

空间基因理论下城市更新潜力 空间智能识别方法* ——以上海为例

An Intelligent Method for Identifying Urban Renewal Potential Based on Spatial Gene Theory: A Case Study of Shanghai

苗丝雨 张羽关 肖 扬

MIAO Siyu, ZHANG Yuguan, XIAO Yang

关键词 空间基因; 建筑形态; 城市更新潜力; 随机森林; 上海

Keywords: spatial gene; building morphology; urban renewal potential; random forest; Shanghai

提 要 中国进入存量规划与城市更新提质阶段, 精准识别城市更新潜力空间成为超大城市治理的重要议题。基于空间基因理论, 基于人工智能构建以建筑形态特征“外显性状”为核心的空间基因识别与更新潜力预测框架。以上海为例, 利用建筑屋顶遥感数据提取形态指标, 并用高斯混合模型识别七类空间基因类型。将由“老旧城区型”向“中心城市型”演化的地块界定为更新区域, 采用随机森林模型引入建筑形态、区位与社会经济等14项变量预测。结果表明, 更新空间集中于郊环和外环, 重心由北向西南转移, 中心城区、市域西部及郊区中心老城区潜力较高。建筑面积总和、周长均值、建成年代、至市中心距离及房价是关键因素。研究深化了对上海空间基因类型与演化的理解, 可用于监测形态变化、辅助更新策略, 并为“数字孪生”与“量子城市”背景下的空间识别提供方法借鉴。

Abstract: China has entered the stage of redevelopment planning and quality-oriented urban renewal, where accurately identifying potential renewal spaces has become a critical issue in megacity governance. Drawing on spatial gene theory, this study employs artificial intelligence to develop a predictive framework for identifying spatial genes and assessing renewal potential, with building morphological characteristics treated as "phenotypic traits". Using Shanghai as a case study, morphological indicators are extracted from building roof remote sensing data, and seven spatial gene types are identified using a Gaussian Mixture Model. Parcels evolving from the "old urban district" type to the "central urban" type are defined as renewal areas. A Random Forest model, incorporating 14 variables related to building morphology, spatial location, and socioeconomic attributes, is used for prediction. The results show that renewal spaces are concentrated in the suburban and outer ring areas, with the development focus shifting from the north to the southwest. High renewal potential is observed in central districts, the western urban area, and old town centers in suburban regions. Key influencing factors include total building area, average building perimeter, year of construction, distance to the city center, and housing prices. This study deepens the understanding of spatial gene types and their evolutionary pathways in Shanghai, provides analytical tools for monitoring morphological changes and supporting renewal strategies, and offers methodological insights for spatial identification in the context of "digital twins" and "quantum city" development.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202504012
文章编号 1000-3363(2025)04-0088-08

作者简介

苗丝雨, 同济大学建筑与城市规划学院博士后, mcr@tongji.edu.cn

张羽关, 同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生

肖 扬, 同济大学建筑与城市规划学院特聘教授、博士生导师, 通信作者, yx-iao@tongji.edu.cn

* 国家自然科学基金青年科学基金项目(C类)“基于多模态数据融合的城市更新智能识别、需求评估与规划响应研究——以上海为例”(项目编号: 52508075)中央高校基本科研业务费专项资金“基于多模态数据的老龄社会背景下口袋公园微更新与心理健康的社会影响研究”(项目编号: 22120250428)同济大学人文社会科学学术新锐支持计划(项目编号: 2024XR10)

1 研究背景

“十四五”规划和2035年远景目标纲要首次将“城市更新”上升为国家战略，提出了“加快转变城市发展方式”和“推动城市空间结构优化和品质提升”的目标，“实施城市更新行动”上升为“十四五”规划重要建设目标。2024年7月国务院印发《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》提出要以人口规模巨大、密度高的中心城区和影响面广的关键领域为重点，深入实施城市更新行动，打造宜居、韧性、智慧城市。超大特大城市的更新模式已逐步演变为以存量优化和精细化改造为核心，但存在着更新空间识别难、效率低的挑战。

国际经验显示城市更新区域的精准识别已成为制定更新策略的基础。例如：伦敦依据年度监测报告和大伦敦规划，综合社区发展、土地利用、经济发展、绿色韧性、道路交通、文化风貌等多方面绩效指标划定不同类型的更新区^[1]；巴黎通过城市观察站监测关键指标在专项规划中确定更新区域^[2]；柏林则通过城市发展监测体系，在专项规划中标识并更新多种类型的城市区域，以适应各自的城市更新需求^[3]。国际经验表明，精准识别城市更新区是优化更新策略的基础。相比之下，我国当前的城市更新评估主要依赖人工调研、问卷调查和既有规划文献，当前技术手段仍以定性判断和静态数据为主，亟须引入高精度、全维度、动态化的智能评估方法^[4]，实现对更新区域的动态识别与预判，从而提升更新策略的科学性和针对性。

段进院士等^[5]首次提出“空间基因”

的理论分析框架，强调城市空间形态是在与自然环境和历史文化长期互动中逐步积淀形成的具有规律性的空间组合模式。空间基因不仅体现出城市形态的特性和相对稳定性，而且深刻影响城市在不同发展阶段中的演化路径与空间逻辑。建筑形态作为空间基因的外显表征，其空间结构、尺度体系与布局方式等要素，为解读城市内部空间基因的组织逻辑提供了重要切入点。由于空间基因具有一定的复制性与传递性，建筑形态的演替过程往往呈现出可识别的时空演化规律，尤其在城市更新等空间形态急剧变动的阶段更为显著。因而，通过在城市更新过程中对建筑形态的动态追踪，不仅有助于揭示城市空间基因的演化机制，而且为识别具有延续性与潜力的更新空间提供了理论依据和实践路径。

因此本文尝试从建筑形态出发，提出一个“识别城市已更新空间—提取建筑形态演化规律—构建空间基因图谱—规律反演识别更新潜力空间”的四步研究框架（图1），旨在通过建筑屋顶轮廓（China Building Rooftop Area, CBRA）数据集提取建筑形态特征，识别老城区、中心城区等典型建筑形态类型的内在空间基因，并引入随机森林模型分析城市更新的驱动特征与空间潜力。上海老城厢地区在过去二十年经历了大规模更新改造，传统里弄肌理的保留比例不足40%^[6]。在快速转型背景下，如何识别这些城市肌理剧变区域并引导其可持续更新，成为城市规划面临的核心挑战之一。随着上海提出建设“量子城市”的目标，城市的数字化转型与智慧化发展正在加速，本文以上海为实证对象，期望推动空间形态识别与更新策略制定的融合发

展，丰富空间基因相关研究方法，探索面向“数字赋能”与“数据驱动”的城市更新新路径，为规划实践提供精准、量化的决策支持。

2 既有研究综述

段进院士提出“空间基因”理论，认为空间基因是城市空间要素在长期空间—自然—人文互动过程中，按照一定规则编码形成的稳定组合模式^[2]，具有文化、地域、制度、景观等多维内涵^[7]。类比生物体DNA，空间基因本身难以直接观测，已有研究多通过其“外显性状”进行识别和辨析。比如，Delmelle^[8]将邻里社会经济水平作为空间基因的外显性状，采用基因测序方法重构芝加哥和洛杉矶邻里社区的社会经济时空演化轨迹，揭示了城市复兴与郊区升级等演化过程。

城市空间形态是空间基因最典型的外显性状之一，其演化过程具有明显的路径依赖性，发展轨迹常受到早期空间结构的持续影响^[9]。城市形态的演化不仅反映地区社会、经济与文化的变迁^[10-11]，也对自然生态与社会空间产生反作用^[12-13]。通过对建筑、街区等形态特征的识别与解析，学者们得以深入理解潜在的空间基因结构逻辑。例如，已有研究从特色村镇^[14-15]、民族聚落^[16]、传统小城镇^[17]、历史街区^[18]、山水风景区^[19]等空间形态出发，探讨其背后的空间基因组织规律。

当前，城市更新已成为城市发展的关键路径，其首要表征即为物质空间的重塑与更迭^[20]。大量国内研究通过识别城市更新过程中空间形态的演化特征以揭示其空间基因，并据此提出差异化的更新管控策略。例如，在历史街区更新方面，吴楠等^[21]基于历史街区更新的单体符号和群体肌理认知空间基因，金彦利等^[22]聚焦待更新区域的肌理、功能、道路和公共空间等特征识别空间基因探究差异化历史街区更新策略，高海峰等^[23]基于岭南水乡景观特征解析空间基因并针对识别出的空间基因风貌提出差异化更新策略，王方亮等^[24]在老城枢纽地区更新实践中运用空间基因识别方法辅助划定城市设计管控图则。

城市更新中的空间演化识别主要基

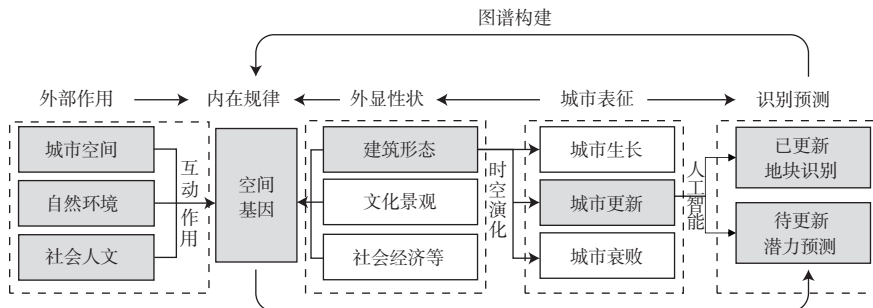


图1 研究框架示意图

Fig.1 Schematic diagram of research framework

于城市形态学理论展开。康泽恩的城市形态学理论指出,城市可被拆解为街区、街道网络与建筑物等三个基本要素^[25-26],为后续基于形态学量化识别城市更新提供了方法论基础。已有研究通过街区单元形态的演替过程揭示城市更新路径,如周滔等^[27];或借助高分辨率遥感影像与大规模实地调查,构建建筑更新指数评估多类型建筑的更新特征,如杨永春等^[28]。建筑物作为城市形态中最基础且尺度最细的要素,其密度、面积、形状与朝向等形态属性可有效反映土地利用状况和经济活动特征^[29-30],为识别城市肌理、工业化街区、高密度新城、低密度蔓延等形态类型提供了支撑^[31]。

在形态学理论上,空间基因理论进一步强调从时序演化视角揭示城市肌理的“内在编码逻辑”与“结构稳定性”,并通过“基因表达”呈现可识别的外显性状^[5,32]。然而,现有研究多基于单时点静态数据,难以动态追踪城市形态演化进程,进而限制了对空间基因的系统性识别。同时,当前空间基因识别多依赖人工编码与定性归类,缺乏统一、可比较的量化识别标尺,不同时间尺度与空间尺度之间的识别标准亦难以统一,这在超大城市背景下尤为突出。事实上,空间基因理论核心在于认为空间具有可解码的“编码规则”,并可实现跨时间尺度的“历时性复制”与城市信息传播^[33]。

基于上述问题,本文聚焦“空间基因在建筑形态上的外显性状”,构建“识别城市已更新空间—提取建筑形态演化规律—构建空间基因图谱—规律反演识别更新潜力空间”的框架。以多年份建筑屋顶轮廓数据为基础,基于形态学理论识别6个建筑空间形态指标,通过训练高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM),建立基于建筑形态的空间基因测度体系,结合随机森林机器学习算法模拟预测城市更新潜力空间,从而实现对城市更新过程中空间基因演化规律的动态追踪与识别,为成片更新与拆除重建类更新的潜力评估与策略制定提供数据驱动、系统化的技术支持。

3 上海建筑形态特征分析

3.1 案例选取与研究范围

选取上海市全域为研究区域。2023

年,上海常住人口的城镇化率已达89.46%,预计到2035年,建设用地总规模将控制在3200 km²以内。作为全国最早实施城市更新的超大城市之一,上海的城市更新过程大致经历3个阶段:①“365”危棚简屋改造阶段(1991—2000年),以大规模拆除和重建为主;②“拆改留”阶段(2001—2017年),强调风貌保护与功能改造并行;③“留改拆”阶段(2017年至今),确立“以人为本、精细化改造”为核心理念,城市更新成为主导的空间治理模式^[31]。2021年《上海市城市更新条例》将城市更新界定为在建成区内持续改善城市空间形态与功能的活动,并提出以改善人居环境、回应人民美好生活需求为更新基本原则。随着超大城市迈入后城镇化时代,上海正处于由扩张开发向存量提质转型的关键阶段,更新识别与空间优化需求日益凸显。

3.2 数据来源

建筑屋顶轮廓数据来自北京师范大学地理科学学部于2023年开发的中国建筑屋顶面积数据集,是中国首个全覆盖、多年度建筑遥感识别结果数据集,基于2016—2021年的Sentinel-2影像、天地图、OpenStreetMap与Dynamic World等多源数据,融合深度学习方法获取2.5 m分辨率的建筑屋顶轮廓信息^[35],数据覆盖全国城市建成区,具备时间一致性与尺度可比性,适用于城市形态演化与空间基因研究。

3.3 建筑形态指标选取

本文聚焦空间基因在建筑形态上的外显性状,并从建筑体量(周长、面积、数量)、几何形态(形状指数、紧凑度)和空间格局(建筑朝向)等三个方面表征建筑形态肌理,指标具备稳定性、可追踪性与可编码性。研究采用R语言中的foot包提取建筑形态指标包括建筑面积总和、周长平均值、朝向角度熵值、形状指数平均值、紧凑度指数平均值和建筑数量,该工具可基于建筑轮廓映射多尺度聚落模式,计算建筑的面积、形状、方向性与空间分布特征^[36]。参考已有研究^[36-37],建筑形态计算采用100 m栅格尺度,并以每个栅格中心为圆心、250 m为

半径的邻域进行指标统计,兼顾空间细节与区域特征尺度。其中形状指数的计算公式为建筑物轮廓面积与包含该轮廓多边形的最小边界圆面积之比。形状指数的范围是从0到1,取值越高表示形状越不复杂或更接近圆形。紧凑性指数采用Polsby-Popper指数^[38],公式如下:

$$c_i = \frac{4\pi a_i}{p_i^2} \quad (1)$$

公式中对于任何建筑物*i*,紧凑性指数*c_i*为建筑物面积*a_i*和周长*p_i*的平方比值,值越接近1表示形状越紧凑。

3.4 研究方法

3.4.1 聚类分析

高斯混合模型是一种基于概率密度函数的软聚类方法,可较好地描述复杂城市空间中的形态异质性。本文采用GMM对建筑形态进行聚类识别空间基因,聚类数目通过BIC(Bayesian Information Criterion)进行最优选择,以平衡模型拟合度与复杂度^[39-40]。

3.4.2 随机森林模型

随机森林模型作为一种基于决策树集成的非参数模型,具有可同时处理连续与分类变量,且对变量分布与尺度不敏感的优势,模型具备非线性建模能力,适合识别更新潜力这一受多因素交互影响的复杂机制。本文通过Python 3.9.19环境中Scikit-learn库构建随机森林模型,结合建筑形态聚类结果,引入驱动因子辅助变量,通过空间对齐与标准化处理后,训练随机森林模型评估城市更新的概率,并使用SHAP(Shapley Additive Explanations)值进行模型解释,识别城市更新的关键驱动因子与空间分布特征。

4 上海建筑形态空间基因识别提取

4.1 空间基因种类识别

首先,采用高斯混合模型对2016年上海市建筑形态空间特征进行聚类分析,并结合贝叶斯信息准则(BIC)评估不同聚类数目的拟合优度。在假定聚类数为0至20的范围内,BIC值随着聚类数的增加而逐步下降,尤其在聚类数为7时下降速率显著减缓,符合“肘部法则”特征。这表明将空间基因类型数设定为7

时,可较好地平衡模型拟合度与复杂性,进一步确认2016年上海市建筑形态主要可归纳为7类空间基因类型。

基于2016年6项建筑形态特征的聚类结果,训练得到GMM分类器模型,并将该模型应用于2017—2021年各年度数据,实现跨年份建筑空间基因的一致性识别。该方法可确保不同年份相同空间基因类别在建筑形态特征上的可比性与稳定性,为后续演化分析奠定基础。

图2为GMM聚类分析得到的空间基因型的建筑形态空间特征,上海2016年的7个建筑空间基因分别为:老旧城区型(O型),此类建筑以老城区建筑为主,建筑占地面积和建筑周长均较大;中心城市型(C型),高建筑密度,建筑形态规整,以大规模连绵建筑群为主,多分布在建成区核心区内;近郊城市型(U型),此类型主要分布在中心城市型外围,建筑密度相对较高,以组团建筑群为主,多分布在建成区边缘区;郊区发展型(D型),此类型以小规模建筑组团为主,建筑面积和周长均较小,建筑朝向多样;郊区连片低密度型(S型),低建筑密度,建筑多为单体建筑,在郊区发展区外围;乡村连片低密度型(L型),建筑密度极低,建筑形态多样,多分布在乡村地区,在2017—2021年期间类型消失;乡村零星建筑型(R型),建筑密度极低,建筑总面积和平均周长均

较小,多分布在城市边缘区。分类结果表明上海由中心城区到外围乡村初步形成了类型O-C-U-D-S-L-R的建筑形态分布圈层。

4.2 城市更新地块识别

基于上述空间基因识别结果,将建筑形态由老旧城区型(O型)转变为中心城市型(C型)的地块界定为城市更新地块,即识别出在形态维度上已完成由传统低效空间向高强度现代建成区转型的区域(如图3)。2016—2021年间上海城市更新地块的空间识别结果,整体表现为先减少、后增加的趋势。其中,2018—2019年间,城市更新活动在西北部显著增加,2019—2020年则逐渐向外环以外转移,2021年又回流至外环内区域。

进一步以乡镇(街道)为基本单元统计更新地块年际变化,2017年城市更新主要分布在城桥镇、月浦镇、安亭镇等,2018年城市更新主要分布在安亭镇、江桥镇、祝桥镇等,2019年城市更新主要分布在三林镇、华新镇、江桥镇等,2020年城市更新主要分布在华新镇、永丰街道、安亭镇等,2021年城市更新主要分布在城桥镇、三林镇、北蔡镇等。总体而言,2016—2021年间的城市更新主要集中在北部区域,如安亭镇、月浦镇与城桥镇,后期逐步向西南部蔓延。

与此同时,虽然中心城区更新地块数量较少,但其面积占比普遍高于外部区域,显示中心城区内的城市更新更趋集聚与高强度。典型区域包括华阳路街道、宝山路街道等。

5 上海建筑形态空间基因解析评价

基于建筑形态空间基因的识别结果,进一步使用随机森林模型通过机器学习2016—2021年间完成由“O型老旧城区型”向“C型中心城市型”转变的已更新地块特征,模拟预测2021年处于“O型老旧城区型”状态的地块在未来转变为“C型中心城市型”的概率作为该地块的更新潜力代理变量。

O型老旧城区型是未来城市更新的潜力地区,从面积规模上看,外环外的老城区面积较大,尤其是在嘉定安亭地区。从集聚程度上看,中心城区街道的老城区占比较高,未来仍是城市更新的潜力地区。由于老城区在建筑环境、社会经济区位等方面存在显著差异,其更新潜力亦表现出空间上的异质性。

5.1 驱动因子选取与模型训练

基于已有文献^[41-47],基于“建筑形态—空间结构—社会经济”三个维度构建城市更新驱动因子:①建筑形态特征,

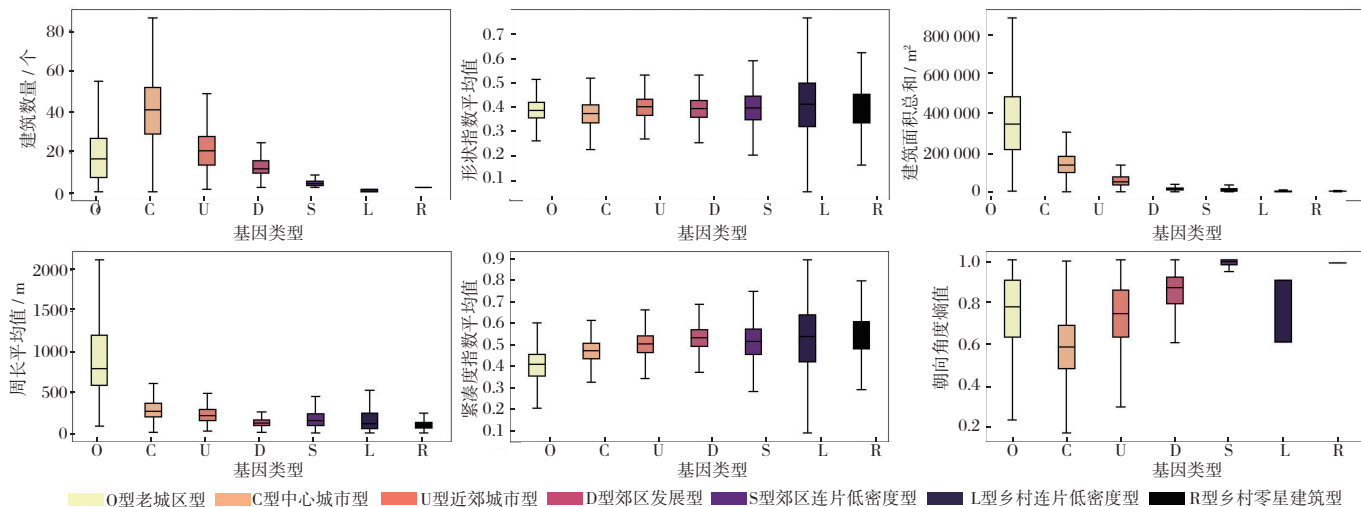


图2 2016年上海各基因型建筑形态空间特征

Fig.2 Spatial characteristics of architectural forms by genotype in Shanghai, 2016



图3 上海2016—2021年城市更新识别结果
Fig.3 Urban renewal findings in Shanghai, 2016—2021

包括建筑面积总和、周长平均值、朝向角度熵值、形状指数、紧凑度指数、建筑数量、建筑层数。指标源于城市形态学与空间基因理论，旨在量化城市肌理的外显性状，是本文空间基因识别的基础。②空间结构特征，包括至市中心距离、至区中心距离、土地利用类型（居住、工业和其他）、路网密度等。指标反映地块空间区位、可达性与功能。③社会经济特征，包括夜间灯光强度、房价、建筑建成年代等。指标体现土地开发年代、经济活力等。其中，方差膨胀因子被用来检验因子间的共线性，建筑层数由于与建成年代存在共线性，未被包括在最终模型中，最终14个城市更新驱动因子纳入模型。

基于已有研究经验^[48-49]，采用7:3比例划分训练集与测试集，通过网格搜索确定模型的主要参数，同时采用5折交叉验证法进行交叉验证，最终确定以下参数（表1）组合结果。在模型训练过程中，训练集与测试集均表现出良好拟合，模型在测试集上的预测准确率达88.69%，表明其具有较强的预测能力。

5.2 关键因子识别与作用机制解释

进一步采用SHAP分析方法揭示变量与预测结果之间的具体作用机制（图4），结果表明影响建筑物理更新潜力的核心因素主要为建筑面积、到各区中心距离、建筑周长和建筑年代。建筑面积总和越小、到区中心越近、建筑周长越

表1 随机森林模型参数

Tab.1 Random forest model parameters

参数名称	设定值	取值范围
N_estimators	300	[100, 500]
Max_depth	None	[None, 20]
Max_features	'sqrt'	['sqrt', 'log2']
Min_samples_split	2	[2, 10]
Min_samples_leaf	1	[1, 5]

小、建筑年代为上世纪后期的建筑更新潜力更高，表明空间紧凑性差、空间区位优势、房价适中且年代相对老旧的地块更新潜力更高。

5.3 更新潜力预测结果与空间分布

基于2021年建筑与社会经济特征数据，利用已训练好的随机森林模型对全市O型老城区空间基因地块的更新潜力进行预测，生成城市更新高潜力地区清单（表2）与空间分布图，以供政策制定与实地介入参考。

对主城区而言，城市更新高潜力地区主要分布于内环至外环周边，呈环状分布，市中心保护建筑和历史街区密集地区的更新潜力相对较高（如老西门、小东门地区）（图5），苏州河两岸与黄浦江中游以及下游南段形成高值集聚带，是未来更新的重要区域。对郊区而言，城市更新高潜力地区主要集中于各区县中心，呈现点状集聚特征，比如嘉定区江桥镇、浦东新区三林镇和北蔡镇等。

6 结论与讨论

为回应当前城乡空间更新提质的战略背景，本文基于“空间基因”理论，提出一个“识别城市已更新空间—提取建筑形态演化规律—构建空间基因图谱—规律反演识别更新潜力空间”的四步研究框架，依托全国首个基于遥感影像构建的建筑屋顶轮廓数据库，以建筑形态特征为核心指标构建上海空间基因图谱，并通过机器学习算法，探究以建筑形态为外显性状的空间基因在物理形态发生变化的城市更新过程中的“复制”和“表达”轨迹。在空间尺度上，首次在100 m格网下实现城市更新潜力高精度识别，为超大城市微单元更新策略提供了数据依据与技术范式。

本文提出了一套基于建筑形态特征构建城市空间基因图谱的方法体系，并应用于“拆除重建”或“成片更新”类城市更新潜力评估。通过将城市形态学中的“空间基因”概念与机器学习算法

相结合，对6类建筑形态指标进行高斯混合聚类，实现了对老城区、中心城区、近郊发展区等典型空间基因类型的精细识别，并提取出老城区向中心城区演化的典型更新地块。在此基础上，利用随机森林模型综合引入社会、经济、空间等14项变量，对城市更新驱动因素进行量化解释。结果发现，建筑面积总和、建筑周长均值、建成年代、至市中心距离与房价是城市更新的关键影响因素。研究进一步预测全市范围内的高潜力更新区域，为城市更新政策制定提供了科学、前瞻的空间决策支持。

结果表明，空间基因识别方法可有效识别城市肌理突变区域，监测城市形态的时序演化过程，具有较强的实用性与可推广性。该方法不仅适用于上海这一超大城市，也可作为其他城市在存量规划背景下开展城市更新识别与评估的技术支撑。2024年上海提出“建设量子城市”的新型城市治理理念，目标是通过“数字孪生+人工智能”实现从“精细化”向“量子化”治理的跃升。如何将人工智能驱动的城市更新识别方法融入量子城市空间治理系统，推动城市更新从被动响应向主动推演演化，仍是值得深入探索的前沿课题。未来研究可在本文基础上进一步探索多模型集成策略，以进一步增强模型的科学与政策指导力。

尽管基于人工智能的建筑形态识别在发现拆除重建类更新区域方面具有高效性与精度优势，但对于功能置换、内部整治等未明显改变建筑外观的“隐性更新”类型，仍需结合实地调研、多源数据与人工校验等手段加以识别。本文聚焦物理空间维度的更新识别，未来研究可进一步整合政策规划数据、城市更新公告、社区微更新记录和公众感知等数据，结合“城市体检”机制，从住房、就业、环境、公共服务等维度进行综合评估与持续监测，构建更加符合“价值导向”与“更新紧迫性”的更新潜力评价指标，并探索多模型集成策略，如XGBoost、CatBoost、神经网络等模型在

预测性能与特征解释方面的表现，以进一步增强模型的科学与政策指导力。同时，后续研究可进一步细化城市更新类型，比如政策性驱动下的城市更新比如郊区工业腾退、村庄拆除和集中等。

此外，空间基因是一个多维度、多内涵的概念，本文聚焦空间基因在建筑形态上的外显性状，作为构建城市空间基因图谱的第一层次维度，重点探索其形态表达与更新潜力之间的定量关系，存在难以全面反映空间基因内涵的局限性。后续研究可在本文提出的基于建筑形态外显性状的基础上，结合历史建成时间、用地功能复合度、街巷网络结构等要素，构建“外显性状+内在基因”双

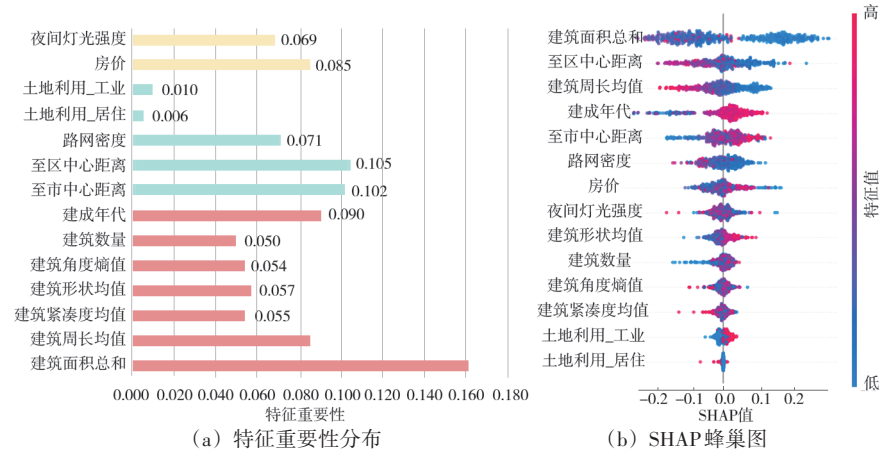


图4 特征重要性分布（左）和SHAP蜂巢图（右）
Fig.4 Feature importance distribution (left), SHAP beeswarm plot (right)

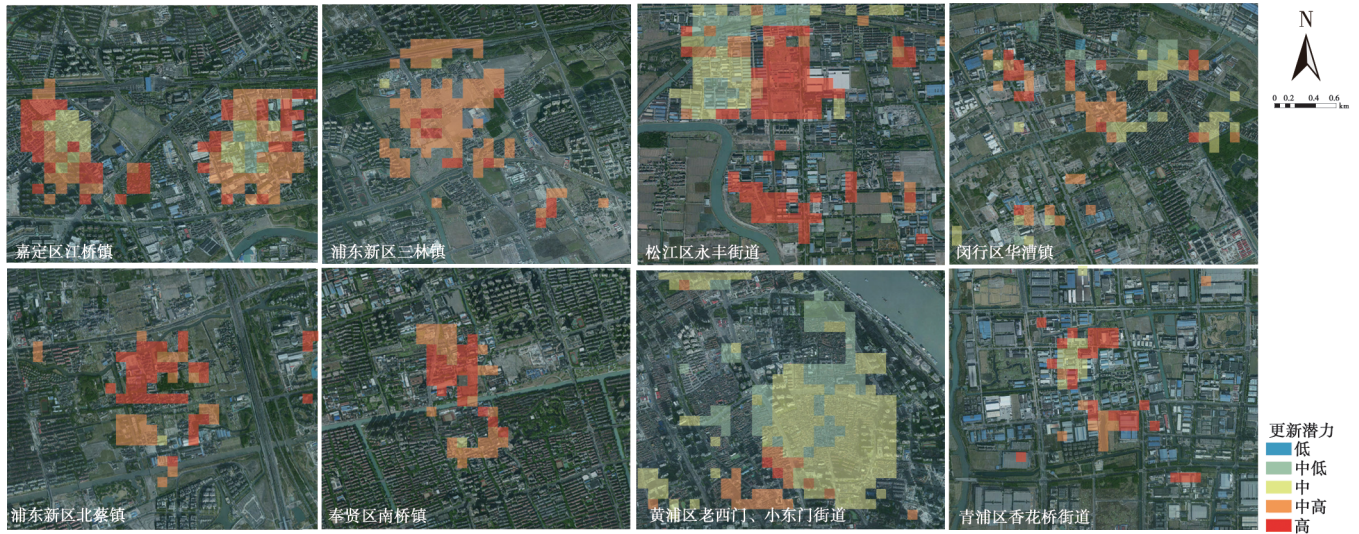


图5 城市更新潜力预测典型地区
Fig.5 Potential prediction for urban renewal in representative districts

表2 城市更新高潜力地区清单
Tab.2 List of high-potential areas for urban renewal

区域	更新高潜力地区
浦东新区	三林镇、北蔡镇、祝桥镇
长宁区	虹桥街道、程家桥街道、华阳路街道、江苏路街道
黄浦区	小东门街道、老西门街道、南京东路街道、瑞金二路街道
普陀区	真如镇街道、桃浦镇、长风新村街道、长寿路街道
静安区	天目西路街道、大宁路街道、共和新路街道、彭浦新村街道、静安寺街道、南京西路街道
虹口区	嘉兴路街道、广中路街道
杨浦区	江浦路街道、四平路街道、五角场街道
徐汇区	田林街道、漕河泾街道、龙华街道、徐家汇街道、天平路街道、湖南路街道
闵行区	华漕镇、七宝镇、马桥镇、梅陇镇、吴泾镇、莘庄镇、浦江镇
宝山区	大场镇、杨行镇、顾村镇、高境镇
松江区	中山街道、永丰街道、泗泾镇、新桥镇、车墩镇、九亭镇、洞泾镇
青浦区	香花桥街道、夏阳街道、华新镇、赵巷镇、徐泾镇
奉贤区	南桥镇
嘉定区	新成路街道、江桥镇、安亭镇、马陆镇
金山区	朱泾镇、金山卫镇
崇明区	城桥镇

层空间基因识别体系，以更加全面地体现空间基因的理论深度与实际价值，也可进一步在建筑形态识别结果基础上，进一步纳入历史街巷肌理、街区地名等更具文化语义的指标，从而更加全面地体现空间基因所蕴含的“文化记忆”和“形态特色”等内在逻辑在建筑形态、社会经济、山水景观等的外显性状，并结合城市功能结构数据（如POI变化）、居民感知等表征“使用价值”的要素、规划政策指标等要素，构建多维度更新潜力识别框架，以提升模型在城市更新中的适用性与精准性。

参考文献

[1] 朱雨溪,朱乐,阳建强.英国城市更新区识别中多重剥夺指数的应用与启示[J].国际城市规划,2025,40(1):97-106.
[2] DESJARDINS X. Greater Paris and its lessons for metropolitan strategic planning[J]. Town Planning Review, 2018, 89(1): 1-22.
[3] AHLFELDT G M, MAENNIG W, RICHTER F J. Zoning in reunified Berlin [M]// One hundred years of zoning and the future of cities. Berlin: Springer, 2017.
[4] 毛羽.城市更新规划中的体检评估创新与

实践:以北京城市副中心老城区更新与双修为例[J].规划师,2022,38(2):114-120.
[5] 段进,邵润青,兰文龙,等.空间基因[J].城市规划,2019,43(2):14-21.
[6] SHAN R, ZHANG S, LI K. Study on the changing of traditional urban fabric in Shanghai old town[J]. International Planning History Society Proceedings, 2022, 19(1): 273-284.
[7] 李旭,李平,罗丹,等.城市形态基因研究的热点演化、现状评述与趋势展望[J].城市发展研究,2019,26(10):67-75.
[8] DELMELLE E C. Mapping the DNA of urban neighborhoods: clustering longitudinal sequences of neighborhood socioeconomic change[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2016, 106(1): 36-56.
[9] WILSON A. Urban and regional dynamics from the global to the local: hierarchies, 'DNA', and 'Genetic' planning[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2010, 37(5): 823-837.
[10] SALVATI L, FERRARA A, CHELLI F. Long-term growth and metropolitan spatial structures: an analysis of factors influencing urban patch size under different economic cycles[J]. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography, 2018, 118

(1): 56-71.
[11] FLEISCHMANN M, FELICIOTTI A, ROMICE O, et al. Methodological foundation of a numerical taxonomy of urban form[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2021, 49: 1283-1299.
[12] FLEISCHMANN M, ROMICE O, PORTA S. Measuring urban form: overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2020, 48: 2133-2150.
[13] 程昊森,王伯伟.基于模糊数学法的城市蔓延区形态评估:以上海新江湾城片区为例[J].住宅科技,2017,37(3):46-52.
[14] 胡雪峰,闫岩,朱小卉,等.特色村镇空间基因识别的定量解析方法研究:以枣庄市北部特色村镇地区为例[J].城市规划学刊,2022(增刊2):221-228.
[15] 张中华,王雪松.青木川传统村落空间基因的识别与提取[J].西北大学学报(自然科学版),2025,55(2):420-437.
[16] 马璩,杨涛.三江并流区域民族建筑基因图谱及其适应性路线研究[J].中外建筑,2025(6):1-11.
[17] 徐云飞,李钰,刘栗伊.传统小城镇空间形态基因提取与量化表征方法研究:以汉中地区为例[J].城市发展研究,2023,30(3):73-80.
[18] 高骝,王聪.基于空间基因理论的大庆市历史城区空间演进研究[J].建筑与文化,2025(3):175-177.
[19] 王树声.中国城市山水风景“基因”及其现代传承:以古都西安为例[J].城市发展研究,2016,23(12):1-4.
[20] 张庭伟.从城市更新理论看理论溯源及范式转移[J].城市规划学刊,2020(1):9-16.
[21] 吴楠,张险峰,于世伟.城市更新视域下的历史街区叠合场景建构研究[J].室内设计与装修,2025(1):118-119.
[22] 金彦利,李恬,郭蓬,等.空间基因理念下历史街区更新策略研究:以长沙大小古道巷街区为例[J].四川建筑,2024,44(增刊1):123-125.
[23] 高海峰,陈昊驰,林长源,等.岭南水乡景观空间基因与更新设计研究:以广州朗头村为例[J].中国农村水利水电,2025(7):12-17.
[24] 王方亮,张麒.片区统筹视角下老城枢纽地区的更新实践:以宿州火车站周边地区为例[J].城市建筑,2024,21(15):109-113.

- [25] MOUDON A V. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field[J]. Urban morphology, 1997, 1(1): 3–10.
- [26] CONZEN M R G. Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis[J]. Transactions and Papers (Institute of British Geographers), 1960(27): iii–122.
- [27] 周滔, 李静. 我国城市街区单元平面形态的演变: 现状、动因及规律[J]. 人文地理, 2014, 29(5): 56–62.
- [28] 杨永春, 张理茜, 李志勇, 等. 建筑视角的中国城市更新研究: 以兰州市为例[J]. 地理科学, 2009, 29(1): 36–41.
- [29] 王林. 基于城市更新行动的城市更新类型体系研究与策略思考: 以上海市为例[J]. 上海城市规划, 2023(4): 8–14.
- [30] STEINIGER S, LANGE T, BURGHARDT D, et al. An approach for the classification of urban building structures based on discriminant analysis techniques[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(1): 31–59.
- [31] DIBBLE J, PRELORENDJOS A, ROMICE O, et al. On the origin of spaces: morphometric foundations of urban form evolution[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2017, 46(4): 707–730.
- [32] 姜莹, 李伊格, 段进. 空间基因的识别提取路径[J]. 城市规划学刊, 2025(1): 18–24.
- [33] 段进, 姜莹, 李伊格, 等. 空间基因的内涵与作用机制[J]. 城市规划, 2022, 46(3): 7–14.
- [34] 黄轶伦. 超大特大城市更新中旧区改造的规划策略探索: 以上海市为例[J]. 上海城市规划, 2023(6): 61–68.
- [35] LIU Z, TANG H, FENG L, et al. CBRA: The first multi-annual (2016–2021) and high-resolution (2.5 m) building rooftop area dataset in China derived with super-resolution segmentation from Sentinel-2 imagery[R/OL]. Zenodo, 2023[2023–12–01]. <https://doi.org/xxxx>.
- [36] JOCHEM W C, TATEM A J. Tools for mapping multi-scale settlement patterns of building footprints: an introduction to the R package foot[J]. PLOS ONE, 2021, 16(2): e0247535.
- [37] HSIEH C M, HUANG H C. Mitigating urban heat islands: a method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2016, 57: 130–143.
- [38] POLSBY D D, POPPER R D. The third criterion: compactness as a procedural safeguard against partisan gerrymandering[J]. Yale L. & Pol’y Rev., 1991, 9: 301.
- [39] DEMPSTER A P, LAIRD N M, RUBIN D B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm[J]. Journal of the royal statistical society: series B (methodological), 1977, 39(1): 1–22.
- [40] MCLACHLAN G J, LEE S X, Rathnayake S I. finite mixture models[J]. Annual review of statistics and its application, 2019, 6: 355–378.
- [41] 王景丽, 刘轶伦, 马昊翔, 等. 开放大数据支持下的深圳市城市更新改造潜力评价[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(3): 72–77.
- [42] 吴文恒, 史海金, 杨毕红, 等. 城市企业社区用地更新潜力分析框架与应用[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2391–2406.
- [43] 刘超, 陈树熙, 黄芷仪, 等. 多源数据支持的城市更新潜力评价研究[J]. 世界建筑, 2023(7): 18–19.
- [44] 王海云, 王红梅, 郑敏辉, 等. 基于规划的“三旧”改造潜力分析[J]. 现代城市研究, 2015(3): 78–85.
- [45] 许雪琳, 马毅, 朱郑炜, 等. 厦门市滨海空间更新潜力评估及更新策略研究[J]. 规划师, 2022, 38(2): 121–126.
- [46] 刘竹阳, 董建, 陈晨. 基于开放数据的城市更新潜力地区识别方法研究: 以盐城市盐都区中心城区为例[J]. 城市学报, 2024(5): 89–95.
- [47] 龙运涛, 古杰. 基于潜力和建筑质量评价的城中村更新研究: 以益阳市康富北路片区为例[J]. 城市学刊, 2022, 43(2): 59–64.
- [48] 薄茗洋, 戴代新, 廖晚迪. 基于生态防灾减灾的沿海城市规划韧性响应: 以上海市雨热灾害复合风险为例[J/OL]. 风景园林, 1–25. [2025–06–24]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=IKKGIZ0AkeUaYFIEBx1LpA2i1NY3WHRCC-zOcBFVW1x3a5gQoT5EJjaF56A6RQC-CFJTNP3EUB1CQiZ1mWu15Hk7Geurxfo-1n957hu-5-rH_K1h0C0dAs6x_INovPlx1fjQDB4U9W2nHrTJkKbY-aQRlwn4F6rA4vX15gU1LfaJDoMMBu-LuZxFw=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [49] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

修回: 2025-06