

超大特大城市城中村智慧识别的路径研究

柏晓军, 李同昇, 董 欣

【摘 要】为更好地开展超大特大城市城中村的宏观识别工作, 尝试构建超大特大城市城中村智慧识别路径: 从人口密度、平面肌理、空间质量 3 个维度着手, 以城中村的热力图像、遥感图像、街景图像为数据来源, 对热力图像和遥感图像进行坐标配准、图像配准等预处理并完成地块切割, 对街景图像进行编号、空间质量分类、模型训练等预处理并生成图像集, 在此基础上, 提取 3 种图像的特征, 形成综合特征体系, 最后运用算法模型进行定量分析, 得到区域综合的城中村识别底图。同时, 将该路径应用于西安市雁塔区的城中村识别实践。

【关键词】超大特大城市; 城中村; 智慧识别; 西安市雁塔区

【文章编号】1006-0022(2025)03-0125-06 **【中图分类号】**TU984、K928.5 **【文献标志码】**B

【引文格式】柏晓军, 李同昇, 董欣. 超大特大城市城中村智慧识别的路径研究 [J]. 规划师, 2025(3): 125-130.

Research on the Pathways for Intelligent Recognition of Urban Villages in Megacities/BAI Xiaojun, LI Tongsheng, DONG Xin

【Abstract】To enhance the macro-level identification of urban villages in megacities, an intelligent recognition pathway was developed, integrating three dimensions: population density, planar texture, and spatial quality. Thermal imagery, remote sensing imagery, and street-view imagery were utilized as data sources. Thermal and remote sensing images were pre-processed through coordinate alignment, image registration, and parcel segmentation, while street-view images underwent numbering, spatial quality classification, and model training to generate standardized image datasets. Features from all three sources were extracted and synthesized into a comprehensive feature system. Algorithmic models were then applied for quantitative analysis, producing a regionally integrated base map for urban village identification. The pathway was validated through its implementation in identifying urban villages in Yanta District, Xi'an, demonstrating its applicability in addressing spatial informality within rapidly urbanizing contexts.

【Keywords】 megacities; urban villages; intelligent recognition; Yanta District, Xi'an

0 引 言

党的十八大以来, 为推进超大特大城市建设, 国家提出“一流城市要有一流治理”“城市建设要贯彻以人民为中心的发展思想”“运用大数据、云计算、区块链、人工智能等前沿技术推动城市管理手段、管理模式、管理理念创新”等方针^[1]。多年来, 中国的快速城镇化催生了大量的城中村。当前, 城中村的概念有狭义与广义之分, 狭义上的城中村是指在城市建成区内仍然实行村民自治和农村集体所有制的村庄, 广义上的城中村泛指

所有缺乏统一规划管理, 存在建筑空间小、基础设施缺乏、治安隐患难以消除等问题, 游离于城市管理范围之外, 且生活水平低下的居民区及低端商住混合区。近年来, 随着中国城市的规划重心由增量开发转为存量更新, 城中村的优化更新已经成为城市更新的主要任务^[2]。随着超大特大城市发展的日新月异, 城市用地不断更新迭代, 以往传统的土地实地调查等方法已经不再适用, 亟须寻求更加灵活、便捷和科学的城中村识别方法^[2-3]。

现阶段城中村的范围划定不够精准、科学, 存在

【基金项目】 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (23XJCZH013)、陕西省社科联 2020 年重大理论与西安市问题研究项目 (20TJ-14)

【作者简介】 柏晓军, 西北大学城市与环境学院硕士研究生。2672915576@qq.com

李同昇, 通信作者, 博士, 西北大学城市与环境学院教授、博士生导师, 西北大学陕西省情研究院院长。leetang@nwwu.edu.cn

董 欣, 博士, 西北大学城市与环境学院副教授、硕士生导师。

城中村范围被扩大的现象,导致更新改造工作的成本大、效率低。随着城市空间的快速发展,城中村处于动态变化的状态,以往的城中村划定标准不再适用,需运用高新技术手段定期对城市空间进行宏观、科学的识别和监测,为城市的健康评估、智慧管理和可持续发展提供切实有效的规划策略^[4]。

1 国内外相关研究

国外虽有城市更新现象,但将城中村更新作为政策性措施对城中村进行识别改造的相关研究较为缺乏^[5]。城中村主要存在于处在城市快速发展时期的亚洲国家,以中国、日本、印度等为代表。中国和印度同为发展中国家,因城市建设活动的繁荣,城市内存在大量与社会发展脱轨的“异类地区”。日本虽然是发达国家,但是因其独特的地理区位和经济发展水平,在2002年《都市再生特别措施法》颁布后,迎来了城市更新的高潮,对城市老旧社区进行了大规模的改造。

中国对于超大特大城市城中村的识别主要是通过遥感手段和机器运算模型。崔成等^[6]通过耦合GF-2遥感图像和街景影像提取二者的综合识别特征用于城中村的范围识别。尽管该方法的识别精度较高,但是其以单一物质形态标准界定城中村的方式存在较大局限性:未区分人群密度的空间分异,导致难以制定具有针对性的分时序、差异化的更新策略,在应对超大特大城市城中村的范围异质性时存在局限。陈栋胜等^[7]综合利用遥感图像、出租车轨迹、POI数据来识别城中村,该方法在提取城中村物质形态识别特征的基础上,引入人的活动足迹,但其在物质形态识别层面采用的单一遥感图像的识别精度较低,遥感图像识别出的屋顶较为粗糙,囊括了大部

分老小区和屋顶质量较差的建筑区域。同时,该方法在人群密度识别层面较为依赖出租车轨迹与POI数据,而此类数据与城中村常住人口密度呈弱相关,在识别商业娱乐高流动性空间与城中村时容易出现混淆的情况。因此,需将长时间滞留人口密度作为核心指标,以更精准地表征城中村的静态居住特征^[8]。

本文从多个维度对超大特大城市城中村进行空间识别,遵循“以人为本”的城市改造理念,将人口密度纳入识别体系,以夜间12点的人群手机定位基站数据(此时人群基本处于休憩状态,以区域固定人群为主)生成的热力范围图像来识别人群密度,并解决百度热力图像难以进行矢量分析的问题,最后通过对热力图像、遥感图像、街景图像的预处理,建立综合特征体系,得到科学精准的识别结果。

2 超大特大城市城中村智慧识别的现实需求

2.1 综合治理工作的挑战性

受城乡二元土地制度与户籍制度的双重影响,中国以北京、上海、广州等为代表的超大特大城市形成了大量城中村。相较于中小城市而言,超大特大城市的城中村数量庞大、分布凌乱、人口复杂、用地混乱,并且空间差异性较大,难以精准、高效地识别其空间^[9]。可以说,超大特大城市的城中村治理是一个巨大的系统工程,面临多方面的挑战。

2.2 用地权属识别的复杂性

城中村在用地权属、社群构成、组织制度、建成环境4个方面具有显著特征,用地权属是其中最为典型的特征,也是制约城中村改造的重要因素。传统的城中村识别多是以综合的用地权属为基本准则,以最大程度地考虑公平性,但因

涉及各种主观的评判准则,现实中的城中村更新改造工作涉及多方利益,前期的人力、财力投入较大,且工作效率较低。

2.3 边界划定的笼统性

不可否认,以村为基本单元或以道路界线为划定依据的城中村划定方式能为城中村改造提供极大的便利,提高政府的工作效率。但对于超大特大城市城中村的改造工作而言,这种改造方式可能会适得其反。以广州为例,其城中村数量庞大,如果将整个行政村或存在明显道路边界的区域笼统划定为城中村,将增加政府的财政负担和城中村改造的工作量。在现实中,大部分城中村处于有机生长的状态,其中仍然存在非城中村区域以及在有机生长后转化为非城中村的地块。因此,必须进一步探索更有针对性的城中村地块划定方法。

2.4 智慧城市导向下的识别技术转型

城市是推进数字中国建设的综合载体,是推进城市数字化转型、智慧化发展与推进城市治理体系和治理能力现代化的必然要求。在智慧城市建设和城市空间治理的双重导向下,探索数字化、高效化、长期化的城中村识别路径成为迫切需要。如何将新技术合理融入城中村识别系统,建立科学、典型的城中村识别特征体系是高质量发展阶段城市更新改造工作的重中之重^[9]。

3 超大特大城市城中村智慧识别的技术框架

3.1 确定城中村识别维度

超大特大城市城中村内人均居住面积普遍较低,从高空俯瞰,超大特大城市的城中村平面大多呈现低间距的错乱网格状,街道脏乱、空间狭窄,严重拉

低了区域内居民的生活质量。因此,可以从人口密度、平面肌理、空间质量3个维度来识别城中村的具体空间范围。其中:人口密度反映了特定区域的人居环境质量,在识别工作中需注意人口密度的采集时间和商业娱乐类高密度人流聚集空间的判别;宏观城市平面肌理图像能清晰识别不同物质形态下的城市平面肌理,对不同建筑屋顶和建筑间距的城中村识别具有关键作用;空间质量直观反映了城中村立体空间的现状,对其空间质量进行定性评价的指标主要包括街面整洁度、街道空间尺度和沿街建筑质量等指标。

3.2 构建综合特征体系及运算模型

3.2.1 综合特征体系的构建

从人口密度、平面肌理和空间质量3个维度着手,以百度热力图、遥感卫星图和街景实况图为基础,分别提取这3类图像的识别特征,建立综合特征体系(表1)。

(1) 热力图像识别特征

不同人口密度的地区在热力图像色彩上表现出明显差异。因此,主要抓取热力图像的光谱特征和形状特征,再选取与特征对应的相关测度指标。色彩特征的测度指标包含色彩的均值、标准差、亮度、最大亮度差,其形状特征包括地块面积、密度、形状指数3个指标。

(2) 遥感图像识别特征

相较于热力图,遥感图像的内容更加丰富。遥感图像识别特征包括光谱特征、形状特征、纹理特征、建筑结构特征。光谱特征包含热力图像的4个原始多光谱波段数据,以及通过对该多光谱数据进行主成分分析(PCA)降维后得到的第一主成分PCA1(包含影像大部分信息)的均值和标准差,另含亮度和最大亮度差两个常用指标;形状特征包含面积、形状指数、密度3个指标;纹理特征包括GLCM(灰度共生矩阵)相关性、GLCM

熵和GLCM标准差3个指标;建筑结构特征包括建筑对象面积标准差和建筑对象PCA1均值的标准差两个指标。

(3) 街景图像识别特征

首先,利用支持向量机SVM和随机森林RF算法模型构建研究区域的街道质量评价模型,并利用评价模型在测试集上的总体分类精度和Kappa系数来选择最优模型及特征组合方式。模型训练结果显示,最优模型在测试集上表现较好,均为多特征融合模型。

其次,以随机抽取的单张街景图像中街道空间质量为高质量的概率来反映街道的空间品质,概率越高,代表该图像中的街道空间品质越高。通过这种方式获得整个研究区采样点的街道质量情况,并绘制高质量街道空间分布图。

最后,根据所有采样点的街道空间质量,采用反距离加权的空间插值方法形成空间连续的研究区街道空间质量评价图,并获取各地块拍照样点的街道质量样本指标,包含均值、标准差、最大值、最小值和极差5个评价指标。

3.2.2 运算模型的构建

根据百度热力图和遥感图像的地块切割结果,以及实地调研结果和谷歌高清图像,在待分类建设区域标注若干个城中村地块和相应比例的非城中村地块作为训练集。由于热力图像、遥感图像和街景图像来源于不同的传感器,采用特征融合分析方法对这些多源影像数据进行整合处理更为合适。最后,以热力图像特征、遥感图像特征、实况街景图像特征以及三者融合后的综合特征为依据,采用随机森林算法并结合训练样本构建分类器,再通过训练后的随机森林分类器判断其他地块是否为城中村。

根据现场调研、政府文件报告以及Google Earth等综合得到城中村空间分布现状,并将其作为研究区的真实对照结果,对3种识别路径下的城中村空间分

布结果进行验证。利用3种图像的混合矩阵计算综合识别特征体系下的研究区整体分类精度、Kappa系数。一般情况下,只要Kappa系数达到0.6左右,就可认定分类结果与真实情况高度一致。

3.3 搭建综合识别框架

从人口密度、平面肌理、空间质量3大维度出发,通过不同平台对城中村的热力图像、遥感图像和街景图像进行针对性预处理,提取各维度的分析特征,最后建立综合的特征体系,同时分别生成以人口密度、平面肌理和空间质量为基础的3张城中村分布底图,以及综合了3类特征的城中村识别底图(图1)。

3.4 搭建智慧识别实施架构

建立综合的“一核两翼”识别底图,该底图以实况街景质量图库为核心,以人口热力底图数据和卫星遥感底图数据为辅。同时,基于移动基站监测平台、遥感数据转译平台和实况街景编码入库平台搭建综合的城市空间数字监测平台,对城市空间实时人口热力、城市平面建筑肌理、城市街道空间质量的评价结果进行分类展示,理清不同维度的城市空间痛点,再由点及面形成3类评价路径的立体交叉综合评估结果。最后,实现对超大特大城市城中村的分区监测,对人口热力分布、城市平面肌理、街道质量进行高频动态监测,定期更新3类评价结果,并对城中村综合识别结果进行季度/年度常规监测(图2),以便相关职能部门制定阶段性的城市更新改造重点工作计划。

4 超大特大城市城中村智慧识别实施架构的应用——以西安市雁塔区为例

西安市拥有众多高密度、低质量的聚居区,是全国典型的城中村数量庞大

表 1 热力图像—遥感图像—街景图像综合特征体系

特征类别	特征名称	特征数量	数据来源
色彩特征	均值	5	百度热力图 定性分级切割后的数据集
	标准差	5	
	亮度	1	
	最大亮度差	1	
形状特征 (热力图像)	面积	1	高分卫星传 感器
	形状指数	1	
	密度	1	
光谱特征	均值	5	
	标准差	5	
	亮度	1	
	最大亮度差	1	
形状特征 (遥感图像)	面积	1	
	形状指数	1	
	密度	1	
纹理特征	GLCM 相关性	1	
	GLCM 熵	1	
	GLCM 标准差	1	
建筑结 构 特征	建筑对象面积标准差	1	百度地图街 景实况
	建筑对象 PCA1 均值的标准差	1	
街 道 空 间 质量	均值	1	
	标准差	1	
	最大值	1	
	最小值	1	
	极差	1	

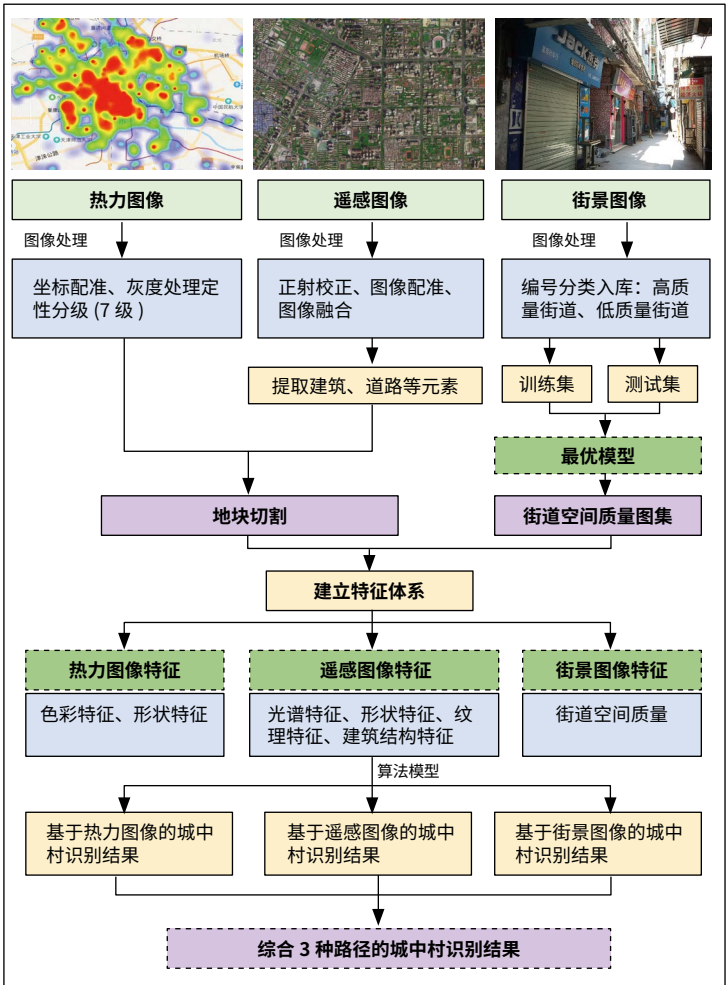


图 1 城中村智慧识别的技术路线

的特大城市之一。根据 2023 年西安市雁塔区政府发布的报告，雁塔区含 71 个城中村，包括吉祥村、西八里村、沙井村、长延堡等。雁塔区的城中村兼具历史延续性与城市更新活跃度，其空间异质性特征显著，能有效检验城中村智慧识别架构的适应性。同时，作为西安市核心城区与高新产业交汇带，雁塔区城中村的治理成效对特大城市的智慧化更新具有示范价值。因此，本文选取雁塔区作为试验案例。

4.1 城中村图像预处理

首先，识别出雁塔区城中村的热力图像、遥感图像和街景图像，3 类图像的采集时间间隔最大的是 5 个月，考虑到西

安市近半年的城中村改造进度等不确定性因素，可以忽略时间上的误差。需要说明的是，本文的城中村真实对照数据主要来源于 2023 年雁塔区政府报告数据。

其次，对雁塔区城中村的百度热力图进行 25 m 精度的小尺度定位截取，并对截取后的各地块进行整体拼接，利用百度慧眼的区域矢量数据，以及 ArcGIS Pro 的 Spatial Adjustment 工具对拼接后的完整地块进行地理坐标配准。在此基础上，对经过预处理的热力图像进行灰度处理，将其转化为 7 级灰度的灰度地图，并对灰度地图进行地块尺度的切割。最终，将地块级别的分割结果作为热力图像特征提取和城中村识别的统计单元。

再次，对雁塔区的高清遥感图像进

行几何校正，再对校正后的遥感图像进行相同地块尺度的切割，并将雁塔区地块尺度的切割结果作为遥感图像特征提取和城中村识别的基本统计单元，进而提取雁塔区城中村的遥感图像识别特征。

最后，在雁塔区的基本路网上以 50 m 为间隔生成网格状街道质量采样点，利用百度地图获取各采样点平行于道路方向的 1 张实况街景照片。雁塔区的面积为 152 km²，共生成 60 800 张实况街景照片。研究以街面整洁度、街道空间尺度和沿街建筑质量为主要测度标准，对街道进行空间质量归类处理^[10]，将 60 800 张实况街景照片上的街道分为高质量街道空间和低质量街道空间两类，生成两组照片集，将该照片集作为雁塔区街道质量评

价模型的训练集和测试集。见图3。

4.2 城中村识别结果

根据识别的结果得到雁塔区城中

村分布图像,对比综合识别结果和真实对照结果发现,综合识别结果中新识别出的部分潜在城中村主要集中在雁塔区的东侧和南侧。这类区域是未来规划

需重点关注的区域,其实际上已经属于城中村,但是现有政策未将其纳入城中村名单。

本文引入聚集度^①和建筑质量^②两个概念对雁塔区的城中村识别结果进行分类,即将识别地块按照聚集程度分为中聚集和高聚集两类(低聚集地块由于人口密度和建筑密度较小,不涉及用地权属复杂的城中村),按照建筑质量分为低质量和中质量两类(高质量建筑不纳入城中村)。综合考虑聚集程度和建筑质量,可将雁塔区城中村空间的识别结果划分成低质量—中聚集(I类)、低质量—高聚集(II类)、中质量—高聚集(III类)3类。

4.3 雁塔区城中村优化策略

根据雁塔区城中村识别地块的3种分类,分别对其进行针对性的改造更新(图4)。

(1) 低质量—中聚集区域。该区域的核心问题为建筑结构安全隐患与低效空间利用并存,应遵循渐进式有机更新的原则,采用“针灸式”改造,以建筑加固为主、拆除重建为辅。此外,可通过植入“口袋公园+社区菜市”等复合功能体,提升地块整体活力。

(2) 低质量—高聚集区域。该区域存在高密度聚居与基础设施超载的风险,应遵循系统性重构开发原则,加固建筑结构,并采用“垂直疏解”策略,开发地下空间,以应对现状空间容量不足的问题。此外,该区域应采取以拆除重建为主、建筑加固为辅的规划建设手段,并重视消防疏散通道的改造与完善。

(3) 中质量—高聚集区域。该区域的核心矛盾为功能业态滞后与空间价值潜力错配,应遵循功能迭代提升原则,通过“功能混合指数”管控与优化各空间的混合功能配置,提升服务设施硬件质量。此外,还可通过立面改造、立体空间交通系统构建等手段来提升空间价值。

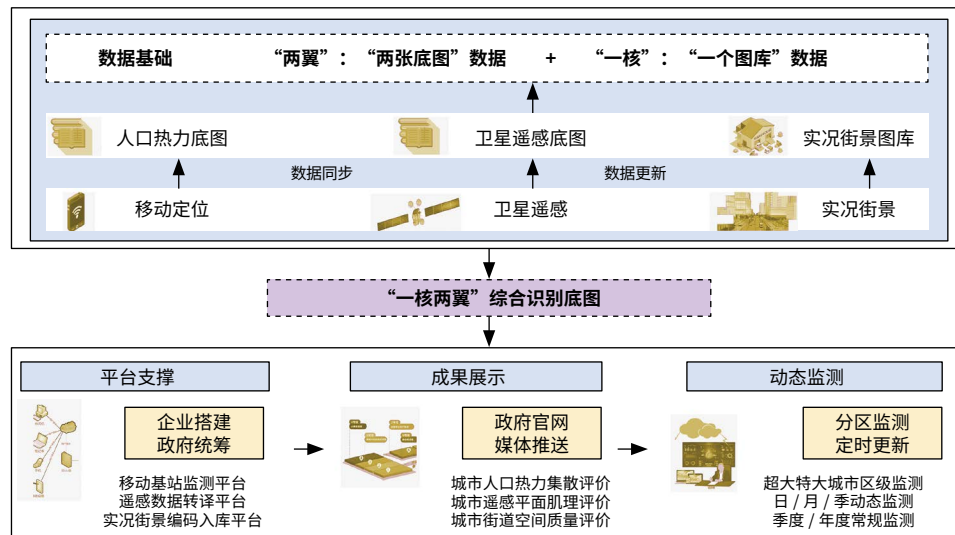


图2 城中村智慧识别实施架构

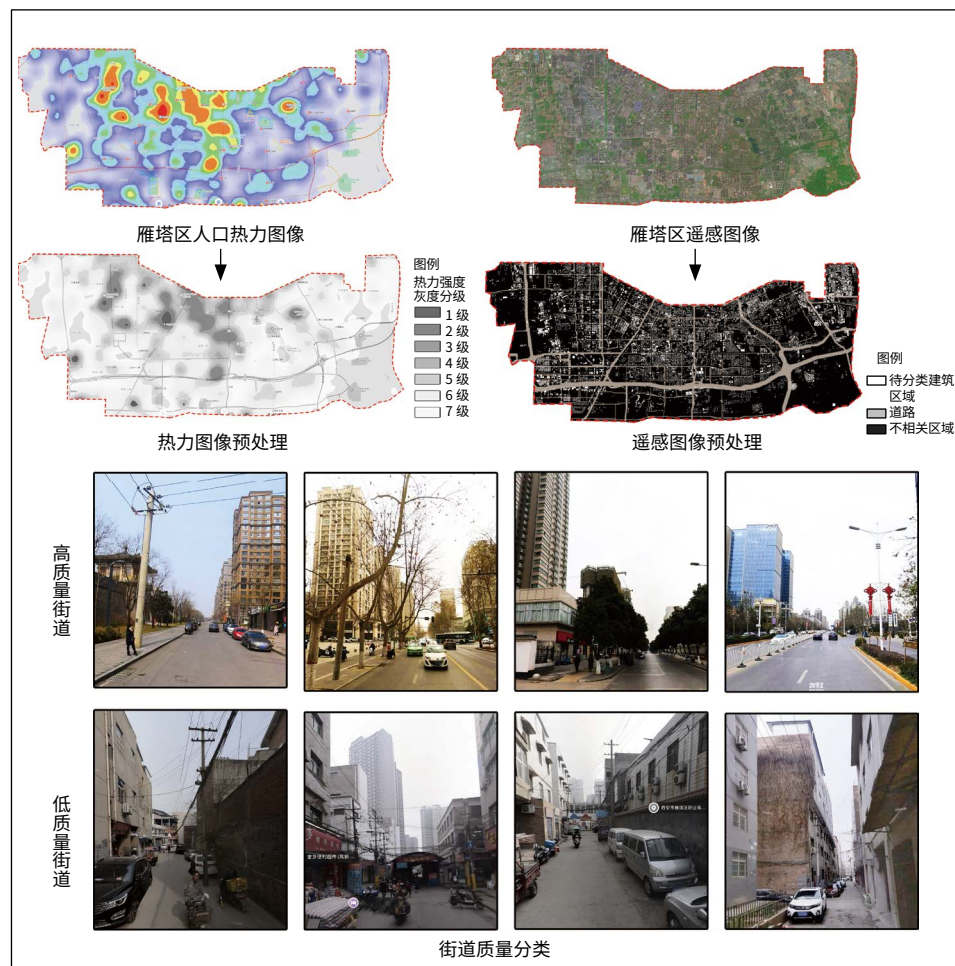


图3 雁塔区城中村的图像预处理

地块类型	主导原则	核心矛盾	典型策略	实施意向
低质量—中聚集区域	渐进式有机更新	建筑结构安全隐患与低效空间利用并存	①“针灸式”改造；②以建筑加固为主、拆除重建为辅；③植入“口袋公园+社区菜市”等复合功能体	
低质量—高聚集区域	系统性重构开发	高密度聚居与基础设施超载风险	①采用“垂直疏散”策略，开发地下空间；②以拆除重建为主、建筑加固为辅；③加强消防疏散通道的改造	
中质量—高聚集区域	功能迭代提升	功能业态滞后与空间价值潜力错配	①“功能混合指数”管控，优化各空间混合功能配置；②提升服务设施硬件质量；③立面改造，立体空间交通系统构建	

图4 雁塔区城中村空间分类优化策略

此外，在宏观层面可成立区级城中村动态监测站。超大特大城市的城中村情况复杂且各辖区的城中村差异较大，市级城中村监测站的工作量大且集约率较低，需以区级监测站为主导进行更加经济、高效的监测。同时，监测站需与住建局、自规局、交通局等政府部门协作，实现数据互通，共同推动城市健康发展^[11]。

5 结束语

城市更新是一个长期、持续的动态过程，城中村的识别也是一个动态过程^[12]，唯有充分运用高新技术手段对城中村的动态进行科学有效的评估，有的放矢地进行更新改造，才能最终实现城市空间的智能化、健康化、可持续化管理。现阶段侧重用地权属的城中村识别方法工作量较大且过程冗杂，经济成本过高。本文利用热力图像、遥感图像、街景图像3种图像，从人口密度、平面肌理、空间质量3个维度构建了超大特大城市城中村智慧识别路径，缩小了单一遥感技术手段的识别误差，优化了城中村的识别路径。根据综合识别结果发现城市空间未来需要重点关注的潜

在城中村，利用聚集度和建筑质量对识别区域进行科学的类别划分，并提出相应的优化建议。

[注 释]

- ①考虑到人口密度和平面肌理的建筑密度与城中村识别结果多呈正相关关系，即人口聚集与建筑聚集多同时发生，本文引入“聚集度”对雁塔区的城中村识别结果进行分析。
- ②人口与建筑同时聚集时会出现有的小间距高层单元住宅区并不属于城中村的情况，因此本文引入“建筑质量”对雁塔区的城中村识别结果进行分析。

[参考文献]

- [1] 邓金钱. 学习贯彻习近平总书记关于经济高质量发展重要论述[J]. 上海经济研究, 2024(3): 5-13, 41.
- [2] 李琼. 特大城市社会稳定风险识别与治理: 基于上海市Z“城中村”动迁事件的调查分析[J]. 同济大学学报(社会科学版), 2018(6): 89-96.
- [3] 叶裕民, 田光明, 全德. 中国式现代化与超大特大城市城中村改造[J]. 规划师, 2024(3): 152-159.
- [4] 吴彤, 甄峰, 孔宇, 等. 人工智能技术赋能城市空间治理的模式与路径研究[J]. 规划师, 2024(3): 14-21.
- [5] 刘伯霞, 刘杰, 王田, 等. 国外城市更

新理论与实践及其启示[J]. 中国名城, 2022(1): 15-22.

- [6] 崔成, 赵璐, 任红艳, 等. 耦合 GF-2 遥感影像与街景影像的广州市城中村识别[J]. 遥感学报, 2022(9): 1802-1813.
- [7] 陈栋胜, 李清泉, 涂伟, 等. 利用多源空间数据的城中村空间层次化识别方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023(5): 784-792.
- [8] 刘玉菲, 吕蓓茹, 彭玲, 等. 城中村建筑物识别训练样本数据集[J]. 全球变化数据学报(中英文), 2020(2): 181-187.
- [9] 叶裕民. 特大城市包容性城中村改造理论架构与机制创新: 来自北京和广州的考察与思考[J]. 城市规划, 2015(8): 9-23.
- [10] 王林森, 郑重, 周素红, 等. 基于街景感知的城市空间品质对空间活力的影响作用研究[J]. 规划师, 2022(3): 68-75.
- [11] 刘刚, 张再生, 梁谋. 智慧城市建设面临的问题及其解决途径: 以海口市为例[J]. 城市问题, 2013(6): 42-45.
- [12] 季大兴. 我国超大城市治理体系的问题与对策研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

[收稿日期] 2024-06-25;

[修回日期] 2024-08-10