

彭一升, 杨林川. 2024. 居民活动空间重塑视角下地铁与住宅价格的非线性关联. 热带地理, 44 (5): 951-960.

Peng Yisheng and Yang Linchuan. 2024. The Nonlinear Association between the Metro and Housing Prices in Chengdu: A Perspective of Residents' Activity Spaces Reshaping. *Tropical Geography*, 44 (5): 951-960.

居民活动空间重塑视角下地铁与住宅价格的非线性关联

彭一升, 杨林川

(西南交通大学 建筑学院, 成都 611756)

摘要: 地铁重塑了居民的日常活动空间, 拓展了他们接触各类资源的机会。然而, 现有文献往往忽略地铁所带来的资源接触机会拓展对住宅价格的影响。文章以“15 min生活圈”概念为基础, 以成都市为案例地, 采用网络分析对居民的活动空间进行划定, 将资源配置划分为邻里层面和跨区域层面, 并构建极限梯度提升(XGBoost)模型, 分析地铁可达性特征、邻里层面资源配置和跨区域层面资源配置对住宅价格的非线性影响。结果显示: 1) 最近地铁站接近中心性对住宅价格贡献率达14.26%, 成为住宅价格的重要解释因素之一; 2) 邻里层面和跨区域层面资源配置的贡献率分别为34.60%和19.55%, 表明邻里层面资源配置对住宅价格有较强的解释力度, 但跨区域层面资源配置的影响也不容忽视; 3) 地铁可达性特征、邻里层面资源配置和跨区域层面资源配置与住宅价格存在复杂的非线性关系, 且不同层面资源配置对住宅价格的影响呈现不同的趋势。

关键词: 城市轨道交通; 活动空间; 房地产价格; 可达性; 资源配置; 成都市

中图分类号: F299.23; F572.88

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2024)05-0951-10

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003874

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



地铁作为一种绿色交通工具, 具有低排放、低能耗、高速度和大运量等特点。它在居民的日常生活中扮演至关重要的角色。同时, 它也是实现城市公共资源普惠共享的重要“媒介”(Sharma and Patil, 2021)。近年来, 随着综合交通体系建设、城市公共交通优先发展以及公交都市等战略的相继出台, 中国地铁发展迅速(张袁等, 2023)。截至2023年底, 中国内地共有41个城市开通地铁系统, 运营里程达到8 547.67 km(侯秀芳等, 2024)。然而, 中国大部分城市的地铁运营仍处于亏损状态, 不利于地铁的可持续发展。如何负担高昂的地铁建设与运营费用, 已成为地方政府亟需解决的问题。在此背景下, 地铁投资对周边土地/住宅的增值(溢价)效应被视为实现土地价值捕获、解决地铁建设运营赤字的重要基础(Li and Huang, 2020; Han and Wu, 2023)。因此, 地铁与土地/住宅价格的复杂关

联已成为可持续交通、城市经济和房地产经济研究的重点, 对于实现轨道交通收支平衡和城市可持续发展的目标至关重要。

可达性特征和资源配置被认为是地铁影响住宅价格的2个关键维度(Bartholomew and Ewing, 2011; Tan et al., 2019; 熊燕飞等, 2022)。可达性特征衡量的是居民出行的便捷程度(Tan et al., 2019; 熊燕飞等, 2022)。地铁改善了周边居民的出行条件, 因此购房者愿意为便捷的交通服务支付更高的价格(Li et al., 2019a)。另一方面, 资源配置特征在一定程度上反映居民享用公共服务和资源的能力(Jiang et al., 2021)。资源的外部性必然会在住宅价格上反映出来, 使得住宅价格在空间上呈现异质性。然而, 地区的资源配置也并非一成不变。地铁的建设将重塑站区空间, 从而改变资源的空间分布, 影响周边可获取的资源情况(Su et al.,

收稿日期: 2024-02-02; 修回日期: 2024-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278080)

作者简介: 彭一升(1996—), 男, 广东佛山人, 博士研究生, 主要从事城市问题研究, (E-mail) yisheng.peng@my.swjtu.edu.cn;

通信作者: 杨林川(1991—), 男, 四川泸州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事交通与土地利用的互动和规划研究, (E-mail) yanglc0125@swjtu.edu.cn.

2021)。现有研究通常以到最近设施距离或一定缓冲区内范围内的设施数量作为评估资源配置的指标,过于关注邻里层面资源配置对住宅价格的影响,忽略了地铁运营对居民活动空间的重塑(黄醇醇等, 2021; 熊燕飞等, 2022)。具体而言,地铁建设和扩张改善了居民出行的交通条件,提高了出行便利性(Li and Huang, 2020)。在相同的出行时间下,借助地铁,居民更容易跨区域获取资源,而不仅限于邻里范围。因此,对资源配置的错误评估和对跨区域层面资源外部性的忽略可能会导致对住宅价格的片面认知。

特征价格模型被认为是分析住宅价格影响因素中应用最广泛、最成熟的方法(Yang et al., 2020a; 沈体雁等, 2020)。然而,特征价格模型存在一些局限,如无法处理空间效应(主要指空间自相关和空间异质性),以及由时间固定效应和个体固定效应而引起的内生性问题。近年来,学者们引入空间计量(如空间回归和地理加权回归)、重复销售和双重差分(Yang et al., 2022; 林珍等, 2023)等模型。尽管这些模型在提升机理完备性、变量控制能力和预测精度方面取得一定效果,但它们的底层逻辑仍局限于变量间的广义线性关系,而住宅价格及其影响因素之间往往存在非线性关系(Taecharungroj, 2021; 李莹等, 2023)。相较之下,机器学习在处理变量多重共线性、探索非线性关系以及交互作用方面表现出强大的分析能力,有助于更好地分析住宅价格及其影响因素(Taecharungroj, 2021)。

鉴于此,本研究利用贝壳网收集的2017—2019年成都住宅交易数据,运用网络分析工具划定地铁站周边2 609个小区56 999个住宅样本的15 min活动空间,并构建XGBoost(eXtreme Gradient Boosting, 极限梯度提升)模型,深入分析地铁与住宅价格之间的非线性关系,特别关注邻里层面资源配置和跨区域层面资源配置对住宅价格的影响,以期为研究地铁与住宅价格的关联研究提供新的视角,为可持续地铁建设运营和资源合理配置提供启示。

1 研究进展

1.1 可达性特征对住宅价格的影响

住宅是一种具有地域性的特殊商品,其价值与城市发展水平、交通、公共服务设施等多种因素密切相关(唐红涛等, 2021)。地铁作为一种具有外部性的准公共产品,不仅极大地方便了居民的日常出行,而且以其显著的公益性特征,使得居民能以

较低的成本享受这一服务。这种低成本、高效率的出行方式,显著提升居民的生活质量和出行效益(熊燕飞等, 2022; Yang et al., 2023)。地铁所带来的出行效益会转化为经济外溢效应(Li et al., 2019a; 熊燕飞等, 2022)。研究表明,这种经济外溢效应随着到最近地铁站时间或距离的增加而逐渐减弱(Tan et al., 2019)。此外,地铁的经济外溢效应与地铁站点的网络结构特征密切相关。网络中心性是描述网络结构特征的重要概念(Chakrabarti et al., 2022)。在这个概念框架中,每一个地铁站点被看作是复杂地铁网络系统中的一个节点。地铁站点与网络中其他节点的紧密联系程度,决定该站点通过地铁网络访问城市其他区域的便捷性和效率,从而影响地铁站点周边住宅价格(Han and Wu, 2023)。接近中心性衡量节点趋于网络中心的程度,是评估地铁站点网络中心性的重要指标之一(Han and Wu, 2023)。一般认为,地铁站点的接近中心性越高,对周边住宅价格的提升作用越明显(熊燕飞等, 2022)。

1.2 资源配置特征对住宅价格的影响

根据理性选择理论,居民在选择住宅时会以最大化自身效用为目标,充分考虑自身的偏好和约束条件,包括周边资源配置。购房者会对该地区住宅可获取的教育资源、医疗设施、就业机会等资源价值进行评估,并愿意为更便利的资源支付更高的住宅价格。地铁改善区域可达性,吸引大量人口、资金等要素在地铁站点周边集聚,从而推动周边区域空间结构和资源空间分布的调整,改变邻里范围内的资源效应,这些变化最终会在住宅价格上反映出来(Su et al., 2021)。

资源获取范围的确定是评估资源配置对住宅价格影响的基础。随着《城市居住区规划设计标准》(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2018)和《城市一刻钟便民生活圈建设指南》(中华人民共和国商务部, 2021)等相关标准与政策的实施,15 min生活圈逐渐成为评估资源配置和测量资源可达性的关键标准。15 min生活圈指的是居民在15 min内可获取满足生活所需资源的空间范围(柴彦威等, 2019)。目前,学术界和业界普遍采用步行作为划定15 min生活圈的主要方式,通常以住宅为中心,以600~1 000 m的直线距离或路径距离为半径确定影响区域,并以此为基础评估周边资源的配置情况(Yang et al., 2018; 柴彦威等, 2020; Jin et al., 2022)。然而,15 min生活圈的概念更应强调时

间尺度，突出 15 min 内居民可到达的范围，而不是单纯以步行距离度量的空间尺度（钱征寒等，2022）。

随着地铁网络的不断拓展，“步行+地铁”的模式可为各个生活圈与城市系统之间建立更紧密的联系，从而推动城市资源的共享共惠。另一方面，“步行+地铁”的模式重塑居民的活动空间。活动空间通常指居民在日常生活中因为各种活动（如工作、学习、娱乐）而经常访问的一系列空间或地点（Patterson and Farber, 2015），强调人与环境之间的互动关系，描述了居民在其日常生活中使用和获取资源的空间范畴（Hasanzadeh et al., 2019; Smith et al., 2019）。地铁系统的建设与运营显著扩展周边居民的日常活动空间，从而深刻改变他们的活动地点选择和行为模式。这意味着居民享用城市资源门槛的降低和接触基础服务与公共活动空间机会的增加。综上所述，在探究资源配置与住宅价格的关系时，以时间尺度作为衡量资源获取范围的基准更加符合现实情况。同时，地铁对居民活动空间重塑而引起资源外部性的变化是否会反映在住宅价格上，值得进一步深入探讨。

2 数据与研究方法

成都市是中国西南地区重要的中心城市，也是成渝地区双城经济圈的双核之一。它是中国内地第十二个开通地铁的城市，其首条地铁线路于 2005 年开始建设，并于 2010 年投入使用。截至 2023 年底，成都市已建成并开通了 13 条地铁线路，总运营里程达到 562 km，位居全国第三（侯秀芳等，2024）。

2.1 数据与变量

2.1.1 住宅价格数据 本研究选取二手房作为研究样本。相较于新房市场，二手房市场更为活跃且分布更为广泛。此外，在新房市场，政府对价格实行严格管控，导致价格出现严重扭曲的现象。有些新楼盘的价格与周边二手房价格之间存在较大差异，甚至出现新房价格远低于二手房的情况。如成都高新区某楼盘的开盘均价约为 2 万元/m²，而周边二手房的均价却超过 4 万元/m²。因此，二手房价格具有更大的研究意义。

利用 Python 工具获取贝壳网 2017—2019 年的二手房交易记录，其中包含楼龄、小区绿化率和小

区容积率等信息。随后，对数据进行整理，筛选出商品房并剔除信息严重缺失的数据。接着，结合百度地图 API 进行地理编码，对二手房住宅数据进行空间定位。现有研究（Yang et al., 2020b; 黄醇醇等，2021）表明，地铁对住宅价格的影响半径大约为 2~2.5 km。因此，本研究仅保留距离地铁站点 2 km 以内的住宅进行分析。另外，成都市于 2019-12-27 新增了数条地铁线路。为确保分析的准确性和严谨性，本研究移除了该日期之后的交易数据。最后，利用 SPSS 22.0 的异常个案识别功能对住宅价格进行异常值检测，并剔除 2% 的异常值，最终得到 2 609 个小区共 56 999 个住宅样本。

2.1.2 地铁、道路与 POI 数据 地铁线路与地铁站点数据来源于 8684 地铁查询网^①，并利用高德开放平台和 ArcGIS Pro 进行矢量化处理。需要注意的是，在研究时段内共有 5 个时期 6 条地铁线路开通（图 1），因此以地铁线路开通的时间节点作为划分时间区间的依据，用以筛选住宅、POI（Point of Interest）等数据。最近地铁站接近中心性通过 ArcGIS Pro 的链接分析（Link Analysis）计算所得。道路数据主要来源于 Open Street Map 网站^②。POI 数据则是通过高德开放平台 API 接口获取 2017、2018 和 2019 年的信息。根据高德地图 POI 分类标准，并参考现有研究（熊燕飞等，2022; 林珍等，2023），本研究将 POI 数据划分为餐饮服务设施、生活服务设施、购物服务设施、商务金融服务设施（公司企业、金融保险服务、产业园区）、工厂、公园广场设施、中小学设施和综合医院设施 8 个类别。

2.1.3 活动空间划定 本研究的活动空间重塑指的是由地铁开通运营引发的居民日常活动空间的变化。首先，以 15 min 出行时长作为划定活动空间的依据，而出行时长由步行时间、等候时间、换乘时间和乘车时间 4 部分构成。步行与地铁的参数设置如表 1 所示，其中地铁各线路的相关参数参考高德地图的设定。其次，通过 ArcGIS Pro 的网络分析工具，根据“步行”和“步行+地铁”2 种出行模式分别构建网络数据集，并对每个住宅点位进行服务区分析，以划定邻里活动空间和跨区域活动空间，从而得到邻里层面和跨区域层面的资源配置情况（图 2）。

① <https://dt.8684.cn>

② <https://www.openstreetmap.org>

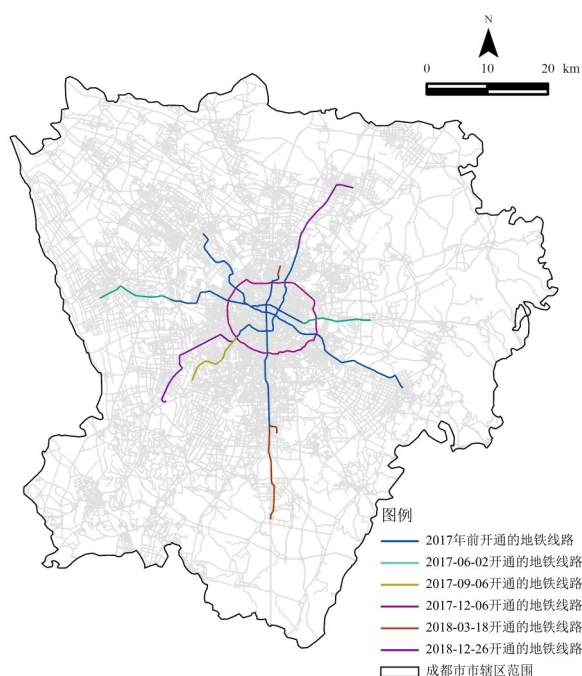


图1 研究时段内地铁线路开通情况

Fig.1 Metro line openings during the study period

表1 步行与地铁参数设置

Table 1 Parameter settings for walking and the metro

出行方式	特征数值	赋值
步行	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	4.80
成都地铁1号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	31.77
成都地铁2号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	34.30
成都地铁3号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	34.50
成都地铁4号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	36.59
成都地铁7号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	35.10
成都地铁10号线	速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	48.49
地铁	等候/换乘时间/min	5.00

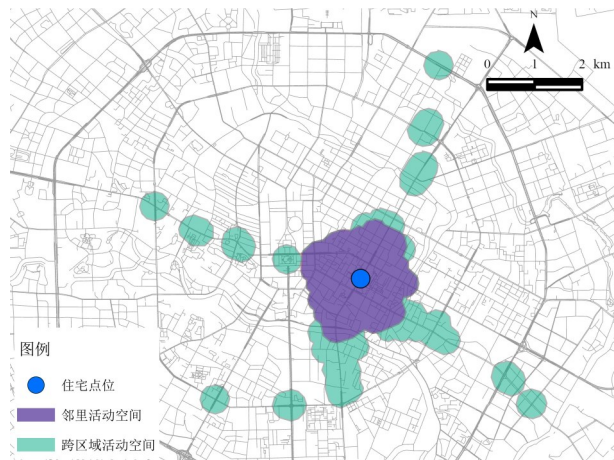


图2 活动空间划定

Fig.2 The delineation of the activity space

2.1.4 模型变量 被解释变量为经CPI（消费物价指数）修正后的二手商品房平均单价。解释变量可分为可达性特征和资源配置特征，共14个变量。同时，选取楼龄、小区容积率、小区绿化率和到春熙路（商业中心）距离4个变量作为控制变量。其中，楼龄、小区容积率和小区绿化率表征住宅的结构特征，而到春熙路距离则反映住宅的区位特征。对变量进行多重共线性检验，剔除了邻里餐饮服务设施、邻里生活设施、跨区域餐饮服务设施、跨区域生活设施后，其余变量的VIF（Variance Inflation Factor，方差膨胀因子）均 <7.5 ，说明不存在多重共线性问题。变量的描述性统计如表2所示。

表2 变量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics for variables

类别	变量	平均值	标准差
被解释变量	住宅价格/(万元 $\cdot\text{m}^{-2}$)	1.57	0.51
可达性特征	到最近地铁站时间/min	16.45	8.55
	最近地铁站接近中心性	0.71	0.16
	邻里工厂/个	1.42	2.47
	邻里综合医院设施/个	22.46	40.74
	邻里购物服务设施/个	883.29	775.22
	邻里公园广场设施/个	2.99	2.62
	邻里中小学设施/个	4.13	3.63
	邻里商务金融服务设施/个	413.26	499.98
	跨区域工厂/个	0.16	0.54
	跨区域综合医院设施/个	5.25	23.74
资源配置特征	跨区域购物服务设施/个	106.24	303.45
	跨区域公园广场设施/个	0.29	0.95
	跨区域中小学设施/个	0.34	1.25
	跨区域商务金融服务设施/个	74.61	223.40
	楼龄/a	9.30	4.82
	小区容积率	3.62	1.46
	小区绿化率/%	0.33	0.08
	到春熙路距离/km	10.39	6.86

2.2 研究方法

构建XGBoost模型探究住宅价格及其影响因素之间的非线性关系。XGBoost模型由Chen and Guestrin (2016)提出，以梯度提升决策树（Gradient Boosting Decision Tree, GBDT）为框架基础，通过分布式计算，能较好地捕捉变量间的非线性关系，是具有较好泛化能力的机器学习算法之一。此外，XGBoost通过结合集成树模型、正则化技术和自定义的损失函数与评估标准等，能够深入挖掘特征间的复杂关系，有效揭示数据的非线性模式。

本研究通过Python的sklearn、xgboost、pdp-box包构建XGBoost模型进行分析。首先，将最大迭代次数（ $n_estimators$ ）范围设置在50~500，树

的最大深度 (max_depth) 范围设置在 2~15, 学习率 (learning_rate) 范围设置在 0.01~0.1; 其次, 通过贝叶斯优化算法, 以最小化均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 为优化目标, 采用 5 折交叉检验 (5-fold cross-validation) 为模型寻找最优的超参数组合, 最终得出最大迭代次数为 91, 树的最大深度为 7, 学习率为 0.07 时, 模型最优; 最后, 通过相对重要性和部分依赖图 (Partial Dependence Plots, PDPs) 对模型进行解释并可视化。

3 结果与分析

3.1 相对重要性

表 3 展示了自变量的相对重要性及排名。在 3 类变量中, 资源配置特征的影响力最大, 相对重要性高达 54.15%, 表明资源配置在住宅价格的形成过程中发挥着关键作用 (Taccharungroj, 2021; 谢涤湘等, 2023)。在资源配置特征中, 邻里层面和跨区域层面的相对重要性分别占 34.60% 和 19.55%, 表明邻里层面资源配置对住宅价格的影响更大, 住宅周边步行范围是居民获取资源的首选 (Yang et al., 2018; Su et al., 2021)。然而, 跨区域层面的资源外部性也不容忽视。地铁使居民可以享受基础服务和公共活动空间的便利, 并进行更多的跨区域活动, 但同时也可能增加他们面临潜在的风险。具体地, 地铁的运行和人流的集中往往会对周边住宅带来过度拥挤、空气污染和噪音污染等问题, 这些都可能对居民的生活质量造成负面影响 (Dai et al., 2016)。地铁带来的资源外部性最终会反映在住宅价格上。与其他变量类别相比, 可达性的平均相对重要性最高 (8.39%), 这表明购房者愿意为可达性的改善支付更高的费用 (熊燕飞等, 2022)。

住宅区位条件是住宅价格的重要解释因素。最近地铁站接近中心性和到春熙路距离的相对重要性均位居前五, 分别为 14.26% 和 7.23%。接近中心性衡量的是站点在地铁网络中的“区位” (熊燕飞等, 2022), 其数值越大, 站点越趋于网络的中心, 到访城市其他区域越高效 (Han and Wu, 2023)。而春熙路作为成都市商业中心, 人气旺, 活力高, 从而影响周边住宅价格。此外, 多个资源配置指标对住宅价格产生不同的影响。在邻里特征中, 工厂和综合医院设施对住宅价格的影响较大, 其相对重要性分别为 8.02% 和 7.47%。而在跨区域特征方面, 公园广场和综合医院设施与住宅价格的关系密切相关, 其相对重要性分别为 4.85% 和 3.86%。

表 3 自变量相对重要性

类别	变量	相对重要性(平均相对重要性)/%	排名
		16.78(8.39)	
可达性特征	到最近地铁站时间	2.52	17
	最近地铁站接近中心性	14.26	1
资源配置特征		54.15(4.51)	
		34.60(5.77)	
邻里层面	邻里工厂	8.02	3
	邻里综合医院设施	7.47	4
	邻里购物服务设施	3.92	11
	邻里公园广场设施	4.90	8
	邻里中小学设施	5.02	7
	邻里商务金融服务设施	5.27	6
		19.55(3.26)	
跨区域层面	跨区域工厂	1.73	18
	跨区域综合医院设施	3.86	12
	跨区域购物服务设施	2.71	16
	跨区域公园广场设施	4.85	9
	跨区域中小学设施	3.08	15
	跨区域商务金融服务设施	3.32	14
		29.07(7.27)	
控制变量	楼龄	14.05	2
	小区容积率	3.62	13
	小区绿化率	4.18	10
	到春熙路距离	7.23	5

3.2 非线性关系

图 3 展示了可达性特征和资源配置特征与房价之间的非线性关系。一方面, 到最近地铁站时间与住宅价格整体上呈现不规则“U”型关系。具体而言, 当到最近地铁站时间在 0~25 min 时, 它与住宅价格呈负相关关系。然而, 一旦到站时间超过 25 min, 地铁的增值作用将不复存在。尽管地铁为居民提供更为便利的出行条件, 缩减出行的时间成本, 提高他们生活品质, 但是地铁的增值作用受到距离的强烈制约。另一方面, 最近地铁站接近中心性与住宅价格大体上呈正相关关系。这与熊燕飞等 (2022) 的研究结论一致。

资源配置特征方面, 不同设施在邻里层面与跨区域层面呈现出产生不同程度的影响。具体而言, 邻里工厂与住宅价格整体上呈现负相关的关系。当工厂数量 > 6 个时, 住宅价格趋于稳定。而跨区域工厂对住宅价格的影响存在波动, 呈现“快速上升—快速下降—缓慢上升”态势。大部分工厂被视为“邻避设施”, 使得周边住宅贬值 (谢涤湘等, 2023)。然而, 跨区域层面的工厂在一定程度上会对住宅价格产生推动作用。工厂的建设提供了大量工作机会, 吸引劳动力在附近购置房产, 导致住房

需求上升。因此,考虑到环境负面影响和邻近性优势,跨区域工厂与住宅价格的关系呈现出“N”型的波动趋势。

与工厂相似,综合医院设施和购物服务设施在邻里层面与住宅价格大体上呈现负相关关系。除了生活便利外,环境质量也是居民选择住宅的考虑因素之一(Youssoufi et al., 2020)。当住宅周边综合医院设施与购物服务设施过多时,流动人口增多且人员构成复杂,导致环境嘈杂和不安全,从而降低居住满意度(熊燕飞等, 2022)。此外,邻里综合医院设施的负面影响也可通过中国传统文化对疾病的忌讳来解释(Xu et al., 2016)。在跨区域层面,综合医院设施和购物服务设施的影响趋势截然相反。跨区域综合医院设施整体上会降低住宅价格。值得注意的是,跨区域综合医院设施与住宅价格之间存在非线性关系,在部分区间呈现正相关。这是因为居民对医疗资源的需求是刚性的,在此情况下,地铁的高连通性使其在居民和综合医院之间发挥了“桥梁”作用,既满足了居民的就医需求,又使居民远离医院区域的喧嚣,从而在一定程度上推动了地铁站周边住宅价格的上涨(胡莉蓉等, 2024)。跨区域购物服务设施与住宅价格大致呈正相关。地铁的开通提高居民出行便利程度,降低他们前往商业集聚地的经济与时间成本,使他们更倾向于在地铁站附近居住,间接导致地铁站周边住宅价格的上涨(张超等, 2019)。

邻里公园广场设施和邻里中小学设施与住宅价格整体呈正相关。由于资源的稀缺与“划片入学”“就近入学”政策,公园广场设施和中小学设施一直是居民择居的重要考虑因素(唐红涛等, 2021)。然而,在跨区域层面,这2类设施对住宅价格的影响表现出截然不同的趋势。跨区域公园广场设施对住宅价格产生积极作用。公园广场设施有助于提升居民的生活品质,而地铁的建设则为居民提供更多接触绿地的机会(唐红涛等, 2021)。相反,跨区域中小学设施对住宅价格大致产生消极影响。原因有两方面:首先,“就近入学”政策遵循“学校划片招生、生源就近入学”的原则。尽管地铁建设增加了可接触中小学的数量,但这并不一定意味着居民能够获得更多高质量的教育资源;其次,“学区房”的溢价与教育资源质量、区位和受众息息相关(唐红涛等, 2021)。

邻里商务金融服务设施和跨区域商务金融服务设施均与住宅价格呈倒“U”型关系。当邻里商务

金融服务设施数量 <628 个,或跨区域商务金融服务设施数量 <423 个时,商务金融服务设施对住宅价格起到推动作用。商务金融服务设施在一定程度上反映了居民的就业机会。首先,就业功能与居住功能的匹配程度越高,住宅价格涨幅空间越大(司南等, 2020);其次,居民通过乘坐地铁获得的工作机会越多,他们越愿意支付更高的价格(Li et al., 2019a)。然而,一旦超过阈值,商务金融设施与住宅价格的关系转为负相关。出现此现象的原因:首先,与邻里跨区域购物服务设施相似,过多的商务金融设施会使得居住环境不佳,从而对住宅价格产生抑制作用(司南等, 2020);其次,由于城市新区的快速开发与盲目扩张,虽然引进了大量公司企业和金融服务设施,但该地区生活配套设施的滞后也降低了住宅价格。

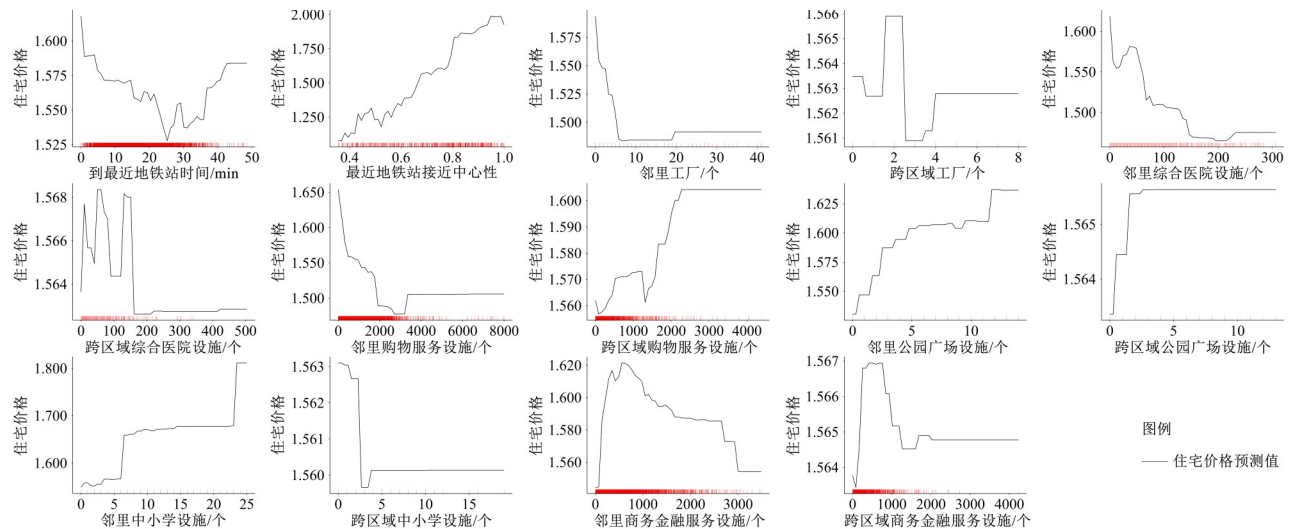
4 结论与讨论

4.1 结论

本研究以成都市地铁站点2 km半径范围内的商品住宅为例,基于居民活动空间重塑的视角,对“15 min生活圈”概念进行剖析,利用网络分析工具对居民15 min活动空间进行划定,将资源配置特征分解为邻里与跨区域2个层面。在此基础上,构建XGBoost模型,探究可达性特征、邻里层面资源配置和跨区域层面资源配置对住宅价格的非线性影响。主要结论如下:

1) 最近地铁站接近中心性是影响住宅价格的重要因素。此外,邻里层面资源配置和跨区域层面资源配置对住宅价格的解释程度分别为34.60%和19.55%。可见,跨区域层面的资源配置也应得到足够的重视。地铁的建设发展重塑了居民的活动空间,增加了他们接触享用各种资源的机会。通过地铁获得这些资源的价值明显影响了居民的支付意愿。同时,2个层面的资源配置对住宅价格表现出不同的侧重点。在邻里层面中,工厂和综合医院设施对住宅价格的影响程度分别为8.02%和7.47%。而在跨区域层面,公园广场和综合医院设施与住宅价格的关系密切相关。

2) 可达性特征、资源配置特征与住宅价格存在复杂的非线性关系。在可达性特征方面,到最近地铁站时间与住宅价格大致呈现出“U”型关系,而最近地铁站接近中心性对住宅价格产生正向推动作用。在资源配置特征方面,不同设施在邻里层面与跨区域层面对住宅价格的影响程度各异。具体而



图注：横轴的轴须图展现数据分布，短线的密集程度反映数据的集中趋势。

图3 可达性、资源配置特征与住宅价格的非线性关系

Fig.3 Nonlinear relationship between accessibility characteristics, resource allocation characteristics, and housing prices

言，在邻里层面，公园广场设施和中小学设施总体上对住宅价格有提升作用，而工厂、综合医院设施和购物服务设施对住宅价格有抑制作用。此外，邻里商务金融服务设施与住宅价格呈倒“U”型关系，且在设施数量为628个时出现一个分界点。跨区域层面，综合医院设施和中小学设施对住宅价格产生抑制作用，这与公园广场设施和购物服务设施的影响呈现相反的趋势。跨区域工厂对住宅价格的影响呈现类似“N”型的波动趋势。同时，跨区域商务金融服务设施与住宅价格同样呈现出倒“U”型关系，当其数量>423个时，对住宅价格产生抑制作用。

4.2 讨论

地铁的资本化效应一直是可持续交通、城市经济和房地产经济研究的重点。本研究将地铁带来的资源配置变化与住宅价格联系起来，取得了新的发现。地铁的运营扩大了居民的活动空间，丰富了他们接触资源的手段，表现为跨区域层面资源配置对住宅价格形成具有一定的解释力度。然而，在地铁重塑居民活动空间的过程中，资源配置的正外部性和负外部性也随之被放大，表现为跨区域层面不同设施对住宅价格具有异质甚至相反的作用。此外，本研究在可达性方面的发现与现有研究（Liu et al., 2022；熊燕飞等，2022）基本一致，但在邻里层面资源配置方面则显示出一定的差异。其中，邻里综合医院设施与住宅价格呈负相关关系，这与Li等

（2019b）基于上海市的研究结果截然不同，他们发现医院的数量与住宅价格之间存在正相关关系。这一差异的原因可能在于，上海市的就医需求显著高于成都市，2022年上海市医院诊疗人次高达1.55亿（上海市统计局，2023），远高于成都市的9 038.88万（成都市统计局，2023）。

研究结论对城市地铁可持续发展和资源配置具有一定的指导意义。首先，地铁站点的接近中心性得分越高，其拥有的经济外部性也就越突出，能更为显著地提升周边住宅价格和土地价值。因此，地方政府和地铁建设和运营公司可针对不同网络“区位”的地铁站点，采用不同的投资模式，选择合适的投资组合。其次，资源配置对住宅价格产生2种对立的效应：迎臂效应（Yes In My Back Yard）和邻避效应（Not In My Back Yard）。政府和规划者需要清晰地理解和把握各类设施的特点，进行合理的设施空间布局。同时，应充分重视地铁对可达性的改善作用，将地铁视为连接各类公共服务设施的媒介，使公共服务设施能够惠及更多的市民。再次，考虑到跨区域资源配置也会带来溢价，因此仅考虑邻里资源的溢价捕获方式可能并不合适。最后，我国土地金融体制虽然具备溢价捕获特征，但尚未针对轨道交通溢价实施专门捕获策略，因此建议讨论和探索新的轨道交通溢价捕获策略。当然，任何一种溢价捕获策略的实施都面临着不确定的问题以及一定的风险，因此建议选择适当区域，进行局部性

的试点,并在政策执行的过程中,不断评估实施效果并及时校验实施细节 (Yang et al., 2020b)。

本研究存在以下不足: 1) 采用POI数量衡量资源配置特征,未考虑资源质量的影响。实际上,资源质量也是居民购房考虑的重要因素之一。因此,忽略资源质量可能导致对资源配置效能的错误理解,使得资源数量对住宅价格的影响被夸大。2) 将地铁开通时间作为地铁外部性的体现节点。但地铁的资本化效应也许在线路规划公布或地铁动工建设的阶段便逐渐显现。未来的研究可深入探讨地铁对周边住宅价格的动态影响,为交通/城市规划和管理者提供更深入、更全面的理论和决策支持。

参考文献 (References):

- Bartholomew K and Ewing R. 2011. Hedonic Price Effects of Pedestrian-and Transit-Oriented Development. *Journal of Planning Literature*, 26(1): 18-34.
- 柴彦威, 李春江. 2019. 城市生活圈规划: 从研究到实践. 城市规划, 43 (5): 9-16, 60. [Chai Yanwei and Li Chunjiang. 2019. Urban Life Cycle Planning: From Research to Practice. *City Planning Review*, 43(5): 9-16, 60.]
- 柴彦威, 李春江, 张艳. 2020. 社区生活圈的新时间地理学研究框架. 地理科学进展, 39 (12): 1961-1971. [Chai Yanwei, Li Chunjiang, and Zhang Yan. 2020. A New Time-Geography Research Framework of Community Life Circle. *Progress in Geography*, 39(12): 1961-1971.]
- Chakrabarti S, Kushari T, and Mazumder T. 2022. Does Transportation Network Centrality Determine Housing Price? *Journal of Transport Geography*, 103: 103397.
- 成都市统计局. 2023. 成都统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Chengdu Municipal Statistics Bureau. 2023. *Chengdu Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- Chen T and Guestrin C. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco, USA: Association for Computing Machinery, 785-794.
- Dai X, Bai X, and Xu M. 2016. The Influence of Beijing Rail Transfer Stations on Surrounding Housing Prices. *Habitat International*, 55: 79-88.
- Han D and Wu S. 2023. The Capitalization and Urbanization Effect of Subway Stations: A Network Centrality Perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 176: 103815.
- Hasanzadeh K, Heinonen J, Ala-Mantila S, Czepkiewicz M, Kytä M, and Ottelin J. 2019. Beyond Geometries of Activity Spaces. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1): 149-177.
- 侯秀芳, 冯晨, 燕汉民, 左超. 2024. 2023年中国内地城市轨道交通运营线路概况. 都市快轨交通, 37 (1): 10-16. [Hou Xiufang, Feng Chen, Yan Hanmin, and Zuo Chao. 2024. Overview of Urban Rail Transit Operational Lines in Chinese Mainland in 2023. *Urban Rapid Rail Transit*, 37(1): 10-16.]
- 胡莉蓉, 何深静, 苏世亮. 2024. 深圳市公共住房居民就医可达性——基于互联网地图服务和改进两步移动搜索法. 热带地理, 44 (2): 226-235. [Hu Lirong, He Shenjing, and Su Shiliang. 2024. Accessibility of Healthcare Resources to Public Housing in Shenzhen, China: Indirect Map Service and Optimized Two-Step Floating Catchment Area Method. *Tropical Geography*, 44 (2): 226-235.]
- 黄醇醇, 王晓文, 李琳娜. 2021. 城市轨道交通对沿线住宅价格的时空效应——以福州地铁1号线为例. 地理研究, 40 (10): 2808-2822. [Huang Chunchun, Wang Xiaowen, and Li Linna. 2021. The Spatio-Temporal Effects of Urban Rail Transit on Housing Price: A Case Study of Fuzhou Metro Line 1. *Geographical Research*, 40(10): 2808-2822.]
- Jiang L, Hagen-Zanker A, Kumar P, and Pritchard J. 2021. Equity in Job Accessibility and Environmental Quality in a Segmented Housing Market: The Case of Greater London. *Journal of Transport Geography*, 90: 102908.
- Jin T, Cheng L, Liu Z, Cao J, Huang H, and Witlox F. 2022. Nonlinear Public Transit Accessibility Effects on Housing Prices: Heterogeneity Across Price Segments. *Transport Policy*, 117: 48-59.
- Li S, Chen L, and Zhao P. 2019a. The Impact of Metro Services on Housing Prices: A Case Study from Beijing. *Transportation*, 46: 1291-1317.
- Li H, Wei Y D, Wu Y, and Tian G. 2019b. Analyzing Housing Prices in Shanghai with Open Data: Amenity, Accessibility and Urban Structure. *Cities*, 91: 165-179.
- Li J and Huang H. 2020. Effects of Transit-Oriented Development (TOD) on Housing Prices: A Case Study in Wuhan, China. *Research in Transportation Economics*, 80: 100813.
- 李莹, 王楠楠, 全照民, 刘艳芳, 安睿, 刘洋. 2023. 基于随机森林的街道品质对房价的非线性影响研究——以广州市为例. 热带地理, 43 (8): 1547-1562. [Li Ying, Wang Nannan, Tong Zhaomin, Liu Yanfang, An Rui, and Liu Yang. 2023. The Nonlinear Influence of Street Quality on Housing Prices Based on Random Forest Model: A Case Study of Guangzhou. *Tropical Geography*, 43(8): 1547-1562.]
- 林珍, 王武林, 龚姣, 林彤. 2023. 住房价格空间格局及其影响因素的多尺度效应——以福州中心城区为例. 热带地理, 43 (8): 1536-1546. [Lin Zhen, Wang Wulin, Gong Jiao, and Lin Tong. 2023. Spatial Patterns of Housing Prices and Multi-Scale Effects of Its Influencing Factors: A Case Study on the Central City of Fuzhou. *Tropical Geography*, 43(8): 1536-1546.]
- Liu L, Yu H, Zhao J, Wu H, Peng Z, and Wang R. 2022. Multiscale Effects of Multimodal Public Facilities Accessibility on Housing Prices Based on MGWR: A Case Study of Wuhan, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1): 57.
- Patterson Z and Farber S. 2015. Potential Path Areas and Activity Spaces in Application: A Review. *Transport Reviews*, 35(6): 679-700.
- 钱征寒, 刘泉, 黄丁芳. 2022. 15分钟生活圈的三个尺度和规划趋势. 国际城市规划, 37 (5): 63-70. [Qian Zhenghan, Liu Quan,

- and Huang Dingfang. 2022. Three Scales and Planning Trends of 15-Minute Life Circle. *Urban Planning International*, 37(5): 63-70.]
- 上海市统计局. 2023. 上海统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Shanghai Municipal Statistics Bureau. 2023. *Shanghai Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- Sharma G and Patil G R. 2021. Public Transit Accessibility Approach to Understand the Equity for Public Healthcare Services: A Case Study of Greater Mumbai. *Journal of Transport Geography*, 94: 103123.
- 沈体雁, 于瀚辰, 周麟, 古恒宇, 何泓浩. 2020. 北京市二手住宅价格影响机制——基于多尺度地理加权回归模型 (MGWR) 的研究. *经济地理*, 40 (3): 75-83. [Shen Tiyan, Yu Hanchen, Zhou Lin, Gu Hengyu, and He Honghao. 2020. On Hedonic Price of Second-Hand Houses in Beijing Based on Multi-Scale Geographically Weighted Regression: Scale Law of Spatial Heterogeneity. *Economic Geography*, 40(3): 75-83.]
- 司南, 朱永, 阴劼. 2020. 存量发展阶段城市更新模式对商品住宅价格的影响——基于深圳样本的实证研究. *北京大学学报 (自然科学版)*, 56 (5): 959-965. [Si Nan, Zhu Yong, and Yin Jie. 2020. Impact of Urban Renewal Mode on Commercial Housing Price under Inventory Development: An Empirical Analysis in Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 56(5): 959-965.]
- Smith L, Foley L, and Panter J. 2019. Activity Spaces in Studies of the Environment and Physical Activity: A Review and Synthesis of Implications for Causality. *Health & Place*, 58: 102113.
- Su S, Zhang J, He S, Zhang H, Hu L, and Kang M. 2021. Unraveling the Impact of TOD on Housing Rental Prices and Implications on Spatial Planning: A Comparative Analysis of Five Chinese Megacities. *Habitat International*, 107: 102309.
- Taecharungroj V. 2021. Google Maps Amenities and Condominium Prices: Investigating the Effects and Relationships Using Machine Learning. *Habitat International*, 118: 102463.
- Tan R, He Q, Zhou K, and Xie P. 2019. The Effect of New Metro Stations on Local Land Use and Housing Prices: The Case of Wuhan, China. *Journal of Transport Geography*, 79: 102488.
- 唐红涛, 刘亦鹏, 吴忠才. 2021. 基于POI数据的房价影响因素空间异质性分析——以长沙市为例. *城市问题*, (2): 95-103. [Tang Hongtao, Liu Yipeng, and Wu Zhongcai. 2021. Analysis of Spatial Heterogeneity of Influencing Factors of Housing Price Based on POI Data: A Case Study of Changsha. *Urban Problems*, (2): 95-103.]
- 谢添湘, 吴淑琪, 常江. 2023. 邻避设施空间分布特征及其与周边住宅价格的关系——广州案例. *地理科学进展*, 42 (1): 42-52. [Xie Dixiang, Wu Shuqi, and Chang Jiang. 2023. The Spatial Distribution of NIMBY Facilities and Housing Prices in Surrounding Areas: A Case Study of Guangzhou. *Progress in Geography*, 42(1): 42-52.]
- 熊燕飞, 张安录, 刘蒙罢. 2022. 武汉市轨道交通对住宅价格影响的时空效应及异质性分析——基于网络结构和规模视角. *中国土地科学*, 36 (12): 47-57. [Xiong Yanfei, Zhang Anlu, and Liu Mengba. 2022. Spatial-Temporal Effect and Heterogeneity Analysis of the Impact of Rail Transit on Housing Prices in Wuhan: From the Perspective of Network Structure and Scale. *China Land Science*, 36(12): 47-57.]
- Xu T, Zhang M, and Aditjandra P T. 2016. The Impact of Urban Rail Transit on Commercial Property Value: New Evidence from Wuhan, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91: 223-235.
- Yang L, Wang B, Zhou J, and Wang, X. 2018. Walking Accessibility and Property Prices. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62: 551-562.
- Yang L, Chau K W, Szeto W Y, Cui X, and Wang X. 2020a. Accessibility to Transit, by Transit, and Property Prices: Spatially Varying Relationships. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85: 102387.
- Yang L, Chen Y, Xu N, Zhao R, Chau K W, and Hong S. 2020b. Place-Varying Impacts of Urban Rail Transit on Property Prices in Shenzhen, China: Insights for Value Capture. *Sustainable Cities and Society*, 58: 102140.
- Yang L, Liang Y, He B, Lu Y, and Gou Z. 2022. COVID-19 Effects on Property Markets: The Pandemic Decreases the Implicit Price of Metro Accessibility. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 125: 104528.
- Yang L, Yu B, Liang Y, Lu Y, and Li W. 2023. Time-Varying and Non-Linear Associations Between Metro Ridership and the Built Environment. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 132: 104931.
- Youssoufi S, Houot H, Vuidel G, Pujol S, Mauny F, and Foltête J C. 2020. Combining Visual and Noise Characteristics of a Neighborhood Environment to Model Residential Satisfaction: An Application Using GIS-Based Metrics. *Landscape and Urban Planning*, 204: 103932.
- 张超, 潘海啸. 2019. 市郊轨道交通站点周边居民购物出行研究——以上海为例. *城市规划*, 43 (3): 96-103. [Zhang Chao and Pan Haixiao. 2019. Shopping and Travel Characteristics of Residents Around Suburban Metro Station Areas in Shanghai. *City Planning Review*, 43(3): 96-103.]
- 张袁, 顾大治, 刘傲霜, 赵梓言, 龚咏喜. 2023. 轨道交通对住宅的溢价效应与价值捕获机制——以合肥轨道交通1号线为例. *热带地理*, 43 (10): 1961-1972. [Zhang Yuan, Gu Dazhi, Liu Aoshuang, Zhao Ziyang, and Gong Yongxi. 2023. Premium Effect and Value Capture Mechanism of Rail Transit on Surrounding Residence: A Case Study of Heifei Metro Line 1. *Tropical Geography*, 43(10): 1961-1972.]
- 中华人民共和国商务部. 2021. 城市一刻钟便民生活圈建设指南. (2021-07-20) [2024-01-25]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/h/redht/202107/20210703179512.shtml>. [Ministry of Commerce of the People's Republic of China. 2021. A Quarter of an Hour for the Convenience of City Life Circle Construction Guide. (2021-07-20) [2024-01-25]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/h/redht/202107/20210703179512.shtml>.]
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2018. 城市居住区规划设计标准. (2018-07-10) [2024-01-25]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201811/20181130_238590.html.

[Ministry of Housing and Urban-Rural Development of People's Republic of China. 2018. Planning and Design Standards for Urban Settlements. (2018-07-10) [2024-01-25]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201811/20181130_238590.html.]

作者贡献声明:

彭一升: 数据收集、处理, 模型构建, 论文撰写与修改;

杨林川: 整体构架和理论梳理, 课题基金支持, 论文讨论与修改。

The Nonlinear Association between the Metro and Housing Prices in Chengdu: A Perspective of Residents' Activity Spaces Reshaping

Peng Yisheng and Yang Linchuan

(School of Architecture, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: The construction and development of the metro have reshaped the activity spaces of residents and provided them with abundant opportunities to access various resources. However, existing literature often overlooks the impact of increased access to resources due to the metro system on housing prices. This study, based on residential transaction data from 2017 to 2019 obtained from Beike and metro line and station data from Chengdu, employed network analysis to define a 15-minute activity space for 56,999 residential samples in 2,609 neighborhoods around metro stations, serving as the basis for decomposing resource allocation. Subsequently, an XGBoost model was developed to explore the nonlinear impacts of accessibility and resource allocation at the neighborhood and cross-regional levels on housing prices. The results show that 1) the closeness centrality of the nearest metro station primarily affected housing prices. 2) Additionally, the relative importance of resource allocation on housing prices at the neighborhood and cross-regional levels was 34.60% and 19.55%, respectively, highlighting the significance of resource allocation at the cross-regional level. The development of the metro has reshaped residents' activity spaces, increasing access to various resources. The value of resources obtained through the metro has significantly affected residents' willingness to pay. Furthermore, resource allocation at the two levels reflected a different impact on housing prices. At the neighborhood level, the relative importance of factories and comprehensive hospital facilities was 8.02% and 7.47%, respectively. Meanwhile, the relative importance of parks and comprehensive hospital facilities were 4.85% and 3.86%, respectively, at the cross-regional level. 3) The relationship between accessibility, resource allocation characteristics, and housing prices is complex and nonlinear. Regarding accessibility, the travel time to the nearest metro station and housing prices exhibited a roughly U-shaped relationship, whereas the closeness centrality of the nearest metro station positively affected housing prices. In terms of resource allocation characteristics, different facilities had varying degrees of impact on housing prices at the neighborhood and cross-regional levels. Specifically, parks and primary and secondary schools at the neighborhood level showed an overall positive impact on housing prices, while factories, comprehensive hospitals, and shopping services at the neighborhood level generally suppressed housing prices. Additionally, business and financial service facilities at the neighborhood level showed an inverted U-shaped relationship with housing prices. At the cross-regional level, comprehensive hospital facilities and primary and secondary school facilities had opposite effects on housing prices compared to park facilities and shopping services. The impact of factories at the cross-regional level on housing prices was unstable. Business and financial service facilities at the cross-regional level demonstrated an inverted U-shaped relationship with housing prices, with a suppressive effect when the count of these facilities exceeded 423. The study findings provide valuable insights into sustainable metro development and rational resource allocation.

Keywords: urban rail transit; activity space; real estate price; accessibility; resource allocation; Chengdu