

无人机倾斜摄影在工程边坡稳定性监测中的应用实践

王赛 530381198710091571

摘要：本文系统探讨了无人机倾斜摄影技术在工程边坡稳定性监测领域的应用。分析其原理、作业流程与数据处理方法，结合案例阐述了该技术在边坡变形监测、三维模型构建、地质灾害预警等方面的应用优势与价值。研究表明，该技术能高效精准获取边坡表面影像与三维信息，为边坡稳定性分析与安全评估提供创新手段，有重要工程应用前景。

关键词：无人机倾斜摄影；工程边坡；稳定性监测；三维建模；变形分析；地质灾害预警

引言

随着我国基础设施建设发展，工程边坡数量与规模增大，其稳定性关乎工程、生命财产及生态环境安全。传统边坡监测方法存在效率低、成本高、难获整体连续变形信息等局限。近年来，无人机与倾斜摄影测量技术融合，为边坡监测提供新方案。无人机倾斜摄影可多角度快速获取边坡高重叠度影像，经三维重建生成高精度模型与影像，实现边坡特征精细化识别与量化分析。本文阐述该技术原理与作业流程，结合案例探讨其在边坡稳定性监测中的实践方法、优势、挑战及发展趋势，为相关领域提供参考。

一、 无人机倾斜摄影技术概述及其在边坡监测中的优势

1. 技术原理概述

无人机倾斜摄影技术通过在同一飞行平台上搭载多台传感器（通常为 5 台，包括 1 台正射相机和 4 台不同角度的倾斜相机），能够从垂直、前视、后视、左视、右视五个不同视角同步采集地物影像。这些高分辨率影像包含了丰富的纹理信息和几何信息，结合高精度 POS（定位定姿系统）数据，通过空中三角测量、密集匹配等算法，可构建出边坡的三维点云模型，并进一步生成 DSM、TDOM 以及具有真实纹理的三维模型，为边坡监测提供了直观、精确的空间数据基础。

2. 作业流程高效灵活

其作业流程通常包括航线规划、外业影像采集、数据预处理、三维建模与成果输出等环节。相比传统测量方法，无人机倾斜摄影可快速覆盖大面积边坡区域，尤其适用于地形复杂、人员难以到达的危险边坡。通过预设飞行参数，无人机能够自主完成数据采集，大大减少了人工干预，提高了作业效率，且数据采集周期短，可根据监测需求进行高频次的动态监测，及时捕捉边坡变形的动态过程。

3. 边坡监测中的核心优势

相较于传统监测手段，该技术在边坡监测中展现出显著优势。首先，能够实现边坡整体形态的高精度重建，精度可达厘米级甚至毫米级，满足工程监测对精度的要求；其次，可全面获取边坡表面的细节特征，如裂缝的位置、长度、宽度及走向，为分析边坡变形机理提供详细数据；再次，具有非接触式测量特点，避免了监测人员进入危险区域，降低了作业风险；最后，生成的三维模型和影像成果直观易懂，便于工程技术人员进行可视化分析和多期数据对比，从而更准确地评估边坡稳定性状况。

二、 在工程边坡稳定性监测中的具体应用实践

1. 高危边坡应急监测

当边坡区域出现险情或显现潜在失稳迹象时，可立即启动无人机倾斜摄影系统进行应急响应。该系统能够迅速部署至现场，在极短的时间内完成对边坡及其周边区域的全方位、多角度的高精度扫描，从而快速获取灾害发生后的边坡表面形态与地形变化数据。这一过程为后续应急抢险方案的制定与决策提供了及时、准确且全面的空间信息支持。例如，在滑坡事故发生后，通过无人机采集并生成的高分辨率三维实景模型，可以清晰、直观地呈现滑坡体的具体影响范围、滑动的主要方向以及堆积体的分布形态，这些详细信息有助于救援人员科

学评估灾害的实际影响程度，并据此合理规划安全、高效的救援与处置路径。

2. 大型工程建设期边坡监测

在水利枢纽、高速公路、露天矿等大型工程建设中，边坡开挖与填筑会改变地质结构和应力分布。为确保工程安全，需对边坡稳定性进行长期系统监测。无人机可定期对施工区域边坡进行高精度摄影测量，处理不同时期采集的数据，构建高精度三维地形模型。对比分析不同时期的三维模型，能精确计算边坡位移量、沉降速率和变形趋势等参数。这让工程人员实时掌握边坡变形情况，及时评估潜在风险，根据监测数据调整施工方案和防护措施，预防工程灾害，保障工程施工安全顺利进行。

3. 运营期边坡长期监测

对于已运营的公路、铁路、尾矿库等人工或自然斜坡工程结构，长期稳定性监测至关重要。为持续掌控边坡状态，无人机技术可按预设监测周期（如每月或每季度一次）对边坡进行常态化巡视与数据采集，积累边坡表面及内部变形的时序数据。专业人员通过对长期积累的变形监测数据进行趋势分析与模型构建，能识别边坡稳定性变化的早期征兆与潜在规律。基于数据分析的预警机制可提前对边坡失稳、滑移等风险发出警报，为边坡维护与加固方案提供科学决策依据。最终目标是保障相关基础设施运营安全，维护周边人员生命财产安全，防范重大安全事故。

三、应用案例分析、挑战与展望

1. 应用案例分析

以某高速公路边坡监测项目为例，该项目在施工期间采用无人机倾斜摄影技术，每两周获取一次边坡三维数据。通过对比不同时期的点云模型，发现 K25+300 段边坡在一个月內出现了累计 5.2 厘米的下滑位移，技术人员结合地质勘察数据，判断为坡脚开挖导致的局部失稳，随即调整了施工顺序并采取锚杆加固措施，成功避免了滑坡事故的发生。在运营期，某山区铁路边坡监测中，无人机通过连续一年的季度监测，捕捉到边坡表面裂缝的缓慢扩展趋势，经数据建模分析预测出潜在的失稳风险，相关部门及时进行了削坡减载处理，保障了铁路线路的安全运营。

2. 挑战

当前无人机倾斜摄影技术在边坡监测中仍面临一些挑战。首先，在复杂气象条件下，如强风、浓雾、暴雨等，无人机的飞行安全和数据采集精度会受到较大影响，可能导致监测周期中断或数据质量下降。其次，对于植被覆盖度较高的边坡，无人机获取的点云数据中会包含大量植被噪声，增加了后期数据处理的难度，可能影响对边坡实际变形的准确判断。

3. 展望

未来，随着无人机技术、传感器技术和人工智能算法的不断发展，无人机倾斜摄影技术在边坡监测领域的应用将更加成熟。一方面，长续航、高负载的无人机平台将得到广泛应用，结合多光谱、热红外等新型传感器，能够实现对边坡物理参数（如温度、湿度、应力等）的综合监测，提升监测的全面性和准确性。另一方面，人工智能算法将深度融入数据处理流程，实现对边坡变形特征的自动识别、提取和分析，大大提高数据处理效率和预警的及时性。同时，随着 5G 技术的普及，无人机可实现实时数据传输和远程控制，结合数字孪生技术，构建边坡的动态三维可视化模型，为边坡的精细化管理和智能化决策提供有力支持。

结论

综上所述，无人机倾斜摄影技术作为新兴测绘遥感手段，在工程边坡稳定性监测中应用前景广阔、实用价值显著。它革新传统边坡监测数据获取模式，实现全方位、高精度、高效率监测。通过技术流程与数据分析，能为边坡稳定性评价、灾害预警和工程治理提供科学可靠决策依据。随着技术成熟完善，其将在岩土工程、地质灾害防治等领域发挥更重要作用。

参考文献：

[1]杨绪波,程强,袁进科,等. 基于无人机倾斜摄影的危岩识别及数值模拟分析 [J]. 人民长江, 2023, 54 (06): 112-119.

[2]苗作华,任磊,王梦婷,等. 露天矿山无人机倾斜摄影测量数据的准确性探究 [J]. 矿业研究与开发, 2022, 42 (02): 164-168.

[3]冯增文,于淼,李珂,等. 复杂地形山区工程测绘关键技术创新融合与应用研究 [J]. 北京测绘, 2020, 34 (12): 1667-1671.