

公交友好导向下的步行路径选择评价与街道空间优化*

黄晶 王磊 贾新锋 董淑敏 吴岩

提 要 公共交通是一种绿色、低碳的出行方式,公交出行步行高选择度站点、街段及相关空间对公交出行具有重要支撑作用。目前社区尺度下对公交出行步行路径选择与街道空间关系量化研究缺乏。通过ArcGIS平台的最近设施点分析与加权泰森多边形模型相组合,建构公交出行步行路径选择模型,对人们以公交站点为目的地的日常步行活动进行模拟,评价公交站点与街道网络的选择强度,并以此为依据提出回应公交出行需求的站点候车空间调整,以及激发公交出行的街道空间公共化改造建议。公交出行步行路径选择模型,能够在社区尺度为既有街道空间优化提供相对客观、精准的设计支持,有助于公交友好社区的塑造。

关键词 公交出行; 路径选择; 选择强度; 街道; 公交站点

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.202102014
文章编号 1000-3363(2021)02-0087-07

作者简介

黄晶, 博士, 郑州大学建筑学院, 副教授,
jingdraa@163.com

王磊, 海南省自然资源与规划厅

贾新锋, 博士, 郑州大学建筑学院, 副教授,
通讯作者, jia69@163.com

董淑敏, 郑州大学建筑学院, 硕士研究生

吴岩, 博士, 郑州大学建筑学院, 讲师

An Evaluation of Walking Path Selection and Optimization of Street Spaces on the Principles of Transit-friendliness

HUANG Jing, WANG Lei, JIA Xinfeng, DONG Shumin, WU Yan

Abstract: Transit is a green and low-carbon travel mode. Transit stops, street segments, and related spaces, which are frequently selected by walking transit users, play an important role in supporting the transit system. At present, there are few quantitative researches on the relationship between transit walking path selection and street space at the community scale. Based on the combination of the Weighted Thiessen Polygons Model and Closest Facility Analysis on the ArcGIS platform, this paper constructs a walking path selection model of transit to simulate people's daily walking activities destined for transit stops, and evaluates the selection of stops and street networks. It then puts forward suggestions on transit shelter adjustment in response to transit travel demand and on street space renewal for stimulating transit travel. The model can provide objective and accurate design support for the optimization of existing street spaces at the community scale, and will help shape transit-friendly communities.

Keywords: transit travel; path selection; intensity of selection; street; transit stop

公共交通是一种绿色、低碳的出行方式^①,对公交出行的倡导有助于塑造城市宜居社区。公共交通具有客运量大、占用空间小、能源消耗低、环境影响弱等优势。在中国城市,尤其是人口密度高、老龄化明显、空间狭仄、基础设施不足的旧城区,公共交通是适宜的出行方式。

公交出行高选择度街道空间及站点,对其具有重要支撑作用。公交出行两端的步行及候车活动质量直接关系着人们选择公交出行的几率。公交出行在起讫点和站点之间通常需要步行活动衔接。出于人的体力和心理承受力等原因,出行者对两端活动质量存在一定要求(杨林川,等,2020)。安全、舒适的街道步行空间与候车空间是公交出行的重要影响因素,尤其是对公交出行依赖度高的老年人。此外,位于公交出行高

* 教育部人文社科项目“基于多样性老年群体微观行为仿真模拟的住区户外空间及环境适老性研究”(项目编号:18YJC760101);国家自然科学基金项目“基于疏散行为-典型空间模型模拟的养老设施养护空间布局优化研究”(项目编号:51908510);河南省重点研发与推广科技攻关项目“健康城市导向下的居住型旧街区空间弹性优化研究”(项目编号:212102310961)

选择度街段和站点周边的服务设施有助于增强公交出行的吸引力 (Critton E, 等, 2019)。在快节奏城市生活驱使下城市居民每天可自由支配时间有限。人们在公交站点与家之间步行中可以到达其他目的地, 能够减少人们为了满足日常需求所花费的额外时间。其中, 以社区生活为导向的服务设施, 如小型商业店面、街头绿地、图书馆、社区中心等, 有利于公交出行几率的提高 (Project for Public Spaces, 1998)。

对公交出行步行路径选择的精准评价, 发现高选择度街段与站点, 并进行有针对性的街道空间优化设计, 能够有效提高公交服务质量、增强公交出行吸引力。目前为止, 关于公交出行步行路径选择与社区空间关系的量化研究有限, 尤其是社区尺度下针对城市旧城区的相关研究更是缺乏。现有研究主要关注以下方面: ①公交出行全过程路线选择、站点布置、以及时间控制等 (Kujala R, 等, 2018; 杨晓庆, 2015; 刘岳峰, 等, 2008; 云美萍, 等, 2017; 宋小冬, 等, 2020), 研究成果集中于城市交通及相关领域; ②公共交通导向开发模式 (TOD) 的相关探索。TOD可以被视为一个在逐步完善的城市发展模式, 它涵盖从区域、城市到社区的多尺度。在三十多年的发展中, 国内外相关理论与实践成果丰硕 (李珽, 等, 2015; Loukaitou-Sideris A, 等, 2020; 任春洋, 2010; 马强, 2003; 黄卫东, 等, 2010)。中国城市旧城区具有街区尺度大且封闭的特征, 它是在特定历史、社会背景下形成的, 具有特殊性。目前TOD领域缺乏社区尺度上针对中国城市旧城区的相关研究。基于以上讨论, 论文在ArcGIS平台上结合最近设施点分析 (closest facility analysis) 与加权泰森多边形模型 (Weighted Thiessen Polygons Model), 从公交站点的服务距离与街道网络相关联角度, 模拟人们到达公交站点的步行出行, 从而对公交站点的影响力以及步行路径选择做出量化评测, 提取高选择度站点、街段。并以此为支撑, 从城市设计层面以构建公交友好社区为目标, 对既有街道空间提出有针对性的更新改造建议。

1 研究工具与原理

1.1 最近设施点分析

最近设施点分析通过计算网络中事件点与设施点之间的出行成本, 确定彼此距离最近的事件点和设施点, 并生成最佳路径。模型可以采用距离作为阻抗, 计算出事件点到达出行距离最近设施点的最佳路径 (美国环境系统研究所公司, 2020)。

1.2 加权泰森多边形模型

泰森多边形是某面域范围内每个点到发生元距离小于到其他发生元距离所构成图的点集 (程飞, 等, 2015), 它能够科学、有效地模拟设施点的服务范围划分 (赵学胜, 等, 2002; Aurenhammer F, 1991; Okabe A, 等, 1997; 涂伟, 等, 2013; 孙霞, 等, 2016)。

加权泰森多边形模型为发生元点添加了不同权重 (Dong P, 2008)。现实城市中, 设施点因所在线路、规模等不同, 对人们的吸引力存在差异性。加权泰森多边形能够相对有效地对设施点差异性进行模拟 (Okabe A, 等, 1994; 闫卫阳, 等, 2003; 赵春燕, 等, 2010)。

1.3 研究原理

1.3.1 步行出行链的建构

结合研究区片城市形态, 建构“建筑出入口-地块出入口-公交站点”步行链 (图1)。在中国城市旧城区, 受街道网络结构、街区尺度与边界、地块分布以及建筑布局等因素的影响, 人们从建筑出入口出发一般经由地块沿街出入口, 到达沿街公交站点 (可逆向)。因此, 步行出行可以被划分为以下两个场景: ①“建筑出入口-地块出入口”: 路径选择多受最短步行距离影响, 路径距离是主要制约因素; ②“地块出入口-公交站点”: 除距离外, 作为目的地的公交站点规模对公交出行导向下的步行路径选择具有重要影响。

1.3.2 研究工具的组合

最近设施点分析和加权泰森多边形模型在路径选择分析方面各有侧重。最近设施点分析通过对路径距离进行点到

点的计算, 突出了街道网络形态在模拟分析中的重要性。但在模型分析中, 起讫点是均质的, 忽略了设施点差异性对路径选择的影响。加权泰森多边形是基于发生元和边界构成的点面模型。它对于发生元可以进行不同加权, 突出作为发生元的站点差异性。但由于其缺乏对街道网络形态的描述, 因此在实际中与步行活动并不完全匹配。

最近设施点分析与加权泰森多边形模型的组合有助于将公交站点与街道网络相关联, 分析人们到达公交站点的步行路径选择: 在“建筑出入口-地块出入口”阶段, 采用最近设施点分析, 计算所有建筑出入口到达出行距离最近地块出入口的最佳路径; 在“地块出入口-公交站点”阶段, 通过创建加权泰森多边形分析公交站点规模对步行活动的影响。二者的组合能够将公交站点规模和街道步行网络形态植入模型中, 有利于相对客观分析公交出行步行活动路径选择。

2 公交出行步行路径选择评价

2.1 研究区片及数据

研究区片处于郑州市旧城区, 具有旧城区典型特征。区片由4条城市快速路和主干道围合而成, 面积约1.2km² (图2)。内部以居住用地为主, 含学校、医院, 以及较为齐全的商业配套设施。共11条道路, 其中包括4条城市主干道, 2条城市次干道, 以及5条城市支路, 公交线路较为密集。

2.1.1 建筑分布

建筑相关数据来自于卫星地图, 并

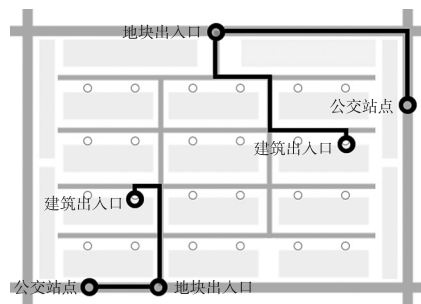


图1 步行出行链

Fig.1 Walking chain

资料来源: 作者自绘。

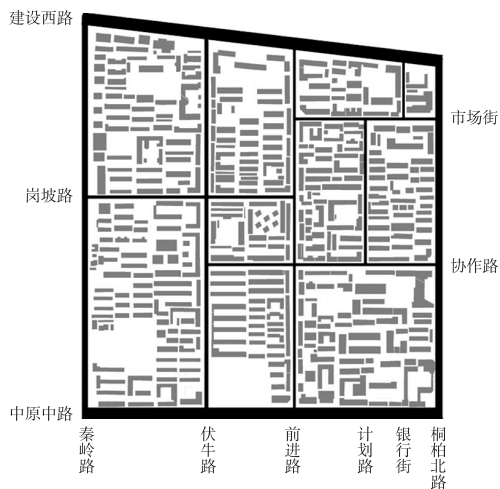


图2 研究区片

Fig. 2 Study area

资料来源：整理于百度地图 <https://map.baidu.com/> [2019-06-20].

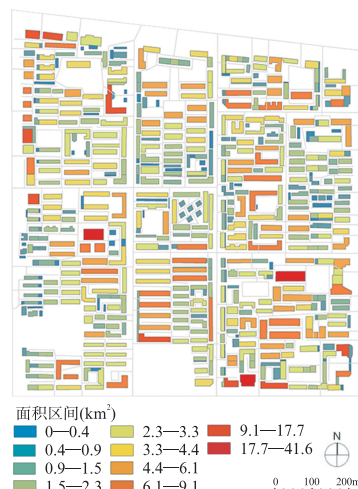


图3 研究区片建筑分布

Fig.3 Building distribution in the study area
资料来源：整理于百度地图 <https://map.baidu.com/> [2019-06-20].

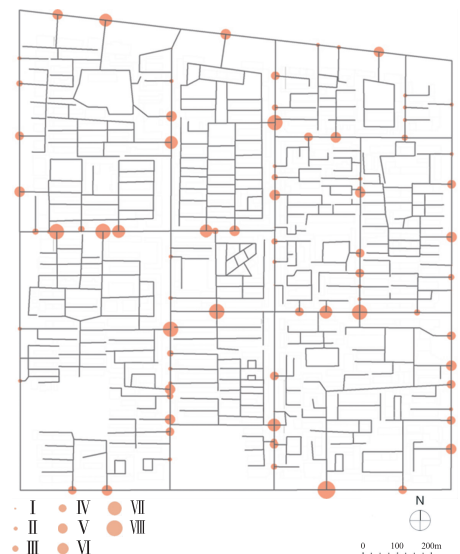


图7 地块出入口使用强度

Fig.7 Use intensity of block entrance
资料来源：作者自绘。

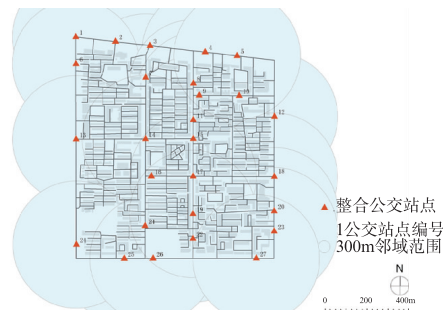
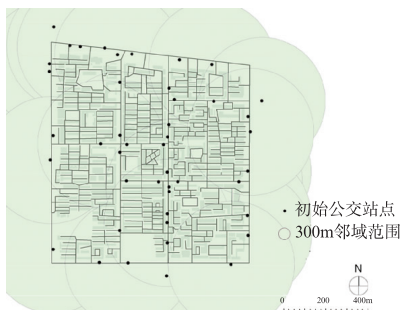


图4 公交站点邻域分析

Fig.4 Analysis of the neighborhood size of bus stations
资料来源：作者自绘。



图5 出入口分布

Fig.5 Entrance distribution
资料来源：作者自绘。

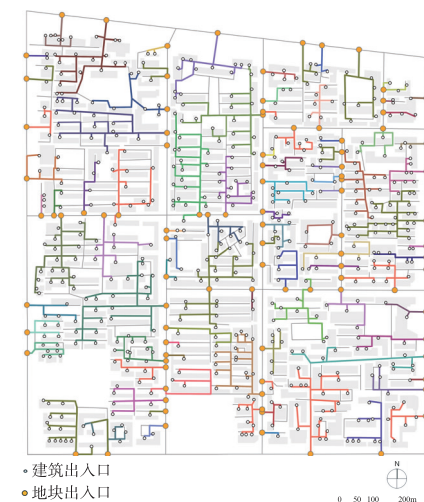


图6 地块出入口最近设施点分析

Fig.6 Analysis of closest facilities around block entrance
资料来源：作者自绘。

结合实地调研进行修正 (图3)。

2.1.2 公交站点分布与规模

通过 ArcGIS 缓冲区工具对公交站点以 300m 范围进行邻域分析。运用平均临近分析对公交站点个数进行整合, 并确定各站点规模^②。计算结果显示, 研究区片中公交站点的距离分布较随机, 因此将临近距离小于 50m 的公交站点合并^③——研究区片中 45 个公交站点被整合为 27 个。分析显示研究区片的站点在整合前后的覆盖率均满足规范要求, 区片适合研究公交出行步行路径选择^④ (图4)。

2.1.3 出入口分布

地块出入口是指街区内各地块与城市街道在路径上的交接点; 建筑出入口是指街区内各建筑的主要出入口, 如住宅建筑单元出入口^⑤ (图5)。

2.2 公交出行步行路径选择模型建构

2.2.1 最近设施点分析用于地块出入口选择分析

运用最近设施点分析计算从建筑出入口到地块出入口的路径选择: 街区周边一般存在多个公交站点。假设居民使用各公交线路的概率相同, 将建筑出入口作为事件点, 地块出入口作为设施点, 建立基于距离阻抗的分析模型。在

街区内将从建筑出入口到地块沿街出入口的网络路径计算结果可视化, 建筑出入口与同一地块出入口的连接用同色线段表示 (图6)。将不同地块出入口所连接的街区内建筑面积进行数据累加计算^⑥, 结果如图7所示。

2.2.2 加权泰森多边形用于公交站点服务范围与服务强度分析

(1) 公交线路数作为加权要素的模拟计算

以公交线路数为权重进行加权泰森多边形分析, 能够体现公交站点作为发生元的影响力。在加权泰森多边形的空间分析中, 同类型的公共设施点因规模不同, 对人群的吸引力与辐射力是不同的, 需要将设施点规模作为权重, 进行加权 (李毅, 2010)。在公交线路设计中, 公交线路设置尽可能满足大多数乘客的方向要求, 站点的分布则是将减少乘客出行总体步行时间、增加客流量作为主要考量因素 (徐强, 2011)。因此站点停靠公交线路数能够体现其吸引力, 即客流量等级, 这在公交线路相对成熟的旧城区中更为明显。因此模型中将每个公交站点停靠公交线路数作为衡量公交站点服务能力的相对指标。杨洋等学者在高铁站点布局分析研究也做了类似的加权设置 (杨洋, 等, 2019)。

模型中将每条公交线路权重被设定为1, 在ArcGIS平台创建加权泰森多边形, 不同的色块代表着公交站点影响强度与服务范围 (图8)。

(2) 建筑面积作为服务需求的模拟计算

建筑面积和使用人数通常成正比关系, 在人群数据难以获取的情况下, 将公交站点服务的建筑面积作为衡量人群活动量的指标相对量。

将地块出入口服务的建筑面积在泰森多边形模型中进行累加, 汇总到多边形内的公交站点上 (图9)。

2.2.3 公交出行步行路径选择评价

(1) 公交出行步行路径选择分布

最近设施点分析和加权泰森多边形的叠加计算呈现了基于公交站点选择的建筑分布关系, 能够反映人们以公交站点为目的地的步行路径选择分布。图10

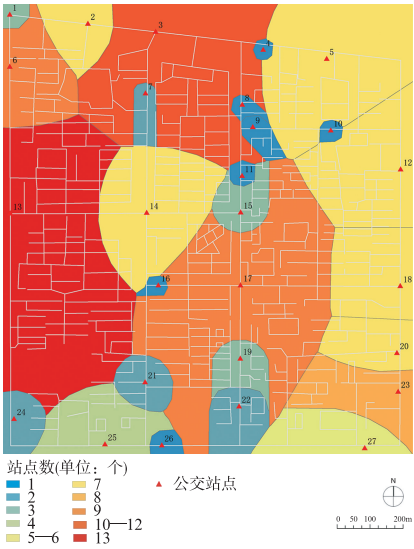


图8 公交线路数作为加权要素的泰森多边形模拟计算

Fig.8 Thiessen polygons model with bus route number as weighted element
资料来源: 作者自绘。

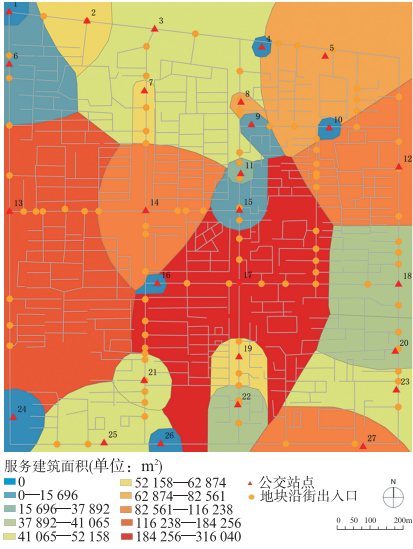


图9 建筑面积作为服务需求的泰森多边形模拟计算

Fig.9 Thiessen polygons model with building area as service demand
资料来源: 作者自绘。

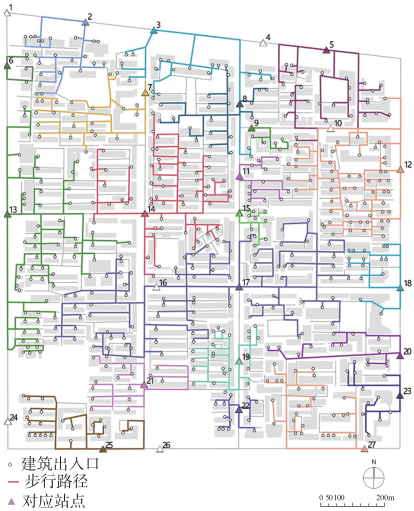


图10 公交出行步行路径选择分布

Fig.10 Distribution of walking path selection for transit travel
资料来源: 作者自绘。

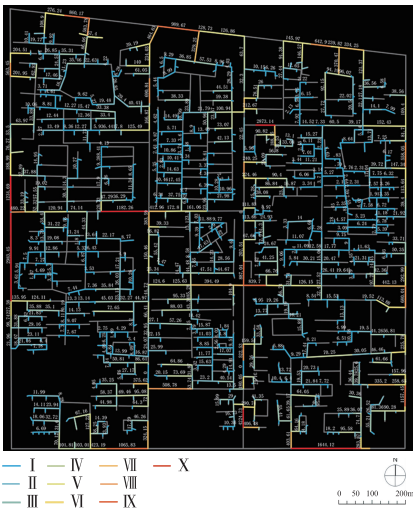


图11 公交站点步行路径选择强度测量

Fig.11 Selection intensity measure of walking path for bus station
资料来源: 作者自绘。

中, 同一颜色路径代表它们选择同一对应公交站点。

(2) 公交站点步行路径选择强度测量
对公交出行步行路径选择强度的测量, 实质是公交友好导向下的街道网络步行价值的评价。通过对上文最近设施点分析模型和加权泰森多边形模型计算结果的识别与解读, 得到每个公交站点对应的地块出入口和建筑出入口, 并生成了一一对应的最佳路径。将建筑出入

口到对应公交站点路径中的街段作为节点, 每条街段到公交站点所经过的路口和转弯数量之和作为阻抗, 按街段长度分配公交站点所汇总的建筑面积, 依据所得数值划分公交出行导向下街道网络步行路径选择强度等级 (图11)。

需要进一步说明的是, 模型模拟了公交出行步行活动的路径选择趋向在街道网络中的表征, 并以分级形式体现步行路径选择的相对概率。受出行目的地

和公交线路方向的制约,居民在街区内路径不一定选择最近地块出入口,经由地块出入口也不一定会选择最近站点。因此,模型与居民实际出行之间存在着一定误差。但是,模型以发现高选择度街段与站点并为街道空间优化设计提供数据支持为主要目标,因此上述误差对目标的达成影响不大。

2.3 模拟结果

2.3.1 公交站点选择强度

模型综合了公交站点的位置、规模以及服务覆盖建筑面积等现状条件,依据公交出行步行路径选择分布,对各个站点服务建筑进行面积加成,能够计算出各个站点的被选择程度,体现它们的服务能力。

研究结果显示人们对公交站点选择强度差异明显,它与公交站点的规模以及建筑服务面积具有相关性(表1)。一

些公交站点能够吸引更多人使用,说明它们具有更高选择强度,例如13号站点;同时,公交站点规模与选择强度具有明显关联,但也存在个别特异现象:如3号站点规模在研究区片中仅次于13号站点,但其选择强度仅位于中位。

2.3.2 步行路径选择强度

模型能够凸显街道网络中步行出行选择的主要路径。图13标示了选择强度中位以上(即V到X)的城市街段。

结合现场调研可知,街道网络步行出行选择强度是街道网络形态、地块出入口分布、容积率等各项因素综合作用的结果。受地块出入口布局的影响,主要南北向街道伏牛路和前进路出现高选择强度街段较东西向的市场街、岗坡路和协作路数量较多,更为分散。主要原因在于前者地块出入口数量更多并且汇总到地块出入口的建筑面积量更大。而受到相邻高容积率地块影响,秦岭路与

中原中路局部街道段选择强度达到最高值(图13)。

3 公交出行友好的街道空间优化建议

公交出行步行路径选择模型能够为公交出行友好的街道空间设计与更新提供数据支持。模型在社区尺度上评价了不同公交站点与街段在公交出行方面的吸引力,标识出高热度的站点与街段。它们对增强公交出行吸引力至关重要,是公交友好社区塑造的重要因素。

3.1 回应公交出行需求的候车空间调整建议

城市中,现有候车空间面积以及相关候车设施设置^⑦多由标准化公交站模块决定,其中部分站点参照泊位数确定面积(石红文,等,2007)。当候车空间以及相关设施配置不足时,会出现干扰人行道、车行道通行问题,严重时甚至会影响公交车的通行效率以及对候车者人身安全造成威胁,导致公共交通服务水平下降、公交出行吸引力降低。

基于步行路径选择模型对公交站点选择度的评价,可以在候车面积以及候车设施的配置等方面,为候车空间的调整与精细化设计提供依据。在人口密度大、公交出行率高、街道空间狭仄的旧城区中,基于上述评价的候车空间调整,在节约稀缺空间资源、提高效率的基础上,有助于尽可能为候车者提供面积适度、设施齐备的候车空间。如结合研究片区的人口分布与构成、街道空间条件、出行比率等,可以将公交站点分为3类:A类为选择度8—10的站点,为高使用站点;5—7的站点,为中使用站点;1—4的站点,为低使用站点(图14)。

3.2 激发公交出行的街道空间公共化改造建议

对高选择度城市街段进行宜步行化改造,并增加日常生活服务设施,为出行者提供更具吸引力的环境,有助于增加公交出行率(潘海啸,等,2019)。

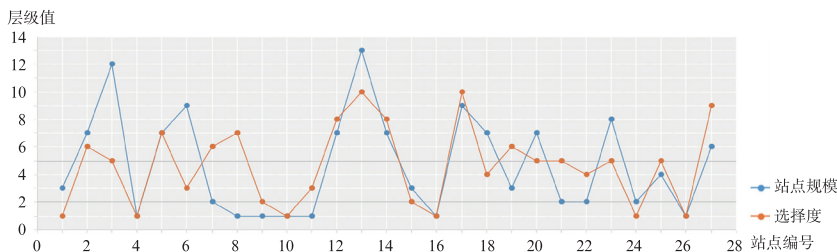


图12 公交站点规模与选择度对比

Fig.12 Comparison between bus station scale and selection intensity

资料来源:作者自绘。

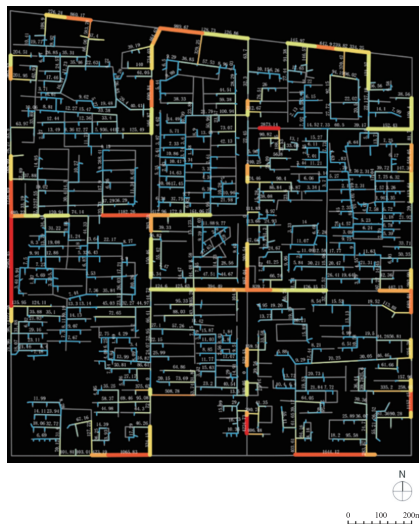


图13 高选择度城市街段

Fig.13 Street segment of high selection intensity

资料来源:作者自绘。



图14 公交站点分级

Fig.14 Bus station grading

资料来源:作者自绘。

人们通常喜欢进行多目标出行,当他们到访一个特定公交站点时,往往还会有衍生目的,例如购买商品、会朋友、去邮局甚至仅仅是在街道上畅游与东张西望 (Baudewyns D, 2001)。“事实上,消费者通过这种途径降低出行成本,而企业应该为这种需求提供相应服务”(Fujita M, 等, 1996),从而将这些活动纳入到人们日常通勤中。包括:①划定重点改造空间范围。例如明确中、高使用站点与V以上街段及其相关空间为重点改造空间(图15)。②重塑重点改造空间。更新相关临街建筑空间功能,设置与公交出行相关功能,如餐厅、干洗店、小超市、街头绿地等(Project for



图15 重点改造空间范围的划定

Fig.15 Designation of key renewal area
资料来源:作者自绘。

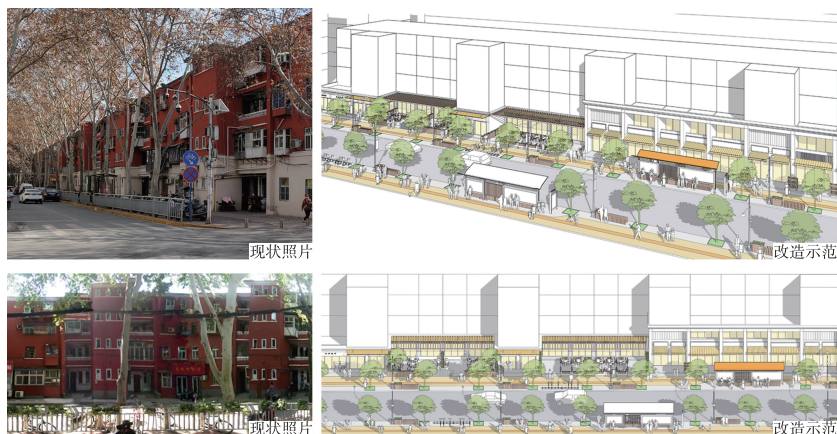


图16 现状与改造示范

Fig.16 Existing condition and renewal demonstration
资料来源:作者自绘。

Public Spaces, 2020);改善相关步行环境,加宽部分高选择度街道的步行空间宽度,增加步行活动相关设施,例如,座椅、街边绿化等(图16)。通过以上优化措施,能够更为有效地提高站点与社区空间的互动(黄建中,等,2014),改善公交出行的步行环境,强化公交出行的便利性与舒适度,从而塑造丰富、活跃社区日常生活。

4 结语

论文以街道网络与步行出行路径选择关系为视角,揭示承载了大量居民生活的旧城区物质空间与人们日常生活的关系,为“存量优化”背景下的街道空间的公交友好导向更新提供相对客观、精准的设计支持。研究有助于减少以日常服务设施为目的地的短程旅行,降低人们对小汽车的依赖,增加公交出行几率,降低城市碳排放量;并创造多类型的服务设施、适宜的步行空间,从而繁荣城市商业、激发居民的日常公共活动,塑造宜居的城市社区 (From Portals to Places, 2020)。

模型原理可应用于其他类型的社区公共服务设施(如幼儿园、街头绿地等)的步行路径选择分析。需要说明的是,由于社区中不同服务设施的服务半径不同(中华人民共和国住房和城乡建设部,2018),因此在针对需要花费不同步行时间的服务设施模型建构中,研

究片区规模设定也应该不同。同时,模型主要着眼于城市步行易达的社区基础服务设施与街道网络的关联研究,对于一些服务范围突破社区,如高等级医院、综合商业娱乐设施等城市级别公共设施并不适用。

注释

- ① 本文中公交出行是指人们搭乘各类公共交通的活动,如公共汽车、地铁、轻轨等,而不是特指公共汽车出行。
- ② 平均临近分析根据每个要素与其最近邻要素之间平均距离计算其最近邻指数。
- ③ 区内公交站点平均观测距离为105.28m,预期平均距离为109.08m。参考公交站点500m的服务距离,其 $\pm 10\%$ 的误差为50m,所以将临近距离小于50m的公交站点合并为一个,位置取其几何中心点。
- ④ 《城市综合交通体系规划准则》GB/T 51328-2018建议,以300m为半径计算公交站点服务面积,公交覆盖率不得小于城市建成区面积的50%;以500m为半径计算,不得小于90%。
- ⑤ 部分朝向街道的公共建筑(如沿街店面)出入口,因数量多、人流少而忽略不计。
- ⑥ 研究区中以居住建筑为主,服务建筑面积的大小基本能够反映地块出入口步行活动使用频率的高低。
- ⑦ 指人流导引围栏、座椅、垃圾桶等设施。

参考文献 (References)

- [1] AURENHAMMER F. Voronoi diagrams——a survey of a fundamental geometric data structure [J]. ACM Computing Surveys(CSUR), 1991, 23 (3): 345-405.
- [2] BAUDEWYNS D. Urban public facility location, multipurpose trips and spatial competition: equilibrium and welfare analysis[R]. Feunl Working Paper, 2001(wp400).
- [3] 程飞,梁勤欧.基于断裂点理论和网络加权voronoi图分析的北京市商业中心辐射域研究[J].浙江师范大学学报(自然科学版), 2015, 38(2): 212-219. (CHENG Fei, LIANG Qinou. Radiation domain of commercial centers in Beijing based on breakpoint theory and analysis of road network weighted voronoi diagram[J]. Journal of Zhejiang Normal University: Natural Science Edition, 2015, 38(2): 212-219.)
- [4] CRITTON E, POLSTEIN J. Destination station: transforming bus stops through community outreach[R]. Project for Public Spaces, 2019.
- [5] DONG P. Generating and updating multiplicatively weighted voronoi diagrams for point, line and polygon features in GIS[J]. Computers & Geosciences, 2008, 34(4): 411-421.
- [6] FUJITA M, THISSE J F. Economics of agglomer-

- ation[M]. Oxford University Press, 1996, 10(4): 0-378.
- [7] GB50180-2018. 城市居住区规划设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018-12-01. (GB50180-2018. Standard for urban residential planning and design[S]. Beijing: China Architectural & Building Press, 2018-12-01.)
- [8] 黄建中, 余波. 接驳城市轨道交通的社区公交研究——以上海市为例[J]. 城市规划学刊, 2014, 216(3): 77-84. (HUANG Jianzhong, YU Bo. An research on integrating community bus with urban railway system: the case study of Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2014, 216(3): 77-84.)
- [9] 黄卫东, 苏茜茜. 基于TOD理论的公交社区建设模式研究——以杭州为例[J]. 城市规划学刊, 2010, 192(S1): 151-156. (HUANG Weidong, SU Xixi. Transit oriented community development based on TOD theory—the example of Hangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2010, 192(S1): 151-156.)
- [10] KUJALA R, WECKSTRÖM C, MLADENOVIĆ M N, et al. Travel times and transfers in public transport: comprehensive accessibility analysis based on pareto-optimal journeys[J]. Computers Environment & Urban Systems, 2018, 67: 41-54.
- [11] 李珽, 史懿亭, 符文颖. TOD概念的发展及其中国化[J]. 国际城市规划, 2015, 30(3): 72-77. (LI Ting, SHI Yiting, FU Wenyang. Evolving TOD concept and its sinicization[J]. Urban Planning International, 2015, 30(3): 72-77.)
- [12] 李毅. Voronoi图在公共服务设施规划中的应用[J]. 科技信息, 2010(8): 83-83. (LI Yi. Application of voronoi diagram in public service facility planning[J]. Science and Technology Information, 2010(8): 83-83.)
- [13] 刘岳峰, 张鑫, 孙华波, 等. 公交出行完整路线计算方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(4): 375-378. (LIU Yuefeng, ZHANG Xin, SUN Huabo, et al. Complete route computing for traveling by public transport[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(4): 375-378.)
- [14] Loukaitou-Sideris A, Rojas J. Developing public participation tools in transit dependent communities[EB/OL]. 2020-08-20. <https://www.pps.org/>
- [15] OKABE A, BOOTS B, SUGIHARA K. Nearest neighbourhood operations with generalized voronoi diagrams: a review[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1994, 8(1): 43-71.
- [16] 马强. 近年来北美关于“TOD”的研究进展[J]. 国际城市规划, 2003, 24(5): 45-50. (MA Qiang. Recent studies on transit-oriented development in north America[J]. Urban Planning International, 2003, 24(5): 45-50.)
- [17] 美国环境系统研究所公司. 最近设施点分析[EB/OL]. 2020-04-25. <https://desktop.arcgis.com/>. (Environmental Systems Research Institute Co., LTD. United States. Recently facilities point analysis[EB/OL]. 2020-04-25. <https://desktop.arcgis.com/>.)
- [18] OKABE A, SUZUKI A. Locational optimization problems solved through voronoi diagrams[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 98(3): 445-456.
- [19] 潘海啸, 高雅, 陈强, 等. 多模式地面交通出行体验评价体系与改善策略——以广州为例[J]. 城市规划学刊, 2019, 250(3): 24-32. (PAN Haixiao, GAO Ya, CHEN Tao, et al. Travel experience evaluation and the enhancement of multi-modal ground transportation—a case study of Guangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2019, 250(3): 24-32.)
- [20] Project for Public Spaces. From portals to places: reimagining transit hubs and transfer points[EB/OL]. 2020-08-20. <https://www.pps.org/>
- [21] Project for Public Spaces. Portals to places initiative[EB/OL]. 2020-04-25. <https://www.pps.org/>
- [22] Project for Public Spaces. Transit-friendly streets: design and traffic management strategies to support livable communities[M]. Washington, D.C.: National Academy Press, 1998.
- [23] 任春洋. 美国公共交通导向发展模式(TOD)的理论发展脉络分析[J]. 国际城市规划, 2010, 25(4): 92-99. (REN Chunyang. An analysis on theoretical origins and evolution of transit-oriented development model in the U.S.[J]. Urban Planning International, 2010, 25(4): 92-99.)
- [24] 石红文, 罗良鑫, 鲍同振. 公交中间站类型与规模的确定方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 30(2): 83-87. (SHI Hongwen, LUO Liangxin, BAO Tongzhen. Research on the determination method of type and scale of bus intermediate station[J]. Transportation Systems Engineering and Information, 2007, 30(2): 83-87.)
- [25] 宋小冬, 李晓晗, 齐文菲, 等. 城市道路网络拓扑结构对常规公共交通的适宜性评价[J]. 城市规划学刊, 2020, 258(4): 43-50. (SONG Xiaodong, LI Xiaohan, QI Wenfei, et al. A suitability evaluation of urban road network topology for conventional bus transits[J]. Urban Planning Forum, 2020, 258(4): 43-50.)
- [26] 孙霞, 李早, 李瑾, 等. 基于GPS技术的小学生放学路径调查与学区服务半径研究[J]. 南方建筑, 2016, 172(2): 80-85. (SUN Xia, LI Zao, LI Jin, et al. Survey of primary school students' route after school and study on service radius of school district based on GPS technology[J]. Southern Architecture, 2016, 172(2): 80-85.)
- [27] 涂伟, 李清泉, 方志祥. 一种大规模车辆路径问题的启发式算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(3): 307-310, 338. (TU Wei, LI Qingquan, FANG Zhixiang. A heuristic algorithm for large scale vehicle routing problem[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(3): 307-310, 338.)
- [28] 徐强. 公交线路设置的经济效益分析[J]. 人民公交, 2011, 8(8): 82-83. (XU Qiang. Economic benefit analysis of bus route setting[J]. People's Public Transport, 2011, 8(8): 82-83.)
- [29] 闫卫阳, 郭庆胜, 李圣权. 基于加权Voronoi图的城市经济区分方法探讨[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003(4): 567-571. (YAN Weiyang, GUO Qingsheng, LI Shengquan. Study on the method of urban economic zone division based on weighted voronoi diagram[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 2003(4): 567-571.)
- [30] 杨林川, 崔叙, 喻冰洁, 等. “末梢时间”对保障房居民公共交通出行的影响[J]. 规划师, 2020, 36(4): 50-57. (YANG Linchuan, CUI Xu, YU Bingjie, et al. The effect of walking and wait time on the transit travel of residents in affordable housing[J]. Planners, 2020, 36(4): 50-57.)
- [31] 杨晓庆. 城市居民公交出行的时间价值及可靠性价值研究[D]. 昆明理工大学硕士学位论文, 2015. (YANG Xiaoping. Study on travel time value and time reliability value of public transport[D]. The Dissertation for Master Degree of Kunming University of Science and Technology, 2015.)
- [32] 杨洋, 孙华灿. 基于加权Voronoi图的高铁站场点布局分析——以江苏省为例[M]//活力城乡 美好人居——2019中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用). 中国建筑工业出版社, 2019: 832-840. (YANG Yang, SUN Huacan. Layout analysis of high-speed railway stations based on weighted voronoi diagram—a case study of jiangsu province[M]//Vibrant urban and rural areas, beautiful human settlements—proceedings of the 2019 China Urban Planning Annual Conference (05 new urban planning technology application). China Architecture & Building Press, 2019: 832-840.)
- [33] 云美萍, 刘广洋, 刘芳. 公交服务质量变化对出行方式选择行为的影响[J]. 中国公路学报, 2017, 30(7): 119-125. (YUN Meiping, LIU Guangyang, LIU Fang. Influence of change of public transportation service quality on travel mode choice behavior[J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 30(7): 119-125.)
- [34] 赵春燕, 蒋琼星, 周建平. 基于加权Voronoi图的湖南省城市影响范围分析[J]. 测绘通报, 2010, 399(6): 59-61. (ZHAO Chunyan, JIANG Qiongxing, ZHOU Jianping. Analysis of urban influence area in Hunan province based on weighted voronoi diagram[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010, 399(6): 59-61.)
- [35] 赵学胜, 陈军, 王金庄. 基于O-QTM的球面VORONOI图的生成算法[J]. 测绘学报, 2002(2): 157-163. (ZHAO Xuesheng, CHEN Jun, WANG Jinzhuang. QTM-based algorithm for the generating of voronoi diagram for spherical objects[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002(2): 157-163.)