

# 林业资源调查与病虫害防治中无人机遥感技术的应用研究

张琼

会泽县娜姑镇农业农村发展服务中心

DOI:10.32629/as.v9i6.4090

**[摘要]** 林业资源调查传统依赖人工样地实测,存在劳动强度大、周期长、代表性不足等问题;病虫害防治多用地面巡查结合卫星遥感,受云层遮挡及空间分辨率限制明显。无人机遥感具备灵活起降、高空间分辨率成像、多光谱及热红外载荷搭载能力,可获取亚米级森林冠层纹理、光谱反射率及植株温度场信息。本文在无人机遥感系统介绍的基础上,对无人机遥感技术在林业资源调查及病虫害防治中的应用进行阐述,并对无人机遥感技术在实际应用中存在的问题及发展方向进行探索,为数字林业与智慧森林保护的实现提供技术支持。

**[关键词]** 无人机遥感; 林业资源调查; 病虫害防治; 森林保护

中图分类号: F307.2 文献标识码: A

## Application of UAV Remote Sensing Technology in forest resource investigation and pest control

Qiong Zhang

Agricultural and rural development service center of Nagu Town, Huize County

**[Abstract]** forestry resource survey traditionally relies on the measurement of artificial sample plots, which has the problems of high labor intensity, long cycle and lack of representativeness; Disease and pest monitoring is mainly based on ground patrol combined with satellite remote sensing, which is obviously limited by cloud cover and spatial resolution. UAV remote sensing has the ability of flexible takeoff and landing, high spatial resolution imaging, multi spectral and thermal infrared load carrying, and can obtain the information of sub meter forest canopy texture, spectral reflectance and plant temperature field. Based on the introduction of UAV remote sensing system, this paper expounds the application of UAV Remote Sensing Technology in forestry resource investigation and pest control, and explores the problems and development direction of UAV Remote Sensing Technology in practical application, so as to provide technical support for the realization of digital forestry and intelligent forest protection.

**[Key words]** UAV remote sensing; Forestry resources survey; Pest monitoring; Forest protection

森林生态系统提供水源涵养、碳储存、生物多样性保护及气候调节等服务,准确掌握森林资源数量质量动态及健康状态是林业主管部门制定经营措施的前提。我国历次森林资源连续清查及二类调查积累了海量数据,但山区地形复杂、交通不便使得人工调查覆盖面有限,周期通常五年一轮回,难以及时反映短期林分变化。病虫害是森林第一大生物灾害,松材线虫病自传入我国至今已扩散至诸多省区市,致死大量成年松树,传统地面踏查漏判率高,卫星遥感受重返周期及云雨天气干扰,常错过最佳防治窗口。无人机遥感技术近十年快速成熟,旋翼与固定翼平台负载能力增强,可见光、多光谱、热红外、小型激光雷达传感器成本下降,为林业资源调查及病虫害防治提供了技术支撑。因此对无人机遥感技术在林业资源调查及病虫害防治中的应用进行

研究意义重大。

### 1 无人机遥感系统概述

#### 1.1 飞行平台类型

旋翼无人机起降占地小、可悬停,适合林区内小块空地起飞,抗风性能随轴距增大增强,典型续航20~35分钟,可搭载可见光相机、五波段多光谱仪、热红外热像仪<sup>[1]</sup>。固定翼无人机航时长、覆盖速度快,适合大面积带状林区普查,需跑道或弹射架起飞、伞降回收,对起降场地要求高于旋翼机,多挂载轻量化可见光倾斜摄影模块。混合式垂直起降固定翼结合了二者优点,无需跑道且具备较长续航,近年来逐步进入省级林业调查规划院装备序列。平台选型需权衡调查区面积、林分郁闭度、可用起降点、允许单日飞行架次等因素。

## 1.2 载荷传感器特性

可见光RGB相机通过高像素CMOS或CCD记录红绿蓝三波段反射亮度,用于生成正射影像及三维点云,识别单木树冠投影、林隙分布、林缘界线。多光谱传感器在蓝光、绿光、红光及近红外设置独立滤光通道,可计算归一化植被指数、比值植被指数、光化学反射指数等,表征叶绿素含量及光合活性。热红外热像仪探测物体自身发射长波辐射,生成温度分布图,受干旱或维管束堵塞致气孔关闭的感病植株呈现相对于健康植株的零点几至两摄氏度升温。轻量化激光雷达发射纳秒脉冲激光测距,结合惯导与GNSS解算回波三维坐标,直接获取林下地形及冠层垂直结构剖面,克服光学影像被茂密冠层遮挡无法探知林下植被的缺陷。

## 1.3 航摄规划与影像预处理

使用地面站软件按调查区范围、地面分辨率要求设定航高、航向重叠率、旁向重叠率,起飞前架设静态GNSS基准站或连接连续运行参考站网络获取厘米级POS数据。影像获取后依次进行畸变校正、空中三角测量光束法平差、点云滤波、数字表面模型及数字高程模型生成、正射影像拼接<sup>[2]</sup>。多光谱影像需做太阳辐照度校正及暗场扣除,利用标准反射板标定反射率绝对值。热红外影像需对大气透射率、目标发射率及环境温度做修正,必要时配合地面同步测温验证。预处理质量直接决定后续分类及反演精度,须保留原始数据及处理日志备查。

## 2 无人机遥感技术在林业资源调查中的应用

### 2.1 森林蓄积量与生物量估测

基于无人机激光雷达点云可分离地面点与非地面点,地面点生成DEM,非地面点生成CHM(冠层高度模型),对每个栅格单元统计最大冠高、平均冠高、冠层覆盖度、冠层体积极量。结合少量地面实测样地建立一元或二元立木材积方程推算样地真实蓄积量,再以栅格单元冠层参数作为自变量拟合广义线性模型或随机森林回归模型,将模型外推至整个调查区得到 raster 格式蓄积量分布图。相比单纯依靠光学影像纹理特征,LiDAR直接测得三维结构信息,对针叶林及阔叶林皆适用,平均相对误差多可控制在15%以内<sup>[3]</sup>。纯光学影像可尝试基于单木树冠检测结合平均树高估测,但密林下单木分割成功率下降,精度逊于LiDAR辅助方案。

### 2.2 林分结构参数提取

利用SfM点云或LiDAR点云计算郁闭度,通常取阈值过滤低回波剔除地面点后统计。叶面积指数可通过消光系数法由可见光波段透过率估算,或借助多光谱红边波段敏感性与LAI的经验关系反演,后者需地面LAI-2000仪器同步实测做标定。优势树种分布通过可见光影像结合多光谱NDVI纹理分类识别针叶林、阔叶林、针阔混交、灌木林、无林地等类别,分类总体精度宜达85%以上方具生产应用价值<sup>[4]</sup>。林龄信息无人机无法直接获取,需叠合历年采伐更新档案及高分影像变化检测推断,属间接派生属性。

### 2.3 二类调查外业辅助与图斑更新

传统二类调查需技术员持罗盘仪、测绳沿小班界线勾绘,

对位于陡崖、溪谷、茂密灌丛的小班边界确认困难。无人机正射影像叠加地形等高线可清晰辨识林缘、防火带、采伐迹地、火烧迹地、林中空地范围,内业屏幕矢量化后打印现场勾核,减少外业迷路及绕行耗时。对上年度新增造林、抚育间伐、灾害木清理小班,通过前后两期无人机影像变化检测标记发生变化区域,外业仅需抽检可疑图斑,成倍压缩徒步调查路程。影像存档作为小班历史档案,便于追溯争议界线及核查年度变更。

## 3 无人机遥感在林业病虫害防治中的应用

### 3.1 光谱特征偏移的早期识别

植物受病原侵染后,叶绿素降解、类胡萝卜素比例改变、细胞水势下降,引起可见光红波段反射率上升、近红外反射率下降,红边位置向短波方向移动。无人机多光谱相机在受害早期即可捕捉到NDVI、修正简单比值指数、红边归一化植被指数较健康植株的显著性下降。通过设定阈值或训练二分类机器学习模型,将受害木从健康背景中分离,生成害情分布热力图。该方法对松材线虫病寄主如马尾松、黑松、湿地松等在媒介昆虫羽化后两至三个月内可检测出光谱异常,早于肉眼可见针叶红褐色变化约两周至四周,为药物注干或诱捕器布设争取时间。

### 3.2 热红外冠层温度异常监测

维管束受松材线虫堵塞导管、栗疫病菌致韧皮部坏死等真菌侵染阻碍木质部水分运输,感病树木气孔调节功能受损,蒸腾降温作用减弱,晴天中午冠层温度较同龄健康树升高。无人机载热红外传感器可绘制单木或树冠簇温度分布,计算温度异常指数,当异常值大于零点五摄氏度时列为疑似感病木。热红外法对缺水及病害均敏感,需结合多时相影像排除单纯干旱胁迫引起的升温,通常在连续晴好天气上午十时至十四时获取数据效果最佳。对于冠层较开阔的松林,热红外识别单木感病准确率可达80%以上<sup>[5]</sup>;密植人工林因冠层相互遮蔽降温效应不均,需提高空间分辨率或辅以地面热电偶校验。

### 3.3 高光谱精细诊断及虫害取食程度划分

高光谱成像仪可获取400~1000纳米连续数百个窄波段反射率曲线,能够识别特定色素、次生代谢产物及叶片内部结构的微小变化。针对舞毒蛾、蜀柏毒蛾、松毛虫等食叶害虫不同龄期取食造成的叶片残缺、叶绿素部分丧失、单宁含量上升,可构建基于连续去除法的吸收特征深度、面积参量或波段深度比值建立危害等级判别函数。高光谱数据量大,需降维处理提取有效分量输入支持向量机或卷积神经网络分类器。虽然目前轻量化高光谱载荷价格仍高于多光谱仪,但其可提供最接近生化组分层面的诊断信息,是精细化林业有害生物遥感的发展方向。

### 3.4 害情动态监测与防治效果评估

按季度或虫害发生关键期对同一林分重复航飞,堆叠时间序列多光谱/热红外数据集,绘制害情扩散前沿及受害株数变化曲线。飞机喷雾、地面打孔注药、天敌释放等防治作业实施后两至三周复查,对比处理区与健康参照区光谱及温度指标差值,计算防治有效率。若有效率低于验收阈值需补施措施。动态监测还能发现新入侵点或残留虫源地,指导次年监测重点区域布

控。所有航飞原始影像、辐射校正参数、地面验证GPS点、判读结果图件应按小班编号归档,形成可追溯的电子害情档案。

#### 4 无人机遥感技术在应用中存在问题及发展对策

##### 4.1 现存技术瓶颈

多数消费级及入门工业级旋翼无人机单块智能电池续航在30min以内,扣除起飞降落及航线转弯冗余,有效作业时间不足20min,单架次覆盖森林面积约零点三至零点五平方公里,大面积调查需频繁换电池及导入新航点,降低外业效率。小型LiDAR及多光谱传感器幅宽窄、点云密度受飞行高度限制,密林下地面点提取需滤波算法优化,陡坡背阴面易产生点云空洞。高光谱数据立方体带来海量存储及处理压力,现场缺乏实时解译软件,多需返室后离线分析,延缓害情预警反馈。不同厂商传感器辐射定标标准不一,跨机型数据融合存在难度。

##### 4.2 行业标准及人才短板

截至目前,国家林草局尚未颁布专门针对林业无人机调查的行业标准,各地操作规范自行拟定,航高、重叠度、像控点密度、分类阈值设定差异大,成果可比性差。基层林业站技术人员多为农林专业出身,对摄影测量、辐射传输模型、点云滤波算法理解有限,设备操作及数据解译过度依赖厂家技术支持,易出现参数误设、成果解读偏差。部分单位重购置轻培训,飞机闲置或仅作可见光巡护用途,未发挥多光谱及LiDAR潜能。

##### 4.3 发展对策分析

研发长航时氢燃料电池或油电混合动力垂直起降固定翼平台,将单架次作业时长延伸至两小时以上,匹配百平方公里级连片林区一天内完成正射及多光谱覆盖。推广轻量化全波形小型LiDAR配合多光谱组合吊舱,同步获取结构+光谱信息,通过波形分解分离多层植被回波,改善下层灌木及幼苗探测能力。构建区域松类、杉类、硬阔、软阔等典型林分生长期光谱库及病虫害光谱特征库,采用迁移学习策略解决不同地区同种害虫光谱差异问题。推动制定林业无人机资源调查技术及有害生物监测技术等方面的标准,明确航摄参数、控制点布设密度、辐射定标要求、解译精度检验方法及成果图式。加强省、市、县三级林业

技术骨干无人机操作及Pix4D、ENVI等后处理软件培训,建立飞手、分析师、营林工程师结合的三人作业小组编制入调查设计预算。探索低轨卫星普查发现异常斑块、无人机详查定位单木受害点、地面取样确诊种类的天地一体化协同监测模式,最大化各平台比较优势。

#### 5 结语

无人机遥感技术凭借低空高分辨率成像、多载荷适配性及灵活机动特性,正在改变传统林业资源调查与病虫害防治的作业范式。通过激光雷达点云计算林分垂直结构参数并耦合地面样地数据建模,可大比例尺估测森林蓄积量与生物量空间分布;通过多光谱植被指数漂移、热红外冠层升温及高光谱吸收特征诊断,能在肉眼症状显现前识别林木健康异常,实现林业有害生物早期预警与防治效果定量评估。未来需从硬件续航突破、多源数据融合、区域光谱数据库共建、行业技术规范出台及人才梯队培育多维度同步推进,促使无人机遥感从科研项目走向常态化生产工具,为森林资源监管、灾害防控及碳中和计量提供高精度时空数据支撑。

#### [参考文献]

- [1]刘彤.林业病虫害防治中遥感图斑和无人机技术的应用[J].中国林副特产,2026(1):99-100.
- [2]唐代静.无人机遥感技术在林业资源调查中的应用探讨[J].林业科技情报,2025,57(3):79-81.
- [3]靳丽丽,赵靖暄,李娜.无人机与地理信息系统技术在林业资源管理中的应用[J].安徽农学通报,2025,31(24):124-127.
- [4]王涛.基于无人机遥感的林业工程资源监测新方法[J].中文信息,2026(3):37-38.
- [5]白兴金.林业巡护路径规划与病虫害防治策略优化研究[J].农业科技与发展,2025,4(7).

#### 作者简介:

张琼(1981—),女,汉族,云南会泽人,本科,工程师,研究方向:荒漠化(石漠化)防治。