

无人机技术在自然资源审计中的应用

自然资源审计作为守护生态安全、规范资源利用的重要手段，其精准度与高效性直接关系到审计监督效能的发挥。然而，自然资源审计面临“看不到、去不了、测不准”的现实困境。在面对大面积、复杂地形、偏远区域的审计对象时，传统审计方式主要依赖人工踏勘、纸质图纸比对和手持 GPS 定位等，不仅效率低下、成本高昂，而且难以获取精准、全面的空间数据。随着无人机技术的深度应用，以及与地理信息、大数据等技术的融合，可为自然资源审计提供全新的技术支撑，能够有效突破传统审计模式的局限，成为规范自然资源资产管理、强化生态环境保护监督的重要工具，将进一步提升自然资源审计的精准度和效率，为自然资源可持续利用、生态文明建设提供更有力的技术保障。主要有以下五个方面应用场景。

一、耕地保护审计

耕地保护审计需重点关注耕地“非农化”“非粮化”、撂荒、破坏及改变用途等问题。开展审计工作前，需准备自然资源部门提供的土地利用现状图、耕地保护红线矢量数据、永久基本农田划定成果，历年遥感影像数据，高标准农田建设项目的规划设计图、竣工验收资料，以及耕地地力等级评价数据、粮食功能区划定数据等相关材料。审计过程中，无人机重点采集图斑区域的正射影像（DOM），用于生成实景三维模型、还原地表真实状态的倾斜摄影数据。数据处理与分析阶段，可利用 Pix4D、大疆智图等软件进行空三加密、正射校正，生成高精度正射影像，将无人机影像与土地利用现状图、耕地保护红线在 ArcGIS 中进行空间配准和叠加，通过变化检测算法自动识别地类变化区域，生成实景三维模型结合高程数据计算土方量、田块平整度等指标，同时将当前航拍影像与历史卫星影像进行多时相对比，识别耕地用途变化的时间节点。通过分析，可有效发现违规占用耕地建设厂房、住宅等非农设施，将永久基本农田调整为其他地类，高标准农田建设中虚报工程量，耕地撂荒、抛荒，以及以设施农业为名违规建设“大棚房”等问题。

二、矿产资源审计

矿产资源审计需重点关注越界开采、超量开采、生态修复不到位等问题。前期需收集采矿许可证范围矢量数据、矿山开发利用方案、地质环境保护与土地复

垦方案、矿山储量核实报告、历年开采量统计资料、生态修复工程设计图、施工前后对比资料，以及历史地形图、DEM 数据。无人机重点采集覆盖矿区全貌及周边影响区域的高精度正射影像、用于构建矿区实景三维模型的倾斜摄影数据、可获取高精度地形高程信息并穿透植被覆盖的激光雷达点云数据（LiDAR），以及用于对比分析开采动态变化的多期航拍数据。数据处理与分析时，可利用 ContextCapture 生成 OSGB 格式实景三维模型，在 EPS 软件中提取高程点，导入 ArcGIS 构建 TIN 模型，计算挖填方量；将无人机航拍正射影像与采矿许可证范围矢量数据进行叠加，精确判定是否存在越界开采；对比开采前后两期 DEM 数据，通过 ArcGIS 空间分析工具计算体积差，核实实际开采量是否与申报一致；同时通过植被指数（NDVI）分析生态修复区域植被覆盖度，结合三维模型评估边坡稳定性、排水系统完整性。通过以上手段，能够及时发现超越采矿许可证批准范围开采、实际开采量远大于申报量且存在偷逃资源税费行为、生态修复工程偷工减料、复绿区域植被成活率低下、未按方案实施土地复垦等问题。

三、林业生态审计

林业生态审计需关注造林面积真实性、公益林管护成效、林地违规占用等问题。前期准备工作需收集森林资源调查数据、公益林划定成果、天然林保护工程数据、造林项目作业设计、验收报告、林地保护利用规划、林地红线数据，以及历年遥感影像。无人机重点采集覆盖造林地块、公益林区域的高分辨率正射影像，获取树高、冠幅、郁闭度等林分结构参数的激光雷达数据，构建林区三维场景、辅助核实造林密度的倾斜摄影数据。数据处理与分析过程中，可在 ArcGIS 中基于无人机正射影像勾绘造林地块边界，与申报面积进行比对；通过 LiDAR 点云数据提取数字高程模型（DEM）和数字表面模型（DSM），计算树木高度、冠层体积，估算蓄积量；计算 NDVI、EVI 等植被指数，评估造林成活率和公益林健康状况；将多期无人机影像与历史卫星影像叠加，识别林地转为建设用地、耕地等违规行为。由此可发现虚报造林面积、同一地块重复申报不同年度造林项目、公益林范围内存在违规采伐开垦建设行为、造林密度和树种配置不符合设计要求、林地违规转为建设用地或农业设施用地等问题。

四、水资源保护审计

水资源保护审计需关注水域岸线管理、饮用水源地保护、河道采砂监管等问题。前期需准备水域岸线功能区划数据、河道管理范围线矢量数据，水库、湖泊、河流的勘界成果、确权登记资料，饮用水源地保护区划定方案、矢量边界，河道

采砂规划、采砂许可证信息，以及历年遥感影像、水位变化数据。无人机重点采集覆盖河道、湖泊、水库全貌及岸线区域的正射影像，构建水域三维模型、分析岸线变化的倾斜摄影数据。数据处理与分析时，可将无人机影像与历史影像进行配准叠加，通过边缘检测算法提取岸线变迁信息，计算侵蚀或淤积面积；在 ArcGIS 中对河道管理范围线建立缓冲区，叠加无人机影像识别缓冲区内违规建筑、种植、养殖等活动；基于实景三维模型测量采砂坑深度、范围，与许可范围比对；结合无人机航拍与现场核查，精准定位非法排污口位置。通过以上方法，能够发现河道管理范围内违规建设码头、堆场、建筑物，非法围垦湖泊、侵占水域面积，饮用水源地保护区内存在污染性建设项目，超范围、超深度河道采砂，以及岸线整治工程虚报工程量等问题。

五、土地整治与用地恢复审计

土地整治与用地恢复审计需核实工程真实性和恢复质量。前期需收集土地整治项目规划设计图、竣工图，临时用地批准文件、使用范围矢量数据、复垦方案，项目区历史地形图、土地利用现状图等。无人机重点采集覆盖项目区全貌的高精度正射影像，构建项目区实景三维模型的倾斜摄影数据，获取高精度地形高程、计算土方工程量的激光雷达数据，以及评估复垦区域土壤和植被恢复状况的多光谱数据。采集数据后，可通过无人机航测生成 DEM，与设计高程对比计算实际挖填方量，核实是否存在虚报工程量的情况；基于三维模型分析田块平整度、田埂修筑质量、灌溉排水设施完整性；对比临时用地使用前后影像，评估是否恢复为原地类，通过植被指数和土壤光谱特征判断复垦质量；在正射影像上精确量测新建道路、沟渠长度和宽度，与设计参数比对。通过审计，可发现虚报土地平整、道路修建等工程量，临时用地到期未复垦或复垦质量不达标，土地整治后耕地质量等级未提升，项目区内存在“非农化”建设，以及灌溉排水设施未按设计建设或质量不合格等问题。