

# 基于高分遥感的国家级自然保护区红线破坏动态监测与驱动机制研究

张锁清<sup>1</sup> 张映程<sup>2</sup>

1 玉溪市污染源在线数据信息中心 2 云南省生态环境工程评估中心

DOI:10.32629/eep.v8i10.2925

**[摘要]** 国家级自然保护区是维护生态安全的核心区域,其红线边界的完整性是生态保护的关键。本文以高分遥感技术为核心手段,构建数据获取-信息提取-变化检测-驱动分析的一体化研究框架,对国家级自然保护区红线破坏情况进行动态监测,并深入剖析其驱动机制。研究通过高分系列卫星影像数据,结合遥感图像处理与地理信息系统(GIS)空间分析技术,实现了对保护区内耕地侵占、工程建设、违规开发等红线破坏类型的精准识别与时空动态演变特征分析。结果表明,高分遥感技术可有效捕捉保护区红线范围内的细微变化,监测精度达90%以上;红线破坏行为的空间分布呈现边缘集聚、廊道延伸特征,且驱动因素可归结为自然、经济、政策与社会四大维度,其中区域经济发展需求与政策执行力度是主导驱动因子。本文研究可为国家级自然保护区红线监管提供技术支撑与决策依据,助力生态保护与监管的智能化、精准化发展。

**[关键词]** 高分遥感; 国家级自然保护区; 生态红线; 动态监测; 驱动机制

中图分类号: TP7 文献标识码: A

## Research on Dynamic Monitoring and Driving Mechanisms of Redline Violations in National Nature Reserves Based on High-Resolution Remote Sensing

Suoqing Zhang<sup>1</sup> Yingcheng Zhang<sup>2</sup>

1 Yuxi City Pollution Source Online Data Information Center

2 Yunnan Ecological Environment Engineering Assessment Center

**[Abstract]** National-level nature reserves are core areas for maintaining ecological security, and the integrity of their redline boundaries is crucial for ecological conservation. This study employs high-resolution remote sensing technology as the primary method, establishing an integrated research framework encompassing data acquisition, information extraction, change detection, and driving force analysis. It dynamically monitors redline violations in national-level nature reserves and conducts in-depth analysis of their driving mechanisms. By utilizing high-resolution satellite imagery from the GF series, combined with remote sensing image processing and Geographic Information System (GIS) spatial analysis techniques, the study achieves precise identification and spatiotemporal dynamic evolution analysis of redline violations such as farmland encroachment, construction projects, and illegal development within protected areas. The results indicate that high-resolution remote sensing technology can effectively capture subtle changes within reserve redline boundaries, achieving monitoring accuracy exceeding 90%. Spatial distribution of redline violations exhibits edge clustering and corridor extension characteristics, with driving factors categorized into four dimensions: natural, economic, policy, and social. Regional economic development demands and policy enforcement strength emerge as dominant driving factors. This research provides technical support and decision-making basis for redline supervision in national-level nature reserves, facilitating intelligent and precise development in ecological conservation and regulation.

**[Key words]** high-resolution remote sensing; national nature reserves; ecological red lines; dynamic monitoring; driving mechanisms

## 引言

国家级自然保护区作为我国生态保护体系的核心载体,承担着保护生物多样性、维持生态系统稳定、保障生态安全的重要功能。2017年《国家级自然保护区调整管理规定》明确划定了保护区红线边界,严禁任何破坏生态环境的开发建设活动。然而,随着城市化进程加快与区域经济发展需求提升,部分保护区面临着耕地侵占、工程建设、旅游开发等红线破坏问题,严重威胁生态系统完整性。传统的保护区监测依赖人工巡查与常规遥感手段,存在监测范围有限、周期长、精度低、动态性不足等缺陷,难以满足新时代生态监管的全覆盖、高精度、实时化需求。高分遥感技术凭借其高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率的三高优势,可实现对地表覆盖变化的精细化捕捉,为保护区红线动态监测提供了全新技术路径。开展基于高分遥感的国家级自然保护区红线破坏动态监测与驱动机制研究,不仅能够突破传统监测的技术瓶颈,实现对破坏行为的精准识别与动态追踪,更能通过驱动因素分析,揭示红线破坏的形成机理,为制定针对性的保护政策与监管措施提供科学依据,对维护生态红线完整性、推动生态文明建设具有重要的理论与实践意义。

## 1 研究区概况与数据方法

### 1.1 研究区概况

本文选取国家级自然保护区作为研究区,选取典型森林生态类型保护区。该保护区位于我国西南地区,总面积约1200km<sup>2</sup>,核心区、缓冲区、实验区划分清晰,红线边界明确。保护区内生态系统类型丰富,拥有多种珍稀濒危物种,但同时面临着周边区域农业扩张、旅游开发等带来的红线破坏压力,具有典型的研究价值。研究区气候属亚热带季风气候,年降水量充沛,地形以山地、丘陵为主,地表覆盖类型以林地、草地为主,耕地与建设用地主要分布于保护区边缘。近年来,随着周边城市经济发展,保护区边缘的红线破坏问题逐渐凸显,为本文研究提供了典型案例场景。

### 1.2 数据来源与预处理

#### 1.2.1 数据来源

本文所用数据包括遥感数据、矢量数据与辅助数据三大类,具体如下:高分遥感数据:选取2015年、2018年、2021年三个时相的高分二号(GF-2)多光谱影像(空间分辨率1m)与高分六号(GF-6)多光谱影像(空间分辨率8m),数据来源于中国资源卫星应用中心,用于变化检测与类型识别。矢量数据:保护区红线边界矢量数据、土地利用现状矢量数据,来源于当地林业和草原局,用于红线范围提取与变化区域定位。辅助数据:研究区社会经济统计数据、自然环境数据、政策文件,来源于统计年鉴、政府官网与相关部门。

#### 1.2.2 数据预处理

辐射校正:消除传感器本身与大气散射对影像辐射信息的影响,采用ENVI软件中的FLAASH大气校正模块,将影像的数字量化值(DN值)转换为地表反射率。几何校正:以研究区1:1万地形图为基准,采用二次多项式校正模型,结合地面控制点(GCP),将

影像校正至WGS-84坐标系,校正误差控制在1个像素以内。图像融合:针对高分二号的全色影像(1m)与多光谱影像(4m),采用Gram-Schmidt融合算法,实现高空间分辨率与高光谱分辨率的结合,提升影像解译精度。红线边界提取:将保护区矢量边界数据与校正后的遥感影像进行配准,裁剪得到红线范围内的影像数据,作为后续监测的研究范围。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 红线破坏类型识别方法

采用面向对象的图像分类方法(Object-Based Image Analysis, OBIA)进行红线破坏类型识别。该方法突破传统像素级分类的局限性,通过影像分割将像素聚合为具有语义信息的图像对象,结合对象的光谱特征、形状特征、纹理特征进行分类,提升分类精度。根据研究区实际情况,将红线破坏类型划分为以下4类:耕地侵占:红线范围内非法开垦的耕地,表现为规则的块状分布,光谱特征与林地差异明显。工程建设:红线范围内的道路修建、建筑施工等工程活动,表现为线性或块状的建设用地,纹理粗糙。违规开发:红线范围内的旅游设施、养殖场等违规开发项目,多分布于实验区边缘,形状不规则。其他破坏:包括乱砍滥伐、垃圾堆放等其他破坏行为,面积较小,光谱特征复杂。

#### 1.3.2 变化检测方法

采用基于分类后比较的变化检测算法,结合差值法进行红线破坏变化信息提取。具体步骤如下:对2015年、2018年、2021年三个时相的预处理影像,分别采用面向对象分类方法进行土地覆盖分类,得到各时相的分类结果图。对相邻时相的分类结果图进行叠加分析,识别土地覆盖类型发生变化的区域,初步提取变化斑块。利用差值法对原始影像的归一化植被指数(NDVI)进行计算,通过NDVI差值阈值(设定为-0.2)筛选出植被覆盖减少的区域,与分类后比较得到的变化区域进行叠加验证,剔除伪变化信息,最终确定红线破坏变化区域。

#### 1.3.3 驱动机制分析方法

采用主成分分析(PCA)与多元线性回归分析相结合的方法,构建红线破坏驱动机制模型。具体步骤如下:驱动因子筛选:从自然、经济、政策、社会四个维度,筛选12个潜在驱动因子(如表1所示)。主成分分析:对筛选后的驱动因子进行标准化处理,通过PCA降维,提取累计贡献率超过85%的主成分,减少因子间的多重共线性。多元线性回归:以红线破坏面积为因变量,以提取的主成分为自变量,构建回归模型,分析各主成分对应的驱动因子对红线破坏的影响强度。

## 2 结果与分析

### 2.1 红线破坏类型识别结果

基于面向对象的分类方法,对2015年、2018年、2021年三个时相的高分影像进行分类,得到研究区红线破坏类型识别结果。通过混淆矩阵验证,分类总体精度分别为91.2%、92.5%、93.1%,Kappa系数均大于0.9,表明分类结果精度较高,可满足后续研究需求。

表1 红线破坏驱动因子体系

维度	驱动因子	指标说明
自然维度	地形坡度	研究区平均坡度(°)
	距离道路距离	破坏区域与主要道路平均距离(km)
经济维度	人均GDP	研究区周边县域人均GDP(万元)
	农业产值占比	农业产值占GDP比重(%)
政策维度	旅游收入	周边区域旅游年收入(万元)
	监管人员数量	保护区专职监管人员数量(人)
	执法次数	年度生态执法检查次数(次)
社会维度	政策宣传力度	年度生态保护宣传次数(次)
	人口密度	周边县域人口密度(人/km <sup>2</sup> )
	农民人均纯收入	周边农村居民人均纯收入(元)
	受教育程度	周边居民平均受教育年限(年)
	生态保护意识	居民生态保护认知率(%)

从识别结果来看，研究区红线破坏类型以耕地侵占与工程建设为主，两者合计占破坏总面积的85%以上；违规开发与其他破坏类型占比较小，分别约为10%与5%。耕地侵占主要分布于保护区实验区边缘，呈块状分布，多为周边农民非法开垦；工程建设主要表现为道路修建与小型建筑施工，呈线性或点状分布，集中于保护区与外界连接的廊道区域。

2. 2 红线破坏时空动态特征分析

2. 2. 1 时间变化特征

2015-2021年，研究区红线破坏面积总体呈先增长后下降的趋势（如表2所示）。2015-2018年，破坏面积从12.3km<sup>2</sup>增长至21.7km<sup>2</sup>，年均增长率达20.1%，主要原因是周边区域农业扩张与旅游开发需求增加；2018-2021年，破坏面积下降至15.4km<sup>2</sup>，年均减少率为10.2%，这与国家加强生态保护政策的实施（如“绿盾”专项行动）密切相关，监管力度加大有效遏制了红线破坏行为。

表2 2015-2021年研究区红线破坏面积变化

年份	耕地侵占(km <sup>2</sup> )	工程建设(km <sup>2</sup> )	违规开发(km <sup>2</sup> )	其他破坏(km <sup>2</sup> )	总面积(km <sup>2</sup> )
2015	7.8	3.2	0.9	0.4	12.3
2018	13.5	6.1	1.6	0.5	21.7
2021	8.9	4.8	1.2	0.5	15.4

2. 2. 2 空间分布特征

通过GIS空间分析技术，对红线破坏区域进行空间格局分析，发现其空间分布呈现以下特征：边缘集聚性：红线破坏区域主要集中于保护区边缘地带，尤其是实验区与周边区域的交界处，占破坏总面积的70%以上。因为边缘区域距离人类活动区域较近，开发成本较低，受人类活动干扰更为频繁。廊道延伸性：工程建设类破坏多沿交通廊道分布，如保护区内的原有道路两侧，呈现线性延伸特征。道路的修建不仅直接破坏红线，还为后续的耕地侵占与违规开发提供了便利条件，形成以路带破的格局。类型差

异性：耕地侵占主要分布于地形坡度较小的区域(坡度<15°)，便于农业耕作；工程建设与违规开发则多分布于距离道路较近的区域(距离<2km)，交通便利性是主要影响因素。

2. 2. 3 多元线性回归分析结果

以红线破坏面积为因变量，以3个主成分为自变量，构建多元线性回归模型，回归方程为： $(Y=0.62X_1-0.45X_2-0.21X_3+0.08)$ （其中，Y为红线破坏面积，X<sub>1</sub>为主成分1，X<sub>2</sub>为主成分2，X<sub>3</sub>为主成分3，R<sup>2</sup>=0.82，模型通过显著性检验）从回归系数可以看出：经济驱动维度X<sub>1</sub>：回归系数为0.62，呈显著正相关，是影响红线破坏的主导驱动因子。区域经济发展需求（如农业扩张、旅游开发）促使人类活动向保护区红线范围内渗透，导致破坏行为发生。政策驱动维度X<sub>2</sub>：回归系数为-0.45，呈显著负相关，是抑制红线破坏的关键因子。监管人员数量增加、执法次数增多、政策宣传力度加大，可有效提升监管效率，减少破坏行为。社会驱动维度X<sub>3</sub>：回归系数为-0.21，呈负相关，但影响强度较弱。人口密度过高会增加破坏风险，但居民受教育程度提升与生态保护意识增强，可在一定程度上降低破坏行为发生概率。自然驱动维度：未进入主成分，说明在研究区范围内，自然因素（如地形坡度）对红线破坏的影响较小，人类活动相关的经济、政策、社会因素是主要驱动力量。

3 结论

高分遥感技术可行性：高分遥感技术可有效应用于国家级自然保护区红线破坏动态监测，通过面向对象分类与变化检测算法，可实现对破坏类型的精准识别（精度>90%）与时空动态特征的准确提取，解决了传统监测手段的局限性。红线破坏时空特征：2015-2021年，研究区红线破坏面积呈先增后减趋势，空间分布表现为边缘集聚、廊道延伸特征，破坏类型以耕地侵占与工程建设为主。驱动机制核心结论：红线破坏的驱动机制由经济、政策、社会三大维度构成，其中区域经济发展需求是主导驱动因子，政策执行力度是关键抑制因子，社会因素影响较弱，自然因素影响不显著。

[参考文献]

[1]王晓慧,谭炳香.基于面向对象多特征变化向量分析法的森林资源变化检测[J].林业科学研究,2021,34(1):98-105.  
 [2]梁继,郑镇炜,夏诗婷,等.高分六号红边特征的农作物识别与评估[J].遥感学报,2020,24(10):1168-1179.

作者简介:

张锁清(1988--),女,汉族,云南通海人,本科,中级,研究方向:生态环境监测与分析、污染源在线数据信息数据分析与应用。  
 张映程(1991--),男,汉族,云南保山人,本科,中级工程师,研究方向:生态环境地理空间。