

无人机激光雷达与BIM技术在高边坡变形监测中的融合应用

孙泽达

中国十九冶集团有限公司 四川 成都 610031

摘要：本文聚焦无人机激光雷达与BIM技术在高边坡变形监测中的融合应用。先阐述两者技术基础，分析融合的可行性和互补性。接着介绍无人机激光雷达在监测方案、数据处理分析等方面的应用，以及BIM技术在模型构建更新、变形信息集成分析上的支持作用。最后提出融合应用方案与效果评估方法。该融合应用可提高监测精度与效率，为高边坡工程安全提供有力保障，推动工程监测向数字化、智能化发展。

关键词：无人机激光雷达；BIM技术；高边坡变形监测；融合应用

1 无人机激光雷达与BIM技术基础

1.1 无人机激光雷达技术概述

无人机激光雷达技术是高新技术，结合无人机与激光雷达，给地理信息获取等领域带来变革。激光雷达发射激光束接收反射信号测距，搭配无人机灵活飞行，可快速获取大面积高精度三维空间信息。该系统由无人机平台、激光雷达传感器、定位定向系统（POS）、数据处理软件等组成。无人机平台是飞行载体，能适应不同地形环境作业；激光雷达传感器是核心，性能影响数据质量精度；定位定向系统确定飞行位置姿态，为点云配准打基础；数据处理软件负责处理、分析、展示原始数据。实际应用中，它优势明显^[1]。作业效率高，短时间内获取大面积地形数据，缩短作业周期；数据精度高，可达厘米级，满足工程监测要求；受地形天气影响小，适应性强；能获取丰富三维信息，为后续分析决策提供全面准确的数据支持。

1.2 BIM技术基础

BIM即建筑信息模型技术，是基于三维数字技术的工程数据模型，整合项目多方面信息，为全生命周期管理提供支持。它以三维模型为核心，数字化呈现建筑物各部分，实现各阶段信息共享与协同工作。BIM模型信息丰富，含几何形状、尺寸等基本信息，以及材料属性等详细信息，以参数化表达，具可计算性和可分析性。设计阶段可直观展示效果、发现问题并优化；施工阶段能施工模拟、规划方案、安排进度；运营阶段可进行设施、空间管理等智能化管理。BIM技术有可视化、协调性等特点，可视化让各方直观了解项目，提高沟通决策效率；协调性解决信息冲突矛盾，减少变更返工；模拟性提前发现问题优化；优化性提升项目整体效益；可出图性自动生成图纸报表，提高出图效率质量。

1.3 技术融合的基础与可行性分析

无人机激光雷达技术与BIM技术虽领域不同，但在多方面互补，为融合应用奠定基础、提供可行性。信息获取上，前者快速获取高精度三维地形和建筑物表面信息，为BIM模型构建提供原始数据；后者整合管理数据，提升利用价值。

数据处理方面，前者获取的点云数据需预处理等，BIM的参数化建模和数据分析方法可提供支持，如建立三维模型配准融合数据，提高准确性和效率。应用目标上，二者都致力于提高工程项目质量、效率和安全性。前者用于高边坡变形监测等，提供安全评估依据；后者集成监测信息，实现全生命周期管理，预防安全风险。另外，计算机等技术发展，提升设备软件性能功能，为融合提供保障；行业对数字化、智能化管理需求增长，促使二者融合成为必然趋势。

2 无人机激光雷达在高边坡变形监测中的应用

2.1 监测方案设计

2.1.1 监测区域划定与无人机航线规划

在高边坡变形监测中，准确划定监测区域是确保监测效果的关键。监测区域的划定应综合考虑边坡的地质条件、地形地貌、工程重要性等因素。一般来说，应将整个边坡及其周边可能影响边坡稳定性的区域纳入监测范围，包括边坡的坡面、坡顶、坡脚以及相邻的沟谷、山坡等。无人机航线规划是保证数据采集全面性和准确性的重要环节。在规划航线时，应根据监测区域的地形特点和激光雷达的扫描范围，合理设置飞行高度、飞行速度和航线间距。飞行高度过高会导致点云数据密度降低，影响监测精度；飞行高度过低则可能增加飞行风险。

和作业成本。飞行速度应根据激光雷达的扫描频率和数据采集要求进行选择，确保在飞行过程中能够获取足够数量的点云数据。航线间距应根据点云数据的重叠度要求进行确定，一般要求相邻航线之间的点云重叠度不低于30%，以保证数据的完整性和连续性。

2.1.2 数据采集频率与精度要求

数据采集频率应根据边坡的变形速率和工程安全要求进行确定。对于变形速率较快、稳定性较差的高边坡，应适当增加数据采集频率，以便及时掌握边坡的变形情况。一般来说，在边坡施工期间或雨季等特殊时期，数据采集频率可设置为每天一次或每周几次；在边坡稳定运行期间，数据采集频率可适当降低，如每月一次或每季度一次^[2]。数据精度要求是保证监测结果可靠性的重要指标。在高边坡变形监测中，点云数据的平面精度和高程精度应达到厘米级，以满足对边坡微小变形的监测需求。为了保证变形监测的准确性，还应要求点云数据的完整性良好，无明显的缺失和噪声干扰。

2.1.3 数据质量控制与异常检测策略

数据质量控制是确保监测数据可靠性的重要环节。在数据采集过程中，应采取一系列措施保证数据质量，如定期对无人机激光雷达设备进行校准和检查，确保设备的性能稳定；在飞行作业前，应对监测区域的环境条件进行评估，避免在恶劣天气条件下进行数据采集；在数据采集过程中，应实时监测数据的质量指标，如点云密度、重叠度等，及时发现并解决数据采集过程中出现的问题。异常检测策略是及时发现边坡变形异常情况的重要手段。在数据处理过程中，应采用多种方法对点云数据进行异常检测，如基于统计方法的质量控制、基于空间分析的异常点检测等。对于检测到的异常数据，应进行进一步的分析和判断，确定其是否为边坡变形引起的异常，并及时采取相应的措施进行处理。

2.2 数据处理与分析方法

2.2.1 点云数据的预处理与滤波

点云数据预处理是提高数据质量和分析准确性的主要步骤。预处理主要包括数据格式转换、坐标转换、去噪等操作。数据格式转换是将采集到的原始点云数据转换为适合后续处理和分析的格式，如LAS格式。坐标转换是将点云数据的坐标系统一到指定的坐标系下，以便进行数据配准和融合。去噪则是去除点云数据中的噪声点和异常点，提高数据的纯净度。点云数据滤波是进一步去除噪声干扰、提取有用信息的关键技术。常用的滤波方法包括高斯滤波、中值滤波、均值滤波等。高斯滤波是一种基于高斯分布的线性滤波方法，能够有效地平滑

点云数据，去除高频噪声。中值滤波和均值滤波则是非线性滤波方法，通过计算邻域内点的中值或均值来替代当前点的值，达到滤波的目的。在实际应用中，应根据点云数据的特点和滤波要求选择合适的滤波方法。

2.2.2 三维模型的构建与精度评估

三维模型构建是将预处理后的点云数据转化为具有明确几何形状和拓扑关系的三维模型的过程。常用的三维建模方法包括基于三角网的三维建模、基于体素的三维建模等。基于三角网的三维建模方法通过将点云数据连接成三角形网格来构建三维模型，具有建模速度快、精度较高的特点。基于体素的三维建模方法则将三维空间划分为若干个体素单元，根据点云数据在体素单元内的分布情况构建三维模型，适用于处理大规模的点云数据。三维模型精度评估是确保模型可靠性的重要环节，精度评估主要包括模型几何精度评估和属性精度评估两个方面。几何精度评估通过比较模型与实际地形或建筑物之间的差异来评估模型的精度，常用的评估指标包括平面误差、高程误差等。属性精度评估则是对模型中包含的属性信息进行评估，确保属性信息的准确性和完整性。

2.2.3 变形信息的提取与分析

变形信息提取是高边坡变形监测的核心任务。通过对比不同时期构建的三维模型，可以提取边坡的变形信息，如位移、沉降、倾斜等。常用的变形信息提取方法包括特征点匹配法、整体变形分析法等^[3]。特征点匹配法是通过在三维模型中提取特征点，并匹配不同时期模型中的对应特征点，计算特征点的位移变化来获取边坡的变形信息。整体变形分析法则是将整个三维模型作为一个整体进行分析，通过计算模型的整体变形参数来评估边坡的变形情况。变形信息分析是对提取到的变形信息进行深入研究和判断的过程。通过分析变形信息的时间序列变化规律、空间分布特征等，可以了解边坡的变形趋势和变形机制，为边坡的稳定性评估和预警提供依据。同时，还可以结合边坡的地质条件、工程情况等因素，对变形信息进行综合分析，提高分析结果的准确性和可靠性。

3 BIM 技术在高边坡变形监测中的支持作用

3.1 BIM模型的构建与更新

BIM模型的构建是高边坡变形监测中BIM技术应用的基础。在构建BIM模型时，应充分考虑高边坡的地质条件、地形地貌、工程结构等因素，将边坡的地质层、支护结构、排水系统等元素以数字化的形式准确地表达在模型中。同时，还应为模型中的各个元素赋予相应的属性信息，如材料属性、几何尺寸、施工工艺等，以便后

续的分析和管理。随着监测工作的进行，高边坡的变形情况会不断发生变化，因此需要及时对BIM模型进行更新。模型更新应根据最新的监测数据和分析结果，对模型中的变形元素进行调整和修改，确保模型能够准确反映边坡的当前状态。模型更新可以采用手动更新和自动更新相结合的方式，对于变形较大的元素，可以采用手动更新的方式进行精确调整；对于变形较小的元素，可以采用自动更新的方式，提高更新效率。

3.2 变形信息的集成与分析

BIM技术为变形信息的集成提供了便捷的平台。通过将无人机激光雷达监测获取的变形信息集成到BIM模型中，可以实现变形信息与边坡几何模型、属性信息的关联和整合。在BIM模型中，可以直观地展示边坡的变形情况，如位移矢量图、沉降云图等，方便项目各参与方了解边坡的变形状态。同时，BIM技术还可以对集成后的变形信息进行深入分析，利用BIM模型中的参数化分析功能，可以对边坡的变形趋势进行预测和模拟，评估边坡在不同工况下的稳定性。还可以结合边坡的工程设计和施工信息，分析变形对工程安全的影响，为工程的维护和管理提供决策支持。BIM技术还可以实现变形信息的共享和协同工作，不同专业的人员可以在同一个BIM模型平台上进行交流和协作，提高工作效率和决策的科学性。

4 无人机激光雷达与BIM技术的融合应用

4.1 融合应用方案设计

无人机激光雷达与BIM技术的融合应用方案应综合考虑两者的技术特点和应用需求，实现优势互补。在融合应用中，首先应利用无人机激光雷达技术获取高边坡的高精度三维点云数据，并对数据进行预处理和滤波，提取有用的信息。然后，将处理后的点云数据导入到BIM建模软件中，作为构建BIM模型的原始数据依据。通过点云数据与BIM模型的配准和融合，将变形信息准确地集成到BIM模型中。在融合应用过程中，还应建立数据交互和共享机制，确保无人机激光雷达数据和BIM模型之间的实时更新和同步。同时，开发专门的融合应用软件或插件，实现数据的自动化处理和分析，提高融合应用的效率和准确性。此外，还应制定相应的融合应用标准和规范，指导融合应用的设计、实施和管理，确保融合应用的质

量和可靠性。

4.2 融合应用效果评估

融合应用效果评估是对无人机激光雷达与BIM技术融合应用效果进行全面评价的过程。评估指标应包括数据精度、模型完整性、变形信息提取准确性、应用效率等方面。数据精度评估主要通过与实地测量数据进行对比，评估融合应用后获取的变形信息的精度是否满足工程要求^[4]。模型完整性评估则检查BIM模型是否完整地包含了高边坡的各个元素和变形信息，是否存在缺失或错误。变形信息提取准确性评估通过对比不同方法提取的变形信息，评估融合应用方法的有效性和可靠性。应用效率评估则从数据处理时间、模型更新速度等方面评价融合应用的工作效率。通过对融合应用效果的评估，可以及时发现融合应用过程中存在的问题和不足，并采取相应的措施进行改进和优化。同时评估结果还可以为后续的融合应用项目提供参考和借鉴，促进无人机激光雷达与BIM技术的融合应用不断发展和完善。

结束语

无人机激光雷达与BIM技术在高边坡变形监测中的融合应用，是技术创新与实践需求的有机结合。通过充分发挥两者优势，实现了数据精准获取、高效处理与深度分析，为边坡稳定性评估和工程安全管理提供了科学依据。随着技术不断进步，融合应用将更成熟完善，有望拓展至更多工程领域。未来，需持续探索创新，提升技术水平，以更好地应对复杂工程挑战，保障工程建设与运营安全。

参考文献

- [1]亓立壮,安士凯,周大伟.基于无人机激光雷达技术的开采沉陷监测方法与参数反演[J].科学技术与工程,2022,22(12):4752-4761.
- [2]陈芳,林超,汤晓辉,陈扬政.龙南高速路基边坡监测技术应用研究[J].土工基础,2021,35(06):704-707.
- [3]陈兆良,刘伟.三维激光扫描技术在矿山边坡变形监测中的应用研究[J].世界有色金属,2021(20):24-25.
- [4]孙玉玲,刘玉娟,朱琳,等.无人机机载激光雷达技术在地形测量中的应用研究[J].测绘科学,2021,46(05):63-67.