

# 基于互联网地图数据的城市轨道交通规划方案 公交可达性计算方法

肖博华

(上海济安交通工程咨询有限公司, 200092, 上海//工程师)

**摘 要** 传统基于网络分析的规划城市轨道交通方案公交可达性计算存在着数据获取难和分析时主观成分明显的问题。提出一种融合互联网地图数据和网络分析的计算方法,得到轨道交通规划方案对公交出行时间的影响。基于该方法,选取3个公交可达性评价指标,以芜湖市城市轨道交通规划方案为例,分析不同方案对公交可达性的影响,并探讨了该技术方法推广的可行性。

**关键词** 城市轨道交通; 规划方案; 互联网地图; 公交可达性  
**中图分类号** U212.32

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2021.01.015

## Calculation Method for Transit Accessibility of Urban Rail Transit Planning Scheme Based on Internet Map Data

XIAO Bohua

**Abstract** The transit accessibility calculation of urban rail transit planning scheme based on conventional network analysis has the problem of difficult data acquisition and obvious subjective factor in analysis. A calculation method integrating internet map data and network analysis to get the impact of rail transit planning scheme on bus travel time is presented. Based on this method, taking Wuhu rail transit planning scheme as an example, three transit accessibility evaluation indexes are selected to analyze the impact of different rail transit schemes on the transit accessibility, and the dissemination and feasibility of this technology and method are discussed.

**Key words** urban rail transit; planning scheme; internet map; transit accessibility

**Author's address** Shanghai Ji'an Transportation Engineering Consulting Co., Ltd., 200092, Shanghai, China

合理的城市轨道交通线路规划,对于支撑城市空间拓展以及提升公交竞争力至关重要。因此,城市轨道交通方案的评价将是决定规划方案成败的关键所在。

现有的城市轨道交通规划方案评价多采用层次分析法、模糊综合评判法及专家打分法等来构建评价

指标体系,对城市轨道交通规划方案进行比选<sup>[1-3]</sup>。然而,这些评价指标体系主观成分较为明显,依赖于专家的经验,且建设规模指标较多,公交服务水平指标较少。本文基于互联网地图数据,提出一种新的公交可达性指标的计算方法,并以此来评价城市轨道交通的规划方案。

## 1 公交可达性指标

公交服务水平指标反映公交系统的运行状态,是居民出行方式选择的重要考虑因素,也是城市公共交通系统水平的体现。在公交服务水平指标中,公交时空可达性指标是一项重要的考量指标。

### 1.1 公交出行时耗

一次完整的公交出行时耗包括步行到站时间、候车时间、车内时间和换乘时间4个部分。公交出行时耗受公交运行速度、发车间隔、换乘站点间距、线路选择策略和道路网布局情况等因素影响,较私驾汽车的出行时耗,公交出行时耗的估算更为复杂。

### 1.2 公交等时圈分析

公交等时圈是由以公交出行时耗计值的等时线,主要展示特定区域到其他区域的公交出行时间或一定公交出行时间内可以到达的范围。公交等时圈是体现公交服务水平和公交出行时空可达性的重要工具,常用于反应城市中心点的公交便捷程度。

### 1.3 公交可达性分析

公交可达性是反应城市公交系统效率、线网布局合理性的重要指标。可达性常用的计算方法包括空间阻隔模型、累积机会模型、空间相互作用模型和效用模型等<sup>[4]</sup>。其中,空间阻隔模型由于形式简单、含义直观,是应用最为广泛的公交可达性计算模型,其表达式如下:

$$A_i = \frac{1}{J} \sum_{j \neq i} d_{i,j} \quad (1)$$

式中:

$A_i$ ——点  $i$  的可达性;

$J$ ——所有点的集合;

$d_{i,j}$ ——点  $i$  至点  $j$  的公交出行时耗。

#### 1.4 现有计算方法

当前公交出行时耗和公交可达性的主要计算方法包括两种:一是基于传统公交网络分析;二是基于互联网地图的实时数据。

##### 1.4.1 公交网络分析法

目前,Transcad 和 Arcgis 等软件均具备公交网络分析功能,可以直接计算公交出行时耗和公交可达性。公交网络分析法<sup>[4-8]</sup>的研究思路主要是利用上述 GIS(地理信息系统)类软件通过构建城市道路网和公交网络,求解出多个起终点间的公交出行时耗,再根据公式算得相应公交可达性指标。在道路运行速度和公交运行速度设置上,主要采用经验法<sup>[4-7]</sup>和利用公交 GPS(全球定位系统)数据进行的车速标定法<sup>[8]</sup>。目前我国特大城市公交线路达上千条,路段和交叉口数量超过万个,传统公交网络分析耗费大量人力成本,限制了该方法在城市轨道交通规划工作中的推广和应用。同时,该方法在道路运行速度和公交运行速度的设定上存在数据获取困难和主观性较强的问题。

##### 1.4.2 互联网地图数据分析法

近年来,随着 WebGis(网络地理信息系统)、位置数据和 GPS 技术的发展,互联网供应商依靠精确的地图数据和实时车速数据,对交通进行评估分析,已得到政府和业界高度的重视。其中,高德和百度地图的实时出行数据已被广泛用于等时圈和可达性的研究中<sup>[9-10]</sup>。该方法的研究思路是首先等间距建立采样点和城市中心点,利用地图 API(应用程序编程接口)调取中心点至采样点的实时交通出行数据;接着,利用插值分析得到中心点至整个城市的公交出行时耗,并计算公交可达性指标。该方法数学原理与公交网络分析基本一致,只是出行时耗由互联网供应商的内置公交网络和 GPS 数据计算所得。该方法无需构建交通网络,能节省大量人力成本,但由于采取的是互联网供应商的现状网络,无法对规划方案进行评估。

## 2 数据获取与分析方法

本文基于传统公交网络分析和互联网地图数据分析各自的原理和优缺点,提出一种新的方法用于

评估城市轨道交通规划对公交可达性的影响。

### 2.1 总体研究思路

基于互联网数据,可以直接得到现状公共交通出行时耗,因此本法的核心在于分析新建城市轨道交通对公交出行时耗的影响。新建城市轨道交通对公交出行时耗的影响分为两种情景:一是公交出行者未使用城市轨道交通,仍采用常规公交作为出行方式;二是公交出行者采用了城市轨道交通作为出行方式。显然,第一种公交出行者的出行时耗不会受城市轨道交通的影响,出行时耗维持不变;而第二种公交出行者的出行时耗则会缩短。

研究方法首先是确定分析城市的中心点  $O$  和全市各采样点  $D_j$ ,遍历所有中心点  $O$  至采样点  $D_j$  采用城市轨道交通出行的路径,并计算出最短路径的长度、距离和时间。将算得的时间与无城市轨道交通情况下的最短时间进行比较,若该值小于无城市轨道交通下最短时间,则认为城市轨道交通的规划建设缩短了  $O$  点至终点  $D_j$  的出行时间,用该值替换原最短出行时耗值;若该值大于无城市轨道交通情况下得最短时间,仍维持原最短出行时耗值不变。

本文将一次使用城市轨道交通工具的公交出行时间  $T_{O,D}$  分解为 3 个部分,分别为中心点  $O$  至城市轨道交通站点  $X_i$  的时间  $T_{O,X_i}$ ,城市轨道交通站点间的出行时间  $T_{X_i,X_j}$  和城市轨道交通站点  $X_j$  至采样点  $D_j$  的时间  $T_{X_j,D_j}$ 。

$$T_{O,D} = T_{O,X_i} + T_{X_i,X_j} + T_{X_j,D_j} \quad (2)$$

利用求得的 3 段公交出行时耗,构建一个虚拟网络,求解中心点至采样点之间的最短路径,即可得到城市轨道交通规划后中心点至各采样点的公交出行时耗。

### 2.2 利用地图 API 调取公交出行数据

选定研究范围中心点,等间距构建采样点阵,获取中心点和采样点的经纬度信息。同时,基于城市轨道交通规划方案,获取城市轨道交通站点的经纬度信息。

通过调用高德地图的公交路径规划 API,并进行解析,获得中心点至城市轨道交通站点、城市轨道交通站至采样点、中心点至采样点出行路径的公交出行时耗和公交出行价格。同时,考虑到当两点距离过近时,公交路径规划得到的公交出行时间会大于步行出行时间,对距离小于 1 500 m 的采样点,调取

步行出行时间进行数据修正。技术路线见图1。

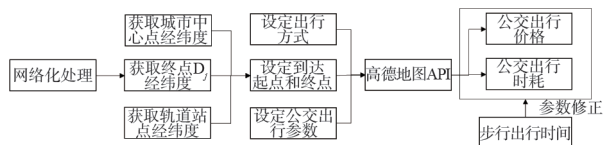


图1 利用地图API调取公交出行时耗技术路线

### 2.3 城市轨道交通网络分析

在获取中心点、城市轨道交通站点和采样点间的出行时耗后,开始研究城市轨道交通的规划对城市轨道交通站点间公交出行时耗的影响。基于城市轨道交通规划方案,绘制城市轨道交通线路和城市轨道交通站点。设定城市轨道交通运行车速、平均候车时间及换乘时间,利用 Arcgis 软件的 OD (起终点) 成本矩阵获得城市轨道交通各站点间的公交出行时间。

### 2.4 构建虚拟网络

通过调用地图 API 和构建城市轨道交通网络,可以获得中心点至采样点、城市轨道交通站点至采样点、城市轨道交通站点间、中心点至城市轨道交通站点 4 段公交出行路径的出行时耗和起终点经纬度。利用 Arcgis 软件中的 XY 转线功能,生成虚拟网络,将各阶段得到的公交出行时耗作为阻抗值,求解中心点  $O$  至各采样点  $D_j$  的 OD 成本矩阵。求解的结果即为城市轨道交通建设后,中心点至各采样点的最小公交出行时间。

### 2.5 数据插值分析

根据上述方法可以得到所有中心点  $O$  至采样点  $D_j$  的公交出行时间。基于获得的采样点数据,利用插值分析中的反距离权重法获得中心点  $O$  至整个城市任意点的公交出行时耗。反距离权重插值法

计算公式如式(3):

$$Z(S_a) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (3)$$

式中:

$Z(S_a)$ ——预估点  $S_a$  处预估值;

$N$ ——预估时使用周围采样点的数量;

$\lambda_i$ ——第  $i$  个采样点的权重;

$Z(S_i)$ ——在  $S_i$  处的采样值。

权重的计算公式如式(4)、(5):

$$\lambda_i = t_{i,a}^{-p} / \sum_{i=1}^N t_{i,a}^{-p} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (5)$$

式中:

$P$ ——指数值,本次取 2;

$t_{i,a}$ ——预估点  $S_a$  至采样点  $S_i$  的距离。

### 2.6 城市轨道交通对公交可达性影响评价指标

为分析不同城市轨道交通规划方案对公交可达性的影响情况,共选取 3 个评价指标,分别为中心区公交可达性、公交 1 h 等时圈面积增长率和单位长度公交等时圈面积。

中心区公交可达性,反应城市中心区公交出行的便捷程度。该指标越大,表明中心区公交服务水平越差,反之则越好。其计算公式同式(1)。

中心区公交可达性反应城市轨道交通的规划建设对中心区公交服务范围的影响。单位长度公交等时圈面积反应单位长度的城市轨道交通建设对公交等时圈的影响。两者的计算公式分别如下:

$$\text{公交 1 h 等时圈} = \frac{\text{城市轨道交通规划方案下公交等时圈面积} - \text{无城市轨道交通下公交等时圈面积}}{\text{无城市轨道交通下等时圈面积}} \quad (6)$$

$$\text{单位长度公交 1 h 等} = \frac{\text{城市轨道交通规划方案下公交等时圈面积} - \text{无城市轨道交通下公交等时圈面积}}{\text{城市轨道交通长度}} \quad (7)$$

## 3 案例分析和评价

### 3.1 芜湖市城市轨道交通线网规划方案

芜湖市地处长江下游冲积平原,是华东地区重要的工业基地、科技基地和国家级综合交通枢纽。芜湖市轨道交通线网规划于 2014 年编制完成,根据研究报告<sup>[11]</sup>,基于线网规模、城市空间格局及建设条件共形成 3 个预选方案。本文以 3 大预选方案作

为案例,进行方案比选。

方案一:包含 1、2、3、4、5 号轨道交通线,线网长度 136.97 km,设站 89 座,其中换乘车站 14 座。城市轨道交通线路走向及站点设置见图 2。

方案二:在方案一的基础上对 2 号、3 号轨道交通线进行了局部调整。该方案的城市轨道交通线网长度为 137.795 km,设站 89 座,其中换乘车站 14 座。线路走向及站点设置见图 3。



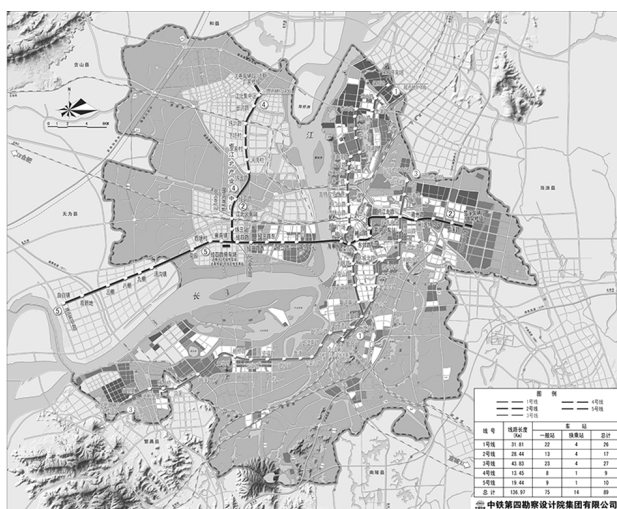


图2 芜湖市城市轨道交通规划方案一

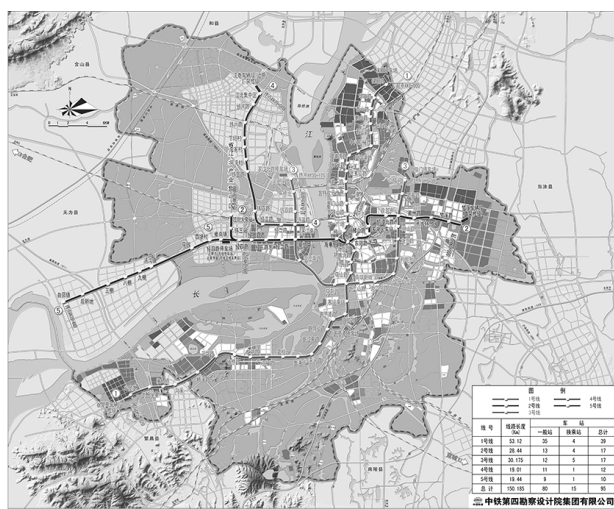


图4 芜湖市城市轨道交通规划方案三

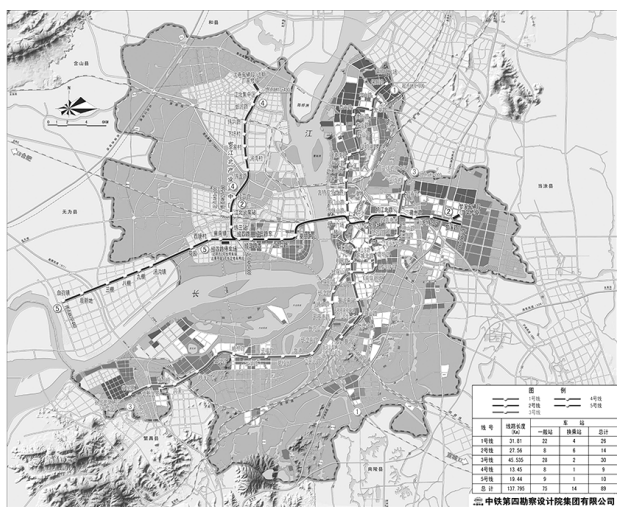


图3 芜湖市城市轨道交通规划方案二

方案三:在方案一的基础上对1号线、3号线、4号线进行了调整,其他线路与方案一完全一致。该方案的城市轨道交通线网长度为150.185 km,设站95座,其中换乘车站15座。线路走向及站点设置见图4。

### 3.2 参数设定

本方法计算规划的城市轨道交通对公交可达性指标的影响,共设定5个参数。

1) 城市中心点的选取:芜湖市规划形成“龙湖为心、两江三城”的城市空间布局结构,考虑到各片区发展现状,选取芜湖市内外交通的转换点芜湖火车站作为案例的城市中心点。

2) 采样点的选取:芜湖市城乡公交体系较为发达,市区至下属县基本已开通城乡公交线路,因此本次研究范围为芜湖市全市。将芜湖市全市划分为大

小为 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 的网格,并剔除水系范围,共选取1 425个采样点。

3) 城市轨道交通运行速度:根据研究报告<sup>[11]</sup>,各线路的旅行速度能达到 $35 \sim 45\text{ km/h}$ 左右。结合全国各城市轨道交通实际运营情况,本案例城市轨道交通运行速度取 $40\text{ km/h}$ 。

4) 乘客平均候车时间:乘客平均候车时间与城市轨道交通的发车间隔密切相关。当乘客到达城市轨道交通站点的时间服从均匀分布时,平均候车时间为发车间隔时间的一半。研究报告中列车运行间隔已达到 $2\text{ min}$ ,考虑到实际运营的情况,本案例发车间隔取 $4\text{ min}$ ,平均候车时间为 $2\text{ min}$ 。

5) 乘客换乘时间:乘客的换乘时间主要包含步行时间和平均候车时间。平均候车时间计算如上所述,由于城市轨道交通换乘以站内换乘为主,换乘的步行时间取 $2\text{ min}$ 。

### 3.3 方案评价和分析

本文共获取城市中心点至城市轨道交通站点、城市轨道交通站点至采样点公交平峰出行数据数十万条。结合城市轨道交通网络,求出三种规划方案的中心点至采样点的轨道交通出行时间。芜湖市现状公交 $1\text{ h}$ 等时圈面积为 $67\text{ km}^2$ ,规划方案一公交 $1\text{ h}$ 等时面积达 $203\text{ km}^2$ ,规划方案二公交 $1\text{ h}$ 等时面积达 $138\text{ km}^2$ ,规划方案三公交 $1\text{ h}$ 等时面积达 $264\text{ km}^2$ 。各方案详细评价指标见表1。

从中心区公交可达性指标来看,规划方案一和规划方案三对于芜湖市中心区的公交可达性提升明显,而规划方案二由于绕行芜湖江南中心区导致在公交可达性上较差。公交 $1\text{ h}$ 等时圈指标基本与城

表1 规划方案评价指标

指标	方案一	方案二	方案三
中心区公交可达性/min	148	160	148
公交1 h等时圈面积增长率/%	203	106	294
单位长度公交1 h等时圈面积增长率/(km <sup>2</sup> /km)	0.99	0.52	1.31

市轨道交通线网布设一致,规划方案三设置的环线对于中心区公交1 h等时圈提升作用最明显,规划方案一公交1 h等时圈南北方向面积更大,规划方案二公交1 h等时圈面积最小。

#### 4 结语

本文基于互联网地图数据,将传统网络分析方法与互联网数据相结合,提出一种新的城市轨道交通规划方案公交可达性指标计算方法,可直接应用于评价城市轨道交通规划方案。该方法将地图 API 数据应用于规划方案的测试评估中,较传统公交网络分析法相比,节约了大量的人力和数据获取成本,为城市轨道交通规划方案比选提供了新的思路。同时,该方法考虑到了公交出行全过程的出行时耗,利用步行时耗修正了现有短距离出行中地图 API 公交出行数据的不足之处。

然而,该方法在应用过程中仍存在一定不足之处。首先,该方法通过部分调用地图 API 接口数据,评估城市轨道交通规划方案的公交可达性,分析精度很大程度上取决于互联网地图服务商的内置算法和数据。部分小城市公交存在数据缺失的情况,影响该方法的推广范围。同时,城市轨道交通的规划往往会伴随着常规公交线路的调整,该问题的解决可以通过调取多条公交出行路径,通过对涉及调整线路

的公交出行路径筛选,来修正公交出行时间,本文未对该问题进行深入研究。

该方法通过修正和改进,未来可以应用的研究项有:① 评估新建道路、新建铁路对出行时间的影响;② 将公交可达性指标与多数据融合,进行多维度、多层次分析。

#### 参考文献

- [1] 边颜东.城市轨道交通线网方案的综合评价[J].城市轨道交通研究,2002(1):74.
- [2] 李俊芳,吴小萍.基于 AHP-FUZZY 多层次评判的城市轨道交通线网规划方案综合评价[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2007(2):205.
- [3] 刘新岗.基于层次分析法的柳州市轨道交通线网规划方案评价[J].城市轨道交通研究,2015(8):101.
- [4] 张天然,朱春节.伦敦公共交通可达性分析方法及应用[J].城市交通,2019(1):70.
- [5] 蒋海兵,李业锦,湛丽.轨道交通影响下的北京公交出行就业可达性[J].遥感信息,2018(4):122.
- [6] 孙一帆,吴昊,朱彤,等.公路网对外交通可达性评价——以广东省为例[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2018(2):21.
- [7] 王德,刘锴.上海市一日交流圈的空间特征和动态变化研究[J].城市规划汇刊,2003(3):3.
- [8] 胡继华,程智锋,钟广鹏,等.一种公交等时线的计算方法及其应用[J].交通运输系统工程与信息,2013(3):99.
- [9] 黄应淮,刘小平,刘艳平,等.基于高德地图 API 的多种交通方式下城市公园时空可达性分析——以广州市海珠区为例[J].地理与地理信息科学,2018(6):50.
- [10] 魏英杰,朱兰艳.百度地图 API 作为新数据源在城市单向交通评价中的应用[J].公路交通科技,2017(3):117.
- [11] 徐智勇,陶志祥,刘飞,等.芜湖市城市轨道交通线网规划研究报告[R].武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2014.

(收稿日期:2019-04-16)

## 银(川)西(安)高铁正式开通运营

2020年12月26日,银(川)西(安)高铁正式开通运营,宁夏正式接入全国高铁网。银西高铁全长610 km,设计时速250 km。开通运营后,银川到西安的铁路运行时间将由14 h左右缩短至3 h左右。银西高铁北起宁夏银川市,向东南经甘肃省庆阳市、陕西省咸阳市等地,至陕西省西安市。其中银川至吴忠段已于去年通车运行,此次新修的吴忠至西安段线路全长543 km,共设14座车站,是国内首条一次性建成里程最长的有砟高铁。银西高铁是我国“八纵八横”高速铁路网的重要组成部分,它的开通将串联陕甘宁革命老区,结束宁夏无外接高铁历史,对促进区域经济社会发展,助力革命老区振兴具有重要意义。

(摘自2020年12月26日新华网)

## 徐连高铁开始运行试验

2021年1月8日起,徐(州)连(云港)高铁开始全线运行试验,标志着该线开通运营进入倒计时。徐连高铁是“十四五”长三角铁路建设迎来的首个重要节点。徐连高铁位于江苏省北部黄淮平原地区,西起徐州市,东至连云港市,正线全长约180 km,设计时速为350 km,是国家“八纵八横”高速铁路网新亚欧大陆桥通道的重要组成部分。

(摘自2021年1月8日新华网)