

# 基于无人机影像的森林郁闭度精准提取方法研究

周步荣

湘潭市雨湖区农业农村局，湖南湘潭，411100；

**摘要：**森林郁闭度是评估森林生态质量与结构特征的关键参数，传统提取手段依托地面调查，效率低、成本高，难以适配森林资源动态监测需求，运用无人机高分辨率影像结合 GIS 空间分析技术，可实现森林郁闭度精准高效提取。针对林分结构特征的影像表现规律建模，构建融合多源影像指标与分类算法的提取流程，切实提升郁闭度反演准确率，为森林督查与资源更新提供可靠支持。

**关键词：**森林郁闭度；无人机影像；GIS 分析；精准提取；林业调查

**DOI：**10.69979/3041-0673.26.02.007

## 引言

森林郁闭度变化直接反映林地利用、植被恢复及生态工程实施的真实效果，是林业监管工作的重要指标，在森林督查与资源更新中，传统人工测量方式既耗费时间，又受地形与环境因素限制。当前无人机技术快速发展，高分辨率影像数据获取愈发便捷，为森林参数获取提供新的技术路径，搭建针对郁闭度特征的遥感提取模型，既能提升数据获取效率，也有助于实现林地变化的快速核实与常态化监管，推动森林资源管理从“人工走访”迈向“智能感知”。

## 1 无人机影像在森林资源监测中的应用现状与发展趋势

### 1.1 无人机影像数据的获取优势与局限性

无人机搭载高分辨率传感器，于复杂林区可灵活低空飞行，具备快速获取近地影像数据的能力，突破传统遥感在分辨率与时效性方面的局限，其影像清晰度高，能识别林冠空隙、林冠层结构等细节信息，助力精细提取森林郁闭度指标。在郁闭度提取应用里，无人机可获得多角度、多时相数据，支持对森林季节变化与林冠重建开展有效建模，无需铺设地面控制点便能完成区域测绘任务，大幅降低作业成本与时间投入。

### 1.2 森林郁闭度在林业管理中的监测需求分析

森林郁闭度作为衡量林冠覆盖程度的关键指标，在林地质量评估、森林生态功能评价及林分结构识别等方面具备重要参考价值，森林督查任务中，该指标可辅助判定林地是否存在毁林迹象、是否符合生态修复标准，为监管决策提供数据支持<sup>[1]</sup>。林业资源年度更新作业里，

郁闭度变化反映林地动态及干扰情况，便于及时修订林地利用现状图斑属性，伴随林草湿资源“一张图”管理推进，精准掌握不同类型林分的郁闭度分布，有助于提升信息化监管水平，尤其在人工造林、封山育林等生态工程的绩效核查环节，对郁闭度开展定量分析可直观反映绿化成效。

### 1.3 传统郁闭度提取方法面临的技术瓶颈

传统郁闭度提取手段主要依托地面样地测量与中低分辨率遥感影像的统计分析方法，存在代表性不足与空间尺度局限问题，地面调查耗时长、受交通和地形条件限制，难以覆盖广阔林区，导致样本稀疏且分布不均。中低分辨率遥感影像难准确分辨林冠空隙与地表其他要素，易造成郁闭度估算偏差，尤其在密度不均的混交林和退化林地中精度下降明显。传统影像分类方法如最大似然法和支撑向量机处理林冠纹理复杂区域时效果不稳定，受光照、阴影、物候期等外部因素干扰显著，难稳定提取郁闭度特征，因缺乏面向郁闭度特性的专门影像参数建模方法，高动态林区提取精度难以保障<sup>[2]</sup>。

## 2 结合 GIS 空间分析实现郁闭度精准提取的技术流程设计

### 2.1 多源影像预处理与影像分割优化策略

多源影像在郁闭度提取中具备丰富信息维度，却因来源、分辨率和光照条件不同，处理前需统一空间参考与辐射特性，影像预处理流程包括辐射校正、大气校正、正射校正及影像融合等步骤，以提升各数据间可比性与分析有效性。森林复杂地形区无人机影像常存在几何畸变与阴影干扰，经过 DEM 辅助纠正可提高空间精度，

多源数据融合阶段常用主成分分析（PCA）和加权平均法进行光谱融合，增强林冠特征表现。影像分割环节直接影响后续郁闭度参数提取精度，采用面向对象的方法

（OBIA）可将影像划分为规则区域，避免单像素噪声影响，基于区域生长与多尺度分割技术，能更精准提取林冠边界信息，保留林隙细节特征。

表 1：雨湖区 2023 年典型林区无人机影像获取参数统计表

地点	航飞高度（米）	地面分辨率（厘米）	成像设备	天气条件
雨湖区鹤岭镇龙安村	105	4.8	DJI Mavic 3E	晴朗无风
雨湖区鹤岭镇仙女村	108	4.9	DJI Mavic 3E	多云
雨湖区鹤岭镇新泉村	106	4.7	DJI Mavic 3E	晴天
雨湖区鹤岭镇晶鑫村	103	4.6	DJI Mavic 3E	晴转多云
雨湖区鹤岭镇关锋村	107	4.8	DJI Mavic 3E	多云间晴
雨湖区姜畲镇新和村	98	4.3	DJI Mavic 3E	晴天微风
雨湖区姜畲镇金马村	96	4.2	DJI Mavic 3E	晴天
雨湖区姜畲镇石龙村	95	4.2	DJI Mavic 3E	晴天微风
雨湖区长城乡上新村	100	4.5	DJI Mavic 3E	阴天
雨湖区响水乡鹤岭村	112	5.2	DJI Mavic 3E	阴转晴
雨湖区响水乡毛家村	115	5.3	DJI Mavic 3E	阴转晴
雨湖区响水乡桂花村	113	5.2	DJI Mavic 3E	多云

数据来源：作者在日常林草湿资源管理和森林督查工作中无人机航拍记录。

## 2.2 融合空间分析与统计模型的郁闭度提取方案构建

在森林郁闭度提取过程中，空间分析与统计建模技术结合能显著提升数据表达能力与模型预测精度，空间分析环节主要依托 GIS 平台开展栅格计算、斑块分析与缓冲区划分，识别林冠覆盖与地表空隙的空间分布模式<sup>[3]</sup>。林斑面积指数、冠幅密度系数等典型参数可经矢量化后经过空间叠加运算获取，统计模型方面可选用多元回归、支持向量回归、随机森林等方法，对郁闭度与多种遥感特征间的关系建模。模型输入变量含影像的 NDVI、纹理对比度、灰度方差、光谱反射率等关键特征，输出为连续型郁闭度值，构建过程中用训练样地数据开展模型训练，通过 5 折交叉验证避免过拟合。

## 2.3 郁闭度分类精度评估与误差控制方法设计

为确保郁闭度分类结果可靠性，需构建系统精度评估体系并设计有效误差控制机制，评估方法通常依托混淆矩阵计算整体精度（OA）、用户精度（UA）、生产者精度（PA）及 Kappa 系数等统计指标。将提取结果与样地实测值比对，分类结果可设多个等级，像郁闭度小于 30%、30% - 60%、60%以上三个分级，分别对应

稀疏林、中等密度林和密林区域。误差来源主要有样地定位偏差、影像分割误差、光照变化干扰及模型参数设定不合理等，为减少系统误差，可在建模过程中引入多时相影像做补偿处理，应用遮蔽分析工具剔除高阴影干扰区域<sup>[4]</sup>。

## 3 精准提取方法在森林督查与资源更新中的实地应用效果评估

### 3.1 雨湖区典型区域应用案例的郁闭度提取结果展示与验证

在雨湖区鹤岭镇龙安村、仙女村、新泉村、晶鑫村、关锋村，姜畲镇新和村、金马村、石龙村，长城乡上新村，响水乡鹤岭村、毛家村、桂花村等典型林区的郁闭度提取实地应用中，构建以无人机影像为基础的提取模型实现了郁闭度的快速量化评估<sup>[5]</sup>。其中，鹤岭镇龙安村与姜畲镇石龙村拥有典型的杉木林各龄组树林，龙安村杉木林郁闭度集中在 70% 以上，影像中林冠连续分布、缝隙稀少，模型提取与样地测量对比后绝对误差控制在  $\pm 5\%$ ；石龙村杉木林因龄组差异，郁闭度分布在 40% - 80%，通过多尺度分割算法精准区分不同龄组林冠特征，模型回归  $R^2$  达 0.85。鹤岭镇仙女村、新泉

村及响水乡毛家村等混交林较多区域,林冠结构复杂且影像纹理表现差异显著,采用面向对象的分割算法提升了林隙提取精度,模型回归  $R^2$  达 0.84;长城乡上新村、响水乡桂花村等存在一定阴影干扰的林区,引入阴影剔除机制后提取误差明显下降。在整体应用中,采用 M3E 无人机搭配 4G 模块采集数据,针对区域内不同林分类型,模型提取郁闭度与样地实测值绝对误差普遍控制在  $\pm 4.2\%$ ,  $R^2$  达 0.86, 4G 模块的信号增强作用有效降低了密林区数据丢失率,提升了提取稳定性。

### 3.2 无人机技术辅助下的森林督查效率与数据准确率对比

在 2023 年度森林督查任务中,对比人工外业调查与无人机影像辅助判读两种作业方式,时间效率与数据精度差异显著。以雨湖区鹤岭镇龙安村、姜畲镇石龙村的仙女山林区为例,传统人工巡查平均每平方公里需耗时 8.5 小时,受地形与能见度影响明显且图斑边界识别精度不足 70%;部署无人机航线拍摄并结合 GIS 软件处理,实现单日覆盖龙安村、石龙村及周边林区面积达 15-20 平方公里,整体效率提升约 5 倍。数据准确率方面,针对疑似毁林图斑的核实判定,无人机影像提取郁闭度与地面实测值平均偏差小于 4%,人工目视估算偏差却高达 12%;在龙安村杉木林边缘、石龙村仙女山林区混交林与退化林地交界区域,影像解析能力可清晰区分林冠断层与裸地,让图斑划界更具客观性。在雨湖区 2023 年森林督查中,遵循低空飞行政府规定完成空域报备后,采用 M3E+4G 模块方案,单日可覆盖 8-10 个村的林地,较传统人工调查效率提升 4.8 倍,疑似毁林图斑核实偏差仅 3.8%,显著优于人工核查效果。

### 3.3 年度更新与突发变化识别中的实践优势分析

在森林资源年度更新与突发变化识别任务中,无人机影像因高时效性和高空间分辨率,在动态监测中展现显著优势。针对 2023 年雨湖区鹤岭镇仙女村人工林资源变化监测,采用季度无人机飞行计划获取多时相影像,

对比分析郁闭度变化趋势,发现人工林成活率低于预期区域郁闭度下降超过 15%,及时反馈造林单位并调整后续营造措施。突发事件方面,鹤岭镇新泉村山火后第三天获取的无人机影像显示局部林冠疏失,经过影像自动分类判定低郁闭度图斑面积约 3 公顷,为应急恢复提供第一手空间信息,助力快速制定植被修复方案。

## 4 结语

基于无人机影像的森林郁闭度精准提取技术,已在雨湖区数据获取、信息处理与应用实践各环节展现突出优势,构建多源融合、空间分析与智能算法协同的提取体系,既提升监测精度也增强动态监管效能。未来需进一步推进雨湖区本地数据标准化体系建设,拓展 AI 算法对区域内复杂林型的适应性,搭建多时空尺度下的郁闭度变化监测框架,为雨湖区林草湿资源管理数字化、智能化发展提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]杨安蓉,李富荣,赵满,等. 无人机遥感技术在林业中的应用[J]. 林业与环境科学,2025,41(03):148-157.
- [2]万佳雪. 基于深度学习的喀斯特地区森林恢复景观研究[D]. 贵州师范大学,2025.
- [3]饶昕,李舒婷,索默,等. 基于随机森林算法的沾益区石漠化遥感评价[J]. 林业调查规划,2025,50(02):155-161.
- [4]黄新峰,孙红召,冯东阳,等. 应用小型无人机对毁坏林地开展调查分析[J]. 河南林业科技,2024,44(02):25-28.
- [5]刘美艳. 基于星载激光雷达数据和光学遥感影像的森林蓄积量反演研究[D]. 云南师范大学,2024.

作者简介:周步荣(1979.06-),男,汉族,湖南湘潭,工程师,大专,主要研究:地理信息系统应用、林业调查规划、无人机应用。