时间最短才是最便捷舒适的,大多数骑行者并没有过分在意车站交通功能的强弱(此处主要指轨道交通线路的多少)。轨道交通车站地面出入口数量(N_{GATE})与各情景下接驳车站的骑行流量之间存在显著的正相关。地面出入口数量的多少间接反映了车站的客流量规模和出入口50 m内互联网租赁自行车的总容纳数量,这些都与接驳车站的骑行流量呈正相关。车站是否是城市综合客运枢纽变量

($TRAFFIC HUB$)对各情景下的骑行接驳流量有显著的负向影响,可能是因为大多数的综合交通枢纽,例如深圳北站、罗湖站、福田口岸站等周围的居住和就业人口相对较少,大多承载对外客流,并因为行李多等因素,骑行接驳较为不便。车站服务范围内的其他车站数量(N_{OTHER})对各情景下的骑行流量都呈显著的负向影响,亦即车站邻近的其他车站数量越多,骑行接驳流量越低,相邻的车站之间存在潜在的竞争^[21]。

5 结论与建议

本文运用Python, ArcGIS, SPSS, Geoda等软件,挖掘深圳市2017年9月25—29日的ofo单车大数据,在计算各轨道交通车站骑行接驳范围的基础上,研究接驳轨道交通车站的互联网租赁自行车骑行的建成环境影响因素。描述性分析和空间滞后模型结果表明:居住和办公楼板面积、多样的土地利用类型能产生更多的骑行接驳需求;非机动车道的建设能有效改善骑行环境,促进自行车+轨道交通模式的发展;公共汽车站和公共自行车租赁点建设较为完善的地区,仍有着较高的骑行接驳流量;与组团中心的距离和车站服务范围内的其他车站数量对接驳流量有显著的负向作用。

根据以上主要结论,对深圳市轨道交通车站周边的建成环境建设提出以下建议:

1) 近年来,随着深圳市原特区外开发建设和城市更新速度的加快,居住建筑开发量主要增加在原特区外,而以办公为代表的服务业建筑开发量仍主要增加在原特区内,土地布局的不平衡导致职住空间分离进一步加剧,引发过量跨区交通流,使得部分轨道交通车站的骑行接驳需求与骑行条件的矛盾更加突出。从交通需求角度,通过调整居住用地和办公用地的布局以及土地利用混合程度可以调节骑行接驳轨道交通车站的流量规模,尤其是在职住不平衡问题较严重的原特区外地区,可以通过调整建设用地规模和布局减少过量交通流。

2) 从自行车交通设施供给角度,建设连续成网、便捷接驳、环境友好的非机动车道,改善骑行环境,对促进骑行接驳轨道交通具有重要作用,进而发挥“骑-乘”模式的效益。尤其是在宝安中心区、南山中心区

和龙华中心区等接驳需求较高的地区,应该首先新建和改建非机动车道,并建议有条件的地区优先考虑建设非机动车专用路,条件有限的地区考虑建设人非共板有分隔的非机动车道。

3) 从其他公共交通布局角度,公共汽车交通仍可继续完善,改变部分车站该种接驳方式比例过低的局面,缓解互联网租赁自行车的接驳压力,形成轨道交通多种接驳方式互相补充的状态。

4) 对于距离组团中心较远的车站,要注意长距离接驳骑行环境的营造,包括建设骑行舒适度更高的非机动车专用路,配备充足的非机动车停放设施,并推动跨区非机动车专用路试点建设。

本文在以下方面仍有进一步完善的空间:1)本文主要从数据挖掘的角度分析问题,在规划落地的可行性方面还不够具体。在下一步工作中,将补充相关案例研究。2)本文采用泰森多边形分割各轨道交通车站的骑行接驳范围,但对轨道交通线路对骑行车站选择的影响考量不足。例如,如果离骑行者最近的轨道交通车站为1号线某车站,但其目的地位于2号线车站附近,骑行者可能愿意花更多时间骑行至最近的2号线车站,再换乘轨道交通。因此,在下一步研究中,可以充分考虑线路的影响,使得到的各车站骑行接驳服务范围更加准确。

注释:

Notes:

- ① 来自深圳地铁(<http://www.szmc.net/ver2>)。
- ② 本文中采用的距离都是欧氏距离。
- ③ 经过骑行距离升序排序后,通过频数分布图、箱线图发现约有10%的骑行对应的骑行距离过长,为骑行距离中的异常值。为保证轨道交通车站骑行服务范围的科学性,剔除该部分异常值。
- ④ 深圳市非机动车道三种分类参考《深圳市步行和自行车交通系统规划》(2013年)。人非共板无分隔:以划线或不同铺装形式在人行道上设置的非机动车道,与人行空间之间无物理分隔的设置形式;机非共板有分隔:指与机动车道相同标高设置,与机动车道之间有绿化带或防撞墩、栏杆等形式的物理分隔的非机动车道;人非共板有分隔:指与人行道共标高设置,与人行空间之间有绿化带或防撞墩等形式的物理分隔的非机动车道。

参考文献:

References:

- [1] Akar G, Clifton K. Influence of Individual Perceptions and Bicycle Infrastructure on Decision to Bike[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009(2140): 165-172.
- [2] Lawlor D A, Ness A R, Cope A M. The Challenges of Evaluating Environmental Interventions to Increase Population Levels of Physical Activity: the Case of the UK National Cycle Network[J]. Journal of Epidemiology & Community Health, 2003, 57(2): 96-101.
- [3] Schlossberg M, Brown N. Comparing Transit-Oriented Development Sites by Walkability Indicators[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004(1887): 34-42.
- [4] 蒋寅, 马山, 郭本峰, 等. 大城市核心区步行和自行车系统规划策略: 以天津市劝业场地区为例[J]. 城市交通, 2016, 14(5): 29-36+62.
Jiang Yin, Ma Shan, Guo Benfeng, et al. Pedestrian and Cycling Transportation System Planning Strategies in Urban Core Area: A Case Study of Tianjin Quanyechang Area[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(5): 29-36+62.
- [5] 王维凤, 叶建红, 方雪丽, 等. 基于骑行感受的自行车出行品质评价应用研究[J]. 城市交通, 2016, 14(5): 44-49.
Wang Weifeng, Ye Jianhong, Fang Xueli, et al. Users' Experience Oriented Cycling Service Evaluation[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(5): 44-49.
- [6] 郑景轩. 深圳市自行车交通系统发展策略[J]. 城市交通, 2014, 12(1): 34-40.
Zheng Jingxuan. Development Strategies for Bicycle Transportation System in Shenzhen[J]. Urban Transport of China, 2014, 12(1): 34-40.
- [7] 顾彦. 共享单车哪家强: 摩拜、ofo使用手记[J]. 中国战略新兴产业, 2016(23): 36-39.
- [8] 马然. 摩拜单车: 让自行车回归城市[J]. 交通与运输, 2016(6): 26-27.
- [9] 李林峰. 以摩拜单车为例试分析共享单车如何获得可持续盈利[J]. 现代商业, 2016(35): 110-111.

- [10] 王光荣. 共享单车的交通价值与发展路径[J]. 城市, 2017(4): 72-75.
- [11] 杨树燕, 单云慧, 李洲. 共享单车的交通影响与完善路径分析[J]. 现代经济信息, 2017(13): 484-485.
- [12] 周建高. 共享单车爆棚与中国城市空间结构问题[J]. 长安大学学报(社会科学版), 2017, 19(2): 20-29.
Zhou Jianguo. The Boom of Sharing Bicycles and Chinese Urban Spatial Structure [J]. Journal of Chang'an University (Social Science Edition), 2017, 19(2): 20-29.
- [13] Ewing R, Cervero R. Travel and the Built Environment[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.
- [14] 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.
- [15] Faghih-Imani A, Eluru N. Incorporating the Impact of Spatio-Temporal Interactions on Bicycle Sharing System Demand: A Case Study of New York CitiBike System[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 54: 218-227.
- [16] El- Assi W, Mhmoud M S, Habib K N. Effects of Built Environment and Weather on Bike Sharing Demand: A Station Level Analysis of Commercial Bike Sharing in Toronto[J]. Transportation, 2017, 44(3): 587-613.
- [17] Campbell A A, Cherry C R, Ryerson M S, et al. Factors Influencing the Choice of Shared Bicycles and Shared Electric Bikes in Beijing [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 67: 399-414.
- [18] Zhao Pengjun, Li Shengxiao. Bicycle-Metro Integration in a Growing City: The Determinants of Cycling as a Transfer Mode in Metro Station Areas in Beijing[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 99: 46-60.
- [19] Wang Xize, Lindsey G, Schoner J E, et al. Modeling Bike Share Station Activity: Effects of Nearby Business and Jobs on Trips to and from Stations[J]. Journal of Urban Planning & Development, 2016, 142 (1): 1-9.
- [20] Zhang Ying, Thomas T, Brussel M, et al. Exploring the Impact of Built Environment Factors on the Use of Public Bikes at Bike Stations: Case Study in Zhongshan, China [J]. Journal of Transport Geography, 2017, 58: 59-70.
- [21] Faghih-Imani A, Eluru N. Analysing Bicycle-Sharing System User Destination Choice Preferences: Chicago's Divvy System[J]. Journal of Transport Geography, 2015, 44: 53-64.
- [22] Rixey R. Station-Level Forecasting of Bikesharing Ridership: Station Network Effects on Three US Systems[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2013(2387): 46-55.
- [23] Gonzalez F, Melo-Riquelme C, de Grange L. A Combined Destination and Route Choice Model for a Bicycle Sharing System[J]. Transportation, 2016, 43(3): 407-423.
- [24] Borgnat P, Abry P, Flandrin P, et al. Shared Bicycles in a City: A Signal Processing and Data Analysis Perspective[J]. Advances in Complex Systems, 2011, 14(3): 415-438.
- [25] Kaltenbrunner A, Meza R, Grivolla J, et al. Urban Cycles and Mobility Patterns: Exploring and Predicting Trends in a Bicycle-Based Public Transport System[J]. Pervasive & Mobile Computing, 2010, 6(4): 455-466.
- [26] Vogel P, Greiser T, Mattfeld D C. Understanding Bike-Sharing Systems Using Data Mining: Exploring Activity Patterns[J]. Procedia- Social and Behavioral Sciences, 2011, 20: 514-523.
- [27] Van Acker V, Derudder B, Witlox F. Why People Use Their Cars While the Built Environment Imposes Cycling[J]. Journal of Transport & Land Use, 2013, 6(1): 53-62.
- [28] Cervero R, Sarmiento O L, Jacoby E, et al. Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogota[J]. Urban Transport of China, 2009, 3(4): 203-226.
- [29] Heesch K C, Giles-Corti B, Turrell G. Cycling for Transport and Recreation: Associations with the Socio-Economic, Natural and Built Environment[J]. Health & Place, 2015, 36 (1): 152-161.
- [30] Zhao Pengjun, Lyu Bin, De Roo G. Impact of the Jobs-Housing Balance on Urban Commuting in Beijing[J]. Urban Studies, 2013, 51(5): 1019-1037.

(下转第58页)