

# 基于计算机视觉的城市老旧小区环境质量大规模测度研究\*——以武汉市为例

## Large-scale Measurement of Environment Quality of Urban Old and Dilapidated Communities Based on Computer Vision: A Case Study of Wuhan

高非凡 李志刚 GAO Feifan, LI Zhigang

**摘要** 在高质量发展时代,科学运用新数据、新技术开展城市老旧小区体检工作具有重大现实意义。以武汉市为例,基于安居客小区实景图像,运用深度学习、空间计量等方法,从“市—区—街道”多尺度进行老旧小区体检评估,刻画老旧小区环境质量的分布特征,揭示小区环境质量与房价的空间相关关系。研究发现:(1)武汉市小区环境质量呈现“主城区由沿江两岸向外围地区逐渐升高,远城区高值围绕低值”的空间分布特征,老旧小区环境质量显著低于新建小区。(2)低质量的老旧小区在沿江地区连片集聚,以江岸区南部和江汉区东南部的老里分小区、青山区的单位房小区、武昌区的商品房和单位房小区为典型。(3)小区环境质量和房价存在显著的空间相关性,二者从中心向外围形成了“低—高、高—高、高—低、低—低”的空间集聚格局。(4)小区环境质量是影响房价的关键因素,特别是在新建小区。由此为城市小区环境质量的大规模自动化评估提供技术工具,对于快速识别亟待改造的重点区域具有重要启发。

**Abstract** In the era of high-quality development, it is of great practical significance to scientifically apply new data and new technology to carry out physical examinations in urban old and dilapidated communities. Taking Wuhan as an example, based on Anjuke housing images, this paper applies deep learning and spatial econometric analysis to community evaluation from "city-district-street" scales, describing the spatial distribution characteristics of environment quality of urban old and dilapidated communities, and revealing the spatial correlation between community environment quality and housing price. The results show that: (1) Community environment quality in Wuhan gradually increases from the banks along the Yangtze River to the peripheral areas in urban districts, and high-value points are distributed around low-value points in suburban districts. Environment quality of old and dilapidated communities is significantly lower than that of newly-built communities. (2) Low-quality old and dilapidated communities gather along the Yangtze River. Typical examples include Lifan communities in the south of Jiang'an District and southeast of Jianghan District, unit communities in Qingshan District, and commercial housing and unit communities in Wuchang District. (3) There is a significant spatial correlation between community environment quality and housing price. The two form a spatial agglomeration pattern of "low-high, high-high, high-low, low-low" from the center to the periphery. (4) Community environment quality is the key factor that affects housing prices, especially in newly built communities. This study provides a technical tool for large-scale automatic evaluation of urban community environment quality. It also has important enlightenment for quickly identifying the key areas that need to be reformed.

**关键词** 老旧小区;小区环境质量;城市体检;图像回归;深度学习;空间计量;武汉市

**Key words** old and dilapidated community; community environment quality; city health examination; image regression; deep learning; spatial econometrics; Wuhan

文章编号 1673-8985 (2025) 01-0080-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20250111

### 作者简介

高非凡

中国人民大学公共管理学院

博士研究生

### 李志刚 (通信作者)

武汉大学城市设计学院

湖北省人居环境工程技术研究中心

教授,博士生导师, zhigangli@whu.edu.cn

## 0 引言

随着我国城市建设模式逐步由“外延扩张”向“内涵提升”转型,存量空间的更新和优化工作成为“十四五”时期国家战略部

\*基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(编号2042024kf0004);国家自然科学基金重大项目“中国特色超大城市空间治理现代化理论和路径研究”(编号24&ZD149)资助。中国人民大学2024年度拔尖创新人才培养资助计划成果。

署的重点<sup>[1]</sup>。相较于空间品质较高、设施配置完善的新建商品房小区,老旧小区作为城市高质量发展的“洼地”,普遍存在住房老旧、设施缺乏、空间品质低下、脱管失管等多方面问题<sup>[2-3]</sup>,部分面临居民和住房双重老龄化的挑战<sup>[4]</sup>,无法满足美好生活的需要,成为亟待重点关注和提升的地区。2020年7月国务院办公厅发布的《关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见》指出“大力改造提升城镇老旧小区,改善居民居住条件”。在“面向国家重大需求”的引领下,做好城市老旧小区体检工作,系统探究老旧小区环境质量的分布特征,对于快速识别亟待改造的重点区域、加快推进针对性老旧小区更新改造具有重大现实意义。

城市小区环境质量是小区建筑及其周边环境的质量<sup>[5]48</sup>,老旧小区环境质量评估是城市体检的重要环节之一<sup>[6]</sup>。当前老旧小区体检大多基于问卷调查和实地踏勘数据,综合评估内部住房设施(如厨卫、水电气、电梯等)<sup>[7-8]</sup>、外部建筑结构(如外墙、门窗、屋顶等)<sup>[9-11]</sup>和周边环境要素(如停车位、道路、景观、卫生、消防等)<sup>[12-13]</sup>的质量状况。但是上述传统数据收集和评估方法存在成本高、耗时长、数据量有限、覆盖范围小、主观性较强等限制,难以应用到大尺度、海量老旧小区体检中。因此,城市小区环境质量的评估数据与技术亟待新的突破。

随着人类进入技术驱动时代,城市感知大数据在城市体检中的应用价值日渐突显<sup>[14-15]</sup>。融合深度学习算法处理图像数据,使大规模、高效率的城市小区环境质量体检评估成为可能<sup>[16]</sup>。当前百度、谷歌等开放平台提供的街景大数据被广泛应用于城市绿色空间多维度评价<sup>[17-19]</sup>、街道空间品质评价<sup>[20-24]</sup>、街道步行设施评价<sup>[25]</sup>、城市贫困地区识别<sup>[26]</sup>等研究领域,为基于人的感知的环境质量评估拓展了思路。但是街景数据通常只涉及小区外部的街道空间,尚无法深入小区内部,特别是同一街道不同小区内部环境质量可能存在较大差异。安居客、链家网等房产网站的实景图像

为推动小区尺度的精细化环境质量测度提供了重要数据基础,但目前该数据仍有待深入挖掘与利用<sup>[27]</sup>。此外,部分研究进一步探究了居住环境质量和社会经济因素的关系。例如,基于街景图像评估居住环境品质,并探讨环境特征对住宅价格的影响<sup>[28]</sup>;基于卷积神经网络和农房实景图像构建农房质量预测模型,刻画中国农房质量的空间格局,并探究农房质量与农村社会经济发展水平的相关关系<sup>[29]7</sup>。这为优化城市小区环境质量测度方法、揭示小区环境质量背后的社会经济意义提供了重要参考。

本文以武汉市为例,应用计算机视觉领域的图像回归算法,处理海量安居客实景图像数据,实现城市小区环境质量的大规模量化测度,重点挖掘老旧小区环境质量的分布特征,运用空间计量方法探索城市小区环境质量与房价的空间关系,以期为城市小区环境质量测度提供更丰富的视角,并为低环境质量的快速识别与更新改造提供科学指引。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域与数据来源

本文的研究区域为武汉市(见图1)。武汉市作为中部地区典型超大城市,具有规模庞大、类型多样的老旧小区。根据安居客数据,武汉市现存小区7 895个,其中包括2000年底前建成的老旧小区2 725个,占存量小区的34.52%。老旧小区类型涵盖了老里分、单位房、商品房和保障房等多种类型。因此,以武汉市为例开展研究,对于探究大城市老旧小区环境质量的分布特征,具有全国性示范价值和指导意义。

武汉市小区基础信息来源于安居客(<https://wuhan.anjuke.com/>),该网站涵盖的数据较齐全,可靠性与认可度较高<sup>[30]</sup>。数据采集时间为2022年12月,采集内容包括小区名称、经纬度、建成年份、房价、绿化率、容积率和实景图像等,共计7 895条小区数据,包含111 658张实景图像。此外,课题组于2017—2022年在

武汉市江岸区、江汉区、武昌区、青山区等地区的典型老旧小区开展了一系列实地调研与改造项目,积累了与居民、居委会、业委会、物业公司、规划局、区政府等多元主体的一手访谈资料。

### 1.2 小区环境质量测度方法

本文将小区环境质量定义为住宅小区建筑外观及其周边环境的质量。基于安居客小区实景图像数据,通过卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)开展图像回归分析,以实现小区环境质量的自动化评估,具体包括4个步骤:图像采集、人工标注、模型训练和自动评估(见图2)。

#### 1.2.1 图像采集

基于安居客采集武汉市小区的实景图像数据,共采集到7 895个小区的原始图像111 658张。通过图像语义分割识别每一张图像中的环境要素,有效图像至少应包括清晰的住宅外立面及其周边设施等关键环境要素,自动剔除不包含上述环境要素的无效图像。最终剔除无效图像12 091张,得到有效图像99 567张。在武汉市各行政区按比例随机抽取10 000张有效图像作为标注集,用于图像回归模型训练。

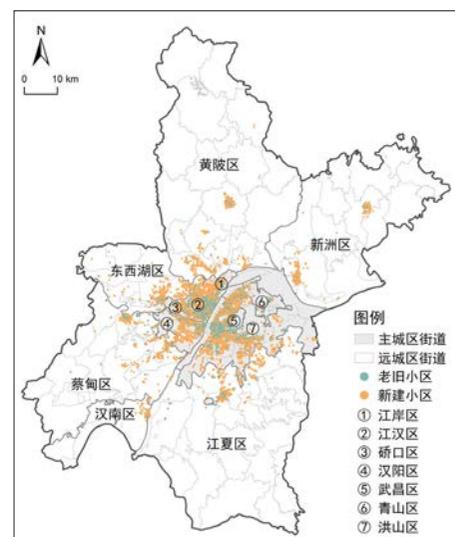


图1 研究区域  
Fig.1 Study area

资料来源:笔者根据相关资料自绘。

### 1.2.2 人工标注

邀请5位志愿者对标注集图像进行人工判读打分。在打分系统上,志愿者从现实居住的感受和需求视角出发,对每一张图像进行标注,由高到低赋值5—1。建议志愿者综合考虑以下维度来评估小区环境质量:建筑楼体(崭新—破旧)、公共空间(齐全—缺失)、景观绿化(丰富—匮乏)、环境卫生(整洁—脏乱)和空间秩序(有序—无序)<sup>[5]52, [29]6</sup>,评估要素详见表1。应用Fleiss' Kappa系数来验证5位志愿者标注结果的一致性,系数为0.621,表明一致性程度较强<sup>[31]</sup>。最终,将5位志愿者打分的平均值作为该图像的标注值。

### 1.2.3 模型训练

将标注集图像样本按比例随机划分为训练集(80%)和测试集(20%)。首先,基于训练集构建小区实景图像和环境质量得分的回归模型。本文首先应用经典CNN模型ResNet18网络开展图像回归分析,网络层数适中,收敛速度较快,适用于图像美学质量评价。同时,在网络中添加卷积块注意模

块(Convolutional Block Attention Module, CBAM)以关注图像中有意义的特征(通道注意力模块, Channel Attention Module)以及最具信息量之处(空间注意力模块, Spatial Attention Module)<sup>[32]</sup>。模型训练由具有超强并行计算能力的GPU云服务器提供计算服务。其次,根据多次测试结果对模型相关参数进行调整。最终,模型训练到50次左右,loss损失函数实现收敛。计算模型的 $R^2$ 以判断图像回归模型的拟合效果,公式为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

式中: $Y_i$ 是图像 $i$ 的真实得分(即人工标注值), $\hat{Y}_i$ 是图像 $i$ 的预测得分, $\bar{Y}_i$ 是所有 $\hat{Y}_i$ 的平均值。经计算, $R^2$ 为0.94,说明模型整体拟合效果较好,图像预测得分能够很好地反映真实的小区环境质量状况。

### 1.2.4 自动评估

搭建K8S集群,并部署图像回归模型,实现小区环境质量的自动化评估。基于武汉市小区全部有效图像,计算每个小区的环境质量得分,公式为:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_{ij}}{n} \quad (2)$$

式中: $S_i$ 是第 $i$ 个小区的环境质量得分, $S_{ij}$ 是第 $i$ 个小区第 $j$ 张实景图图像的环境质量得分, $n$ 是该小区的实景图图像数量。

## 1.3 空间计量分析

### 1.3.1 空间自相关分析

为了探究小区环境质量和房价的空间相关关系,采用单变量莫兰指数(Univariate Moran's I)刻画二者各自的空间集聚特征,通过双变量莫兰指数(Bivariate Moran's I)探索二者的空间耦合关系。该方法已广泛应用于学术研究并附有详细计算说明,本文不再赘述<sup>[33-34]</sup>。

### 1.3.2 空间回归分析

考虑到小区房价的空间分布具有较强的空间依赖性,本文采用空间滞后模型(Spatial Lag Model, SLM)来探索小区环境质量对房价的影响<sup>[35]</sup>。该模型考虑了房价(因变量)的空间自相关性,即某一小区的房价不仅与自身条件有关,还与其周边小区的房价有关。

由于小区房价是其内部条件和外部设施配套等因素共同决定的结果<sup>[36]</sup>,本文的内部因素选取了小区环境质量、绿化率、容积率和房龄等连续变量;外部因素通过房价的空间滞后项表达,因为房价通常能反映该区域的交通、公共和商业等设施配套情况,所属城区采用二分类变量,包括主城区和远城区。所有自变量的VIF均小于1.5,不存在严重的多重共线性。变量说明详见表2。

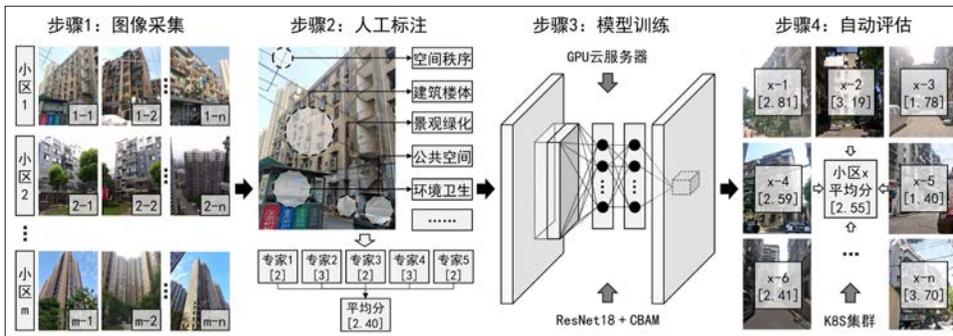


图2 基于计算机视觉的小区环境质量大规模测度框架

Fig.2 Framework of large-scale measurement of community environment quality based on computer vision

资料来源:笔者自绘。

表1 人工标注实景图图像的评估体系

Tab.1 Evaluation system of artificial annotation of images

评估维度	评估要素	评估标准
建筑楼体	墙体破损、门窗老化、楼梯入口、空调外机等	崭新—破旧(5—1)
公共空间	健身器材、休闲设施、活动广场、艺术小品等	齐全—缺失(5—1)
景观绿化	窗台绿化、地面盆栽、房前草坪、灌木、乔木等	丰富—匮乏(5—1)
环境卫生	垃圾堆放、油烟污染、扬尘污染、墙面广告等	整洁—脏乱(5—1)
空间秩序	道路破损、私搭乱建、停车秩序、管线秩序等	有序—无序(5—1)

资料来源:笔者自制。

## 2 小区环境质量的分布特征

### 2.1 市级尺度

分析武汉市小区环境质量的分布特征,并进一步比较老旧小区和新建小区环境质量的差异性。采用自然断点法绘制武汉市小区环境质量的散点图,将其分为5类:低值区( $\leq 2.41$ )、中低值区(2.42—2.91)、中值区(2.92—3.39)、中高值区(3.40—3.89)和高

值区 (≥3.90)。

从数量上看(见表3),武汉市共有存量小区7 895个,小区环境质量平均值为3.16。其中,老旧小区2 725个,占比34.52%;57.61%的老旧小区环境质量位于中低值区及以下,平均值为2.83。新建小区5 170个,占比65.48%;51.05%的新建小区环境质量位于中高值区及以上,平均值为3.34。单因素方差分析的结果

表明,老旧小区环境质量显著低于新建小区,亟待系统提升。

从空间上看,武汉市小区环境质量呈现“主城区由沿江两岸向外围地区逐渐升高,远城区高值围绕低值”的分布特征(见图3a)。其中,老旧小区主要在主城区沿江地区连片集聚,特别是汉口老里分片区的环境质量显著较低(见图3b)。新建小区的分布范围相对老旧

小区更广,进一步扩散到远城区与主城区交界处,同样表现为沿江两岸的小区环境质量偏低(见图3c)。

### 2.2 区级尺度

比较不同行政区的小区数量与质量特征(见图4)。从数量来看,江岸区(656个)、武昌区(584个)和洪山区(337个)的老旧小区数量位列全市前三,武昌区(52.66%)、江汉区(51.30%)和江岸区(45.71%)的老旧小区区内占比位列全市前三,表明以上地区的老旧小区基数较大,是需要重点关注的地区。从质量来看,主城区中江汉区(2.98)、江岸区(3.03)和武昌区(3.03),以及远城区中新洲区(3.02)、蔡甸区(3.04)和黄陂区(3.12)的小区环境质量低于全市平均水平(3.16),说明以上地区的小区环境质量亟待优化和提升。

### 2.3 街道尺度

由于武汉市70%的小区、82%的老旧小区位于主城区,本文进一步刻画主城区街道尺度的小区环境质量空间分布特征(见图5),并结合典型地区和典型小区,具体展示和说明老旧小区特征<sup>①</sup>(见表4)。总体而言,低质量和中低质量的小区集中分布在江岸区、江汉区、青山区和武昌区沿江地带的街道。

其中,江岸区南部和江汉区东南部属于汉口历史风貌区核心地带,低质量的老里分小区连片集聚。武汉市大多数里分建筑仍未改造,住宅严重老化,空间紧凑,缺乏公共空

表2 变量说明和描述性统计

Tab.2 Definition and description of variables

因变量	变量名称	变量说明	平均值/比例			F值	
			全部小区	老旧小区	新建小区		
自变量	小区房价	二手房均价/(元/m <sup>2</sup> )	15 907	16 434	15 630	21.09***	
	内部因素	环境质量	住宅外观及其周边环境的质量得分	3.16	2.83	3.34	1 239.34***
		绿化率	绿化面积与规划建设用地面积之比	0.30	0.27	0.32	1 305.58***
		容积率	总建筑面积与用地面积之比	2.29	1.97	2.45	325.78***
		房龄	2022年与住宅建成年份之差/年	17.78	27.28	12.78	11 230.75***
外部因素	空间滞后项	周边小区房价的空间溢出效应	—	—	—	—	
	所属城区	远城区=0,主城区=1	0.70	0.82	0.64	299.18***	

注:F值为老旧小区与新建小区相关变量单因素方差分析的统计结果。\*P<0.10, \*\*P<0.05, \*\*\*P<0.01。

资料来源:笔者自制。

表3 武汉市小区环境质量分布区间

Tab.3 Distribution interval of community environment quality in Wuhan

环境质量分布分析	全部小区		老旧小区		新建小区	
	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%
低值区(≤2.41)	1 166	14.77	623	22.86	543	10.50
中低值区(2.42—2.91)	1 729	21.90	947	34.75	782	15.12
中值区(2.92—3.39)	1 948	24.67	740	27.23	1 208	23.33
中高值区(3.40—3.89)	1 928	24.42	344	12.63	1 584	30.64
高值区(≥3.90)	1 124	14.24	69	2.53	1 055	20.41
合计	7 895	100	2 725	100	5 170	100
平均值(标准差)	3.16(0.65)		2.83(0.53)		3.34(0.64)	

资料来源:笔者自制。

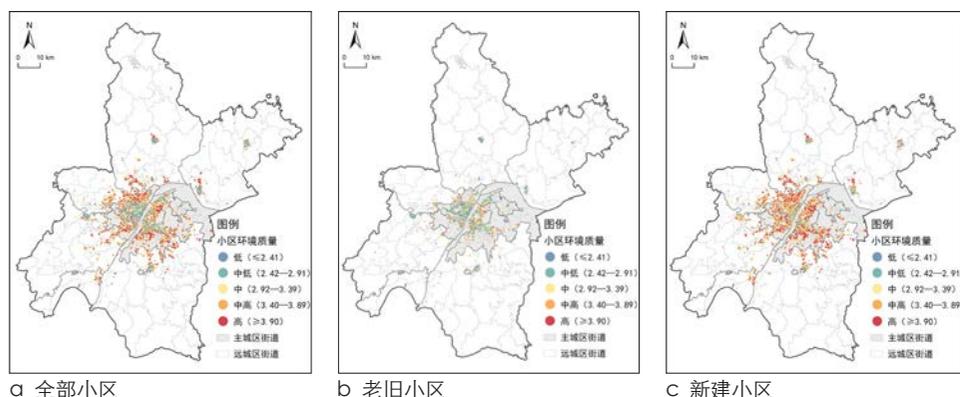


图3 武汉市小区环境质量的空间分布特征  
Fig.3 Spatial distribution characteristics of community environment quality in Wuhan

资料来源:笔者根据相关资料自绘。

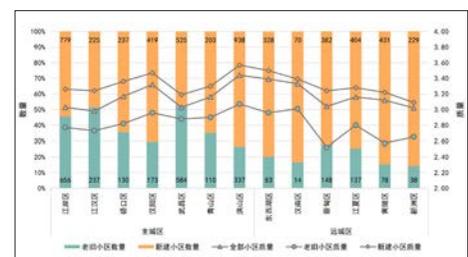


图4 武汉市各区小区数量与质量特征  
Fig.4 Community quantity and quality characteristics in various districts of Wuhan

资料来源:笔者自绘。

注释: ① 典型街道为低质量小区集聚街道,综合考量街道内老旧小区的数量和质量进行选取;典型小区的选取尽量涵盖各个老旧小区类型、各个小区质量得分区间,以呈现不同类型和质量的老老旧小区特征。

间和景观绿化,卫生条件较差,缺乏有序管理,典型如江汉区花楼水塔街道联保里、贯中里等。武汉市政府针对部分特色里分实施了腾退征收工作,进行统一修缮改造与活化利用,如江岸区三德里片、巴公房子片等。此外,江岸区一元街道同兴里、泰兴里等里分呈现出商业绅士化特征,咖啡馆、手作店和古着店等创意产业自发进驻,促进了居住空间微更新改造,通过外墙美化、休闲座椅增设、绿化盆栽等提升了空间品质与活力,但是存在破坏原有建筑结构、商住混合矛盾、公共空间缺乏统一管理等问题。

青山区老旧小区多为武汉钢铁厂的职工单位房。其中,建成于20世纪50年代的红钢城红房子片已经完成腾退工作,由武汉华侨城实业发展有限公司主导开发建设8、9、10街坊地块,并在其周边建设了“红坊”系列小区。此外,青山区推进38、42、43等街坊棚户区改造工作,建设了八大家花园系列还建房,提升了小区环境质量。青山区现存老旧小区以钢花村街道系列街坊为典型,表现为人口与住宅“双重老龄化”的特征。目前政府已经完成了“三供一业”改造,但是仍然存在住房老旧、道路破损、适老化设施缺乏、休闲活动场所不足、一楼和顶楼私搭乱建等问题。

武昌区以单位房、商品房为主,低质量老旧小区集聚在武昌区中部的中华路、粮道街、积玉桥、首义路、中南路等街道,南湖街道的小区环境质量较高。南湖街道是武昌区政府开展“幸福社区”共同缔造的首批试点,通过“政府主导、规划师中介、居民参与”的形式,推动小区微更新。例如,华锦花园在改造前存在公共空间利用不足、机动车侵占绿地和消防通道等问题,通过修缮中心广场、整体规划健身和休闲活动场地、增设停车位等手段,提升了小区环境质量。

### 3 小区环境质量和房价的空间关系

#### 3.1 小区环境质量和房价的空间集聚特征

通过空间自相关分析探究武汉市小区环

境质量和房价的空间集聚特征(见图6)。小区环境质量的单变量Moran's I为0.365,且在1%水平上显著,说明存在显著的空间集聚效应。根据图6a,主城区低质量的老旧小区连片分布在沿江两岸,特别是老里分住宅,因此呈现“低—低”集聚特征;周边有部分新建小区,故呈现“高一低”集聚特征;再外围多为新建小区,环境质量较高,由此呈现“高一高”集聚特征;远城区则是高质量的新建小区和低质量的老旧小区交错分布。

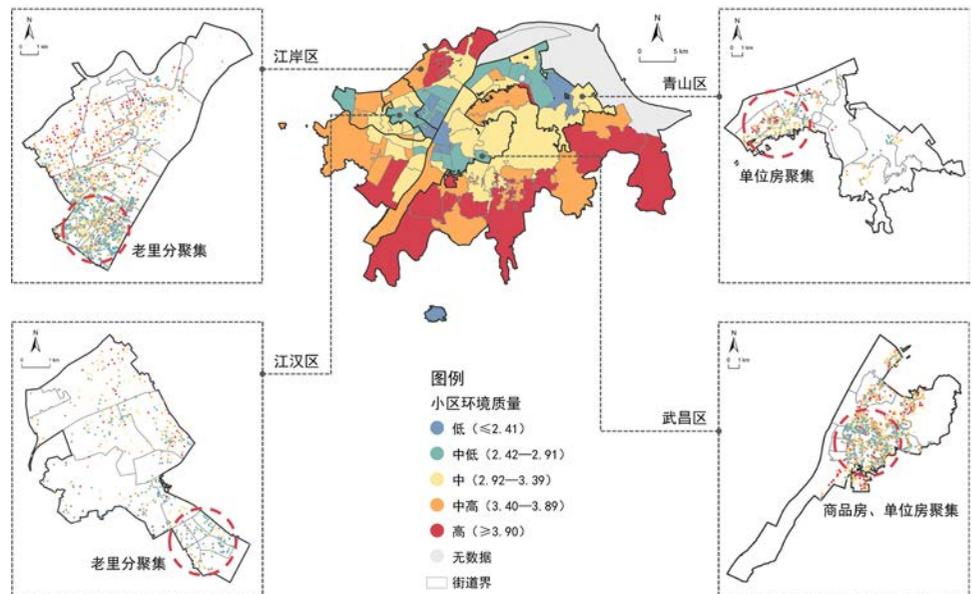
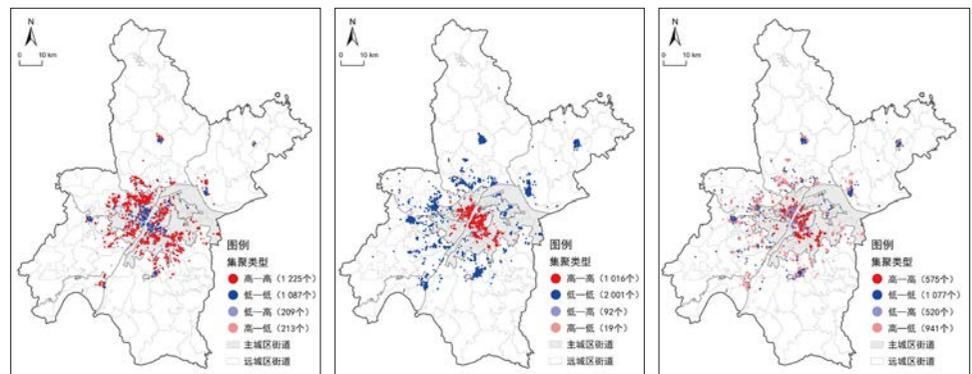


图5 武汉市主城区和典型地区小区环境质量的分布特征

Fig.5 Spatial distribution characteristics of community environment quality in urban and typical districts of Wuhan  
资料来源:笔者根据相关资料自绘。



a 小区环境质量单变量Moran's I b 小区房价单变量Moran's I c 小区环境质量—房价双变量Moran's I

注:为便于图像展示,图中仅保留空间集聚特征显著的点,已剔除不显著的点。

图6 武汉市小区环境质量和小区房价的LISA集聚图

Fig.6 LISA cluster diagram of community environment quality and housing price in Wuhan

资料来源:笔者根据相关资料自绘。

价18 768元/m<sup>2</sup>),因此新、老小区的“环境质量—房价”分别呈现“高一高”和“低—高”集聚特征。而远城区小区受到区位限制,房价整体偏低(均价9 583元/m<sup>2</sup>),因此新、老小区的“环境质量—房价”分别形成“高一低”和“低—低”集聚格局。

### 3.2 小区环境质量对房价的空间影响分析

由于小区环境质量和房价存在显著的空间依赖性,并且拉格朗日乘子检验结果显示Robust LM (lag) 值在1%的水平上显著,因此需要构建空间滞后模型进一步探究小区环境质量对房价的影响。为了更直观地显示和比较不同自变量对房价的影响程度,本文对所有连续变量进行标准化处理后,再进行回归分析,模型拟合结果见表5。可以看出,空间滞后模型(SLM)的拟合度优于普通最小二乘法(OLS),具体表现为模型2、模型4和模型6的R<sup>2</sup>和Log likelihood提高,AIC和

SC降低;并且空间滞后项在1%水平显著,说明某一小区的房价受到了周边小区房价的显著影响。

基于模型2分析武汉市小区房价的影响因素,发现房龄( $\beta=-0.066, P<0.01$ )和小区环境质量( $\beta=0.053, P<0.01$ )是影响房价的关键要素,即房龄越低、小区环境质量越高,房价越高。此外,绿化率、容积率与房价显著正相关,主城区的房价显著高于远城区。比较老旧小区和新建小区的差异,发现决定老旧小区房价的关键要素是所属城区( $\beta=0.265, P<0.01$ )、绿化率( $\beta=0.019, P<0.05$ )和小区环境质量( $\beta=0.021, P<0.10$ )等因素(模型4);而房龄( $\beta=-0.151, P<0.01$ )、绿化率( $\beta=0.080, P<0.01$ )和小区环境质量( $\beta=0.070, P<0.01$ )对新建小区房价的影响更大(模型6)。总体而言,小区环境质量是影响房价的核心因素之一,特别是对新建小区的房价发挥着更为重要的作用。

## 4 结论与讨论

本文以武汉市为例,基于安居客小区实景图,运用深度学习、空间计量等方法,从宏观、中观、微观多尺度开展了城市老旧小区体检工作,刻画了老旧小区环境质量的空分布特征,揭示了小区环境质量与房价的空间相关关系。研究发现:(1)武汉市小区环境质量呈现“主城区由沿江两岸向外围地区逐渐升高,远城区高值围绕低值”的空间分布特征,老旧小区环境质量显著低于新建小区。(2)低质量的老旧小区在沿江地区连片集聚,以江岸区南部和江汉区东南部的老里分小区、青山区的单位房小区、武昌区的商品房和单位房小区为典型。(3)小区环境质量和房价存在显著的空间相关性,二者从中心向外围形成了“低—高、高一高、高一低、低—低”的空间集聚格局。(4)小区环境质量是影响房价的关键因素,特别是对新建小区的房价发挥更重要的作用。结合上述分析,本文得出以下政策启示:(1)武汉市应加快推进江岸区、江汉区、武昌区、青山区等低质量老旧小区集聚区的连片更新改造工作,重点关注老里分和单位房小区,推动核心地区的品质提升。(2)因地制宜地制定老旧小区更新策略,充分借助政府、市场和社会等多方力量,破解老旧小区脱管、失管的现实治理难题。(3)应加强多源数据的有机融合,科学运用“大智移云”等信息技术,系统、有效地开展城市体检工作。

本文基于海量小区实景图,融合计算机视觉领域的图像回归算法,实现了小区环境质量的大规模自动化评估和空间可视化呈现,对于全面掌握全市小区环境质量特征、快速识别亟待改造的重点区域具有重要启发。本文积极探索将图像大数据应用于老旧小区体检评估的技术方法,弥补了传统研究数据量较小、覆盖范围有限的不足,丰富了技术驱动时代下的小区环境质量评估体系,推动了我国城市体检工作的有效开展。然而,本文仅从视觉维度开展小区环境质量评估,未来可结合城市感知大数据,拓展听觉、嗅觉、触觉

表4 武汉市典型地区老旧小区环境质量与改造情况

Tab.4 Environment quality and regeneration of old and dilapidated communities in typical districts of Wuhan

特征分析	典型小区			
	联保里	同兴里	钢花新村121街坊	华锦花园
所在地区	江汉区	江岸区	青山区	武昌区
所在街道	花楼水塔街道	一元街道	钢花村街道	南湖街道
小区类型	老里分	老里分	单位房	商品房、保障房混合
建成年份	1918年	1932年	2000年	1999年
建筑楼体	墙体脱落,屋顶漏水	外墙美化,建筑加建	墙体老化,外观杂乱	楼体较新,色彩统一
公共空间	缺乏健身、休闲设施	增设休闲座椅、艺术小品	适老化设施、停车位不足	公共空间废弃、利用不足
景观绿化	缺乏景观绿化	居民、商户自置绿化盆栽	绿化杂乱,缺乏管理	土壤外翻,停车侵占绿地
环境卫生	环境脏乱,油烟污染	政府增设垃圾分类投放点	卫生条件尚可	垃圾露天堆放
空间秩序	杂物堆放,管线混乱	非机动车乱停乱放	私搭乱建,缺乏监控	杂物、车辆侵占消防通道
环境 质量				
质量得分	2.02(低值区)	2.43(中低值区)	3.26(中值区)	3.44(中高值区)
改造主体	未改造	市场主导	政府主导	政府主导、规划师中介、居民参与
改造类型	未改造	商业绅士化改造	“三供一业”改造	公共空间改造
改造内容	未改造	美化环境、提升活力	铺设管线、粉刷楼道	增设休闲设施、停车位

资料来源:笔者自制,实景图来源于安居客。

表5 武汉市小区房价影响因素的回归模型

Tab.5 Regression models of influencing factors of housing price in Wuhan

影响因素	全部小区		老旧小区		新建小区	
	模型1(OLS)	模型2(SLM)	模型3(OLS)	模型4(SLM)	模型5(OLS)	模型6(SLM)
环境质量	0.073*** (0.011)	0.053*** (0.008)	0.007 (0.018)	0.021* (0.012)	0.085*** (0.013)	0.070*** (0.010)
绿化率	0.067*** (0.010)	0.036*** (0.007)	0.018 (0.015)	0.019** (0.010)	0.122*** (0.014)	0.080*** (0.011)
容积率	0.046*** (0.010)	0.036*** (0.007)	0.031 (0.019)	0.012 (0.013)	0.054*** (0.012)	0.040*** (0.009)
房龄	-0.017 (0.011)	-0.066*** (0.008)	0.043* (0.024)	0.012 (0.016)	-0.088*** (0.019)	-0.151*** (0.014)
所属城区 (参照组:远城区)	1.245*** (0.021)	0.385*** (0.020)	1.304*** (0.037)	0.265*** (0.030)	1.239*** (0.025)	0.404*** (0.025)
空间滞后项 (W×房价)	—	0.715*** (0.010)	—	0.785*** (0.015)	—	0.689*** (0.013)
常数	-0.857*** (0.017)	-0.267*** (0.015)	-1.010*** (0.041)	-0.190*** (0.030)	-0.923*** (0.023)	-0.395*** (0.021)
Robust LM(lag)	23.739***	—	69.112***	—	16.677***	—
Robust LM(error)	192.969***	—	4.973**	—	156.041***	—
R <sup>2</sup>	0.350	0.642	0.334	0.711	0.364	0.622
Log likelihood	-9 499.04	-7 597.34	-3 034.57	-2 097.71	-6 395.98	-5 320.37
AIC	19 010.10	15 208.70	6 081.14	4 209.41	12 804.00	10 654.70
SC	19 051.90	15 257.50	6 116.59	4 250.78	12 843.30	10 700.60
N	7 895	7 895	2 725	2 725	5 170	5 170

注:\*P<0.10, \*\*P<0.05, \*\*\*P<0.01。括号内为标准误,所有连续变量均已进行标准化处理。“W×房价”表示房价的空间滞后。

资料来源:笔者自制。

等维度,将噪声、空气质量、温度、湿度等因素,纳入城市小区环境质量评估体系中。此外,武汉市部分小区的安居客实景图缺失,未被纳入本文分析范围,未来应考虑结合实地踏勘,对相关数据进行补充完善。

## 参考文献 References

- [1] 吴志强,伍江,张佳丽,等.“城镇老旧小区更新改造的实施机制”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2021(3):1-10.  
WU Zhiqiang, WU Jiang, ZHANG Jiali, et al. Symposium on implementation mechanism of renewing old urban quarters[J]. Urban Planning Forum, 2021(3):1-10.
- [2] 刘佳燕,张英杰,冉奥博.北京老旧小区更新改造研究:基于特征—困境—政策分析框架[J]. 社会治理, 2020(2):64-73.  
LIU Jiayan, ZHANG Yingjie, RAN Aobo. A study

- on old community regeneration in Beijing: based on characteristic-predicament-policy analytical framework[J]. Social Governance Review, 2020(2): 64-73.
- [3] 王越,陈烨.从北京老旧小区物业失管看社区基层组织困境[J]. 城市发展研究, 2020, 27(10): 134-140.  
WANG Yue, CHEN Ye. A study on the plight of community grassroots organizations from the perspective of property management loss in Beijing old residential area[J]. Urban Development Studies, 2020, 27(10): 134-140.
- [4] 邹樱,李爱群.北京老旧小区更新改造政策梳理与柔性化策略研究——双重老龄化视角[J]. 城市发展研究, 2022, 29(5):73-79.  
WU Ying, LI Aiqun. Research on renovation and reconstruction policies and flexibility strategies of old residential areas in Beijing: a dual aging perspective[J]. Urban Development Studies, 2022, 29(5): 73-79.
- [5] 赵慧敏,龙瀛.中国居住区外观空间质量指标体系构建及其平顶山应用研究[J]. 城市设计, 2022(2):48-55.  
ZHAO Huimin, LONG Ying. Research on the construction of index system for residential appearance space quality in China and its application in Pingdingshan[J]. Urban Design, 2022(2): 48-55.
- [6] 伍江,王信,陈烨,等.超大城市城市体检的挑战

- 与上海实践[J]. 城市规划学刊, 2022(4):28-34.  
WU Jiang, WANG Xin, CHEN Ye, et al. The difficulties of megacities' city health examination and the practice in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 28-34.
- [7] 王宇凡,柴康妮,卓云霞,等.中国城市流动人口住房质量的空间分异与影响因素[J]. 地理学报, 2021, 76(12):2944-2963.  
WANG Yufan, CHAI Kangni, ZHUO Yunxia, et al. Spatial variation of migrant population's housing quality and its determinants in China's prefecture-level cities[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(12): 2944-2963.
- [8] 林李月,朱宇,梁鹏飞,等.基于六普数据的中国流动人口住房状况的空间格局[J]. 地理研究, 2014, 33(5):887-898.  
LIN Liyue, ZHU Yu, LIANG Pengfei, et al. The spatial patterns of housing conditions of the floating population in China based on the sixth census data[J]. Geographical Research, 2014, 33(5): 887-898.
- [9] KEALL M, BAKER M G, HOWDEN-CHAPMAN P, et al. Assessing housing quality and its impact on health, safety and sustainability[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2010, 64(9): 765-771.
- [10] SUGLIA S F, DUARTE C S, SANDEL M T. Housing quality, housing instability, and maternal mental health[J]. Journal of Urban Health, 2011, 88(6): 1105-1116.
- [11] GIELEN A C, WILSON M E H, FADEN R R, et al. In-home injury prevention practices for infants and toddlers: the role of parental beliefs, barriers, and housing quality[J]. Health Education & Behavior, 1995, 22(1): 85-95.
- [12] 杨静,吕飞,史艳杰,等.社区体检评估指标体系的构建与实践[J]. 规划师, 2022, 38(3):35-44.  
YANG Jing, LYU Fei, SHI Yanjie, et al. Establishing community physical examination evaluation index system and its practice[J]. Planners, 2022, 38(3): 35-44.
- [13] 张乐敏,张若曦,黄宇轩,等.面向完整社区的城市体检评估指标体系构建与实践[J]. 规划师, 2022, 38(3):45-52.  
ZHANG Leming, ZHANG Ruoxi, HUANG Yuxuan, et al. Urban physical examination evaluation index system research and practice towards integrated community development[J]. Planners, 2022, 38(3): 45-52.
- [14] 何宛余,李春,聂广洋,等.深度学习在城市感知的应用可能——基于卷积神经网络的图像判别分析[J]. 国际城市规划, 2019, 34(1):8-17.  
HE Wanyu, LI Chun, NIE Guangyang, et al. The latent application of deep learning in urban perception: image discrimination analysis by convolutional neural network[J]. Urban Planning International, 2019, 34(1): 8-17.

- [15] 何炬, 张文忠, 曹靖, 等. 多源数据在城市体检中的有机融合与应用——以北京市为例[J]. 地理科学, 2022, 42 (2): 185-197.  
HE Ju, ZHANG Wenzhong, CAO Jing, et al. Organic integration and application of multi-source data in city health examination: a case of Beijing[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(2): 185-197.
- [16] 刘智谦, 吕建军, 姚尧, 等. 基于街景图像的可解释性城市感知模型研究方法[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24 (10): 2045-2057.  
LIU Zhiqian, LYU Jianjun, YAO Yao, et al. Research method of interpretable urban perception model based on street view imagery[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(10): 2045-2057.
- [17] HELBICH M, YAO Y, LIU Y, et al. Using deep learning to examine street view green and blue spaces and their associations with geriatric depression in Beijing, China[J]. Environment International, 2019, 126: 107-117.
- [18] YAO Y, XU C, YIN H, et al. More visible green-space, stronger heart? Evidence from ischaemic heart disease emergency department visits by middle-aged and older adults in Hubei, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2022, 224: 104444.
- [19] 吴佳雨, 王诗奕, 李红, 等. 基于人工智能技术的植被色彩感知与焦虑关联分析[J]. 地理学报, 2023, 78 (4): 1044-1056.  
WU Jiayu, WANG Shiyi, LI Hong, et al. The correlation between plant color perception and anxiety based on artificial intelligence technology[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(4): 1044-1056.
- [20] 胡一可, 张天霖, 王磊, 等. 景观服务视角下城市街区感知测度及空间分布特征[J]. 风景园林, 2022, 29 (10): 45-52.  
HU Yike, ZHANG Tianlin, WANG Lei, et al. Measurement and spatial distribution of perception in urban blocks from the perspective of landscape service[J]. Landscape Architecture, 2022, 29(10): 45-52.
- [21] 陈婧佳, 张昭希, 龙瀛. 促进公共健康为导向的街道空间品质提升策略——来自空间失序的视角[J]. 城市规划, 2020, 44 (9): 35-47.  
CHEN Jingjia, ZHANG Zhaoxi, LONG Ying. Strategies for improving the quality of urban street space oriented to promoting public health: perspective from spatial quality[J]. City Planning Review, 2020, 44(9): 35-47.
- [22] 龙瀛, 唐婧娴. 城市街道空间品质大规模量化测度研究进展[J]. 城市规划, 2019, 43 (6): 107-114.  
LONG Ying, TANG Jingxian. Large-scale quantitative measurement of the quality of urban street space: the research progress[J]. City Planning Review, 2019, 43(6): 107-114.
- [23] 狄迪, 蒋应红, 叶丹, 等. 新城市科学支持下的城市街道空间品质综合评价——以上海市中心城区为例[J]. 规划师, 2021, 37 (16): 5-12.  
DI Di, JIANG Yinghong, YE Dan, et al. Street space quality evaluation supported by new urban science: the central district of Shanghai[J]. Planners, 2021, 37(16): 5-12.
- [24] LI S, MA S, TONG D, et al. Associations between the quality of street space and the attributes of the built environment using large volumes of street view pictures[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2022, 49(4): 1197-1211.
- [25] 张书杰, 李文竹, 龙瀛, 等. 基于多年街景图片的城市街道步行设施改善评价——以中国45个城市为例[J]. 城市发展研究, 2022, 29 (6): 53-64.  
ZHANG Shujie, LI Wenzhu, LONG Ying, et al. Evaluation on the improvement of pedestrian facilities with multi-year street view images[J]. Urban Development Studies, 2022, 29(6): 53-64.
- [26] 刘颖, 袁媛, 邢汉发, 等. 街景图片识别城市贫困的适用性——基于广州市中心城区的验证[J]. 热带地理, 2020, 40 (5): 919-929.  
LIU Ying, YUAN Yuan, XING Hanfa, et al. The applicability of street view images to identify urban poverty in the central urban region of Guangzhou[J]. Tropical Geography, 2020, 40(5): 919-929.
- [27] 向雨, 张鸿辉, 刘小平. 多源数据融合的城市体检评估——以长沙市为例[J]. 热带地理, 2021, 41 (2): 277-289.  
XIANG Yu, ZHANG Honghui, LIU Xiaoping. Urban physical examination evaluation based on multisource data: a case study of Changsha City[J]. Tropical Geography, 2021, 41(2): 277-289.
- [28] 郭金函, 马子迎, 边经卫, 等. 基于街景图像的厦门本岛环境特征对住宅价格的影响研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24 (11): 2128-2140.  
GUO Jinhan, MA Ziyang, BIAN Jingwei, et al. Analysis on the influence of environmental characteristics of Xiamen island on housing price based on street view imagery[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(11): 2128-2140.
- [29] XU W, GU Y, CHEN Y, et al. Combining deep learning and crowd-sourcing images to predict housing quality in rural China[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 19558.
- [30] 龙瀛. 颠覆性技术驱动下的未来人居——来自新城市科学和未来城市等视角[J]. 建筑学报, 2020 (s1): 34-40.  
LONG Ying. Future of human habitats driven by disruptive technologies: perspectives from the new science of cities and future cities[J]. Architectural Journal, 2020(s1): 34-40.
- [31] FLEISS J, COHEN J. The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability[J]. Educational and Psychological Measurement, 1973, 33(3): 613-619.
- [32] 付国栋, 黄进, 杨涛, 等. 改进CBAM的轻量级注意力模型[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57 (20): 150-156.  
FU Guodong, HUANG Jin, YANG Tao, et al. Improved lightweight attention model based on CBAM[J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(20): 150-156.
- [33] ANSELIN L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [34] 李博闻, 黄正东, 刘稳. 基于公交服务需求与供给匹配程度的公交站点布局评价——以武汉市为例[J]. 现代城市研究, 2019 (5): 99-105.  
LI Bowen, HUANG Zhengdong, LIU Wen. Assessment of the bus stop locations based on the coupling level between demand and supply of bus service: a case study of Wuhan[J]. Modern Urban Research, 2019(5): 99-105.
- [35] 姜磊. 空间回归模型选择的反思[J]. 统计与信息论坛, 2016, 31 (10): 10-16.  
JIANG Lei. The choice of spatial econometric models reconsidered in empirical studies[J]. Journal of Statistics and Information, 2016, 31(10): 10-16.
- [36] 宋伟轩, 马雨竹, 陈艳如. 南京城区住宅租售价格时空分异与影响因素[J]. 地理科学进展, 2018, 37 (9): 1268-1276.  
SONG Weixuan, MA Yuzhu, CHEN Yanru. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of housing selling and rental prices: a case study of Nanjing City[J]. Progress in Geography, 2018, 37(9): 1268-1276.