引文格式：周志诚,梁思,周祎博,等. 数据驱动的武汉市城镇低效居住用地评价模型研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(1): 34–40. doi:10. 3969/j. issn. 1672–4623.2025.01.008

数据驱动的武汉市城镇低效居住用地评价模型研究

周志诚[1]，梁　思[1*]，周祎博[2]，陈江平[2]，何　艺[1]
（1. 湖北省航测遥感院，湖北 武汉 430074；2. 武汉大学 遥感信息工程学院，湖北 武汉 430079）

摘　要：为聚焦低效用地再开发，促进城市土地集约节约利用，以武汉市为研究对象，研究多源数据下基于数据驱动的城镇低效居住用地评价模型。通过搜集多源公开数据集，挖掘低效居住用地概念内涵，构建低效居住用地识别体系，考虑居住用地特征及其在城市生活中的整体作用，兼顾经济、生活、生态、安全等多元需要，构建了内外部综合评价指标体系。利用数据驱动构建内外部综合评价模型，实现对武汉市低效居住用地的评价。结果表明，该方法能更加充分利用和表达多维度评价指标信息；武汉市低效居住用地分布呈正向自相关性，表现为城区中心的高高聚集和周围的低低聚集；内部性指标评分较低，低效居住用地再开发在提升容积率、居住用地绿化率等方面仍有较大进步空间。

关键词：城镇低效用地；土地识别；评价指标；深度学习
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672−4623（2025）01−0034−07

Research on a Data−driven Evaluation Model for Inefficient Residential Land in Urban Areas of Wuhan City

ZHOU Zhicheng[1], LIANG Si[1], ZHOU Yibo[2], CHEN Jiangping[2], HE Yi[1]
(1. Hubei Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Wuhan 430074, China;
2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: To focus on the redevelopment of inefficient land and promote the intensive and economical use of urban land, taking Wuhan City as a case study, we explored a data-driven evaluation model for inefficient residential land. We collected multi-source public datasets, excavated the conceptual connotation of inefficient residential land, and constructed the inefficient residential land identification system. Considering the characteristics of residential land and its overall role in urban life, we established a comprehensive evaluation indicator system which balanced economic, social, ecological and safety needs. By developing the internal and external comprehensive evaluation models based on data-driven, we evaluated the inefficient residential land in Wuhan City. The conclusions show that the method can more fully utilize and express multi-dimensional evaluation indicators. The distribution of inefficient residential land in Wuhan City exhibits positive spatial autocorrelation, characterized by high clustering in urban center and low clustering in surrounding areas. The scores of internal indicators for inefficient residential land are relatively low, indicating significant opportunities for improvement in redevelopment, particularly in terms of increasing floor area ratio and enhancing the greening rate of residential land.

Key words: urban inefficient land, land identification, evaluation indicator, deep learning

随着我国城镇化进程的迅猛推进以及国土空间规划的逐步开展，土地资源供需矛盾日益尖锐。由于“三区三线”的管控，新增建设用地减少，土地资源开发利用已逐步从“增量扩张”转变为“增存并举、存量优先”，迫切需要大力推动低效用地再开发，促进空间资源提质增效[1]。2023 年 9 月自然资源部印发了《关于开展低效用地再开发试点工作的通知》（以下简称《通知》），决定开展为期 4 年的低效用地再开发试点工作，主要围绕盘活利用存量用地、聚焦低效用地再开发。自 2013 年低效用地概念首次提出以来，低效用地概念的内涵在研究中不断具体和深化。目前对于低效用地内涵的认知，多基于 2016 年国土资源部公布的《关于深入推进城镇低效用地再开发的指导意见（试行）》（以下简称《指导意见》）[2]；但低效用地具有地域性和动态性，不同地区、不同时段对低效用地的理解和内涵界定也会不一致[3]。现有政策未对城镇低效用地类型和界定标准做出明确的区分和规定[4]。城镇低效用地研究通常按照作用将城镇低效用

第一作者简介：周志诚（1974—），本科，正高级工程师，从事遥感数据处理、应用技术体系建设、自然资源监测监管等技术研究与应用服务推广工作，E-mail：179978287@qq.com。
通信作者：梁思（1985—），硕士研究生，工程师，从事摄影测量与遥感生产管理和技术研究工作，E-mail：442493532@qq.com。

地分为工业、商业和居住用地，分别构建指标体系进行识别和评价研究[5-8]；或聚焦于低效工业用地的单一用地类型[9-10]进行研究。低效居住用地研究主要依附于城镇低效用地研究，其识别和评价指标体系往往不够全面，主要着眼于容积率、建筑密度、人口密度、地价实现水平等指标[7,11]，侧重于土地的经济效益，而较少关注生态效益和社会效益[12]；同时由于建筑结构、基础设施完备度、规划符合度等定性指标[5-6,8]的数据获取难度大，指标值带有主观性，因此对人类活动与自然资源和生态环境相互作用的关联分析较少[13]。此外，低效居住用地研究多采用德尔斐法[5,7,9]、层次分析法[5,10,14]、熵值法[11]等方法确定指标权重，带有主观色彩，只针对具体研究区域。目前的评价研究多采用多因素综合评价法，将指标体系作为一个整体计算综合评价值。土地利用系统是一个具有时空动态变化特征的综合系统[15]，在高质量发展的要求下，必须站在更广阔的视角，从经济、生态、社会等多维度构建指标体系[16]，而多因素综合评价法无法对多维度指标体系进行具体分析，不能很好地反映指标间的横向关系，因此将人工智能引入低效用地识别和评价是一种新的思路[17]。综上所述，本文以低效居住用地为研究对象，构建了一套基于定量数据的低效居住用地识别和评价指标体系。在传统定权方法的基础上，引入深度学习算法，基于数据驱动实现对传统方法权重的修改，进而构建内外部综合评价模型实现城镇低效居住用地的评价研究。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

本文选取武汉市作为研究区。武汉市是湖北省辖地级市，位于湖北省东部（29°58′~31°22′N、113°41′~115°05′E），是我国中部地区的中心城市；下辖13个区，总面积为8 569.15 km²[18]；2023年常住人口达到1 377.4万人且仍在持续上升；2022—2024年居住用地供应由15 102亩减至8 194亩，住宅压力正持续增长。2023年武汉市成为自然资源部低效用地再开发工作中的43个试点城市之一。本文选取武汉市进行低效居住用地识别与评价研究，旨在积极响应自然资源部开展的相关工作，推进盘活利用存量用地、聚焦低效居住用地再开发，为武汉市缓解住房压力提供帮助。

1.2　数据来源

为构建基于定量数据的识别与评价指标体系，本文收集了能直接或间接反映低效居住用地经济、生态、社会多维度特征以及居住用地空间分布情况的公开数据集，具体内容见表1。土地利用类别地图主要反映居住用地的空间分布，建筑规模栅格、人口密度栅格和不透水面分布栅格描述了居住用地的土地利用效益，路网数据和POI数据反映了城市设施的空间结构和功能布局，GDP栅格、碳排放总量栅格和植被覆盖栅格反映了居住用地在经济、生态等维度的特征。

表1　数据来源及其对应指标

数据名称	数据类型	分辨率	数据来源	相关指标
土地利用类别地图	shp	–	参考文献[19]	公园绿地可达性周边避难场所面积
建筑规模栅格	栅格数据	1 km×1 km	参考文献[20]	建筑密度、容积率
人口密度栅格	栅格数据	1 km×1 km	LandScan官网	人口密度
GDP栅格	栅格数据	1 km×1 km	参考文献[21]	GDP
路网数据	shp	–	OpenStreetMap	交通可达性、路网密度
不透水面分布栅格	栅格数据	1 km×1 km	参考文献[22]	不透水面占比
碳排放总量栅格	栅格数据	0.1°×0.1°	EDGAR官网	碳排放总量
植被覆盖栅格	栅格数据	250 m×250 m	参考文献[23]	绿地覆盖率
POI数据	shp	–	高德地图	教育、医疗、商业保障率景观

2　城镇低效居住用地识别与评价

2.1　城镇低效居住用地识别

《通知》中指出当前存在存量建设用地利用粗放、用途不合理、布局散乱等问题。本文将上述问题理解为区分低效居住用地的内涵，从土地使用、功能布局、空间结构、基础设施和公共服务设施、建筑规模指标等方面选择低效居住用地识别指标。具体的识别指标体系见表2。

城镇低效居住用地的识别参考现有研究中的熵权法与TOPSIS模型方法[24-25]，即基于构建的识别指标体系，按指标值的20%分位数进行指标等级划分，采用熵权法确定指标权重，利用TOPSIS法计算最终识别结果，将最终得分的后20%识别为低效居住用地。

2.2　城镇低效居住用地评价

2.2.1　城镇低效居住用地评价指标体系

根据《通知》《指导意见》中统筹兼顾经济、生活、生态、安全等多元需要，促进国土空间布局更合

表2 低效居住用地识别指标体系

准则层	指标层	指标含义与来源
利用粗放	容积率	地上建筑总面积与净用地面积的比值，即 $R=\rho\frac{h}{\bar{h}}$，其中 ρ 为建筑密度，h 为建筑高度，$\bar{h}$ 为平均层高
	建筑密度	建筑物的基底面积总和与占地面积的比值，从建筑规模栅格中提取
	人口密度	单位面积土地上的人口数量，从人口密度栅格中提取
	FVC	植被冠层在地面上垂直投影面积与土地总面积的比值，从植被覆盖栅格提取
用途不合理	教育距离	距离各级学校等教育POI点的欧氏距离，通过ArcGIS的欧氏距离分析工具计算
	医疗距离	距离综合医院等医疗POI点的欧氏距离，通过ArcGIS的欧氏距离分析工具计算
	交通可达性	路网中每个节点到其他节点的平均时间，在ArcGIS中通过分析OSM路网的起讫点得到
布局散乱	外部形态紧凑度	由描述城市空间紧凑程度的指标引申得到，量化评估地块空间的利用效率和形态特征，公式为：$C=\frac{2\sqrt{\pi A}}{P}$，其中 A 为地块周长，P 为地块面积
	混乱度	建筑间间距的方差，公式为：$S^2=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)^2$，其中 N 为建筑间两两配对的数量，x_i 为两栋建筑间的距离，μ 为平均距离

理以及突出高质量发展导向，优先保障公共服务设施和基础设施供给、保护生态和传承历史文脉，体现居住用地宜居、人文、绿色、韧性、智慧等方面的要求，本文参考城市体检评估规程[26]，结合已有研究成果[5-11]，最终从生活质量、经济活力、绿色生态和应急安全4个方面出发，基于科学性、系统协调性、可操作性、层次性、动态性、定性与定量相结合以及前瞻性的原则，构建了城镇低效居住用地评价指标体系（表3）。

表3 低效居住用地评价指标体系

准则层	指标层		指标含义与来源
生活质量	容积率		地上建筑总面积与净用地面积的比值
	建筑密度		建筑物的基底面积总和与占地面积的比值
	教育保障率	教育密度	各级学校等教育POI点在空间分布的核密度，由ArcGIS的核密度分析工具计算
		教育可达性	出发去往教育POI点的等时圈，在ArcGIS中基于OSM路网和POI点进行服务区分析得到
		教育距离	距各级学校等教育POI点的欧氏距离
	医疗保障率	医疗密度	综合医院等医疗POI点在空间分布的核密度，由ArcGIS的核密度分析工具计算
		医疗可达性	出发去往医疗POI点的等时圈，在ArcGIS中基于OSM路网和POI点进行服务区分析得到
		医疗距离	距综合医院等医疗POI点的欧氏距离
	交通通达度	交通可达性	路网中每个节点到其他节点的平均时间
		路网密度	公里格网中道路的长度，由OSM路网数据统计得到
	人口密度		单位土地面积上人口数量
	景观		自然人文景观POI点在空间分布的核密度
	GDP		单位面积内的国民生产总值，从GDP栅格中提取
经济活力	商业保障率	商场距离	距超级市场等商业POI点的欧氏距离，由ArcGIS的欧氏距离分析工具计算
		商场可达性	出发去往商业POI点的等时圈，在ArcGIS中基于OSM路网和POI点进行服务区分析得到
		商场密度	超级市场等商业POI点在空间分布的核密度，由ArcGIS的核密度分析工具计算
绿色生态	FVC		植被冠层在地面上垂直投影面积与土地总面积的比值
	公园绿地可达性		出发去往公园绿地POI点的等时圈，在ArcGIS中基于OSM路网和POI点进行服务区分析得到
	碳排放量		单位区域碳排放总量，从碳排放总量栅格中获得
应急安全	不透水面占比		单位面积不透水面占比，由不透水面分布栅格计算
	周边避难场所面积		周边避难场所面积的核密度分布，对周围空旷区域建立一定范围缓冲区，在ArcGIS中对面积进行缓冲区分析得到

2.2.2 基于数据驱动的城镇低效居住用地评价方法

目前的评价方法多采用熵权法与层次分析法相结合的方式实现主客观的统一，权重的确定带有主观性，且根据实际情况，指标信息熵难以与指标重要程度完全对应。为解决上述问题，本文提出了基于数据驱动的构权法，将深度学习算法与熵权法相结合，以评价指标值作为输入，以熵权法确定的权重计算得到的评分值作为输出，构建数据集进行神经网络模型训练；通过神经网络的反向传播机制更新网络中的权重，根据指标值在网络中的权重确定指标的重要程度。基于数据驱动的构权法能探索评价结果与评价指标之间的深层次联系，挖掘数据内部隐含的信息，可根据不同评价指标数据对

评价结果的影响确定评价指标权重。

1）利用熵权法计算评价对象参考评分值。当评价对象真实评价值未知时，利用熵权法计算评价指标权重，将权重与评价指标值加权相加得到的参考评分值用于训练网络。

2）构建BP神经网络模型并通过参考评分值进行训练。BP神经网络是一种基于误差反向传播算法的人工神经网络，适用于处理低效居住用地各评价指标与评分值之间复杂的非线性映射关系。通过反向传播来调整网络中每个神经元的权重和偏置，以降低误差值，提高网络精度。以评价指标为输入，以参考评分值为输出训练模型，设置一层隐藏层，采用计算简单有效的ReLU非线性激活函数。隐节点太少，神经网络则无法拟合到复杂的关系；隐节点过多，又会导致过拟合，因此根据经验公式，隐藏层神经元选择5~15个为宜。分别训练10次，去除最大和次大的误差，求取剩下8个的平均误差，确定误差最小的节点数。

3）根据不同指标的贡献度修正指标权重。训练完成后得到网络中的权重，将隐藏层抽象为一个整体，以各评价指标对隐藏层的权重之和作为指标的贡献，判断不同指标的重要程度。

2.2.3　内外部综合评价模型

为全面评价居住用地状况，低效居住用地评价指标体系需涵盖居住用地多方面的特征，构成一个复杂的指标系统。根据系统论的观点，各子系统及其因素均存在相互作用和影响，各子系统的功能及其变化甚至对整体功能起决定作用[5]。借鉴已有成果和经验，参考PSR模型从反映土地自身状态的利用强度维度和反映居民生活需要的教育、医疗等公共服务效能维度[27]进行评价指标体系子系统的划分。根据指标含义，将评价指标体系分为内部性指标和外部性指标，内部性指标主要反映低效居住用地的自身状态，包括建筑密度、容积率、GDP、人口密度、碳排放量、不透水面占比和FVC等；外部性指标主要反映居住用地在城市系统中的协调性，包括教育保障率、医疗保障率、交通通达度、商业保障率、公园绿地可达性、周边避难场所面积和景观。参考多因素综合评价模型将评价指标值与权重加权相加的做法，分别计算内部性指标体系和外部性指标体系的评分。

3　研究结果与分析

3.1　城镇低效居住用地识别结果与分析

基于识别指标体系，通过熵权法确定不同指标的权重后，利用TOPSIS法计算各地块的评分，将评分后20%的地块判定为低效居住用地。低效居住用地空间分布见图1，可以看出，低效居住用地为15 399 hm^2，占参评总面积的36%。按照区县进一步对识别结果进行分区统计，结果见图2，经统计低效居住用地面积前五的区县为蔡甸区、黄陂区、江夏区、东西湖区和洪山区，这5个区的低效居住用地明显多于其他区域；而黄陂区和东西湖区的低效居住用地数量明显少于其他区域。在所有区县中，低效居住用地占比较大的5个区为黄陂区、新洲区、汉南区、蔡甸区和江夏区。

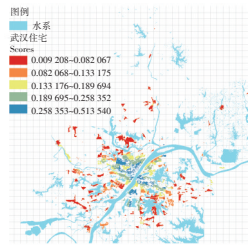


图1　武汉市城镇低效居住用地识别结果

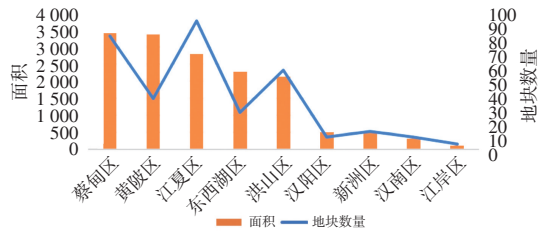


图2　低效居住用地县级分布

与《武汉市土地利用总体规划（2006—2020年）（含武昌区）》中的规划对比发现，低效居住用地主要分布在东西湖区、汉南区、蔡甸区、江夏区、黄陂区、新洲区6个远城区，主要特征为地块数少、低效面积大、低效居住用地占比高；而剩余7个城区中，低效居住用地问题相对严重的是洪山区，参评地块数量多，累计面积较大。由此可知，武汉市远城区低效居住问题更加严峻，这与总体规划中提到的“节约集约利用水平区域差异明显，7城区明显优于远城区”相互印证，证明了识别结果的可靠性。

3.2　城镇低效居住用地评价结果与分析

1）评价指标筛选。为避免数据冗余、简化评价指标体系，本文采用皮尔逊相关性分析法分析指标间的相关性，并将结果绘制成热力图（图3），可以看出，相关性较高的指标为容积率与建筑密度，医疗可达性、商场可达性、公园可达性与教育可达性，商场可达性与商场距离，医疗可达性与商场距离。经分析，容积率由建筑密度和高度估算，因此具有较高的

相关性；而其他指标多与POI点分布有关，因此存在较高的相关性。鉴于此，删除医疗和商场可达性，保证剩余指标间不会有过高的相关性；而建筑密度与容积率从不同方面体现了居住用地的利用效率，对评价具有重要意义，予以保留。

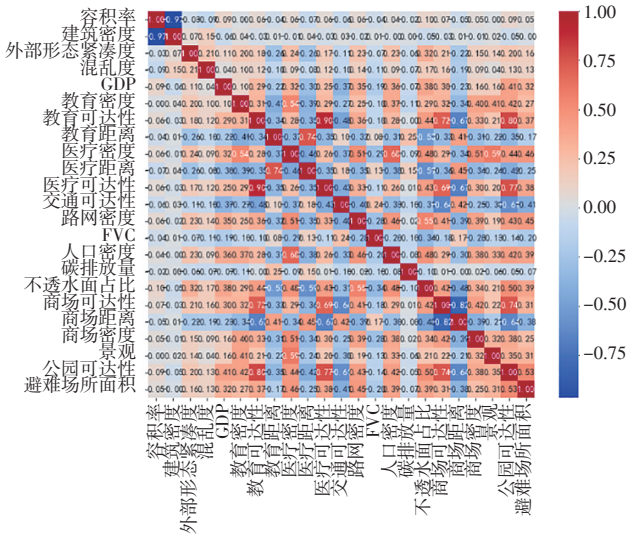


图3 低效居住用地评价指标相关性分析热力图

2）基于数据驱动的构权法结果。构建包含14个神经元节点隐藏层的BP神经网络模型，经过训练与测试，模型最终的MSE为0.000 017，精度较高。在此基础上分别利用熵权法和基于数据驱动的构权法确定权重，评价指标及其对应的权重见表4，可以看出，熵权法得出的权重最大指标为碳排放量（0.192 027），最小为商场距离（0.000 978），碳排放量等权重较大的指标对评价结果的影响过大，而商场距离等权重较小的指标对评价结果的影响可以忽略不记，说明仅通过信息熵衡量指标的重要性，将导致评价对象某些方面的特征被忽视，结果不能充分体现评价指标体系所代表的各个维度的信息；而利用基于数据驱动的构权法进行权重修正后，各指标的权重处于同一个数量级，评价指标信息得到了更好的表现，且原本权重较大的碳排放量、景观、医疗密度、人口密度等指标仍保留了较大的权重值，教育距离、商场距离、周边避难场所面积、路网密度等则保留了较小的权重值，说明该方法在保留原有熵权法指标重要性排序的基础上，均衡了权重的分配，使评价指标体系中各方面信息得到充分的表达，评价结果更加全面和客观。采用熵权法时，部分地块评分异常低，忽视了在权重值过低的指标方面表现较好的地块；而权重修正后，对应地块的评分有所回升。

3）城镇低效居住用地内外部综合评价指标体系。基于构建的内外部综合评价指标体系（表5），按照

表4 低效居住用地评价指标体系权重对比

指标层		熵权权重	修改后权重
容积率		0.047 535	0.056 825
建筑密度		0.027 389	0.041 503
教育保障率	教育密度	0.088 499	0.053 277
	教育可达性	0.001 464	0.073 034
	教育距离	0.001 807	0.044 802
医疗保障率	医疗密度	0.105 258	0.070 622
	医疗距离	0.001 779	0.054 999
交通通达度	交通可达性	0.002 726	0.025 908
	路网密度	0.022 802	0.039 627
人口密度		0.108 518	0.063 165
景观		0.188 456	0.084 296
GDP		0.105 250	0.045 201
商业保障率	商场距离	0.000 978	0.025 742
	商场密度	0.058 956	0.079 455
FVC		0.022 841	0.035 161
公园绿地可达性		0.003 047	0.051 028
碳排放量		0.192 027	0.069 346
不透水面占比		0.013 317	0.054 307
周边避难场所面积		0.007 349	0.031 703

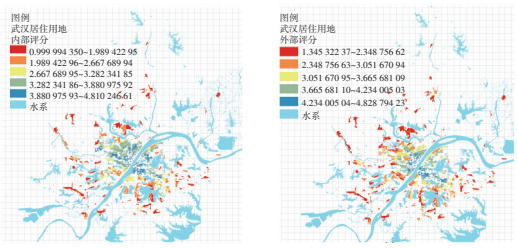
评价指标值的20%分位数将评价指标值划分为1~5级。根据修正后的权重，重新分配内部性评价指标和外部性评价指标的权重。

4）城镇低效居住用地评价结果。根据各指标对应的权重和等级计算得到武汉市低效居住用地的内部性评分和外部性评分。在ArcGIS中将低效居住用地内外部评分按照自然断点法进行划分（图4），可以看出，1 730个评价对象的内部性评分范围为0.99~4.81，评分相对集中在3.28~3.88之间，将评分低于1.98的地区判定为内部性低效居住用地；外部性评分范围为1.34~4.83，评分相对集中在3.66~4.23之间，将评分低于2.34的地区判定为外部性低效居住用地。

无论是划分低效居住用地的界限还是评分相对集中的区间，内部性评分整体低于外部性评分，说明武汉市居住用地在内部性自身利用方面整体落后于外部性城市协调方面，今后低效居住用地的开发应更加注重于容积率等内部特性的提升。进一步利用ArcGIS软件对评价结果进行分区统计，结果见表6，可以看出，外部性低效居住用地共300块，总面积约为15 000 hm^2，其中蔡甸区面积最大，约为3 425 hm^2；内部性低效居住用地共230块，总面积约为12 000 hm^2，江岸区、武昌区、青山区无内部性低效居住用地，江夏区内面积最大（2 764 hm^2），蔡甸区次之（2 711 hm^2）。与识别结果类似，无论是内部性还是外部性低效居住用地均主要分布在城市中心区域周围的蔡甸区、东西

表5　低效居住用地内外部综合评价指标体系

	指标层		1级	2级	3级	4级	5级	权重
内部指标	容积率		0.4	0.9	1.4	2.1	3.8	0.155 469
	建筑密度		0.10	0.15	0.20	0.25	0.40	0.113 549
	GDP/(万元/km²)		5 000	27 000	55 000	85 000	350 000	0.123 665
	人口密度/(人/km²)		600	3 000	8 200	15 000	57 000	0.172 812
	FVC/%		15	20	25	32	100	0.096 196
	碳排放量/(10万t/a)		4 600	7 600	16 300	176 000	325 000	0.189 725
	不透水面占比/%		30	55	75	90	100	0.148 578
外部指标	教育保障率	教育密度	1.5	6.0	11.0	19.0	93.0	0.083 968
		可达性/min	60	30	15	10	5	0.115 106
		距离/km	4 300	550	300	200	100	0.070 611
	医疗保障率	医疗密度	2 400	9 200	21 500	43 000	132 000	0.111 305
		距离/km	7 000	1 000	600	400	230	0.086 682
	交通通达度	可达性/min	80	40	35	30	25	0.040 833
		密度	1.2	1.7	2.3	2.8	6.0	0.062 455
	商业保障率	距离/km	7 500	2 200	1 200	740	500	0.040 571
		商场密度	12 000	26 000	48 000	72 000	180 000	0.125 226
	公园绿地可达性/min		60	30	15	10	5	0.080 424
	周边避难场所面积		0.05	0.08	0.10	0.12	0.17	0.049 965
	景观		800	3 000	8 000	35 000	280 000	0.132 856



a 内部性评分　　b 外部性评分

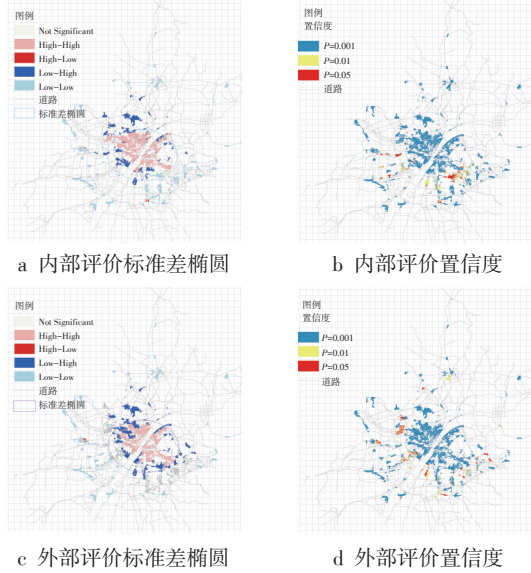
图4　低效居住用地内外部评价指数

表6　内外部综合评价模型分区评价结果

县级	外部性低效		内部性低效	
	地块数/块	面积/hm²	地块数/块	面积/hm²
蔡甸区	73	3 425.917	56	2 711.572
黄陂区	31	3 109.405	32	2 806.170
东西湖区	37	2 491.027	9	1 395.799
江夏区	62	2 221.214	63	2 764.128
洪山区	55	2 190.165	46	1 199.385
新洲区	14	631.245	14	521.409
汉阳区	16	581.617	1	0.236
汉南区	8	306.499	6	266.820
江岸区	2	52.714	0	0
武昌区	1	0.199	0	0
青山区	1	0.126	0	0

湖区、江夏区等远城区，而七城区中洪山区也存在较严重的低效居住用地问题。对比识别结果中内部性低效和外部性低效分布发现，识别出的347块低效居住用地地块中，有65块未被评价为低效居住用地，占总低效居住用地的18%，考虑到内外部低效居住用地评价中采用自然断点法划分低效居住用地，评价得到的低效居住用地最多仅有300块，通过不同指标体系得到的低效居住用地吻合率较高；在230块内部性低效居住用地中，有219块与识别结果相符，占总内部性低效居住用地的95%，具有较高的符合度，远超外部性低效居住用地。该结果从侧面反映出，武汉市城镇低效居住用地的成因更大程度地与内部性因素相关。

5）评价结果空间分析。借助ArcGIS软件的标准差椭圆分析工具分别创建低效居住用地内部性评分和外部性评分的一级标准差椭圆（图5），可以看出，内部性低效居住用地评分标准差椭圆的方向为95°（北偏东95°），长轴长度是短轴的1.37倍，标准差椭圆扁率



a 内部评价标准差椭圆　　b 内部评价置信度

c 外部评价标准差椭圆　　d 外部评价置信度

图5　低效居住用地内外部评价指数空间分布

为0.27；而外部性低效居住用地评分标准差椭圆的方向为94°（北偏东94°），长轴长度是短轴的1.35倍，标准差椭圆扁率为0.25。由椭圆参数可知，内外部评分在东西方向比南北方向更离散；内部性低效居住用地评分方向趋势比外部性低效居住用地更加明显。

利用ArcGIS软件的全局空间自相关分析工具分别对城镇低效居住用地的内外部性评分进行全局空间自相关分析，结果表明，在0.01的显著性检验下，内部性评分的全局莫兰指数为0.313 8，Z得分为111.36，大于2.58，在99%的置信度下内部性评分具有聚集趋势，在空间上呈现正相关聚集趋势；外部性评分的全局莫兰指数为0.368 5，Z得分为130.71，大于2.58，在99%的置信度下外部性评分具有聚集趋势，且其Z得分更大，说明在空间上的聚集趋势更加明显。进一步借助ArcGIS软件的高低聚类工具对内外部性评分进行LISA聚类，结果表明大部分聚类结果在相当高的置信度下，低效居住用地的内外部性评分均表现出位于城区中心位置（以武昌区、汉阳区、江岸区等为首的中心七城区）的高高聚集以及围绕在城区中心边缘区域（6个远城区）的低低聚集。

4 结 语

本文在熵权法的基础上引入BP神经网络模型构建了基于数据驱动的构权法，在实际应用中解决了部分指标权重过大或过小的问题，并在一定程度上保留了熵权法原本权重之间的大小关系，使得评价结果在保证客观性的基础上更加充分地体现了评价对象的多维度特征。

由评价与识别结果可知，武汉市低效居住用地问题相对严峻，有超过30%的居住用地处于低效利用的情形下，低效居住用地主要分布在蔡甸区、黄陂区、江夏区、东西湖区和洪山区等区域。综合来看，蔡甸区低效居住用地问题最突出，江汉区和硚口区表现最佳，未识别到低效居住用地。由武汉市居住用地评价指数空间自相关分析可知，低效居住用地的空间分布主要围绕中心城区，由外围向中心递减；且在空间上具有显著的聚集性，评分值的高高聚集主要分布在三江交汇处两岸的中心城区，低低聚集则围绕城区中心分布在四周。此外，由内外部性评分的分布情况来看，外部性评分整体较高，内部性低效问题更加严峻。从低效居住用地分布来看，外部性低效居住用地数量多、面积大，外部性低效问题分布更加广泛。后续对于低效居住用地的再开发应以提高土地本身的利用效率（如容积率）、加强低效居住用地的改造翻新为主，以调整城市功能布局、优化基础设施分布等手段为辅，实现居住用地集约节约利用。

参考文献

[1] 陈基伟. 城镇低效用地再开发实践与进展综述[J]. 上海国土资源,2024,45(2):166-170

[2] 林伟鹏,付安琪. 国土空间规划背景下低效用地评估价值与内容再思考[J]. 经济研究导刊,2023(4):62-67

[3] 王雪晴,陈江平. 城镇低效用地成因解析与治理思考[J]. 中国土地,2022(11):32-33

[4] 黄莹莹,杨子生. 中国城镇低效用地再开发研究进展[J]. 国土与自然资源研究,2022(6):20-24

[5] 丁一,郭青霞,陈卓,等. 系统论视角下欠发达县域城镇低效用地识别与再开发策略[J]. 农业工程学报,2020,36(14):316-326

[6] 钟婷,李成楠,姚南,等. 国土空间规划背景下城镇低效用地识别方法探索:以成都市中心城区为例[J]. 四川环境,2020,39(6):140-150

[7] 曾思燕,薛亚洲,徐春鹏,等. 基于主体功能的城市低效用地多准则评价:以徐州市为例[J]. 国土与自然资源研究,2018(3):24-28

[8] 马国庆,赵金梅,冯丽媛,等. 基于宗地尺度的建设用地节约集约利用评价和潜力规模测算:以宁夏吴忠市利通区为例[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2023,44(1):89-95

[9] 甄溪,李津莉,于红,等. 存量规划背景下低效工业用地识别与优化策略研究:以聊城市嘉明经济开发区为例[J]. 天津城建大学学报,2023,29(5):311-318

[10] 胡智行,袁新国. 国土空间规划背景下存量工业用地评价与转型升级策略[J]. 城乡规划,2024(1):60-69

[11] 王宇,王考,郝润梅,等. 城镇低效用地多准则识别与空间格局研究:以呼和浩特市中心城区为例[J]. 东北师大学报(自然科学版),2023,55(1):139-150

[12] 曹千红. 基于三元一体的开发区土地集约利用评价指标体系研究[J]. 地理空间信息,2023,21(5):40-44

[13] 何丽华,成亦铭,矜新国,等. 自然资源调查监测数据分析评价体系的完善与应用[J]. 地理空间信息,2024,22(2):39-43

[14] 李益敏,邓选伦,杨一铭,等. 基于GIS的怒江州建设用地生态适宜性评价[J]. 地理空间信息,2023,21(9):27-30

[15] 叶艳妹,罗妲,吴亚军,等. 高质量发展下的节约集约用地再认识与低效用地盘活[J]. 中国土地,2023(5):4-9

[16] 马琤. 基于国土空间体系背景的城镇低效用地再开发利用规划策略[J]. 中国地名,2023(8):46-48

[17] Rui J, Huang C Y, Wang P, et al. Identification of Inefficient Urban Land for Urban Regeneration Considering Land Use Differentiation[J]. Land,2023,12(10):1 957-1 967

[18] 何建华,袁毅,张苗苗,等. 基于网络群

（下转第52页）