引文格式：黄俊峰,闵会,胡铁鸣,等. 无人机低空遥感在地质灾害三维建模中的应用[J]. 地理空间信息, 2026, 24(1): 85-87. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.01.018

无人机低空遥感在地质灾害三维建模中的应用

黄俊峰，闵　会*，胡铁鸣，何　波，李姝祺，汤　商，吴　玲，阳　爽
（湖北省自然资源厅 测绘应急保障中心，湖北 武汉 430071）

摘　要：为满足国内自然灾害应急需求，提高测绘应急效率和质量，提出利用无人机低空遥感技术进行地质灾害隐患点三维建模。首先阐述了无人机在高山区域低空遥感地质灾害隐患点三维建模中的关键技术；再以宜昌市兴山县熊家老屋斜坡为例，介绍了相关技术案例应用情况，并对三维建模成果进行评价和精度分析。研究结果验证了该方法在地质灾害三维建模应用中的可行性，能为地质灾害应急处置提供有力的技术支持。

关键词：无人机；低空遥感；三维建模；应急测绘
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）01-0085-03

Application of UAV Low-altitude Remote Sensing Technology in the 3D Modeling of Geological Hazard Sites

HUANG Junfeng, MIN Hui, HU Tieming, HE Bo, LI Shuqi, TANG Shang, WU Ling, YANG Shuang
(Surveying and Mapping Emergency Security Center, Department of Natural Resources of Hubei Province,Wuhan 430071, China)

Abstract: In order to meet the domestic natural disaster emergency needs and improve the efficiency and quality of surveying and mapping emergency response, we utilized UAV low-altitude remote sensing technology to carry out 3D modeling of geological hazard sites. Firstly, we described the key technologies of UAV low-altitude remote sensing for 3D modeling of geological hazard sites in alpine areas. Then, taking the Xiongjialaowu slope in Xingshan County, Yichang City for example, we introduced the application situations of related technical cases, and evaluated and analyzed the accuracy of 3D modeling results. The result verifies the feasibility of this method in the 3D modeling of geological hazard sites, and the method is able to provide powerful technical support for emergency response to geological hazards.

Key words: UAV, low-altitude remote sensing, 3D modeling, emergency surveying and mapping

目前我国自然灾害多发频发，防灾减灾和应急救援面临严峻形势[1-3]。快速准确获取灾害信息在灾害应急中至关重要。受制于灾区风险，灾害勘测和救援人员往往难以安全抵近灾区。遥感作为一种可在短时间内部署、实现零伤亡的现代化灾情获取技术，得到了广泛应用[4]。地质灾害灾区三维建模对于制定灾害应急方案具有重要的参考意义。相较于传统三维建模技术，无人机倾斜摄影测量拥有低成本、高效率、高灵活性和适用性等优势[5-8]，具备很强的应急响应能力，已成为地质灾害应急建模的重要手段。本文利用无人机低空遥感技术进行地质灾害隐患点建模，再进行案例应用并对应用结果进行精度分析。

1　无人机高山区域低空遥感建模关键技术

1.1　无人机倾斜摄影测量仿地飞行技术

高山区域的地形起伏较大，无人机在倾斜摄影测量时无法保持固定的航高，易导致影像分辨率差异过大、相邻影像间重叠度过小以及三维建模数据处理中空中三角测量失败等问题[9-11]。仿地飞行技术利用无人机自身装载的测距传感器对周围环境进行高度测量，并及时将高度测量数据传送至无人机飞行控制系统；控制系统对高度测量数据进行处理并做出判断，再将信息传送给无人机；通过无人机的纵向机动能力来调整自身的飞行高度，以保证倾斜摄影过程中与地面保持固定的航高和影像分辨率，飞行轨迹见图1。考虑到应急测绘实际需求，本文选用激光雷达无人机高度采集方法。

在无人机航测开始前，需勘探整个测区的地形，获取测区的高程数据，据此进行仿地飞行。高程数据获取方式包括两种：①下载覆盖全国的公开 DEM 数据，裁剪出测区 DEM 数据，但由于 DEM 数据缺少地表植被、建筑物等高程信息，因此需要仔细观察测区内高层建筑物、高压电线、信号塔等高度，防止发生

项目来源：湖北省自然资源厅科研计划资助项目（ZRZY2024KJ40）。
第一作者简介：黄俊峰（1982—），本科，工程师，从事应急测绘管理工作，E-mail：jfhuang_chyj@163.com。
通信作者：闵会（1985—），本科，工程师，从事应急测绘管理工作，E-mail：75359366@qq.com。

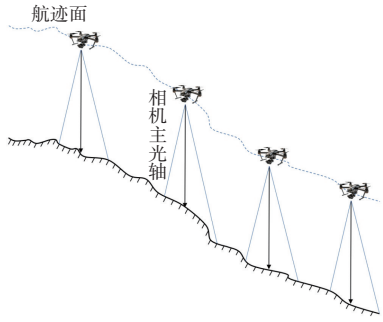


图1 仿地飞行示意图

撞机事故；②在测区完成一次较高高度的预扫航飞作业以获取实验区的高程信息，再经过后期处理生成测区DSM影像。考虑到地质灾害区域地表形态发生变化，与已有DEM数据存在偏差等问题，本文选用第二种方法获取测区高程数据。仿地飞行航测流程见图2。

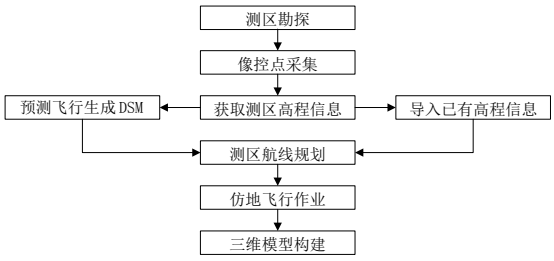


图2 仿地飞行航测流程图

为检验仿地飞行技术的可行性，本文利用大疆M350无人机平台搭载赛尔102SV3五镜头倾斜摄影相机进行小范围的验证实验，飞行高度为100 m，飞行速度为10 m/s，航向、旁向重叠度分别为80%和70%。从表征质量方面对比分析了固定航高飞行和仿地飞行两种方式生产的三维模型（图3），结果表明采用仿地飞行技术获取的三维模型具有更好的实景还原效果，模型完整度高，拉花现象较少。



a 固定航高飞行　　b 仿地飞行

图3 表征质量对比图

1.2 无人机倾斜摄影测量影像三维建模

三维建模是基于无人机拍摄的影像，通过相关系统在三维空间中还原实际情况。本文主要采用ContextCapture软件进行三维重建。该软件集成了先进的三维建模算法与数字图像处理技术，能高效、精确地还原测区内各种地物，且具有自动化、批量化处理的特点，确保了建模的质量和效率。无人机完成外业影像采集后，将影像数据、相机参数和POS数据导入ContextCapture软件进行三维建模。由于高山地区无人机倾斜摄影影像易出现像点位移、影像边缘畸变等问题，通常需对多个角度的影像进行预处理，提高影像质量。在影像匹配前进行特征点提取，常用算法包括Forstner、Sift和Harris；确保特征点分布均匀，从而提升影像匹配精度，保证联合平差空中三角测量加密点的质量。多视影像密集匹配通过在多幅影像中提取同名点，利用冗余影像信息降低信息盲区，从而实现区域网的自由网多视影像联合约束平差解算，完成相对定向，并生成在空间尺度上可适度自由变形的立体模型。利用外业测得的像控点数据对区域网模型进行约束平差，将其纳入精确的大地坐标系统中，实现绝对定向[12-14]。将符合空中三角测量基本精度要求的数据提交至ContextCapture软件，完成三维TIN格网构建、白体三维模型生成、自动纹理映射和三维实景场景构建等步骤[15]。ContextCapture软件根据TIN网每个三角形的空间位置，自动选择最佳视角的影像进行模型纹理映射。由于飞行架次不同，原始影像存在一定的色差，通过前期匀光匀色处理，模型效果会更加真实美观。

2 案例应用

2.1 案例概况

以兴山县熊家老屋斜坡因长期强降雨导致滑坡为背景进行应急测绘演练，测区总面积约为0.62 km^2；地形为丘陵，整体呈西高东低坡形地势，西东高差约为300 m；植被茂盛，主要建筑为一层民房。兴山县地处亚热带季风气候区，7—8月日照充足，气温较高，降雨时间集中。演练当天上午、中午天气晴，南风1~3级，电离层稳定，适宜飞行；下午阵风6~8级，局部降雨，不宜飞行。

2.2 像控点与检查点布设

以测区内卫星影像图为参考，选取易于识别、达到且具有明显特征的区域布设像控点；像控点均匀分布在测区内，确保每个区域都能得到有效控制。布设测区像控点时，在地面喷L形漆，利用RTK平滑采集L形外角点坐标作为像控点坐标，对测量结果进行检查和复核，并从4个方向拍摄像控点周围环境，以便后续能够准确识别和使用。检查点布设同理。

2.3 航摄飞行

在航摄准备阶段，首先收集测区大比例尺地形图；再以较高高度完成预扫作业生成测区DSM，了解测区的高程变化；最后根据相机、无人机参数和任务情况，确定测区基准面、飞行航高、相片重叠度和测区范围，完成飞行航线设计（图4）。无人机航摄系统

相关参数包括：大疆M350作业平台、工作载荷为赛尔102S、正射分辨率为2.8 cm、飞行器对地高度为248 m、航向重叠度为80%、旁向重叠度为70%、航线外扩一个航高。起飞前对无人机和航摄仪进行检校，完成飞行安全设置后执行航线任务，并实时监测任务状态和飞行器电量。航摄完成后，对数据、飞行、影像、附件等质量进行检查，保证数据质量。

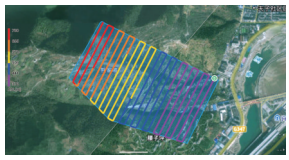


图4　航线设计图

2.4　实验结果与分析

内业人员收集并整理灾害区域地图和遥感影像，处理外业数据，完成DOM、激光雷达点云和三维倾斜模型等成果的生产以及地理信息数据的生产、分析和评估。无人机起飞后180 min获取第一批可见光影像，并生成影像拼图；期间外业数据采集人员完成了像控点和检查点的布设和测量成果的获取。内业人员在120 min内完成外场数据处理，生成第一批DOM数据；在24 h内完成兴山县熊家老屋应急测绘任务区滑坡体的倾斜模型生产；在48 h内获取第一批专题图。滑坡体的土方量计算采用CASS软件完成。三维建模成果见图5，可以看出，兴山县熊家老屋区域三维模型地形完整性良好，仅在部分复杂建筑边缘存在少量拉花、变形，电线塔建模不完整；大部分区域纹理清晰，色彩还原度高，部分建筑檐下纹理不足。



a 三维模型局部　　b 三维模型细节

图5　三维建模成果

根据应急测绘演练结果，本文提出的无人机低空遥感技术能有效解决传统地质灾害应急测绘中危险区域工作风险高、人力投入大等问题，降低设备损耗成本和数据处理成本。相较于传统测量方式，该方法具有更快的数据获取速度，可为应急救援人员和专家提供准确的地形地貌、受灾范围、地物损坏情况等信息，节约救援时间、提高应急救援效率。数据处理成果见表1，检查点实际坐标与模型点坐标的平面中误差为0.032 m，检查点与模型点的高程中误差为0.021 m，精度满足1∶500航测精度要求，能完成地质灾害区域三维重建、灾情评估和应急处理方案制定任务[16-17]。

表1　几何精度检查报告

检查点	*X* 坐标	*Y* 坐标	高程/m	模型点	*X* 坐标	*Y* 坐标	高程/m	平面误差/m	高程误差/m
JC1	474 456.115	3 468 044.851	565.621	JC1c	474 456.103	3 468 044.865	565.630	0.019	0.009
JC2	474 618.023	3 468 128.775	497.151	JC2c	474 618.028	3 468 128.780	497.176	0.008	0.025
JC3	474 851.962	3 468 072.219	393.704	JC3c	474 851.968	3 468 072.230	393.723	0.013	0.019
JC4	474 711.267	3 467 852.540	414.801	JC4c	474 711.291	3 467 852.558	414.836	0.030	0.035
JC5	474 885.119	3 467 739.179	368.967	JC5c	474 885.134	3 467 739.212	368.980	0.036	0.013
JC6	475 206.189	3 467 797.664	267.229	JC6c	475 206.151	3 467 797.685	267.238	0.043	0.009
JC7	475 260.266	3 467 648.659	246.215	JC7c	475 260.261	3 467 648.696	246.232	0.037	0.017
JC8	475 081.376	3 467 393.611	278.189	JC8c	475 081.396	3 467 393.652	278.212	0.045	0.023

3　结　语

本文从国内地质灾害应急测绘需求出发，提出了一种利用无人机低空遥感技术进行地质灾害区域三维建模的方法，研究了无人机高山区域低空遥感建模的关键技术，解决了目前地质灾害区域三维建模存在的问题。以兴山县熊家老屋为例，利用本文方法可快速构建清晰、逼真、高分辨率的实景三维模型。该模型可以任意角度、任意缩放展现地质灾害区域的情况，为地质灾害评估人员提供真实、直观的数据支持，方便其准确掌握地质灾害区域的受灾情况，及时制定行之有效的应急救灾措施，最大程度地降低灾害损失，避免或减少次生灾害影响。无人机低空遥感技术在地质灾害区域三维建模领域具有巨大的应用价值和前景。

参考文献

[1] 作者不详. 国家防灾减灾救灾委员会办公室应急管理部发布2024年一季度全国自然灾害情况[J]. 安全与健康,2024(4):48-49

[2] 佘惠敏. 今年已下达18.22亿元中央自然灾害救灾资金[N]. 经济日报,2024-07-13(3)

[3] 本报记者. 上半年全国自然灾害情况发布[N]. 中国应急管理报,2024-07-13(1)

（下转第96页）