

一种基于可达性的城市公交资源分布评价方法

黄泽 江捷

【提要】公交非“门到门”特性，导致公交站外时间成为影响公交方式可达性的关键因素，传统的公交可达性评价方法并未考虑站外步行时间，评价结果与实际存在一定的偏差。提出了一种基于可达性的城市公交资源分布评价方法，该方法的核心是考虑真实的公交步行时间和站点空间分布格局，以需求点一定步行时间内所覆盖的站点为计算对象，通过计算每个需求点的可达性指标，来研究城市公交资源的空间分布特点。最后，基于本文提出的方法，利用大数据技术和 GIS 开发技术获取了网路地图的地理信息数据，以深圳市为研究区域，进行了公交可达性的案例计算。结果表明，可达性空间分布格局符合深圳的实际交通运行状态以及整体用地开发特征，从而验证了模型的合理性，并且该方法在全市公交政策的制定以及重点片区的交通需求管理等方面具有良好的应用前景。

【关键词】公交可达性；步行时间；大数据；GIS

1 引言

可达性是城市规划的一个基本概念，已被广泛应用于城市规划、交通管理、设施选址分析以及土地利用等领域。对于可达性的研究最早源于古典区位论，Reilly 将可达性定义为度量交通成本的指标[1]。随着人们对可达性概念认识的不断深化，涌现了许多经典的可达性计算模型，对可达性的定义也有所不同，如从城市区域和用地的角度出发，可达性用以计算区域间的空间阻隔，分析该区域到达其他地方的便捷性；从交通系统的角度出发，可达性则是评价搭乘交通工具，人们出行的难易程度；从个体角度出发，可达性反映了个体出行所能获取的机会、效用等[2]，用以衡量个体在交通、生态环境中出行的自由程度。

公共交通是城市人群出行最重要的方式之一，其可达性对于提高公交服务水平十分重要。在国际大都市最新一轮规划中，伦敦交通署将公共交通可达性上升到城市战略层面，其提出的 PTAL 可达性衡量指标考虑了个体从各个地区出发所能获取的公交服务水平高低[3]；纽约交通规划则强调了交通系统的公平性，以一定时间约束下个体搭乘公共交通工具所能覆盖的人口和岗位规模大小衡量公共交通可达性[4]。其中，伦敦 PTAL 可达性评价方法从乘客需求角度出发，分析了一定时空约束下个体所能获取的公交服务大小，较为真实地反映了城市公共交通设施的可达性水平。目前，PTAL 评价体系在国内城市尚未得到应用。

如今许多城市中心区，虽然是公共交通供给水平最高的区域，但往往也是拥堵高发区。

主要原因在于交通政策制定者没有从使用者的角度来体现公平,仅仅只强调设施供给上的均衡。基于此,本文以深圳市为研究区域,借鉴伦敦 PTAL 评价体系,提出了一种基于可达性的城市公交资源分布评价方法。该方法考虑了乘客步行到站的时间以及公交站点的空间布局,本质上反映了地区的发展机会,能够在各种空间尺度下反映地区间公交资源分配差异,从而为判断公交服务水平,更有针对性地制定交通政策和公交发展方案奠定基础。

2 城市公交资源分布评价方法

2.1 技术路线

目前国内对于公共交通可达性的研究主要分为两类,一是基于经典的空间阻隔模型[5-6],以时间距离为衡量指标,计算乘客搭乘公交的成本。二是从设施的供给水平角度,以线路覆盖率和密度等指标反映可达性水平[7]。这些方法主要存在两个问题,一是由于步行网络难以获取,其往往以直线距离代替实际步行距离,而根据《深圳市客运交通规划基础数据普查》,搭乘常规公交所花费的步行时间占公交全过程时耗的 33%[8],以步行为主的慢行交通是公共交通实现门到门服务最重要的接驳方式;二是没有基于个体的角度,考虑个体的选择行为,从个体所能获取的机会大小评价可达性。

因此,本文借鉴伦敦 PTAL 公交评价方法,提出一种基于可达性的城市公交资源分布评价方法。主要技术路线如下:首先是基础数据获取,研究充分利用了大数据获取技术,基于网络地图,抓取真实的乘客步行到站时间以及公交线网数据。然后根据步行时间,基于等时线的思想,利用 ArcGIS 空间分析技术绘制了从需求点出发的等时线。根据乘客的最大可忍受步行时间,确定步行范围及其所覆盖的站点。最后考虑站点类型、线路数、权重以及步行到站时间,计算得到各个需求点步行范围内的公交站点可达性之和,从而得到需求点的可达性,用以反映城市公交资源分布特征,技术路线如图 1 所示。

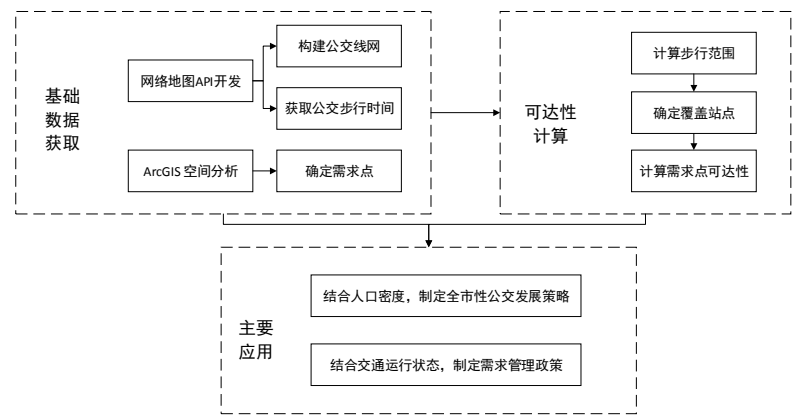


图 1 技术路线图

2.2 数据获取

2.2.1 需求点

传统的可达性研究一般以交通小区或者一定大小的栅格为分析单元, 评价结果偏重宏观空间层面, 不能细致反映微观尺度的交通特征。为了反映城市空间中任意点的可达性水平以及公交站点的空间分布格局, 研究利用 GIS 空间分析工具, 对研究区域对研究区域每隔 200 米插入一个样本点, 每一个样本点作为一个需求点, 共得到 50549 个需求点。将以需求点为中心点、一定步行范围内所包含的公交站点作为公交可达性度量的基本单元。需求点的选取可根据空间尺度的不同而调整, 需求点之间的间隔越小, 计算的精度越高。

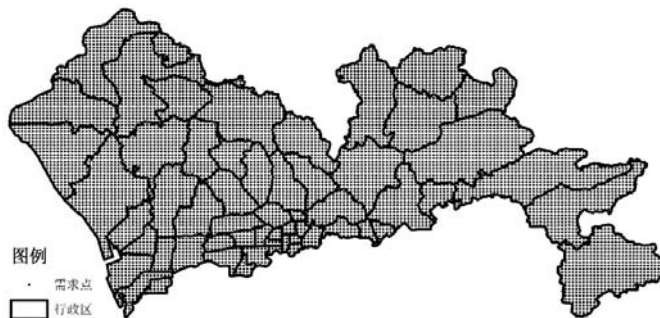


图 2 需求点分布图

2.2.2 公交线网

城市公交线网一直处于变化调整的过程中,因此往往难以获取实时的、最新的公交线网基础数据。网络地图如百度、谷歌和高德等,提供了丰富的地理信息数据,其数据更新速度快,覆盖面广。研究以百度地图为例,利用百度开发接口,结合 ArcGIS Engine 二次开发,开发了一套城市公交线网抓取系统,已经成功抓取了深圳市公交及轨道线网数据,主要包括公交及轨道的站点数据(站点名称、站点经纬度信息)以及线路数据。该系统可以广泛应用于国内所有网络地图已覆盖的城市,获取真实、全面的公交线网数据。系统界面如图 3 所示。

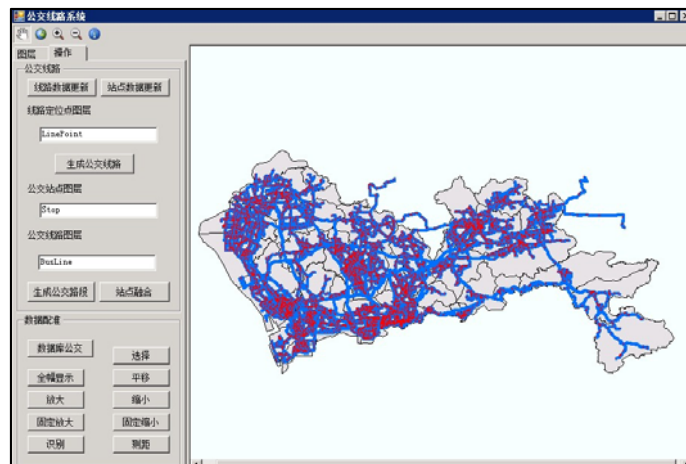


图3 公交线网抓取系统界面

经过抓取获得的深圳市公交线网数据如图 4 所示。深圳公交线网共包括 47858 个站点，904 条线路，深圳交委 1 月份公布的数据为 908 条，与交委公布数据基本一致。数据统一整

合于 GIS 平台中，便于后续的可视化处理及分析计算。

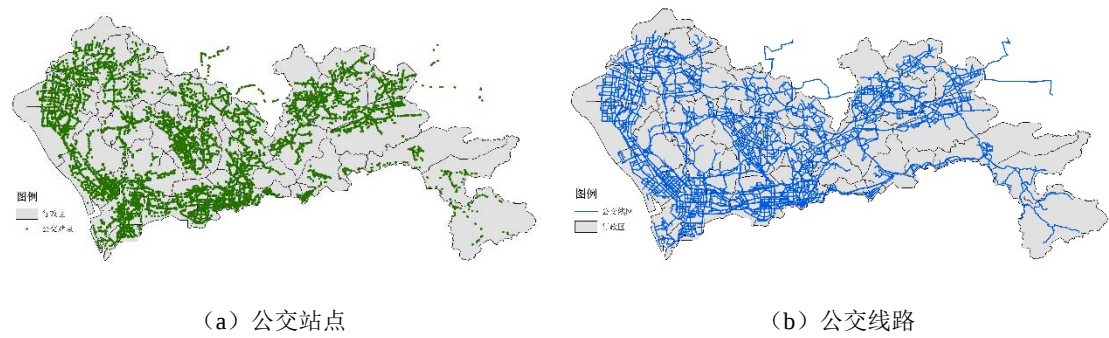


图 4 深圳公交线网图

2.2.3 步行时间

传统的步行时间计算往往采用直线距离除以步行速度得到，反映的步行时间是偏小的，不符合实际情况。百度地图包含了实际的步行路网，能够获取真实的步行时间和步行距离，因此，乘客步行到达公交站点的步行时间计算主要调用百度地图 Direction API，它是一套以 http 形式提供的公交、驾车、步行查询检索接口，返回 xml 或 json 格式的检索数据，主要流程如图 5 所示。利用百度地图接口，可以获取步行到达站点的时间，时间精确到秒。

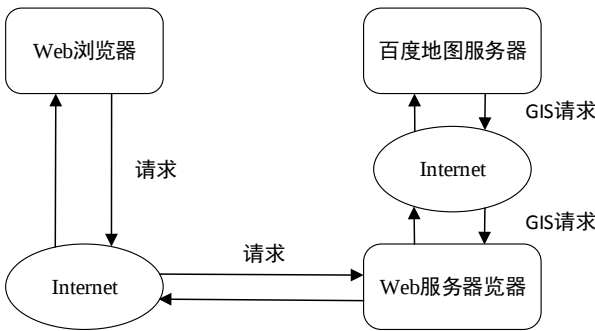


图 5 Direction API 获取数据流程

2.3 模型构建

模型计算主要考虑以下两个因素：①需求点一定步行范围内的公交站点类型。如大型枢纽、换乘站或普通停靠站；②以需求点为出发点、一定步行时间内所能够到达的公交站点数量以及各站点的属性。

2.3.1 步行范围计算

在理想无障碍的平面空间下，一般以起始点为中心，以一定时间下的步行距离为半径确定步行范围。而在实际路网中，实际的路网和建筑障碍约束也是决定步行范围大小的主要因素。基于网络地图可以获取需求点到达各个站点真实的步行时间，而区域内其他位置的点的步行时间则可通过其邻近站点的时间推算得之，这里运用反距离加权插值法（IDW）实现步行范围的空间插值和渲染。

IDW 以待插点与样本点之间的距离作为权重，对样本点值进行推算，样本点与待插点

间的距离越小，对插值点的影响越大，反之影响越小。假设某区域内分布了若干个地铁站点 $D(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, m)$ ，各站点的可达性值为 A_i 。若直接将各个 A_i 值相等的站点相连，由于样本点数量不足等原因，无法得到平滑的曲线。采用 IDW 插值方法，可以得到圆滑的曲线，计算公式如下。

$$A(Z) = \left(\sum_{i=1}^m \frac{Z_i}{[d_i(x, y)]^n} \right) / \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{[d_i(x, y)]^n} \right) \quad (1)$$

式中， $d_i(x, y) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ ， $d_i(x, y)$ 为待插点 $A(x, y)$ 与站点 $D(x_i, y_i)$ 之间的距离； m 为区域内站点的数目； $A(Z)$ 为待插点的可达性； Z_i 为第 i 个站点的可达性；权重系数 $w_i(x, y) = 1/[d_i(x, y)]^n$ ， n 控制着权重系数随待插点与周围样本点之间距离的增加而下降的程度。一般而言，步行 10 分钟内可到达目的点或交通兴趣点时，人们会感到较为轻松，而超过 10 分钟时，大部分人会感到疲惫^[9]。因此，本文将 10 分钟定为行人可接受的最大步行时间。利用空间插值，可以得到需求点不同时间约束下所覆盖的站点，如图 6 所示。

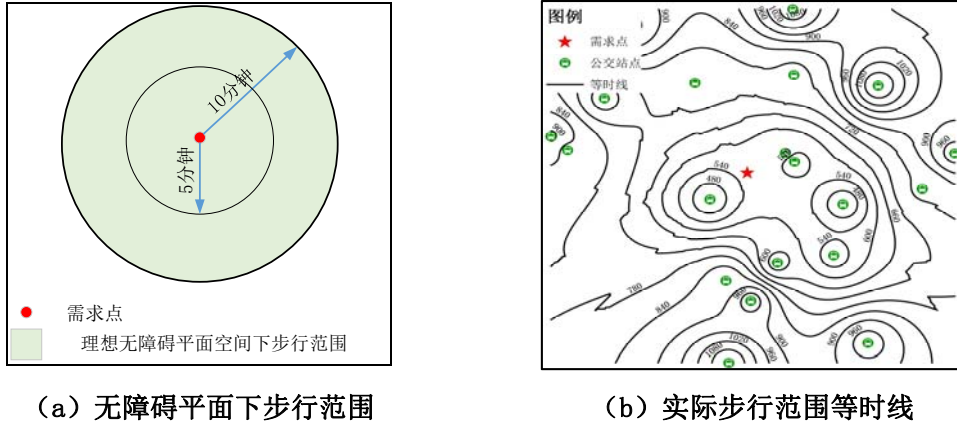


图 6 步行范围计算

2.3.2 可达性计算

不同类型的站点具有不同的等级和服务水平，对乘客具有不同的吸引力，研究认为站点权重、步行时间以及线路数是影响站点可达性的关键因素，站点可达性计算公式如下：

$$W_i = \partial_m \times L_i / T_w \quad (2)$$

其中， W_i 是站点 i 的吸引力， ∂_m 是第 m 类站点的权重， L_i 是经过站点 i 的线路总数， t_w 为个体步行到达公交站点的的时间。站点权重由站点的换乘能力决定，研究将线路数大于 10 的公交站点定义为普通站点、线路数大于 10 的公交站点定义为换乘站点。普通站点、换乘站点以及轨道站点的权重分别设定为 0.1、0.2 和 0.3。公式表明站点可达性与站点权重和线路数成正比，与到达站点所需步行时间成反比。

因此，乘客从需求点出发的可达性等于步行范围内覆盖的所有公交站点的可达性之和：

$$A_i = W_i \times R(o, d)_j = \sum_m^k \sum_j^n \partial_m \times L_i \times R(o, d)_j / T_w \quad (3)$$

其中， $R(o, d)_j$ 用于判定站点 j 是否处于需求点 i 的步行范围，从需求点出发，仅考虑处于其步行范围内的公交站点。

3 实例研究

在完成上述统计整理工作的基础上，以深圳市为例，运用可达性计算模型求解各个需求点与公交站点间在特定时空约束下的可达性度量值，基于 GIS 有关分析工具得到公交可达性的空间分布图。

3.1 全市可达性的空间特征

利用本文提出的方法，计算得到深圳公交可达性渲染图（如图 7 所示）。虽然深圳公交 500 米覆盖率已经达到 97%，但是公交资源分布存在明显的地区差异性：原特区内公交可达性明显优于特区外，原特区内罗湖、福田轨道网络密集，公交可达性整体优于南山区；原特区外公交可达性较高的地区主要集中在轨道和部分公交走廊沿线，大部分地区公交可达性水平相对较低。可达性水平较高的局部区域主要集中在轨道、公交换乘枢纽，传统商业、就业中心等地区，前者如福田站、深圳北站以及布吉站，后者如罗湖金三角区域、会展中心片区等。深圳市整体公交可达性格局与轨道线网和公交走廊形态高度吻合。

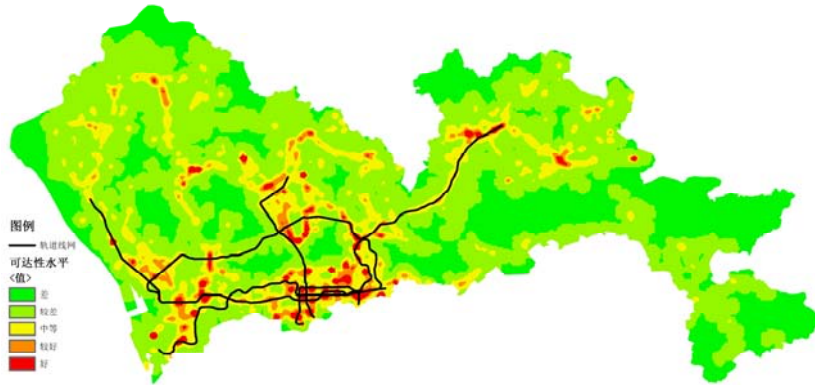
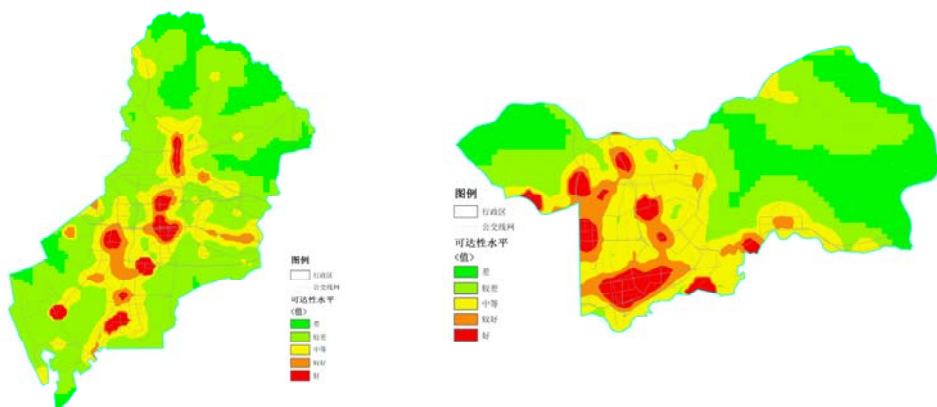


图 7 深圳公交可达性渲染图

3.2 片区可达性的空间特征

可根据需要调节数据获取的精度，适应片区可达性分析需求。以南山区和罗湖区为例分析公交可达性差异，如图 8 所示。罗湖区不仅整体公交可达性较高，而且公交可达性较高的地区与主要商业、就业中心高度吻合，比例罗湖金三角地区、笋岗清水河地区等。南山区公交可达性较高的地区主要集中在地铁 2 号线沿线局部地区和南山老城区部分地区，诸如科技园、深圳湾总部基地、留仙洞总部基地等现状及未来就业中心，公交可达性普遍较差。显示出南山区公交资源分布与实际需求可能存在一定的错配。



(a) 南山区

(b) 罗湖区

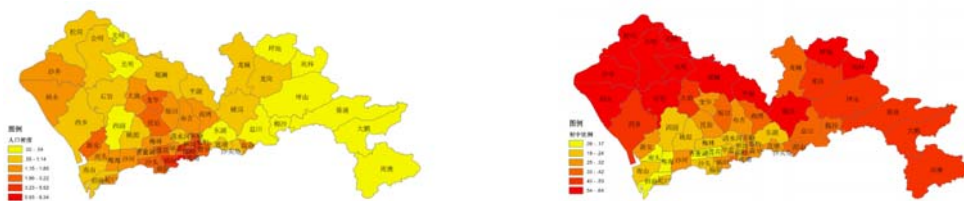
图 8 片区公交可达性渲染图

4 进一步的应用

本文提出的可达性计算方法，能够直观反映公交资源的空间分布特征，为规划统筹空间要素，制定空间发展政策提供有效的分析工作。以下是两个示例：

(1) 结合人口密度，制定全市性公交发展策略。

公交资源分布一定程度上反映了地区发展机会的差异性，将本文提出的公交可达性评价方法与人口密度和结构分布结合，可以为公共交通的均等化发展提供决策支持。由图 9-(a) 可知，深圳市人口分布相对均衡，不仅中心城区人口密度较高，外围福永、布吉、龙城和坂田等街道办，同样具有高密度的人口分布。而根据图 7，外围地区公交资源分布很不均衡，一些人口高密度地区的公交可达性水平较低，应引起足够的重视。当然，除了人口密度，更应关注人口结构及公交需求的差异性。图 9-(b) 显示，深圳初中及以下人口（以农民工为主）大量分布在原特区外机荷高速以外地区，这类地区公交需求与机荷以内地区差异较大，需要制定差异化的公交发展策略。



(a) 深圳市人口密度分布图

(b) 初中及以下文化人口比例图

图 9 深圳市人口分布图

(2) 结合交通运行状态，制定需求管理政策。

根据片区的公交可达性水平，结合实际的交通运行状态，可以为制定相应的交通需求管理政策提供支持。2014 年深圳市常发拥堵路段图显示，罗湖区滨河大道、深南东路、爱国路等路段拥堵较为严重。根据深圳市公交可达性计算结果，罗湖区，特别是罗湖金三角商业中心区具有较高的公交可达性水平。可以尝试在罗湖区个别区域推行拥挤收费、提高停车收

费，达到缓解交通拥堵、改善片区交通运行状态的目的。然而作为交通拥堵恶化较快、民生反映较大的科技园片区，由于现状公交可达性不高，制定交通需求管理政策前应评估公共交通的可替代性，避免造成居民整体福利水平的下降。

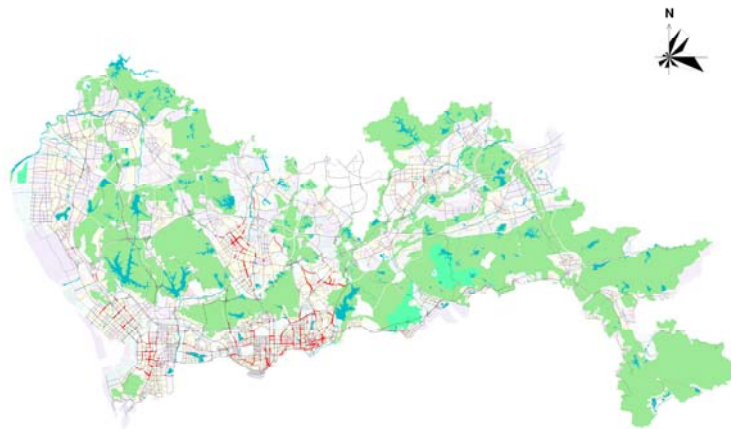


图 10 2014 年深圳市常发拥堵路段分布图

5 结论

笔者提出了一种基于可达性的城市公交资源分布评价方法，方法考虑了乘客步行到达站点的时间、站点属性和级别以及站点空间分布特征等因素。公平原则是可持续城市交通体系的一个重要原则，本文提出的方法本质上反映了城市公共交通资源的分布情况，以可达性为指标对城市公共交通资源分布的公平性进行评价。以深圳为例，对方法进行了应用。结果表明，方法能够较为真实地反映深圳公交资源的空间分布特征，可以为制定全市性公交发展策略和重点片区的需求管理政策提供依据。进一步研究应考虑更多影响可达性的因素，如线路的发车频次以及站点权重的参数设置，建立更完备的计算模型。同时，目前仅在全市和重点片区层面应用了该方法，后续研究需要将方法应用到更多的领域，进一步验证方法的可靠性及实用性。

【参考文献】

- [1] 陈洁. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 100-110.
- [2] Páez A, Scott D M, Morency C. Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators[J]. Journal of Transport Geography, 2012, 25: 141-153.
- [3] Wu B M, Hine J P. A PTAL approach to measuring changes in bus service accessibility[J]. Transport Policy, 2003, 10(4):307-320.
- [4] The City of New York. One New York: The Plan for a Strong and Just City[EB/OL]. <http://www.nyc.gov/html/onenyc/downloads/pdf/publications/OneNYC.pdf>
- [5] 曹小曙, 黄晓燕, 董哲. 基于 GIS 的公共交通可达性与居民出行特征[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2013(5):98-105.
- [6] 沈天思. 城市公共交通可达性时空演化研究——以南京都市区为例[D]. 东南大学, 2014.
- [7] 陈艳艳, 魏攀一, 赖见辉, 等. 基于 GIS 的区域公交可达性计算方法[J]. 交通运输系统工程与信息,

2015(2):61-67.

[8] 深圳市规划国土发展研究中心. 深圳市居民出行特征 2014 年度抽样调查[R]. 深圳: 深圳市规划国土发展研究中心, 2015.

[9] 李孟冬. 步行可达性与地铁车站服务范围的研究[M]// 生态文明视角下的城乡规划: 2008 中国城市规划年会论文集. 大连: 大连出版社, 2008.

【作者简介】

黄泽, 男, 硕士, 深圳市城市交通规划设计研究中心, 助理工程师。电子信箱: huangz@sutpc.com

江捷, 男, 硕士, 深圳市城市交通规划设计研究中心, 工程师。电子信箱: jiangj@sutpc.com