

# 倾斜摄影测量技术在生产建设项目 水土保持监管中的应用

胡云华<sup>1</sup>, 许海超<sup>1</sup>, 曲双锋<sup>2</sup>, 游翔<sup>3</sup>, 秦伟<sup>1</sup>

(1.中国水利水电科学研究院 水利部 水土保持生态工程技术研究中心, 北京 100048;

2.成都市水利水保监测中心, 成都 610000; 3.四川省水土保持生态环境监测总站, 成都 610000)

**摘要:**为探索和总结单个生产建设项目水土保持监管的工作流程和技术支撑模式,结合无人机倾斜摄影测量技术优势,对照生产建设项目监管工作要求,梳理了各项监管指标对应的信息获取方法,建立了利用无人机倾斜摄影测量技术开展生产建设项目水土保持信息化监管指标提取的技术流程。在成都市的应用结果表明:无人机倾斜摄影测量技术具备信息获取丰富、实现真三维量测、综合成本低等优势,可以完成大部分项目监管指标的提取工作,其技术流程包括资料收集和预处理、无人机倾斜摄影测量、合规性详查 3 个阶段,相较于传统监管手段,其信息提取成本更低、效率更高、比对方式更灵活。无人机倾斜摄影测量技术在生产建设项目精细化监管工作中具备广阔的应用前景。

**关键词:**水土保持; 监管模式; 无人机; 倾斜摄影测量; 项目监管

中图分类号: V279<sup>+</sup>.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)06-0438-06

## Application of Tilt Photogrammetry Technology in Water and Soil Conservation Supervision of Production and Construction Projects

HU Yunhua<sup>1</sup>, XU Haichao<sup>1</sup>, QU Shuangfeng<sup>2</sup>, YOU Xiang<sup>3</sup>, QIN Wei<sup>1</sup>

(1. Research Center on Soil and Water Conservation of the Ministry of Water Resource,

China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 2. Chengdu

Water Resources and Soil Conservation Monitoring Center, Chengdu 610000, China; 3. Sichuan

Water and Soil Conservation Ecological Environment Monitoring Station, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** In order to explore and summarise the work flow and technical support mode of water and soil conservation supervision of a single production and construction project, combined with the advantages of UAV tilt photogrammetry technology and compared with the requirements of production and construction project supervision, this paper combs the information acquisition methods corresponding to each supervision index and establish the technical process of extracting the informatisation supervision index of water and soil conservation in production and construction projects by using UAV tilt photogrammetry technology. The application results in Chengdu show that UAV tilt photogrammetry technology has the advantages of rich information acquisition, true three-dimensional measurement and low comprehensive cost, and can complete the extraction of most project supervision indicators. Its technical process includes three stages: data collection and preprocessing, UAV tilt photogrammetry and detailed compliance inspection. Compared with traditional supervision means, its information extraction cost is lower and its efficiency is higher. The comparison method is more flexible. UAV tilt photogrammetry technology has broad application prospects in the fine supervision of production and construction projects.

**Keywords:** water and soil conservation; supervision mode; UAV; tilt photogrammetry; project supervision

收稿日期: 2021-10-08

修回日期: 2021-10-24

资助项目: 四川省生产建设项目水土保持遥感监管项目(2020—2021 年度); 成都市水土保持“天地一体化”监管项目(2018—2020 年度)

第一作者: 胡云华(1988—), 男, 四川自贡人, 硕士, 工程师, 主要从事地理信息系统与水土保持研究。E-mail: huyunhua1@163.com

通信作者: 秦伟(1982—), 男, 陕西汉中, 博士, 教授级高工, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: qinwei\_Office@sina.com

遥感技术能够快速发现生产建设项目扰动,较为准确地识别扰动范围,在生产建设项目监管工作中的应用越来越广泛<sup>[1-2]</sup>。2015 年水利部印发的《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定(试行)》将生产建设项目水土保持信息化监管分为区域监管和项目监管两种模式。相较于区域监管是针对流域、省、市、县或者某功能区等一定区域范围开展监管工作<sup>[3]</sup>,项目监管针对某个具体项目进行监管,实现项目位置、范围、措施布局的精细化空间化管理<sup>[4]</sup>,是进一步强化生产建设项目水土保持监管的有效形式。在技术手段上,项目监管在常规卫星遥感技术手段基础上,还需要结合无人机遥感技术手段,提高监管数据精度和丰富度。目前全国省、市、县各级区域监管工作已建立了相对成熟的技术路线,但项目监管工作流程和技术模式仍需探索和总结。

无人机摄影测绘技术目前已广泛应用于水土保持监管和监测等工作<sup>[5-8]</sup>,但主要以常规航空摄影测量为主。倾斜摄影测量技术(Oblique Photography Technique)是近年来发展起来的新兴测绘技术,相较于传统航测方式,可以更加高效地获取更为丰富的真实地面场景信息<sup>[9-10]</sup>。本研究以成都市为研究区,利用无人机倾斜摄影测量技术开展多个生产建设项目的水土保持项目监管信息提取试验,总结工作流程和应用实例,为重点项目水土保持精细化监管工作提供参考。

# 1 研究区域与方法

## 1.1 研究区概况

成都市作为四川省省会,地理位置介于东经 102°54′—104°53′,北纬 30°05′—31°26′,是全国 15 个副省级城市之一和西部地区中心城市,生产建设项目数量多、分布广,监管难度相对较高,仅依靠传统手段无法满足高效、精准监管的现实需要。按照水利部水土保持信息化监管的统一安排和部署,四川省 2018 年在成都市率先启动了生产建设项目“天地一体化”监管,并注重技术创新,通过 3 年的连续实施,取得了方案编报率显著提升、疑似违法违规施工项目明显减少、水土保持补偿费征收额有效增加等良好成效<sup>[11]</sup>。

## 1.2 技术概述

摄影测量是经过摄影,将三维的物理世界转变为二维影像,再由二维影像获取三维空间数据的技术<sup>[12]</sup>。倾斜摄影测量是通过集成在 5 个方向上的摄像机在一个位置采集垂直、4 个倾斜共 5 个角度的影像,可以提高摄影测量和三维建模工作的效率。无人机具有成本低廉、操控性好、空域限制小等优

点<sup>[13]</sup>,无人机倾斜摄影测量是 3 种技术的有机结合,相较于传统摄影测量:一是信息获取更丰富,传统摄影主要获取实体顶部纹理,而倾斜摄影技术能够同时获取侧面纹理,且倾斜摄影方式更加接近人眼观察模式,可以增加三维数据所带来的真实感。二是支持三维量测,可获取带定位信息的高重叠度影像,利用实景三维建模软件还原地表真实的场景,实现空间量测。三是综合成本低,通过一次航飞可以同时制作高精度数字正射影像(DOM)、数字表面模型(DSM)、数字线划图(DLG)、实景三维模型等数据成果,在内业即可完成大部分测量工作,获取等量信息的综合成本更低。

## 1.3 监管指标与提取方法

按照《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定(试行)》,结合无人机倾斜摄影测量技术优势和成果特征,对项目监管指标及其对应信息获取的方法归纳见表 1。

## 1.4 技术流程

参考《生产建设项目水土保持信息化监管技术规定(试行)》,设计了一套利用无人机倾斜摄影测量技术开展生产建设项目水土保持信息化监管指标提取的技术流程,主要包括资料收集和预处理、无人机倾斜摄影测量、合规性详查 3 个阶段,具体流程见图 1。

在资料收集和预处理阶段,收集监管项目的水土保持方案书、批复文件、防治责任范围图、水土保持措施布局图等资料;利用方案中的坐标信息完成资料的矢量化处理,并套合遥感影像初步判定合规性。在无人机摄影测量阶段,根据合规性预判结果,进行无人机飞行规划设计,获取航摄数据和控制点资料;利用建模软件,完成项目 DOM,DSM 和实景三维模型的创建。在合规性详查阶段,根据 DOM,DSM 和实景三维模型成果,套合项目方案资料,对项目监管各项指标进行提取、识别和判定,为项目监管提供数据支撑。

# 2 应用实例

为验证监管指标提取方法和监管工作流程,在成都市范围内随机选取了 7 处在建生产建设项目,对项目方案等资料进行了收集和整理,并利用近期 2 m 数字正射影像对项目水土保持措施布局 and 疑似违范围进行了分析,制定了无人机航飞的方案。航飞使用大疆经纬 M300 RTK 测绘专用无人机,具体参数和配件信息详见表 2。该无人机集成了 RTK 模块,已有测试结果表明,采用该设备免像控方案采集的影像,其平面精度满足 1:500 地形图要求<sup>[14]</sup>。

表 1 项目监管指标及其无人机倾斜摄影测量信息获取方法

监管指标	指标描述	信息获取方法
扰动特征	识别扰动地块边界、面积、扰动类型(包括“弃渣场”和“其他扰动地块”等)、扰动变化类型(包括“新增扰动”“扰动范围扩大”“扰动范围缩小”“扰动范围不变”“不再扰动”等)	基于建立的 DOM 成果辅以实景三维模型,利用人机交互提取方法,可以较为精确的识别项目扰动地块边界、面积、扰动类型等信息,基于多期航拍成果空间比对分析,可以提取项目扰动变化类型信息
建设状态	识别指扰动地块所处的施工阶段,分为施工(含建设生产类项目运营期施工)、停工、完工	基于建立的实景三维模型成果,通过识别现场施工机械、建筑材料、绿化、文字标识、荒弃等形态和纹理信息,从而判定项目所处的施工阶段
扰动合规性	对项目的合规性进行判定,合规性类型包括“合规”“超出防治责任范围”和“建设地点变更”3 种状态	基于扰动特征提取结果,套合项目防治责任范围资料,利用空间叠加分析方法,对照 DOM 成果,可以对项目合规性进行判定
水土保持方案变更情况	判定项目所在地点、水土保持防治分区、建设规模是否发生重大变更	基于建立的 DOM 成果和扰动特征提取结果,套合项目方案资料,可项目所在地点、水土保持防治分区、建设规模是否发生重大变更等情况进行判定
表土剥离、保存、利用和取(弃)土场选址及防护情况	识别项目占用土地的地表土剥离、保存和利用情况。是否按照批复水土保持方案的要求设置取(弃)土场;是否按照“先拦后弃”的要求进行堆弃,取(弃)土场的各类水土保持措施是否及时到位;弃渣工艺是否合理,是否做到逐级堆弃、分层碾压	基于建立的 DOM、DSM 和实景三维模型成果,利用人机交互识别、空间比对分析、空间三维测量等方法,可以对项目区地表土剥离、保存、利用等信息进行提取。对照项目方案,对取(弃)土场的各类水土保持措施进行比对分析,判定现场措施的合规性
水土保持措施落实情况	识别项目水土保持方案中规定的各项水土保持措施位置、数量、范围是否与设计相符;已完工项目植物措施总面积与方案设计相比是否存在减少 30% 以上的情况;是否存在水土保持重要单位工程措施体系发生变化,导致水土保持功能显著降低或丧失的情况	基于建立的 DOM、DSM 和实景三维模型成果,套合水土保持措施布局图和水土保持方案资料,利用人机交互识别、空间比对分析、空间三维测量等方法,可以对水土保持措施落实情况进行判定
其他水土保持风险或违规行为	提取项目区高陡边坡、开挖场地等重点部位扰动范围、坡度、坡长、水土流失危害面积等信息,判定是否存在风险或违规行为	基于建立的实景三维模型成果,利用空间量测方法提取重点部位空间参数信息,与水土保持方案中设计数据对比,可以判定项目其他水土保持风险或违规行为

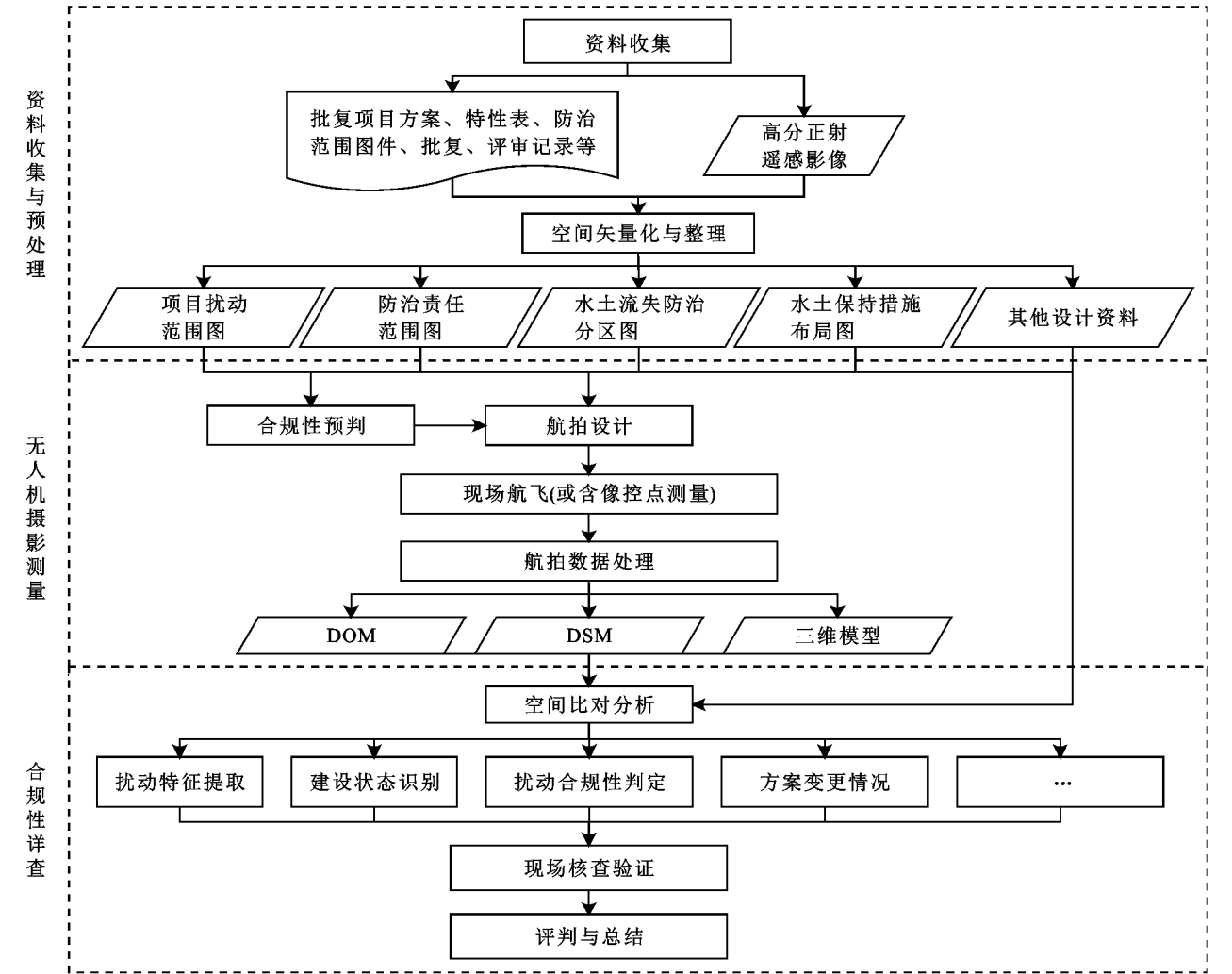


图 1 无人机倾斜摄影测量技术项目监管流程

表 2 试验无人机和传感器主要参数信息

参数	参数值	参数	参数值
尺寸	81 cm×67 cm×43 cm(长×宽×高, 展开,不包含桨叶)	最大旋转角速度	俯仰轴:300°/s 航向轴:100°/s
空机重量	6.3 kg(含双电池)	最大俯仰角度	30°
最大载重	2.7 kg	最大上升速度	S 模式:6 m/s
最大水平飞行速度	23 m/s	最大下降速度(垂直)	S 模式:5 m/s
最大飞行海拔高度	5000 m	悬停精度(P-GPS)	垂直 0.1 m 水平 0.1 m
最大可承受风速	15 m/s(7 级风)	RTK 位置精度	1 cm+1 ppm(水平) 1.5 cm+1 ppm(垂直)
最大飞行时间	55 min	GNSS	BeiDou(中国) GPS(美国) GLONASS(俄罗斯) Galileo(欧盟)
云台型号	禅思 Z30 云台	传感器型号	赛尔 PSDK102S 五镜头倾斜摄影相机
镜头数量	5 个	像素	2430 万,总像素>1.2 亿
倾斜角度	45°	单相机图像分辨率	6000×4000

航飞工作完成后,使用赛尔航测助手软件完成架次清理和拷贝、照片筛选、适配建模软件等数据预处理操作。预处理完成后使用 ContextCapture Center Master 软件开展各架次 DOM,DSM 和实景三维模型数据生产。航飞总面积 1.339 km<sup>2</sup>,航飞高度 115~120 m,航向重叠度 80%,旁向重叠度 50%。根据倾斜相机的像素参数,结合航拍时的镜头焦距和相对航高信息,经解算后获取的正射影像地面分辨率为 1.3~1.8 cm。利用 ArcGIS 和 Acute3D Viewer 软件分别对各项目开展二维和三维量测,提取各项目监管指标信息,将各项目典型指标提取示例总结如下。

2.1 扰动特征提取

在 DOM 和实景三维模型上可以准确识别项目扰动特征,以航飞的新都区某房地产项目为例,在实景三维模型上,该项目扰动主要表现为推堆土、施工、表土堆放等特征,因此将项目扰动类型判定为“其他扰动地块”(图 2A)。以航飞的简阳市某弃渣场为例,在实景三维模型上,可以提取渣体、挡墙、排水沟、沉砂池等特征,因此将项目扰动类型判定为“弃渣场”(图 2B)。通过识别项目现场围栏、表土开挖等几何特征,可以提取出项目的扰动边界范围,经计算,两个项目扰动面积分别为 7.6,2.1 hm<sup>2</sup>。

2.2 建设状态识别

在 DOM 和实景三维模型上可以准确识别项目所处的施工阶段,以航飞的新都区某道路项目为例,该项目在影像上反映为裸地、草被或灌木等土地利用特征,无新增堆挖掘痕迹,建设状态判定为“停工”(图

3A)。以航飞的简阳市某房地产项目为例,该项目现场推堆掘痕迹明显,地表原始覆盖被破坏,现场有施工设备和建筑材料堆放,建设状态判定为“施工”(图 3B)。以航飞的简阳市某加工制造类项目为例,该项目现场项目建设工作已完成,绿化等配套设施已完工,建设状态判定为“完工”(图 3C)。

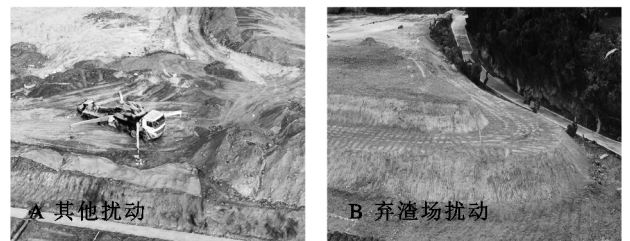


图 2 项目扰动特征提取示例

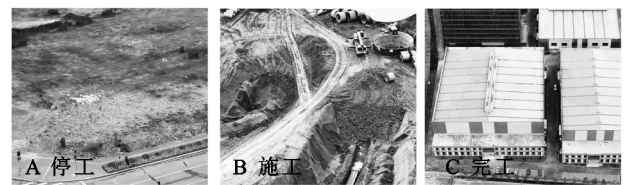


图 3 项目建设状态识别示例

2.3 扰动合规性判定

基于扰动特征提取结果,套合项目防治责任范围资料,利用空间叠加分析方法,可以对项目合规性进行判定。以航飞的新都区某房地产项目为例,项目扰动范围基本均位于项目批复的防治责任范围内,扰动面积为 7.6 hm<sup>2</sup>,小于批复的防治责任范围面积 7.8 hm<sup>2</sup>,扰动合规性判定为“合规”(图 4A)。以航飞的简阳市某房地产项目为例,项目扰动范围局部超出了项目批复的防治责任范围,扰动面积为 4.33 hm<sup>2</sup>,批



复的防治责任范围面积为 4 hm<sup>2</sup>,扰动合规性判定为“超出防治责任范围边界”(图 4B)。

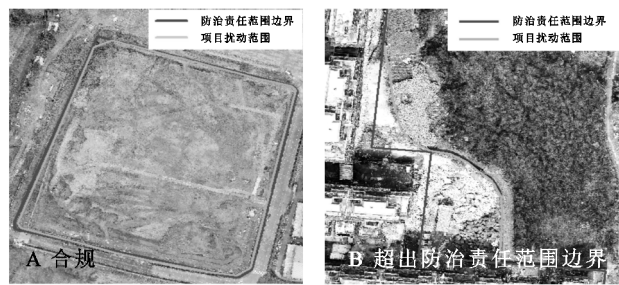
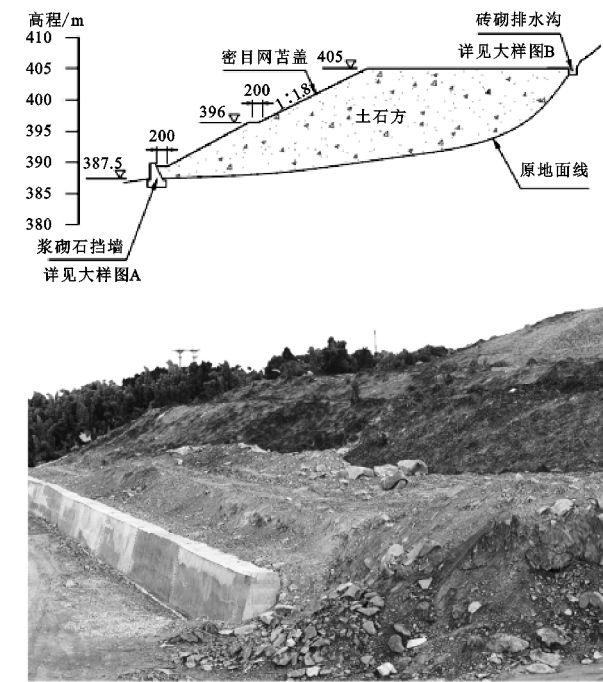


图 4 扰动合规性判定示例

2.4 水土保持方案落实情况评价

根据项目水土保持设计方案,对照实景三维成果,可以对项目水土保持方案变更情况、取(弃)土场选址及防护情况、水土保持措施落实情况等进行评价。以航飞的简阳市某弃渣场为例,基于实景三维模型,采用空间长度、面积、体积量算方法,可以对项目水土保持方案中规定的各项指标进行评价(图 5),评价结果见表 3。



注:上图设计方案来源于项目水土保持方案<sup>[15]</sup>。

图 5 弃土场设计方案与三维模型比对示例

表 3 水土保持方案落实情况评价结果示例

监管指标	参数	设计值	测量值
水土保持方案 变更情况	判定项目所在地	防治责任范围批复范围	在项目防治责任范围内
	水土保持防治分区	无分区	无分区
	项目规模	占地面积 3.95 hm <sup>2</sup>	扰动面积 3.88 hm <sup>2</sup>
表土剥离、保存、利用 和取(弃)土场选址 及防护情况	弃渣类型	碎石土、砂卵石	碎石土为主
	最大堆放高度	6 m	6 m
	堆放坡比	1 : 1.8	1 : 1.8
	渣体体积	1.126×10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>	1.042×10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>
	排水沟长度	997 m	902 m
	排水沟宽度	0.5 m	0.5 m
	排水沟沟壁衬砌厚度	0.12 m	0.12 m
	沉砂池数量	2 座	2 座
	沉砂池底长	2 m	2 m
	沉砂池底宽	1 m	1 m
水土保持措施 落实情况	池壁衬砌厚度	0.24 m	0.24 m
	挡土墙长度	280 m	280 m
	挡墙高度	高 2.5 m(含基础埋深 1.0 m)	1.5 m(仅含地面高度)
	墙顶宽	0.8 m	0.8 m
	挡墙背坡坡比	1 : 0.3	1 : 0.3

2.5 其他水土保持风险或违规行为提取

基于建立的实景三维模型成果,可以对项目范围进行高精度全面检视,利用空间量测方法提取项目高陡边坡、开挖场地等重点部位范围、坡度、坡长、水土流失危害面积等参数信息,判定项目是否存在其他水土保持风险或违规行为。如本研究通过提取发现,简阳市某房地产项目存在较大开挖坡面无防护措施,未按项目水土保持方案“坡面应布设径流排导工程,防止引发崩塌、滑坡等灾害”要求(图 6A)。新都区某房

地产项目,不满足项目方案中“对临时堆土进行拦挡、苫盖,布设排水沟和沉砂池”等措施要求(图 6B)。

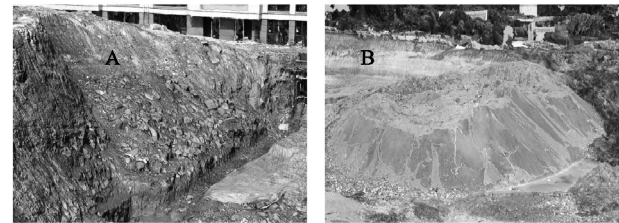


图 6 其他水土保持风险或违规行为提取示例

### 3 结 论

综上,无人机倾斜摄影测量技术作为当前新兴的摄影测量技术,在生产建设项目水土保持信息化监管工作中具备较好的适用性。通过资料收集和预处理、无人机倾斜摄影测量、合规性详查等作业工序,可以完成生产建设项目扰动特征、建设状态、扰动合规性、水土保持方案变更情况、表土和取(弃)土场选址及防护情况、水土保持措施落实情况、其他水土保持风险或违规行为识别等大部分监管指标的提取,且具备信息获取丰富、实现真三维量测、综合成本低等优势,相较于传统生产建设项目监管技术手段,具有监管信息提取成本更低、效率更高、比对方式更灵活等优点,在生产建设项目监管工作中具备广阔的应用前景。但目前该技术也面临着设备成本偏高,便携度略低,受空域限制等不足,是进一步推广应用需着力解决的问题。

#### 参考文献:

[1] 李益敏,袁静,王东驰,等.基于 GIS 的贡山县土壤侵蚀动态变化研究[J].水土保持研究,2020,41(4):12-19.

[2] 黄颖伟,王岩松,张野,等.生产建设项目水土保持“天地一体化”监管技术应用[J].中国水土保持,2018(2):11-15.

[3] 董亚维,王略,左强,等.生产建设项目水土保持区域监管的实践与思考[J].中国水土保持,2020(6):15-17.

[4] 张兆豪,宋维峰.基于无人机遥感的元阳梯田典型灌区渠系结构特征[J].水土保持学报,2020,27(4):220-224.

[5] 姜德文.高分遥感和无人机技术在水土保持监管中的应用[J].中国水利,2016(16):45-47.

[6] 张雅文,许文盛,沈盛戡,等.无人机遥感技术在生产建设项目水土保持监测中的应用:方法构建[J].中国水土保持科学,2017,15(1):134-140.

[7] 赵俊华,朱艳华.无人机遥感在水土保持领域的应用[J].人民长江,2017,48(12):33-35.

[8] 林成行,朱首军,周涛,等.基于无人机遥感技术的水土保持植被恢复率提取[J].水土保持研究,2018,25(6):211-215.

[9] 杨国东,王民水.倾斜摄影测量技术应用及展望[J].测绘与空间地理信息,2016,39(1):13-15,18.

[10] 徐思奇,黄先锋,张帆,等.倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J].测绘通报,2018(2):111-115.

[11] 张小波,秦伟,曲双锋,等.成都市生产建设项目水土保持“天地一体化”监管模式与成效[J].中国水利,2021(2):56-58.

[12] 李德仁.摄影测量与遥感的现状及发展趋势[J].武汉测绘科技大学学报,2000,25(1):1-6.

[13] 崔红霞,林宗坚,孙杰.无人机遥感监测系统研究[J].测绘通报,2005(5):11-14.

[14] 周先峰.免像控无人机航摄系统在大比例尺地形图测量中的应用与精度分析[J].数字化用户,2021,27(11):99-100.

[15] 张夏,朱家兴,彭烨.成都空天产业功能区(南部社区)水土保持区域评估报告[R].成都:四川华睿佳创工程设计咨询有限公司,2021.

(上接第 437 页)

[46] Mandal U K, Bhardwaj A K, Warrington D N, et al. Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water[J]. Geoderma, 2008,144(3/4):509-516.

[47] Bhardwaj A, Goldstein D, Azenkot A, et al. Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods:effects on hydraulic conductivity of a clay soil [J]. Geoderma, 2007,140:199-206.

[48] Baiamonte G, De Pasquale C, Marsala V, et al. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments[J]. Journal of Soils Sediments, 2015,15(4):816-824.

[49] Baiamonte G, Crescimanno G, Parrino F, et al. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil[J]. Catena, 2019,175:294-303.

[50] Saedi T, Mosaddeghi M R, Sabzalian M R, et al. Effect of epichloe endophyte-tall fescue symbiosis on

rhizosphere aggregate stability and quality indicators under oxygen-limited conditions[J]. Geoderma, 2021, 381:114624.

[51] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between(micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. Soil & Tillage Research, 2004,79(1):7-31.

[52] Crescimanno G, Iovino M, Provenzano G. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics[J]. Soil Science Society of America Journal, 1995,59(6):1701-1708.

[53] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management:a review[J]. Geoderma, 2005,124(1/2):3-22.

[54] Bhardwaj A, Mandal U, Bar-Tal A, et al. Replacing saline-sodic irrigation water with treated wastewater: effects on saturated hydraulic conductivity, slaking, and swelling[J]. Irrigation Science, 2008,26:139-146.