

王恩旭, 周江, 杨俊, 等. 基于 MGWR 的街道尺度下建成环境对城市活力空间分异影响机制研究——以沈阳市中心城区为例 [J]. 地理科学, 2024, 44(8): 1322-1331. [Wang Enxu, Zhou Jiang, Yang Jun et al. Impact of built environment on spatial differentiation of urban vitality at the subdistrict level based on MGWR: A case study of of Shenyang central urban area. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(8): 1322-1331.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.20230589

基于 MGWR 的街道尺度下建成环境对 城市活力空间分异影响机制研究 ——以沈阳市中心城区为例

王恩旭¹, 周江¹, 杨俊¹, 王以诚², 杨品雁¹, 王雪婧¹

(1. 东北大学江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 建成环境与城市活力的关系是城乡规划领域的重点研究议题, 本文以街道为研究单元, 以沈阳市中心城区为研究区域, 运用百度热力图数据、建筑轮廓数据、路网数据、遥感影像数据与 POI 数据等多源大数据, 应用多尺度地理加权回归模型(MGWR 模型), 探讨密度、多样性、设计、目的地可达性与交通站点距离 5 个维度的建成环境指标对城市活力的影响机制。研究结果表明: ① 城市活力呈现由中心向外围逐渐减弱的圈层式结构, 建成环境对于城市活力影响具有明显的空间异质性; ② 商业服务中心性、路网密度、建筑密度、功能混合度、地铁站点密度 5 个指标对各街道城市活力均呈较强的正向影响, 且存在明显的空间分异规律; ③ 绿化率、公交站点密度对于城市活力在所有街道上均表现为负向影响, 且绿化率的影响强度高于公交站点密度; ④ 人口密度对城市活力影响除马官桥街道外均呈负向影响, 影响系数均较小, 影响程度微弱。⑤ 道路交叉口密度对于中心城区西部的 12 个街道城市活力呈正向影响, 影响系数较小, 影响程度微弱, 而对于其余街道均呈负向影响, 且负向影响程度明显强于正向影响。

关键词: 建成环境; 城市活力; 街道尺度; 城市中心区; MGWR 模型; 多源大数据

中图分类号: TU984.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2024)08-1322-10

Jacobs^[1] 首次在城乡规划领域引入城市活力的概念, 认为街道上人们 24 h 的生活构成了城市活力的核心, 并提出大城市保持城市活力需要满足土地利用多样性、街区小型化、新旧建筑并存、高密度发展 4 个主要条件, 以及公园与交通站点可达性、边界真空缓解 2 个次要条件^[2], 这 6 个条件恰恰是衡量城市建成环境的重要方面。可见, 城市活力的变化与建成环境有着密切的联系。

随着新型城镇化战略的提出, 以人为本的城镇化理念在国家发展战略中逐步推进, 城市活力的提升成为新型城镇化实施与城乡规划领域关注的焦点问题。探讨建成环境对城市活力的影响, 并通过建成环境的优化来提升城市活力成为学术界关注

的重点议题。

从学术研究的视角来看, 国内外学者在城市活力与建成环境方面已经开展了一些研究, 并尝试探讨二者的关系。研究者从不同的视角定义了城市活力, 并运用手机信令数据、社交媒体签到点评数据、百度热力图数据、POI(兴趣点)设施数据等进行了城市活力的测量^[3-10]。早期的建成环境研究从密度、多样性和设计 3 个维度来选择评价指标, 形成了建成环境的 3D 维度^[11], 而后又在 3D 维度的基础上增加了目的地可达性与交通站点距离 2 个维度, 形成了包括密度、多样性、设计、目的地可达性与交通站点距离更为全面的 5D 维度建成环境指标体系^[12], 且已经成为当前建成环境评价的主要依据。与此同

收稿日期: 2023-06-22; 修订日期: 2023-12-24

基金项目: 国家社会科学基金项目(23BTY029)、辽宁省教育厅基本科研课题(JYTMS20230627)资助。[Foundation: National Social Science Foundation of China (23BTY029), Basic Scientific Research Foundation of the Educational Department of Liaoning Province (JYTMS20230627).]

作者简介: 王恩旭(1980—), 男, 辽宁沈阳人, 副教授, 博士, 主要从事建成环境与时空行为研究。E-mail: wangenxu@mail.neu.edu.cn

通信作者: 周江。E-mail: zhoujiang9005@163.com

时,国内外学者针对建成环境与城市活力关系也开展了相关研究。国外研究发现高人口密度、就业密度及高土地价值等建成环境指标与社区活力紧密相关^[13],土地利用、建筑密度及公共交通等相关方面建成环境对城市活力产生影响^[14]。国内研究中运用百度热力图数据、新浪微博签到数据、大众点评数据、出租车数据与 POI 数据等多源数据表征城市活力,从建设强度、功能性质、交通可达性、功能混合度、休闲设施、居住设施、交通设施、路网密度、建筑密度等方面分析广州市、上海市中心城区建成环境对城市活力的线性与非线性影响^[15-17],还有学者从社区尺度、网格尺度等对深圳市、武汉市等全国区域性中心城市的建成环境与城市活力开展研究^[18-21]。

通过现有的研究梳理可以发现,目前针对建成环境与城市活力的研究主要探讨二者的线性关系,采用 OLS 模型与 GWR 模型的相对较多。从研究尺度来看,主要采用了街区尺度、交通小区尺度、社区尺度等,研究对象一般选择区域性中心城市的城市中心区。但选择借助 MGWR 模型,以街道尺度来分析东北地区中心城市活力的研究还不多见。街道是中国目前行政区划中最小的划分单位,以该尺度所得到的研究结果对引导城市规划并优化建成环境更具可操作性与科学性。因此,本文选择东北地区的中心城市沈阳市为研究对象,运用 MGWR 模型分析街道尺度下建成环境对城市活力的影响。沈阳市是东北地区重要的核心增长极,是沈阳现代化都市圈建设的核心,将沈阳市作为研究对象拓展了以往研究对象选择类型,尝试探讨东北地区城市建

成环境与城市活力问题,为优化东北地区城市发展提供一定的理论借鉴。街道研究尺度的选择也将为行政区划管理视域下的建成环境优化与城市活力提升提供决策参考。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

沈阳市是中国 15 个副省级城市之一,东北地区中心城市,辽宁省省会,沈阳现代化都市圈核心城市,国土总面积 12 860 km²,2022 年末全市常住人口约 914.7 万人^[22]。沈阳市中心城区是人口密集、交通便利、生活服务设施完备的核心发展区域,中心城区的发展质量代表了整个城市的发展水平。因此,本文选择沈阳市的中心城区作为研究区域来探讨建成环境对城市活力的影响。依据 POI 密度、建筑密度及路网密度 3 个要素来划定沈阳市中心城区,以街道为基本单元来计算沈阳市市辖区每一个街道的 POI 密度、建筑密度及路网密度,将 3 者均是高密度重叠的街道作为中心城区范围。以此方法选择的中心城区包括 78 个街道,总面积约 236.07 km²,人口占全市总人口的 50% 以上,具体如图 1 所示。

1.2 数据来源

本文研究数据包括夜间灯光数据、百度热力图数据、人口栅格数据、POI 数据、路网数据、建筑轮廓数据和 Landsat8 遥感影像数据。其中夜间灯光数据来源于珞珈一号卫星影像网站^①,数据分辨率为 130 m,成像时间为 2019 年 3 月。百度热力图数

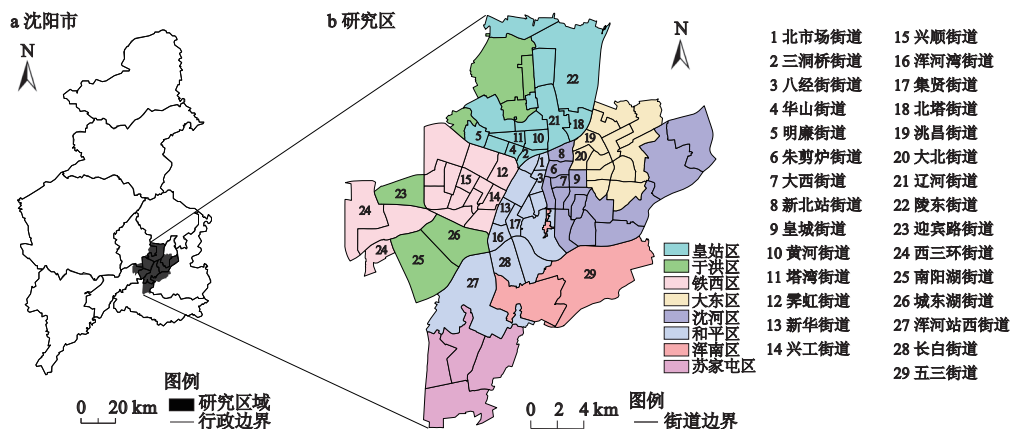


图 1 沈阳市中心城区区位

Fig.1 Location of Shenyang central urban area

① <http://59.175.109.173:8888/app/login.html> [2022-02-07]

据来源于百度地图慧眼平台^①,选取 2022 年 2 月 20 日至 2 月 26 日的 9:30、12:30、16:00 共 3 个时间节点 7 d 的数据,计算每个街道 21 个时间节点的热力均值,并用该值与街道面积的比值作为每一个街道的热力强度,以此来表征各个街道的城市空间活力,热力强度越高,城市空间活力越高。人口栅格数据来源于 WorldPop 官网^②,数据分辨率为 100 m。POI 数据来源于高德地图开放平台^③,并对重复的 POI 点进行筛减。路网数据与建筑轮廓数据来源于 OpenStreetMap 官网^④,并对路网数据进行拓扑检查等处理后进行研究。Landsat8 遥感影像数据来源于地理空间数据云^⑤,数据分辨率为 30 m,成像时间为 2021 年 10 月。

1.3 变量选择

1.3.1 城市活力

依据王娜等^[18]、蒋涤非等^[23]对城市活力的测量方法,采用城市空间活力、城市经济活力与城市文化活力来综合表征城市活力。城市空间活力利用百度热力图数据测量,表征居民空间活动聚集程度;城市经济活力利用夜间灯光数据测量,灯光像元越多的街道其经济活力越高;城市文化活力利用文化类 POI 设施的密度测量,文化设施密度越高其文化活力越高。城市活力取城市空间活力、城市经济活力与城市文化活力平均值而得。

1.3.2 建成环境指标

利用包括密度、多样性、设计、目的地可达性、交通站点距离的 5D 维度建成环境指标体系来测量

沈阳市中心城区的建成环境水平。结合现有研究、沈阳市中心城区特点及数据可获取性,本文初步选取了 11 个建成环境指标。通过多重共线性检验,剔除方差膨胀因子(VIF)大于 7.5 的指标,最终选择了人口密度、建筑密度、功能混合度、道路交叉口密度、路网密度、绿化率、商业服务中心性、公交站点密度和地铁站点密度 9 个指标(表 1)。

依据建成环境所选择的指标与数据,分别计算各街道的建成环境水平。从图 2 中可以发现各街道建成环境水平存在明显的空间分异规律。

1.4 研究方法

在地理空间问题分析中,自变量对于因变量具有全局影响,同时也有由于地理空间的差异而形成自变量对因变量的局部影响。因此,对于一个地理空间问题分析需要考虑自变量对因变量的全局影响与局部影响 2 个方面^[24-25]。本文运用 OLS 模型^[24]分析建成环境对城市活力的全局影响,运用 MGWR 模型^[26]分析各街道建成环境对城市活力的局部影响,揭示影响的空间分异规律。

MGWR 模型是一种局部回归模型,能够将数据的地理位置信息通过权重嵌入到回归参数中,实现数据的局部空间变化估计,可以识别建成环境指标对每 1 个街道城市活力的影响程度。影响城市活力的因素可能同时存在空间平稳与空间非平稳 2 种类型,MGWR 模型通过允许各个变量带宽不同改进了 GWR 模型^[26],进而得到更为精准的估计结果,计算公式如下:

表 1 基于 5D 维度的建成环境指标

Table 1 Built environment index based on 5D dimension

类别	变量	计算方法	数据来源
密度	人口密度/(人/km ²)	人口数量/街道面积	WorldPop官网
	建筑密度	建筑基底面积/街道面积	OpenStreetMap官网
多样性	功能混合度	各类POI设施的香农多样性指数	高德地图开放平台
设计	道路交叉口密度/(个/km ²)	交叉口个数/街道面积	OpenStreetMap官网
	路网密度/(km/km ²)	路网总长度/街道面积	OpenStreetMap官网
	绿化率	街道内FVC均值	地理空间数据云
目的地可达性	商业服务中心性	街道内商业服务类POI核密度均值	高德地图开放平台
交通站点距离	公交站点密度	街道内公交站点核密度均值	高德地图开放平台
	地铁站点密度	街道内地铁站点核密度均值	高德地图开放平台

① <https://rq.baidu.com> [2022-03-21]

② <https://hub.worldpop.org> [2022-03-21]

③ <https://lbs.amap.com> [2022-03-21]

④ <https://www.openstreetmap.org> [2022-03-21]

⑤ <https://www.gscloud.cn> [2022-03-21]

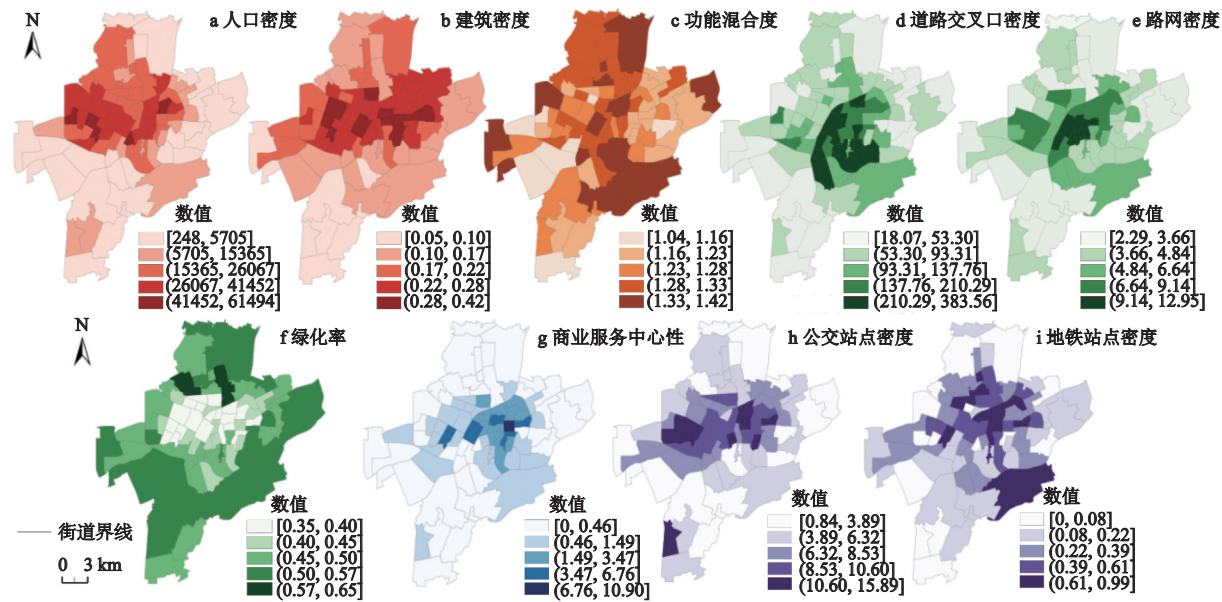


图2 沈阳市中心城区建成环境水平
Fig.2 Built environment level of Shenyang central urban area

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^k \beta_{bwj}(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i$$

式中, y_i 表示第 i 个街道的城市活力, x_{ij} 表示第 i 个街道第 j 个建成环境指标, k 表示街道数量, (u_i, v_i) 表示街道中心点的空间坐标, $\beta_0(u_i, v_i)$ 表示第 i 街道的截距, $\beta_{bwj}(u_i, v_i)$ 表示第 i 个街道第 j 个建成环境指标局部回归系数, ε_i 表示随机误差项。

2 实证结果分析

2.1 城市活力空间分异特征

分别计算沈阳市中心城区的城市空间活力、城市经济活力与城市文化活力,并依据3个活力的结果计算城市活力。通过计算结果可以发现,78个街道的城市活力均值为0.3151,整体处于较低的状态,城市活力呈现由中心向外围逐渐减弱的态势,各街道的城市活力存在明显的空间分异,东北与西南区域街道的城市活力最低。中心地带的北市场街道、皇城街道、大西街道、太原街街道、八经街道、新北站街道、贵和街道、朱剪炉街道8个街道的活力均大于0.5000,这些街道均处在中心城区的最中心位置,其中北市场街道的活力值达到0.9200,是所有街道中最高的。从分项活力情况看,经济活力、空间活力与文化活力的均值分别为0.4610、0.3675、0.1167。

对沈阳市中心城区城市活力的空间自相关性进行全局莫兰指数检验,得到城市活力的Moran's I 指数为0.6110,标准化检验 Z 值得分为9.7230,并通过显著性水平检验($P < 0.01$),随机产生此聚类模式的可能性小于1%。通过Moran's I 指数检验可以看出沈阳市中心城区的城市活力具有空间溢出效应,存在着空间上的集聚,呈现出显著的空间自相关特征。

2.2 全局回归模型结果分析

在5D维度下各建成环境指标对城市活力的影响中,人口密度、地铁站点密度对城市活力呈正向影响(表2),公交站点密度对城市活力呈负向影响,

表2 OLS模型回归结果			
Table 2 OLS model regression results			
维度	变量	影响系数	VIF
密度	人口密度	0.048	2.129
	建筑密度	0.144**	2.345
多样性	功能混合度	0.128**	1.182
	道路交叉口密度	-0.086*	1.169
设计	绿化率	-0.154**	2.562
	路网密度	0.284***	2.595
目的地可达性	商业服务中心性	0.264***	2.300
交通站点距离	公交站点密度	-0.002	3.199
	地铁站点密度	0.080	2.840

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下的显著性。

但这 3 个建成环境指标对城市活力的影响效果均不显著,其他建成环境指标对城市活力均呈显著影响。建筑密度、功能混合度、路网密度、商业服务中心性对城市活力呈显著正向影响,道路交叉口密度、绿化率对城市活力呈显著负向影响,其中路网密度与商业服务中心性对城市活力的影响系数均大于 0.200,影响程度最大。

2.3 局部回归模型结果分析

2.3.1 模型结果比较

OLS 模型回归结果显示的是沈阳市中心城区建成环境指标对城市活力的总体影响程度,没有考虑空间单元之间的建成环境差异而形成影响的空间异质性。本文将 9 个建成环境指标与城市活力分别运用 GWR 模型与 MGWR 模型进行回归分析,GWR 模型中解释变量的带宽均为 75, MGWR 模型中解释变量的带宽为 65~77,具有良好的跨尺度描述与解释能力,能准确的反映每一个建成环境指标对城市活力影响的空间异质性和各自的空间作用尺度。

MGWR 模型的 RSS 与 AICc 值分别为 11.286 与 118.287,均低于 GWR 模型的 12.207 与 121.042,表明 MGWR 模型比 GWR 模型预测的数值更接近真实值。MGWR 模型调整后 R^2 的数值大于 GWR 模型的数值,可解释沈阳市中心城区城市活力变化原因的 81.4%。由此可见, MGWR 模型更优于 GWR 模型,并且能更准确的反映沈阳市中心城区城市活力与建成环境指标之间的关系。因此,本文采用 MGWR 模型检验建成环境对城市活力的空间分异影响。

2.3.2 建成环境对城市活力影响的空间异质性

通过 MGWR 模型计算得到建成环境指标对城

市活力影响的结果与空间分异情况,具体如表 3 与图 3 所示。

通过表 3 可以发现, MGWR 模型回归系数的最小值统计结果显示建筑密度、功能混合度、路网密度、商业服务中心性、地铁站点密度对于城市活力呈正向影响;回归系数的最大值统计结果显示绿化率、公交站点密度对于城市活力呈负向影响,这与 OLS 模型的结果相一致。人口密度、道路交叉口密度对于城市活力既有正向影响也有负向影响。只有马官桥街道人口密度对城市活力呈正向影响,且影响系数极小;位于中心城区东部的于洪区的迎宾路街道、南阳湖街道、城东湖街道 3 个街道与铁西区的兴顺街道等 9 个街道的道路交叉口密度对城市活力呈正向影响,但影响系数均小于 0.050,影响程度较小。

标准差表示各个变量对于城市活力影响的离散程度,标准差数值越大表明地区间的异质性越大,差异越明显。从回归系数标准差统计结果显示道路交叉口密度、功能混合度、地铁站点密度对于城市活力在不同街道上的影响存在较大差异,标准差均在 0.040 以上;商业服务中心性、建筑密度、路网密度、绿化率对于城市活力影响的区域差异适中,标准差为 0.010~0.025;人口密度与公交站点密度对于城市活力影响的区域差异较小,标准差均在 0.010 以下。

从图 3 可以看出建成环境 9 个指标对城市活力的影响存在明显的空间分异规律。

在密度维度上,人口密度对城市活力的影响系数在-0.041 4~-0.000 5,人口密度对城市活力的影响程度是建成环境指标中最弱的。人口密度对于最东部沈河区的马官桥街道呈正向影响,对其余街道的

表 3 MGWR 模型回归结果统计

Table 3 MGWR model regression results statistics

变量	均值	标准差	最小值	上四分位数	中位数	下四分位数	最大值
人口密度	-0.0222	0.0097	-0.0414	-0.0295	-0.0221	-0.0144	0.0005
建筑密度	0.2418	0.0185	0.2225	0.2264	0.2343	0.2540	0.2819
功能混合度	0.2144	0.0535	0.1188	0.1702	0.2367	0.2587	0.2893
道路交叉口密度	-0.1011	0.0714	-0.1882	-0.1580	-0.1382	-0.0382	0.0435
绿化率	-0.1819	0.0105	-0.2046	-0.1898	-0.1791	-0.1725	-0.1692
路网密度	0.2576	0.0112	0.2343	0.2502	0.2583	0.2666	0.2780
商业服务中心性	0.3149	0.0216	0.2808	0.2956	0.3159	0.3355	0.3492
公交站点密度	-0.1010	0.0084	-0.1117	-0.1088	-0.1028	-0.0933	-0.0835
地铁站点密度	0.1433	0.0404	0.0810	0.1004	0.1588	0.1776	0.2022

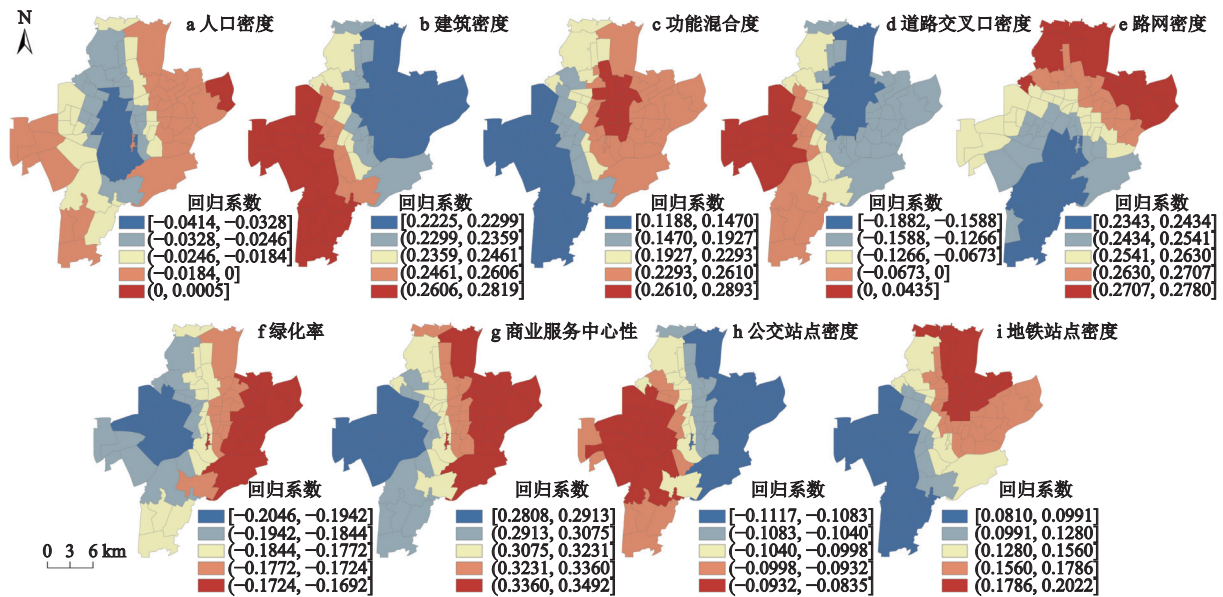


图3 沈阳市中心城区建成环境对城市活力影响的空间分异

Fig.3 Spatial differentiation of the impact of built environment on urban vitality of Shenyang central urban area

城市活力均呈负向影响,负向影响程度的空间变化由中心向东西外围两侧逐渐减弱。对于中心地带的和平区(浑河站西街道除外)街道及皇姑区的塔湾街道、华山街道与三洞桥街道,铁西区的霁虹街道与兴工街道的影响程度高于其他区域,但影响强度并不大。建筑密度对城市活力的影响系数为0.2225~0.2819,影响强度呈现由东北向西南逐渐增强的趋势,但影响强度的变化差异并不大,中心地带是作用强弱的过渡地带;对于皇姑区、大东区、沈河区的影响强度比其他区域略强,而对于铁西区、于洪区及苏家屯区略弱。

在多样性维度上,功能混合度是衡量多样性的指标,功能混合度对城市活力的影响系数在0.1188~0.2893,对各街道影响作用的空间差异明显,对城市活力的影响程度呈由中心向外围逐渐减弱的趋势,其中西部与南部最低。皇姑区的辽河街道、北塔街道、黄河街道,沈河区的新北站街道、朱剪炉街道、大西街道、皇城街道等街道,和平区的北市场街道、八经街街道,大东区的洮昌街道、大北街道共计15个中心偏东北的街道功能混合度对城市活力的影响程度最大。

在设计维度上,道路交叉口密度对城市活力的影响系数为-0.1882~0.0435,对城市活力正向影响系数均小于0.050,影响程度较小;对城市活力负向影响系数绝对值大于正向系数,影响程度较大,表

明道路交叉口密度对于城市活力的提升主要表现为抑制作用,对城市活力的影响程度由东北向西南呈先减弱后增强的趋势,其中对西部于洪区与铁西区的12个街道呈正向影响,对其余街道均呈负向影响。对于中心区域及偏北的和平区、沈河区、大东区与皇姑区的部分街道负向影响最强,即该区域随着道路交叉口密度的提升,其城市活力下降更快。绿化率对城市活力的影响系数为-0.2046~-0.1692,均为负向影响,对各街道的负向影响程度是建成环境所有指标中最大的,对城市活力的影响程度呈由东部向西部减弱趋势,在中心地带向西部呈现了先减弱再增强的趋势,即负向影响最弱的地带位于中部地带与西部之间的街道,其中南部苏家屯区的4个街道与中心地带影响程度一致。路网密度对城市活力的影响系数为0.2343~0.2780,均为正向影响,对城市活力的影响程度呈由西南向东北逐步增强的趋势,其中对中心地带向南部(湖西街道除外)的和平区、浑南区与苏家屯区的12个街区影响较弱。

在目的地可达性维度上,商业服务中心性对城市活力的影响系数为0.2808~0.3492,均为正向影响。对城市活力的影响程度呈由西部向东部逐步增强的趋势,其中对和平区的新华街道与浑河湾街道、于洪区的南阳湖街道与城东湖街道及铁西区的大部分街道影响程度较弱。中心地带处于明显的过渡地带,商业服务中心性对该区域街道的作用强度处于

中等水平,对于大东区(大北街道除外)的所辖街道、沈河区偏东的街道、皇姑区的陵东街道及浑南区的五三街道影响程度较强。

在交通站点距离维度上,公交站点密度对城市活力的影响系数为 $-0.111\ 7\sim-0.083\ 5$,均为负向影响,对城市活力的影响程度呈由西部向东部逐渐减弱的趋势,其中对于铁西区(西三环街道除外)所辖街道,皇姑区的明廉街道,和平区的新华街道、浑河湾街道、长白街道、集贤街道、浑河站西街道,于洪区的迎宾路街道、城东湖街道、南阳湖街道的影响强度最大。地铁站点密度对城市活力的影响系数为 $0.081\ 0\sim0.202\ 2$,均为正向影响,对城市活力的影响程度呈由西南向东北逐渐增强的趋势,其中对于铁西区、于洪区、苏家屯区的部分街道及和平区的浑河站西街道影响程度较弱,对皇姑区、沈河区、大东区在中心城区偏东北的街道及和平区的北市场街道影响程度较强。

3 结论与讨论

本文以沈阳市中心城区街道为基本研究单元,从5D维度选择了9个建成环境指标来评价各街道的建成环境水平,从空间活力、经济活力与社会活力3个方面来评价各街道的城市活力情况,分析了建成环境对城市活力影响的空间分异,结果表明:沈阳市中心城区城市活力呈现由中心向外围逐渐减弱的圈层式结构,建成环境对于城市活力影响具有明显的空间异质性。

1) 商业服务中心性、路网密度、建筑密度、功能混合度、地铁站点密度5个指标对于78个街道的城市活力均呈正向影响,平均影响系数均在 $0.140\ 0$ 以上,对各街道的影响系数存在明显差异,表明5个指标对于城市活力具有较强的影响,且存在明显的空间分异规律,这个结果与大部分学者的研究结果相一致^[14,18,27-29]。这5个方面是沈阳市中心城区城市活力提升的关键要素,未来的中心城区规划应该进一步优化交通结构,提升道路的连通性,改造升级部分能够提升通行能力的道路;在中心城区增加商业设施的布局密度,尤其是中心城区所涵盖的于洪区、铁西区、浑南区、苏家屯区、沈河区、皇姑区、和平区与大东区8个市辖区外围街道要优先提升商业设施布局密度,满足居民在社区生活圈范围内的商业出行需求;提升低密度空间的建筑密度,增强土地利用混合度,实现设施功能的多样化,满足

居民多元化的出行需求。随着地铁站域空间的建设与发展,其服务功能空间也在逐渐多样化与完善化,使地铁站域空间一定范围内的人群活动频率逐步提升,进而提升城市活力,在未来的发展中应该依据不同地铁站域空间的现存主导服务功能继续扩大其主导服务功能体系,形成功能分异的地铁站域空间格局,满足居民地铁出行需求,进一步提升城市活力。

2) 绿化率、公交站点密度对于城市活力在所有街道上均表现为负向影响,且绿化率的影响强度高于公交站点密度。Ding等^[30]、Li等^[31]的研究也发现绿化率对城市活力均表现为负向影响,这与本研究的结果一致。绿化率的提升能够显著改善人居环境,但大面积的绿化覆盖会占据一定的城市空间,在一定程度上缩小了活动空间,抑制了城市活力的提升,但绿化率存在溢出效应,虽然本身缩小了活动空间,但由于环境的改善,能够使绿地邻近空间的人群活动增强,因此,在未来的规划中可以考虑分散化的绿化布局形式,通过进一步提升绿化空间的活力来提升其溢出效应。Li等^[31]采用的线性分析与王梓蒙等^[21]采用的非线性分析均发现公交站点密度对城市活力既有正向影响也有负向影响,这与本文的结论不完全一致。部分研究采用了公交站点数量这一指标,Jiang等^[32]研究发现公交站点数量对城市活力具有正向影响,这与本文的研究结果完全相反;Chen等^[9,33]、Xiao等^[34]的研究结果显示公交站点数量在不同的研究单元对于城市活力既有正向影响也有负向影响,这与本文的研究结果不完全一致。公交站点数量与公交站点密度存在一定的差别,密度与所在区域面积有密切关系,数量多密度不一定大,因此采用公交站点数量指标所得结论与本文不一致可以理解。通过对沈阳市居民的调研访谈了解到由于公交车的到站时间及行车时长可能会因交通拥堵而不可控,从而使目前居民出行更趋向于选择地铁与共享单车,因此在同等条件下公交车出行的选择概率会更低,进而使公交站点密度对于城市活力的提升未发挥正向作用。

3) 道路交叉口密度对于城市活力既有正向影响也有负向影响。主要表现为对于西部于洪区与铁西区的12个街道的城市活力呈正向影响,但影响系数小于 0.050 ,影响强度微弱,而对于其余街道均呈负向影响,且负向影响程度明显强于正向影响,即道路交叉口密度主要对于城市活力提升表现为抑

制作用。塔娜等^[17]、王娜等^[18]的研究发现道路交叉口密度对于城市活力具有正向影响,而本文的研究结果显示道路交叉口密度对于不同区域影响不同,对中心城区西部街道具有正向作用,该区域位于中心城区的边缘区域,路网体系不够完整,增加交叉口密度意味着提高路网密度,会提高区域可达性以及更容易新增大型商业中心等高端商业业态。负向影响的区域位于老城区的中心区域,可能的原因在于老城区道路交叉口越密集其道路的破碎度越大,道路系统连续性越低,机动车穿行与行人步行交叉频率较高,影响居民出行的交通通达性,从而降低城市活力。此外还有部分道路交叉口密集区域,内部对应的为低等级道路,区域空间内分布的大多为低端的商业业态,吸引入气的能力不足,进而城市活力较低。同时,道路交叉口过多的路段其交通灯设置也相对较多,在目前的汽车保有量持续上升的阶段其道路堵车已经呈现无规律不分时段现象,城市中心区由于道路相对宽度较小,出现汽车无序停留及拥堵影响居民出行等问题使城市活力降低,越是中心城区的中心地带这个问题表现越突出。

4)人口密度对城市活力影响除马官桥街道外均呈负向影响,但影响系数的绝对值均小于 0.050,影响程度微弱。Chen 等^[9]的研究结果显示人口密度对城市活力呈正向影响,但 Li 等^[31]、塔娜等^[17]、王梓蒙等^[21]、吴莞姝等^[10]、刘云舒等^[35]等多位学者的研究发现人口密度对城市活力既有正向影响也有负向影响。人口密度大的街道主要集中在沈阳市的最中心地带,这一区域主要以老城区为主,由于过大的人口密度使生活服务设施人均占有率较低,也使整体环境相对于本文中的外围街道略差,从而抑制了城市活力的提升,未来的规划中应该适当引导中心地带人口密度的降低及生活服务设施密度的提升,进一步降低人口密度过大对于城市活力的抑制作用。

4 局限与展望

本文选择以街道为基本研究单元,但所选择的 78 个街道在空间大小上存在一定差异,主要表现为由中心区域向外围地带的街道面积逐渐增大,这可能会对研究结果产生一定的影响。在未来的研究中,将尝试探究在街区尺度下与网格尺度下的建成环境对城市活力的影响。在街区尺度下,以路网为依托,

并充分考虑由路网围合的功能相对完整的单元作为街区单元来探讨建成环境对城市活力的影响机制;在网格尺度下,拟尝试构建 300 m×300 m、500 m×500 m、1 000 m×1 000 m 等不同的网格尺度,识别适合建成环境对城市活力影响的研究尺度。并对比街道尺度、街区尺度及网格尺度下建成环境对城市活力影响的结果,找到二者影响关系研究的最佳适配程度的研究尺度,为建成环境与城市活力关系研究的尺度选择提供理论参考。同时,也将考虑利用非线性的研究方法来识别建成环境对城市活力影响的阈值效应,进而为未来建成环境的优化提供更加完备的理论支撑。

参考文献(References):

- [1] Jacobs J. The death and life of great American cities [M]. New York: Random House, 1961.
- [2] Sung H, Lee S. Residential built environment and walking activity: Empirical evidence of Jane Jacobs' urban vitality[J]. *Transportation Research Part D*, 2015, 41: 318-329.
- [3] 汪海, 蒋涤非. 城市公共空间活力评价体系研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2012, 9(1): 56-60. [Wang Hai, Jiang Difei. Evaluation system research on vitality of urban public space. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2012, 9(1): 56-60.]
- [4] 汪胜兰, 李丁, 冶小梅, 等. 城市活力的模糊综合评价研究——以湖北主要城市为例 [J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2013, 47(3): 440-445+449. [Wang Shenglan, Li Ding, Ye Xiaomei et al. Fuzzy comprehensive evaluation on the urban vitality—A case of the main cities in Hubei Province. *Journal of Huazhong Normal University (Nature Science)*, 2013, 47(3): 440-445+449.]
- [5] Zeng C, Song Y, He Q et al. Spatially explicit assessment on urban vitality: Case studies in Chicago and Wuhan[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 40: 296-306.
- [6] Maas P. Towards a theory of urban vitality[D]. Vancouver: University of British Columbia, 1984.
- [7] Montgomery J. Making a city: Urbanity, vitality and urban design[J]. *Journal of Urban Design*, 1998, 3(1): 93-116.
- [8] Jin X, Long Y, Sun W et al. Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data[J]. *Cities*, 2017, 63: 98-109.
- [9] Chen Y, Yu B, Shu B et al. Exploring the spatiotemporal patterns and correlates of urban vitality: Temporal and spatial heterogeneity[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 91: 104440.
- [10] 吴莞姝, 马子迎, 郭金函, 等. 建成环境对街道活力的非线性效应——基于 XGBoost 模型的多源大数据分析 [J]. 中国园林, 2022, 38(12): 82-87. [Wu Wanshu, Ma Ziyang, Guo Jinhan et al. Nonlinear effect of built environment on street vitality: A multi-source big data analysis based on XGBoost model.

- Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(12): 82-87.]
- [11] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. *Transportation Research Part D*, 1997, 2(3): 265-294.
- [12] Ewing R, Tian G, Goates JP et al. Varying influences of the built environment on household travel in 15 diverse regions of the United States[J]. *Urban Studies*, 2015, 52(13): 2330-2348.
- [13] Kang C. Effects of the human and built environment on neighborhood vitality: Evidence from Seoul, Korea, using mobile phone data[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2020, 146(4): 05020024.
- [14] Pan C, Zhou J, Huang X. Impact of check-in data on urban vitality in the Macao Peninsula[J]. *Scientific Programming*, 2021, 1: 7179965.
- [15] 汪成刚, 王波, 王琪智, 等. 城市活力与建成环境的非线性关系和阈值效应研究——以广州市中心城区为例 [J]. *地理科学进展*, 2023, 42(1): 79-88. [Wang Chenggang, Wang Bo, Wang Qizhi et al. Nonlinear associations between urban vitality and built environment factors and threshold effects: A case study of central Guangzhou City. *Progress in Geography*, 2023, 42(1): 79-88.]
- [16] 王波, 雷雅钦, 汪成刚, 等. 建成环境对城市活力影响的时空异质性研究: 基于大数据分析 [J]. *地理科学*, 2022, 42(2): 274-283. [Wang Bo, Lei Yaqin, Wang Chenggang et al. The spatio-temporal impacts of the built environment on urban vitality: A study based on big data. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(2): 274-283.]
- [17] 塔娜, 曾屿恬, 朱秋宇, 等. 基于大数据的上海中心城区建成环境与城市活力关系分析 [J]. *地理科学*, 2020, 40(1): 60-68. [Ta Na, Zeng Yutian, Zhu Qiuyue et al. Relationship between built environment and urban vitality in Shanghai Downtown area based on big data. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(1): 60-68.]
- [18] 王娜, 吴健生, 李胜, 等. 基于多源数据的城市活力空间特征及建成环境对其影响机制研究——以深圳市为例 [J]. *热带地理*, 2021, 41(6): 1280-1291. [Wang Na, Wu Jiansheng, Li Sheng et al. Spatial features of urban vitality and the impact of built environment on them based on multi-source data: A case study of Shenzhen. *Tropical Geography*, 2021, 41(6): 1280-1291.]
- [19] 刘迅, 廖珊慧, 黎焯轩, 等. 顾及城市功能区的建成环境对城市活力的影响——以广州中心城区为例 [J]. *智能建筑与智慧城市*, 2023(2): 58-63. [Liu Xun, Liao Shanhui, Li Zhuoxuan et al. The impact of the built environment on urban vitality considering urban functional areas—A case study based on the central urban area of Guangzhou. *Intelligent Building and Smart City*, 2023(2): 58-63.]
- [20] 贾晋媛, 宋菊芳. 城市活力与建成环境“3D”特征的关系研究——以武汉市为例 [J]. *现代城市研究*, 2020(8): 59-66. [Jia Jinyuan, Song Jufang. Identifying the relationship between urban vitality and the “3D” characteristics of built environment: A case study of Wuhan, China. *Modern Urban Research*, 2020(8): 59-66.]
- [21] 王梓蒙, 刘艳芳, 罗璇, 等. 基于多源数据的城市活力与建成环境非线性关系研究——以双休日武汉市主城区为例 [J]. *地理科学进展*, 2023, 42(4): 716-729. [Wang Zimeng, Liu Yanfang, Luo Xuan et al. Nonlinear relationship between urban vitality and the built environment based on multi-source data: A case study of the main urban area of Wuhan City at the weekend. *Progress in Geography*, 2023, 42(4): 716-729.]
- [22] 沈阳市统计局. 沈阳市统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023. [Shenyang Statistical Bureau. *Shenyang statistical yearbook 2023*. Beijing: China Statistics Press, 2023.]
- [23] 蒋涤非. 城市形态活力论 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2007. [Jiang Difei. *The theory of city form vitality*. Nanjing: Southeast University Press, 2007.]
- [24] 阙博颖, 濮励杰, 徐彩瑶, 等. 基于 GWR 模型的南京主城区住宅地价空间异质性驱动因素研究 [J]. *经济地理*, 2019, 39(3): 100-107. [Kan Boying, Pu Lijie, Xu Caiyao et al. Driving factors on the spatial heterogeneity of residential land price in downtown Nanjing based on GWR model. *Economic Geography*, 2019, 39(3): 100-107.]
- [25] Tu W, Zhu T, Xia J et al. Portraying the spatial dynamics of urban vibrancy using multisource urban big data[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 80: 101428.
- [26] 刘永婷, 杨钊, 徐光来, 等. 基于 MGWR 模型的皖江城市带生境质量对城镇化的响应研究 [J]. *地理科学*, 2023, 43(2): 280-290. [Liu Yongting, Yang Zhao, Xu Guanglai et al. Impacts of urbanization on habitat quality using MGWR models in Wanjiang City Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2023, 43(2): 280-290.]
- [27] 朱婷婷. 基于多源城市大数据的城市活力与建成环境关系研究 [D]. 深圳: 深圳大学, 2020. [Zhu Tingting. *Research on the relationship between urban vitality and built environment based on multi-source urban big data*. Shenzhen: Shenzhen University, 2020.]
- [28] 吴鹤. 长春市城市街区活力时空分布特征及其影响因素分析 [D]. 长春: 东北师范大学, 2022. [Wu He. *Spatial and temporal distribution characteristics and influencing factors of urban block vitality in Changchun*. Changchun: Northeast Normal University, 2022.]
- [29] 凡来, 张大玉. 北京街区活力影响机制及空间分异特征研究——基于多尺度地理加权回归 [J]. *城市规划*, 2022, 46(5): 27-37. [Fan Lai, Zhang Dayu. Research on the influence mechanism and spatial heterogeneity characteristics of street vitality in Beijing: Based on multi-scale geographical weighted regression. *City Planning Review*, 2022, 46(5): 27-37.]
- [30] Ding J, Luo L, Shen X et al. Influence of built environment and user experience on the waterfront vitality of historical urban areas: A case study of the Qinhuai River in Nanjing, China[J]. *Frontiers of Architectural Research*, 2023, 12(5): 820-836.
- [31] Li X, Li Y, Jia T et al. The six dimensions of built environment on urban vitality: Fusion evidence from multi-source data[J].

- Cities, 2022, 121: 103482.
- [32] Jiang Y, Han Y, Liu M et al. Street vitality and built environment features: A data-informed approach from fourteen Chinese cities[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 79: 103724.
- [33] Chen L, Zhao L, Xiao Y et al. Investigating the spatiotemporal pattern between the built environment and urban vibrancy using big data in Shenzhen, China[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2022, 95: 101827.
- [34] Xiao L, Lo S, Liu J et al. Nonlinear and synergistic effects of TOD on urban vibrancy: Applying local explanations for gradient boosting decision tree[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 72: 103063.
- [35] 刘云舒, 赵鹏军, 梁进社. 基于位置服务数据的城市活力研究——以北京市六环内区域为例 [J]. *地域研究与开发*, 2018, 37(6): 64-69+87. [Liu Yunshu, Zhao Pengjun, Liang Jinshe. Study on urban vitality based on LBS data: A case of Beijing within 6th Ring Road. *Areal Research and Development*, 2018, 37(6): 64-69+87.]

Impact of built environment on spatial differentiation of urban vitality at the subdistrict level based on MGWR: A case study of of Shenyang central urban area

Wang Enxu¹, Zhou Jiang¹, Yang Jun¹, Wang Yicheng², Yang Pinyan¹, Wang Xuejing¹

(1. *Jangho Architecture College, Northeastern University, Shenyang 110169, Liaoning, China*; 2. *College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China*)

Abstract: The relationship between built environment and urban vitality is a key research topic in the field of urban and rural planning. This article takes subdistrict as the research unit and the central urban area of Shenyang as the research area. Using multi-source big data such as Baidu heatmap data, building contour data, road network data, remote sensing image data, and POI, and applying a multi-scale geographically weighted regression model (MGWR model), this article explores the impact mechanism of built environment indicators on urban vitality in five dimensions: density, diversity, design, destination accessibility, and transportation station distance. The research results indicate that: 1) urban vitality exhibits a gradually weakening circular structure from the center to the periphery, and the built environment has a significant spatial heterogeneity in its impact on urban vitality; 2) The five indicators of commercial service centrality, road network density, building density, functional mix, and subway station density have a strong positive impact on the urban vitality of each street, and there is a clear spatial differentiation pattern; 3) The greening rate and bus stop density have a negative impact on urban vitality on all streets, and the impact intensity of greening rate is higher than that of bus stop density; 4) The impact of population density on urban vitality is negative except for Maguanqiao Street, and the coefficient of influence is relatively small, with a weak degree of influence. 5) The density of road intersections has a positive impact on the urban vitality of the 12 streets in the western central urban area, with a small coefficient of influence and a weak degree of influence. However, it has a negative impact on the other streets, and the negative impact is significantly stronger than the positive impact.

Key words: built environment; urban vitality; subdistrict level; urban central area; MGWR model; multi-source big data