

## 面向地铁接驳需求的公交服务能力评估\*

句庆玲<sup>1,2</sup>, 龙科军<sup>1,2</sup>

(1.智能道路与车路协同湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**城市公交与地铁之间的换乘服务能力极大影响整个公交网络的服务能力。为科学评估公交接驳地铁的服务能力,文中利用 Python 网络爬虫获取深圳市地铁刷卡、公交线路规划、公交站点位置等数据,选择换乘步行距离、换乘时间、换乘客流量作为评估指标,采用数据包络分析(DEA)构建公交接驳服务能力评估模型;以深圳市 10 个地铁站点为例,分别对其接驳公交线路的服务能力进行评估。结果表明,公交接驳服务能力主要取决于换乘距离、换乘选择及换乘客流。

**关键词:**城市交通;公共交通;接驳能力;地铁;数据包络分析(DEA)

**中图分类号:**U492.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2020)04-0017-04

城市中心区是城市公共活动体系的核心,是城市政治、经济、文化等公共活动最集中的地区。以城市空间布局结构为基础,地铁网络在城市中心相对完善,形成城市中心区以地铁为骨架、公交为辅助的特征。在中心城区,考虑地铁线路具有主导性,在线路规划中考虑的尺度、粒度与容量等方面的依据更宏观;公交线路则较微观,以地铁网络为骨架完成大流量客流运输,公交主要负责地铁网络未覆盖的毛细部分,快速疏散地铁带来的客流,减少中心城区的交通压力。对于非中心区,地铁与公交之间会存在竞争等关系。杨晓光等利用 ITS 技术采集交通管理和运营信息,建立了计算公交车换乘最短时间调度模型。王卫平利用物元分析法将公交线网覆盖性、公交纯线网密度、公交站点覆盖率、公交便利性指标进行整合,分析城市轨道交通与地面常规公交的接驳情况。张兴强等通过轨道换乘方式和换乘设施服务过程分析,建立了基于 Petri 网的轨道交通换乘设施服务水平评价模型。张营杰等以青岛市地铁为依托,根据不同接驳模式下公交作用调整公交线路,使整个公共交通网络最优。戴学臻等采用综合灰色关联度法,选取平均换乘时间、平均换乘距离、乘客换乘满意度、换乘方式 4 个指标对高铁车站的地铁、出租车、公交 3 种交通方式进行了换乘效率评价。任芳通过分析国内外轨道交通与公交的接驳情况,对福州市轨道 1 号沿线的公交线路进行了调整。林利分析了轨道交通与常规公交的瓶颈问题及

两种交通方式换乘存在的问题,以重庆市为例分析了轨道交通建设的长、短期目标,并利用 LINGO 求解优化后的公交线路。杨磊从公交网络自身合理性、与轨道交通的竞争和合作关系 3 个层次确定轨道交通沿线公交的评价指标,利用未确知测度模型、信息熵理论和层次分析法评价公交线网,并根据评估结果调整线网。石小伟等通过分析宁波新建轨道交通的发展水平构建公交线网布局模型,利用遗传算法、直达系数等指标对宁波市公交进行了动态分析。目前国内主要研究轨道交通与公交的整体接驳情况或整条地铁线路与沿线公交的接驳,未区别中心城区成熟地铁网络公交接驳与非成熟地铁网络公交接驳等特征。该文主要利用数据包络分析(DEA)模型,对面向中心区地铁网络的公交接驳能力进行评估,为城市中心区公交站点及线路优化提供依据。

## 1 接驳能力的定义

接驳原是指无缝连接、搭车换乘。公交接驳能力是指公交车疏散中心区地铁载流的效率能力。接驳能力评估主要评价公交车疏散客流量的能力,评价指标主要选取与地铁换乘公交的相关指标,包括地铁换乘时间、公交站点位置、公交线路数、客流量。其中:地铁换乘时间主要以地铁站点的经纬度坐标为中心点,分别以 500、300、100 m 辐射半径计算该范围内最近公交站点步行到达中心点的平均时间;公交站点位置主要是指该站点与地铁站点之间的直

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(51678076);国家重点研发计划(2018YFB1600905);湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2171)

线距离,换乘距离是乘客选择后续出行交通方式的重要因素之一,换乘过程中公交站点距离地铁站500 m以内为最佳;公交线路数是指在筛选地铁站最近公交站点后,通过该站点的公交线路之和,其表征乘客可选择的多样性,给乘客更好的换乘选择。

## 2 数据采集

Python 网络爬虫是目前很受欢迎的一个开源编程软件,相对于 MATLAB 等软件,其操作简单,入门容易。该软件基于 Python 代码自动抓取互联网上有价值的信息,信息获取时间短,操作简单。

搜索 POI 模块是高德开发者平台中功能较强的模块,也是经常使用的模块之一。其使用场景有:1) 关键字搜索。通过用 POI 的关键字进行条件搜索,如肯德基等;同时支持设置 POI 类型搜索,如银行。2) 周边搜索。在用户传入经纬度坐标点附近,在设定的范围内,按照关键字或 POI 类型搜索。3) 多边形搜索。在多边形区域内进行搜索。4) ID 查询。通过 POI ID 查询某个 POI 详情,可与输入提示 API 配合使用。这里主要使用关键字搜索。

编写爬虫代码时需填写的参数主要有:1) key 参数。key 是开发者在高德开发者平台获得请求服务权限的标识,可在控制台中的应用管理免费注册。2) types 参数。types 的含义是查询 POI 的类型。高德开发者平台通常会通过发现、采集、处理和发布将 POI 数据制作成一张地图,在高德开发者平台中提供 POI 分类编码(见表 1)。分类代码由 6 位数字组成,分为三部分,前两个数字代表大类,中间两个数字代表中类,最后两个数字代表小类。若指定了某个大类,则所属中类、小类都会显示。在爬虫代码编写中,可使用 keyword 参数代替 type 参数。keyword 参数的使用方法与地图地点查询一致,只需输入关键字即可。但相对于 type 参数,keyword 参数内容搜索会存在一定误差,精度没有 type 参数高。值得注意的是,编写爬虫代码时如果 keywords 和 types 参数都是空,则默认指定 types 为 120000(商务住宅)和 150000(交通设施服务)。3) city 参数,即城

表 1 POI 部分分类

编码	大类	中类	小类
150500	交通设施服务	地铁站	地铁站
150501	交通设施服务	地铁站	出入口
150700	交通设施服务	公交车站	公交车相关站
150702	交通设施服务	公交车站	普通公交站

市查询。高德开发者平台 POI 分类数据中提供了所有城市的编码(见表 2),在具体数据爬取时填写相应代码即可。

表 2 深圳市及管辖区的编码

区域	编码	区域	编码
深圳市	440300	龙岗区	440307
深圳市市辖区	440301	盐田区	440308
罗湖区	440303	龙华区	440309
福田区	440304	坪山区	440310
南山区	440305	光明区	440311
宝安区	440306		

## 3 公交接驳能力服务评估模型

### 3.1 评估指标

分析接驳服务时,考虑乘客换乘的便捷性及数据获取方式,选取换乘步行距离、换乘时间、换乘客流量、换乘选择作为主要影响因素。其中:换乘步行距离  $L$  是指乘客从轨道出站口到最近公交站点的最短距离,若在地铁出站口同时存在多个公交站点,则取距离的平均值;换乘时间  $T$  是乘客从轨道交通出站口步行到换乘站点的时间  $t_1$ 、排队时间  $t_2$  与换乘候车时间  $t_3$  之和,这里只考虑轨道交通换乘地面常规公交消耗的时间,故排队时间  $t_2$  与换乘候车时间  $t_3$  不予考虑,即  $T=t_1$ ;换乘客流量  $Q$  是指一天中轨道交通站点集散的客流量;换乘选择  $M$  即公交线路数,是指乘客对换乘公交线路及公交站点的可选择数量。

### 3.2 DEA 模型

目前常用的接驳分析评价方法主要有层次分析法和模糊分析法,这两种方法在分析评价时具有较强的主观性,量化指标与实际情况存在一定差别,且模糊评价法的计算过程复杂。DEA 是目前较成熟的绩效评价方法,主要用于评价相同部门间的相对有效性。采用 DEA 模型中的投入导向  $BC^2$ (规模报酬可变)模型进行公交接驳能力评价。对于任一决策单元,投入导向下对偶形式的  $BC^2$  模型可表示为:

$$\min \theta - \epsilon (\hat{e}^T S^- + e^T S^+)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases}$$

式中: $j=1,2,\cdots,n$ ,表示决策单元; $X$ 为投入; $Y$ 为产出向量。

若  $\theta=1, S^+=S^-=0$ , 则决策单元 DEA 有效;若  $\theta=1, S^+\neq 0$ , 或  $S^-\neq 0$ , 则决策单元弱 DEA 有效;若  $\theta<1$ , 则决策单元非 DEA 有效。

接驳换乘乘客主要考虑换乘距离、舒适性、便捷性等特征,鉴于舒适性、便捷性为无形指标,难以量化,将换乘距离作为产出变量,换乘时间、换乘客流量与换乘选择作为输入变量。评估流程见图 1。

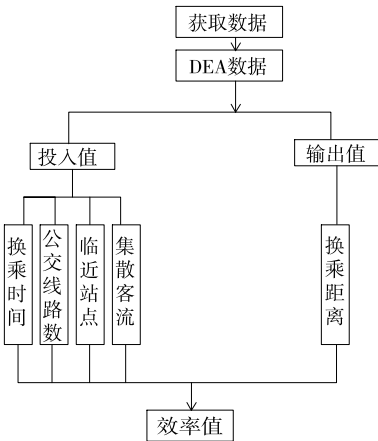


图 1 公交接驳能力评估流程

4 深圳市地铁—公交接驳能力评估

4.1 深圳市公交接驳地铁基础条件

4.1.1 地铁接驳需求

利用 Python 平台在深圳市政府公开数据平台中统计得到深圳地铁刷卡数据,分析得靠近香港方向的港口地铁是主要运输方式,公交则作为辅助方式疏散地铁的客流。选取地铁刷卡数据最多的前 10 个地铁站点(见表 3)对公交接驳能力进行评估。

表 3 工作日一天刷卡出站最多的前 10 个地铁站点

站点	刷卡数/ (次·d <sup>-1</sup> )	站点	刷卡数/ (次·d <sup>-1</sup> )
罗湖	8 894	南山	5 417
福田口岸	6 838	兴东	5 334
会展中心	5 841	大剧院	5 127
老街	5 695	五和	5 056
华强北	5 683	福田	5 019

4.1.2 接驳公交站点

深圳市公交站点共 21 981 个,每个公交站点有 1~44 条公交线路通过。上述 10 个地铁站点附近的公交站点数见表 4,周边可选择的公交数量见图 2,规划的公交线路数见表 5。

表 4 临近地铁站点的公交站点数

地铁站点	临近公交站 点数/个	地铁站点	临近公交站 点数/个
罗湖	1	南山	5
福田口岸	1	兴东	3
会展中心	1	大剧院	1
老街	3	五和	2
华强北	6	福田	4

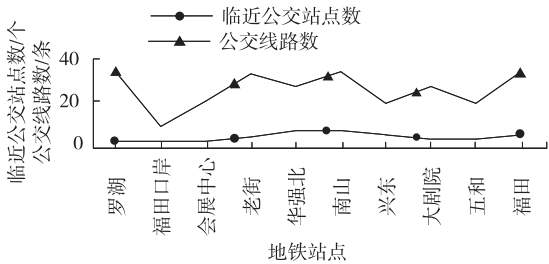


图 2 地铁站点周边可选择的公交数量

表 5 临近地铁站点的规划公交线路数

地铁站点	规划公交线 路数/条	地铁站点	规划公交线 路数/条
罗湖	34	南山	34
福田口岸	8	兴东	19
会展中心	20	大剧院	27
老街	33	五和	19
华强北	27	福田	34

4.1.3 接驳公交线路

深圳市公交线路共 855 条,站点共 21 981 个。从 GIS 平台可视化处理结果(见图 3)来看,深圳公交线路大致呈现西密东疏的特征,西南方向是公交最密集的区域,东边是最稀疏的区域。

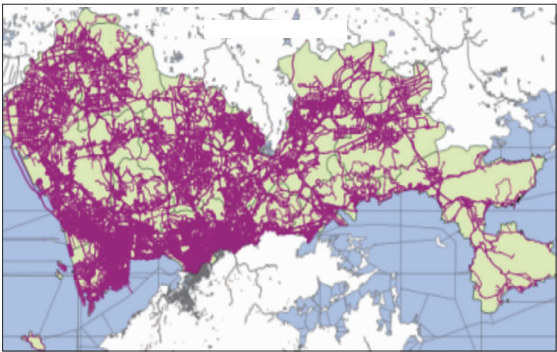


图 3 深圳市公交线路分布

4.2 接驳能力评估

利用 DEA 模型中的 C<sup>2</sup>R 模型,将换乘步行距离作为输出变量,平均换乘时间、公交线路数、临近公交站点数量、集散客流作为输入变量(见表 6),对

表6 深圳市地铁—公交接驳分析数据

地铁站点	平均换乘时间/min	公交线路数/条	临近公交站点数/个	集散客流/(次·d <sup>-1</sup> )	换乘步行距离/m
罗湖	3.00	34	1	8 894	238
福田口岸	3.00	8	1	6 838	186
会展中心	8.00	20	1	5 841	507
老街	3.67	33	3	5 695	255
华强北	5.67	27	6	5 683	369
南山	5.80	34	5	5 417	375
兴东	3.67	19	3	5 334	250
大剧院	5.00	27	1	5 127	352
五和	2.00	19	2	5 056	128
福田	3.40	34	4	5 019	237

公交接驳能力进行评估,分析结果见表7。

表7 深圳市地铁—公交接驳效率分析结果

地铁站点	接驳效率	地铁站点	接驳效率
罗湖	0.787	南山	0.976
福田口岸	1.000	兴东	0.920
会展中心	1.000	大剧院	0.898
老街	0.901	五和	0.965
华强北	0.969	福田	0.899

## 5 结语

该文选取对公交接驳能力影响最大的换乘步行距离、平均换乘时间、公交线路数、临近公交站点数量、集散客流作为评估指标,利用DEA中的C<sup>2</sup>R模型对公交接驳地铁的能力进行评估。对于接驳效率未达到1.000的地铁站点,需进一步调整公交站点位置及公交线路规划。评估中选取的地铁站点均是客流量大且处于成熟地铁网络中的站点,地铁是交通主骨架,公交是辅助交通工具,这种情况下公交接驳的本质是是否能快速消散地铁带来的客流。

该文主要研究成熟地铁网络中客流量较大的地铁站点与公交的接驳,采用DEA模型中的C<sup>2</sup>R函数,其他接驳方式应考虑实际约束条件选择合适的评估方法。

## 参考文献:

- [1] 杨晓光,周雪梅,臧华.基于ITS环境的公共汽车交通换乘时间最短调度问题研究[J].系统工程,2003,21(2):56—59.
- [2] 王卫平.常规公交与城市轨道交通衔接理论方法与评价研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [3] 张兴强,贺杰,朱竟争.基于有色Petri网的轨道换乘设施服务水平评价模型研究[J].交通运输系统工程与信

息,2013,13(5):101—106.

- [4] 张营杰,安连华,任传祥.城市地铁线与常规公交线路接驳问题初探[J].都市轨道交通,2016(5):74—78.
- [5] 戴学臻,吴智伟,王小双.高铁车站接驳方式的换乘效率评价方法[J].城市轨道交通研究,2016(8):55—58.
- [6] 任芳.城市常规公交与轨道交通接驳线路优化研究[D].长沙:长沙理工大学,2010.
- [7] 林利.重庆市常规公交与轨道交通接驳线路优化研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [8] 杨磊.轨道交通沿线公交线网评价方法研究[D].苏州:苏州大学,2017.
- [9] 石小伟,邹逸江,马仁锋,等.宁波市轨道交通接驳公交线网的计量模型设计及实证[J].现代城市轨道交通,2019(1):42—49.
- [10] 钱程,阳小兰,朱福喜.基于Python的网络爬虫技术[J].黑龙江科技信息,2016(36):273.
- [11] 曾晓娟.基于Python爬虫技术的应用[J].办公自动化,2018(20):62—64.
- [12] 吴永聪.浅谈Python爬虫技术的网页数据爬取与分析[J].计算机时代,2019(8):94—96.
- [13] 李俊华.基于Python的网络爬虫研究[J].现代信息技术,2019(20):26—27+30.
- [14] 李福荣,贾志刚.基于Python的校园贴吧数据爬虫技术研究[J].技术与市场,2019,26(11):34—35.
- [15] 夏余丽,翟栋栋,李阳.基于空间句法和POI公交数据的西安轨道交通可达性评价:以西安市为例[C]//持续发展理性规划:2017中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用).北京:中国城市规划学会,2017.
- [16] 李伟,张涵之.基于POI的厦门岛常规公交线路可达性评价[J].城市建筑,2018(8):112—115.
- [17] 姜佳怡,戴菲,章俊华.基于POI数据的上海城市功能区识别与绿地空间评价[J].中国园林,2019,35(10):113—118.

(下转第26页)