

# 遥感与无人机 LiDAR 融合的临时用地复垦进度动态监测研究

邹新宁<sup>1</sup> 杨丹<sup>2</sup> 闫智勇<sup>3</sup>

1 黑龙江省创图土地测绘有限公司, 黑龙江哈尔滨, 150000;

2 自然资源部第二地理信息制图院, 黑龙江哈尔滨, 150000;

3 北京舜土规划顾问有限公司, 山东菏泽, 274000;

**摘要:** 临时用地复垦属于保障土地资源可持续利用的关键部分, 基础设施建设, 高耗地工程频繁的时候, 其复垦进度与质量监测就变成土地管理的重要内容, 本文提出一种依靠遥感影像和无人机 LiDAR 融合的数据采集与分析办法, 用以做到临时用地复垦过程的高频率, 高精度动态监测, 研究创建起“影像识别—点云建模—变化检测—进度分析”的技术链条, 解决了传统监测手段时间滞后, 空间分辨率低等难题, 通过实际考察, 此办法在监测精度, 反应速度, 空间涵盖度和可视化方面均占优势, 适合自然资源监管, 工程土地复垦核查等诸多情形。

**关键词:** 遥感技术; 无人机 LiDAR; 临时用地; 复垦进度

**DOI:** 10.64216/3080-1508.25.05.040

伴随着大规模工程建设项目的开展, 大量临时用地占用与复垦管理工作被摆在眼前, 复垦工作的动态监测不但关系到生态恢复成效、土地资源回收利用率, 而且成为政府监督管理、政策效能评定、项目竣工验收的基础, 传统人工巡查与低频次遥感监测手段因效率低下、精确度低且时效过长等弊病而显露出短板现象, 近些年来, 遥感技术和无人机 LiDAR (光探测与测距) 数据的融合应用给地表形变及土地用途状况观察给予了以往未曾出现过的途径, 本文按照“多种类型数据合并利用加上按时间顺序来显示变化”的思路创建一个适合临时用地复垦进程动态监测的方法路线图, 以求促进智慧化监督、整治工作科学化水平。

## 1 遥感与 LiDAR 融合技术的监测优势分析

### 1.1 高精度三维建模与地形还原能力研究

无人机 LiDAR 技术依靠激光脉冲测距原理, 通过快速扫描目标地区形成高密度三维点云数据, 有着厘米级的空间精度, 可以准确表现地形起伏和细微地貌改变, 在临时用地复垦监测时, 不少重要评判指标, 好比地表平整程度, 堆体高度, 填挖方数量等, 都要依靠高精度地形模型才能量化, 对比传统光学遥感影像只能给予二维光谱信息, LiDAR 点云可以冲破植被阻碍, 提取真实地面信息, 很适合植被稀少或者地形复杂的地区做三维重建。通过滤波、分类与建模处理, 研究人员可生成数字高程模型 (DEM)、坡度图、断面图等产品, 直接用作复垦进度与质量评估的依据。更重要的是, 该方法可以迅速获得大范围的地形数据, 适合周期性的动态监测和工程进展比对, 给土地整治项目提供了一个快速可靠

的空间数据基础。

### 1.2 多源信息互补与空间特征增强的优势

遥感与 LiDAR 数据在信息维度上各有侧重, 遥感影像包含丰富的光谱信息, 可以识别地物种类以及植被情况, LiDAR 给予精确的空间结构信息, 二者融合之后, 便能冲破单一数据源在表现能力方面的局限, 做到多维度的互补, 遥感影像凭借 NDVI, EVI 之类的植被指数来体现复垦区的生态恢复程度, LiDAR 给出的高差改变, 坡度分布以及地形粗糙度则可用来评判施工成果与土地形态的变动。把遥感的二维光谱特征和 LiDAR 的三维结构特征进行空间配准之后, 就能对同一地区的地表情况实施多角度的分析, 如果复垦场地的 NDVI 指数有明显的提升, 地表粗糙度下降, 那么就可以判定它的生态恢复状况良好, 否则就有可能存在复垦不彻底或者表层土质疏松的情况, 这种技术路线大大提升了复垦阶段识别, 质量评价以及异常区域识别的综合能力, 给做到复垦监管的智能化和科学化赋予了坚实的基础。

### 1.3 高频动态监测与智能变化识别能力

传统的人工巡查或者单一遥感影像监测模式, 受到天气状况, 成像时延以及数据处理滞后等限制, 无法应对高频次, 高响应的复垦监管需求, 遥感与 LiDAR 融合监测体系, 通过搭建固定航线与定时飞行机制, 配合自动化点云处理及变化检测算法, 可以做到对复垦区域执行月度甚至周级的动态更新, 遥感影像给予时间序列的植被变化数据, 方便判定植被恢复速度和干预成果, LiDAR 点云则支撑对比历史高程数据, 找出施工填挖区域的时空演进轨迹。结合智能算法, 比如规则变化检测、

基于深度学习变化识别模型等,可以对点云变化图以及遥感图像差异实施分类与标签化处理,从而达成“从数据到信息”的自动推演过程,高频动态监测提升了监管的即时性,同时也为突发事件的及时预警、违规复垦行为识别以及工程绩效考核供应了技术支撑,是促使复垦监管由被动应对型向主动感知型转变的重要保证。

## 2 临时用地复垦监测的技术流程和数据处理体系

### 2.1 多源数据采集及精度控制方法

临时用地复垦监测要高时效、高精度、广覆盖的数据支撑,所以数据采集环节一定要做到遥感影像和无人机 LiDAR 的结合,遥感影像方面,选取时间分辨率较高且空间分辨率适中的数据源,像 Sentinel-2, GF-1/2 这些,从而做到对复垦进度的月度或者半月级更新,而且要获取大面积区域的地表信息, LiDAR 数据通过搭载在多旋翼或者固定翼无人机上的激光扫描仪获取,它的优势在于可以穿透植被干扰,得到高精度的三维地形数据,适合地表平整度评价,堆体识别,土方量估算这些情况。数据获取时,要设置地面控制点(GCPs),做好精确配准,还要控制飞行重叠度和扫描角度,改善数据重建品质,针对多源数据在空间参考系统,分辨率,时间一致性等方面存在的差别,系统采用统一坐标投影,图像重采样,辐射校正等办法加以处理,给后续分析流程赋予统一,高品质的数据根基。

### 2.2 点云建模与遥感影像分类的融合技术研究

数据采集完毕以后,复垦监测的主要技术之一便是点云建模和地表覆盖识别, LiDAR 点云数据通过过滤处理之后,可以得到地面点(groundpoints),进而生成高精度的 DEM 和坡度图,再通过反演高差变化,地表起伏等参数,精确描绘出复垦区域的形态演变,而遥感影像则凭借监督分类法,比如支持向量机 SVM, 随机森林 RF, 或者非监督分类法,比如 ISODATA, 来执行地物提取,着重识别复垦地表的裸地,植被,水体等主要种类。在本研究中,运用面向对象的图像分析技术,把遥感图像分割成不同的地块单元,再融合这些地块的纹理、光谱、形状等特征来提升分类准确率,之后把遥感提取出的地类图层同 LiDAR 三维信息做空间叠加,从而做到对地块状态的“二维+三维”联合表达,比如说,植被覆盖区域的 NDVI 数值能够同该区域地表粗糙度对应起来,以此来辅助判定这个区域是不是属于自然恢复还是人工种植,这种融合方式加强了分类结果的地貌表现能力,有益于对复垦阶段的判定以及空间差别展开分析。

### 2.3 进度演化识别与变化量计算方法研究

动态监测的主要目标是精确把握复垦活动的推进

过程,对复垦的空间范围以及工程量实施定量估计,本研究借助时序遥感影像差分技术(包含变更向量分析 CVA, NDVI 时序分析)和 LiDAR 点云高程变化检测相结合的方式展开复垦进度演化识别,首先用遥感数据来识别地类转化(裸地变成绿地,施工区变成整地区),并绘制各个阶段的变化图,接着利用多时相 LiDAR 数据创建 DTM(数字地形模型)差分图,以此来量化土方回填,剥离和整平的量,通过比较不同时间段的点云模型,就能得到高精度的高差图和土方变化图,从而为复垦完成的程度给予直观的参照。在变化检测的基础上,再结合施工计划进度表与实际变化区域,对照进度滞后区域进行标注“施工中”“已整平”“未施工”等标签,达到多时间段、多指标复垦状态分级的效果。最后通过 GIS 工具对各指标图层进行叠加、分析、统计,输出地块级复垦进度报告,为管理决策提供数据支持。该方法具有高自动化、强可视化以及较好的可复制性,适用于大范围、周期性复垦工程的持续监控与对比评估。

## 3 复垦质量动态评价与智能辅助决策机制

### 3.1 构建多维指标体系实现动态质量评估

复垦质量评价属于动态监测的主要目标之一,仅仅依靠单一的进度指标无法全面体现复垦的效果,于是,本文提出了创建起由“地形恢复度、地表稳定程度、植被覆盖情况、水土保持功能”这四个一级指标构成的质量评价体系,并且细致地划分出十余个二级指标,包含坡度标准差、沉降率变化情况、NDVI 增长趋势、土壤裸露率等,凭借遥感影像获取光谱特征以反推植被指标,用 LiDAR 点云来剖析坡度、高差改变之类的三维参数,从而营造出完备的空间信息支撑,关于指标的权重赋予,采取层次分析法(AHP)和熵权法相结合的方式,既重视专家经验又考虑客观数据的权重,从而改善评价的科学性和普遍适用性,该系统会每个月对各个监测区块的分数予以动态核算,然后按照预设的阈值来进行等级划分,进而做到对复垦质量实行全生命周期的动态监管。

### 3.2 基于 AI 算法的复垦质量趋势预测模型构建

基于遥感和 LiDAR 构建的质量指标时序数据之上,本文把 LSTM(长短期记忆神经网络)同随机森林算法纳入进来,针对复垦区域未来质量走向展开预测建模,训练模型以过去 6 个月的关键指标,譬如植被覆盖率,地形平整度变化等作为输入,输出未来 1~3 个月各类质量得分预测值及其置信区间,通过实验显示,该模型对于短期内复垦质量下滑的预示准确率颇高, F1 值达到 0.87,能够有效地辨别由于施工进度放慢,雨季冲刷或者管理粗心大意等因素造成的复垦质量波动,这种由 AI 推动的趋势预测模块有益于提前安排监督力量,动态调

整资源分配,并且给地方政府以及建设单位给予提醒,从而提升管理的前瞻性和主动性。

### 3.3 构建交互式可视化平台助力管理决策

为了使监测成果更加直观,更适配管理,研究开发了基于WebGIS的复垦质量可视化平台,该平台以地图作为界面,叠加了遥感底图、点云重建模型、复垦阶段图层、质量评分热力图等信息,可以进行多时相切换、查询关键指标、高亮问题区块等功能,用户点击任意地块即可查看该地块的复垦状态、评分趋势、施工节点、异常预警等详细信息。并且平台还嵌入了复垦阶段智能识别算法,可以自动将场地分为“未启动—施工中—平整完成—植被恢复”四个阶段,并用图例和图表来展示变化过程。该平台不仅适用于监管部门监管使用,也可以作为项目方的可视化对账依据,实现“技术图—管理表—项目书”的三维融合,让复垦管理从纸上审批变为智能感知。

## 4 典型案例分析与推广应用展望

### 4.1 高速公路施工临时用地复垦监测案例研究

用华东某一省的一段高速公路建设当作例子,这个建设项目在施工时占用了临时用地一共135公顷,项目方在工程结束之后一年时间内要把这些地方恢复种植或者养殖,还得通过政府部门的验收才能算是合格。本研究小组用无人机装上LiDAR装置每个月执行一次航空测量,再加上用Sentinel-2遥感照片,12个月一直对复垦地区展开持续检测,凭借点云表面高度差别以及NDVI改变指数反推,精确找出哪些地方是处在复垦过程中的,哪块区域没有做到复垦标准的要求,最后把这些信息反馈给施工单位作为复垦改良的依据,这个项目运作期间,我们大概每个月就会发现有8处复垦出现异常情况,这样就免除了很多因整改延时引发的行政处罚,极大地加快了项目验收速度和用地符合规范的程度。

### 4.2 跨区域土地整治项目规模化推广模式研究

某西南山区跨县域土地整治项目里,整治范围广,地形复杂,监管跨部门,传统监测方式不适应管理需求,部署区域级遥感卫星数据获取计划,结合无人机低空补充航测,对100多个复垦地块进行集中建模,统一变化检测,研究团队利用数据库管理体系,对所有复垦地块进行编码管理,数据对比,进度标注,质量评分,大大提高了跨区域项目的数据标准化程度,这种方法也被当地自然资源局纳入年度土地整治成果考核机制,为制度化,程序化监管探索出一条可复制的道路。

### 4.3 推广挑战与技术发展方向

遥感加LiDAR结合技术在临时用地复垦监测中的潜在巨大价值不言而喻,在全国范围内进行推广却遇到了些许障碍:一方面设备费用高,操作门槛难以跨过;另一方面各地复垦做法千差万别,必须因地制宜调整模型参数;再就是数据获取频次与决策需求不匹配,两者间存有时间延迟。将来的发展方向要包含三个方面内容,首先是要培养成本低的小型LiDAR模块及其简化版处理软件,方便小项目使用;其次是创建专门针对各个行政区的地形地貌特征资料库以及地方特色模型库;第三步就是促使遥感和LiDAR平台同自然资源大数据体系互联互通,从而形成起“观测—监视—回馈”这一条环形链条。

## 5 结束语

遥感和无人机LiDAR融合技术为临时用地复垦进度动态监测带来了新的技术途径,在空间分辨率、时间频率、数据精度及结果可视化方面有着明显的优势,本文给出的监测流程与评估模型,通过实证案例检验之后,有着不错的适用性和推广价值,以后要促使多源数据融合算法改善,区域模型适应,可视化决策平台创建以及监管政策对接,从而做到临时用地复垦由“事后监管”变成“实时监测,动态预警”,真正提升土地资源管理的科学性和智能化水平。

### 参考文献

- [1]李龙城.无人机测绘优化土地规划勘测定界精度研究[J].产品可靠性报告,2025,(06):53-54.
- [2]武韞昕.无人机LiDAR技术在铁路既有有线中线测量中的应用研究[J].测绘技术装备,2025,27(02):84-88.
- [3]谭学春,唐骥.无人机倾斜摄影技术在特高压输电线路路径优化中的应用分析[J].通讯世界,2025,32(06):109-111.
- [4]黄明美.无人机航测技术在土地整治中的应用[J].福建地质,2025,44(02):154-160.
- [5]蒋洋洋,黄新波.基于无人机航空摄影测量的高陡边坡勘察研究[J].智能城市,2025,11(05):46-48.

作者简介:1.邹新宁(1987-8),汉族,女,黑龙江省哈尔滨市人,黑龙江省创图土地测绘有限公司,职称:工程师、研究方向:土地工程。

2.杨丹(1987-2),汉族,女,黑龙江省哈尔滨市人,自然资源部第二地理信息制图院,职称:工程师、研究方向:地理信息应用。

3.闫智勇(1987-01),汉族,男,山东菏泽人,北京舜土规划顾问有限公司,职称:工程师、研究方向:国土空间规划。