

文章编号: 1674-599X(2020)03-0094-07

# 基于开放数据的常规公交系统综合评价研究

杨颖<sup>1</sup>, 赵己周<sup>2</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300051)

**摘 要:** 高水平的公共交通有助于缓解城市交通拥堵等问题。为准确评价公共交通, 提高城市公共交通的规划和管理水平。依据常规公交的传统评价体系指标, 基于公交可达性水平评价方法、住宅兴趣点的可达性评价及不同出行模式下的竞争力评价, 提出了基于网络开放数据的常规公交综合评价方法。以上海市松江区公共交通为例, 分析了该区的公交系统运行现状。研究结果表明: 该区常规公交的线网密度达到规范要求, 并且线位和站点设置考虑了潜在的出行需求, 与住宅分布具有一定的契合性。但存在站点覆盖不足、站点设置不合理、线路绕行严重、公交出行时间较长及竞争力弱等问题。该研究方法可为公共交通规划和公交系统评价提供借鉴。

**关键词:** 公交系统评价; 公交可达性; 网络开放数据

中图分类号: U491.1<sup>+</sup>7

文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.03.015

## Research on the comprehensive evaluation of public transit system based on open data

YANG Ying<sup>1</sup>, ZHAO Ji-zhou<sup>2</sup>

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300051, China)

**Abstract:** High-level public transit helps to alleviate urban traffic congestion. To evaluate public transit accurately and improve planning and management standard, a comprehensive evaluation method based on Internet open data is proposed for public transit system from three aspects: the traditional evaluation of public transit, the accessibility evaluation based on PTAL and residential POI, and the competitiveness evaluation under different travel modes. Songjiang District of Shanghai is chosen as a case to illustrate the proposed method. The results show that the network density of Songjiang transit meets the corresponding standards, the layout of stops and routes not only takes the potential travel demand into consideration, but also conforms to the spatial distribution of residential areas to some extent. However, there are several problems related to Songjiang transit such as low coverage and irrational locations for stops, serious detour for routes, as well as long travel time and weak competitiveness for the whole system. It is expected that the proposed methods will provide reference for the transit system planning and evaluation in the future.

**Key words:** public transit system evaluation; public transit accessibility; internet open data

汽车保有量剧增, 给城市带来了交通拥堵、事故频发及环境污染等问题。这不仅影响了城市居民的正常出行, 而且也制约了城市及经济的健康发展。由于传统的公共交通规划周期长、管理水平较

落后, 导致公交发展滞后于出行需求。目前, 中国城市的公共交通普遍存在线网与站点布设不合理、网络密度分布与需求量分布不匹配等问题, 影响居民出行方式的选择。部分城市甚至出现了公共交通

收稿日期: 2020-03-28

作者简介: 杨颖(1995-), 女, 同济大学硕士生。

衰落的尴尬局面。

传统的公交评价指标体系基于站点、线路及网络的静态特征,筛选常规公交系统评价指标,指定权重系数,构建综合评价模型<sup>[1-2]</sup>。该方法适用于常规公共交通规划和城市公共交通系统综合考核等宏观性应用。

可达性在交通中通常被定义为:通过特定的出行方式,从一个地方到达另一个地方参加特定活动的难易程度<sup>[3]</sup>。伦敦交通局<sup>[4]</sup>设计了一种公交可达性水平评价方法(Public Transport Access Level, 简称为 PTAL),考虑了站点辐射范围和发车频率,将伦敦不同区域的公交站点可达性进行分级。Saghapour<sup>[5]</sup>等人增加人口因素,研究了墨尔本的公交站点可达性。Yigitcanlar<sup>[6]</sup>等人提出了基于地理信息系统(Geographic Information System, 简称为 GIS)的土地利用和公交可达性指标。其他的研究基于该方法,构建多种场景,研究网络可达性<sup>[7-8]</sup>。

分析不同出行方式的可达性差异,有利于评估城市的交通结构和不同交通方式的竞争力。行程时间与人们对距离的感知非常吻合,可作为可达性和竞争力评价的直观度量<sup>[9-11]</sup>。因此,作者基于传统公交评价指标体系和公交可达性方法,拟提出了网络开放数据的常规公交综合评价方法,并以上海市松江区的实际道路和公交网络为例,评价该区的公共交通运行现状。以期为公交交通规划和公交系统进行综合评价提供借鉴。

## 1 数据获取

传统的公交评价研究,通常基于 GIS 的网络分析,构建路网和公交线网。利用拓扑关系,计算出行程距离和行程时间等指标。该方法计算复杂,且不能反映实际道路交通状态。在实际工程应用中,难以推广。而互联网开放数据易于获取和处理,在行程时间计算中,考虑路况信息。在实际应用中,具有可靠性。

高德开放平台是基于位置服务的地图开发工具。其中,Web 服务中路径规划的应用程序接口(Application Program Interface, 简称为 API)是一套以 HTTP 形式,提供步行和公交等多模式的交通路径、行驶距离及出行时间计算接口。用于实现路径规划功能的开发,适用于无需展现地图场景下的线

路、行程距离及时间查询。

本研究构建了针对常规公共交通系统运行的综合评价方法,并基于上海市松江区的实际道路和公交网络,进行案例分析。使用 Web 服务,获取所需的公交线路、站点及指定起终点的多模式交通的出行距离和时间等数据。

## 2 常规公交系统综合评价方法

### 2.1 传统公交评价指标体系

国内外公交优化及评价指标体系,主要从公交服务水平、网络技术性能、经济效益水平及可持续发展水平等 4 个方面,构建了城市公共交通系统评价指标体系<sup>[1]</sup>。本研究构建了常规公交系统的运行评价,并以公交网络技术性能指标评价公交的静态特征,见表 1。

表 1 传统公交评价体系

Table 1 The traditional evaluation system for public transit

指标	指标含义
公交站点覆盖率	反映公交站点的服务范围
公交线网密度	反映公交线路的城市覆盖程度
公交线路重复系数	反映公交线路运力的浪费程度
公交线路非直线系数	反映公交线路的绕行情况

传统公交评价体系公交站点覆盖率( $f_1$ )、公交线网密度( $p$ )、公交线路重复系数( $\alpha$ )及公交线路非直线系数( $f_2$ )为:

$$f_1 = \frac{G}{S} \quad (1)$$

式中:  $f_1$  为区域公交站点 500 m 的覆盖率;  $G$  为区域的公交站点的 500 m 半径覆盖面积,  $\text{km}^2$ ;  $S$  为区域总面积,  $\text{km}^2$ 。

$$p = \frac{L}{S} \quad (2)$$

式中:  $p$  为公交线网密度,  $\text{km}/\text{km}^2$ ;  $L$  为公交线路经过的道路中心线长度,  $\text{km}$ ;  $S$  为区域总面积,  $\text{km}^2$ 。

$$\alpha = \frac{\sum l}{L} \quad (3)$$

式中:  $\alpha$  为区域公交线路重复系数;  $l$  为单条公交线路长度,  $\text{km}$ ;  $L$  为公交线路经过的道路中心线长度,  $\text{km}$ 。

$$f_2 = \begin{cases} 1.57, & \text{环线;} \\ \frac{l}{d}, & \text{非环线。} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $f_2$  为公交线路非直线系数;  $l$  为该公交线路的长度, km;  $d$  为线路起、终点站间空间直线距离, km。

## 2.2 基于 PTAL 和 POI 的站点可达性评价

PTAL 指标根据所选地点与公交车站的距离及该车站途径线路的发车频率, 对所选地点进行评分, 评分越高, 则表示交通基础设施的连通性和服务质量越好。PTAL 的计算与指定地点到交通站点的网络距离和站点线路的发车频率有关。因此, PTAL 值高的区域具有的特征为: ①与最近的车站步行距离短; ②最近车站的等待时间短; ③这 2 种特征的组合。

本研究依据 PTAL 指标, 结合高德开放平台住宅类型的兴趣点(Points of Interests, 简称为 POI), 分析常规公交站点的分布与住宅的相关性, 评价公交系统的供给现状。

本研究采用基于栅格的 PTAL 计算方法, 将研究区域划分为边长 100 m 的方格, 每个方格中心点计算得出的结果, 作为该栅格区域的 PTAL 值。单个点的 PTAL 计算方法:

1) 筛选可接受步行时间内的公交站点。伦敦交通局的调查研究, 假定乘客可接受的步行到站距离为 640 m, 行人平均步行速度为 4.8 km/h, 即可接受的最长步行时间为 8 min。参考此标准, 通过高德开放平台, 直接获取所有公共交通站点与单个方格中心点的步行距离和步行时间。

2) 计算每个站点每条线路的时刻表等待时间。时刻表等待时间, 基于工作日早高峰的公共交通线路服务频率计算。由于早高峰期间公交线路服务频率均较高, 因此, 假定乘客到达时间是随机的。时刻表等待时间定义为每个公交站点的每条线路相邻 2 次到达的时间间隔的一半。如果同一条线路经过范围内多个站点, 那么仅考虑最近的站点。

$$t_1 = 0.5(60 / f)。(5)$$

式中:  $t_1$  为时刻表等待时间, min;  $f$  为线路的发车频率, 次/h。

3) 计算每个站点每条线路的平均等待时间。平均等待时间, 通过可靠性因子修正时刻表等待时间。反映因公交到站的不规律性, 造成的实际等待时间偏高的现象。可靠性因子因运输方式而不同。参考伦敦的研究, 常规公交的可靠性因子为 2 min。

$$t_2 = t_1 + 2。(6)$$

式中:  $t_2$  为平均等待时间, min。

4) 计算每个站点每条线路的总可达时间和等效门槛频率。

$$t_3 = t_{walking} + t_2。(7)$$

式中:  $t_3$  为总可达时间, min;  $t_{walking}$  为从出行起点到公交站步行时间, min。

$$F = 0.5(60 / t_3)。(8)$$

式中:  $F$  为等效门槛频率。

5) 计算单个网格点的可达性指数。通常情况下, 一次出行会选择附近车站的特定线路出发。为了反映一个区域内全部公交出行的可达性, 将可达性指数的计算方法简化, 最高等效门槛频率赋予高权重, 其他等效门槛频率赋予低权重, 然后求和。本次研究中, 将最大等效门槛频率值的权重值设为 1, 其他等效门槛频率设为 0.5。

$$A = 0.5 \sum F + 0.5 \max(F)。(9)$$

式中:  $A$  为可达性指数。

对区域内所有网格中心点的可达性指数值进行分级, 可以得到每个网格区域的 PTAL。

POI 信息直接从高德开放平台获取, 参考平台对 POI 分类, 筛选住宅类型 POI。分别对 PTAL 结果和住宅 POI 进行可视化。并统计不同 PTAL 等级下住宅的分布, 评价公交站点的分布合理性。

## 2.3 基于多模式出行时间的竞争力评价

为了评价公共交通网络的运行情况, 比较多种交通模式出行下公交的竞争力。本研究采用出行时间作为衡量指标, 便于直观地反映不同交通模式下的差异。由于基于 GIS 的研究方法, 通常将起点到终点的一次公交出行划分为 3 个阶段: ①从起点到公交车站; ②乘坐公交车及换乘; ③从公交车站到终点。其中, 每个阶段都需要自定义参数, 如: 等待时间、换乘时间和公交行驶时间等, 计算较为复杂。因此, 研究中使用高德地图开放平台的路径规划接口, 直接计算。通过输入起点和终点的经纬度信息, 获取指定起讫点的公交出行时间、换乘次数、驾车时间及骑行时间等数据。

与基于 GIS 的出行时间计算相比, 高德开放平台利用既有的地图资源和成熟的算法, 充分考虑了

交通状态等信息。通过历史数据及算法, 对多模式出行时间进行较为精确预测, 计算简单方便。

3 案例研究

以上海市松江区作为案例。松江区是上海市西南部的一个郊区城市, 共有一百余条公交线路。其中, 11 条为跨区域公交线路。总体线路分布呈现松江中心区和东北片区密集及其他地区稀疏的特征, 如图 1 所示。由于松江区内轨道交通, 以连通松江中心区与上海中心城区为主要功能, 区内出行中选择地铁的比例较低, 因此仅选取松江区的常规公交进行研究。



图 1 松江区公共交通现状

Fig. 1 Present status of Songjiang public transit

3.1 松江区常规公交传统评价

通过传统评价体系指标对松江区常规公交的静态特征进行分析。在对各项指标的评价中, 不仅参考相关标准规范规定的指标阈值, 而且对上海全市范围、上海市区(上海市外环线以内的区域)及嘉定区(上海市西北部郊区)的公交系统各项指标进行计算。横向对比, 发现松江区公交系统存在的问题。各项指标值见表 2。

根据《城市道路交通规划设计规范(GB50220—95)》要求, 站点 500 m 覆盖率不得小于 90%; 市中心区的公共交通线路网密度应达到 3~4 km/km<sup>2</sup>, 在城市边缘地区应达到 2~2.5 km/km<sup>2</sup>; 公交线路的非直线系数不应大于 1.4。根据《交通工程手册》<sup>[12]</sup>规定, 公交线路重复系数以 1.25~2.50

为宜。

从表 2 中可以看出, 松江区的公交系统, 具有的特点为:

1) 公交线网密度适中, 重复系数略高。松江区公交线网密度适中, 达到规范要求, 相较于郊区嘉定区密度较高, 与上海全市范围基本持平。然而线路重复系数略高, 如图 2 所示, 公交线路重复覆盖较高的路段主要集中于松江中心区及连通中心区与外围片区的主要干道。

表 2 上海市不同区域常规公交传统评价指标

Table 2 Traditional evaluation values for public transit across at Shanghai

地区	站点 500 m 覆盖率/%	线网密度/(km•km <sup>-2</sup> )	线路重复系数	非直线系数均值	非直线系数满足规范的比例/%
松江区	66.7	3.45	2.60	1.87	6.5
上海全市	62.9	3.63	2.76	1.83	22.9
上海市区	93.6	11.57	3.76	1.68	22.9
嘉定区	73.8	2.64	2.03	1.95	16.5



图 2 松江区公交线路分布

Fig. 2 Spatial distribution of Songjiang public transit routes

2) 松江区整体站点覆盖率偏低。与同为西部郊区的嘉定区相比, 松江区的站点 500 m 覆盖率较低。如图 3 所示, 松江区外围地区缺乏站点覆盖, 公共交通发展落后。

3) 非直线系数偏高, 线路绕行严重。松江区公交线路非直线系数的均值高于规范要求, 且满足要求的公交线路, 占比仅为 6.5%, 远低于上海全市范围和嘉定区。因此, 松江区的公交线网存在严重的绕行问题。

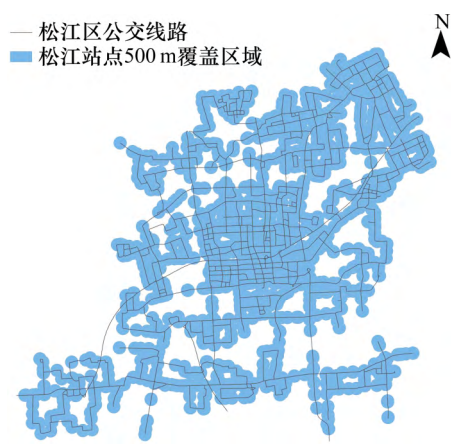


图 3 松江区站点 500 m 覆盖区域

Fig. 3 500 m coverage area of Songjiang public transit stops

3.2 松江区常规公交站点可达性评价

利用 GIS 平台，对松江区常规公交的站点可达性结果进行可视化。按照自然断点分级法，进行分级，如图 4 所示。自然断点分级法通过聚类，使类内差异最小，类间差异最大，因此，能有效表达可达性之间的差异。

结合松江区住宅类型的 POI 信息，对其空间分布进行可视化，如图 5 所示。并统计不同可达性下，住宅的分布情况，见表 3。

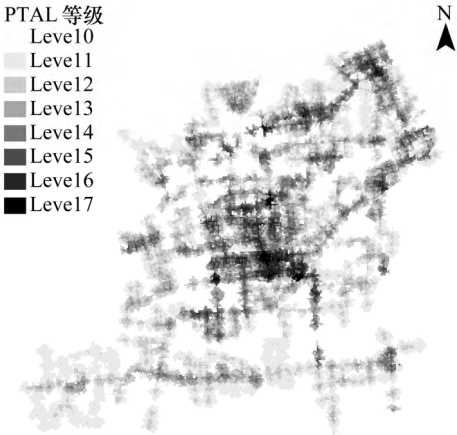


图 4 松江区 PTAL 分布

Fig.4 PTAL of Songjiang

从表 3 可以看出，松江区公交系统具有的特征为：①公交的服务质量不均衡，从图 4 可以看出，松江区中心城区的 PTAL 值整体较高，其他地区公交线路沿线的 PTAL 值中等级。表明：中心城区的公交系统呈现网状分布，站点密度、线路密度及服务水平较高；其他地区的公交系统，呈现带状分布，仅在主要干道上设置公交线路。②松江区总体公

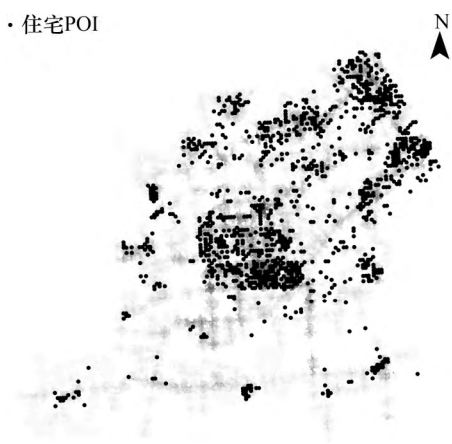


图 5 松江区住宅 POI 分布

Fig. 5 Spatial distribution of Songjiang residential POI

表 3 松江区站点可达性评价指标

Table 3 Access index values of Songjiang public transit stops			
站点可达性等级	可达性指数	面积占比/%	住宅 POI 占比/%
0	0	43.2	4.4
1	(0, 5.82]	22.2	7.6
2	(5.82, 9.9]	14.5	27.8
3	(9.9, 14.91]	9.5	25.6
4	(14.91, 21.42]	6.2	17.5
5	(21.42, 30.98]	2.9	9.0
6	(30.98, 47.93]	1.2	7.1
7	(47.93, 114.51]	0.3	1.0

注：可达性等级越高代表公交连通性越强。

交连通性较差，松江区近一半的地区处于公交站点的服务辐射之外，可达性等级为 0。将近 80%的地区可达性等级不高于 2 级，而可达性等级不低于 5 级的地区，仅占全区的 4.4%。可达性等级为 0 的地区，仅分布 4.4%的住宅，过半的住宅位于可达性等级为 2~4 的地区。表明：松江区的公交系统基本考虑了潜在需求，但仍存在供需不均衡和站点设置不合理的现象。从图 5 可以看出，该区北部片区，存在部分住宅区位于可达性等级极低的地区，而南部东西向干道的两侧，虽然分布了大量的空地和田，但是有部分地区具有较高的可达性等级。

3.3 松江区常规公交竞争力评价

松江区人民政府位于松江中心城区，周围分布着大量的住宅和商区，是松江区的核心位置。为便于研究将该区划分为 200 m×200 m 的栅格，以该区人民政府为出发点，其他栅格中心点为终点。分析中心城区在不同交通模式下的可达范围及竞争力。在 GIS 平台下，对相同起讫点不同出行模式(公



交、驾车和骑行)下的出行时间进行可视化,如图6~8所示,统计不同出行时间阈值下的可达面积,评价松江区常规公交的竞争力,见表4。

由表4可知,多种出行方式中,松江区常规公

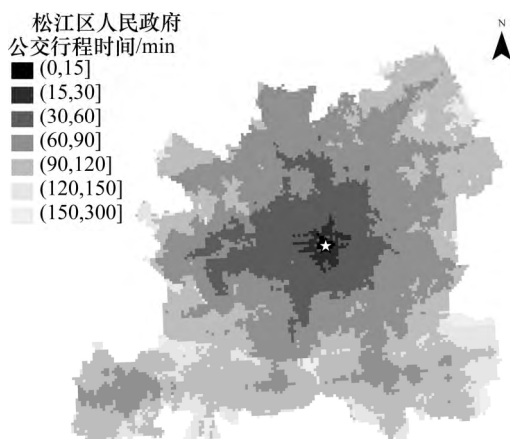


图6 松江区常规公交可达范围

Fig. 6 Accessible areas by public transit in Songjiang

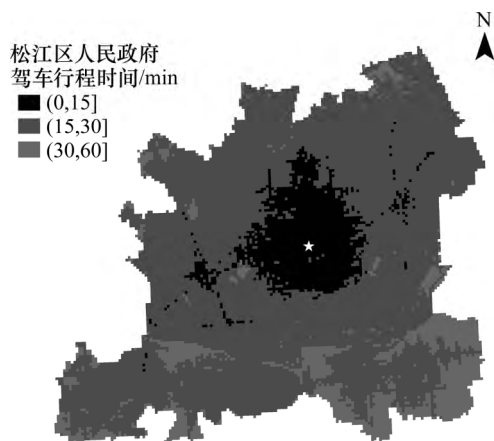


图7 松江区驾车可达范围

Fig. 7 Accessible areas by driving in Songjiang

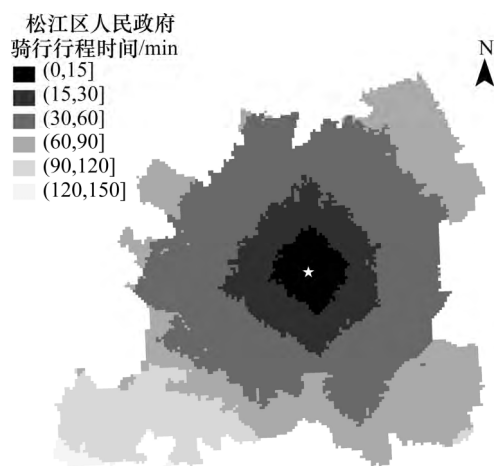


图8 松江区骑行可达范围

Fig. 8 Accessible areas by riding in Songjiang

表4 不同出行模式下的可达范围

行程时间/min	不同出行模式的可达面积占比		
	常规公交	驾车/%	骑行/%
15	0.18	11.2	3.82
30	1.14	86.9	15.80
60	14.90	100.0	60.80
90	53.20	—	87.90
120	90.70	—	99.20
150	98.60	—	100.00
300	100.00	—	—

交的竞争力弱。主要原因:相同起讫点下,公交出行时间过长;相同时间阈值,常规公交可达范围较小。主要表现:①中、短距离出行中,常规公交竞争力弱于骑行。在短距离出行中,常规公交30 min可达范围,仅占全区面积的1.14%,远小于骑行15 min可达范围。公交候车时间长,到达站点的步行时间也较长。在中等距离出行中,常规公交60 min可达范围与驾车15 min和骑行30 min可达范围持平。②在长距离出行中,公交竞争力远不如驾车。在长距离出行中,驾车1 h可达范围已经完全覆盖全区,而常规公交需要2.0~2.5 h。

## 4 结论

通过常规公交传统评价指标体系、站点可达性评价及竞争力评价3种方法,对松江区常规公交系统进行综合评价。得到的结论为:

1) 松江区常规公交的线网密度达到规范要求,并且线位和站点设置考虑了潜在的出行需求,与住宅分布具有一定的契合性。但存在不足:①站点设置不合理和覆盖范围较低,导致公交系统供需不平衡。②非直线系数偏高,线路绕行严重。③公交出行时间较长,竞争力不足。

2) 通过对3种方法的评价结果进行对比分析。表明:传统的常规公交评价指标体系,反映的是公共交通系统的静态特征。与站点500 m覆盖率相比,站点可达性评价,将区域内的站点覆盖程度进一步细化,而非单纯用覆盖与否来评价。竞争力评价则是通过行程时间评价全出行链的公交运行特征。3种评价方法相辅相成,可得到综合性的评价结果。

本次研究仍有改进之处,如特定公交站点和线路存在的问题,需要更细致的方法进行评价分析。

**参考文献(References):**

- [1] 胡启洲.城市常规公共交通系统评价方法研究[D].南京:东南大学,2008.(HU Qi-zhou. Research on evaluation method of urban public transport system[D]. Nanjing: Southeast University,2008.(in Chinese))
- [2] 张培林,吴宏宇,莫杨辉,等.大城市综合交通适应性评价[J].交通科学与工程,2018,34(4):77-82.(ZHANG Pei-lin, WU Hong-yu, MO Yang-hui, et al. Adaptability evaluation of the comprehensive traffic in large cities[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(4): 77-82. (in Chinese))
- [3] Liu S, Zhu X. An integrated GIS approach to accessibility analysis[J]. Transactions in Gis, 2004, 8(1): 45-62.
- [4] Wu B, Hine J. A PTAL approach to measuring changes in bus service accessibility[J]. Transport Policy, 2003, 10(4): 307-320.
- [5] Saghapour T, Moridpour S, Thompson R G, et al. Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density[J]. Journal of Transport Geography, 2016: 273-285.
- [6] Yigitcanlar T, Sipe N, Evans R J, et al. A GIS-based land use and public transport accessibility indexing model[J]. Australian Planner, 2007, 44(3): 30-37.
- [7] Mavoa S, Witten K, Mccreanor T, et al. GIS based destination accessibility via public transit and walking in auckland, New Zealand[J]. Journal of Transport Geography, 2012, 20(1): 15-22.
- [8] Jappinen S, Toivonen T, Salonen M, et al. Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in greater helsinki: An open data approach[J]. Applied Geography, 2013, 43: 13-24.
- [9] Salonen M, Toivonen T. Modelling travel time in urban networks: comparable measures for private car and public transport[J]. Journal of Transport Geography, 2013, 31(31): 143-153.
- [10] Liu R, Chen Y, Wu J, et al. Mapping spatial accessibility of public transportation network in an urban area—A case study of Shanghai Hongqiao transportation hub[J]. Transportation Research Part D—transport and Environment, 2018: 478-495.
- [11] 温惠英,任倩.基于 Two-step Cluste 的出行选择行为研究[J].公路工程,2019,44(2):69-72.(WEN Hui-ying, REN Qian. Research on travel choice behaviors based on the Two-step Cluste[J]. Highway Engineering, 2019, 44(2): 69-72. (in Chinese))
- [12] 中国公路学会《交通工程手册》编委会. 交通工程手册[M]. 北京:人民交通出版社,1998.(Traffic Engineering Manual Compilation Committee of China Highway & Transportation Society. Traffic engineering manual[M]. Beijing: China Communications Press, 1998. (in Chinese))