无人机遥感技术在线型工程水土保持监测中的应用

杨晓娟^{1,2},宋振振^{1,2},李飞^{1,2*},韩立新^{1,2},程小娜^{1,2},江丹丹^{1,2}

(1.山东省湖泊流域管理信息化工程技术研究中心,山东济南 250000;2.水发规划设计有限公司,山东济南 250000)

摘要 以日照—京博(日京)管道工程为例,从遥感数据采集、监测内容提取2个方面,开展无人机遥感技术在线型工程水土保持监测中的应用研究。首先,在航摄基础上,利用 Agisoft PhotoScan 软件处理航摄影像生成高精度的正射影像(DOM)和数字高程模型(DEM);然后基于 DOM 和 DEM 成果提取各类监测数据,并构建三维模型。结果表明,利用无人机遥感技术可获取研究区防治措施落实情况、位置、面积、体积等定性和定量数据,监测精度满足相关技术要求。无人机遥感技术应用于线型工程水土保持监测中优势明显,可提高监测工作质量和效率,提升监测信息化水平,为水土流失防治提供技术支撑。

关键词 无人机;遥感技术;水土保持监测;线型工程;应用 中图分类号 S157 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2020)19-0222-05 doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.19.058



Application of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology in Soil and Water Conservation Monitoring for Linear Construction Projects

YANG Xiao-juan^{1, 2}, SONG Zhen-zhen^{1, 2}, LI Fei^{1, 2} et al (1. Shandong Lake Basin Management & Informationize Engineering Technology Research Center, Jinan, Shandong 250000; 2. Shuifa Plannning & Design Limited Company, Jinan, Shandong 250000)

Abstract Taking the pipeline project of Rizhao-Jingbo (abbreviation as Rijing) as an example, then a research of unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing technology applied in line monitoring was carried out. The contents include remote sensing data collection and monitoring content extraction. Firstly, the Agisoft PhotoScan software was used to process aerial photography image to obtain the high-precision Digital Orthophoto Model (DOM) and Digital Elevation Model (DEM) based on the basis of aerial photography. Secondly, a series of monitoring data were extracted based on DOM and DEM results. Finally, a three-dimensional model was constructed. The results showed that using the UAV remote sensing technology can obtain the qualitative and quantitative data, including implementation of control measures, location, area and volume of the research area, and the monitoring accuracy can meet the technical requirements. The UAV remote sensing technology had obvious advantages in monitoring soil and water conservation of linear engineering. It can not only improve the quality and efficiency of monitoring work, but also improve the level of monitoring information, and provide technical support for soil erosion control measures. **Key words** Unmanned aerial vehicle; Remote sensing technology; Soil and water conservation monitoring; Linear construction projects; Application

水土保持监测是水土流失预防和治理的基础,是生态环 境保护和修复的重要工作^[1],是国家生态文明建设决策和考 核的依据^[2]。十九大以来,生态文明建设已经上升为新时代 中国特色社会主义的重要组成部分,这对水土保持监测工作 提出了更加严格的要求。传统监测手段以调查监测和地面 观测为主,针对性强,但监测效率低、精度差^[3],难以实现全 域监测。卫星遥感影像一般适用于大尺度监测,影像质量易 受云层、雾霾等影响^[4],对生产建设项目水土保持监测,其影 像分辨率不高,无法满足水土保持监测工作的精度要求^[5]。 进入 21 世纪,随着无人机芯片等关键技术的成熟,无人机应 用领域由军用向民用方向迅速扩展^[6],基于无人机的水土保 持监测技术也日渐成熟,并取得了显著成效^[7-12]。与传统监 测手段和卫星遥感影像相比,无人机遥感技术可提供丰富的地 物空间结构和细致的几何纹理,具有快速高效、机动灵活、成像 分辨率高等优势^[13],已经成为水土保持监测的新型技术手段。

与点型工程不同,线型工程路线长,跨越区域多,线上分 布有施工场地、穿河穿路、取(弃)土场等易引发水土流失的 点,是一类水土流失类型多样、防治措施复杂的工程^[14]。目

基金项目 山东省省级水利科研项目(SDSLKY201808);水发设计集团 科研项目(SFSJKY201913)。

作者简介 杨晓娟(1987—),女,陕西渭南人,工程师,硕士,从事水土 保持方面的研究。*通信作者,高级工程师,从事水利规划 设计研究。 收稿日期 2020-03-24 前无人机遥感技术在水土保持监测领域的应用主要集中在 弃渣场^[8,11-12]等点状对象上,而对线状对象的研究却鲜有报 道。因此,该研究以日照—京博输油管道工程(以下简称"日 京管道")为例,点、线相结合,对无人机遥感技术在线型工程 水土保持监测中的应用进行探索,以期可为今后无人机遥感 技术在小流域综合治理、"天地一体化"监管、事中事后监督 检查和水土保持设施验收等领域的应用提供技术指导。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 日京管道工程以日照港首站为起点,自 南向北经过山东省日照市岚山区、东港区、莒县,临沂市沂南 县、沂水县,潍坊市临朐县、青州市,淄博市桓台县,东营市广 饶县,终点为滨州市博兴县京博输油站(图1),共涉及6地 市10县区,全长约430km。工程建设面积854.4 hm²,穿越 河流266处,穿越公路、铁路70处。根据地形地质情况采用 大开挖埋设、定向钻和顶管施工3种方式,局部地段采用地 上管廊架敷设。管道沿线地貌类型为鲁中南低山丘陵和黄 泛冲积平原,海拔高程在1~322m,土壤类型主要为棕壤、褐 土和潮土,土壤侵蚀类型除广饶县以风力侵蚀为主外,其他 县、区以水力侵蚀为主。

1.2 研究方法

1.2.1 遥感数据采集。2018 年 12 月,选择微风、无云天气 状况下对研究区实施航拍。考虑到工程路线长,跨越区域 多,无人机航程有限,此次试验选择潜在土壤流失量较大的



图 1 研究区域位置 Fig. 1 Location of the study area

管道作业带 RJX054~056、RLS037~040 和施工场地 3 个典型 区域进行航拍。

1.2.1.1 设备配置。无人机:采用大疆精灵 4Pro 小型四旋 翼无人机,搭载1英寸2000万 CMOS 像素传感器,主要硬件 包括飞行器、云台、相机、遥控器、螺旋桨、智能飞行电池等, 输出影像为 JPEG 以及无损的 RAW 格式照片。机载飞行及 地面控制系统:遥控器内置全新一代的 Lightbridge 高清图传 回地面端,与飞行器机身内置的 Lightbridge 机载端配合,通 过 DJI GS Pro App(地面站)实现航线和飞行区规划,并实时 显示高清画面。

1.2.1.2 飞行前准备。飞行前应了解研究区天气状况,选择晴朗天气的正午前后或阴天,风速小于8 m/s,能见度大于5 km^[3];同时应避开障碍物和禁飞区^[15]等。

1.2.1.3 控制点布设。控制点布设应考虑点位清晰、分布

均匀、易于布设的原则。此次管道作业带各布设6个控制 点,施工场地共布设4个控制点,用于提高影像精度。控制 点采集设备为中海达 iRTK2,精度为0.01 m。

1.2.1.4 参数设置。研究区周边大部分为耕地,具有显著特征的地物较少,为保证影像匹配精度,航向重叠度设置为75%,旁向重叠度设置为70%,飞行高度在100~130 m,采用自动飞行模式,云台角设置为-90°。

1.2.1.5数据处理。无人机遥感影像后处理软件为 Agisoft PhotoScan,水土保持监测内容提取软件为 ArcMap。

1.2.2 监测内容提取。根据《生产建设项目水土保持监测规程(试行)》(以下简称"监测规程"),水土保持监测内容包括扰动土地情况监测、取土(石、料)弃土(石、渣)监测、水土流失情况监测和水土保持措施监测。水土保持监测内容及提取方法如表1所示。

监测项目 Monitoring projects	监测内容 Monitoring contents	提取方法 Extraction methods
扰动土地情况监测 Land disturbance monitoring	扰动范围、面积 土地利用类型及其变化情况	基于正射影像(DOM),通过 ArcMap 勾绘边界、量取面积 基于 DOM 或三维模型,目视判读
取土(石、料)弃土(石、 渣)监测 Soil use and	取土(石、料)场、弃土(石、渣)场和临时堆放场地的数 量、位置	基于 DOM,通过 AreMap 统计数量、标识位置
disposal monitoring	堆土方量	通过 Agisoft PhotoScan 建立堆土三维模型,实现体积自动量测
	表土剥离、防治措施落实情况	基于 DOM 或三维模型,目视判读
水土流失情况监测 Soil loss monitoring	土壤流失面积	基于正射影像(DOM),通过 ArcMap 勾绘边界、量取面积
	土壤流失量	一是通过传统监测手段;二是建立适合研究区的通用土壤流失 方程;三是参照陈宇等 ^[3] 研究方法
	取土(石、料)弃土(石、渣)潜在土壤流失量	通过 Agisoft PhotoScan 建立堆土三维模型,实现体积自动量测
	水土流失危害	基于 DOM 或三维模型,目视判读
水土保持措施监测 Soil and water conservation	措施规格、尺寸、位置、数量	基于 DOM,通过 ArcMap 统计数量、标识位置
	措施类型、防治效果、运行状况	基于 DOM 或三维模型,目视判读

表 1 水土保持监测内容和提取方法 Table 1 Contents and extraction methods of soil and water conservation monitoring

由于该试验仅实施了1次航拍,获取的监测信息有限,

因此,此次获取的监测信息主要包括扰动范围、面积;堆土方

量;土壤流失面积;措施类型、位置、数量、防治效果和运行状况等。

- 2 结果与分析
- 2.1 遥感数据获取 图 2 为 3 个典型区域生成的 DOM 和

数字高程模型(DEM)成果,管道作业带 RJX054~056、 RLS037~040和施工场地 DOM 水平分辨率分别为 2.68、2.97 和 1.14 cm, DEM 水平分辨率分别为 1.69、2.67 和 0.18 cm, 成果精度可完全满足水土保持监测工作要求。





图 2 DOM 和 DEM 成果 Fig. 2 The results of DOM and DEM

2.2 监测内容提取

2.2.1 扰动土地情况监测。将 DOM 载入 AreMap,基于 Are-Map 的空间分析功能,新建水土保持监测信息数据库,在数据库内新建面状图层"扰动范围",对其进行数字化和属性编辑,通过目视解译勾绘扰动范围并提取扰动面积。以施工场地为例,结合图 2c 施工场地 DOM 成果,场地周边具有绿色围栏,场内地面色调以浅黄色、深褐色为主,并呈碾压或松散堆积状,影像纹理明显区别于周边麦田、道路、河沟及整理好的土地。施工场地扰动范围及面积提取结果如图 3 所示。为了检验无人机遥感技术对扰动面积的监测精度,采用中海达全站仪,型号 ZTS-121R4,测量范围 6~1 999 m,全长相对

误差≤10⁻⁶ m,对施工场地扰动面积进行实地测量,实地测量 结果为4766.2 m²,监测精度为99.3%,满足《监测规程》中 点型扰动面积监测精度不小于95%的要求。

2.2.2 取土(石、料)弃土(石、渣)监测。以管道作业带 RJX054~056 和施工场地为例,基于 DEM,在 Agisoft Photo-Scan 中通过勾选堆土范围、删除次要工作面、关闭孔等操作, 建立临时堆土的三维模型,实现堆土体积量测,监测结果如 图 4 所示。

传统监测手段包括地面观测、实地量测和资料分析等。 此次采用资料分析法,以施工单位计量值为基准,对无人机 监测结果进行验证,验证结果如表2所示。由表2可知,无



图 3 施工场地扰动范围和面积 Fig. 3 Disturbance scope and area of construction site

人机监测结果小于工程实际计量值,管道作业带临时堆土体 积监测误差大于施工场地,经分析,可能原因有2个方面:一 是土石方长时间堆放会出现自然沉降,导致无人机监测结果 偏小;二是数据量越多,累计误差越大,无人机拍摄的单张影 像误差较小,但连续拍摄导致误差累计增大^[16]。总体而言, 利用无人机测算的临时堆土体积精度满足《监测规程》中方量监测精度不小于 90%的要求。

2.2.3 水土流失情况监测。以施工场地为例,在水土保持 监测信息数据库内,继续新建面状图层"无土壤流失区域", 并勾绘监测范围内建构筑物、硬化场地、工程措施、水域等边 界范围,量取面积,以扰动土地面积反推土壤流失面积。经 量算,施工场地占地范围内建构筑物面积 63.6 m²,土壤流失 面积 4 669.2 m²。

2.2.4 水土保持措施监测。基于生成的 DOM 成果,通过人 工目视判读水土保持措施类型,并通过 ArcMap 提取措施位 置、数量。以管道作业带 RLS037~040 为例(图5),图中色调 呈绿色,边界清晰的为防尘网苫盖;色调呈白色,点状分布, 位于防尘网边缘的为编织袋临时拦挡措施。此外,通过建立 研究区三维模型,在 3D 效果下可直观判断苫盖、拦挡等水土 保持措施运行状况和防治效果等。如图 6 所示,管沟左侧堆 土采用防尘网进行了全面苫盖,防尘网完整无破损,防治效 果较好;而堆土坡脚编织袋仅起到压盖防尘网的作用,拦挡 效果较差。



图 4 管道作业带 RJX054~056(a) 和施工场地(b) 临时堆土体积

Fig. 4 The volume of the temporary soil of pipeline operation zone RJX054-056(a) and construction site(b)

表 2 无人机监测结果与传统方法监测结果对比

Table 2	Comparison of the	monitoring results	between the UAV	and the traditional methods
---------	-------------------	--------------------	-----------------	-----------------------------

序号 No.	监测对象 Monitoring objects	传统方法监测结果 Monitoring results based on the traditional methods//m ³	无人机监测结果 Monitoring results based on the UAV//m ³	精度 Accuracy//%
1	管道作业带 RJX054~056 临时堆土体积	1 382.4	1 263.7	91.4
2	施工场地临时堆土体积	14.8	14. 2	95.8

3 结论与讨论

高精度、高效率、信息化是未来水土保持监测的发展趋势,这注定无人机遥感技术在水土保持监测领域将发挥不可替代的作用。该研究以日京管道工程为例,从遥感数据采集、监测内容提取2个方面,对无人机遥感技术在线型工程

水土保持监测中的应用方法和效果进行阐述,结果表明,基 于高精度 DOM 和 DEM,可快速、准确获取研究区扰动范围、 位置、面积、堆土体积、措施类型、数量、防治效果和运行状况 等定性、定量数据,同时可输出研究区三维模型;监测结果与 传统监测方法相比,监测精度<10%,满足《监测规程》要求。



图 5 管道作业带 RLS037~040 措施类型及数量

Fig. 5 Type and quantity of measures in pipeline operation area RLS037-040



图 6 管道作业带 RLS037~040 三维模型

Fig. 6 The three-dimensional model of pipeline operation area RLS037-040

相较于点型工程,线型工程监测工作量大大增加,进行 全线路无人机监测实施难度大,通常可选择典型区域实施航 拍,以重点关注部位的监测结果反映总体情况。受地表原始 状况、天气、仪器光学系统自身畸变、飞行参数设置、内业误 差等因素影响,目前无人机遥感技术在土石方量监测精度方 面还存在一定误差^[6,10],因此,如何建立科学的研究方法,如 何对监测结果进行校正,还需要在后期工作中进一步探讨和 改进。尽管如此,无人机遥感技术在减轻线型工程外业工作 量、提高监测工作质量和效率、降低监测成本、提升监测信息 化水平等方面,都较传统监测和卫星遥感影像有着强大的优 势,可为水土流失防治提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 姜德文.论生态文明建设中的水土保持监测与公共服务[J].中国水土保持科学,2016,14(6):131-136.
- [2] 郭索彦.水土保持监测与信息化管理制度体系建设现状和思路[J].中国水土保持,2017(9):1-5.
- [3] 陈宇,付贵增,凌峰,等.无人机技术在生产建设项目水土保持监测中的应用[J].海河水利,2018(5):57-59.
- [4] 蔡志洲,袁普金,王森.空天地一体化水土保持监测初探[J].人民黄 河,2018,40(4):92-95.
- [5] 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.
- [6] 蔡志洲.小型无人机技术在水土保持监测中的应用[C]//中国水土保持学会预防监督专业委员会第九次会议暨学术研讨会论文集.北京:中国水土保持学会,2015.
- [7]张雅文,许文盛,沈盛彧,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.
- [8] 施明新. 无人机技术在生产建设项目水土保持监测中的应用[J]. 水土 保持通报,2018,38(2):236-240,329.
- [9] 许文盛,聂文婷,王一峰,等. 生产建设项目超大型弃渣场水土保持监 控方案探讨[J]. 中国水土保持科学,2019,17(4):153-159.
- [10] 李岚斌,金平伟,李乐,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:以清远抽水蓄能电站为例[J].人民珠江,2019,40(1): 6-11.
- [11] 张雅文,许文盛,韩培,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:以鄂北水资源配置工程为例[J].中国水土保持科学, 2017,15(2):132-139.
- [12] 阎世煜,王秀茹,王霄,等.无人机遥感数据处理模型的计算精度分析: 以引黄人冀补淀工程水土保持监测为例[J].中国水土保持科学, 2019,17(2):121-131.
- [13] 顾铮鸣,金晓斌,杨晓艳,等.基于无人机遥感影像监测土地整治项目 道路沟渠利用情况[J].农业工程学报,2018,34(23):85-93.
- [14] 赵永军,姜德文,袁普金.线状工程建设项目的水土保持监测:以西气 东输项目为例[J].水土保持研究,2005,12(6):71-75,253.
- [15] 胡玉杰,屈创.无人机遥感在水土保持领域的应用研究[J].中国水土 保持,2019(4):57-61,69.
- [16]常诚,李月宁.水土保持无人机遥测成果数据精度检测[J].东北水利 水电,2018,36(11):61-63,66.