

# 城市建成环境对公共自行车使用的影响机制研究 ——以深圳市南山区为例

孙艺玲<sup>1</sup> 仝德<sup>1,†</sup> 曹超<sup>2</sup>

1. 北京大学城市规划与设计学院, 深圳 518055; 2. 深圳市凡骑绿畅技术有限公司, 深圳 518054;

† 通信作者, E-mail: tongde@pkusz.edu.cn

**摘要** 以深圳市南山区363个公共自行车站点的自行车使用频次及周边500 m缓冲区建成环境为研究对象, 采用空间滞后模型, 在考虑公共自行车站点区位、公共交通设施环境、自行车骑行环境和相邻站点空间自相关的基础上, 重点研究反映不同人群集聚的土地利用类型对各站点公共自行车使用频次的影响。结果表明, 工作日高峰、周边公交线路数量、周边道路用地面积、支路长度、周边工业建筑面积、低档商服建筑面积和低档住房建筑面积对公共自行车使用频次具有显著正向影响, 到最近地铁站距离和绿道长度对公共自行车使用频次具有显著负向影响, 站点间公共自行车流量具有高度空间自相关性。建议规划公共自行车站点时应重点关注周边建成环境因素, 在布点和定价时充分考虑通勤等规律性需求, 并结合人口分布特点, 增加低收入人群集聚区的供给量。

**关键词** 公共自行车; 建成环境; 空间滞后模型; 深圳市南山区

**中图分类号** TU984

## How Urban Built Environment Affects the Use of Public Bicycles: A Case Study of Nanshan District of Shenzhen

SUN Yiling<sup>1</sup>, TONG De<sup>1,†</sup>, CAO Chao<sup>2</sup>

1. School of Urban Planning and Design, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. Shenzhen Fun-Bike Technology Co., Ltd, Shenzhen 518054; † Corresponding author, E-mail: tongde@pkusz.edu.cn

**Abstract** With the aid of spatial lag model, the influence mechanism of spatial factors around public bicycle stations (PBS) is examined at the research scope of 500 m buffer zone of 363 PBS, based on the trip data from the public bicycle system in Nanshan District of Shenzhen. Factors are selected including the location of PBS, surrounding public transportation, riding infrastructure, built environment and self-correlation of adjacent stations. The research focus on the impact of different land use types where different people gather. It is found that PBS with more bus lines, more road area, longer branch road, more industrial, low-grade commercial, low-grade housing building area around has more usage at the peak time of the workdays, while PBS far away from metro station with longer of green road has less usage. The research also shows that there is a high spatial autocorrelation between different PBS. The conclusion suggests that the public bike station planning pay more attention to the surrounding environmental factors of PBS, take full account of commuting and other regular needs in the distribution and pricing of public bicycles to increase the supply in low-income population agglomeration areas combing with the characteristics of population distribution.

**Key words** public bicycles; built environment; spatial lag model; Nanshan District of Shenzhen

作为一种绿色低碳的出行方式,公共自行车不仅可以提高短途出行的效率,而且可以接驳公共交通,提供“最后一公里”服务,改善公共交通的可达性<sup>[1-4]</sup>。早期的公共自行车系统只在欧洲运营,2008年后逐渐进入全球视野。到2015年,全球超过600个城市拥有公共自行车系统。我国第一个公共自行车系统于2008年在杭州建立,随后迅速扩散,2014年全国公共自行车数量总计达40多万辆,超过全球其他国家公共自行车数量的总和。到2015年3月,我国共有215个市(县)运营公共自行车系统<sup>[5]</sup>。

公共自行车系统主要由带有定位系统的公共自行车、自行车站点的车桩和服务终端机器组成。除收费、自行车数量和服务质量等与运营直接相关的因素外,公共自行车站点所在位置及周边建成环境也是影响用户使用公共自行车的决定性因素<sup>[6-8]</sup>。自行车站点选址不合理直接影响用户需求<sup>[4,8-11]</sup>。研究发现,自行车站点周边的人口密度和就业岗位密度、是否接近公共交通站点和自行车道以及站点周边土地利用混合度、基础设施状况等因素都会对公共自行车站点的流量产生影响<sup>[11-15]</sup>。也有学者通过建立空间滞后模型,发现不同站点的公共自行车流量存在显著的空间自相关性<sup>[2]</sup>。这些研究对城市建成环境的关注主要集中于骑行环境方面,土地利用类型及强度对公共自行车使用的影响机制有待进一步挖掘。特别是随着近两年公共自行车的竞争及互补产品——共享单车(无桩单车)迅速发展,公共自行车及共享单车面向不同人群、不同土地利用类型的差异投放可能成为未来发展趋势,因此,明晰何种土地利用类型、何种人群更青睐公共自行车,成为学界和政府部门关注的重点。

本文以深圳市南山区为例,在考虑公共自行车站点周边交通及骑行环境因素的基础上,重点研究反映不同人群集聚的土地利用类型对各站点公共自行车使用频次的影响,以期丰富该领域研究成果,为引导政府更精准地投放公共自行车,提升其运营效率提供决策依据。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

深圳市年平均气温22.4℃,一月平均气温14℃,年平均日照2120.5小时,自行车骑行条件较好。近

年来,市政府积极推动公共自行车发展,试图解决“最后一公里”问题,提升公共交通效率。截至2016年6月,全市共建成公共自行车网点886个,投放公共自行车26454辆<sup>①</sup>。

南山区位于深圳市西南部,全区陆域面积为187.5 km<sup>2</sup>,设有8个街道(图1)。据《深圳市南山区统计年鉴》,2015年末南山区常住人口为129.12万,其中户籍人口75.59万,占总人口的58.5%。南山区人口密度为6886.4人/km<sup>2</sup>,但空间分布不平衡,集中于南部的蛇口、南头、沙河、粤海等街道。全区第二、三产业发达,创新水平高,是深圳市高新技术产业基地。

### 1.2 数据来源

南山区公共自行车系统自2011年开始建设,主要在住宅区、医院、商业中心、公交枢纽站、地铁站出口和大型行政办事机构附近设置站点。到2016年底,全区共建成379个站点,投入14100辆自行车。本文剔除数据缺失的16个站点,利用363个站点(图1)的自行车借还数据开展研究。

各站点自行车借还数据由运营商提供,包括每辆公共自行车借还的时间、所在站点位置信息等。研究时段从2017年3月1日至4月9日,共计40天。为了讨论城市建成环境对公共自行车流量的影响,同时采用深圳市2014年建筑普查和土地利用现状数据、城市道路和公共交通基础设施、基准地价等数据。

## 2 研究方法

### 2.1 变量选取

本研究以各站点平均每小时的借还车数量之和为因变量,讨论自行车站点周边500 m缓冲区内建成环境对公共自行车流量的影响机制。通过对因变量进行空间描述性分析,发现出行流量在时间和空间上存在显著的差异(图2)。公共自行车出行的流量“热点”集中在研究区中部街道的站点;工作日通勤高峰的出行流量远大于周末的出行流量,工作日高峰出行流量的“热点”数量更多,且在空间上更集中。已有研究表明,公共自行车的使用除受时间和天气等不可抗因素影响外,主要受到城市建成环境的影响<sup>[8]</sup>,包括用于刻画繁华程度和可达性的区位条件<sup>[13]</sup>、衡量交通通达性和使用便捷程度的公共

① 深圳市交通运输委员会(深圳市港务管理局). 慢行交通工程:公共自行车系统建设. [http://www.szta.gov.cn/xxgk/qt/ztl/msss/2016wcr/jbqk/201609/t20160919\\_5274962.htm](http://www.szta.gov.cn/xxgk/qt/ztl/msss/2016wcr/jbqk/201609/t20160919_5274962.htm)

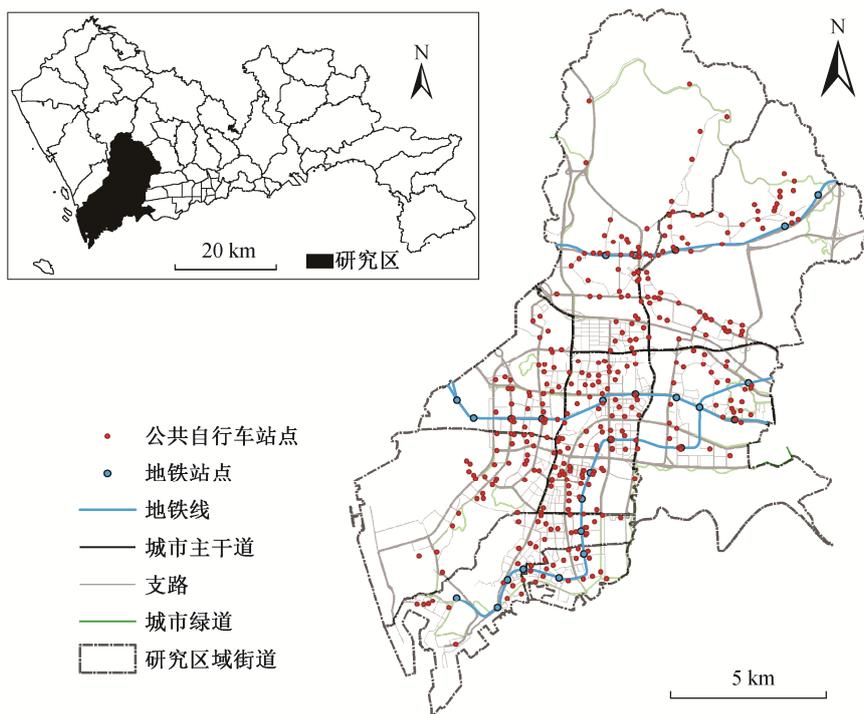


图1 研究区范围及公共自行车站点分布  
 Fig. 1 The study area and public bicycle stations

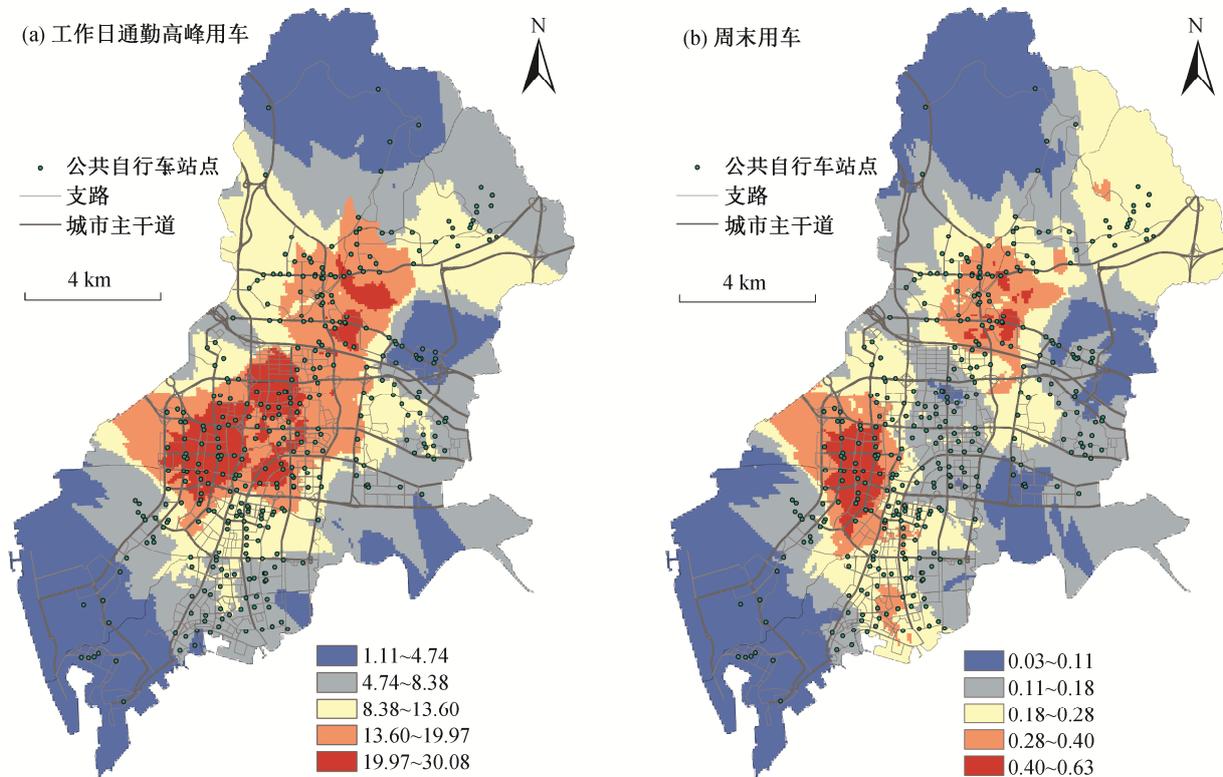


图2 公共自行车使用时空分布差异  
 Fig. 2 Spatial and temporal disparities of public bicycle usage

交通设施环境<sup>[9]</sup>、评价自行车骑行方便程度的自行车骑行环境<sup>[16]</sup>以及对公共自行车出行流量具有决定性影响的土地利用情况<sup>[2]</sup>。

基于图2的因变量统计结果,并参考上述已有的研究结论,本文首先设置虚拟变量来区分自行车的使用是否在工作日的通勤高峰时段。此外,建成环境变量具体选取如下4类:1) 区位条件,用住宅基准地价及距市中心距离2个指标刻画;2) 公共交通设施环境,用周边公交线路数量及到最近地铁站的距离2个指标刻画;3) 自行车骑行环境,用绿道、城市主干道、城市支路长度及周边道路面积等4个指标刻画;4) 土地利用类型及强度,这是本文最关注的变量,用土地利用混合度、休憩用地面积、科教用地面积、工业建筑面积、办公建筑面积、中高档住房建筑面积、低档住房建筑面积、中高档商服建筑面积和低档商服建筑面积等9个指标刻画。在土地利用类型及强度变量的选取中,为了剖析不同档次的居住和商业服务空间对公共自行车使用的影响,特别区分了城中村与其他正规住房、商业街与商场的建筑类型(表1)。

## 2.2 模型选择

在开展各自变量与因变量关系的探索性分析时,发现除分类变量外,其他解释变量和因变量都是线性关系;同时,经过自变量相关性检验,剔除“住宅基准地价”这一与多个自变量相关的变量。采用多元线性回归模型研究公共自行车使用频次的影响机制,计算公式如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i + u_i,$$

因变量  $Y$  为每个公共自行车站点平均每小时出行流量;  $X_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, 18$ ) 为18个解释变量; 参数  $\beta_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, 18$ ) 为每个自变量  $X_i$  的回归系数, 表示当其他解释变量不变时, 该解释变量变化一个单位时因变量的变化值;  $\beta_0$  为常数项;  $u_i$  为随机干扰项。

先利用Enter法进行全变量回归,发现回归结果虽能通过F检验,但病态指数(CI)大于30,共线性较严重;故改用Forward逐步回归,最终剔除“土地利用混合度”这一变量,  $CI < 15$ , 通过共线性检验。结果如表2所示,是否为工作日高峰、公交线路数量、到最近地铁站的距离、道路用地面积、城市主

表1 变量描述统计  
Table 1 Variable description statistics

变量分类	变量	平均值	标准偏差	最小值	最大值
因变量	平均每小时用车量	5.43	8.12	0.00	159.42
时间变量	是否为工作日高峰	0.20	0.40	0.00	1.00
区位条件变量	平均基准地价	2757.83	629.18	1386.92	4299.33
	到市中心的距离/km	5.63	3.48	0.18	16.52
周边交通环境变量	公交线路数量	45.02	29.84	0.00	143.00
	到最近地铁站的距离/km	0.80	0.65	0.02	4.50
骑行基础设施变量	绿道长度/km	0.87	0.66	0.00	2.74
	城市主干道/km	2.40	1.46	0.00	6.16
	支路/km	4.10	2.51	0.00	11.47
	道路用地/万m <sup>2</sup>	17.08	10.71	0.01	62.07
建成环境变量	土地利用混合度	0.70	0.08	0.44	0.89
	休憩用地面积/万m <sup>2</sup>	1.45	4.05	0.00	33.09
	科教用地面积/万m <sup>2</sup>	5.69	7.44	0.00	45.77
	工业建筑面积/万m <sup>2</sup>	10.80	13.07	0.00	64.59
	办公建筑面积/万m <sup>2</sup>	13.10	21.40	0.00	112.16
	中高档住房建筑面积/万m <sup>2</sup>	80.47	73.87	0.00	416.36
	低档住房建筑面积/万m <sup>2</sup>	8.17	13.93	0.00	67.27
	中高档商服建筑面积/万m <sup>2</sup>	9.17	17.47	0.00	130.26
	低档商服建筑面积/万m <sup>2</sup>	0.04	0.17	0.00	1.63

表 2 模型结果(仅显示通过检验的变量)  
Table 2 Model results (only shows variables that pass the test)

变量	多元线性回归		空间滞后模型	
	相关系数	T 检验	相关系数	Z 检验
常量	-2.57	-0.60	-1.21	-2.98
因变量滞后项	—	—	0.53**	28.25
是否为工作日高峰	9.52**	33.55	10.03**	39.07
公交线路数量	0.02**	3.80	0.01**	2.00
到最近地铁站的距离	-0.87**	-4.55	-0.41**	-2.35
道路用地面积	0.08**	3.54	0.04**	1.94
城市主干道长度	0.26**	3.13	0.10	1.32
支路长度	0.16**	3.32	0.08*	1.82
绿道长度	-0.64**	-3.35	-0.31*	-1.80
工业建筑面积	0.06**	6.12	0.03**	3.20
科教用地面积	0.03**	2.10	0.02	1.09
低档商服建筑面积	3.24**	4.18	1.58**	2.27
低档住房建筑面积	0.07**	7.65	0.03**	3.89

注: \*\*  $P < 0.05$ , \*  $P < 0.1$ 。

干道长度、支路长度、绿道长度、工业建筑面积、科教用地面积、低档商服建筑面积和低档住房建筑面积等11个变量对公共自行车使用频次有显著影响。除到最近地铁站的距离、绿道长度与公共自行车使用量负相关外,其他变量的增加均带来公共自行车使用量的增加。

考虑到站点间可能存在空间自相关性<sup>[2]</sup>,用GeoDa软件对多元回归模型残差进行空间自相关诊断。首先选择距离矩阵作为空间自相关分析的空间权重矩阵 $W$ ,对多元线性回归保留的变量进行普通最小二乘法回归(OLS),用于检验模型预测残差中的空间依赖性和空间自相关性。输出结果中,模型残差的Moran's  $I$ 为0.2621,并通过检验,说明不同站点的用车量之间存在显著的空间自相关和空间溢出效应。此外,分析模型输出的拉格朗日乘数(LM)的参数检验表,发现空间滞后模型更适合解释本研究的空间自相关现象。因此,本文进一步采用空间滞后回归模型来诊断相邻空间单元的空间自相关效应(溢出效应),计算公式如下:

$$Y = X\beta + \rho WY + \varepsilon。$$

模型包含两个主要部分:一组独立的自变量和因变量的空间滞后。其中,因变量 $Y$ 是每个站点平均每小时用车量, $X$ 是回归模型的解释变量; $\beta$ 是模型自变量的回归系数; $W$ 是行标准化后的距离权重矩

阵; $\rho$ 是回归参数,用于表示因变量的空间溢出效应和空间自相关对因变量变化的影响。 $\varepsilon$ 是回归模型误差项。空间滞后模型是利用极大似然法进行参数估计,该模型的 $R^2$ 为0.423,比多元线性回归的 $R^2$ 超出0.13(表2),说明站点之间的空间自相关确实影响周边站点公共自行车的使用。

## 2.3 模型结果

模型结果显示,工作日高峰、周边公交线路数量、周边道路用地面积、支路长度、周边工业建筑面积、低档商服建筑面积和低档住房建筑面积对公共自行车使用频次具有显著正向影响,到最近地铁站距离和绿道长度对公共自行车使用频次具有显著负向影响,且相邻站点公共自行车使用量间存在空间相关性。

工作日通勤高峰时段的公共自行车出行需求相对较高,附近公共交通覆盖率高的站点公共自行车流量也较高,且地铁对其影响更大,越靠近地铁站,公共自行车使用量越高,说明公共自行车在一定程度上满足通勤时间固定的上班族“最后一公里”接驳出行的需求。周边道路用地面积和支路长度的增加都使得公共自行车使用量增加,说明路网密度较高、支路较多的城市街区更受公共自行车用户的青睐,这与Faghih-Imani等<sup>[14]</sup>提出的“小路对公共自行车骑行更有吸引力”的研究结果相符。究其原因,

可能是骑行者更倾向于在相对安全又便捷的环境下骑自行车<sup>[15]</sup>,城市支路的路网密度更高,车流较少,骑行障碍较少,安全性更高<sup>[16]</sup>,且更方便到达住宅、街道两边的商店等骑行目的地<sup>[2]</sup>。由于本文的研究区域是深圳市的一个区,且公共自行车系统站点均匀布局,站点间的距离较近,周边的建成环境相似性较高,用车量在空间上呈现高度的空间自相关性。

与前人研究结果不同的是,本研究发现站点周边的绿道长度与公共自行车使用量具负相关性,主要原因是深圳市绿道网络分为三级:1)铺设在城市主干道一侧、连接不同城市的区域绿道;2)铺设在城市支路一侧、连接城市内重要功能组团的城市绿道;3)分布在公园、街头绿地周边的社区绿道。其中,区域绿道和城市绿道对公共自行车使用的影响可分别由主干道和支路反映,分别为不显著和正向,本研究中绿道对公共自行车使用量整体上负向的影响主要源于社区绿道层面,这一结论恰好反映出有桩公共自行车的特性。公共自行车的借还车有固定位置的要求,会员申请程序较繁琐,加上包月收费等计费规则并不适于偶尔休闲出行用车,因此在休闲娱乐方面的竞争力明显较小。

本文试图发现反映不同人群集聚的土地利用类型对各站点公共自行车使用量的影响差异。研究结果显示,公共自行车的使用群体更集中于低收入人群。反映相对中高收入人群集聚的3个空间变量(办公建筑面积、中高档住房建筑面积和中高档商服建筑面积)在模型中不显著,可能是由于这一人群的就业-居住空间的联系主要依靠私家车和出租车<sup>[17]</sup>,或周边有高质量、便捷的公共交通,并且,中高收入人群的通勤着装也可能不便于骑自行车,所以他们使用公共自行车出行的比例很低<sup>[18]</sup>。但是,对于普遍居住在城中村的低收入人群,其居住、就业和消费的生活圈往往集中在周围3 km内的高密度低档空间<sup>[19]</sup>,同时城中村等土地利用高度混合、街巷狭窄的空间刚好适于自行车骑行,因此位置固定、收费低廉的公共自行车特别适合该类人群的通勤需求。

### 3 结论与讨论

本文以深圳市南山区为例,以站点周边500 m缓冲区为研究区域,通过建立空间回归模型,发现区位条件变量、周边交通环境变量和骑行基础设施

变量对公共自行车的使用量都有显著性影响,相邻站点的自行车使用量间具有高度空间自相关性。本文重点讨论了反映不同人群集聚的土地利用类型对公共自行车使用量的影响,发现土地利用密度更高的土地利用空间结构会带来更多的公共自行车出行需求。公共自行车在低收入人群聚集的地方(城中村及其附近的低档商服、工业园区)会产生更高的使用量。公共自行车为出行时间固定、没有私人交通工具、依赖公共交通的低收入群体提供了更加便捷低廉的短途出行方式,提高了接驳公共交通“最后一公里”的效率。因此,在公共自行车站点规划调整时,应更加关注低收入人群的出行需求,结合低收入人群的人口分布特点,增加城中村和附近工业园区的自行车站点密度,提高公共自行车系统对低收入人群的服务效率,实现社会公平化。

同时,城市绿道对公共自行车使用频次具有负向影响的结论表明,政府运营的有桩自行车可能更适宜于通勤等对时间和借还车位置有固定需求的情况,其定价体系也可针对目标人群及其需求进行调整优化。未来在探讨公共自行车与共享单车的市场定位时,可据此开展更进一步研究深化。

### 参考文献

- [1] 钱佳,汪德根,牛玉. 城市居民使用市内公共自行车的满意度影响因素分析——以苏州市为例. 地理研究, 2014, 33(2): 358-371
- [2] Zhang Y, 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. *Journal of Transport Geography*, 2017, 58: 59-70
- [3] Ji Y J, Fan Y L, Ermagun A, et al. Public bicycle as a feeder mode to rail transit in China: the role of gender, age, income, trip purpose, and bicycle theft experience. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2017, 4(11): 308-317
- [4] Liu Z L, Jia X D, Cheng W. Solving the last mile problem: ensure the success of public bicycle system in Beijing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 43: 73-78
- [5] Koala. 成长的烦恼,中国城市公共自行车数量全球第一的背后(上). *中国自行车*, 2015(12): 78-81
- [6] 毛蒋兴,闫小培. 城市土地利用模式与城市交通模式关系研究. *规划师*, 2002, 18(7): 69-72
- [7] Frade I, Ribeiro A. Bicycle sharing systems demand.

- Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 111: 518–527
- [8] Bachand-Marleau J, Lee B H Y, El-Geneidy A M. Better understanding of factors influencing likelihood of using shared bicycle systems and frequency of use. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2012: 66–71
- [9] Zhao P J, Li S X. Bicycle-metro integration in a growing city: the determinants of cycling as a transfer mode in metro station areas in Beijing. *Transportation Research Part A*, 2017, 99: 46–60
- [10] García-Palomares J C, Gutiérrez J, Latorre M. Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach. *Applied Geography*, 2012, 35(1/2): 235–246
- [11] Vogel P, Mattfeld D C. Strategic and operational planning of bike-sharing systems by data mining — a case study. *International Conference on Computational Logistic*, 2011, 6971: 127–141
- [12] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 265–294
- [13] Rixey R A. Station-level forecasting of bike sharing ridership: station network effects in three US systems [C/OL] // TRB 2013 Annual Meeting. (2012–11–05) [2017–10–01]. <https://doi.org/10.3141/2387-06>
- [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. *Journal of Transport Geography*, 2014, 41: 306–314
- [15] 韩西丽. 多目标城市自行车道网络规划设计探索——以台州市椒江区为例. *北京大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(4): 604–610
- [16] Mahmoud M, El-Assi W, Habib K N. Effects of built environment and weather on bike sharing demand: Station level analysis of commercial bike sharing in Toronto [C/OL] // Meeting of Trans Res Board. (2015–12–09) [2017–10–01]. <https://www.researchgate.net/publication/286379583>
- [17] 孙斌栋, 但波. 上海城市建成环境对居民通勤方式选择的影响. *地理学报*, 2015, 70(10): 1664–1674
- [18] Fishman E, Washington S, Haworth N. Bike share: a synthesis of the literature. *Transport Reviews*, 2013, 33(2): 148–165
- [19] 刘冰, 曹娟娟, 周于杰, 等. 城市公共自行车使用活动的时空间特征研究——以杭州为例. *城市规划学刊*, 2016(3): 77–84