引文格式：王炎,何婷婷. 南岭北麓古村落群人类活动影响强度遥感评估[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):32-36. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.04.007

南岭北麓古村落群人类活动影响强度遥感评估

——以湖南南部地区为例

王　炎，何婷婷
（江西环境工程职业学院，江西 赣州 341000）

摘　要：利用遥感手段对人类活动强度开展量化评估，对于统筹协调南岭北麓古村落群生态保护与城乡建设行为具有重要意义。基于2012年、2016年、2020年以及2024年四期高分一号卫星数据，运用U-Net分类器提取土地利用类型信息，并基于多年土地利用转移矩阵和人类活动强度综合指数对研究区169个古村落进行人类活动强度评估。研究结果表明：①国土调查数据和年度变更调查数据为主的遥感解译样本和U-Net模型相融合，可实现研究区人类活动用地类型的高精度监测提取；②南岭北麓古村落群自2010年来，以建设用地为主的人类活动现象总体呈现加速的态势，古村落区域人类活动强度综合指数均值从1.73增长至3.55，平均年增长为17.10%，并存在显著的空间分异；③土地利用转移矩阵信息体现古村落群内从农田、自然植被向建设用地的主转移方向，但存在10.5%的古村落区域出现逆转移现象。本研究聚焦南岭北麓古村落群，创新性构建了融合高分辨率遥感与深度学习的人类活动强度动态评估框架，揭示了文化遗产地-人-地关系的双向演变规律，为应对快速城镇化背景下的传统村落保护提供了科学性与可操作性的方案。

关键词：南岭北麓；古村落；人类活动强度；遥感监测
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0032-05

Remote Sensing Assessment of the Human Activities' Impact Intensity on Ancient Villages at the Northern Foot of Nanling Mountains: A Case Study of Southern Hunan Province

WANG Yan, HE Tingting
(Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Quantitative assessment of human activity intensity by remote sensing means is of great significance for coordinating the ecological protection and urban and rural construction of ancient villages at the northern foot of Nanling Mountains. Based on the GF-1 satellite data in 2012, 2016, 2020 and 2024, we used U-Net classifier to extract the land-use type information, and used multi-year land-use transfer matrix and the comprehensive index of human activity intensity to assess the human activity intensity of 169 ancient villages in the study area. The research results indicate that ①the fusion of remote sensing interpretation samples mainly based on territorial survey data and annual change survey data with U-Net model can achieve high-precision monitoring and extraction of human activity land-use types in the study area. ②Since 2010, the ancient villages at the northern foot of Nanling Mountains have witnessed an acceleration of human activities, mainly on construction land. The average comprehensive index of human activity intensity in the ancient villages has increased from 1.73 to 3.55, with an average annual growth of 17.10%, and there is significant spatial differentiation. ③The land-use transfer matrix information reflects the main transfer direction from farmland and natural vegetation to construction land within the ancient village cluster, but there is a reverse transfer phenomenon in 10.5% of the ancient village areas. Focusing on the ancient villages at the northern foot of Nanling Mountains, we innovatively constructed a dynamic assessment framework of human activity intensity integrating high-resolution remote sensing and deep learning, revealed the both way evolution law of human and land relationship in cultural heritage sites, and provided a scientific and operable scheme for the protection of traditional villages in the context of rapid urbanization.

Keywords: the northern foot of Nanling Mountains, ancient village, human activity intensity, remote sensing monitoring

随着遥感技术的高速发展，以卫星影像为代表的的空天探测技术逐步应用于古村落自然保护和人类建设行为监管领域，可以实现对古村落自然生态环境的长期、大尺度、客观的动态监测，为生态环境保护和可持续发展提供信息决策服务[1-3]。针对基于遥感数据开展人类活动监测问题，国内学者做了大量研究[4-6]。

项目来源：2021年度江西省教育厅科学技术研究一般项目（GJJ214414）。
第一作者简介：王炎（1984—），硕士，副教授，主要从事高职测绘类专业教学及测绘遥感技术应用工作，E-mail：379696046@qq.com。

考虑到监测周期与研究区的城市空间开发5年规划周期保持相对匹配，本文基于研究区南岭北麓2012年、2016年、2020年以及2024年等高分一号卫星影像，监测提取相应年份建设用地、自然植被、水体以及农田等重要土地利用信息，并基于土地利用转移矩阵和人类活动强度综合指数对研究区169个古村落进行人类活动强度评估，以期为南岭北麓古村规划保护和国土空间规划工作提供依据和参考，为平衡快速城镇化与传统文化保护提供了兼具理论创新与实践价值的科学方案。

1　研究区和数据

1.1　研究区概况

研究区位于湖南南部地区，包括郴州市、永州市下辖共计8个县市区，地理空间范围为24°44′46′′~26°20′18′′N，110°56′21′′E~113°10′15′′E，面积为209.64 km^2，具体169个古村落群点处于南岭北麓南缘，地理空间分布情况如图1所示。鉴于南岭北麓紧邻粤港澳大湾区，自2010年左右国家推行粤港澳产业转移政策以来，南岭北麓的县区吸引了大量基础设施投资。随之而来的是古村落区域频繁的土地开发活动，其中包括将自然植被区域转变为农田和房屋建筑等现象屡见不鲜，这严重威胁到了古村落区域内自然与人文景观的保护[7]。

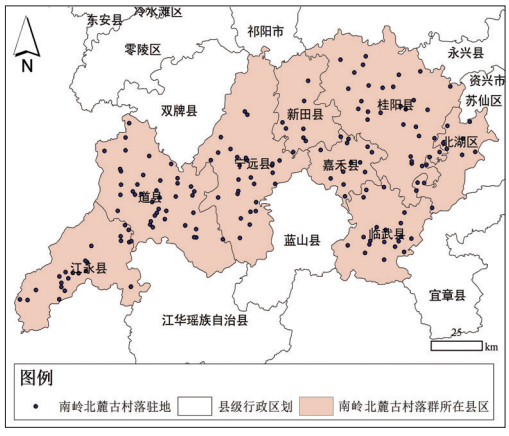


图1　南岭北麓古村落群点地理空间分布

审图号：GS(2024)0650

此外，研究区内的古村落不仅承载着丰富的历史文化价值，还拥有着独特的自然景观和生态环境。这些古村落大多依山傍水，与周围的自然环境形成了和谐共生的关系。然而，随着土地开发活动的加剧，古村落面临着前所未有的威胁。农田的扩张和房屋建筑的建设不仅破坏了原有的自然景观，还对古村落的历史文化和生态环境造成了不可逆的损害。因此，对研究区内古村落的人类活动影响强度进行遥感评估，对于保护古村落的自然与人文景观，以及促进地区的可持续发展具有重要意义。

1.2　数据源

本研究主要采用的数据源包括郴州市和永州市辖区内桂阳、临武等8个县区2012年、2016年、2020年以及2024年等高分一号卫星影像、169个古村落边界以及研究区内基础地理信息等数据。

2　研究方法

2.1　U-Net模型土地利用分类

考虑到研究区位于南方丘陵山麓区域，地形复杂，植被覆盖度较高，可获取的高精度地物样本相对较少，考虑到小样本训练条件下进行地物分类的可行性，因此选用U-Net模型进行土地利用分类。U-Net模型是由Olaf Ronneberger等在2015年提出的一种基于深度卷积神经网络的深层语义与图像分割算法，其特点是能够在少量训练样本的情况下，在样本空间、特征空间上同时进行融合学习，在分类、分割等领域具有显著的效果，在遥感影像分割等方面具有重要的应用价值[8-9]。本项目利用U-Net模型，选择真实遥感图像作为训练样本，其中60%为训练样本，40%用于验证，从而提高模型训练的泛化能力和分类能力。

2.2　精度验证

分类结果利用ENVI 5.3中的混淆矩阵工具进行评估，选取总体分类精度（overall -classification accuracy，*OA*）和Kappa系数、交并比（intersection over union，IoU）值等3个验证指标对U-Net模型进行评估（表1）。总体精度是正确分类的像素与所有验证像素的比率，以百分比表示[10-11]。Kappa系数评估了分类与随机分配值相比的表现。Kappa公式如下：

$$\text{Kappa}=\frac{N\sum_{i=1}^{r}X_{ii}-\sum_{i=1}^{r}(x_{i+}+x_{+i})}{N^2-\sum_{i=1}^{r}(x_{i+}+x_{+i})} \tag{1}$$

式中，N为像元总数；X_{ii}为第i类混淆矩阵对角线的值；r为混淆矩阵的行数；x_{i+}和x_{+i}分别为第i行和第i列的观测值的总和。Kappa系数在0~1之间，且系数越接近1，分类的精度越高，说明该方法越适合。IoU是一种常用的评估指标，用于衡量预测结果与真实分割结果之间的重叠程度，通过计算交并集比，得到0~1之间的IoU值，值越大表示预测结果与真实结果之间的重叠程度越高，则说明模型的

性能越好，IoU值是优化模型、选择最佳模型的重要指标。

2.3 人类活动影响强度

综合考虑不同类型人类活动对古村落的影响存在差异性。选取人类活动影响强度（human activity impact intensity，HAII）作为评价本文古村落人类活动影响的量化因子[12-13]，并以 H 表征人类活动影响强度，具体模型计算公式为：

$$H=\frac{1}{S}\sum_{i=1}^{n}x_i y_i z_i \tag{2}$$

式中，H 为人类活动影响强度；x_i 为不同功能区的影响权重，按照《湖南省自然保护区条例》对辖区内不同功能区的定义和要求，其中核心区为0.6，缓冲区为0.3，实验区为0.1；y_i 为不同人类活动对古村落的影响权重，其中城镇建设用地、裸地、农田、水体和自然植被的权重分别为0.5、0.3、0.25、0.2和0.1；z_i 为2012—2024年期间人类活动导致的各类土地利用类型的范围面积变化；S 为古村落总面积。

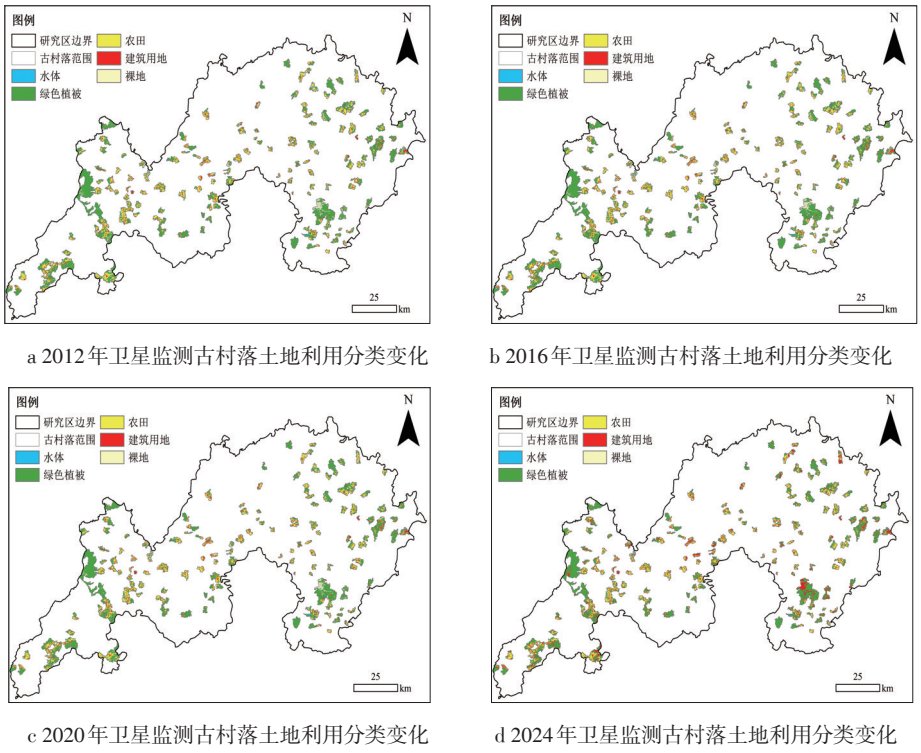
2.4 迁移矩阵

迁移矩阵是一种定量表征客观事物从一种状态过渡到另外一种状态的定量表征，在研究地表覆被的过程中，既表现了不同时间尺度上相同地区自然和人为活动的转化，又表现了不同时间尺度上人类活动的流向和转化。本文利用土地利用变化迁移矩阵对古村落区域人类活动导致的土地变化幅度进行量化呈现。

3 实验和分析

3.1 监测分类和精度评价

基于时序卫星监测得出2012—2024年研究区169个古村落土地利用类型变化情况，具体见图2。结合不同年度土地利用分类结果，从图中变化情况可以看出研究区中部分布相对分散的丘陵古村落出现建设用地增长较快的现象，而东西两侧的山地古村落的自然植被则保持相对良好的空间分布态势。通过在ENVI 5.3中建立混淆矩阵、计算Kappa系数、IoU值等指标对该模型进行评估，从分类结果精度统计情况来看，该模型的分类平均精度达到86.35%，Kappa系数平均值为0.85，交并比为90.90，证明该模型在该地区土地利用的分类精度较高、性能较优。



a 2012年卫星监测古村落土地利用分类变化　b 2016年卫星监测古村落土地利用分类变化

c 2020年卫星监测古村落土地利用分类变化　d 2024年卫星监测古村落土地利用分类变化

图2 2012—2024年研究区169个古村落土地利用类型卫星监测情况

审图号：GS(2024)0650

本文土地分类过程中2012年、2016年、2020年、2024年的总体分类精度分别为81.14%、85.38%、88.56%、90.33%，Kappa系数分别是0.82、0.86、0.87、0.85。

3.2 土地利用变化分析

从表1对南岭北麓古村落群2012—2024年土地利用迁移变化统计信息来看，2012—2016年期间，建设用地绝对变化量最大，在研究区内土地总面积中占比

为4.99%，其次是自然植被和农田，分别是4.51%和3.36%，水体最小，仅0.23%，但从相对变化量来看，建设用地净增长了4.97%，自然植被净减少4.45%，裸土减少1.24%，水体减少幅度最小，为–0.17%。2016—2020年期间，自然植被绝对变化量最大，在研究区内土地总面积中占比为6.53%，其次是建设用地为6.27%，农田为2.77%，而裸地的绝对变化率最大，为40%，这与自然植被和建设用地在类型变化过程中出现的临时裸地现象的增长密切相关，相对变化量方面净增长最大的是建设用地，为6.25%，与此同时净减少最大的是自然植被，为–5.93%。2020—2024年期间，绝对变化量排名前3位为自然植被、建设用地、农田，分别为9.11%、8.96%以及2.45%，而相对减少量方面，建设用地增长8.94%，自然植被减少8.27%。从3个阶段总体变化情况来看，研究区内总体呈现“自然植被流出、建设用地和农田持续流入”特征，其中自然植被流出了10.34%，建设用地、农田处于持续流入状态，研究期内总量增长超过6.84%和4.94%，但是农田绝对变化量却持续下滑27.1%，水体呈现减少趋势，但幅度较小，裸地作为地类中间过渡状态，基本维持在1.3%左右。同时存在10.5%的古村落区域出现“自然植被流入、建设用地流出”逆转移现象。

表1　南岭北麓古村落群2012—2024年土地利用迁移矩阵/%

年份	地类	农田	水体	自然植被	建设用地	裸地	净流出比例
2012—2016年	农田	–	0.03	0.01	1.17	0.02	1.23
	水体	0.15	–	0.00	0.05	0.00	0.20
	自然植被	1.17	0.00	–	3.31	0.00	4.48
	建设用地	0.01	0.00	0.00	–	0.01	0.02
	裸地	0.80	0.00	0.02	0.45	–	1.27
2016—2020年	农田	–	0.04	0.26	0.54	0.02	0.86
	水体	0.15	–	0.00	0.03	0.01	0.19
	自然植被	0.87	0.00	–	5.10	0.26	6.23
	建设用地	0.01	0.00	0.00	–	0.02	0.01
	裸地	0.88	0.00	0.04	0.59	–	1.51
2020—2024年	农田	–	0.02	0.38	0.44	0.04	0.88
	水体	0.15	–	0.00	0.00	0.01	0.16
	自然植被	0.53	0.00	–	7.90	0.26	8.69
	建设用地	0.01	0.00	0.00	–	0.02	0.01
	裸地	0.88	0.00	0.04	0.61	–	1.53

3.3　人类活动影响强度评价和讨论

本文选取人类活动影响强度作为量化评价169个古村落人类活动影响因素，南岭北麓古村落群自2012年来，“自然植被流出、建设用地流入”人类活动现象总体呈现加速的态势，古村落区域人类活动强度综合指数均值从1.73增长至3.55，平均年增长为17.10%，其中最大值发生在郴州市临武县花塘乡石门村（5.428），最小值为道县清塘镇小坪村（0.016）。基于自然断点分级法对影响程度数值划分5个等级：剧烈（H >4.551）、显著（3.204 < H < 4.551）、相对明显（2.183< H <3.204）、一般（1.163< H < 2.183）和轻度（0< H <1.163），其中处于剧烈、显著、相对明显、一般和轻度等级的古村落数目分别是11、40、24、37和57。研究区内部存在人类活动影响强度指数的空间分异，具体体现为：2012—2024年期间，研究区内以剧烈、显著等级为代表的H高值主要分布于郴州市临武县、北湖区、永州市宁远县等区域。人类活动影响剧烈和显著的古村落聚集度相对较高，主要集中在北湖区、临武、桂阳和宁远等经济相对良好县区，而人类活动影响轻微的古村落大都分布在道县以西、江永和新田等经济欠发达少数民族聚居山区。

上述人类活动影响强度的空间分异格局，一方面与当地经济发展水平密切相关，经济较为发达的地区，由于工业化、城市化进程较快，对土地资源的开发利用强度较大，从而导致人类活动影响强度较高；另一方面，也可能与地理环境因素有关。例如，经济欠发达的山区，由于地形复杂、交通不便，限制了人类活动的范围和强度。此外，不同等级的人类活动影响强度在空间上呈现出一定的连续性。高值区域往往与相邻的中值或低值区域相连，形成了一种梯度变化的格局。这种连续性可能反映了人类活动对自然环境影响的渐进性和累积性，是研究区内部人类活动影响强度的空间分异是多种因素共同作用的结果。

从时间维度来看，人类活动影响强度在研究区内

呈现出逐年增强的趋势。特别是在2018—2024年期间，随着城市化进程的加速和基础设施建设的推进，原本处于一般和轻度等级的古村落数目有所减少，而剧烈和显著等级的古村落数目则相应增加。这一变化反映出人类活动对古村落环境的压力和影响正在逐渐加剧。由于不同等级的人类活动影响强度与古村落的地理位置、经济基础、文化背景等因素密切相关，在经济相对发达的县区，因人口密集、工业化程度高，人类活动对古村落环境的影响更为显著。而在经济欠发达的少数民族聚居山区，虽然人类活动影响相对轻微，但古村落的保护和发展同样面临着诸多挑战。因此，在制定古村落保护策略时，需要充分考虑不同区域的人类活动影响强度及其背后的社会经济因素，可采取划定古村落核心保护区与缓冲区，禁止工业园、高层建筑等高强度基建侵入核心区，推广“低密度、微改造”的发展模式[14]，建立“未破坏先保护”机制，在发展生态旅游的同时，推动交通、卫生设施建设，避免出现古村落的“空心化”的自然衰败。与此同时，可构建“遥感+地理信息+物联网”多源监测平台，构建适合当地发展的人类活动强度评估模型，通过遥感监测方法高效识别土地利用变化与建筑物扩张[15]，最终实现“低强度区防退化、高强度区促修复、全域保文化传承”的保护目标。

4 结 语

近年来国土空间开发存在从城镇区域向自然民族文化聚居区转移的趋势，面对南岭北麓生态屏障和自然保护区内大量历史文化古村落建筑群亟需开展统一规划和保护的现状，本文基于研究区内2012—2024年时序高分卫星影像，分类提取历年建设用地、自然植被、水体、农田及裸地等重要土地类型空间分布，通过土地利用转移矩阵刻画古村落用地类型的双向转换规律，并基于土地利用转移矩阵和人类活动强度综合指数对研究区169个古村落进行人类活动强度评估。得出以下结论：

1）基于U-Net模型实现对研究区人类活动用地类型的高精度监测提取，2012年、2016年、2020年、2024年的总体分类精度分别为81.14%、85.38%、88.56%、90.33%，Kappa系数分别是0.833、0.818、0.854、0.871。

2）2012—2024年土地利用转移矩阵信息体现古村落群内从自然植被向建设用地和农田的主转移方向，但存在10.5%的古村落区域出现逆转移现象。这一发现与相关文献提出的“古村落建设用地持续扩张”结论形成对比，表明乡村振兴背景下政策调控对用地演变的干预作用，为区域人地关系研究补充了逆向演替的证据。

3）自2012年来，以建设用地为主的人类活动现象总体呈现加速的态势，古村落区域人类活动强度综合指数均值从1.73增长至3.55，平均年增长为17.10%，并存在剧烈的内部分异。

参考文献

[1] 朱俊凤,钱峻屏. 自然保护区遥感研究进展[J]. 安徽农业科学,2010,38(20):10828-10831

[2] 王桥. 国家环境遥感监测体系研究与实现[J]. 遥感学报,2016,20(5):1161-1169

[3] 高吉喜,赵少华. 中国生态环境遥感四十年[J]. 地球信息科学学报,2020,22(4):705-719

[4] 孙永光,赵冬至,高阳,等. 海岸带人类活动强度遥感定量评估方法研究:以广西北海为例[J]. 海洋环境科学,2014,33(3):407-411

[5] 刘晓龙,徐瑞,付卓,等. 基于多源遥感数据的纳板河国家级自然保护区人类活动用地监测[J]. 农业工程学报,2018,34(19):266-275

[6] 罗静,夏军,郝芳华,等. 中国流域人类活动空间协同与高水平治理的理论思考与实践发展[J]. 自然资源学报,2024,39(11):2505-2524

[7] 顾羊羊,黄贤峰,邹长新,等. 沅江源自然保护区生境质量变化遥感监测[J]. 生态与农村环境学报,2019,35(6):764-772

[8] 覃现,郝容,邢鹏,等. 基于深度学习的国土资源遥感影像分类模型[J]. 地理空间信息,2024,22(10):34-37

[9] 凡建林,姚辉,高叶. 一种改进U-Net模型的建筑物变化信息提取研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(9):218-220

[10] 赵梓萌,孟翔晨.天津市土地利用/覆被变化对城市热岛的影响[J]. 地理空间信息,2024,22(11):66-72

[11] 吴佩佩,常献伟,张杨,等. 黄河滩区河南段土地利用演变及驱动力研究[J]. 国土与自然资源研究,2024,45(4):18-23

[12] 刘鹏翱,麻战洪,郭胜,等. 长株潭城市群生态绿心地区人类活动强度空间分异特征与影响因素研究[J]. 国土资源导刊,2024,21(2):27-32

[13] 张洪森,角媛梅,陈凡,等. 云南九大高原湖泊流域人类活动强度对水质的多尺度影响[J]. 湖泊科学,2024,36(2):430-442

[14] 李祖鹏,黄曦葶. 佛山市禅城古村落的保护与活化[J]. 美与时代(城市版),2024,38(11):16-18

[15] 杨志,靳相木. 闲置宅基地退出路径优化逻辑与规范续造:以古村落中历史建筑保护为切入点[J]. 中国国土资源经济,2025,38(1):63-70