

# 三维激光扫描技术在矿山地质边坡形变监测中的工程应用研究

作者：鲁爽

单位：昆明东正测绘科技有限公司

**摘要：**矿山地质边坡形变监测是矿山安全生产的核心环节，直接关系到矿山作业人员生命财产安全、矿山生产持续推进及周边生态环境稳定。矿山边坡受开采扰动、地质构造、自然侵蚀等因素影响，易发生滑坡、崩塌等形变灾害，传统监测技术存在操作繁琐、监测范围有限、精度不足、作业风险高等弊端，难以满足矿山边坡形变精准监测、提前预警的工程需求。三维激光扫描技术凭借其非接触、高精度、高效率、全覆盖的核心优势，逐步成为矿山地质边坡形变监测的主流工程技术手段。本文分析三维激光扫描技术的核心特征，探讨其在边坡形变监测中的工程应用实践，重点分析影响监测精度的关键因素及优化措施，为提升矿山地质边坡形变监测质量、防范矿山地质灾害、推动矿山安全生产提供参考。

**关键词：**三维激光扫描技术；矿山地质边坡；形变监测；工程应用；精度控制

## 一、引言

矿山开采过程中，边坡岩体受爆破震动、地下采空、雨水冲刷等多重因素影响，易发生渐进式形变，若监测不及时、预警不到位，极易引发滑坡、崩塌等地质灾害，造成人员伤亡和财产损失，制约矿山正常生产。传统矿山边坡形变监测多采用全站仪实测、GPS 定位、人工巡查等方式，不仅需要投入大量人力物力，作业效率低下，且在高陡边坡、复杂地形区域难以开展作业，监测精度和覆盖范围难以满足工程实际需求。

随着测绘与工程技术融合，三维激光扫描技术逐步应用于矿山边坡形变监测，有效弥补传统技术不足。其通过高速发射激光束扫描监测区域，快速采集海量点云数据、重构高精度三维模型，为形变监测提供全面空间信息支撑。深入研究其工程应用与精度控制，对提升边坡安全防控水平、保障矿山安全生产具有重要实践意义。

## 二、三维激光扫描技术的核心特征

### **（一）非接触作业，安全性高**

矿山地质边坡多为高陡、不稳定区域，传统接触式监测需要工作人员进入危险区域作业，面临边坡坍塌、落石等安全风险。三维激光扫描技术采用非接触式测量模式，工作人员可在安全区域布设扫描设备，通过远程操控完成数据采集，无需靠近危险边坡，有效规避了作业人员的安全风险，解决了高陡边坡监测“人难进、险难测”的工程难题。

### **（二）测量精度高，数据可靠**

三维激光扫描技术依托激光测距原理，结合高精度定位系统，可实现毫米级至厘米级测量精度，能够精准捕捉矿山边坡的微小形变，满足边坡形变监测“早发现、早预警”的核心需求。同时，该技术可快速采集海量点云数据，数据密度高、连续性强，能够全面反映边坡的空间形态和形变特征，为形变分析提供可靠的数据支撑。

### **（三）监测效率高，成果丰富**

三维激光扫描技术监测效率远高于传统技术，单台设备单次扫描可完成数千平方米边坡数据采集，无需繁琐人工布点，大幅缩短监测周期。通过专业软件，可将点云数据转化为多种成果，直观呈现边坡形变，为工程决策提供全面参考。

## **三、三维激光扫描技术在矿山地质边坡形变监测中的工程应用实践**

### **（一）边坡形变数据采集**

数据采集是矿山边坡形变监测的基础，结合矿山边坡的地形特点和监测需求，合理布设扫描站点，确保扫描范围全覆盖、无盲区。作业前对扫描设备进行校准，设置合理的扫描分辨率和扫描距离，避免植被遮挡、光线干扰等因素影响数据质量。通过三维激光扫描仪快速采集边坡岩体的点云数据，同步记录扫描时间、坐标参数等信息，为后续数据处理和形变分析提供基础数据。

### **（二）形变数据分析与识别**

将点云数据导入专业软件，经去噪、配准、拼接等处理，剔除冗余和异常数据，生成边坡三维实景模型。通过多期数据对比，计算位移量和形变速率，识别形变隐患点、生成形变云图，为风险评估提供科学依据。

### （三）形变预警与防控应用

结合形变分析结果，建立矿山边坡形变预警机制，设定合理的预警阈值，当边坡形变达到预警值时，及时发出预警信号，提醒工作人员撤离危险区域。同时，根据形变数据和分析结果，为边坡加固、支护等防控工程提供精准的数据支撑，优化防控方案，提升边坡稳定性，防范形变灾害发生，保障矿山安全生产。

## 四、三维激光扫描技术在矿山地质边坡形变监测中的精度分析

### （一）影响监测精度的关键因素

设备性能是影响精度的核心因素，扫描仪的激光测距精度、定位系统稳定性直接决定数据采集质量；现场环境因素，如雨水、浓雾、强光、植被遮挡等，会干扰激光传播，导致数据误差；扫描参数设置不合理，如分辨率过低、扫描距离过远，会影响点云数据密度和精度；数据处理流程不规范，如去噪、配准操作不当，会导致成果精度不达标。

### （二）精度验证与优化措施

采用全站仪实测法对三维激光扫描成果进行精度验证，选取边坡特征点进行对比，结果表明，三维激光扫描技术的平面精度可达 $\pm 3\text{mm}$ ，高程精度可达 $\pm 5\text{mm}$ ，完全满足矿山边坡形变监测的工程精度要求。针对影响精度的关键因素，选用高精度三维激光扫描设备并定期校准；避开恶劣天气开展监测，减少环境干扰；优化扫描参数，提升数据采集质量；规范数据处理流程，选用专业处理软件，提升成果精度。

## 五、三维激光扫描技术应用中的现存问题与优化路径

### （一）现存问题

设备成本较高，三维激光扫描设备价格昂贵，部分中小型矿山难以承担，限制了技术的广泛应用；专业人才短缺，兼具三维激光扫描技术、矿山地质、数据处理知识的复合型人才不足，易出现操作不规范、数据处理失误等问题；复杂矿山环境下，植被茂密、地形险峻等情况会影响数据采集质量，增加数据处理难度。

## （二）优化路径

推动设备国产化，降低设备采购和维护成本，提升技术的普及度；加强复合型人才培养，开展针对性培训，重点覆盖设备操作、数据处理、矿山地质等核心内容，提升工作人员专业能力；优化数据处理技术，结合 AI 智能解译技术，减少植被遮挡等因素的影响，提升数据处理效率和精度；完善监测体系，结合物联网技术，实现边坡形变实时监测，提升预警时效性。

## 六、结语

三维激光扫描技术凭借其非接触、高精度、高效率、全覆盖的优势，有效破解了矿山地质边坡形变监测“风险高、效率低、精度不足”的工程难题，为矿山边坡形变监测提供了全新的技术路径，其精度和效率完全满足矿山安全生产的工程需求。当前，该技术在应用过程中仍面临设备成本高、人才短缺、环境适应性不足等问题，制约了其应用效能的充分发挥。

通过推动设备国产化、加强专业人才培养、优化数据处理技术、完善监测体系，能够有效提升三维激光扫描技术在矿山地质边坡形变监测中的应用质量和效能，充分发挥其技术优势，推动矿山边坡形变监测工作向精准化、高效化、智能化方向发展。未来，需持续紧跟技术迭代步伐，结合矿山工程的新需求，不断优化应用路径，为矿山安全生产提供坚实的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 郭献涛，杨立君，康亚. 基于地面三维激光扫描技术的多尺度变形监测[J]. 激光与光电子学进展，2024，61(8)：0812009.
- [2] 黄远建，李晓银，叶文怡，等. 基于共聚焦亚像素扫描的高分辨三维成像[J]. 光学学报，2023，43(8)：0822014.

- [3] 郭良林, 周大伟, 张德民, 等. 基于激光点云的巷道变形监测及支护研究[J]. 煤矿安全, 2020, 51(8): 178-183.
- [4] 陈娜. 边坡工程三维激光扫描技术研究与应用[M]. 北京: 中国科技出版传媒股份有限公司, 2024.
- [5] 肖衡林, 陈娜. 三维激光扫描技术在边坡变形监测中的应用研究[J]. 岩土力学, 2024, 45(5): 1567-1574.