

无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用研究

杨洋

湖北省地质勘查装备中心, 湖北 武汉 430200

DOI: 10.61369/TACS.2025110041

摘 要 : 随着全球气候变化加剧与地质环境的持续演变, 滑坡、泥石流等地质灾害频发, 这些灾害会对人民生命财产安全以及生态环境产生严重威胁。传统的地质灾害监测手段受地形条件、作业环境等因素限制, 很难满足复杂场景下高精度、全方位的监测需求。无人机倾斜摄影测量技术作为一种新型数字化测绘手段, 具有高机动性、高精度等优势, 在地质灾害监测领域展现出广阔的应用前景。鉴于此, 本文将针对无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用展开分析, 并提出一些策略。

关 键 词 : 无人机倾斜摄影测量技术; 地灾监测; 应用

Research on the Application of UAV Oblique Photogrammetry Technology in Geohazard Monitoring

Yang Yang

Hubei Provincial Geological Exploration Equipment Center, Wuhan, Hubei 430200

Abstract : With the intensification of global climate change and the continuous evolution of the geological environment, geological hazards such as landslides and debris flows occur frequently, posing serious threats to people's lives and property safety as well as the ecological environment. Traditional geological hazard monitoring methods are limited by factors such as terrain conditions and operating environments, making it difficult to meet the high-precision and all-round monitoring needs in complex scenarios. As a new type of digital surveying and mapping technology, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) oblique photogrammetry technology has the advantages of high mobility and high precision, and shows broad application prospects in the field of geological hazard monitoring. In view of this, this paper will analyze the application of UAV oblique photogrammetry technology in geohazard monitoring and propose corresponding strategies—such as optimizing flight path planning for complex terrain, improving 3D modeling accuracy through multi-source data fusion, and establishing real-time monitoring early warning systems based on temporal-spatial change analysis.

Keywords : UAV oblique photogrammetry technology; geohazard monitoring; application

一、无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用意义

(一) 突破传统监测局限, 提升监测效率

传统地质灾害监测多采用人工实地勘测、全站仪测量等方式, 这些方式存在较为明显的局限性。人工勘测在山区、无人区等复杂地形中作业难度极大且效率低下, 这就导致其很难实现大范围区域的快速监测^[1]。全站仪虽然具有较高的测量精度但监测范围有限, 难以满足大面积灾害隐患点的排查需求。无人机倾斜摄影测量技术凭借其机动灵活的特点, 可快速抵达监测区域, 还可以在较短的时间内完成大范围数据采集。此外, 无人机可以实现多期数据的快速获取与更新, 这样可以为地质灾害动态监测提供更高水平的技术支撑^[2]。

(二) 实现高精度建模, 保障监测数据质量

地质灾害监测对数据精度要求极高, 精准的地形地貌数据、

变形数据是灾害评估与预警的核心依据。无人机倾斜摄影测量技术可以通过多角度影像匹配与数据处理, 生成一个精度达到亚厘米级甚至毫米级的三维实景模型, 这样可以让人们更好的还原监测区域的地形地貌、地质构造及灾害特征细节^[3]。与传统监测技术相比, 无人机倾斜摄影测量技术获取的数据精度更高、细节更丰富, 能够有效减少监测误差, 这样可以大幅提升灾害评估与预警的准确性, 例如在露天矿边坡动态监测中, 经过优化的该技术可以将平面误差控制在 $\pm 3.2\text{cm}$, 高程误差控制在 $\pm 4.0\text{cm}$, 这样可以显著提升边坡稳定性监测的精准度。

(三) 规避作业风险, 增强监测安全性

地质灾害监测区域多为地形复杂、环境危险的区域, 如高陡坡、危岩体分布区等, 若是人工实地监测很容易引发安全事故。无人机倾斜摄影测量技术可实现无人化作业, 无需人员进入危险区域即可完成数据采集工作, 大幅降低了监测人员的安全风险^[4]。在一些河泥石流监测项目中, 利用常规勘查手段难以开展作业,

我们可以通过无人机倾斜摄影测量技术完成危险区域的全覆盖数据采集，这样除了能够保障作业人员的安全，还能实现更全面的监测工作。此外，在地震、泥石流等灾害发生后的应急监测中，无人机可快速进入灾害现场并获取实时影像与三维模型，这样可以为之后的救援方案制定、受灾范围评估提供数据支持，避免救援人员进入未稳定的危险区域，从而大幅提升应急救援的安全性与效率^[9]。

（四）支撑科学决策，优化防灾减灾体系

无人机倾斜摄影测量技术获取的三维实景模型、动态监测数据等成果可与地理信息系统（GIS）、人工智能等技术融合，以此构建一个地质灾害监测预警平台，这样可以为防灾、减灾决策提供更为科学化、可视化的支撑^[9]。通过三维实景模型，可以更为直观的展示灾害区域的地形地貌、灾害隐患点分布情况，这样可以帮助工作人员更为精准的识别灾害风险区域，有利于防治方案的制定。结合多期动态监测数据，我们可以逐渐建立一个灾害演变模型，这样可以更好的预测灾害发展趋势并提前发布预警信息，为群众转移安置、灾害应急处置争取时间。在灾害防治效果评估中，该技术可通过对比分析防治工程实施前后的三维模型与监测数据，从而大幅提升精准评估防治措施的有效性，为防治方案的优化调整提供依据^[7]。

二、无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用问题

（一）精度稳定性不足，受多因素影响显著

测量精度是无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中应用的核心保障，但实际作业中，其精度很容易受到相机参数、外在环境条件等多种因素影响，这样会导致其出现稳定性不足。在相机参数方面，焦距、光圈大小等参数会直接影响影像质量，若是未能对相机展开精准标定很容易导致畸变误差。在飞行参数方面，飞行高度、相机倾斜角等参数若是设置的不合理也会降低数据冗余度，从而极大影响模型精度^[9]。环境因素对测量精度的影响更为突出，大气湿度、风速等均会影响影像清晰度与数据采集稳定性。此外，地面控制点（GCP）布设不合理也会导致精度下降，若GCP数量不足或布设位置不当，很可能会造成误差累积，从而形成系统性偏差，这一问题在山区项目中尤为突出。

（二）数据处理难度大，模型应用存在局限

无人机倾斜摄影测量技术采集的数据量庞大，一个地灾监测项目的影像数据往往达数十GB甚至上百GB，这样会导致数据处理难度大、耗时长。同时，数据处理对硬件设备要求极高，普通的计算机很难承载大规模数据的存储与处理任务，数据的转换与模型重建过程也较为复杂，需借助专业的软件，同时软件的操作门槛也较高，若是处理参数设置不当，很容易出现模型变形、数据冗余等问题^[9]。不仅如此，生成的三维模型存在展示与二次开发难题，常规PC端仅能流畅展示几百兆的模型，而地灾监测项目生成的模型数据量多为几个G甚至上百G，这就导致其很难在PC端及移动端流畅展示，这样也会限制模型的现场应用与共享。

（三）环境适应性差，复杂场景作业受限

地质灾害监测区域多为地形复杂、环境恶劣的区域，无人机倾斜摄影测量技术在复杂场景下的适应性较为不足，这样极大限制了其应用范围。在地形适应性方面，高陡坡、悬崖等区域很容易导致无人机信号遮挡以及飞行姿态不稳定，严重的甚至会引发坠机事故。在气象适应性方面，强风、暴雨等极端天气也会影响无人机飞行安全与数据采集质量。在动态环境监测中该技术的适应性也存在不足^[10]。例如，在一些沿海地区的海岸线测量中，单次作业方式难以应对潮汐变化，这样就很容易导致高潮位区域数据缺失，使海岸线测量成果与实际位置偏差。

三、无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用策略

（一）优化精度控制体系，提升测量稳定性

为提升无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用效果，我们可以尝试构建一个多维度精度控制体系，从设备校准、参数优化等层面入手，不断提升测量精度的稳定性。在设备校准方面，我们需要再展开作业前对无人机和相机进行全面校准，采用改进的畸变校正算法，以此减少相机畸变误差。同时，结合不同的任务，我们可以选择一些高像素、高稳定性的相机设备，如大疆禅思P1全画幅相机、Sony A7RIV等，这样可以大幅提升影像质量，同时，我们还需合理设置相机参数。在飞行参数优化方面，我们可以结合监测区域的地形特征与精度需求制定一个更为个性化的飞行方案^[11]。例如，在山区危岩体监测中，我们可以采用45米飞行高度、25米航线间距、30-45度相机倾斜角的方式展开工作，这样可以确保影像重叠率达到65%-70%，以此提升数据冗余度。在环境适配方面，我们可以选择合适的作业时间，要尽可能避开雾天、大风等不利天气，在植被覆盖区域采用多时相摄影，这样可以减少阴影与遮挡影响。同时，我们还可引入多传感器融合技术，将IMU、GPS等传感器数据与倾斜摄影数据融合，这样可以大幅提升复杂环境下的测量精度。在GCP布设方面，我们可以尝试采用智能布设策略，结合地形特征与监测重点，沿建筑物角点、地形突变处等关键位置布设GCP，以此减少GCP数量的同时提升精度^[12]。

（二）升级数据处理技术，突破应用局限

在无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用中，我们要及时升级数据处理技术，这样可以更好的突破应用极限。为此，我们可以尝试在工作中利用大数据、云计算等技术，进一步升级数据处理流程，这样可以大幅提升数据处理效率与模型应用能力。在数据处理硬件方面，我们可以尝试搭建一个云计算平台，以此实现大规模数据的分布式存储与并行处理，这样还能有效减少数据处理耗时^[13]。同时，我们应配备更多高性能的图形工作站，以此提升模型重建与渲染速度，这样可以更好的满足现场快速处理需求。在软件算法方面，我们可以尝试引入一个基于深度学习的匹配算法提升同名点匹配精度，这样可以提升模型纹理的质量进一步提升。针对模型展示与二次开发的难题，我们可以尝试

引入模型轻量化处理技术,通过数据压缩、切割等操作将大规模模型轻量化至可在 PC 端同时保留关键细节信息。开发模型二次开发接口应支持与 GIS、BIM 等系统的融合,这样可以实现模型数据的深度应用。此外,为提升无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用效果,我们可以尝试构建一个多期数据对比分析系统,进一步开发智能变形提取算法,这样可以更为快速的识别滑坡体、危岩体等信息,提升动态监测的实时性与准确性。

（三）提升环境适应性，拓展作业场景

为提升无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用效果,我们可以通过技术改进与设备升级等方式进一步提升无人机倾斜摄影测量技术在复杂场景下的适应性,以此拓展作业范围。在设备升级方面,我们可以研发一些长续航无人机,尽可能将续航时间提升至4小时以上,同时,我们应为其配备相应的备用电池与快速充电设备,这样可以有效满足大范围、长时间连续监测需求。为提升无人机的抗风、抗雨、抗高温能力,我们可以选择更为

专业的设备,这样可以大幅提升极端天气下的作业稳定性,例如采用碳纤维机身材质提升无人机的抗风能力,使其在6级大风环境下也能正常作业^[14]。在地形适应性方面,我们可以优化无人机飞行控制系统,引入一个地形跟随技术与避障系统,这样可以让无人机能够根据地形起伏自动调整飞行高度避开障碍物,使其能够在高陡坡、峡谷等复杂地形中安全作业。为保证无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用效果,我们可以尝试采用集群无人机系统,通过多台无人机协同作业减少单次作业时间,这样还能大幅提升大范围区域的监测效率,避免单一无人机作业的局限性。在动态环境监测方面,我们可以尝试开发一些动态数据采集与处理技术,结合实时定位技术实时捕捉潮汐、水流、泥沙堆积等动态变化,以此提升动态监测的准确性。在应急监测中可以采用快速响应航线规划技术,这样可以实现灾害现场的快速数据采集与模型重建,为应急救援提供实时支持^[15]。

参考文献

[1] 黄荣. 无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用 [J]. 地下水, 2024, 46(02): 179-181+267.
[2] 李小平. 无人机三维倾斜摄影测量技术在露天矿山监测中的应用 [J]. 江西测绘, 2023, (04): 32-35.
[3] 张怀艳, 施紫鹏. 无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (16): 109-111.
[4] 唐勇均. 无人机倾斜摄影测量技术在露天矿区监测中的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2023, (07): 171-173.
[5] 徐述刚. 无人机倾斜摄影测量技术在露天矿区监测中的应用 [J]. 中国金属通报, 2023, (06): 159-161.
[6] 雷祖健. 无人机倾斜摄影测量技术在矿山监测中的应用 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(04): 103-105.
[7] 周勇兵. 无人机倾斜摄影测量技术在矿山监测中的应用 [J]. 河南科技, 2022, 41(23): 18-22.
[8] 冯啸. 无人机倾斜摄影测量技术在地质灾害监测中的应用——以四川省茂县叠溪镇山体滑坡为例 [J]. 华北自然资源, 2022, (04): 98-101.
[9] 王亚男. 无人机倾斜摄影测量技术在露天矿区监测中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (21): 179-181.
[10] 常晓艳. 无人机倾斜摄影测量技术在地灾监测中的应用 [D]. 燕山大学, 2021.
[11] 周子渊, 高璐媛, 党维勤, 等. 无人机倾斜摄影 1:500 不动产测量技术在侵蚀沟监测中的应用 [J]. 中国水土保持, 2021, (02): 60-62.
[12] 辛成章. 无人机倾斜摄影测量技术在地质灾害监测中的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2021, (01): 61-62.
[13] 林永成. 无人机倾斜摄影测量技术在露天采石场储量动态监测中的应用 [J]. 质量与市场, 2020, (07): 46-48.
[14] 徐东华, 谭金石, 苏一丹. 无人机倾斜摄影测量技术在露天矿区监测中的应用研究 [J]. 广州航海学院学报, 2019, 27(03): 66-70.
[15] 刘海生. 无人机倾斜摄影测量技术在露天采石场储量动态监测中的应用 [J]. 智能城市, 2019, 5(02): 1-2.