

社区生活圈公共交通可达性的测度优化与评价

——以上海市杨浦区居住小区为例

王欣宜 窦寅

【摘要】研究从公共交通设施的可获得性入手，基于机会累积模型，对现有公共交通可达性的测度方法进行优化，考虑各类公共交通方式的速度、发车间隔以及站点的实际位置分布，提出公共交通可达性水平测度的优化方式，并在社区生活圈层面进行评价应用。利用 ArcGIS 软件，以上海市杨浦区居住小区为例进行公共交通可达性水平测度，从空间与时间的不同维度分析其特征，结果表明：空间圈层上呈高可达性聚集分布、时间尺度上体现出速度与城市功能的空间匹配。最后对模型在优化城市结构、划定政策区域以及公共服务与商业选址层面的应用前景进行了展望。

【关键词】社区生活圈；可达性；公共交通；轨道交通；居住区

0 引言

自 2020 年 9 月我国在第七十五届联合国大会一般性辩论上第一次提出“碳达峰目标”与“碳中和愿景”以来，我国已多次在国际与国内表明了碳减排的立场。在城市交通领域，作为城市碳排放的重要来源之一——城市交通模式也亟待转型。除了停车收费、限行等对传统燃油私家车使用的抑制，以及对新能源汽车的推广与普及，最重要的是机动交通出行方式的转变，从小运量、高空间占有率、高人均碳排放的个体交通转向大运量、低空间占有率、低人均碳排放的公共交通。对于城市建成空间，如何发现公共交通服务的覆盖盲区、如何评价公共交通使用的难易程度、如何对现有的公共交通资源进行最大化配置、充分发挥其效能，则需要通过对公共交通可达性的测度将公共交通的服务水平量化。

可达性在空间层面主要存在三种解读，其一为克服空间阻隔的难易程度（Ingram D R, 1971），其二为单位时间内可获得的发展机会数量（Wachs M, Kumagai T G, 1973），其三为两点之间相互作用的潜力（Hansen W G, 1959）。它们的本质均为对空间相互作用关系的量化，且空间的相互关系需要借助行为中介，即人来展开，因此空间可达性即可等效于该点人的可达性^[1]。研究与应用中所使用的“可达性”通常指公共交通可达性，它是连接城市交通系统与城市土地利用系统的纽带，是引导城市合理使用公共交通、低碳可持续发展的重要抓手。近年来，研究逐渐关注公共交通可达性与城市公共交通政策制定、城市公共服务设施布局等方面的联系，搭建两者之间的评价模型；数据类型的多样化与开源化也使得研究涵盖的层面

逐渐扩大。如伦敦公共交通可达性水平（Public Transport Accessibility Level, PTAL）是对大伦敦全域公共交通服务的距离与频次进行测度,通过评价结果分级为相关交通政策的制定提供依据^[2-3];又如通过公共交通可达性辅助保障性住房空间选址评价^[4-5]、公共服务设施选址布局^[6-7]、微循环公交线路选线等^[8]。对于评价模型与方法,也有不少学者进行了较为完善的总结,主要包括距离度量模型、空间阻隔模型、机会累计模型、重力模型、效用模型、时空约束模型以及两部移动搜索模型等^[9-10]。公共服务设施的配置往往与社区生活圈拥有较密切的联系,但日常生活中,居民对于不同层级公共服务设施的使用频次或需求程度是有所不同的,即使是同样的服务设施,距离的远近也会影响其选择的偏好。基于此,本文以社区生活圈为出发点,拟引入与人的实际出行行为相关的折减系数,对机会累计模型角度的既有公共交通可达性的评价方法进行优化。

1 评价模型优化与建构

1.1 技术路线

研究从社区的5分钟、10分钟、15分钟三个生活圈圈层出发,基于机会成本累积,考虑居民步行至公共交通站点的时间折减与交通工具的速度折减,提出了社区生活区圈公共交通可达性水平的优化测度模型。以各居住小区为研究对象,利用其在一定时间生活圈内能够累积获得的公共交通服务机会作为该点在该时间范围下的公共交通可达性水平。通过计算研究区域的公共交通可达性水平,从空间圈层与时间尺度两个层面进行公共交通可达性水平的特征分析。评价模型的创新之处主要在于考虑了各类交通方式站点与居住小区出入口的实际距离、步行时间以及各类公共交通方式的平均旅速、发车间隔、实际运能等自身属性,将步行时间折减与平均旅速折减分别作为评价模型的两部分权重,使测度结果更加符合现实情况。技术路线框图如图1所示。

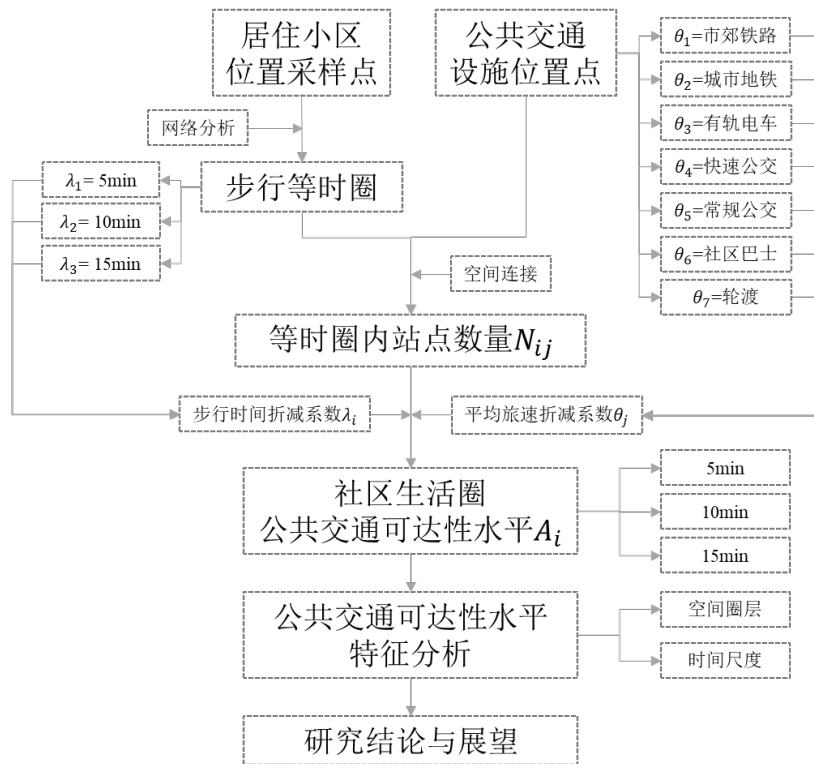


图 1 社区生活圈公共交通可达性水平测度模型技术路线

1.2 数据获取与采集

所需数据主要分为两大类。其一是具有空间位置属性的点、线、面等数据，其二是利用上述空间位置数据进行空间分析的城市网络数据集。首先，通过网络地图开放平台采集研究范围内的居住小区空间位置，通过公交数据平台采集研究范围内的地铁、快速公交、常规公交等各类公共交通方式的站点及线网数据。出于测度一致性的考虑，本研究均选取居住小区主要出入口的坐标作为该小区的空间位置数据。其次，对上述所采集的数据进行地理编码后转换并投影至 WGS84 坐标系，以便之后的使用。之后，进行城市路网整理，移除高速公路、快速路、隧道等非步行可达路线，对余下城市路网通过 ArcGIS 建立网络数据集，便于社区生活圈的步行范围测算。

1.3 模型指标与构建

1.3.1 步行时间折减

对于仅有步行方式的出行，既有研究指出，居民日常出行距离在 295m 以内时步行意愿为 100%，超过此距离时步行意愿呈指数函数递减，适宜步行距离即步行意愿降为 10%时对应为 787m，极限步行距离约为 1500m^[11-12]；同时，《上海 15 分钟社区生活圈规划导则（试行）》中定义的社区生活圈与步行可达距离的对应关系分别为“5 分钟对应 200-300 米、10

分钟对应 500 米、15 分钟对应 800-1000 米”^[13]。对于社区生活圈中“公共交通”的相关表述，《社区生活圈规划技术指南》（报批稿）与《上海 15 分钟社区生活圈规划导则（试行）》分别为“配置公交车站，并满足 500 米服务半径范围全覆盖，其中人口密集地区宜满足 300 米服务半径范围全覆盖”与“包括轨道交通站点和地面常规公交站点在内，内环以内地区 300 米服务半径范围内达到全覆盖；内外环之间、新城、新市镇地区 500 米服务半径范围内达到全覆盖”。因此，本研究的测度模型将 5min、10min 与 15min 的最大步行距离分别量化为 300m、500m、800m，依次以上述距离为阈值在城市路网中进行网络分析，所得等时圈作为居民从对应小区出发，在 5min、10min 以及 15min 范围内实际步行可达的范围。对于每个等时圈范围内可获得的公共服务设施，根据步行意愿衰减的原则，本评价模型以反距离权重法作为步行时间对应公共服务设施获得能力的折减依据，折减关系如公式 1 与表 1。

$$\lambda_i = \frac{1}{\frac{d_i}{d_1}} \quad (i = 1, 2, 3)$$

（公式 1）

表 1 步行时间折减系数对应表（来源：笔者自绘）

类型 i	“生活圈”圈层 (min)	对应最大步行距离 d (m)	步行时间折减系数 λ_i
1	5	300	1
2	10	500	0.6
3	15	800	0.375

1.3.2 平均旅速折减

根据公共交通分担率的定义，轨道交通与常规公交通常是城市公共交通类型的重要组成部分。以上海为例，《2020 年上海市综合交通运行年报》及上海公共交通出行分担率相关研究中纳入的公共交通方式包括轨道交通、常规公交、有轨电车、BRT 等四大类^[14-15]。考虑到上海实际的常用公共交通方式，本研究将社区公交（上海称为穿梭巴士，四位数公交线路）与黄浦江轮渡也考虑在内。轨道交通与部分快速公交通常作为城市公共交通的主要骨架，承担了城市区域或组团之间的联系^[16]；有轨电车则更多服务于组团内部；常规公交为城市公共交通中覆盖范围最广的交通方式，但近年来随着轨道交通网络的不断完善，其客流量逐渐下降，部分走廊已被轨道交通取代；市郊铁路同样作为轨道交通的一类，但因其在上海发展较为滞后，在各通勤方式的客流量中仅占有较小比例；穿梭巴士为常规公交在社区层面的补充，在上海城区外围较常见；轮渡为黄浦江沿岸往来浦东浦西的重要交通方式之一，使用历

史较为悠久，也是两岸居民的重要出行方式。

鉴于上述各类交通方式在运能、平均旅速、发车频率、服务舒适度等方面均有较大差异，居民日常使用的选择场景也有较大区别，为最大程度弱化不同交通方式对于公共交通可达性测度的影响，本研究选取能够反映交通方式服务与运载能力的综合指标——平均旅速，作为归一化衡量可达性水平的折减依据。以平均旅速最快的市郊铁路为 1，其他交通方式依次按比例折减，折减系数 θ_j 与平均旅速的关系如公式 2 及表 2 所示。

$$\theta_j = \frac{v_j}{v_1} \quad (j = 1, 2, \dots, 7)$$

(公式 2)

表 2 平均旅速折减系数对应表 (来源: 笔者自绘)

类型 j	交通工具类型	平均旅速 v (km/h)	平均旅速折减系数 θ_j	线路举例
1	市郊铁路	50	1	金山铁路
2	城市地铁	35	0.7	地铁 10 号线
3	有轨电车	18	0.36	松江有轨电车
4	快速公交	18	0.36	71 路、奉浦快线
5	常规公交	15	0.3	55 路
6	社区公交	10	0.2	1256 路
7	轮渡	2	0.04	民丹线、东嫩线

1.3.3 评价模型构建

以 N_{ij} 为作为每个居住小区第 i 生活圈圈层中 j 类公共交通方式的站点数量，该点在 i 圈层的公共交通可达性水平 A_i 为：

$$A_i = \sum_1^{m,n} (N_{ij} \cdot \lambda_i \cdot \theta_j) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; m = 3; n = 7)$$

(公式 3)

2 评价模型应用

2.1 基础数据准备

以上海市杨浦区为例，利用本文所提出的评价方法，对社区生活圈公共交通可达性水平测度模型进行应用。杨浦区行政面积 60.61 平方公里，常住人口 124.25 万人^①。通过某网络地图开放平台，对研究区域的居住小区与公共交通设施信息进行采样，因行政边界处居民存

在跨边界使用实际位于虹口区、宝山区的公共交通设施，故公共交通相关数据的采集范围在杨浦区的实际范围之上略有扩大。共抓取居住小区共 1122 处、地铁站点 106 处（公共交通设施按线路上下行分别计算，下同）、公交站点 3132 处、社区公交站点 178 处、轮渡站点 8 处以及公交线路 282 条。居住小区位置如图 2 所示。



图 2 杨浦区居住小区分布情况与部分小区等时圈圈层

2.2 模型测度结果

评价模型的测度结果如图 3（a）所示，通过普通克里金法进行空间插值，以 5 作为像元大小，将基于采样点的评价结果扩展至杨浦区全域，并通过分位数法，以每 10%样本作为分类间隔，共分为 10 类，如图 3（b）所示。

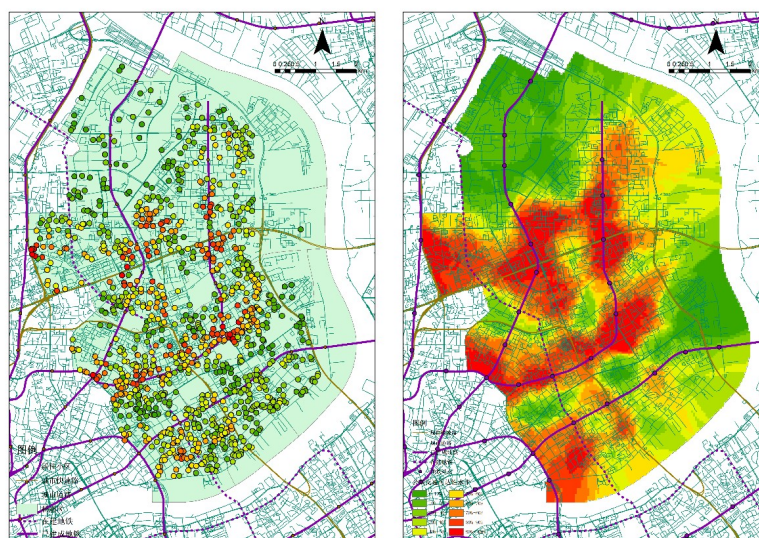


图 3 杨浦区社区生活圈公共交通可达性评价结果

（注：左图 a 为居住小区评价结果，右图 b 为通过克里金插值至全域的评价结果）

2.3 结果特征评价

2.3.1 空间圈层：可达性分布趋向于高值聚集

由图 3 可以看出，公共交通可达性较高的居住小区均分布在轨道交通站点附近区域，呈若干团块状，如江湾—五角场、四平路站、江浦路站等地；而低值区域主要集中在新江湾城、周家嘴路沿线以及杨浦大桥以东区域，这与路网密度、公交线网与轨道站点密度的分布情况均有关。图 4 所示的空间自相关测度结果也体现出公共交通可达性水平的分布呈现“高值聚集”的态势。

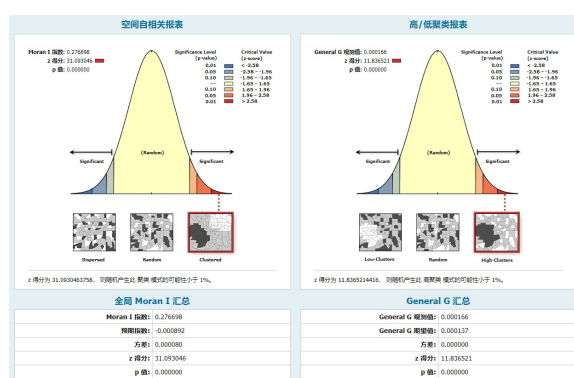


图 4 公共交通可达性水平的空间分布测度

杨浦区境内已建成轨道交通线路有 4 号线、8 号线、10 号线与 12 号线，4 号线为环线，区内仅有两站，8 号线、10 号线与 12 号线在区内均为中心城向外围的放射线，但这三条线路沿线站点分布与公共交通可达性高值区分布的对应关系却有较大不同。以上海“城市原点”国际饭店所在的人民广场站为轨道交通线网的原点，对杨浦区各站点 800m 缓冲区范围内所有居住小区的公共交通可达性进行距离加权平均，作为该站点的公共交通可达性，以其作为 y 轴、以站点与人民广场的轨道交通线网距离作为 x 轴，将三条线路实际的可达性与距离关系展现于同一坐标系中。

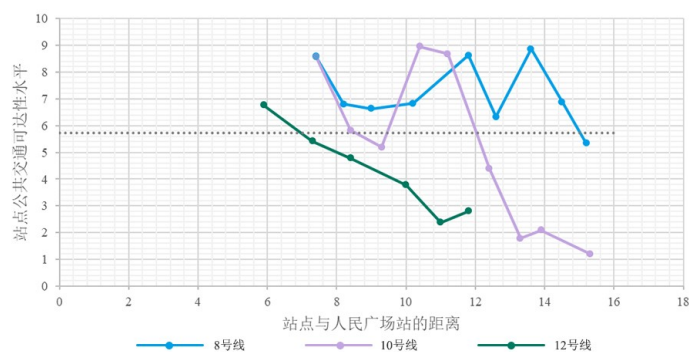


图 5 轨道站点公共交通可达性水平与距城市中心的距离

从图 5 可以看出，8 号线除末站（最右端）市光路外，其他站点均位于全样本平均线以上；10 号线仅四平路、五角场、江湾体育场三个站位于高值区；12 号线除杨浦区首站大连路外，沿线站点均在平均水平以下，这与线路所经过的区域有较大关系。8 号线建成时间较早，站点附近多为由大量工人新村与少量商品房构成的大型成熟居住社区，而 12 号线经过的区域则是以“老公房”为主、近年正在进行旧城改造的城市片区，包括公共交通在内的公共服务设施供给水平相对滞后。而 10 号线站点片区则以各类商业服务业设施、大型公共设施为主，包括城市副中心、数所高校以及多处商务片区。

此外，不同街道间的公共交通可达性水平差异也较大，总体体现为城市外围街道弱于靠近城市中心的街道、黄浦江沿岸街道弱于非沿岸街道的两个特征。外围新江湾城街道为江湾机场关闭后的用地再开发，考虑到上位规划的定位，该片区地块在开发过程中多体现为内聚、封闭式的建筑组团形制，街区尺度较大，获得公共交通服务的难度较大；黄浦江沿岸街道则因沿江码头以及仓储、物流、船运的历史，长期承担城市对外的物流及集疏运功能，因此在城市公共交通服务的供给水平上也略逊一筹，如图 6、图 7 所示。

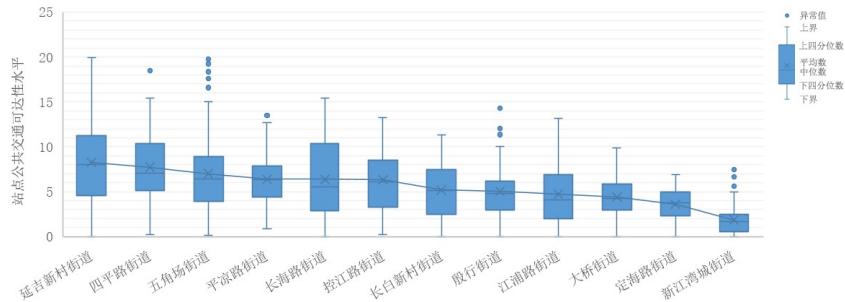


图 6 各街道内部居住小区公共交通可达性水平分布

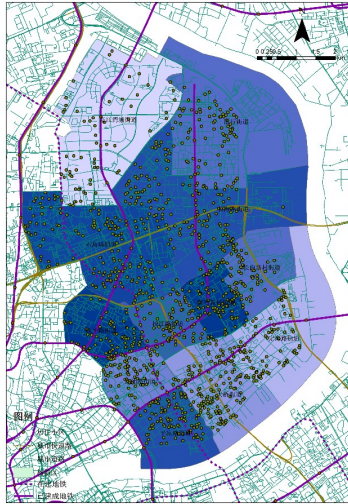


图 7 各街道公共交通可达性水平

2.3.2 时间尺度：出行速度与城市功能的空间匹配

利用本研究的模型方法，对各居住小区采样点在 5min、10min、15min 三个时间尺度下分别计算公共交通可达性水平，探索可达性水平的变化与时间尺度的联系。对三个尺度下所得可达性结果同样采用前文所述的普通克里金法，以 5 作为像元大小进行空间插值，并将插值结果通过分位数法分十级呈现，所得结果如图 8。从中可以看出，“高值聚集分布”仍为三次分析结果的主要空间分布特征，空间自相关与聚类分布的结果（如表 3）也佐证了这一点。此外，表 3 的数据还反映出从 5min 到 15min，“高值聚集分布”的特征愈发显著，体现至图 8 中，则为红色的高可达性区域更加连片分布。

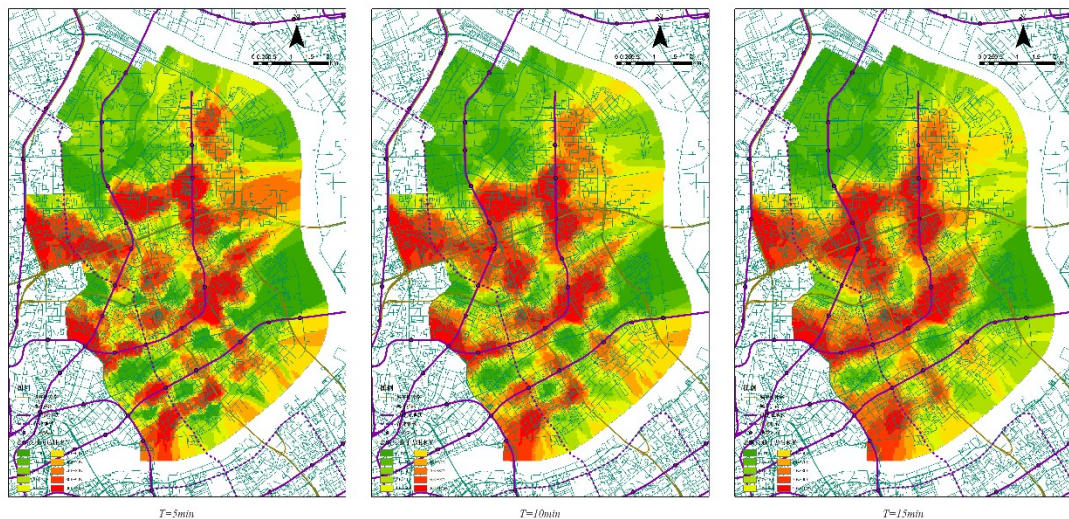


图 8 不同时间尺度下的公共交通可达性水平

表 3 三个时间尺度下的空间自相关与聚类模式对比

圈层	空间自相关			高/低聚类			
	Moran I 指数	z 得分	p 值	G (观测值)	G (期望值)	z 得分	p 值
5min	0.116	13.105	0.000***	0.000184	0.000137	7.722	0.000***
10min	0.182	20.478	0.000***	0.000171	0.000137	9.155	0.000***
15min	0.277	31.093	0.000***	0.000166	0.000137	11.837	0.000***

注: *表示 p 值<0.05,** 表示 p 值<0.01,***表示 p 值<0.001

5min 尺度下高可达性区域的“红色斑块”面积更小、分布更广，主要原因是该时间尺度下步行仍为最主要的出行方式，步行路网较密的区域更能满足居民的出行需求，对应到公共服务设施的配给上，可将这一时间尺度下的高可达性区域视作社区级的公共活动中心。随着时间的累积，轨道交通的可获得性逐渐提升，高可达性区域开始向轨道交通站点附近聚集，这一时间尺度下评价得出的高值区域更易形成较高级别的城市公共活动中心，适宜配置高等级的公共服务设施；部分 5min 尺度下的高值区域因距离站点较远，在 10min 与 15min 的尺度下逐渐失去优势。如表 4 所示，经统计分析，5min 尺度下，位于轨道交通站点 800m 范围内居住小区的平均公共交通可达性水平为全样本的 1.023 倍，10min 尺度下提升至 1.062 倍，15min 尺度下达到 1.094 倍。归根结底，不同时间尺度下分析结果的差异即是城市交通机动性在速度层面差异的体现，这也印证了城市各级公共活动中心与公共交通结构在空间上的耦合关系。

表 4 轨道交通站点周边样本与全体样本的平均公共交通可达性水平对比

样本范围	采样点数量	平均公共交通可达性水平		
		5min	10min	15min
轨道交通站点 800m 范围内	793	1.158	2.959	6.262
全体	1122	1.132	2.786	5.724
轨道交通站点周边样本 / 全体样本 (倍数)		1.023	1.062	1.094

3 总结与展望

本研究在既有公共交通可达性的评价方法之上，基于社区生活圈的分布以及人实际的出行活动行为，引入步行时间折减与平均旅速折减两类系数，进行了评价模型优化，并从空间与时间两个维度对以杨浦区为例的测度结果进行分析，得出了以下两类主要特征：（1）可达性的总体空间分布特征呈现为高可达性区域聚集；（2）较小时间尺度下的高可达性区域与城市片区、低速交通方式（步行）的出行活动中心分布较为一致、较大时间尺度下的高可达性区域与城市全局、中高速交通方式的出行活动中心分布较为一致。这些研究结论能够对于城

市功能结构的优化、政策空间区域的划定以及商业与公共服务设施的选址提供一些思路。但受制于开放数据的获取,本研究暂未将各社区生活圈或居住小区的实际人口规模权重、容积率等社区自身属性考虑在内,未来研究可在社区层面进行深入挖掘,或对本研究模型的折减方法提出更好的见解。

注释

- ① 常住人口数据来源于《上海市第七次全国人口普查主要数据公报(第二号)》。
- ② 本文图表来源均为笔者自绘。

参考文献

- [1] 刘贤腾. 空间可达性研究综述[J]. 城市交通, 2007(06): 36-43.
- [2] 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, 17(01): 70-76+13.
- [3] Transport for London. Assessing Transport Connectivity in London [R]. London: Transport for London, 2015.
- [4] 杨林川, 崔叙, 喻冰洁, 魏宗财, 高银宝. “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(04): 50-57.
- [5] 李星星. 基于公交出行与公交可达性的保障性住房空间选址评价研究[D]. 深圳大学, 2019.
- [6] 黄圣安, 李玮峰, 杨东援. 基于 POI 数据的上海市基础医疗设施可达性分析[J]. 综合运输, 2017, 39(05): 80-84.
- [7] 许珊. 基于公共交通的武汉市公共服务设施可达性分析[D]. 武汉大学, 2018.
- [8] 吴醒. 接驳城市轨道交通的微循环公交线路布设方法研究[D]. 北京交通大学, 2017.
- [9] 江世雄. 城市公共交通系统可达性评价与优化方法[D]. 北京交通大学, 2019.
- [10] 冷顺多. 城市公共交通网络时间空间可达性模型研究与应用[D]. 北京交通大学, 2020.
- [11] 王宁, 杜豫川. 社区居民适宜步行距离阈值研究[J]. 交通运输研究, 2015, 1(02): 20-24+30.
- [12] 谭少华, 王莹亮, 肖健. 基于主动式干预的可步行城市策略研究[J]. 国际城市规划, 2016, 31(05): 61-67.
- [13] 上海市规划和国土资源管理局. 上海 15 分钟社区生活圈规划导则(试行)[M]. 上海: 上海市规划和国土资源管理局, 2016.
- [14] 上海市城乡建设和交通发展研究院. 2020 年上海市综合交通运行年报[R]. 上海: 上海市城乡建设和交通发展研究院, 2021.
- [15] 张天然, 王波. 上海 2035 年公共交通分担率研究[J]. 交通与港航, 2018, 5(02): 42-49.

[16] 北京市交通委员会. 北京市地面公交线网总体规划(草案) [M/OL].
<http://jtw.beijing.gov.cn/xxgk/xwfbh/202004/P020200410413440727095.pdf>, 北京: 北京市交通委员会, 2020.

作者简介

王欣宜, 男, 在读硕士研究生, 同济大学建筑与城市规划学院。电子信箱:
bjtuwxy@126.com

窦寅, 男, 在读硕士研究生, 同济大学建筑与城市规划学院。电子信箱:
1932203@tongji.edu.cn