

# 基于遥感与GIS的森林资源动态监测系统构建

张亚龙 周喜锋

陕西省太白林业局 陕西 宝鸡 721600

**摘要：**传统的森林资源调查方法存在周期长、成本高、时效性差等局限，难以满足现代林业管理对实时、精准、动态监测的需求。遥感（Remote Sensing, RS）与地理信息系统（Geographic Information System, GIS）技术凭借其宏观性、周期性、高效性和空间分析能力，已成为森林资源监测的核心技术手段。本文在系统梳理遥感与GIS技术在森林资源监测中的应用现状基础上，深入探讨了基于RS与GIS融合的森林资源动态监测系统的构建框架、关键技术、功能模块及实施路径。构建多源遥感数据协同、GIS空间分析支撑、人工智能算法驱动的智能动态监测系统，是实现森林资源“天—空—地”一体化、精细化、常态化监管的有效途径，对提升我国森林资源管理水平、服务生态文明建设和“双碳”战略目标具有重要意义。

**关键词：**遥感；地理信息系统；森林资源；动态监测；系统构建；人工智能

## 引言

森林作为地球之肺与战略资源，其重要性不言而喻。但近几十年，受过度采伐等多因素影响，全球森林面积缩减，生态系统服务功能弱化。我国虽实施天然林保护等重大生态工程，森林覆盖率提升，可森林火灾等问题仍威胁资源安全。在此情形下，建立科学高效的森林资源监测体系迫在眉睫。传统人工外业调查方法精度虽高，却存在周期长、投入大、难覆盖偏远危险区域等不足，无法满足现代林业需求。而遥感技术覆盖广、重访周期短，GIS擅长空间数据处理，二者深度融合，能为森林资源动态监测提供技术支撑。构建基于RS与GIS的监测系统，可实现对关键指标的定期、快速、大范围监测，为森林保护等提供科学依据。

## 1 系统构建的理论基础与技术支撑

### 1.1 遥感技术在森林监测中的应用原理

遥感技术凭借对地表植被电磁波响应特征的敏感，在森林资源监测中发挥核心作用。不同森林状况在光谱等方面有差异，可被遥感传感器捕获转化。光学遥感如多颗卫星，用于森林分类等，但受天气限制。雷达遥感全天时、全天候观测，对森林垂直结构敏感，可补充光学数据。激光雷达获取三维点云数据，为生物量等估算提供参数<sup>[1]</sup>。无人机遥感灵活、分辨率高，在小区域监测等场景有价值。多种遥感平台协同，构成“天—空”感知基础。

### 1.2 GIS在森林资源管理中的核心作用

GIS为森林资源动态监测系统提供“大脑”。在数据层面，能集成多源异构数据，构建空间数据库。分析层面，支持多种空间操作，可评估复杂问题。成果表达

上，将数据转化为直观地图产品。还能嵌入专家知识规则，形成决策支持模块。GIS是连接感知、分析与行动的中枢神经。

### 1.3 多技术融合的必要性的必要性

单一技术难满足森林资源动态监测需求。遥感解译有不确定性，GIS依赖高质量数据，传统人工判读效率低。将遥感、GIS与AI深度融合是关键。光学与雷达数据融合保证监测连续性，卫星与无人机数据结合兼顾宏观微观。AI算法使流程自动化，减少人工干预，提高效率与一致性，推动管理向主动预警转变。

## 2 森林资源动态监测系统构建框架

### 2.1 系统总体架构

为实现森林资源动态监测的系统化、标准化与业务化，本文提出一个“四层一体”的整体架构。该架构以数据为基础、处理为核心、应用为导向、服务为出口，形成闭环运行机制。底层为数据层，负责汇聚来自卫星、航空、无人机等平台的多源遥感数据，同时整合基础地理信息、森林资源档案（如小班矢量与属性表）以及地面验证样本，构建统一时空基准下的森林资源数据湖。其上为处理层，涵盖从原始影像到可用信息的全链条处理流程，包括辐射定标、大气校正、几何精校正等预处理步骤，以及基于机器学习的特征提取、分类建模、变化检测与精度验证等智能解译环节。应用层则面向具体业务需求，提供森林资源“一张图”、动态变化监测、灾害预警、碳汇核算、统计分析等核心功能模块，支撑日常监管与科学决策。最上层为服务层，通过Web GIS门户、移动终端APP、标准API接口等方式，向省、市、县各级林业管理部门、科研机构乃至公众用户

提供按需访问的数据服务与业务功能。整个系统采用B/S架构部署于云计算平台,具备弹性扩展、高并发处理与跨终端兼容能力,确保系统在大规模应用中的稳定性与可维护性。

## 2.2 关键技术实现

### 2.2.1 多源遥感数据协同处理

首先是多源遥感数据的协同处理。系统采用Google Earth Engine (GEE) 或本地高性能计算集群,对Sentinel-2与Landsat影像进行时序合成,通过去云算法(如Fmask)与质量筛选,生成季度或年度高质量合成影像。同时,引入Sentinel-1雷达数据,利用其对地表结构的穿透性,与光学数据进行融合,有效弥补云雾遮挡造成的观测缺失<sup>[2]</sup>。对于高分辨率无人机影像,则采用自动镶嵌与色彩均衡技术,确保大范围拼接后的视觉一致性与光谱连续性。

### 2.2.2 智能化森林信息提取

智能化森林信息提取是系统的核心能力。传统监督分类方法依赖大量人工样本且泛化能力弱,而深度学习模型如U-Net、DeepLabv3+等能够自动学习多层次空间特征,实现像素级森林类型识别。在变化检测方面,系统摒弃了传统的后分类比较法(易累积误差),转而采用端到端的深度变化检测模型(如ChangeFormer),直接从双时相影像中学习变化语义,显著提升了检测精度与鲁棒性。此外,结合LiDAR点云或雷达后向散射系数,系统可构建随机森林或XGBoost回归模型,反演树高、生物量等关键林分参数,为碳汇计量提供数据支撑。

### 2.2.3 动态更新与精度控制

动态更新机制与精度控制是保障系统长期有效运行的关键。系统采用增量更新策略,仅对发生变化的区域进行局部重处理,避免全图重复计算,极大提升效率。同时,建立覆盖全省的地面验证网络,通过林业员手持终端上传实地照片、坐标与描述信息,形成“线上识别—线下核查—反馈优化”的闭环,持续迭代模型性能。所有监测成果均附带不确定性评估报告,包括总体精度、Kappa系数、用户精度与生产者精度等指标,确保结果的科学性与可信度。

## 3 系统功能模块设计

### 3.1 森林资源“一张图”管理

森林资源“一张图”是整个动态监测系统的数据基底与可视化窗口。它并非静态地图,而是融合了历史清查数据、最新遥感解译成果、地面核查记录等多源信息的动态空间数据库。通过统一坐标系与数据标准,系统将全省森林资源按行政区、林班、小班进行精细化管

理,每个空间单元均关联丰富的属性信息,如起源(天然/人工)、优势树种、龄组、郁闭度、权属、经营措施等<sup>[3]</sup>。用户可通过地图界面任意缩放、查询、统计,实现对森林资源家底的“一图统览、一图统管”。该模块不仅服务于日常监管,也为森林经营方案编制、生态公益林划定、林地用途管制等提供权威数据支撑。

### 3.2 动态变化监测与预警

动态变化监测与预警功能是系统区别于传统资源清查的核心所在。系统以固定周期(如年度或季度)自动运行变化检测算法,对比不同时相的遥感影像,识别出森林覆盖发生显著改变的区域。这些变化可能源于合法经营活动(如抚育采伐、造林更新),也可能指向非法行为(如盗伐、违规占用)或自然灾害(如火灾、风倒、病虫害)。系统将变化区域自动圈定为图斑,赋予唯一编码,并关联前后影像、变化类型、面积、位置等信息。对于疑似异常事件,系统可依据预设规则(如变化面积超过阈值、位于生态红线内)触发预警机制,通过消息推送、邮件通知或移动端弹窗,第一时间将线索送达辖区管护人员,实现“早发现、早核查、早处置”的闭环管理,极大提升了执法效率与威慑力。

### 3.3 专题应用模块

在基础监测功能之上,系统进一步拓展了多个面向特定需求的专题应用模块。森林火灾监测模块融合热红外遥感火点产品(如MODIS、VIIRS)与高分辨率可见光影像,不仅能实时定位火点,还能在灾后快速评估过火范围与林分受损程度。病虫害监测则依托长时间序列的植被指数(如NDVI、EVI)变化趋势,结合气象数据(温湿度、降水)构建风险预测模型,对松材线虫病、美国白蛾等重大林业有害生物的发生进行早期预警<sup>[4]</sup>。碳汇计量模块基于遥感反演的生物量数据,按照国家温室气体清单指南中的碳转换系数,估算区域森林碳储量及其年际变化,为参与碳市场交易、核算生态补偿提供量化依据。此外,系统还特别强化对生态公益林、天然林等重点保护区域的监管,对其边界内任何疑似违规用地行为进行重点监控与自动报警,切实筑牢生态安全屏障。

### 3.4 统计分析与决策支持

统计分析与决策支持功能旨在将海量监测数据转化为可操作的管理知识。系统内置多维度统计引擎,可按时间(年、季、月)、空间(省、市、县、乡镇)、森林类型(针叶林、阔叶林、竹林等)等维度自由组合,生成面积、蓄积、变化量、增长率等关键指标的统计报表与趋势图表。通过可视化仪表盘,管理者可直观掌握森林资源动态演变规律,识别问题区域与发展亮点。这

些分析成果可直接服务于林长制考核、生态工程成效评估、森林经营方案优化等重点工作，真正实现“用数据说话、靠数据决策、依数据管理”，推动林业治理能力现代化。

#### 4 挑战与展望

##### 4.1 面临的主要挑战

当前，基于遥感与GIS的森林资源动态监测系统在推广应用上仍面临多重现实挑战。首先，高分辨率商业遥感数据获取成本较高，且部分数据共享存在政策壁垒，制约了系统的普及与深化应用。其次，尽管人工智能算法在特定区域表现优异，但其泛化能力仍显不足，同一模型在不同地理环境或不同传感器数据上往往需要重新训练，依赖大量高质量标注样本，而地面验证工作耗时耗力。再次，系统建设容易，但如何与基层林业站的日常巡护、执法、档案管理等实际工作深度融合，形成常态化运行机制，仍是“最后一公里”难题。最后，行业层面缺乏统一的技术规程、数据标准与成果质量评价体系，导致不同地区、不同系统间的监测成果难以互认互通，影响了宏观决策的一致性与科学性。

##### 4.2 未来发展方向

面向未来，森林资源动态监测系统的发展将呈现四大趋势。一是构建“天—空—地”一体化立体感知网络，通过高时空分辨率卫星星座实现宏观覆盖，无人机灵活补充重点区域细节，地面物联网传感器（如土壤湿度、林火烟雾探测器）提供实时验证，形成多尺度、多维度的协同监测体系。二是深化人工智能与大数据技术融合，发展自监督学习、小样本学习乃至遥感基础大模型（Foundation Models），降低对人工标注的依赖，提升模型在跨区域、跨传感器场景下的通用解译能力。三

是推动系统业务化、常态化运行，将其深度嵌入国家林草生态网络感知体系，实现从“技术试点”向“制度安排”转变，形成“自动监测—智能预警—快速核查—依法处置—反馈优化”的闭环管理机制。四是拓展服务边界，从单纯的资源监管延伸至国家公园智慧管理、生物多样性热点识别、生态产品价值核算与实现等更广阔领域，全面支撑生态文明建设与美丽中国目标。

#### 5 结语

综上所述，构建基于遥感与GIS的森林资源动态监测系统，是应对当前森林资源管理挑战、服务国家重大战略的必然选择。该系统通过多源数据融合、智能算法驱动与空间分析支撑，实现了对森林资源的高频次、高精度、大范围动态感知，显著提升了监测效率与管理效能。此类系统不仅能够有效遏制非法破坏行为，还能为碳汇计量、灾害防控、生态评估等提供科学依据。未来，应加强顶层设计，推动标准制定、数据开放与基层赋能，真正让先进技术扎根业务一线，为建设美丽中国和实现“双碳”目标贡献林业智慧。

#### 参考文献

- [1] 屈尚萍,鲁志英,董雯文,等.基于遥感动态监测技术在森林资源管理的应用实践[J].林业科技情报,2025,57(03):121-123.
- [2] 江思卫.遥感及GIS技术在森林资源信息更新中的应用[J].低碳世界,2017,(34):363-364.
- [3] 杨民柱,罗水长生.基于遥感与GIS技术的森林资源二类调查探究[J].广东蚕业,2023,57(11):65-67.
- [4] 武利园.基于无人机遥感技术的森林资源调查精度分析[J].林业勘查设计,2025,54(05):82-85.