

基于复杂网络的城市肌理自动识别方法研究* ——以上海中环内地区为例

Research on Automatic Recognition Method of Urban Texture Based on Complex Network: A Case Study within Shanghai Middle Ring Road

冯韵洁 徐怡怡 徐子寒 刘乐峰 沈尧 FENG Yunjie, XU Yiyi, XU Zihan, LIU Lefeng, SHEN Yao

摘要 城市肌理在城市规划和设计中至关重要,然而既有研究多聚焦于形态类型学,缺乏对综合形态指标、多尺度结构及其社会经济内涵的系统考量。基于复杂网络视角,提出一种多维度、数据驱动的城市肌理自动识别方法:以建筑邻近关系构建空间加权网络,结合多分辨率社区发现算法识别多尺度肌理片区结构,测度关键尺度下的片区肌理特征,并通过递归聚类形成城市肌理族谱。以上海中环地区为例,实证结果显示该方法能有效揭示城市肌理的多尺度结构,精细化测度片区特征,提炼出2大类8种肌理类型,并揭示其对房价的显著影响。不仅改进了城市肌理自动识别的技术路径,也为深入理解城市肌理的自组织规律提供思路,以期为城市更新和历史文脉保护提供科学工具。

Abstract Urban texture is vital in urban planning and design, yet previous studies have mainly focused on morphological typologies, with limited attention to integrated indicators, multi-scale structures, and socioeconomic implications. This study proposes a multidimensional, data-driven approach to automatic urban texture recognition from a complex network perspective. A weighted building adjacency network, incorporating spatial proximity and morphological divergence, has been constructed, and multi-resolution community detection has been applied to identify texture patch structures across scales. Key texture characteristics have been measured at critical scales, followed by recursive clustering to generate a genealogical map of urban texture. Using Shanghai's Middle Ring area as a case study, the results demonstrate that this method effectively reveals multi-scale hierarchical structures, enables refined measurement of texture characteristics, identifies two major categories and eight basic texture types, and uncovers significant socioeconomic implications, particularly the impacts of urban texture on housing prices. This research advances technical methods for automated texture identification, deepens understanding of its self-organizing principles, and provides practical tools for urban renewal and historical context preservation.

关键词 城市肌理;复杂网络;多尺度;自动识别;建筑足迹

Key words urban texture; complex network; multi-scale; automatic recognition; building footprints

文章编号 1673-8985 (2025) 06-0080-10 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20250611

作者简介

冯韵洁
同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生
徐怡怡
同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生
徐子寒
同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生

刘乐峰
同济大学建筑与城市规划学院
硕士研究生
沈尧(通信作者)
同济大学建筑与城市规划学院
同济大学中英联合城市科学实验室
副教授,博士生导师, eshenyao@tongji.edu.cn

0 引言

城市肌理是城市空间形态的重要表征,由建筑、街道和开敞空间等要素在三维空间中群化组织及其背后的网络结构构成^[1],同时也是自然、社会、经济和政治系统长期作用的结果,具有空间和功能双重内涵^[2]。复杂网络视角下,城市肌理可被视为在多种局部规则下“涌现”出的自组织系统,自下而上生成多尺

*基金项目:“十四五”国家重点研发计划课题“人类活动影响下的国土空间文物资源风险评估及规划反馈响应技术”(编号2023YFC3803903);国家自然科学基金面上项目“高频城市的网络韧性提升:精细化测度、关键要素识别与自适应优化研究”(编号52278074);中央高校基金自主原创基础研究(编号22120240370, 2025-1-YB-02)资助。

度空间结构、多维度肌理特征、多样化类型谱系和社会经济互动机制^[3]。近年来,快速城镇化使我国城市形态发生剧变,文脉断裂、“千城一面”和空间失序等问题突出^[4-5]。城市肌理是认知城市空间形态的核心,对剖析特色、传承文脉、重建秩序具有重要价值。如何全面精准地识别城市肌理结构,系统剖析其特征类型以及复杂的社会经济内涵对高效指导城市更新实践,促进城市存量优化和高质量发展具有重要意义。

在城市肌理研究中,不同视角和尺度下关注要素各异^[6]。既往研究多从类型学视角出发,自上而下对街区、地块、院落、建筑等单一尺度空间单元进行形态组合和类型划分等定性描述^[7-9]。但此类研究概念含糊,尺度单一,仅关注肌理单元本身而忽视了其相互联系所涌现的综合特征^[10-12]。复杂网络视角将城市肌理视为单体间具有联系规则,整体具有等级组织的复杂有机系统,更关注空间要素之间的联系如何呈现跨尺度空间结构和自组织规律^[13-15]。然而,长期以来城市肌理更多地被认为是物质空间形态结构,鲜有研究用量化手段去验证其社会经济关系,导致城市肌理的社会经济内涵尚不明确,对城市肌理多重内涵的理解不足。

现代城市肌理是新旧规则更替与拼贴的产物,因而对多样化肌理的识别与分析日益依赖定量方法。早期几何指标测度体系虽能分析特定尺度肌理特征^[16-18],但受限于单元,难以捕捉跨尺度层次关系,也忽视了街区内部的异质拼贴。基于栅格图像的定量识别方法在肌理特征微观化和类型判别自动化等方面具有更佳表现^[19-20],但仍受限于预设分类标签、分类精度不足、类型解释含糊和空间单元与规划干预尺度不匹配等问题,对规划设计的指导意义有限。网络模型分析将城市肌理要素关系抽象为网络结构以揭示涌现特征。街道和地块网络模型更倾向于识别城市中心与外围结构^[21-22],而非肌理片区形态,本质上仍是自上而下的理解,忽视了建筑实体空间等微观单位自下而上涌现的空间结构。城市肌理数据并非网格或数组,也并非总是符合先入为主的街区或街道结

构。街区内部异质拼贴和街区两侧肌理呼应在复杂的现代城市肌理中普遍存在。既往研究方法难以兼顾方法的精细化和简易性,且常以固定尺度预设城市肌理边界,忽视了其尺度依赖性和嵌套的等级关系。

因此,本文提出了一种多维度、多尺度、系统性、自动化的城市肌理定量研究框架。以微观矢量建筑为基本空间单元,构建建筑实体空间网络,结合复杂网络科学分析其自下而上涌现的片区结构、形态特征、类型谱系及社会经济反映。该方法框架能精细化地识别城市肌理片区边界、特征和类型差异,划定跨尺度的肌理等级关系,相较单一尺度、单一维度的研究更符合现代异质拼贴的城市空间。多尺度研究也有助于合理组织城市肌理关系,指导不同保护等级的城市更新范围划定,为城市肌理保护和更新实践提供有力客观参照。

1 数据与方法

1.1 研究区域

作为中国城市发展的桥头堡,上海是城市空间快速变化的典型案例,其城市肌理呈现鲜明的异质拼贴特征,为定量识别带来较大挑战。同时,上海在历史文化保护方面基础较好,具备较为准确的风貌区边界数据,便于城市肌理识别结果的合理性验证。本文研究范围以上海中环路为边界(见图1),总面积约314.62 km²。该区域肌理类型丰富,汇集了老城厢时期(1843年以前)、近代建筑兴建期(1843—1949年)、工人新村兴建期(1949—1980年),以及商品房兴建、中心区更新和新区大开发时期(1980年以来)等多个城市发展阶段的建设成果,涵盖上海中心城所有12片历史文化风貌区。

1.2 研究数据

本文选择建筑基底数据作为主要数据源,相较于传统的地块、街区或片区数据,具有实况真实性、信息丰富性、空间精细化、变化高频性等优势,更能反映城市肌理系统的自组织规律。本文采用数据来源于2020年百度地图

API矢量数据,数据仅包含建筑层数字段。本文对原始数据与历史文化风貌区、城市增长边界等多源社会经济数据进行对比验证后,剔除碎小附属建筑物,并筛除基底面积小于50 m²的建筑斑块,最终得到的建筑数量为109 058个,占原始数据的77.30%。

1.3 研究方法

本文基于空间网络视角,综合已有研究中建筑网络模型分析技术、肌理量化指标体系和类型学方法,构建了一套系统化的城市肌理自动识别技术框架。该框架从城市肌理的结构、特征、类型和机制4个维度出发,按网络构建及片区划分、特征测度、类型识别和社会经济内涵验证4个步骤对城市肌理进行自动识别与验证(见图2)。

1.3.1 城市肌理网络构建及片区划分

(1) 拓扑结构表示——建筑近邻网络

城市肌理本质上是建筑之间的复杂空间网络^[23-24],其基本单元为单个建筑或一片相似建筑组成的团簇。本文采用基于Delaunay三角网的无向平面网络表示建筑近邻关系^[25],在数学上可表示为图G(E, V), V为节点(建筑); E为边,权重WE为相邻建筑之间的联系强度。

在边的生成过程中,首先沿建筑轮廓线每5 m提取特征点,生成建筑的泰森多边形(即Voronoi图)并融合,依据邻接关系构建Delaunay三角网(见图3)。该方法避免了边相交,相较于直接用建筑质心生成更精确,更

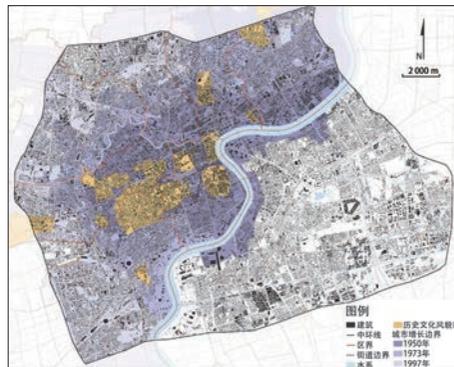


图1 研究区域
Fig.1 Study area

资料来源:笔者自绘。

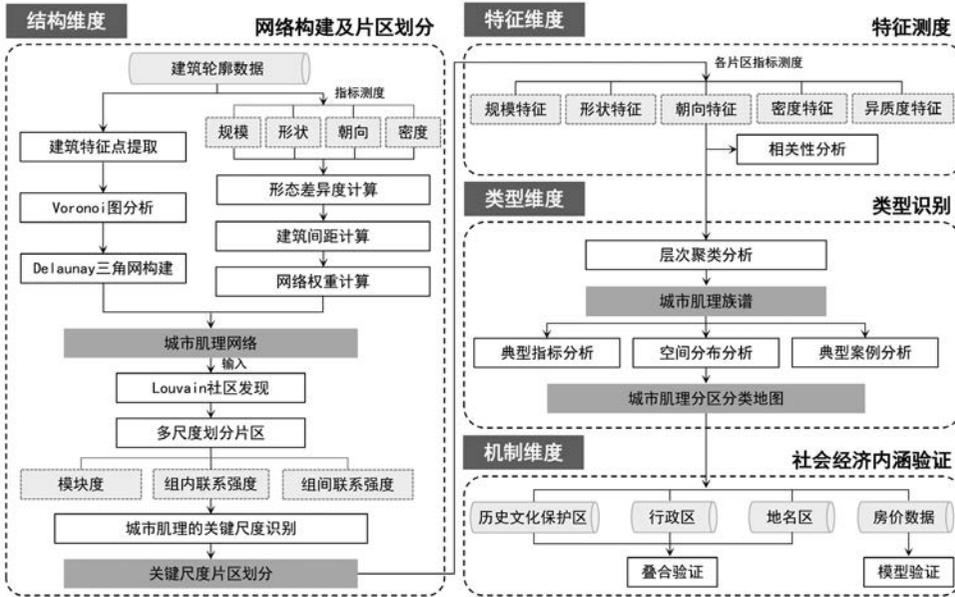


图2 城市肌理识别的技术路线
Fig.2 Technical framework for urban texture recognition

表1 建筑形态指标一览表
Tab.1 Overview of building morphology indicators

维度	指标	内涵	计算方法
规模	建筑高度 (X1)	建筑的楼层数	—
	基底尺度 (X2)	基底面积的算术平方根,与建筑高度指标同量纲,比基底面积指标更符合正态分布	$X_2 = \sqrt{Area}$
形状	形状因子 (X3) ^{[28][1958]}	刻画形状的周长与面积的关系,圆形的形状因子最小	$X_3 = \frac{Perimeter}{2\sqrt{\pi Area}}$
	分形维数 (X4) ^{[28][1985]}	刻画形状的简洁或复杂程度	$X_4 = 1 - \frac{\log(Area)}{2\log(Perimeter)}$
	延伸度 (X5) ^{[29][87],[30][4]}	建筑最小外接矩形长宽比,刻画形状的细长或方正程度	—
朝向	凸率 (X6) ^{[30][4]}	刻画形状的凹或凸程度	$X_6 = \frac{S}{S_{convex\ hull}}$
	朝向角 (X7) ^{[26][262]}	建筑底面的主角度与正东方向的逆时针夹角	—
密度	最小质心距离 (X8)	与相邻建筑的最小质心距离	—
	最小建筑间距 (X9)	与相邻建筑轮廓之间的最短距离	—

资料来源:笔者自制。

符合直观感知,也更适用于异质拼贴的城市肌理。为提升计算效率并聚焦于网络主体结构,剔除建筑间距超过100 m的连边,此距离通常受自然边界、宽阔道路或大型绿地等因素的阻隔。

(2) 网络权重计算——空间近邻性与形态相似性

本文综合考虑了建筑间的空间邻近性^{[26][263]}和形态相似度^[27]来表征建筑近邻网络的权重WE,其公式为:

$$W_{ij} = e^{-D_{ij} \times S_{ij}} \quad (1)$$

$$S_{ij} = \sqrt{\sum_k (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (2)$$

式中: W_{ij} 表示建筑*i*与建筑*j*之间的联系强度; D_{ij} 表示其建筑间距; S_{ij} 表示其形态差异度,定义为建筑形态特征向量之间的欧式距离; X_{ik} 表示节点*i*的第*k*个形态指标。

其中,形态差异度考虑了建筑的规模、形状、朝向和密度等方面共9个指标(见表1),以



图3 Delaunay三角网生成示意图
Fig.3 Illustration of Delaunay triangulation generation
资料来源:笔者自绘。

九维向量的欧式距离来度量两个建筑之间的形态差异程度。

(3) 多尺度片区划分及关键尺度识别——鲁汶社区发现

通过社区发现算法,可划分不同尺度下的肌理片区,以模块度 (Modularity) 作为评价社区划分效果的指标,以衡量社区内部节点联系的紧密程度^[31],如公式 (3)。社区发现算法在不同尺度划分系数(即分辨率)下高效识别出从微观到宏观的多层级结构即城市肌理的多尺度片区结构。

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j \text{ 在同一社区}} \left(W_{ij} - r \frac{k_i k_j}{2m} \right) \quad (3)$$

$$k_i = \sum_j W_{ij} \quad (4)$$

$$m = \frac{1}{2} \sum_{i,j} W_{ij} \quad (5)$$

式中: W_{ij} 表示节点*i*与节点*j*的联系强度; r 表示分辨率,更低分辨率通常得到更细粒度的社区划分; k_i 表示节点*i*的度数; m 表示所有边的权重之和。

得到城市肌理不同尺度下的片区结构后,本文以模块度指标为首要优化目标,并参考组内与组间平均联系强度,选取模块度高且结构合理的关键尺度进行深入分析。

1.3.2 城市肌理的特征测度

为测度特定尺度的肌理特征,本文构建5大类共11个指标体系(规模、形状、朝向、密度和异质度,见表2)用以测度各片区的肌理特征。

1.3.3 城市肌理的类型识别

基于关键尺度城市肌理片区的特征测度,进一步采用凝聚型层次聚类算法识别肌理类型族谱。该算法通过计算片区间多维肌理特征向量距离,递归合并多维特征相似簇,最终

形成类型谱系。树状图 (dendrogram) 直观展现了不同片区间的相似关系和整体肌理片区的类型谱系。

1.3.4 城市肌理的社会经济关系验证

城市肌理是衔接城市物质环境与社会机制的一种桥梁因素。为进一步验证城市肌理的分区分类与社会经济系统的关系,本文利用多源社会经济数据对城市肌理识别结果进行定性定量验证。在社会内涵层面,将肌理片区与历史风貌区和行政区划叠加对比,分析地理范围和边界的重合度来验证肌理片区识别的合理性。在经济内涵层面,采用二手房价格模型,运用最小二乘法和地理加权回归进行经济验证,检验不同肌理类型对房价的影响及其显著性。

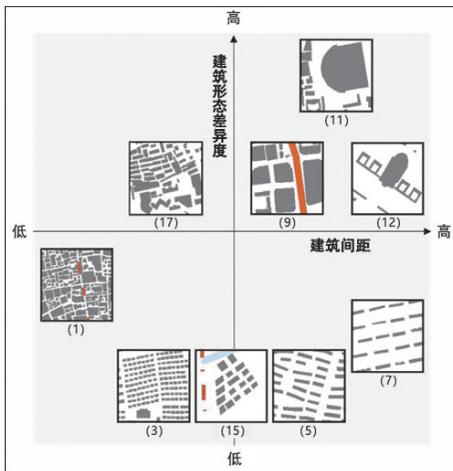


图4 建筑间距与形态差异度的四象限分析
Fig.4 Four-quadrant analysis of building spacing and morphological differentiation

资料来源:笔者自绘。

2 上海中环内地区城市肌理自动识别结果

2.1 城市肌理网络及多尺度片区结构

2.1.1 城市肌理网络特征

城市肌理结构研究是划定空间单元和城市风貌管控区的重要参考。上海中环内建筑近邻网络相比原始建筑基底数据,更直观揭示了城市肌理的深层拓扑结构,既符合人的空间认知和规划设计逻辑,也能体现水系、道路、可达性空地等约定性要素对城市肌理的塑造作用。

进一步考虑肌理网络的权重,建筑间联系强弱能够揭示更复杂的肌理内涵。本文对比了仅考虑建筑间距、仅考虑建筑形态差异度和考虑两者综合建筑联系强度3种权重的肌理网络差异。建筑间距权重网络能较好地反映宏观密度分异和微观组团肌理,但对布局稀疏的中高层肌理识别较弱,而建筑形态

差异度权重能较好地弥补这方面的不足(见图4)。两者逻辑相对独立(相关系数仅为0.2226)。因此,采用综合联系强度能更全面有效识别成片 and 孤立肌理,反映城市肌理的宏观分异与微观局部结构。

从综合联系强度的空间分布来看(见图5),整体网络无明显高值集聚,浦西联系强度略高于浦东。局部高值联系突显各类成片住宅组团肌理;低权重边则灵敏地识别出特殊建筑(群),如静安体育中心(见图5b (11))、浦东新区政府办公建筑群(见图5b (12)),为文脉修复等城市更新实践提供量化工具和有益参考。

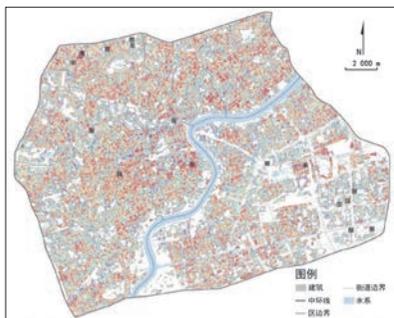
2.1.2 城市肌理多尺度片区结构

不同分辨率的社区研究结果显示,上海中环内城市肌理呈连续尺度变化,识别出的多尺度片区结构并不明显对应于传统地块、街区或规划片区等自上而下的引导约束性空

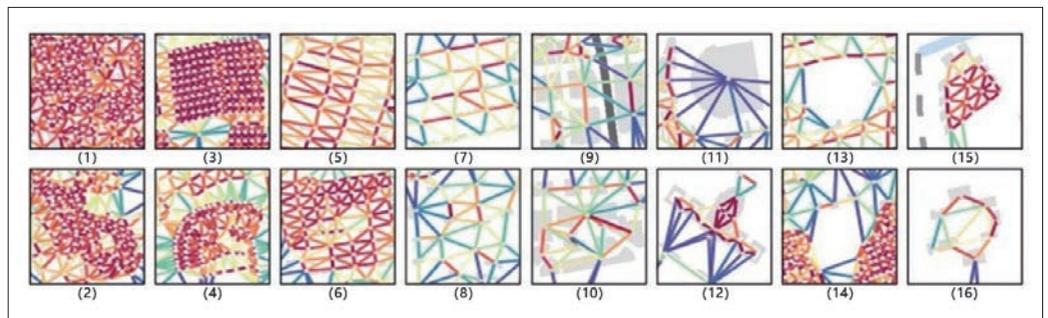
表2 城市肌理特征指标一览表
Tab.2 Overview of urban texture characteristic indicators

类别	指标	计算方式	肌理含义
规模	平均建筑层数	片区内部建筑层数的平均数	高耸/低矮
	平均基底尺度	片区内部建筑基底尺度的平均数	小型/大型
	平均形状因子	片区内部建筑形状因子的平均数	
形状	平均分形维数	片区内部建筑分形维数的平均数	建筑基底形状
	平均延伸度	片区内部建筑延伸度的平均数	
	平均凸率	片区内部建筑凸率的平均数	
朝向	平均建筑朝向	片区内部建筑朝向角的平均数	建筑朝向
	平均建筑间距	片区内部相邻建筑间距的平均数	紧密/稀疏
密度	网络密度(γ)	$\gamma = E / (3N - 6)$, E 为网络的边数, N 为节点数	紧凑/松散
	平均建筑形态差异度	片区内部相邻建筑的形态差异度的平均数	均匀/不均
异质度	度数标准差	片区内部城市肌理网络度数的标准差	布局简单/复杂

资料来源:笔者自绘。



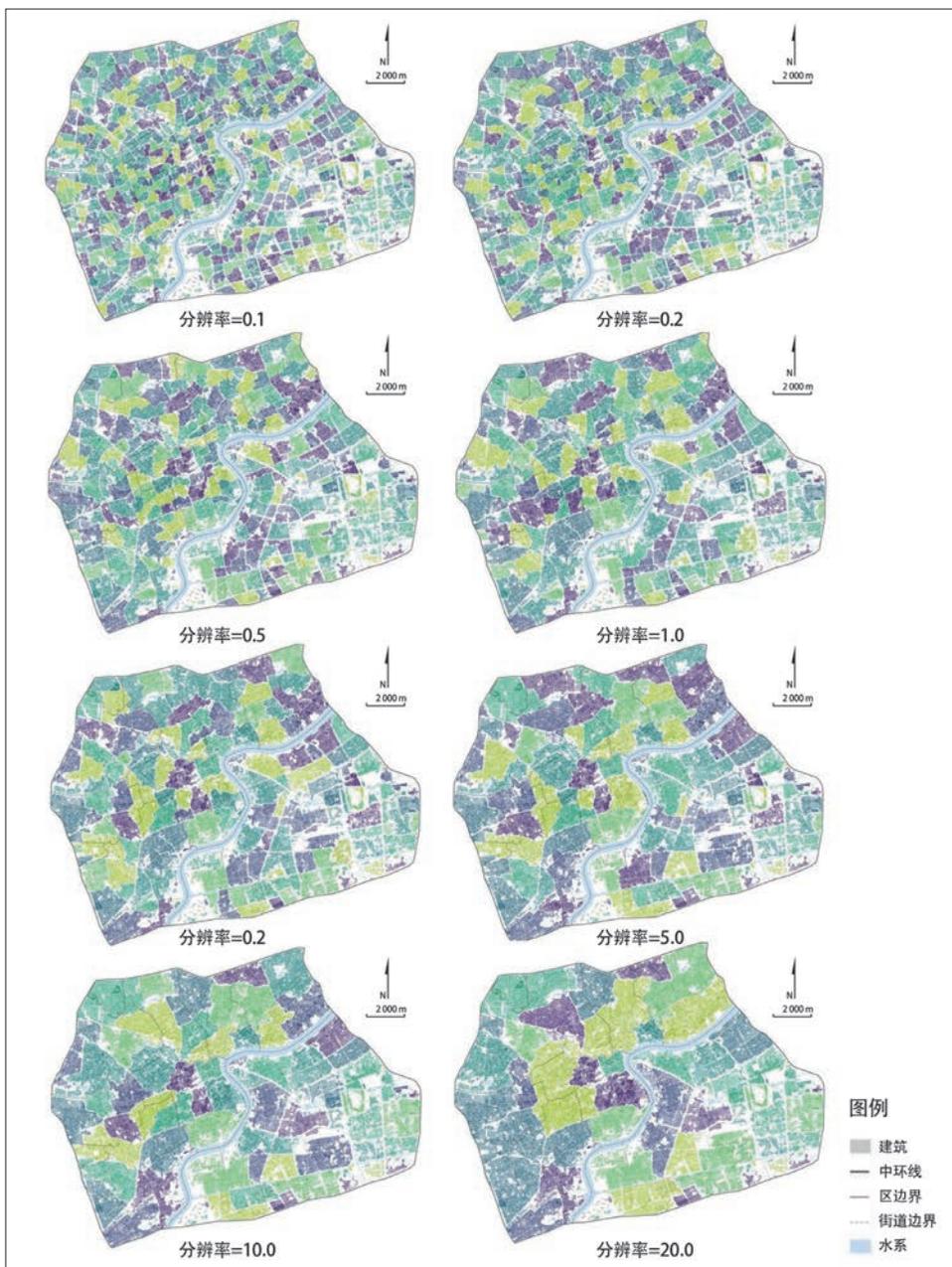
a 上海市中环内地区建筑联系强度



b 30 m x 30 m局部的建筑联系强度

图5 上海中环内地区建筑综合联系强度
Fig.5 Integrated connection strength of buildings within Shanghai's Middle Ring and analysis of building spacing

资料来源:笔者自绘。



注：片区颜色无具体含义，仅用于区分不同片区。

图6 上海中环内地区城市肌理的多尺度片区结构

Fig.6 Multi-scale texture patch structures within Shanghai's Middle Ring

资料来源：笔者自绘。

间结构（见图6），展示了街区等单一尺度肌理片区的再划分和再融合，体现了规划力量、自然与社会经济过程综合作用下的空间结果。从精细度上看，多尺度结构既揭示街区内部肌理子结构，也挖掘跨地块、街区的肌理片区，提供了多层级的精确肌理片区边界，提高对肌理复杂性的认知。从规划意义上看，本

方法识别结果与规划单元叠合对比可发现实际情况与规划结构之间的差异，多尺度边界也为多级规划保护线、保护范围的划定提供有效参考。

比较不同尺度的城市肌理片区结构可以发现，片区边界与城市路网、水系、大型公共空间、历史风貌区等要素的边界高度一致（见

图6），并且不同尺度片区边界要素也具有明显的尺度匹配关系。例如，小尺度的肌理片区结构边界对应内部道路和支路等低等级路网和院落等小尺度公共空间，片区形状与居住小区边界的重合度更高。肌理尺度与社会经济要素尺度的对应性也初步验证了结果的合理性。

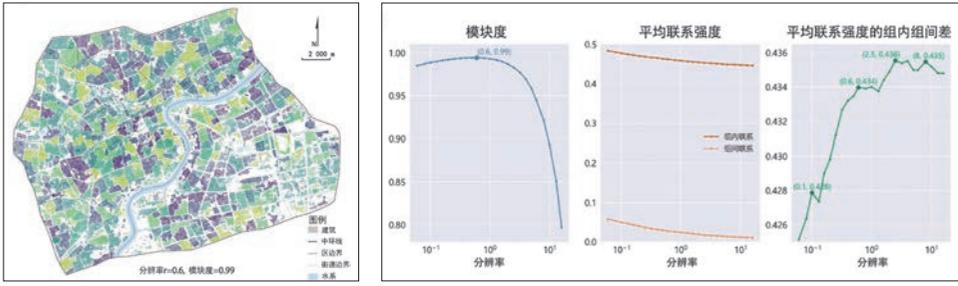
多尺度肌理识别补充揭示了不同类型肌理的尺度效应，例如现代公共建筑肌理尺度较大，而历史风貌区肌理尺度较小。本方法还进一步揭示上海中环内历史文化风貌区的内部结构差异与跨区融合（见图6）：内部结构最简单的江湾历史文化风貌区在0.5的分辨率下就凝聚为一个整体，老城厢风貌区在同分辨率下呈现出被十字干道分割开的4个片区结构，内部构成最复杂的衡山路—复兴路历史文化风貌区（以下简称“衡复历史文化风貌区”）的子结构数量最多，在分辨率为20的尺度下才凝聚为一个整体片区。

本文提出的多尺度城市肌理识别方法仅使用建筑基底数据，即可“自显”路网、地块等底层结构。既符合传统城市肌理的定性认识，又揭示了自下而上、连续变化的肌理多层次结构，并兼容现代特殊多部件建筑（如底商办公楼）（见图5b）。多尺度识别结果捕捉了历史文化风貌区内部组团如何在连续尺度上联系、凝聚，呈现出内部异质性、跨区融合以及长期嬗变的结构不稳定性，丰富了对城市肌理的认知。

2.1.3 城市肌理关键尺度片区结构

本文以分辨率为0.6（模块度最高0.9942，组内外平均联系强度之差出现明显拐点）的片区结构定为持续深入研究的关键尺度。该尺度下，上海中环城市肌理被分为805个片区（见图7），合理地揭示了城市拼贴结构，并敏锐地体现了道路和水系对塑造城市肌理边界和骨架的作用。

对比上海4个不同结构的历史风貌区（见图8），结果显示关键尺度下城市肌理边界与历史风貌区的划定片区边界大致重合，能有效反映历史风貌特色，同时识别出跨越划定边界的



a 关键尺度下的上海中环内城市肌理片区划分 b 不同尺度下的城市肌理网络划分结果对比



c 城市肌理识别结果中水系和道路的边界骨架作用
注：片区颜色无具体含义，仅用于区分不同片区。

图7 上海中环内城市肌理在关键尺度（分辨率=0.6）下的片区结构
Fig.7 Texture patch structures within Shanghai's Middle Ring at the key scale (resolution=0.6)

资料来源：笔者自绘。

城市肌理延续呼应区域。与街区尺度相比，本方法识别结果不仅能揭示街区内部的异质拼贴，也揭示了跨街区肌理的呼应与融合，更精细、更符合城市实况。

2.2 城市肌理的量化特征

量化特征是城市肌理的重要维度之一，将传统研究中对城市肌理的含糊描述转化为精确测度，是精细区分肌理差异、开展横向特色对比、纵向变化分析及类型研究的基础。本文在关键尺度下测度了规模、形状、朝向、密度和异质度5大类共11项指标（见图9），以捕

捉上海中环内城市肌理的复杂特征。

2.2.1 规模特征

规模特征通过建筑层数和基底尺度表征，反映肌理的粗糙细致程度。结果显示，中环内各片区建筑高度和基底面积的整体分布规律不明显，但在局部区域呈现显著连续或分异规律，并与用地类型紧密相关。这些尺度特征能清晰勾勒出历史文化风貌区、商圈、公共建筑、办公区和居住区的轮廓。

2.2.2 形状特征

形状特征通过形状因子、延伸度、分形维数和凸率等指标刻画各片区建筑基底的几何

特性，用于精细区分城市肌理特色。上海中环内各片区建筑形状因子和延伸度均从城市中心向外围呈现出“低—高—低”的圈层分异特征，对建筑轮廓十分敏感，可直观揭示不同历史时期形成的住宅肌理差异。分形维数刻画建筑基底的形状复杂度，建筑基底面积小的片区往往分形维数较大，例如衡复历史文化风貌区、曹杨新村等。商圈及产业园等非居住功能区的分形维数较低，例如外滩、陆家嘴、张江高科技园区等。建筑凸率指标对不规则地块敏感，中环内凸率较低片区多靠近蜿蜒水系或不规则道路，形成了以特殊形状建筑为主的肌理，例如苏州河沿岸和宜山路—世纪大道附近片区。

2.2.3 朝向特征

城市肌理的朝向特征反映片区内建筑主要朝向分布，通过建筑平均朝向角表征。上海中环内建筑在微观尺度上朝向角度多变，但其全局空间分布与不同历史时期的城市轮廓吻合，大致呈现出“低—高—低”的圈层特征。城市中心陆家嘴—后滩—华阳路—提篮桥片区平均朝向角较小，多为西北—东南方向，与1950年代的城市建成区重合度较高。第二圈层为中心区外围环状区域，主要为工人新村和商品房居住区，平均建筑朝向角较大，建筑多为东北—西南方向。第三圈层最外围区域更多受路网方向影响，包含许多沿街廊布局的园区肌理。

2.2.4 密度特征

城市肌理的密度特征反映建筑间距和整体布局的紧凑程度，包括肌理几何密度和拓扑密度。中环内城市肌理的几何密度呈现“单中心向外递减”的整体规律。“烟斗形中心区”（浦西中部历史城区、北外滩）建筑最紧密，而外围建筑逐渐稀疏。拓扑密度对片区的建筑总量和片区形状等特征更加敏感，其高值片区建筑布局紧凑、形成一定规模且形状方正的成片肌理，例如老城厢、衡复历史文化风貌区等；相反拓扑密度较低的片区建筑布局松散、网络规模较小、存在明显的孔洞，片区形态狭长，例如陆家嘴高层建筑群、徐汇滨江等区域。

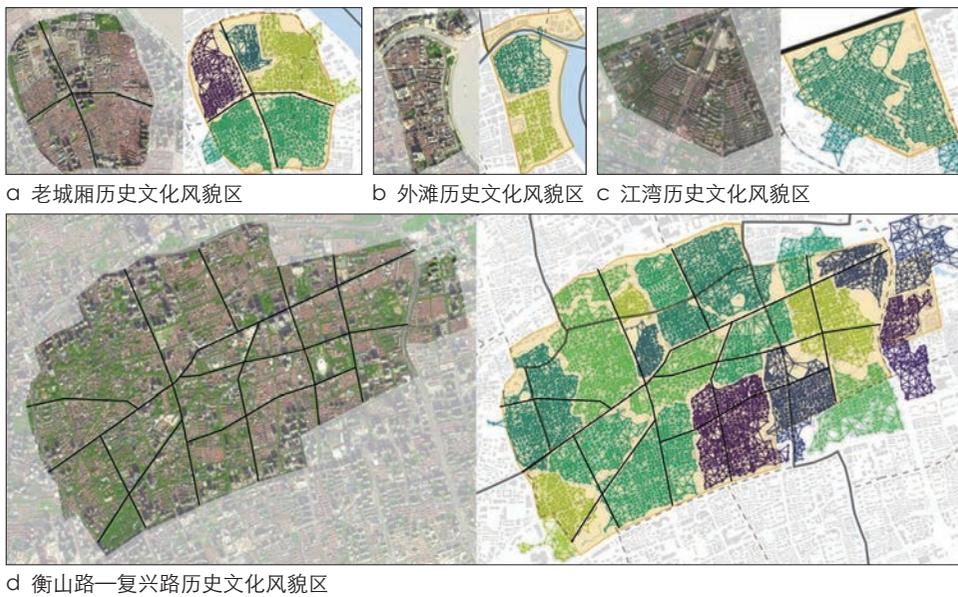


图8 上海部分历史文化风貌区与城市肌理片区对比

Fig.8 Comparison between historical cultural heritage areas and urban texture patches in Shanghai

资料来源: 笔者自绘。

2.2.5 异质度特征

城市肌理的异质度反映片区内建筑几何形态的异质拼贴和建筑在整体布局中的中心性差异程度,通过几何异质度与拓扑异质度表征。几何异质度反映建筑形态的异质拼贴程度,与定性研究中“千篇一律”“和谐统一”“突兀”等描述密切相关。研究发现几何异质度高的片区,如陆家嘴、上海新国际博览中心,与周边对比强烈,具有片区地标的意义;别墅区则最为同质,如宝山大场镇华欣苑。拓扑异质性体现中心性差异,与定性研究中“规则”“有机”“结构复杂”等描述密切相关。规则矩阵式布局的片区分布均匀,如徐汇玫瑰园—牡丹园;而有机分布、街区式及混合式布局片区中心性差异显著,反映了用地功能混合或历史拼贴特征。

2.3 城市肌理的类型特征

城市肌理的类型研究是系统性梳理城市肌理谱系,衡量城市风貌丰富度,挖掘城市历史文化特色和地方特色的重要内容。量化特征族谱分析结构显示,上海中环内各个肌理片区可以分为两大类——成片肌理和碎片肌理,并进一步细分为8种基本类型(见图10)。

2.3.1 成片肌理

成片肌理包括A紧凑复杂结构肌理、B板式紧凑均质肌理、C小型独栋式均质肌理、D稀疏复杂结构肌理4种类型,共计560个片区(77.86%,为该类型片区数量占研究范围内划分所得全部片区数量的比例,下同),占据上海中环内绝大部分区域。其中,A紧凑复杂结构肌理(23.08%)建筑布局最为紧凑、致密,主要集中分布于“烟斗形中心区”,与上海里弄民居分布区高度重合,涵盖了绝大多数历史文化风貌区。其细分为A1里弄肌理、A2里弄公建混合肌理和A3村镇肌理3个亚类。B板式紧凑均质肌理(26.56%),以长条状的多层板式住宅为主,是中环内城市肌理的基本面,大多是工人新村和板式住宅区。其细分为B1板式不规则混合肌理、B2板式规则紧凑肌理和B3板式松散均质肌理。C小型独栋式均质肌理(5.15%),以低层、小而方正的独栋式建筑不断重复为特色,量少而集中分布于浦东花木路、张江和金桥一带,内部建筑形态高度重复,与周边其他类型的肌理对比鲜明。D稀疏复杂结构肌理(23.09%),尺度中等、间距中等、异质混合,星罗棋布于上海各区各个角落,主

要为高层居住区、产业园区、公共建筑和商圈。其细分为D1园区—公建肌理、D2高层住宅肌理和D3商圈肌理。

2.3.2 碎片肌理

碎片肌理的拓扑密度较低,建筑布局较松散,片区规模较小,数量较少,共计159个片区(22.11%),大多零星分布于黄浦江、苏州河和张家浜等水系沿岸的空地,包括E低层碎小肌理、F大型稀疏混合肌理、G高层不规则混合肌理和H大型不规则稀疏混合肌理4小类。E低层碎小肌理(8.34%)是由少量较低矮、超小型建筑组成的超小片均质化肌理,零星分布于黄浦江滨江和浦东地区。其细分为E1松散碎片肌理和E2紧凑孤岛肌理。F大型稀疏混合肌理(9.74%)是由大尺度的现代化建筑形成的小片、稀疏、混合的肌理,主要分布于徐汇和浦东,可细分为F1现代化大型致密肌理和F2现代化小型稀疏肌理。G高层不规则混合肌理(2.23%)是由高层、尺度偏大、不规则、异质混合的建筑组成的小片肌理,数量少,零星分布于苏州河沿岸和陆家嘴,多为高层不规则长条状住宅区和不规则形状的大型商场或写字楼。H大型不规则稀疏混合肌理(1.81%),由大型、不规则形状的建筑组成,间距极稀疏,布局极松散,建筑形态对比迥异。数量非常少,主要分布于浦东世纪广场、前滩和后滩地区,多为公共建筑肌理。

2.4 城市肌理的社会经济内涵验证

城市肌理不仅是空间形态概念,还蕴含社会经济互动机制,并在城市社会经济的发展进程中得以体现。城市肌理作为规划力量、自然背景与社会经济过程等因素综合作用的结果,是衔接城市物质环境与社会机制的重要桥梁。因此,为了验证本方法识别城市肌理的合理性,探究城市肌理与城市社会经济要素之间的互动关系,本文结合风貌管控区、行政区和二手房数据进行城市肌理的社会经济内涵验证分析。

2.4.1 上海中环内城市肌理与历史文化风貌和行政边界的关系

叠合对比上海中环内城市肌理片区结构

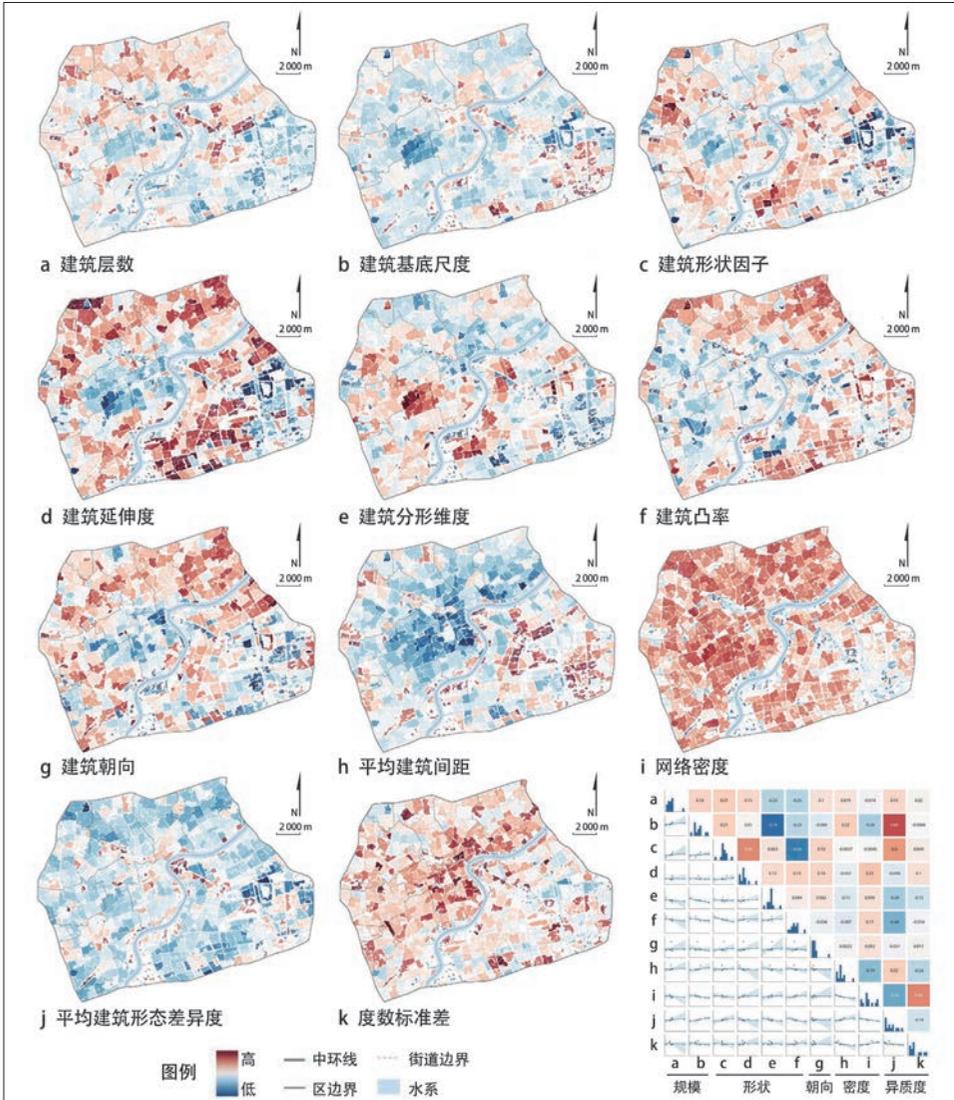


图9 上海中环内各片区肌理的量化特征及相关性分析
Fig.9 Quantitative characteristics of texture patches within Shanghai's Middle Ring and the correlation analysis between indicators

资料来源:笔者自绘。

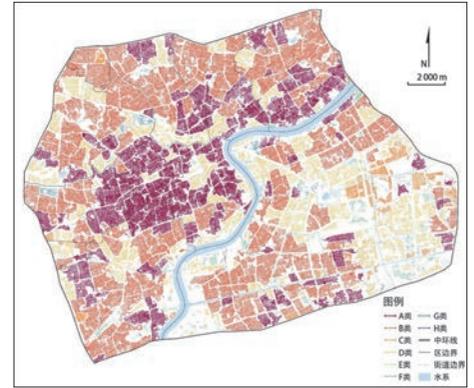
和历史风貌区边界,以及行政区和街道边界(见图11),结果表明关键尺度下中环内城市肌理片区范围和边界与实际划定的历史文化风貌区和行政区高度重合,表明城市肌理与历史文化风貌和行政事权的关联性,验证了本方法肌理划分的合理性。老城厢、衡复历史文化风貌区等建筑紧凑片区与划定的风貌区高度一致;而以大型公园或广场为核心的片区,如人民广场、愚园路西段,边界相对模糊,识别结果与划定风貌区边界一致性较低。

行政边界是一种典型的社会空间结构,

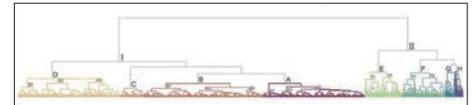
对城市功能布局、开发建设和历史文化保护都有广泛影响。研究发现本方法识别出的特定尺度肌理片区与行政区和街道边界大范围耦合,多尺度识别结果能在不同行政尺度上验证合理性,既揭示了城市肌理自发生长的特征,也反映了规划控制和行政管辖对肌理生成的作用。

2.4.2 上海中环内城市肌理与住房价格的关系

为探讨城市肌理的经济内涵,研究构建二手房房价特征价格模型分析不同类型肌理对房价的影响^[32-33]。模型以区位条件、邻里服



a 上海中环内城市肌理空间分布



b 上海中环内城市肌理族谱分析

图10 上海中环内城市肌理空间分布和族谱分析
Fig.10 Spatial distribution and typological analysis of urban texture within Shanghai's Middle Ring

资料来源:笔者自绘。

务、建筑特征、套内结构和肌理特征(肌理亚类)作为解释变量,以建筑的二手房房价(数据来源于安居客二手房数据)为被解释变量进行多元逐步回归和地理加权回归。在模型拟合前计算方差膨胀因子VIF以剔除共线性较高的因子,仅保留VIF<5的变量逐步纳入OLS模型,并基于OLS模型结果构建地理加权回归(GWR模型)。结果显示(见表3),以上海中环内11 155个二手房为有效样本,OLS模型的Adj. R²=0.350, AICc=26 879,模型整体上显著(α=0.05);GWR模型的Adj. R²=0.534, AICc=23 373(回归结果变量条件数均小于30)。两个模型中因子影响基本一致,且符合住房效用的基本常识,说明两类房价模型在解释上海中环内二手房市场的价格机制上具有一定有效性。

需要指出的是,城市肌理并非影响房价的动因,而是规划力量、自然背景与社会经济过程综合作用下形成的物质空间结构。通过将肌理纳入房价模型中,发现在包含10个控制变量和8个城市肌理类型变量的上海中环内二手房价格模型中,不同城市肌理亚类对应的二手房价格具有显著差异(Kruskal-Wallis检验α=0.05),其对房价的影响可分为4个等级

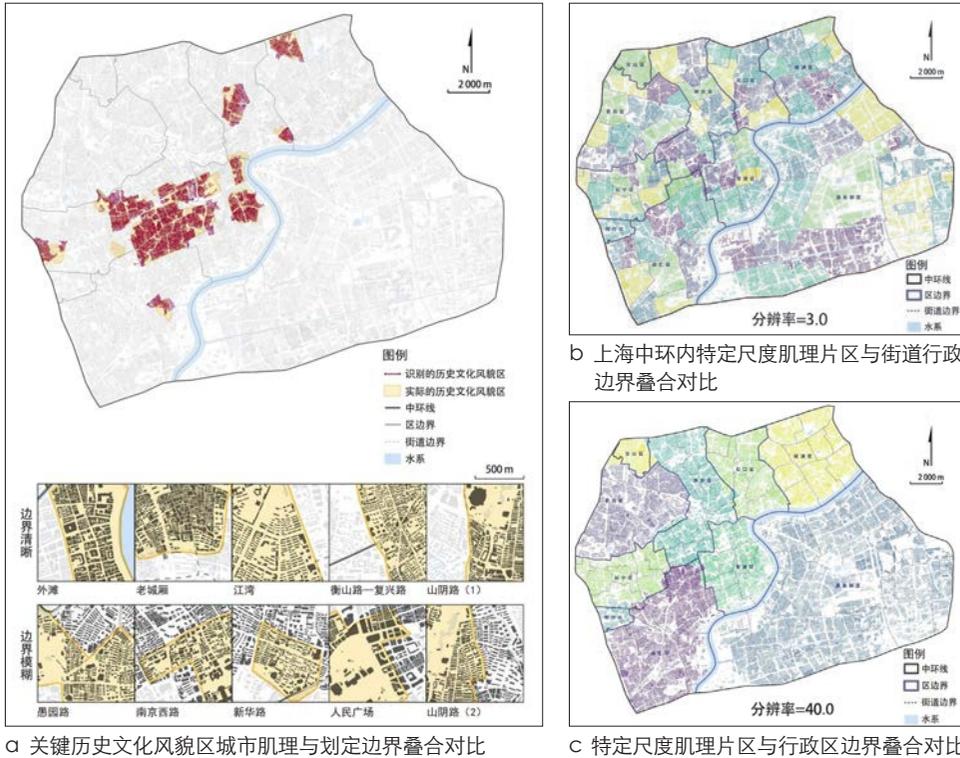


图11 上海中环内城市肌理与历史风貌区及行政边界叠合对比
 Fig.11 Comparison of urban texture and overlay of historical and administrative boundaries within Shanghai's Middle Ring

表3 上海中环内二手房价的回归模型系数一览表

Tab.3 Coefficients for the second-hand housing price model within Shanghai's Middle Ring

自变量	OLS		GWR		
	未标准化系数	标准化系数	标准化系数		
			中位数	均值	标准差
常数项	10.778	0.000	0.092	0.064	2.478
位于内环线以内(哑变量)	0.157	0.235	0.095	0.106	0.105
房间数/间	0.026	0.122	0.100	0.105	0.060
塔楼建筑(哑变量)	-0.250	-0.301	-0.265	-0.266	0.061
装修水平/%	0.138	0.133	0.113	0.115	0.030
所在楼层/层	0.007	0.185	0.151	0.170	0.112
A1类肌理(哑变量)	0.167	0.110	0.146	0.169	0.129
属于商住楼(哑变量)	-0.369	-0.111	-0.118	-0.122	0.050
B2类肌理(哑变量)	-0.041	-0.059	-0.03	-0.033	0.095
1 000 m内的绿地面积/hm ²	0.004	0.096	0.054	0.062	0.080
朝南程度/%	0.115	0.109	0.097	0.103	0.041
1 000 m内的学校POI数量/个	0.000	0.110	0.125	0.153	0.152
F2类肌理(哑变量)	0.269	0.076	0.071	0.055	0.078
D1类肌理(哑变量)	0.356	0.059	0.098	0.106	0.092
C类肌理(哑变量)	0.232	0.060	0.064	0.063	0.060
D3类肌理(哑变量)	0.076	0.051	0.025	0.040	0.066
B1类肌理(哑变量)	0.035	0.043	-0.028	-0.008	0.107
D2类肌理(哑变量)	0.042	0.032	0.022	0.024	0.079
到地铁站的最短直线距离/km	-0.027	-0.023	-0.017	-0.020	0.076

注:上述变量均显著($\alpha=0.05$),按R²增加量从高到低排序。

资料来源:笔者自制。

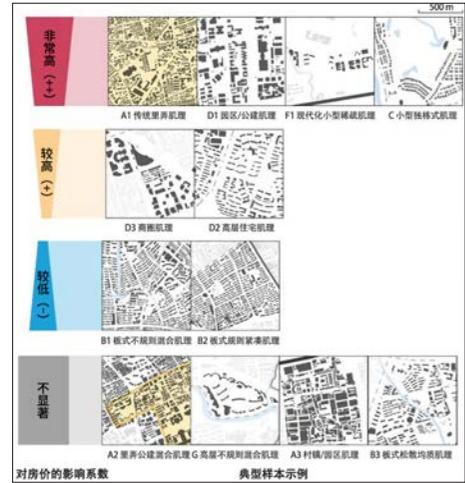


图12 城市肌理对房价影响系数的4个等级
 Fig.12 Four levels of the coefficients of urban texture on housing prices

资料来源:笔者自绘。

(见图12)。多类城市肌理呈现出对二手房价格的显著影响,表明本方法识别的城市肌理能表征潜在的城市社会经济活动,是复杂社会经济活动的共识性结果,并且不同城市肌理具有不同的房价特征,验证了识别出城市肌理类型的经济内涵。

3 结论与讨论

当前城市普遍面临地方特色淡化和历史文脉断裂等问题,加强城市设计和塑造城市特色已成为中国城市高质量发展的重要举措。对复杂城市肌理进行大范围、精细化的定量识别,有助于深入剖析城市特色和历史文脉,为城市更新和风貌管控提供科学指导。本文基于复杂网络视角,提出一套多维度、数据驱动的城市肌理识别方法,包括网络构建、特征测度、类型识别和社会经济验证,并以上海中环内为例进行了实证。

研究发现上海中环内城市肌理呈现多尺度层级结构,其空间结构与历史文化风貌区、行政边界高度重合;不同片区在规模、形状、朝向、密度和异质度上差异显著,体现出建设时期、城市骨架、用地功能等多种要素对城市肌理的影响。上海中环内涌现出两大类8种城市肌理基本类型,且不同肌理亚类的房价具有显著差异,揭示了城市肌理所承载的经济价值。

本研究从空间网络视角量化城市肌理,仅基于建筑基底开放数据,实现了自动化建模与分类,具有数据简洁、算法通用和结果可解释的优势,可为城市更新设计、体检评估与风貌保护提供支撑。未来研究还可以进一步拓展城市肌理的网络概念,并添加时间维度挖掘城市肌理的演化动态测度和演化规律识别;或者拓展本文肌理识别方法的使用范围,探索该方法在不同城市背景下的普适性,结合更多社会经济数据深化社会经济机制的认识,为城市可持续发展提供更全面的决策支持。■

参考文献 References

- [1] LYNCH K. Good city form[M]. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1984.
- [2] 童明. 城市肌理如何激发城市活力[J]. 城市规划学刊, 2014 (3): 85-96.
TONG Ming. How urban fabric can help sustain the vitality of cities[J]. Urban Planning Forum, 2014(3): 85-96.
- [3] 贾新锋, 黄晶. 基于局部规则概念的城市肌理再研究[J]. 华中建筑, 2011, 29 (12): 137-139.
JIA Xinfeng, HUANG Jing. New research of urban texture based on local rule[J]. Huazhong Architecture, 2011, 29(12): 137-139.
- [4] 江泓, 张四维. 生产、复制与特色消亡——“空间生产”视角下的城市特色危机[J]. 城市规划学刊, 2009 (4): 40-45.
JIANG Hong, ZHANG Siwei. Production, duplication, and characteristics extinction: an analysis on the crisis of city's characteristic with the theory of "production of space"[J]. Urban Planning Forum, 2009(4): 40-45.
- [5] 杨保军, 朱子瑜, 蒋朝晖, 等. 城市特色空间刍议[J]. 城市规划, 2013, 37 (3): 11-16.
YANG Baojun, ZHU Ziyu, JIANG Chaohui, et al. Reflections on featured urban space[J]. City Planning Review, 2013, 37(3): 11-16.
- [6] 邓浩, 宋峰, 蔡海英. 城市肌理与可步行性——城市步行空间基本特征的形态学解读[J]. 建筑学报, 2013 (6): 8-13.
DENG Hao, SONG Feng, CAI Haiying. Urban tissue and walkability morphological analysis on the essential characteristics of urban walkable space[J]. Architectural Journal, 2013(6): 8-13.
- [7] CANIGGIA G, MAFFEI G L. Architectural composition and building typology: interpreting basic building[M]. Firenze: Alinea Editrice, 2001.
- [8] 刘铨, 丁沃沃. 城市肌理形态研究中的图示化方法及其意义[J]. 建筑师, 2012 (1): 5-12.
LIU Quan, DING Wowo. Diagrammatic methods and the significance in the study of urban fabric[J]. The Architect, 2012(1): 5-12.
- [9] 何依, 邓巍. 历史街区建筑肌理的原型与类型研究[J]. 城市规划, 2014, 38 (8): 57-62.
HE Yi, DENG Wei. Research on the prototype and types of architectural texture in historic district[J]. City Planning Review, 2014, 38(8): 57-62.
- [10] 房艳刚, 刘继生. 基于复杂系统理论的城市肌理组织探索[J]. 城市规划, 2008 (10): 32-37.
FANG Yan'gang, LIU Jisheng. Urban fabric organization based on complex systems theory[J]. City Planning Review, 2008(10): 32-37.
- [11] BATTY M. Building a science of cities[J]. Cities, 2012(29): 9-16.
- [12] 沈尧, 徐怡怡, 刘乐峰. 网络渗流视角下的城市肌理识别与测度研究[J]. 城市规划学刊, 2021 (5): 9.
SHEN Yao, XU Yiyi, LIU Lefeng. Urban texture analysis from the perspective of network percolation[J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 9.
- [13] MARZOT N. The study of urban form in Italy[J]. Urban Morphology, 2002(2): 59-73.
- [14] HILLIER B, HANSON J. The social logic of space[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [15] 陈彦光. 分形城市系统: 标度·对称·空间复杂性[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
CHEN Yanguang. Fractal urban systems: scaling, symmetry, and spatial complexity[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [16] 董春方. 密度与城市形态[J]. 建筑学报, 2012 (7): 22-27.
DONG Chunfang. Density and urban form[J]. Architectural Journal, 2012(7): 22-27.
- [17] HAUSLEITNER B. Tracing scopes of action: design principles to approach the complexity of the urban block (Tesis de maestría)[R]. 2010.
- [18] BOCHER E, PETIT G, BERNARD J, et al. A geoprocessing framework to compute urban indicators: the MApUCE tools chain[J]. Urban Climate, 2018, 24: 153-174.
- [19] RATTI C, RICHENS P. Raster analysis of urban form[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2004, 31: 297-309.
- [20] 姚佳伟, 黄辰宇, 刘鹏坤, 等. 基于人工智能的城市肌理识别和评价研究[J]. 住宅科技, 2019, 39 (11): 9-14.
YAO Jiawei, HUANG Chenyu, LIU Pengkun, et al. Urban texture recognition and evaluation based on artificial intelligence[J]. Housing Science, 2019, 39(11): 9-14.
- [21] HILLIER B. Space is the machine: a configurational theory of architecture[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [22] BATTY M. Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology[J]. Environment and Planning B, 2001, 28(1): 123-150.
- [23] GEHL J. Life between buildings: using public space[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- [24] ZHANG X, AI T, STOTER J, et al. Building pattern recognition in topographic data: examples on collinear and curvilinear alignments[J]. Geoinformatica, 2013, 17(1): 1-33.
- [25] DU S, SHU M, FENG C. Representation and discovery of building patterns: a three-level relational approach[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2016, 30(6): 1161-1186.
- [26] YAN X, AI T, YANG M, et al. A graph convolutional neural network for classification of building patterns using spatial vector data[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019, 150: 259-273.
- [27] DENG M, TANG J, LIU Q, et al. Recognizing building groups for generalization: a comparative study[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2018, 45(3): 187-204.
- [28] BASARANER M, CETINKAYA S. Performance of shape indices and classification schemes for characterising perceptual shape complexity of building footprints in GIS[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017, 31(10): 1952-1977.
- [29] DU S, LUO L, CAO K, et al. Extracting building patterns with multilevel graph partition and building grouping[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2016, 122(12): 81-96.
- [30] BURGHARDT D, STEINIGER S. Usage of principal component analysis in the process of automated generalisation[C]//Proceedings of the 22th International Cartographic Conference (ICC). 2005.
- [31] NEWMAN M E. Modularity and community structure in networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, 103(23): 8577-8582.
- [32] LAW S, KARIMI K, PENN A, et al. Measuring the influence of spatial configuration on the housing market in metropolitan London[C]//Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium. 2013.
- [33] LAW S, META B P, SHEN Y, et al. Identifying street-character-weighted local area using locally weighted community detection methods: the case study of London and Amsterdam[C]//Proceedings of the 12th Space Syntax Symposium. 2019.