

# 基于共享单车接驳的城市轨道交通 站点可达性评估方法<sup>\*</sup>

张豫徽<sup>1</sup> 曹 钰<sup>2</sup> 季彦婕<sup>3</sup>

(1. 无锡市规划设计研究院, 214071, 无锡; 2. 天津市城市规划设计研究总院有限公司, 300190, 天津;  
3. 东南大学交通学院, 211189, 南京)

**摘 要** [目的] 共享单车是一种有效的城市轨道交通(以下简称“城轨”)站点接驳方式,有必要建立基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度模型,并对其进行评估。[方法] 基于南京共享单车出行数据与城轨站点数据,对各站点的共享单车骑行时长、骑行距离及接驳量进行了统计,选取骑行距离作为城轨站点可达性评价指标。对城轨站点可达性测度所需的可达性、易达性、通达性,以及站点规模影响因子等指标进行了计算,构建了基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度模型。对南京市城轨站点进行了聚类分析,并对该站点进行了基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度与评估。[结果及结论] 在区域层面,站点可达性测度值呈现出在城市核心区普遍较高、近郊区分布范围广泛、远郊区普遍较低的规律;在站点类型层面,综合型站点的可达性测度值普遍较高,其次是办公导向型站点和居住导向型站点,职住偏移型站点和其他型站点的可达性测度值普遍较低。

**关键词** 城市轨道交通; 站点可达性; 评估方法; 共享单车接驳

中图分类号 U293.5; U491.2<sup>+</sup>25

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.016

## Research on Accessibility Evaluation Method for Urban Rail Transit Station Based on Shared Bicycle Connection

ZHANG Yuhui<sup>1</sup>, CAO Yu<sup>2</sup>, JI Yanjie<sup>3</sup>

(1. Wuxi Institute of Urban Planning and Design, 2140701, Wuxi, China; 2. Tianjin Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd., 300190, Tianjin, China; 3. School of Transportation, Southeast University, 211189, Nanjing, China)

**Abstract** [Objective] The shared bicycle is an effective connection tool for urban rail transit station. It is necessary to establish an accessibility measurement model to evaluate the accessibility of urban rail transit stations based on shared bicycle connection. [Method] Based on the data of shared bicycle transport and urban rail stations in Nanjing, the riding time,

riding distance and the transfer volume of shared bicycles at each station are statistically analyzed, and the riding distance is selected as the accessibility evaluation index. The indicators such as mobility, convenience, accessibility and the impact factors of station scale are calculated, and an urban rail station accessibility measurement model based on shared bicycle connection is established. A cluster analysis of urban rail stations in Nanjing is carried out, and the accessibility measurement and evaluation of urban rail stations based on shared bicycles connection are carried out. [Result & Conclusion] From the regional perspective, the accessibility value is generally higher in the downtown area, and is widely distributed in suburban areas, and generally low in the outer suburbs. From the perspective of the station type, the accessibility measurement value of the stations with comprehensive function is generally high, followed by office-oriented stations and residence-oriented stations. The accessibility measurement values of the stations away from office and residence and other types are generally low.

**Key words** urban rail transit; accessibility of station; evaluation method; shared bicycle connection

## 1 城轨站点可达性指标选取

本文研究的城市轨道交通(以下简称“城轨”)站点可达性指标,主要是反映其接驳辐射范围内出行者使用共享单车接驳时到达相应城轨站点或其他目的地的方便程度,考虑站点接驳缓冲区内借车和还车两种行为。接驳量反映了不同城轨站点周边土地利用所产生的吸引力。接驳量越大,该站点辐射范围内共享单车的出行需求越大,当其他因素基本稳定时,该站点的可达性测度值较高。因此,选取城轨站点接驳缓冲区内共享单车的借还接驳

<sup>\*</sup> 国家重点研发计划项目(2018YFB1600900)

量作为共享单车的活动规模因素。

骑行时长与骑行距离均为出行成本因素。基于南京共享单车出行数据与城轨站点数据,对各站点的单车骑行时长和骑行距离做描述性统计<sup>[1]</sup>。南京市城轨站点共享单车出行分布统计见表1。由表1可见,骑行距离的最大值和最小值之差与标准差均较大,相比骑行时长,出行者对骑行距离更为敏感。因此,本文选取骑行距离作为城轨站点可达性评价的空间阻隔因素。

表1 南京市城轨站点共享单车出行分布统计

Tab.1 Statistics on the distribution of shared bicycle travels at Nanjing Metro Stations

项目	接驳量/人次	骑行时长/min	骑行距离/m
最小值	9	4.45	487.90
25%分位数	203	7.94	880.00
中位数	592	8.61	989.00
均值	737	8.84	1 029.50
75%分位数	1 078	9.49	1 113.20
最大值	2 707	17.56	2 171.30
标准差	642	1.78	249.57

在城市交通可达性指标的研究中,文献[2]对影响可达性的因子进行了系统整合,提出了可达性指标由可动性指标、易达性指标和通达性指标构成。因此,对城轨站点进行可达性测度时,既需考虑出行者在站点接驳缓冲区内借车到达其他目的地的方便程度(即可动性),也需考虑出行者从其他出行起点使用共享单车骑行到城轨站点还车的方便程度(即易达性),因此,可采用通达性指标综合反映城轨站点的可达性。采用潜力模型对站点可达性进行测度较为合适,对该潜力模型加以改进,构建基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度模型。

## 2 基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度模型

潜力模型虽然考虑了两点间的出行量分布与空间阻隔,但在评价公共交通站点可达性时,易忽略不同站点之间由于接驳时空分布不同所导致的差异性,即各城轨站点具有不同的站点规模,因此,引入基于共享单车接驳的站点规模影响因子对潜力模型加以改进。对于城轨站点不同出入口,其可达性指标也存在较大差异。基于各出入口的可达

性测算对相应站点的可达性进行测度,有利于根据测度结果识别可达性薄弱的主要出入口。

### 2.1 通达性指标计算

通达性指标由可动性指标与易达性指标集合而成,需首先确定城轨站点的可动性指标和易达性指标。可动性指标是出行者从城轨站点借车到达其他目的地过程中的方便程度,根据潜力模型的形式利用借车接驳量与借车骑行距离表示,见式(1);易达性指标是出行者从其他出行起点使用共享单车骑行到城轨站点还车过程的方便程度,采用还车接驳量与还车骑行距离表示,见式(2)。各站点出入口的借车接驳量、还车接驳量及骑行距离,根据3个工作日内各出入口接驳缓冲区内共享单车的使用量与骑行距离取平均值处理得到。

$$A_{m,i} = \sum_j \frac{M_j}{d_{m,j}} \quad (1)$$

式中:

$i$ ——轨交站点;

$j$ ——第 $j$ 个出入口;

$M_j$ ——日平均借车接驳量;

$d_{m,j}$ ——日平均借车骑行距离;

$A_{m,i}$ ——站点可动性指标测算值。

$$C_{s,i} = \sum_j \frac{S_j}{d_{s,j}} \quad (2)$$

式中:

$S_j$ ——日平均还车接驳量;

$d_{s,j}$ ——日平均还车骑行距离;

$C_{s,i}$ ——站点易达性指标测算值。

利用可动性指标与易达性指标,计算得到站点 $i$ 的通达性指标测算值 $D_{m,s,i}$ :

$$D_{m,s,i} = \sum_j \frac{M_j S_j}{d_{m,j} d_{s,j}} \quad (3)$$

式(3)中的分母采用平均借车骑行距离与平均还车骑行距离的形式,与潜力模型中距离阻隔影响系数的指数(一般取平方)保持一致<sup>[3]</sup>。式(3)可表示为城轨站点的通达性指标同借车接驳量和还车接驳量成正比,与借车骑行距离与还车骑行距离成反比。

### 2.2 基于共享单车接驳的站点规模影响因子确定

通过NDVB(标准化车辆借还变化率)对共享单车接驳借还的均衡性进行量化。NDVB是站点每15 min内借、还接驳变化量与1 d内借、还接驳变化量最大值的比值,反映了站点接驳缓冲区内共享

单车每 15 min 的存量规模。其值接近于 1 时,表明共享单车集聚接近高峰;接近于 -1 时,表明共享单车消散接近高峰;接近于 0 时,表明借、还接驳量较为均衡。

$$B_{NDV,i,t} = \frac{\lambda_{i,t} - \mu_{i,t}}{|\max(\lambda_{i,t} - \mu_{i,t})|}, t \in T \quad (4)$$

式中:

$t$ ——时间间隔;

$T$ ——1 d 中的 96 个时间间隔;

$\lambda_{i,t}, \mu_{i,t}$ ——站点  $i$  在第  $t$  个时间间隔内共享单车的平均还车车辆数和平均借车车辆数;

$B_{NDV,i,t}$ ——站点  $i$  在第  $t$  个时间间隔内的标准化车辆借还变化率。

同样,从出入口的层面,对站点各个出入口的 NDVB 进行求解,并对 1 d 的时间间隔内的 NDVB 进行求和并取绝对值得到车辆日平均借、还变化率。基于共享单车接驳的站点规模影响因子  $V_j$  (量纲一指标),可以表示  $T$  内各出入口接驳缓冲区内共享单车接驳借、还数的均衡性。

$$V_j = \left| \sum_t \frac{\lambda_{j,t} - \mu_{j,t}}{|\max(\lambda_{j,t} - \mu_{j,t})|} \right| \quad (5)$$

式中:

$\lambda_{j,t}, \mu_{j,t}$ —— $t$  内出入口  $j$  接驳缓冲区内共享单车的平均还车车辆数和平均借车车辆数。

由式(5)可知,  $V_j$  为非负数。由于 1 d 被分为 96 个时间间隔,因此  $V_j$  的最大值取 96。当其他因素一定时,  $V_j$  越接近于 0,表明 1 d 内共享单车接驳借还数整体上较为均衡,该站点出入口的可动性与易达性均较强,且其可达性较高;  $V_j$  绝对值较大时,其可达性相对较低,  $V_j$  与可达性呈负相关。

### 2.3 站点可达性测度模型

利用  $D_{m,s,i}$  与  $V_j$ ,对站点  $i$  任意出入口  $j$  的可达性进行测度。

$$E_{i,j} = \frac{M_j S_j}{d_{m,j} d_{s,j} V_j}, V_j = \left| \sum_t \frac{\lambda_{j,t} - \mu_{j,t}}{|\max(\lambda_{j,t} - \mu_{j,t})|} \right| \quad (6)$$

式中:

$E_{i,j}$ ——站点  $i$  出入口  $j$  的可达性测度值。

对站点  $i$  对应出入口的可达性测度值进行求和处理,构建基于共享单车接驳的城轨站点可达性测度模型。

$$E_i = \sum_j \frac{M_j S_j}{d_{m,j} d_{s,j} V_j} \quad (7)$$

式中:

$E_i$ ——站点  $i$  的可达性测度值。

## 3 案例分析

### 3.1 南京市城轨站点聚类分析

将南京市分成 3 个区域,其中:内环线以内的区域为核心区,内环线与绕城环路之间的区域为近郊区,绕城环路以外的区域为远郊区。核心区内土地利用类型较为丰富,商业办公等设施密度较高;近郊区其次;远郊区内土地利用类型功能较为单一,住宅型空间要素分布较为集中。截至 2017 年 9 月,南京市核心区包含 19 个城轨站点,近郊区包含 66 个城轨站点,远郊区包含 43 个城轨站点。

基于城轨站点接驳缓冲区内共享单车的出行特性,对南京市轨道交通站点采用  $K$  均值聚类算法( $K$  为类的数量)进行聚类。从 128 个城轨站点中最终识别出 116 个站点,涵盖 368 个站点出入口。12 个接驳量较小的站点被剔除。对各类城轨站点的空间分布及其辐射范围内的空间要素统计进行分析,最终确定了 5 种不同类型的轨道交通站点:就业导向型站点、居住导向型站点、职住偏移型站点、综合型站点和其他型站点<sup>[1]</sup>。5 种城轨站点的数量分别为 20、32、29、17 和 18 个。

### 3.2 站点层面的站点可达性测度分析

对南京市各城轨交通站点出入口的日平均借车接驳量、日平均还车接驳量、日平均借车骑行距离、日平均还车骑行距离站点及规模影响因子等指标进行统计,利用式(6)和式(7)计算各出入口和各站点的可达性测度值。以办公导向型站点——元通站为例,对其进行可达性测度分析。表 2 为元通站各出入口可达性测度值统计。元通站目前开通了 1 号、2 号、4 号、5 号、6 号等 5 个出入口。由表 2 可知:元通站 5 个出入口的可达性测度值分别为 148.566 60、2 179.638 00、56.725 75、149.196 50、581.668 90,元通站可达性测度值为 3 115.796。根据元通站各出入口可达性测度值的占比可知,2 号出入口是衡量元通站站点整体可达性的主要出入口,其占比最高,接近 70%;其次是 6 号出入口,占比约 18.67%;1 号、4 号和 5 号出入口占比均不足 5%,是可达性测度值较低的薄弱出入口。

对识别出的 116 个城轨站点的可达性测度值进行计算。可达性测度值最大的站点是 3 号线浮桥站,位于城市核心区,属于综合型站点,其可达性测度值为 12 637.622;可达性测度值最小的站点是 S8

表 2 元通站各出入口可达性测度值统计

Tab.2 Accessibility measurement values of the entries and exits at Yuantong Station

出入口	$M_j$	$S_j$	$d_{m,j}$	$d_{s,j}$	$V_j$	$E_{i,j}$	$E_{i,j}$ 占比/%
1 号	150	129	1.197 044	0.988 329	1.100 901	148.566 60	4.77
2 号	250	217	0.968 271	0.803 920	0.319 746	2 179.638 00	69.96
4 号	65	63	1.046 817	1.037 724	0.664 540	56.725 75	1.82
5 号	99	94	0.966 431	0.815 113	0.791 800	149.196 50	4.79
6 号	119	117	0.791 730	0.738 821	0.409 205	581.668 90	18.67
合计						3 115.796 00	100.00

号线的沈桥站,位于远郊区,属于职住偏移型站点,其可达性测度值为 0.092。位于城市核心区的城轨站点的可达性测度值普遍较高,尤其以浮桥站、张府园站、大行宫站、三山街站最为显著。位于城市近郊区的城轨站点的可达性测度值分布范围广泛,其值较高的站点包含明故宫站、集庆门大街站、云锦路站及中胜站等,其值较低的站点包含天隆寺站、吉印大道站及南京站等。位于城市远郊区的城轨站点的可达性测度值较低,这与站点周边土地利用类型不丰富、线网密度较低等因素有关。其中:天润城站、柳州东路站及东大成贤学院站的可达性测度值稍高;其他站点的可达性测度值较低,其值不超过 1 000,尤以长芦站、雨山路站、临江站及沈桥站的可达性测度值最低。

进一步分析不同类型城轨站点的可达性,并对每种类型的站点可达性测度值排序。图 1—图 5 分别为办公导向型站点、居住导向型站点、职住偏移型站点、综合型站点和其他型站点的可达性测度值统计图。由图 1—图 5 可知,不同类型城轨站点的可达性测度值具有显著差异:综合型站点的可达性测度值较高,其最大值超过 12 000,大部分此类型站点的可达性测度值亦超过 2 000;办公导向型站点的

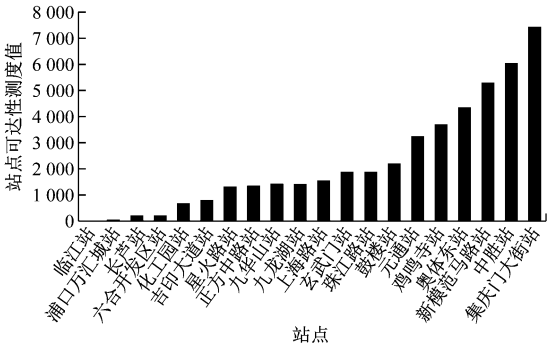


图 1 办公导向型站点可达性测度值对比图

Fig.1 Comparison of accessibility measurement values at office-oriented stations

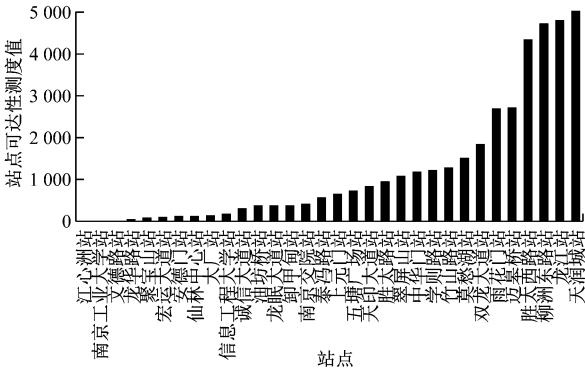


图 2 居住导向型站点可达性测度值对比图

Fig.2 Comparison of accessibility measurement values at residence-oriented stations

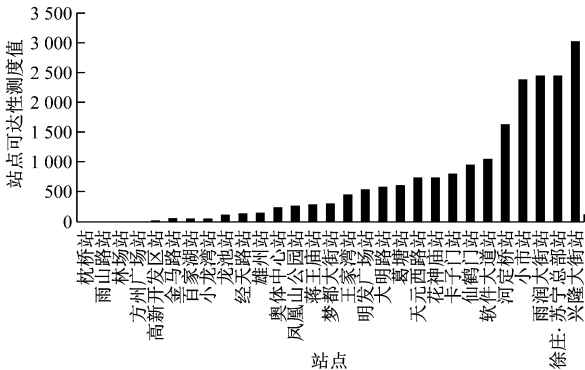


图 3 职住偏移型站点可达性测度值对比图

Fig.3 Comparison of accessibility measurement values at stations away from office or residence

可达性测度值基本分布在 1 500 ~ 7 000,且其最大值超过 7 000;大多数居住导向型站点的可达性测度值在 2 000 以内,且其最大值在 5 000 左右;职住偏移型站点和其他型站点的可达性测度值较低,其最大值在 3 000 左右,大部分此类型站点的可达性测度值分布在 1 000 以下。

3.3 出入口层面的站点可达性测度分析

对不同类型城轨站点的出入口可达性测度值进行计算,职住偏移型站点和其他型站点出入口的

