

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202109036



城市路网空间结构对住宅价格的影响分析

吴莞姝¹, 胡龙超², 赵凯², 陈泽平²

(1. 华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021;

2. 华侨大学 统计学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 以链家房产交易平台和安居客房产交易平台的上海市二手住宅为研究样本, 结合 OpenStreetMap (OSM) 提供的城市路网数据及高德地图提供的兴趣点 (POI) 等多源数据, 利用空间句法测算路网空间结构的选择度和整合度. 基于空间自回归模型、地理加权回归模型等空间计量估计方法, 研究城市路网空间结构影响住宅价格的效果及机制. 研究表明: 城市路网空间结构是影响住宅价格的重要的区位因素, 考虑空间相关性是必要的; 与市中心住宅价格相比, 郊区住宅价格对路网空间结构的依赖程度更强.

关键词: 城市路网; 空间结构; 住宅价格; 空间句法; 地理加权回归

中图分类号: TP 18; F 293.35

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2023)01-0060-11

Influence of Urban Road Network Spatial Structure on Housing Price

WU Wanshu¹, HU Longchao², ZHAO Kai², CHEN Zeping²

(1. School of Architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;

2. School of Statistics, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Second-hand houses in Shanghai City from Lianjia and Anjuke Real Estate trading platforms are selected as the research samples, and multi-source datas such as urban road network datas provided by OpenStreetMap (OSM) and points of interest (POI) provided by Gaude map are combined. The choice degree and integration degree of road network spatial structure are measured by spatial syntax. The effect and mechanism of road network spatial structure on housing price is studied by spatial autoregressive model, geographical weighted regression model and other spatial econometric estimation methods. The research results show that, the spatial structure of urban road network is an important location factor affecting housing price, and it is necessary to consider spatial correlation. The suburban housing price is more dependent on the spatial structure of the road network than urban housing price.

Keywords: urban road network; spatial structure; housing price; spatial syntax; geographical weighted regression

住宅价格既是人民和政府关注的重点民生问题, 也是城市经济学、城市经济地理学和城市规划学共同关注的热点话题. 当前, 中国正处于快速城市化阶段, 住宅价格的高低在一定程度上反映了城市的经济发展水平^[1]. 尤其是对超大和特大城市而言, 作为资产价值的体现, 住宅价格的变化和波动不仅关系

收稿日期: 2021-09-03

通信作者: 赵凯(1982-), 男, 教授, 博士, 主要从事空间计量、大数据分析的研究. E-mail: kzhaokai@126.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51908229); 法国驻华使馆科技处和文化处“徐光启项目”(43325TE); 福建省自然科学基金面上资助项目(2019J01063); 华侨大学中青年教师科技创新计划项目(ZQN-816)

国民经济的健康发展,影响着城际间的人口和人才流动,也牵动着每一个家庭,如何合理有效地调控房价已成为政府的要务.住宅最大的功能是居住,而对居住功能影响最大的是便利性^[2].城市交通路网作为一种具有外部性的公共产品,其合理的空间结构往往能够降低居民的生活时间成本,强化住宅居住功能的便利属性,进而对住宅价格产生影响.在城市发展过程中,受资源调配、规划发展和土地供应等综合作用的影响,住宅价格空间相关性和异质性也在不断增强且上升趋势明显^[3].因此,城市路网空间结构对住宅价格的影响,对政府制定合理的房地产政策、平衡城市内部住宅价格、优化城市路网布局 and 缓解交通拥堵等具有重要的现实意义.

早期城市多为单一中心布局,学者们更多地关注住宅与中央商务区(CBD)、地铁站等的距离^[4-5].然而,随着城市的发展和人们对生活、工作的交通便利性需求的增加,城市传统的单一中心已不能满足人们的需求,城市向多中心布局转变,学者们也开始通过交通可达性综合衡量城市交通对住宅价格的影响^[6-10].近几年,由于城市化进程的加速推动和城市内部交通基础设施的日益完善,城市交通路网对住宅价格的影响越来越明显^[11-12].Sebastian 等^[12]分析德国汉堡市整个城区的轨道交通网络对周边住宅价格的影响,发现城市交通网络所带来的区域可达性提升可为周边住宅带来 2.59 亿美元的外部性效益.Xiao 等^[2]以英国卡迪夫市为例,发现城市路网可达性对住宅价格的促进作用,而基于拓扑计算方法得到的路网结构变量在模型中具有更强的解释能力.除此之外,住宅价格对不同尺度路网结构变量的敏感程度不同,Shen 等^[13]发现上海市住宅价格受到约 1 km 半径尺度下的路网结构变量的显著影响;Law^[14]发现英国伦敦市内不同区域中路网结构对住宅价格的影响具有差异性.

因此,有关城市路网与住宅价格的研究存在以下 3 点不足:1) 住宅价格具有区域性特点,而既有研究多以城市资源配置均匀分布为基础^[14],忽略了住宅周围整体基础设施的位置优势及住宅价格的空间相关性和空间异质性;2) 既有研究多基于欧式距离、交通通行时间和可达性等方式度量城市交通路网,难以捕捉居民在城市活动中的真实成本,缺乏从空间拓扑结构视角考察城市路网空间结构影响住宅价格的研究;3) 既有文献在选择衡量住宅价格变量时,普遍利用一手商品房的开盘销售价格,而现实中指导价格与真实成交价格往往不一致甚至大相径庭,成交价格更能反映购买者的偏好.鉴于此,本文以链家房产交易平台和安居客房产交易平台的上海市二手住宅为研究样本,对城市路网的空間结构影响住宅价格的效果及机制进行深入研究.

1 研究设计

1.1 研究范围

城市中心城区与郊区在路网空间结构及形态方面有较大差异,将研究区域限定在中心城区,可有效规避中心城区与郊区间差异带来的影响^[15].上海市中心城区因其城市化程度高且具有完善的交通网络和基础设施,可作为分析城市路网结构影响住宅价格的极具代表性的区域.根据《上海市城市总体规划(2017—2035 年)》,上海市中心城区为外环线以内约 664 km² 的区域.由于绕城高速能够最大限度保证上海市中心城区内部路网的连通性和完整性,因而可将绕城高速设定为缓冲区边界.研究区域,如图 1 所示.

1.2 研究方法

1.2.1 轴线模型 轴线模型是衡量路网空间结构的基础,利用 CAD 软件并遵循最少且最长规则(图 2),将上海市原始路网数据转换为相连的线段.上海市城市交通路网中存在许多交通转盘和立交系统,五角场交通转盘区域轴线模型,如图 3 所示.图 3 中:轴线模型中的轴线交界处需要保留“出头”,这样可有效避免线段之间的连接关系丢失.

城市交通路网结构往往通过影响居民出行对住宅价格产生作用,因而在研究过程中须同时考虑地上交通与地铁交通.地铁交通及其出入口皆为高度专用,可将出入口之间的街道在空间句法分析软件

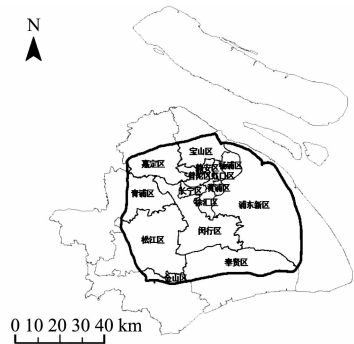


图 1 研究区域
Fig.1 Research area

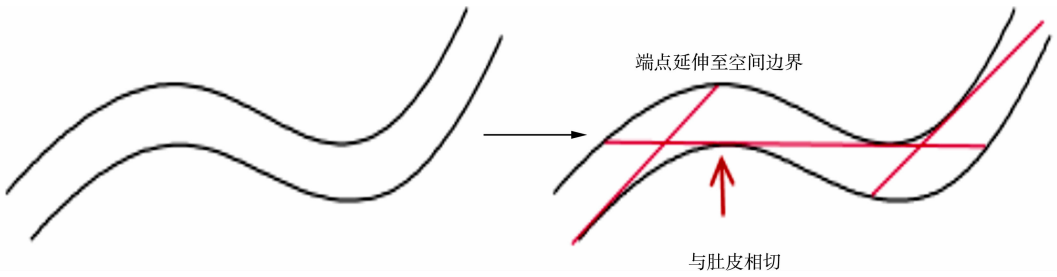


图 2 最少且最长规则

Fig. 2 Least and longest rule



(a) 高德卫星地图

(b) 轴线模型

图 3 五角场交通转盘区域轴线模型

Fig. 3 Traffic circle area axis model in Wujiaochang

(DepthMapX 软件) 中进行 Link 操作, 使出入口之间的街道彼此相连. 轴线模型中地铁交通系统的处理, 如图 4 所示. 图 4 中: 红点为地铁出口, 分布在街道 a, b, c 上.

1.2.2 线段模型 在路网轴线模型基础之上, 可引入米制距离和角度关系的线段模型, 量化城市路网空间结构. 将路网轴线模型以底图形式导入 DepthMapX 软件, 转换完成后, 模型共包含 23 699 条线段. 选择度表示城市路网承担交通性车流量的能力, 其计算公式为

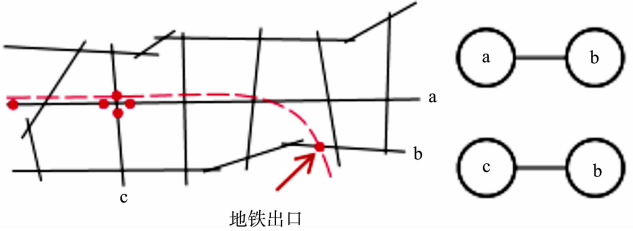


图 4 轴线模型中地铁交通系统的处理

Fig. 4 Processing of metro transportation system in axis model

$$CHO_{i,r} = \sum_{j=1}^N \sum_{k \neq j} n_{j,k} \quad (1)$$

式(1)中: $CHO_{i,r}$ 为节点 i 在半径 r 内的选择度; $n_{j,k}$ 为 1 时, 表示节点 i 经过节点 j 和节点 k 之间的最短角度距离, $n_{j,k}$ 为 0 时, 表示节点 i 未经过节点 j 和节点 k 之间的最短角度距离.

整合度 (INT) 表示路网彼此通行的便利程度, 其计算公式为

$$INT_{i,r} = (N - 1) / \sum_{j=1}^N Dep_{i,j} \quad (2)$$

式(2)中: $INT_{i,r}$ 为节点 i 在半径 r 内的整合度; $Dep_{i,j}$ 表示节点 i 到节点 j 之间的角度深度; N 为区域内所有节点的数量.

为有效控制边界效应, 线段模型的参数将依据一定的半径尺度计算. 由于不同半径尺度下线段模型的参数可能会存在差异, 因此, 可借鉴既有研究思路, 设置 500, 1 000, 2 500, 5 000, 10 000 m 和全域 6 个半径尺度. 利用 DepthMapX 软件计算不同半径尺度下的路网空间结构的选择度和整合度, 并借助 ArcGIS 软件可视化它们的空间分布. 不同半径尺度下选择度与整合度的空间分布, 如图 5 所示.

由图 5(a), (b), (e), (f), (i), (j) 可知: 在 500 m 小半径尺度下, 高值集中在外滩周围, 说明城市中心路网肩负着交通枢纽的职能; 在 1 000, 2 500, 5 000 m 中等半径尺度下, 高值区域从外滩周围扩散到了杨浦、虹口、静安、长宁等区域, 并且在浦东新区、闵行、徐汇等有局部的高值区域, 表明各行政区内有独立承担辖区内交通枢纽职能的局部路网; 在 10 000 m 半径和全域尺度下, 选择度的高值以离散状态

分布在整个城市中心城区内,表明承担交通枢纽职能的路网较为分散。

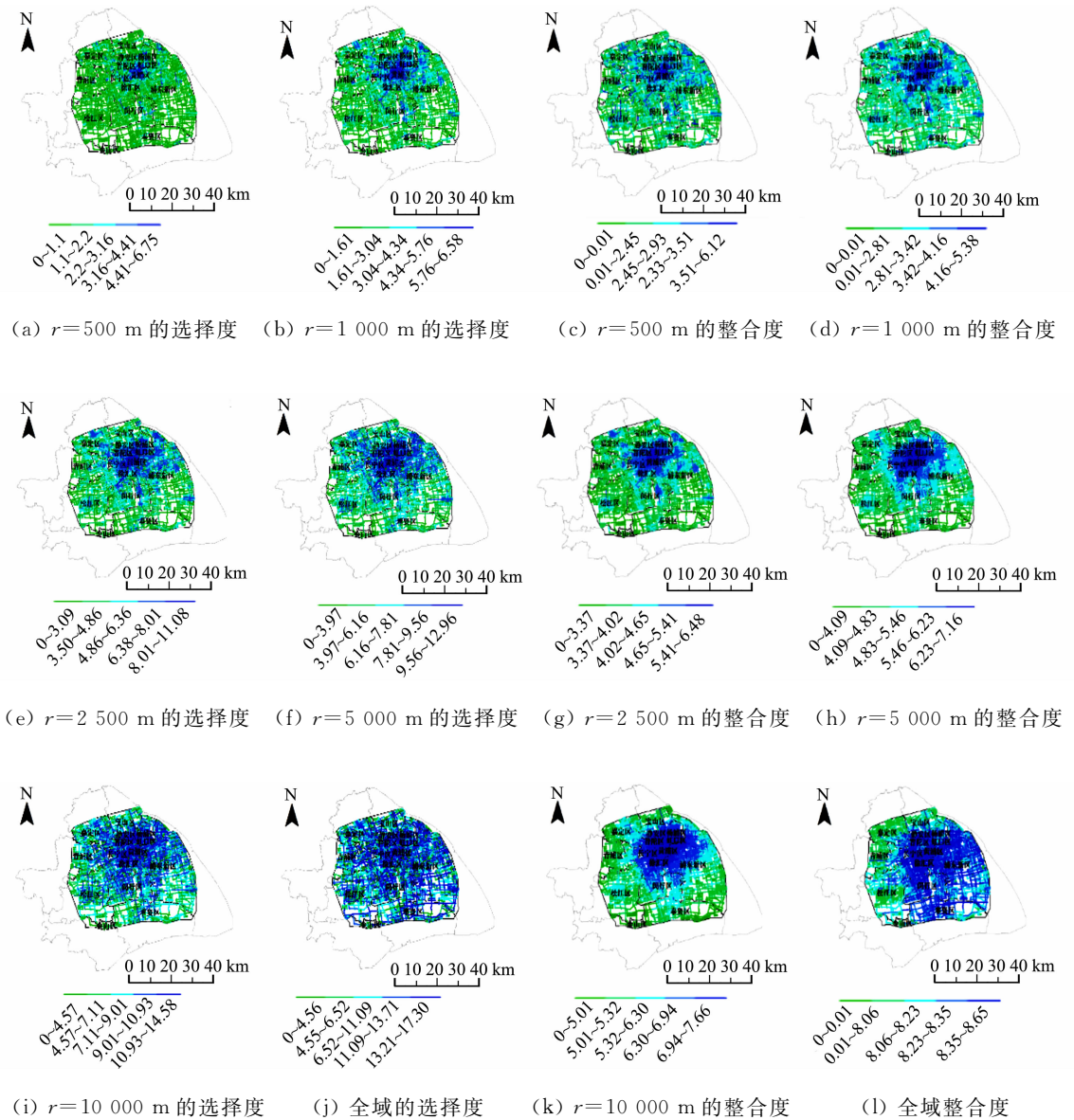


图 5 不同半径尺度下选择度与整合度的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of selectivity and integration at different radius scales

由图 5(c),(d),(g),(h),(k),(l)可知:在 500 m 小半径尺度下,外滩周围的整合度较高,浦东新区、闵行、松江等行政区内也有局部的高值区域,表明各行政区内均具有结构完善的局部路网;在 1 000, 2 500, 5 000, 10 000 m 半径尺度下,虽然存在局部的高值和低值区域,但与选择度相比,整合度的分布较为连续,具有高值区域从中心向外扩散的特征,城市中心区域的路网彼此通行的便利程度整体上高于边缘地区;在全域尺度下,同样具有高值区域从中心向外扩散的特征,但浦东新区、奉贤和闵行等行政区的路网通行便利程度整体上优于宝山、嘉定、青浦、松江等行政区域。

1.2.3 空间自回归模型 将城市交通路网中每条路段的空间结构参数值匹配到距离最近的样本住宅,利用匹配后的数据构建特征价格分析模型。由于住宅价格往往存在一定的空间关联,如邻近区域的住宅价格之间可能相互影响,因此,可在特征价格模型基础之上,引入空间滞后因子,在考虑空间关联的情况下,研究城市路网空间结构对住宅价格的影响。空间自回归(SAR)模型的函数形式为

$$Y_i = \rho \cdot W \cdot Y_i + \delta \cdot CHO_i + \theta \cdot INT_i + \beta X_i + \text{cons} + \epsilon_i. \quad (3)$$

式(3)中: Y_i 为被解释变量住宅价格; W 为空间权重矩阵; ρ 为空间自相关系数向量; X_i 表示住宅特征向量,包括建筑特征、邻里特征和区位特征; β 为系数向量的估计值;cons表示常数项; ϵ_i 为误差项。

1.2.4 地理加权回归模型 地理加权回归(GWR)模型通过在线性回归模型中假定回归系数是样本点

地理位置的函数,将样本中的空间非平稳性纳入到模型中,以研究城市路网空间结构影响住宅价格的空间异质性.GWR 模型的函数形式为

$$\ln(\text{unitprice})_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^{19} \beta_j(u_i, v_i) \cdot x_{i,j} + \beta_{2,0}(u_i, v_i) \cdot \text{CHO}_i^r + \beta_{2,1}(u_i, v_i) \cdot \text{INT}_i^r + \varepsilon_i.$$

(4)

式(4)中: $x_{i,j}$ 表示地点*i*上的第*j*个控制变量; $\beta_{2,0}(u_i, v_i)$ 和 $\beta_{2,1}(u_i, v_i)$ 分别对应为在地点*i*上的系数.空间权重矩阵采用高斯函数法进行构建,并根据交叉验证方法(CV)确定最优带宽.

2 数据的收集

住宅价格往往受政府宏观政策的影响,为排除外生政策因素干扰,数据时间跨度不宜过长.为此,选取 2020 年 3 月至 2020 年 7 月间上海市二手住宅作为数据样本.住宅相关数据主要来源于链家房产交易平台和安居客房产交易平台.借助网络爬虫技术,一方面从链家房产交易平台获取二手房成交总价、二手房成交单价、建筑面积、卧室数、住宅所在楼层、建筑总楼层等住宅交易信息;另一方面从安居客房产交易平台获取物业费、停车位数量、总户数、FAR(容积率)、绿化率等住宅小区的信息.将搜集到的 26 714 条住宅交易信息与 2 944 个住宅小区信息进行匹配,删除具有严重缺失和时间跨度之外的信息,并剔除绕城高速外的住宅样本,最终获得 2 781 条住宅数据.上海市交通路网数据来源于 OpenStreetMap (OSM);上海市的中小学、三甲医院和地铁站出(入)口的地理位置数据来源于高德地图.

住宅价格的统计,如表 1 所示.由表 1 可知:住宅价格的平均值大于中位数,呈现出右偏分布.住宅价格的空间分布,如图 6 所示.由图 6 可知:住宅价格的高值大多分布在城市中心区域.上海市中小学、三甲医院和地铁站出口分布,如图 7 所示.

表 1 住宅价格的统计
Tab. 1 Statistics of housing prices

变量名称	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值	平均值
住宅价格/元	4 806	40 368	50 422	64 432	1 448 813	54 002

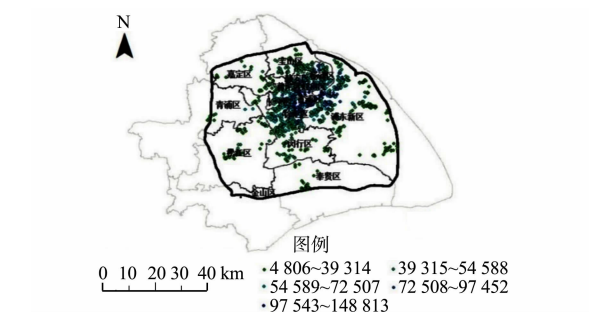


图 6 住宅价格的空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of housing prices

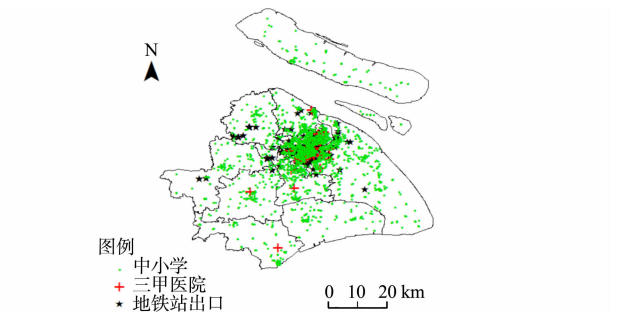


图 7 上海市中小学、三甲医院和地铁站出口分布
Fig. 7 Distribution of primary and secondary schools, grade A hospitals and metro station exits

不同半径尺度下,路网空间结构的选择度与整合度的统计,分别如表 2,3 所示.

表 2 选择度的统计
Tab. 2 Statistics of selectivity

<i>r</i> /m	CHO					
	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值	平均值
500	0.693	0.693	1.386	2.639	7.206	1.805
1 000	0.693	2.398	3.611	4.663	8.909	3.572
2 500	0.693	4.927	6.089	7.217	11.309	6.047
5 000	0.693	6.531	7.810	9.056	13.076	7.724
10 000	0.693	7.916	9.382	10.747	14.464	9.239
全域	0.693	10.390	11.824	13.449	17.982	11.559

表 3 整合度的统计
Tab. 3 Statistics of integration

<i>r</i> /m	INT					
	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值	平均值
500	0	2.388	2.702	3.045	5.448	2.575
1 000	0	2.941	3.319	3.729	5.538	3.359
2 500	0	3.932	4.445	4.953	6.550	4.484
5 000	2.456	4.836	5.379	5.992	7.219	5.421
10 000	3.559	5.827	6.422	7.106	7.705	6.409
全域	7.693	8.180	8.284	8.375	8.647	8.269

根据特征价格理论,将影响住宅价格的因素划分为建筑特征、区位特征和邻里特征 3 类. 建筑特征为房屋本身的属性,包括房屋户型、所在楼层、建筑面积、建成年代、装修情况及配备电梯. 区位特征为住宅的位置优势,包括城市中心的距离、到最近地铁站的距离. 陆家嘴金融贸易中心区域是上海市 CBD 的重要组成部分,集金融贸易、购物观光、休闲娱乐等多功能于一体,因而设定陆家嘴金融贸易中心区域的质心为上海市的城市中心. 邻里特征为住宅周围的环境,包括小区绿化率、物业费、容积率、离最近三甲医院的距离和离最近中小学的距离. 研究中涉及的控制变量的统计,如表 4 所示.

表 4 控制变量的统计
Tab. 4 Statistics of control variables

类别	变量	变量名称	最大值	最小值	均值
建筑特征	SIZE/m ²	住宅建筑面积	448.45	22.55	78.859
	ELEV	电梯	1(配备)	0(未配备)	0.364
	BEDR/个	卧室	7	1	2.009
	LIVR/个	客厅	4	0	1.400
	KITC/个	厨房	2	0	0.945
	BATH/个	洗手间	7	0	1.175
	TTFL/层	总楼层	39	3	9.767
	LFLR	低楼层	1(低楼层)	0(非低楼层)	0.266
	MFLR	中楼层	1(中楼层)	0(非中楼层)	0.349
	DECO	装修	1(装修)	0(非装修)	0.626
邻里特征	AGE/a	楼龄	67	2	20.629
	FEE/ 元·(m ² ·月) ⁻¹	物业费	8	0.25	1.189
	FAR	容积率	6.0	0.8	1.829
	GRRT	绿化率	0.6	0.1	0.353
	PKRT	停车位比例	220.667	0.007	0.449
	D_HOSPITAL/km	离最近三甲医院的距离	27.342	0.026	4.833
区位特征	D_SCHOOL/km	离最近中小学的距离	2.290	0.007	0.444
	D_SUBWAY/km	离最近地铁站的距离	24.257	0.027	3.620
	D_CENTER/km	离市中心(陆家嘴)的距离	39.032	1.195	14.280

3 实证分析

3.1 空间权重矩阵的设定

空间权重矩阵用于反映研究区域内住宅之间的关系,若样本中住宅数量为 n ,那么,空间权重矩阵 W 为一个 $n \times n$ 的对称矩阵, W 矩阵中的元素反映了住宅间相关性的结构和强弱. 空间权重矩阵的构建因“邻近”的定义不同而不同,最主要的一种定义是基于空间地理距离上的邻近. 设定权重矩阵时,空间相关性随着距离的增加而衰减. 基于大圆距离的空间权重矩阵包括半径距离权重矩阵和半径距离衰减权重矩阵两种. 半径距离权重矩阵元素为

$$W_{i,j} = \begin{cases} 1, & 0 \leq d_{i,j} \leq d, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \tag{5}$$

半径距离衰减权重矩阵元素为

$$W_{i,j}=\begin{cases}d_{i,j}^{-\alpha}, & 0\leq d_{i,j}\leq d, \\ 0, & \text{其他.}\end{cases}\tag{6}$$

式(5),(6)中: $d_{i,j}$ 为个体*i*到个体*j*的欧式距离; d 为半径阈值; α 为衰减幂次.

为获得最优空间权重矩阵,对比不同空间权重矩阵下的 SAR 模型和空间误差(SEM)模型的对数似然值(LogL),判断空间权重矩阵的优劣.

利用半径距离权重矩阵(不同半径距离)、半径距离衰减权重矩阵($\alpha=1,2,3$)构建 SAR 模型,其 LogL 值,如图 8(a)所示.由图 8(a)可知:在半径距离约低于 6 000 m 范围内,半径距离衰减矩阵($\alpha=1$)的 LogL 值相对较高,表明在该距离范围内半径距离衰减矩阵($\alpha=1$)为相对较优的空间权重矩阵;随着半径距离的增加,所有权重矩阵下的 SAR 模型的 LogL 值都具有先上升、后下降的趋势,该趋势意味着住宅间的相互影响存在一个最优距离;在 4 000~5 000 m 的半径距离范围内,半径距离衰减权重矩阵($\alpha=1$)下的 SAR 模型优于半径距离衰减权重矩阵($\alpha=2,3$)的 SAR 模型.

综上所述,在所有设定的半径距离下,基于半径距离权重矩阵构建的 SAR 模型的 LogL 值都比用半径距离衰减权重矩阵构建的 SAR 模型的 LogL 值要小,而且随着半径距离的增加,它们之间的差值越大.半径距离权重矩阵表示不同个体之间的相互影响在半径距离以内是同质的,而半径距离衰减权重矩阵表示不同个体之间的相互作用是随着彼此之间的距离增加而衰减的.这说明上海市住宅价格之间的相互作用在空间上并不是均匀的,用半径距离衰减权重矩阵表示它们之间的相互作用优于半径距离权重矩阵.构建的 SEM 模型的 LogL 值,如图 8(b)所示.由图 8(b)可知:除了 LogL 的值不同以外,整体的趋势和 SAR 模型是一样的;最优空间权重矩阵的衰减幂次 α 为 1,半径距离约为 5 000 m.

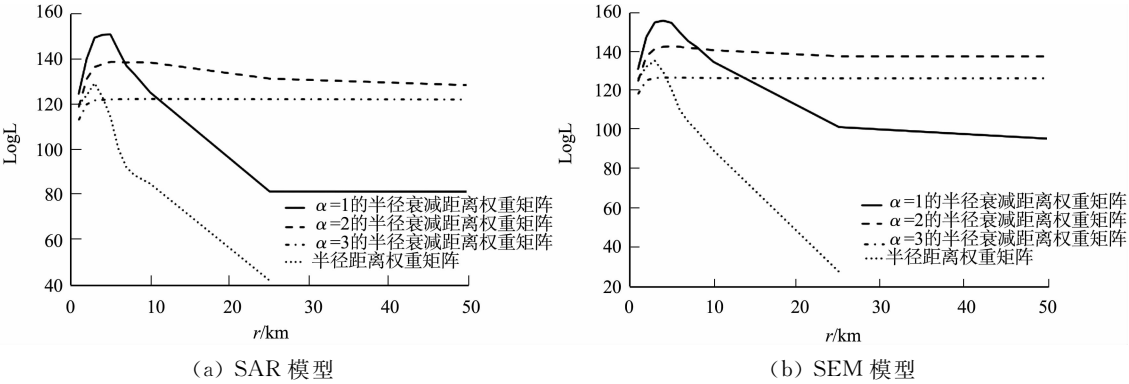


图 8 SAR 模型与 SEM 模型的 LogL 值

Fig.8 LogL value of SAR model and SEM model

3.2 空间自相关检验

空间 Moran 检验统计量(*I*)是检验空间自相关的常用方法,其表达式为

$$I=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{i,j}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})/s^2\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{i,j}.\tag{7}$$

式(7)中: x_i 为数据样本; \bar{x} 为样本均值; s^2 为样本方差.

图 9 为 Moran 散点分布图.图 9 中: \hat{z} 为对数化后的房价, W_z 对数化后房价的空间滞后.基于设定的空间权重矩阵,空间 Moran 检验指数证实上海市住宅价格存在显著的正向空间自相关.由图 9 可知:大部分点集中在第一、三象限,说明住宅价格的高值区域被同是高值的区域所包围,低值区域被同是低值的区域所包围.

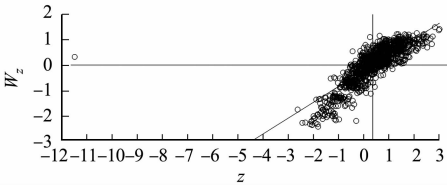


图 9 Moran 散点分布图

Fig.9 Moran scattered distribution

3.3 空间计量模型的选择

空间 Moran 检验只能检验是否存在空间相关性,但无法确定其具体形式.为此,应根据拉格朗日乘数(LM)检验明确住宅价格数据中空间相关性的形式.对 SAR 模型和 SEM 模型两种形式进行 LM 检验的结果,如表 5 所示.表 5 中: P 为显著性水平.由表 5 可知:由于两种空间计量模型的拉格朗日乘数及其稳健性均显著,因而拉格朗日乘数较小的 SAR 模型更为适宜.

3.4 SAR 模型估计结果

城市路网空间结构对住宅价格影响的 SAR 模型回归结果,如表 6 所示.表 6 中:()内的数值为统计量;未加入参数表示不加入城市路网结构;* * 表示 $P<0.01$;* * 表示 $P<0.05$,* 表示 $P<0.10$.

由表 6 可得到以下 4 点主要结论.

1) 在所有模型中,空间自相关系数 ρ 的估计值皆在 1% 的显著性水平上,显著为正,进一步证实住宅价格具有正向的空间关联,即周边住宅价格的上涨会正向影响本地住宅的价格.

2) 模型中选择度 CHO 的估计系数为负,表现为统计上不显著,说明在考虑住宅价格存在空间关联的情况下,承担交通性车流量能力的路网结构并不会对住宅价格起到明显的作用.

3) 整合度对住宅价格始终存在正向影响且在半径尺度大于 5 000 m 时具有统计学上的显著意义,说明整合度较高的区域的路网周围聚集的住宅价格较高,这是因为完善的路网结构可以提高交通便利度,因而推动区域内住房价格的上升.

4) 在所有半径尺度下,加入城市路网空间结构参数的模型均优于未加入参数的模型(LogL 值和 BIC 值),说明在考虑住宅价格存在空间关联的情况下,城市路网结构尤其是整合度仍是影响住宅价格的重要因素.

表 5 LM 检验结果

Tab.5 LM inspection result

模型	统计量	统计量值	<i>P</i>
SAR	拉格朗日乘数滞后	432.732	0
	稳健性	29.651	0
SEM	拉格朗日乘数滞后	469.318	0
	稳健性	66.234	0

表 6 城市路网空间结构对住宅价格影响的 SAR 模型回归结果

Tab.6 SAR model regression results of urban road network spatial structure influence on housing price

变量	回归结果						
	未加入参数	<i>r</i> =500 m	<i>r</i> =1 000 m	<i>r</i> =2 500 m	<i>r</i> =5 000 m	<i>r</i> =10 000 m	全域
ρ	0.749*** (19.98)	0.749*** (19.98)	0.746*** (19.84)	0.747*** (19.84)	0.732*** (18.75)	0.693*** (15.5)	0.695*** (16.19)
CHO	—	0.005 (−0.62)	0.005 (−0.63)	0.004 (−0.43)	0.007 (−1.17)	0.005 (−1.28)	0.005 (−1.60)
INT	—	0.010 (1.31)	0.030 (1.37)	0.033 (1.23)	0.058** (2.38)	0.078*** (3.05)	0.261*** (3.61)
SIZE	0.002*** (−4.04)	0.002*** (−4.01)	0.002*** (−4.09)	0.002*** (−4.14)	0.002*** (−4.12)	0.002*** (−4.03)	0.002*** (−4.16)
ELEV	0.042* (1.66)	0.044* (1.72)	0.044* (1.72)	0.044* (1.72)	0.044* (1.71)	0.043* (1.68)	0.041 (1.62)
BEDR	0.033* (1.95)	0.032* (1.93)	0.033* (1.98)	0.033* (1.99)	0.033* (2.00)	0.034* (2.02)	0.033* (1.96)
LIVR	0.035* (1.87)	0.034* (1.81)	0.035* (1.84)	0.035* (1.86)	0.033* (1.73)	0.032* (1.69)	0.032* (1.70)
KITC	0.003 (−0.08)	0.003 (−0.10)	0.005 (−0.14)	0.004 (−0.13)	0.004 (−0.11)	0.005 (−0.13)	0 (−0.01)
BATH	0.033 (1.32)	0.032 (1.27)	0.033 (1.32)	0.034 (1.36)	0.033 (1.33)	0.034 (1.35)	0.037 (1.49)
TTFL	0.001 (0.39)	0.001 (0.38)	0.001 (0.31)	0.001 (0.30)	0 (0.28)	0.001 (0.46)	0.001 (0.49)
LFLR	0.063*** (3.20)	0.063*** (3.21)	0.063*** (3.21)	0.063*** (3.20)	0.062*** (3.18)	0.064*** (3.23)	0.064*** (3.25)
MFLR	0.055*** (2.90)	0.055*** (2.93)	0.054*** (2.88)	0.054*** (2.89)	0.055*** (2.93)	0.054*** (2.87)	0.054*** (2.87)
DECO	0.083*** (4.86)	0.083*** (4.88)	0.082*** (4.85)	0.081*** (4.78)	0.081*** (4.77)	0.082*** (4.82)	0.085*** (4.98)
AGE	0.005*** (−3.71)	0.005*** (−3.77)	0.005*** (−3.80)	0.005*** (−3.91)	0.005*** (−4.12)	0.005*** (−4.01)	0.005*** (−3.95)
FEE	0.055*** (5.56)	0.054*** (5.48)	0.055*** (5.53)	0.054*** (5.49)	0.054*** (5.45)	0.055*** (5.52)	0.055*** (5.59)
FAR	0.008 (0.61)	0.008 (0.59)	0.007 (0.54)	0.005 (0.38)	0.004 (0.27)	0.005 (0.41)	0.009 (0.66)

续表

Continue table

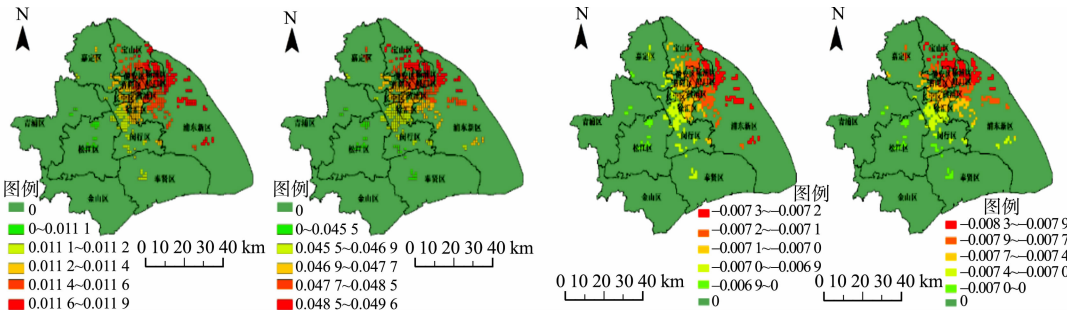
变量	回归结果						
	未加入参数	$r=500\text{ m}$	$r=1\,000\text{ m}$	$r=2\,500\text{ m}$	$r=5\,000\text{ m}$	$r=10\,000\text{ m}$	全域
GRRT	0.177* (1.69)	0.181* (1.72)	0.177* (1.68)	0.184* (1.75)	0.177* (1.69)	0.159 (1.51)	0.177* (1.68)
PKRT	0.001 (0.76)	0.001 (0.78)	0.001 (0.76)	0.001 (0.73)	0.001 (0.70)	0.001 (0.67)	0.001 (0.78)
D_SUBWAY	0.017* (-2.02)	0.017** (-2.07)	0.015* (-1.83)	0.014* (-1.72)	0.014* (-1.67)	0.014 (-1.62)	0.017** (-2.08)
D_HOSPITAL	0.046*** (-4.72)	0.045*** (-4.67)	0.045*** (-4.68)	0.043*** (-4.40)	0.039*** (-3.86)	0.039*** (-3.92)	0.045*** (-4.66)
D_CENTER	0.059*** (-3.16)	0.059*** (-3.10)	0.056*** (-2.97)	0.054*** (-2.84)	0.048** (-2.49)	0.041** (-2.07)	0.069*** (-3.56)
D_SCHOOL	0.021** (-2.28)	0.020** (-2.16)	0.021** (-2.16)	0.020** (-2.15)	0.021** (-2.22)	0.021** (-2.21)	0.023** (-2.46)
Constant	2.757*** (6.28)	2.742*** (6.25)	2.700*** (6.12)	2.654*** (5.94)	2.666*** (5.93)	2.870*** (6.09)	1.249* (2.02)
LogL	150.134	150.999	151.271	151.363	153.197	155.054	157.035
BIC	147.605	135.457	135.999	136.183	139852	143.565	147.529

3.5 基于 GWR 的空间异质性

基于空间区域均质假设,得到的估计参数具有全局和平均的特征.然而,在处理带有空间地理信息的住宅价格变量存在空间异质性,也就是城市路网空间结构对住宅价格的影响在空间上是非平稳的.

基于 Arcgis 的网格图,将地图区域划分成小方格,并统计每个方格内回归系数的均值,地理加权回归模型中整合度和选择度回归系数的空间分布,如图 10 所示.图 10 中:使用自然断点法将网格图分为 6 类,并以系数绝对值较大的前两类(图中红色表示)为核心.

由图 10 可知:在较小的半径尺度下(小于 2 500 m),整合度对住宅价格正向影响的高值区域集中在杨浦、静安、虹口、黄埔、浦东新区等城市中心区;而在较大的半径尺度上,整合度正向影响的高值区集中在青浦、松江、闵行、奉贤等离市中心较远的区域;当半径尺度更大(特别是全域尺度)时,跨区域的道路交通网络对离市中心较远区域的住宅价格影响更大.究其原因,可能是因为在城市中心区域,交通阻塞经常发生,中心城区的房价受交通便利度影响较大.因此,在中心城区交通便利度越高,其住宅价格也越高,而当住宅位于郊区等远离市中心区域,其房价也同样受到交通便利度的影响,住宅周边若具有跨区



(a) $r=500\text{ m}$ 的整合度 (b) $r=1\,000\text{ m}$ 的整合度 (c) $r=500\text{ m}$ 的选择度 (d) $r=1\,000\text{ m}$ 的选择度

域的 交通网络,才能更方便到达市区等其他地区,因此,远离市中心住宅的价格受跨区域交通网络的影响更大.

小半径尺度下的选择度表示穿越式步行人流量,而大半径尺度下的选择度表示穿越式车流量.由图 10 还可知:在小半径尺度下选择度对住宅价格负向影响的高值区集中在城市中心;在大半径尺度下选择度对住宅价格负向影响的高值区集中在离城市中心较远的区域.穿越式步行人流量对城市中心区域的住宅价格影响较大,而穿越式车流量对离城市中心较远的区域的住宅价格影响较大.究其原因,可能是因为离城市中心较远区域的住宅对承接大量车流量的公路、高速等交通设施更加依赖,因而在这些区域中的住宅价格受穿越式车流量的负向影响更大.

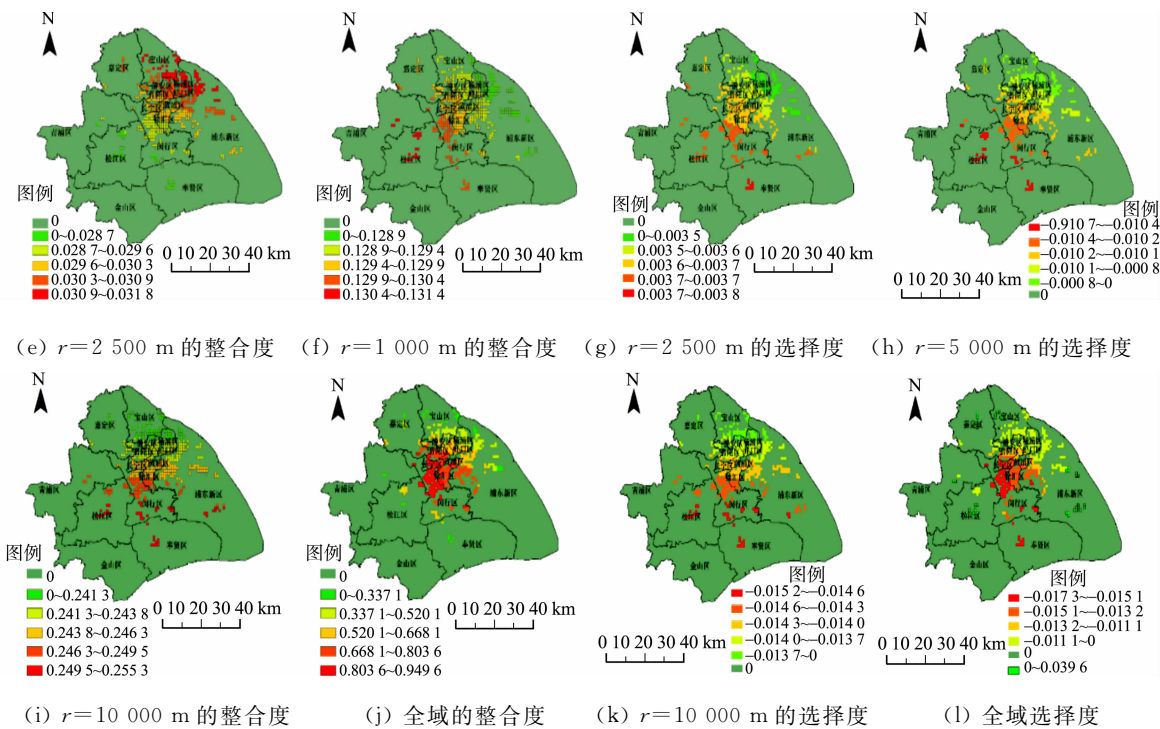


图 10 城市路网空间结构的回归系数空间格局

Fig. 10 Spatial pattern of regression coefficients of urban road network spatial structure

4 结论

1) 随着半径尺度的增加,整合度和选择度的高值都有从城市核心区域(上海市外滩周围)向外扩散的趋势. 无论是路网的密度、连接程度,还是交通枢纽性作用,上海市中心区域的路网都有绝对的优势. 然而,相较于整合度,各半径尺度下选择度高值的分布更为离散,这与干道分布离散有关.

2) 城市路网结构是影响住宅价格的重要的区位因素. 在探究城市路网空间结构对住宅价格影响时,考虑空间相关性是必要的. 在 SAR 和 SEM 模型中,只有整合度表现出稳健的显著性,而选择度几乎在任何半径尺度下都不显著. 因此,认为选择度对上海市二手房住宅价格没有影响.

3) 城市路网结构对住宅价格的影响在空间上具有很强的异质性. 基于小半径尺度,杨浦、静安、虹口、黄埔、浦东新区等城市中心区的住宅价格受城市路网结构的影响较大;基于大半径尺度,青浦、松江、闵行、奉贤等离市中心较远的几个区的住宅价格受城市路网结构的影响较大. 综上所述,城市郊区的住宅对交通路网的依赖程度更强,其价格水平更易受到路网结构的影响.

根据以上结论,得出如下 3 点启示.

1) 政府部门可在城市中心以外着力建设区域级的中心,以缓解现有发展模式下带来的交通问题. 青浦、松江、闵行、奉贤等离市中心较远的几个区的住宅价格受到城市路网的影响更大,且这些区域的住宅往往依赖于跨区域性的交通. 为了有效缓解城市中心的住宅价格过高,政府部门可以着力完善城市郊区的路网系统,并建设跨区域性的路网系统(地铁、城际快速路等),住宅价格在半径尺度为 10 000 m 时对整合度最为敏感.

2) 住宅价格对周围步行距离(1 000 m)范围路网集聚城市基础设施的能力最为敏感. 开发商在选址时,应重点考虑步行距离的区域内的购物广场、学校、医院、地铁站、公交站等基础设施配备情况. 离市中心较远的区域,开发商应优先选择靠近跨区域性的交通设施的地段;而在市中心区域,应优先选择城市路网整合度较高的地段.

3) 在购买住宅时,应充分考虑住宅周围路网的密度和连接程度,尽量避免购买周围有承担交通枢纽的主干道的住宅. 密度和连接程度较高的路网往往会聚集更多的基础设施,这会带来住宅价格的升值空间;而承担交通枢纽的主干道会带来噪声和尾气等负的外部性.

参考文献:

- [1] 钱喆,吴翔翔,张海霞.世界级城市交通发展战略演变综述及启示[J].城市交通,2015,13(1):52-59. DOI:10.13813/j.cn11-5141/u.2015.0108.
- [2] XIAO Yang,ORFORD S,WEBSTER C J. Urban configuration, accessibility, and property prices: A case study of Cardiff, Wales[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science,2016,42(1):1-22. DOI:10.1177/0265813515600120.
- [3] 宋伟轩,毛宁,陈培阳,等.基于住宅价格视角的居住分异耦合机制与时空特征:以南京为例[J].地理学报,2017,72(4):31-44. DOI:10.11821/dlxb201704003.
- [4] VOITH R. Transportation, sorting and house values[J]. Real Estate Economics,1991,19(2):117-137. DOI:10.1111/1540-6229.00545.
- [5] WADDELL P,BERRY B J,HOCH I. Housing price gradients: The intersection of space and built form[J]. Geographical Analysis,1993,25(1):5-19. DOI:10.1111/j.1538-4632.1993.tb00276.x.
- [6] ARMSTRONG R J,RODRIGUEZ D A. An evaluation of the accessibility benefits of commuter rail in eastern Massachusetts using spatial hedonic price functions[J]. Transportation,2006,33(1):21-43. DOI:10.1007/s11116-005-0949-x.
- [7] REDFEARN C L. The topography of metropolitan employment: Identifying centers of employment in a polycentric urban area[J]. Journal of Urban Economics,2007,61(3):519-541. DOI:10.1016/j.jue.2006.08.009.
- [8] KIM K S,PARK S J,KWEON Y J. Highway traffic noise effects on land price in an urban area[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment,2007,12(4):275-280. DOI:10.1016/j.trd.2007.03.002.
- [9] DEBREZION G,PELS E,RIETVELD P. The impact of rail transport on real estate prices: An empirical analysis of the Dutch housing market[J]. Urban Studies,2011,48(5):997-1015. DOI:10.1177/0042098010371395.
- [10] EFTHYMIU D,ANTONIOU C. How do transport infrastructure and policies affect house prices and rents? evidence from Athens, Greece[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice,2013,52:1-22. DOI:10.1016/j.tra.2013.04.002.
- [11] 古恒宇,孟鑫,沈体雁,等.基于 sDNA 模型的路网形态对广州市住宅价格的影响研究[J].现代城市研究,2018(6):2-8. DOI:10.3969/j.issn.1009-6000.2018.06.001.
- [12] SEBASTIAN B,MAENNIG W. The impact of rail access on condominium prices in Hamburg[J]. Transportation,2012,39(5):997-1017. DOI:10.1007/s11116-011-9379-0.
- [13] SHEN Yao,KARIMI K. Urban function connectivity: Characterisation of functional urban streets with social media check-in data[J]. Cities,2016,55:9-21. DOI:10.1016/j.cities.2016.03.013.
- [14] LAW S. Defining street-based local area and measuring its effect on house price using a hedonic price approach: The case study of Metropolitan London[J]. Cities,2017,60:166-179. DOI:10.1016/j.cities.2016.08.008.
- [15] ANSELIN L,GRIFFITH D. Do spatial effects really matter in regression analysis? [J]. Papers in Regional Science,1988,65(1):11-34. DOI:10.1111/j.1435-5597.1988.tb01155.x.

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)