

浙南山区林业生产中智能设备的应用与效能研究

杨周祥¹ 潘贺威¹ 郑长永²

1.瑞安市自然资源和规划局 浙江 瑞安 325200

2.瑞安市永兴园林绿化工程有限公司 浙江 瑞安 325200

【摘要】：浙南山区林地坡陡谷深、分布零散，林业生产长期受地形制约，人工依赖程度高、作业效率偏低，传统方式难以适应精细化经营要求。针对采集监测滞后、作业调度粗放、设备利用率偏低等问题，可通过无人机巡查、智能传感监测、轻型机械辅助作业和数字化管理平台协同应用，形成林地信息采集、生产作业安排、资源管护反馈的闭环流程。智能设备的合理配置能够有效减少人工投入，提升病虫害识别、资源监测、采伐运输和安全监管等环节的效率，从而推动浙南山区林业生产向精准、高效、可控的方向发展。

【关键词】：浙南山区；林业生产；智能设备；智慧林业；效能评价

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.072

引言

浙南地区主要包含温州、台州、丽水三市，地形以山地为主，森林资源丰富，但地形起伏显著，林地分布零散，传统林业生产长期受道路通达性、劳动力供给结构和作业安全条件等因素制约。人工巡护、经验判断和分散管理虽然具有一定适应性，但在资源监测、病虫害预警、生产调度和作业质量控制方面容易出现滞后。智能设备的引入正在逐步改变山区林业依赖人工经验的传统模式，无人机、智能传感器、轻型机械和数字化管理平台已在局部环节展现出替代或辅助人工的潜力。文章围绕设备应用场景、现实障碍、推广路径和实际效能进行系统梳理，以期形成更契合山区实际的林业生产智能化方案提供参考。

1 浙南山区林业生产条件及设备应用基础

1.1 山地林区地形特征

浙南山区地势起伏显著，坡度普遍大于 25° ，部分区域存在悬崖和峡谷，林地呈碎片化分布，导致交通通达性差、机械作业难度高。瑞安市“七山二水一分田”，地属东南沿海丘陵地区，全市林地面积101.7万亩，坡度小于 25° 的林地仅2万余亩，森林面积96.59万亩，森林覆盖率48%，主要植被为暖性针叶林、阔叶林、针阔混交林、竹林、经济林和灌草。遂昌县森林面积318.11万亩，森林覆盖率高达83.51%，被誉为“浙南林海”。泰顺县“九山半水半分田”，林地面积198.9万亩，森林覆盖率76.88%，竹林面积约23.3万亩，立竹量5700多万株。然而，山高路远一直是阻碍当地林业产业发展的主要瓶颈。土壤类型多样，岩石裸露与红壤、黄壤混杂，水文条件复杂，季节性降雨易引发滑坡和水土流失。山地微气候差异明显，局部湿度、温度和光照条件变化迅速，对林木生长和病虫害发生具有直接影响。这些地形与环境特征对林业生产设备提出了严格要求：须具备陡坡适应能力、抗倾覆稳定性、复杂土壤通过性，同时兼顾作业安全与机动灵活，这也为智能化装备的应用

设定了较高的技术门槛。

1.2 林业生产作业需求

浙南山区林业生产涵盖育苗、造林、抚育、监测及采伐运输等环节，对作业效率和精准管理提出了高标准要求^[1]。林区分散、坡度陡、林木结构复杂，传统人工作业不仅效率偏低，数据采集也相对滞后，资源管护往往缺乏科学依据。生产活动需要实时掌握林地信息、病虫害分布、土壤湿度及作业进度，形成决策支持。高精度监测、快速调度和多环节协同作业成为迫切需求，同时要求设备能够在复杂地形中完成高可靠性作业，保证林木生长周期管理、作业安全及资源利用效率的持续提升。

1.3 智能设备应用场景

智能设备在浙南山区林业生产中应用涵盖信息采集、作业执行和管理优化。无人机可执行林区高精度航拍与巡查吊运、兼具病虫害识别、林木长势监测及火险预警等功能。例如，在泰顺县，26个无人机巢已实现每周2次高频巡检，并借助多光谱传感器精准识别竹林长势与病虫害风险。传感器网络布设于林地，可实时采集土壤湿度、温度和微气候数据，为精准施肥、灌溉和林木抚育提供依据，如油茶、林下种植基地应用智能喷滴灌系统。轻型机械和坡地专用作业设备能够高效完成采伐、搬运及整地作业，同时与数字化管理平台联动，实现作业调度、资源分配和效能分析的初步闭环。

2 智能设备融入林业生产的主要障碍

2.1 复杂地形限制设备运行

浙南山区坡面落差较大、林道普遍狭窄、作业地块破碎，智能机械在转向、爬坡、制动和载重运输等操作中容易受到明显限制。部分林地存在松散土层、湿滑地表和岩石裸露区，设备底盘稳定性、动力输出和通过能力难以保持一致。无人机飞行也会到受山谷气流、树冠遮挡和信号衰减影响，干扰航线精度和图像质量。低碳高效生产要求设备减少无效运行，但复杂

地形增加了能耗、磨损和维护频率，削弱了智能设备连续作业能力。

2.2 数据采集缺乏连续性

山区林地分布分散，传感器布设密度不足，监测点之间容易形成信息空白，导致土壤湿度、林木长势、病虫害变化等数据难以连续记录^[2]。山体遮挡、网络覆盖不足和电源保障不稳定，会造成数据传输延迟、中断或丢失。无人机巡查虽然能够快速获取影像，但受天气、续航和起降条件影响，难以形成固定周期的数据更新。精准经营需要长期、稳定、可比的数据支撑，数据链条断续会影响生产经营判断和设备调度。

2.3 设备配置和人员技能不匹配

部分智能设备选型偏重通用性，未能充分适配浙南山区坡陡、地碎、树种多样的经营实际，易致设备闲置与效能损耗。同时，数字平台、无人机、传感系统及机械装备间接口不统一，数据互通困难，协同作业受阻。基层操作人员在参数设置、故障诊断、数据判读及平台应用等方面能力欠缺，设备多局限于单一功能，综合效益难以释放。绿色高效经营有赖于设备、数据与管理三要素的协同并进，当前技能短板已成为制约智能化投入转化为实际效能的核心瓶颈。

3 山地适配型智能设备应用路径

3.1 轻型机械提升坡地作业能力

轻型机械在浙南山区林业生产中应突出小型化、低扰动和高通过性特征，以适配坡地林道狭窄、作业地块分散、林班破碎等现实生产条件。在坡地整地、抚育除草、枝条清理和短距离运输等环节，可优先配置履带式轻型装备、遥控割灌设备和小型集材机械，旨在降低陡坡环境下的人工劳动负荷。设备底盘需增强防滑、减震和重心稳定设计，作业部件应具备可调节角度和模块化更换能力，满足不同坡度、树种密度和林下植被条件。以龙泉市部分竹林抚育作业为例，遥控割灌设备被用于林道两侧和缓坡竹林清杂作业后，人工作业主要转向边角修整和设备转场，使得重体力劳动强度显著下降，作业安全风险也随之降低。低碳生产理念要求机械运行减少土壤压实和林地扰动，因此作业路线可结合数字地形数据进行规划，避开水土流失敏感区和幼苗集中区。设备运行过程中可嵌入定位、载荷监测和能耗记录功能，实时掌握作业强度、机械状态和燃料消耗，减少重复作业和无效移动。轻型机械与林区运输节点、临时堆放点和作业班组调度相衔接，可提升坡地采运、抚育和管护效率，使智能设备更适合浙南山区林业生产的精细化需求。

3.2 无人机强化巡查监测精度

无人机应用应从单次航拍向周期化、网格化和智能识别方向转型，以增强浙南山区林业资源监测的精度和时效性。航线设计可依据坡向、海拔、林分密度和通信条件进行分区设置，保证山脊、沟谷、林缘和高风险地块均能获得清晰影像。搭载

高清相机、多光谱相机和热成像设备后，无人机可识别林木长势差异、病虫害早期迹象、火险隐患和非法破坏痕迹，弥补人工巡护范围有限、到达困难和判断滞后的不足^[3]。例如，在庆元县松材线虫病疑似枯死木排查工作中，工作人员可将无人机航拍影像与历年小班图斑进行叠加，精准标注树冠变色、枯黄斑块和道路边缘异常点，再由地面人员进行定点核查，使巡查路线从全面踏查转变为重点核查。复杂山地环境中，起降点应结合林道节点和开阔地布设，飞行高度、重叠率和返航路径需根据地形变化动态调整，降低树冠遮挡和山谷气流对数据质量的影响。无人机获取的影像数据可被接入林业管理平台，通过图像拼接、变化比对和异常标记处理后形成可视化图层，为抚育安排、灾害处置和资源核查提供依据。

3.3 传感设备完善林地动态感知

传感设备布设应服务于浙南山区林地环境的连续监测和精准管理，重点覆盖土壤水分、空气温湿度、光照强度、风速风向、虫情变化和火险因子。传感节点可按照坡位、林分类型、海拔梯度和经营强度分层布设，避免监测数据集中于交通便利区域而忽略偏远林地。供电方式可采用太阳能供电、低功耗芯片和休眠采集机制，提升长期运行稳定性；通信方式可结合窄带物联网、边缘网关和离线缓存，缓解山体遮挡造成的数据中断。传感数据进入数字平台后，可形成林地环境变化曲线和风险预警阈值，为灌溉补水、抚育调整、病虫害防控和森林防火提供量化依据。

4 数字化协同管理驱动生产效能提升

4.1 生产数据统一采集

数字化管理要求对浙南山区林业生产的各类数据进行集中、结构化采集，涵盖土壤湿度、林木长势、病虫害分布、作业进度和机械运行状态。传感器、无人机、高精度 GPS 定位设备以及林业作业机械的数据接口需统一接入平台，实现多源异构数据融合。数据采集频率和精度应根据林地坡度、植被密度和季节性需求进行动态调整，以确保关键节点的监测连续性。边缘计算技术可在节点端预处理数据，过滤冗余信息，提升传输效率，并通过安全协议保证数据完整性和可靠性。集中数据管理有助于生成林分电子档案，支持纵向对比和横向分析，为精准调度、作业评估和资源优化提供量化依据，最终形成信息驱动型林业生产体系。

4.2 作业任务精准调度

作业任务调度依托数字平台，依据林地信息、设备状态与作业优先级实施动态分配。坡地机械、运输设备及巡查无人机可由系统自动规划路径与作业时序，结合实时环境数据与历史记录生成最优班次，确保人机高效协同，减少重复作业。以病虫害高发期为例，平台依据无人机识别结果对异常小班进行风险排序，结合路网条件统筹核查与防治安排，避免盲目巡山。

智能算法亦可针对突发状况动态调整优先级与路线，并同步记录作业轨迹与耗时产出，为后续改进提供依据。通过对比计划与执行情况，管理者可系统分析设备利用率、人员到位率及响应时效，推动作业计划向精准化、可追溯、可优化方向持续提升^[4]。

4.3 资源管护闭环反馈

闭环反馈机制通过数字平台将采集的林地信息、作业进度和生态状态数据进行整合，形成资源管护全流程跟踪体系。林木长势异常、病虫害扩散或土壤湿度偏离预警阈值时，系统自动生成反馈指令，调动机械、无人机和人工巡查资源进行及时处理。作业结果、管护效果及环境指标实时回传平台，用于验证任务完成情况和资源管理成效，并对下一步作业提供优化依据。以防火管护为例，热成像无人机发现高温异常点后，平台可同步记录位置、时间、影像和处置人员反馈，形成从发现、核查、处置到复盘的完整链条。闭环数据可支持林业管理决策模型进行迭代更新，提高防控精度、抚育效率和生产资源利用率，推动浙南山区林业生产由单一执行模式向智能管理模式转型，切实保障山区林业生产链条的连续性、科学性与效能最优化。

5 智能设备应用效能评价及优化方向

5.1 作业效率提升评价

作业效率评价应选取智能设备投入前后的单位面积作业时间、设备有效运行率、任务完成周期和作业质量稳定性作为核心指标。鉴于浙南山区林地分散、坡度变化大，单纯比较作业速度难以反映真实效能，因此还需纳入转场时间、空载运行距离、设备故障停机时长和返工作业比例等辅助指标。从实际应用来看，无人机吊运效率提升效果显著：泰顺县50吨毛竹运输时间由传统人工的15天压缩至3天；龙泉市一台无人机每次运载量约100公斤，6个多小时即可将9880公斤毛竹运下山，几乎是过去半个月的运输量；遂昌县无人机日均吊运量接近10吨，效率是人工运输的10多倍。轻型机械在投入整地、

抚育和运输作业后，可依据定位轨迹、油耗记录、作业面积和作业深度等数据综合评估其运行效率；无人机巡查可依据航拍覆盖率、异常识别准确率和巡查周期缩短幅度评价监测成效；传感设备可通过数据更新频次和预警响应时间衡量管护效率。评价过程应突出绿色低碳导向，将能源消耗、土壤扰动和重复作业减少量纳入考量，使效率提升不局限于速度增长，而是体现精准作业、资源节约和安全管控同步改善。

5.2 山区林业精准经营优化

山区林业精准经营优化应以林地差异化管理、资源高效配置和生态友好生产为重点^[5]。由于浙南山区林分类型、坡位条件、土壤水分和病虫害风险存在明显差异，统一化作业容易造成资源投入不足或过度干预。智能设备采集的影像、环境和作业数据可建立林地分区管理单元，按照林木长势、生态敏感程度和经营目标确定不同作业强度。数字平台可将设备运行数据、林木生长数据和管护结果进行关联分析，形成可追踪的经营档案，为抚育频次、采运路线、病虫害防控和防火布点提供依据。从实践成效看，瑞安市已初步建成“空天地”一体化智慧监测网，投用512个高位林火监控探头，依托“森防智眼”平台实现火点自动识别、精准预警，同时4座无人机巢常态化运行，负责重点区域加密巡检，该体系已通过预警机制处置15074起火灾隐患，实现信息传递零延误、应急处置零失误，推动森林防火从“人盯人”向“云盯林”转变。强化绿色发展理念，严控粗放采伐与盲目施肥。依托设备适配、数据联动与评价反馈，推动生产从经验判断向数据决策转型，全面提升林地效能与生态稳定性。

6 结语

智能设备在浙南山区林业生产中能够有效提升作业效率、降低人工成本，且支撑精准经营目标的实现。多类型设备协同、数据集成和数字化管理能够适应复杂地形、分散林地和动态环境，实现生产全过程的精细化调控，推动林业生产向高效、智能和可持续方向发展，为山区林业现代化提供技术支撑。

参考文献：

- [1] 刘奕宇,许一洲,施雄健,等.浙南山区一次冬末冰雹过程的诊断分析[J].农业灾害研究,2025,15(9):226-228.
- [2] 张传华,王景凯,张明霞,等.生态背景下日照市林业生产经营可持续发展策略[J].南方农业,2025,19(10):132-134.
- [3] 张金富.林业生产技术与管理模式创新研究[J].林业科技情报,2025,57(2):98-100.
- [4] 胡理明,裘丞军,张航俊,等.浙南山区肉用牛羊肝脏中药物残留、重金属蓄积现状及成因探究[J].食品安全质量检测学报,2024,15(15):294-300.
- [5] 刘春龙,胡亦鹤,周传武.浙南山区公路承灾体自然灾害分布特征及防治研究[J].公路,2023,68(12):328-336.