

# 城市轨道交通站点互联网租赁自行车骑行 接驳比例影响研究<sup>\*</sup>

蒋 源<sup>1</sup> 陈小鸿<sup>2</sup> 胡松华<sup>3</sup> 乔俊杰<sup>1</sup>

(1. 成都市规划设计研究院, 610041, 成都; 2. 同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海;

3. 马里兰大学帕克分校土木环境工程系, 20742, 马里兰州, 美国//第一作者, 工程师)

**摘 要** 基于上海市互联网租赁自行车接驳城市轨道交通的历史骑行数据, 采用广义加性混合模型检验了骑行接驳时期、城市轨道交通站点特征、城市轨道交通站点周边建成环境及交通设施对城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例的影响。研究结果表明, 提高站点周边住宅用地比例、教育科研用地比例、次干道及支路密度, 有助于提高城市轨道交通站点互联网租赁自行车骑行接驳比例; 站点类型、区位及站点周边容积率与互联网租赁自行车骑行接驳比例呈非线性关系。

**关键词** 城市轨道交通; 骑行接驳; 互联网租赁自行车

**中图分类号** U491.1<sup>+</sup>22; U484

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2021.12.010

## Research of Influences on Proportion of Internet-rented Bike Transit Integration with Urban Rail Transit Stations

JIANG Yuan, CHEN Xiaohong, HU Songhua, QIAO Junjie

**Abstract** Based on the historical cycling data of internet-rented bikes integrated with urban rail transit in Shanghai, by adopting generalized additive mixed model, the influence of aspects including bike-transit integration period, urban rail transit station features, built environment of urban rail transit station surrounding and transport facilities on proportion of internet-rented bike transit integration with urban rail transit stations are tested. Results show that increasing percentage of residential land, educational land, density of secondary road and branch-way around the station contributes to increasing the proportion of internet-rented bike transit integration. Type, location, surrounding plot ratio of the station has non-linear relationship with the proportion of internet-rented bike transit integration.

**Key words** urban rail transit; bike-transit integrations; internet-rented bike

**First-author's address** Chengdu Institute of Planning & Design, 610041, Chengdu, China

在与城市轨道交通的接驳中, 互联网租赁自行车摆脱了固定租赁点的限制, 提高了用户使用的便利性, 其使用规模可观。文献[1]显示, 互联网租赁自行车的出现使得在城市轨道交通站点(以下简称为“城轨站点”)进、出站客流中的自行车接驳所占比例从之前的1%分别上升到9.2%和5.8%。

长期以来, 国内外学者多以非互联网租赁的有桩公共自行车作为研究对象, 在研究公共自行车骑行特征的基础上, 选择回归模型来研究不同类型的影响因素对公共自行车使用特征的影响。影响因素尽管复杂多样, 但主要可归纳为4类: 建成环境要素(Built environment)、人口经济要素(Socio-demographic)、交通设施要素(Road facilities)及时间变量要素(Time-varying)。在建成环境要素方面, 区域内居住用地占比越高, 用地混合度越高, 则该区域内的公共自行车使用量越高<sup>[2]</sup>。由于城市中心区域拥有较高强度的用地开发, 城市中心公共自行车使用量也较高<sup>[3]</sup>。在人口经济要素方面, 区域中人口密度、就业情况及青年人口比例对公共自行车的使用具有显著性的影响<sup>[4]</sup>。人口密度越大、且青年人口比例越高的区域, 公共自行车使用比例就越高<sup>[5]</sup>。在交通设施要素方面, 在公共自行车租赁站点附近的公交车线路和公交车站点对车辆使用量具有正向效应<sup>[6]</sup>。租赁站点周边有自行车专用道会提高租赁站点车辆的使用量等<sup>[7]</sup>。在时间变量要素方面, 出行时段(高峰时段及非高峰时段)及出行日期(工作日及非工作日)等多被用于检验对公共自行车使用量的影响情况<sup>[8-9]</sup>。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(71734004); 上海市自然基金项目(16ZR1447000)

互联网租赁自行车的影响要素与公共自行车基本一致,然而其摆脱了固定租赁站点的限制,故用户使用其进行接驳的起讫点自由度更高。本文通过真实的骑行数据,检验多种影响要素对城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例的影响。

# 1 研究设计

## 1.1 研究区域

研究区域为上海市域范围,研究单元为城轨站点及周边区域(见图1)。根据上海人口密度分布及交通统计口径,以内环线、中环线及外环线为界,将研究区域划分为城市核心区、中心区、市区及郊区等4个区域,各区的城轨站点分别有141座、76座、69座及42座。据《2018年上海市综合交通运行年报》,上海轨道交通全网全年日均客运量为1 016万乘次。

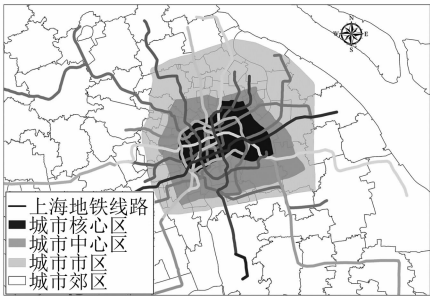


图1 上海轨道交通研究区域划分

Fig. 1 Division of Shanghai rail transit research area

## 1.2 数据源

研究数据共涉及到4部分数据源:第1部分数据源是上海全市域2019年10月20日至2019年10月26日活跃互联网租赁自行车的脱敏骑行数据,共计1 214.23万条订单数据,包括订单编号、单车编号、起终点经纬度、起始及结束时间;第2部分数据源是上海轨道交通16条线路及415座站点的信息,包括站点位置、进出人数及站点属性;第3部分数据源是建成环境数据,包括住宅用地及商业用地等多类用地的面积及容积率等数据;第4部分数据源是交通设施数据,包括主干道及次干道等不同等级道路的长度,以及常规公交站点等数据。

## 1.3 数据处理

采用的城市轨道交通、建成环境及交通设施等数据均来自专业部门公开的统计数据,不需处理,故仅需对骑行数据进行脱敏处理。脱敏处理内容为:①删除订单编号重复的;②删除骑行时间小于0或大于1 h的;③删除起终点经纬度不在上海辖区

范围内的;④删除字段信息不完整的。经脱敏处理发现错误数据仅占1.31%,说明数据质量较好。

在筛选互联网租赁自行车接驳城市轨道交通的骑行记录时,基于ArcGIS软件以城轨站点出入口为中心,通过构建不同半径缓冲区来选取骑行接驳数据<sup>[10]</sup>。当缓冲区半径为5~15 m时,所选数据量的增长率呈缓慢上升趋势;在缓冲区半径为25 m处,所选数据量的增长率出现极值,高达55.20%(如图2所示)。由于城轨站点通常沿路布设,半径为25 m的缓冲区会越出道路边线覆盖到城轨站点附近建筑物内的互联网租赁自行车。此外,在对向布置一对出入口处,缓冲区可能产生交集,导致数据被统计2次。

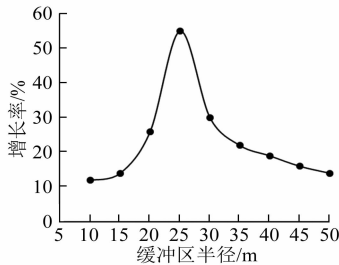


图2 数据增长率与缓冲区半径之间的关系

Fig. 2 Relationship between data growth rate and buffer area radius

为此,以城轨站点出入口为中心,构建半径为20 m的缓冲区,来选取接驳城市轨道交通的互联网租赁自行车骑行数据。为确保该范围具有合理的解释,本文选取10个位于城市不同区位的站点进行实地观测,统计1 h内出入口20 m范围内互联网租赁自行车取还总量 $x_1$ 及从出入口进出乘客接驳互联网租赁自行车的数量 $x_2$ (见表1)。结果显示,互联网租赁自行车的接驳比例均为70%以上。此外,如图3 a),以均衡圆形作为缓冲区,可能会“圈”住

表1 不同站点周边的互联网租赁自行车情况统计

Tab. 1 Statistics of internet-rented bikes around different station

站点	区位	$x_1$ /辆	$x_2$ /辆	接驳比例/%
曲阜路站	核心区	155	133	86
海伦路站	核心区	164	143	87
曹杨路站	核心区	107	98	92
延长路站	中心区	439	382	87
真如站	中心区	82	75	91
枫桥路站	中心区	135	116	86
共康路站	市区	67	86	78
场中路站	市区	112	155	72
马陆站	郊区	19	18	94
南翔站	郊区	17	15	88

注:接驳比例= $(x_1/x_2) \times 100\%$ 。

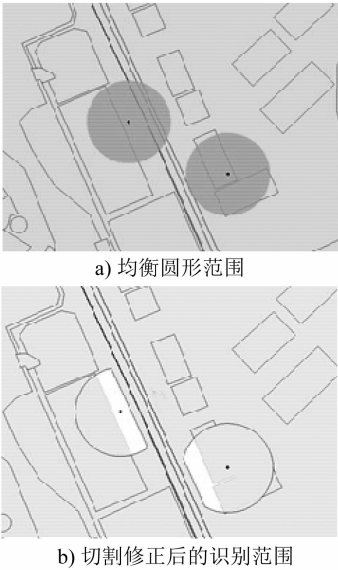


图 3 城轨站点互联网租赁自行车的识别范围示意图

Fig. 3 Diagram of indentification range of internet-rented bikes at urban rail stations

城轨站点周边建筑物内和道路上的自行车,故本文根据建筑轮廓边界和道路红线对均衡圆形范围进行切割修正(见图 3 b)),以作为城轨站点接驳互联网租赁自行车的识别范围(以下简为“识别范围”)。

如骑行数据的起点或讫点落在识别范围内,则认为其对应的互联网租赁自行车为接驳车辆。对识别范围内的车辆进行统计,可得各站点的接驳车辆数据,进而可得接驳比例为 22.14%。

1.4 研究方法

以站点车辆的接驳比例作为因变量,选择骑行接驳时间、城轨站点特征、站点周边建成环境及站点周边交通设施等 4 类影响要素类型、共计 13 项影响要素作为自变量(如表 2 所示),使用适当的统计模型来分析自变量与因变量间的相关关系。参照文献[11-12],本文以城轨站点为中心,通过各站点 85 百分位数接驳骑行距离来选取站点周边建成环境自变量及交通设施自变量的数据。

表 2 自变量指标解释

Tab. 2 Independent variable index interpretation

影响要素类型	影响要素	解释内容
骑行接驳时间	骑行接驳日期	判断变量,接驳出行发生在工作日时取 1,否则取 0
	骑行接驳时段	判断变量,接驳出行发生在高峰时间时取 1,否则取 0
城轨站点特征	站点类型	离散类别变量,一般站、换乘站、首末站及换乘-首末站分别取 1、2、3、4
	站点区位	离散类别变量,城轨站点位于核心区、中心区、市区及郊区分别取 1、2、3、4
城轨站点周边建成环境	住宅用地比例/%	连续变量,住宅用地面积占比
	商业建筑用地比例/%	连续变量,商业建筑用地面积占比
	教育科研用地比例/%	连续变量,教育科研用地面积占比
	公园绿地用地比例/%	连续变量,公园绿地用地面积占比
	容积率	连续变量,建筑物的平均容积率
城轨站点周边交通设施	主干路比例/%	连续变量,主干路长度占比
	次干路比例/%	连续变量,次干路长度占比
	支路比例/%	连续变量,支路长度占比
	公交站数量/个	连续变量,常规公交站点的个数

站点骑行接驳比例是以站点进、出站总人数作为分母,接驳车辆取、还总数作为分子进行衡量。骑行接驳时间用于体现日期(工作日与非工作日)及时段(07:00—09:00 及 17:00—19:00 为高峰时段,其余时段为非高峰时段)的差异,且两者均是 0-1 判断变量。站点特征用以体现类型(一般站、换乘站、首末站、换乘-首末站)及区位(中心区、核心区、市区、郊区)的差异。站点周边建成环境用以体现用地类型(住宅、商业建筑、教育科研、公园绿地)及开发强度(容积率)的差异。站点周边交通设施用以体现道路等级(主干道、次干道、支路)及公交设施(以站点周边常规公交数量衡量)的差异。

2 模型的选择与构建

根据自变量的类型,回归统计模型应满足如下要求:①能够限制变量随机效益;②能够解释自变量与因变量的非线性关系;③能够揭示空间地理数据影响情况。综上,选取 GAMM(广义加性混合模型)。GAMM 包含随机效益项、系统成分及连接函数等 3 部分,有:

$$f(y_i | f, b, \theta_i, \phi) = \exp\left\{\frac{y_i - b\theta_i}{\alpha(\phi)} + c(y_i, \phi)\right\}$$

式中:

$f$ ——GAMM 函数;

$y_i$ ——第  $i$  个观测值,为因变量;  
 $\theta_i$ ——与  $y_i$  对应的自然参数,与  $y_i$  均值有关;  
 $\phi$ ——与方差有关的离散参数,所有观测值的离散参数均为  $\phi$ ;

$\alpha(\phi)$ ——随机效益项;  
 $b(\theta_i)$ ——系统成分;  
 $c(y_i, \phi)$ ——连接函数。

$\alpha(\phi)$ 、 $b(\theta_i)$  及  $c(y_i, \phi)$  均为已知函数,且对所有  $y_i$  有相同表达形式。 $\alpha(\phi)$  是正连续函数,表达形式为  $\phi \cdot \bar{\omega}^{-1}$ ,其中  $\bar{\omega}$  为已知先验权重值,表示观测值对应权重或信度因子; $b(\theta_i)$  存在正一阶导数和二阶导数; $\theta_i$  是自然参数。

SPSS 软件 K-S 泊松分布检验结果(见图 4 及表 3)显示,因变量(骑行接驳比例)概率分布渐近显著(双尾值)为 0.712(显著性水平>0.05),近似于标准泊松分布。因此,构建 Poisson-GAMM 模型来限制变量随机效益。

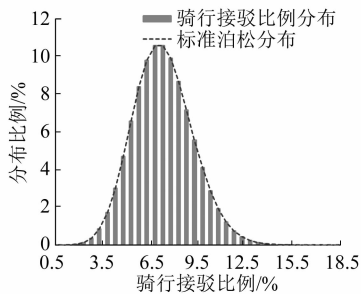


图 4 城轨站点骑行接驳比例 K-S 泊松分布  
Fig. 4 K-S Poisson distribution of cycling integration at urban rail station

表 3 城轨站点骑行接驳比例 K-S 泊松分布检验  
Tab. 3 K-S Poisson distribution test of cycling intergration at urban rail station

参数	检验结果
个案数	40
泊松参数	2.525 0(平均值)
	0.470(绝对值最值)
最极端差值	0.470(正值)
	-0.185(负值)
K-S Z	0.672
渐近显著性(双尾)	0.712

此外,为探究以骑行接驳时期为代表的时变自变量及以城轨站点区位为代表的空间自变量对因变量造成的差异,本研究使用与城市轨道交通运营同时段 05:00—23:00 的骑行接驳数据构建面板数据,并使用每个城轨站点到城市中心的距离作为

“城轨站点区位”自变量的协变量,用于 Poisson-GAMM 模型的标定。在 Poisson-GAMM 模型中,因变量  $y_i$  服从泊松分布,具体表达式为:

$$B_i \sim \text{Poisson}(\lambda)$$

$$\text{Log}(B_i) = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_{ik} X_{ik} + \sum_{m=1}^M f_{im}(X_{im}) + f_{i1}(S_i) + c$$

式中:

- $B_i$ ——不同时段第  $i$  个站点骑行接驳比例;
- $\beta_0$ ——模型截距;
- $\beta_{ik}$ ——随机效应;
- $K$ ——站点数量;
- $X_{ik}$ ——自变量;
- $f_i(\cdot)$ ——中心二次可微光滑函数;
- $M$ ——时变因素个数;
- $S_i$ ——第  $i$  个城轨站点地理位置信息,即城轨站点到城市中心的距离;
- $c$ ——城轨站点随机效应矩阵。

### 3 回归分析结果

将 415 座站点的骑行接驳比例及其对应 13 个自变量组成的面板数据在 R 语言中进行回归分析。回归分析结果显示:确定性系数  $R^2 = 0.853$ ,解释残差  $D = 87.6\%$ ,表明 Possion-GAMM 模型数据拟合情况良好,拟合结果可信。

在骑行接驳时期要素中,骑行接驳比例同骑行接驳日期及骑行接驳时段呈正相关。骑行接驳日期及骑行接驳时段都是 0-1 离散判断变量。其中:骑行接驳日期取 0 时代表非工作日,取 1 时代表工作日;骑行接驳时段取 0 时代表非高峰时段,取 1 时代表高峰时段。由表 4 可知:对于城轨站点的互联网租赁自行车骑行接驳比例,工作日高于非工作日,高峰时段高于非高峰时段。

在城轨站点性质要素中,骑行接驳比例同离散型类别变量的城轨站点类型及城轨站点区位呈非线性相关性(如图 5 所示)。经分析:换乘站点自身对客流有较强的吸引力,故对骑行接驳比例有较强的正向效应;由于首末站接驳距离普遍偏大,不宜采用骑行自行车的方式接驳,因此首末站对骑行接驳比例有较强的负向效应;与核心区相比较,中心区的站点密度及线网密度较低,接驳距离更远,采用步行方式无法满足全部接驳需求,故中心区成为最适宜骑行接驳的城市区域;位于市郊的站点接驳距离过大,骑行方式难以满足大部分接驳需求。

表 4 Poisson-GAMM 模型回归结果

Tab. 4 Regression results of Poisson-GAMM model				
要素性质	指标	估计系数	t 值	P 值
骑行接驳时间	工作日	0.451 ***	17.985	0
	高峰时段	0.381 ***	19.320	0
城轨站点性质	一般站	0.075 **	2.159	0.003
	换乘站	0.889 ***	26.985	0
	首末站	-0.815 ***	-13.650	0
	核心区	0.021 **	1.669	0.004
	中心区	1.125 ***	18.352	0
城轨站点周边建成环境	市区	0.385 *	0.128	0.012
	住宅用地比例	0.985 **	6.558	0.001
	商业用地比例	-0.773 ***	-10.550	0
	科教用地比例	0.756 **	1.599	0.005
	公园绿地比例	-0.441 **	-3.629	0.002
城轨站点周边交通设施	容积率	1.295 **	1.981	0.004
	主干道比例	-0.611 *	-0.448	0.011
	次干道比例	0.921 **	2.818	0.003
	支路比例	1.471 *	0.212	0.011
	公交站点数量	-0.186 **	-0.788	0.009

注：\*\*\* 表示 P 值显著性水平  $\alpha=0.001$ ；\*\* 表示  $\alpha=0.01$ ；\* 表示  $\alpha=0.05$ ；城轨站点类型为非线性相关关系变量；回归分析的参考变量分别为非工作日、非高峰时段、换乘-首末站、郊区。

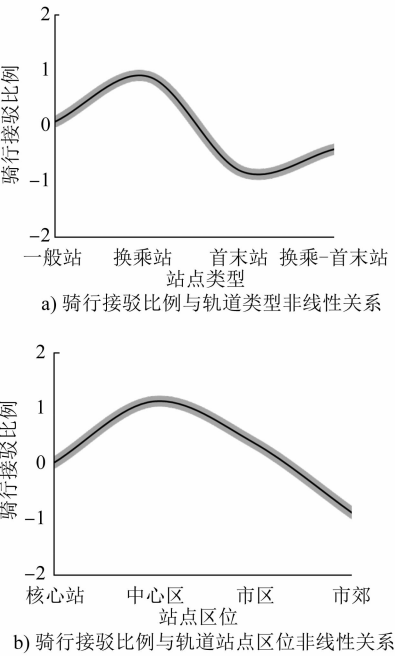


图 5 骑行接驳比例与轨道站点类型及区位的非线性关系  
Fig. 5 Nonlinear relationship between cycling integration ratio and rail type and location

在城轨站点周边建成环境类影响要素中,住宅用地比例与骑行接驳比例呈正向相关,而商业建筑用地比例及公园绿地用地比例与骑行接驳比例呈负向相关,说明人们更愿意在居住地与城轨站点之间使用互联网租赁自行车进行接驳。教育科研用

地比例也与因变量呈正向相关,这是由于学生群体在校区与城轨站点间偏爱使用互联网租赁自行车接驳方式。骑行接驳比例与作为连续变量的容积率呈非线性相关性,如图 6 所示。当容积率为 0~1.5 时,其与骑行接驳比例呈负向相关,说明如果城轨站点位于土地开发强度较低区域,则互联网租赁自行车骑行接驳比例较低;当容积率为 1.5~6.5 时,其与骑行接驳比例呈正向相关;而当容积率超过 7 时,其与骑行接驳比例又呈负向相关。这表明:互联网租赁自行车骑行接驳比例并非随着城轨站点周边土地开发强度的提升而上升,当城轨站点位于土地开发强度较高区域时,其互联网租赁自行车骑行接驳比例反而下降。

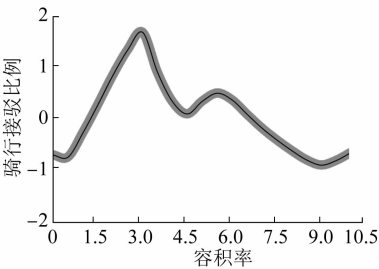


图 6 骑行接驳比例与容积率的非线性关系  
Fig. 6 Nonlinear relationship between cycling integration ratio and plot ratio

在城轨站点周边交通设施类影响要素中,主干道比例与公交站点数量同骑行接驳比例呈负向相关关系,说明城轨站点周边主干道越多、公交站点数量越多,其互联网租赁自行车骑行接驳比例越低。次干道比例与自变量呈正向相关关系,说明具有良好骑行环境的次干道比主干道更能促使人们选择互联网租赁自行车接驳骑行支路比例与自变量呈正向相关关系,支路比例越高,表明该城轨站点的慢行交通可达性越高,使用互联网租赁自行车进行骑行接驳的比例也越高。

4 结论与建议

4.1 研究结论

1) 本文基于上海市互联网租赁自行车接驳轨道交通的历史骑行数据,结合数据挖掘分析及实际调查检验,认为以城轨站点出入口为中心 20 m 为半径范围,可用于筛选与城市轨道交通接驳的骑行数据。在此基础上,采用广义加性混合模型对重要影响因素进行分析。

2) 在出入口周边以 20 m 为半径的范围内,接

驳城市轨道交通的互联网租赁自行车骑行量占全样本数据的 22.14%。证明接驳城市轨道交通是互联网租赁自行车的主要使用目的之一。

3) 本研究采用广义加性混合模型,以城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例作为自变量,骑行接驳时期、城轨站点特征、建成环境及交通设施四类影响要素作为因变量,建立城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例影响分析模型,考虑包含时空变量在内多种影响要素的影响作用。

4) Poisson-GAMM 模型的统计回归结果显示:就骑行接驳时段而言,在工作日或高峰时段城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例更高;在站点周边商业建筑用地比例、公园绿地用地比例、主干道比例等影响要素不变前提下,提高站点周边住宅用地和教研用地比例,以及次干道和支路比例,有助于提高城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例;站点周边商业建筑用地、公园绿地用地和主干道的比例以及公共站点数量的提高,会抑制城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例;城轨站点类型、区位及站点周边容积率与城轨站点互联网租赁自行车骑行接驳比例呈非线性关系。

## 4.2 优化建议

经过一段时间发展,互联租赁自行车已成为城市轨道交通接驳的重要方式。为保障骑行接驳的高效、便捷、有序,本研究认为应注重站点骑行接驳换乘设施的规划建设:在站点周边 10 m 范围内提供必要且弹性的停放设施及车辆供给,以差异化满足平峰及高峰时段“有车可取,有地可停”的基本接驳需求;通过在站点周边设置自行车专用道、打造优美景观等措施优化接驳骑行环境;设置安全、便捷的骑行过街方式,改善部分主干道因路幅过宽而过街不便情况,进一步提升骑行接驳比例。重点关注位于城市中心区、居住功能片区及高等院校周边的城轨站点,在骑行接驳换乘设施规划建设时序安排中给予优先考虑。

## 参考文献

- [1] 上海市城乡建设和交通发展研究院. 2017 年上海市综合交通运行年报[R]. 上海:上海市城乡建设和交通发展研究院,2017.

Shanghai Urban and Rural Construction and Traffic Development

Academy. Shanghai comprehensive transportation annual report in 2017[R]. Shanghai: Shanghai Urban and Rural Construction and Traffic Development Academy,2017.

- [2] KRYKEWYCZ G R, PUCHALSKY C M, ROCKS J, et al. Defining a primary market and estimating demand for major bicycle-sharing program in Philadelphia, Pennsylvania[J]. Transportation Research Record,2010,2143(1):117-124.
- [3] FAGHIH-IMANI A, HAMPSHIRE R, MARLA L, et al. An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: evidence from Barcelona and Seville[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice,2017,97:177-191.
- [4] AUDIKANA A, RAVALET E, BARANGER V, et al. Implementing bikesharing systems in small cities: evidence from the Swiss experience[J]. Transport Policy,2017,55:18-28.
- [5] MATTSON J, GODAVARTHY R. Bike share in Fargo, North Dakota: keys to success and factors affecting ridership[J]. Sustainable Cities and Society,2017(34):174-182.
- [6] 刘叶. 公共自行车与公共交通关系研究[D]. 苏州:苏州大学,2017.
- LIU Ye. Research on the relationship between public bicycle system and public transport [D]. Suzhou: Soochow University,2017.
- [7] 马腾腾. 城市轨道交通车站共享单车接驳优化研究[D]. 北京:北京建筑大学,2018.
- MA Tengting. Study on optimization of shared bicycle connection with urban rail stations[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture,2018.
- [8] SUN F, CHEN P, JIAO J. Promoting public bike-sharing: a lesson from the unsuccessful Pronto system[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018, 63: 533-547.
- [9] BUEHLER R. Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA[J]. Journal of Transport Geography,2011,19(4):644-657.
- [10] 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(增刊1):94.
- JIANG Yuan, CHEN Xiaohong, XU Xiaomin, et al. Exploring the catchment area of public bike connecting to subway[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2018(S1):94.
- [11] EL-GENEIDY A, GRIMSRUD M, WASFI R, et al. New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas[J]. Transportation,2014,41(1):193.
- [12] WANG Z J, CHEN F, XU T K. Interchange between metro and other modes: access distance and catchment area[J]. Journal of Urban Planning and Development,2016,142(4):64.

(收稿日期:2021-03-05)