

RTK 无人机在长江堤岸防护林全周期管理中的应用研究

何 毅

安徽省无为大堤长江河道管理局 安徽 芜湖 241000

摘 要: 长江堤岸防护林是堤防工程的重要生物屏障,传统人工巡查效率低、隐患发现滞后、台账精度不足。本文研究 RTK 无人机技术,将倾斜摄影与三维实景建模融入防护林全周期管理,并在长江无为大堤实例验证。结果表明,该技术提升调查效率数倍,面积提取精度超 98%,树高测量误差小于 5%,有效补齐传统管理短板,为堤防生态屏障与护岸林精细化管理提供可推广路径。

关键词: RTK 无人机; Pix4D; 长江堤岸防护林; 全周期管理

引言

长江堤岸防护林是长江堤防防洪体系与岸线生态保护的核心屏障^[1],对稳固堤体、抵御水患、修复沿江生态具有关键作用。当前传统人工管护模式受复杂地形、作业范围等限制,存在效率低、精度差、预警滞后等诸多短板,难以适配精细化、全周期管护需求。本文依托 RTK 无人机与 Pix4D 建模技术,探究其在防护林规划营造、日常管护、采伐更新全流程的应用效果,为堤防林地智慧化、精细化管理提供技术参考。

1 长江堤岸防护林管理现状

1.1 长江堤岸防护林的重要性

长江堤岸防护林是长江干堤防洪体系中关键的生物防护工程,对保障堤防安全具有不可替代的作用体现在三个方面^[2]:一是通过发达根系固结堤坡土体,增强岸坡抗剪强度,有效防止边坡坍塌与水土流失;二是消减波浪能量、减缓水流冲刷速度,降低汛期水流对堤脚、岸滩的侵蚀破坏;三是构建沿岸生态缓冲带,改善堤防沿线生境,提升岸线生态系统的稳定性与抗干扰能力。在长江中下游等重点堤防区域,长江堤岸防护林的规模与质量直接关系堤防工程的防洪安全标准,是堤防工程运行管护中不可忽视的核心内容。

1.2 传统长江堤岸防护林管理存在的问题

受堤岸防护林自身形态与现场条件制约,传统人工管理模式存在诸多难以突破的短板^[3]:一是林地多呈狭长线性分布,途经滩涂、边坡、村庄等复杂地形,人员通行难度大,人工实地调查耗时久、成本高,常态化全覆盖巡查难以实现;二是林木病虫害、火情隐患及生长状况的监测依赖人工徒步排查,发现周期长、预警滞

后,往往在病害扩散、火情显现后才能处置,管护时效性不足;三是林木数量、空间分布、蓄积量等资源台账多依靠人工统计估算,数据精度低、更新慢,难以支撑精细化的资源管理与更新规划。

2 技术与长江堤岸防护林管理适配性分析

RTK(实时动态差分定位)无人机是搭载卫星差分定位模块的低空遥感平台,其技术特性高度适配堤防林地管理场景^[4]:一是具备厘米级空间定位精度,航飞影像自带高精度位置信息,可大幅减少地面像控点布设数量,降低外业工作量;二是机动灵活,可在堤防、坡面等复杂地形开展低空作业,不受通行条件限制,覆盖人工难以到达的区域;三是支持预设航线自动飞行,可沿堤防走向规划带状航飞路线,飞行高度、速度、拍摄间隔均可精准控制,数据采集稳定性与一致性强,适合定期重复监测。利用专业的摄影测量与三维建模软件,例如 Pix4Dmapper 等,可对 RTK 无人机采集的多视角影像进行自动化处理,形成支撑林地管理的多维度成果:一是通过智能空中三角测量与点云加密,生成数字正射影像(DOM)、数字表面模型(DSM)及高精度三维点云,完整还原林地的地形与空间形态;二是具备地物参数提取能力,可基于点云与影像数据自动提取树高、冠幅、郁闭度、地表起伏度等关键指标,为林地资源量化分析提供数据支撑;三是支持后续多光谱影像处理,可计算各类植被指数,实现林木生长状态的量化评估。

3 长江堤岸防护林全周期管理应用

3.1 规划与营造阶段

3.1.1 造林地调查与苗木数量测算

在护岸林营造前期,利用 RTK 无人机采集规划区

域的影像数据,通过 Pix4D 生成正射影像与数字表面模型,精准提取可造林空地的边界范围与实际面积,规避人工丈量中地形起伏导致的面积误差。还可以结合 DSM 提取的坡度、坡向数据,以及多光谱影像反演的土壤湿度分布,综合研判立地条件^[5],筛选适配的耐水湿、固土能力强的护岸林树种。在此基础上,按照设计株行距标准,精准推算造林区域内的幼苗总需求量,为苗木采购与施工组织提供量化依据,有效减少人工估算造成的苗木过剩或缺口问题。

3.1.2 树种选择与配置优化

通过无人机正射影像可快速识别造林区域内的低洼积水区、沙土区、黏土区等不同立地类型,结合长江堤岸防护林的防护功能需求进行差异化树种配置:迎水坡及边滩区域优先配置耐水湿、抗冲刷的树种,发挥防冲固岸作用;背水坡配置耐旱、固土能力强的树种,提升边坡稳定性。同时根据地形条带分布,优化带状、块状混交结构,避免单一树种大面积分布带来的病虫害风险,构建结构更合理、防护功能更稳定的护岸林体系。

3.2 管护阶段

3.2.1 病虫害快速定位与类型识别

无人机搭载高分辨率可见光相机是林业病虫害监测的主流技术,可获取林区航拍影像,依据受害林木叶片变色枯萎、树冠稀疏、枝干损伤等特征,结合图像处理技术快速定位病虫害区域。现有研究显示,基于 YOLOv5l 模型的松材线虫病疫木识别准确率达 92.29%^[6],单木树冠提取方法可解决树冠粘连问题^[7],可为病虫害类型识别提供技术支撑。

3.2.2 防火巡查与隐患发现

针对堤防林地防火需求,规划沿堤防走向的线状巡航航线,利用无人机开展常态化防火巡查。搭载可见光相机的无人机可快速识别林地内的枯枝堆积、易燃杂物等火情隐患;搭载热成像传感器可在可见光条件不佳的清晨、傍晚甚至夜间识别温度异常区域,提前发现隐患火点。无人机巡查不受地面地形阻碍,可大幅提升巡查频次与覆盖范围,替代高风险、低效率的人工徒步巡查,尤其适合秋冬季长距离堤防林带的日常防火管控。

3.2.3 生长监测与管护效果评估

按季度或年度开展定期航测,生成多期正射影像与三维模型,通过时空叠加对比,定量分析林木树高、冠幅、郁闭度的动态变化,以此评估林木抚育、补植作业的实际效果。同时将每期监测数据同步更新至林地管理台账,替代传统静态统计方式,实现林木资源数据的动

态更新,为后续管护计划制定、抚育效果考核提供客观的数据支撑。

3.3 采伐更新阶段

3.3.1 林木数量与采伐区域确定

在林木采伐更新前,利用 RTK 无人机采集高精度倾斜影像,通过 Pix4D 生成高密度三维点云,采用单木分割算法提取林木的株数、树高、冠幅及空间位置等信息,精准统计采伐小班内的林木资源总量。结合采伐更新设计要求,辅助划定采伐区域边界、确定采伐强度与保留木分布,确保采伐作业严格符合设计方案,有效防范超范围采伐、过度采伐等违规行为,同时为采伐工程量核算与验收提供精准依据。

3.3.2 林木三维台账建立

基于 Pix4D 生成的三维实景模型,将每株林木的树种、树高、冠幅、栽植时间、采伐记录等属性信息与空间位置一一关联,以小班为单元建立资源管理台账,可直观展示林地资源的空间分布与属性信息,为长江堤岸防护林的资源统计、更新规划、采伐审批提供全面的数据基础,推动林地管理从“账实分离”向“图数一致”转变。

4 应用实例

4.1 测区概况

无为大堤地处长江左岸的芜湖市境内,总堤长 124.475 公里,为长江干流一级堤防工程,也是巢湖流域的核心防洪骨干屏障。该堤防承担着合肥、芜湖、马鞍山、六安四市下辖 11 个县(市、区)共计 4520 平方公里国土的防洪保障任务,在区域国民经济发展格局中具有举足轻重的战略地位。以无为大堤桩号 103+734-105+154 处背水侧堤岸防护林为应用测区,该段堤防全长约 1.42km,护岸林总面积 0.32km²,主要树种为杨树,测区呈长条形,村庄和沟壑较多,部分区域人员难以通行,传统人工调查难度大、周期长,具备典型的堤防林地管理特征。本次作业采用无人机数据采集结合三维模型建立,确定该片林木采伐作业面积、林木数量、平均树高。

4.2 无人机飞行参数设置

本次作业采用 RTK 多旋翼无人机(大疆 Matrice 4E),搭载可见光摄影相机和激光测距模块,结合测区带状地形特点设置飞行参数:航飞高度 40m,飞行速度控制在 15m/s,航向重叠率设置为 80%,旁向重叠率设置为 70%,保障林木侧面影像完整覆盖;正射 GSD 设置为 1.07,倾斜 GSD 设置为 1.52,相机 1 倍广角摄影,在

保证采集效率的同时保持影像采集清晰度；飞行过程中 RTK 定位模式保持开启。

4.3 建模参数设置

采用 Pix4DMapper 软件建立模型，将航飞影像导入软件，设置建模参数：坐标系采用 CGCS2000 高斯投影坐标；点云加密模式设置为高密度，保障林木冠层与地形细节清晰；输出成果包括数字正射影像、数字表面模型、高密度三维点云及三维实景模型如图 1 所示，并利用成熟的人工智能识别算法识别平均树冠高度和林木数量。建模完成后通过地面人工测量进行精度核验。

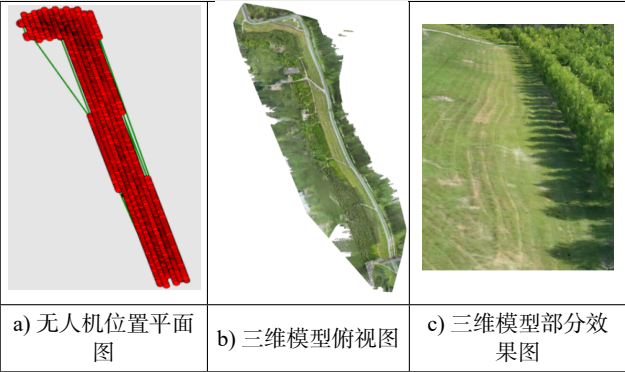


图 1 RTK 无人机建立三维模型建立结果图

4.4 成果精度与效率对比

本次共采集 1670 张 5280*3956（RGB）图像，采集与输出数据均处于 WGS84 坐标系下，Pix4DMapper 输出模型 RMS（X/Y/Z）分别为 0.001821m、0.001511m、0.008602m，符合厘米级的精度需求。本测区林木共 2027 株，平均树冠高度 27.2m 将无人机技术方案与传统人工调查模式从作业效率、人员投入、数据精度、成果形式四个维度进行对比，结果如表 1 所示。

表 1 人工调查与无人机技术方案对比

对比维度	传统人工调查	RTK 无人机方案
调查时长	2 ~ 3 人/天	外业 30 ~ 60 分钟，内业 2 ~ 3 小时
人员投入	2 ~ 3 人	1 ~ 2 人
面积测算精度	85% ~ 90%	98% 以上
树高测量精度	10% ~ 15%	小于 5%
林木数量误差	5% ~ 10%	小于 5%
成果形式	纸质表格、手绘示意图	正射影像、三维模型、量化参数报表

应用结果表明，采用 RTK 无人机与 Pix4D 技术方案，作业效率较传统人工模式提升显著，数据精度大幅提高，同时成果具备空间可视化属性，更便于管理决策与存档追溯，完全能够满足长江堤岸防护林全周期管理的业务需求。

结语

RTK 无人机的应用，为长江堤岸防护林管理提供了高效、精准的数字化技术手段，完美适配堤防线性分布、地形复杂的作业场景，可全面覆盖规划营造、生长期管护、采伐更新的全周期管理环节。实例验证表明，该技术方案不仅能够大幅提升林地调查效率、降低管护劳动强度，还能显著提升资源数据精度，弥补传统人工管理模式的短板。随着多传感器融合与智能识别技术的不断融入，该技术方案将在堤防生态屏障建设、护岸林资源精细化管理中发挥更大作用，为智慧水利发展与生态堤防建设提供坚实的技术支撑。

参考文献

[1] 董德友. 安徽省长江堤岸防护林建设可持续发展思考 [J]. 江淮水利科技, 2021, (1): 21-22.

[2] 储颖. 同马大堤皖河段河道管理及防护林建设分析 [J]. 水上安全, 2024, (10): 193-195.

[3] 戴游松. 无人机在林业病虫害防治中的实践应用 [J]. 现代园艺, 2025, 48(18): 80-82.

[4] 王健沅. 基于无人机遥感的森林立地质量评价与精准造林技术研究 [J]. 乡村科技, 2026, 17(11): 121-124.

[5] 刘飞宏. 林业调查规划设计中无人机技术的应用分析 [J]. 农业科技创新, 2025, (22): 52-54.

[6] 陈新, 徐林, 孙陶然, 等. 基于 YOLOv5l 的改进模型在松材线虫病受害木识别中的应用 [J]. 林业科技通讯, 2025, (9): 45-55.

[7] 李晨, 刘佳佳, 段平, 等. 基于无人机可见光影像的人工林单木树冠提取研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2024, 46(6): 1078-1090.