

原等地形简单、精度要求常规的区域，按规范间距均匀布设；重点加密地形复杂（如山地、丘陵、水域周边）及精度要求高（如工程施工核心区、精密测绘路段）的区域，通过缩小控制点间距、增加布设密度，提升对复杂地形的覆盖度和数据采集可靠性。

选用高效测量模式：优先采用静态 GPS 测量模式，该模式通过将 GPS 接收机固定在控制点上进行长时间连续观测（观测时长根据精度等级调整，常规精密测量不低于 45 分钟，超高精度测量需延长至数小时），有效减少卫星信号漂移、电离层干扰等因素带来的误差。同时，对关键控制点采用“多时段观测”策略，分别在不同时间段（如上午、下午、夜间）进行多次测量，进一步规避时段性干扰。

精准处理观测数据：对多次观测获取的原始数据，先通过专业软件进行预处理，剔除信号失锁、信噪比过低等无效数据；再采用“多次测量取平均”的方法，结合最小二乘法等数据处理模型，对有效观测数据进行平差计算，削弱偶然误差影响，最终确定高精度的控制点坐标，为后续测量工作提供可靠基准。**2.2 设备校准与选型：**定期对 GPS 设备进行检校，确保仪器的准确性。根据工程精度要求选择合适的 GPS 接收机，如高精度的 RTK 设备，其平面定位精度可达到厘米级。

测量环境选择：避开高大建筑物、树木等对 GPS 信号有遮挡的区域，选择开阔地带进行测量。同时，远离无线电发射站、变电站等干扰源，减少信号干扰。

数据处理与质量检查：采用专业的数据处理软件，对采集的数据进行严格的质量检查，剔除异常数据。通过增加观测次数、进行重复测量等方式，提高数据的可靠性。

4.2 变形监测

监测点布设：在河道堤防、边坡等容易发生变形的部位，合理布设变形监测点。监测点应具有良好的稳定性和代表性，能够反映实际的变形情况。

监测频率设定：根据工程的重要性和变形趋势，确定合理的监测频率。在工程施工期间或变形活跃期，增加监测次数；在稳定期，可适当减少监测频率。

4.3 数据处理与分析

利用 GPS 技术实时获取监测点的坐标数据，通过与初始坐标进行对比，计算出变形量。采用统计分析、趋势分析等方法，对变形数据进行分析，及时发现变形异常情况。

4.4 预警机制建立

设定变形预警阈值，当变形量超过阈值时，及时发出预警信号。预警机制应包括预警方式、预警对象和应急处理措施等，确保能够及时采取措施应对变形问题。

5 水域测量

水下地形测量方法：采用 GPS 与测深仪协同测量技术，GPS 实时定位平面坐标，测深仪同步采集水下深度数据，结合实时水位观测值，通过“水底高程=水位高程-实测水深”公式精准计算水底高程，实现水下地形的三维数据采集。

测深仪校准与参数设置：测量前需完成测深仪零位校准（消除换能器安装误差）和测深比对校正（与标准深度值校验）；根据水质（浑浊度、含沙量）、水深（浅水区 < 5 米、深水区 > 20 米）差异，调整工作频率（浅水用高频、深水用低频）及发射功率，保障数据有效性。

测量路线规划：按“平行断面法”规划路线，直线段按等间距布设，确保全覆盖；在弯道（水流复杂区）、浅滩（水深突变区）等关键区域，缩小断面间距、加密测量点，提升数据分辨率。

数据处理与成图：用专业软件整合 GPS 与测深数据，经编辑（剔除异常值）、滤波（消除信号干扰）后，生成水下地形图；成图时注重等高线平滑衔接，清晰标注浅滩、深槽等关键地物，兼顾准确性与可读性。

综上所述，3S 技术、GPS 地形图测量技术，共同构建起河道地形测量的多元技术体系。3S 技术凭借其高效的数据传输、高精度定位、空间分析及大范围监测能力，为河道地形测量提供了宏观把控与精准数据支撑；地形图测量技术设备精准专业，这些技术不仅显著提升了河道地形测量的效率与准确性，更为水利水电工程的科学选址、安全设计、合理施工奠定坚实基础，有力推动着水资源开发与河道治理工作迈向更高水平，为保障生态安全与经济可持续发展提供强大的技术保障。

参考文献

- [1] 三维激光扫描仪在河道带状地形测量中的应用. 吴伟;廖超;刘海洋;彭格;徐亚龙.江西科学,2023(03)
- [2] 水陆一体化扫测系统在长江中游河段河道地形测量中的应用研究. 杜俊杰;吴昊;张怀球.长江工程职业技术学院学报,2018(01)
- [3] GPS 在水文河道地形测量中的应用. 孙明龙.科技创新导报,2022(31)

Precision analysis of 3D laser scanning in mineral resource management mapping

Dongdong Chen

Maguan County Natural Resources Bureau, Wenshan, Yunnan, 663700, China

Abstract

Accurate topographic and geological data acquisition constitutes the fundamental prerequisite for effective mineral resource management and scientific governance. Conventional surveying methods often demonstrate limitations in efficiency and precision when applied to complex mining environments. This study investigates the application of 3D laser scanning technology in mineral resource mapping, with a focus on its precision characteristics. Through detailed technical explanations, comprehensive analysis of precision determinants, and optimization strategies supported by specific parameters and case studies, the research provides theoretical foundations and practical guidance for precise implementation of this technology in mining operations. The findings aim to advance the refinement and efficiency of mineral resource management systems.

Keywords

3D laser scanning; mineral resources; precision analysis

三维激光扫描在矿产资源管理测绘中的精度分析

陈冬冬

马关县自然资源局，中国·云南文山 663700

摘要

矿产资源管理测绘工作之中，准确得到地形、地质之类的信息是保证资源合适开采并开展科学治理的基本条件。传统测绘手段在复杂矿区环境面前，常常出现效率低、精度受限的状况。本文聚焦于三维激光扫描技术在矿产资源管理测绘领域的应用，深入探究其精度特性。通过对技术原理的详细阐释、影响精度因素的全面剖析以及优化策略的研究，结合具体技术参数与实际案例，旨在为该技术在矿业实践中的精准应用提供理论支持与实践指导，推动矿产资源管理的精细化与高效化发展。

关键词

三维激光扫描；矿产资源；精度分析

1 引言

三维激光扫描技术因其非接触、高精度以及可以迅速获取海量数据等优势，渐渐变成矿产资源测绘的关键技术。但实际应用时其精度会受到诸多因素的影响，研究该技术原理、分析影响精度的因素并寻找改进方法，对于促进矿产资源管理精细化与高效化具有重要意义。

2 三维激光扫描技术原理剖析

2.1 激光测距核心机制

三维激光扫描以光速恒定与时间飞行法为基础实现测距。扫描仪发射特定波长激光脉冲，经光学系统准直后投向目标，遇目标漫反射，部分能量沿原路返回被接收器捕获。

系统借测定激光往返时间差及光速算出扫描仪中心至目标点距离。主流地面设备激光波长多在 532nm - 1550nm 间，不同波长有不同穿透力与抗干扰性。高端扫描仪 50 米内单点测距精度达 ± 2 毫米，其性能受脉冲频率、功率、接收器灵敏度等参数影响，关乎适用性与数据质量，为矿产管理中的变形检测和储量核算提供技术支持。

2.2 扫描系统工作方式

该系统靠精密机械结构操控激光束空间定向扫描。内部有两套垂直旋转棱镜或反射镜控垂直与水平偏转，水平由伺服电机驱动可 360° 连续旋转，垂直扫描范围约 270° - 310° 。控制系统依角分辨率控反射镜转动，使激光束小角度间隔逐点扫描目标区。典型设备垂直角分辨率 0.005° 、水平 0.002° ，高精度编码器记录发射角度，结合测距数据得目标点三维坐标。非接触式扫描适用于危险难达区域如高陡边坡、采空区测绘，高端设备采用温度补偿与防震设计保复杂环境下测量精度稳定。

【作者简介】陈冬冬（1986-），男，中国云南马关人，本科，工程师，从事地质测绘研究。

2.3 点云数据生成过程

点云数据的产生是一个繁杂的多步骤过程，包含原始数据采集、坐标转换以及点云组织等诸多环节。扫描仪得到的原始数据主要是每个激光脉冲的测距值，水平角，垂直角以及反射强度。这些原始数据经过内部处理器的实时计算，转换为相对于扫描仪中心的三维坐标。坐标转换通常采用球坐标系到直角坐标系的数学模型，通过三角函数关系计算每个点的 X、Y、Z 坐标值。反射强度信息表现了目标表面对激光的反射状况，这是后续点云分类及特征识别的重要依据。生成的点云数据一般以特定格式保存，包括空间坐标及属性信息，在矿产资源测绘过程中，点云密度是评价数据质量的关键指标，常常通过单位面积内包含的点数量来体现。高密度点云能更细致地描绘矿区地形和地质构造，不过也会加重数据存储与处理的负担，现代扫描仪每秒可获取数万到数十万个点，从而形成庞大的点云数据。这些数据经过预处理后，可用于建立矿区数字高程模型、三维地质模型等成果。点云数据的生成质量直接影响后续应用的精度，因此需要在扫描阶段就合理设置参数，确保获取满足精度要求的原始数据^[1]。

3 影响精度的关键要素

3.1 仪器自身系统误差

光学元件加工精度、电子电路稳定性以及机械结构刚性等因素引入了系统误差，比如，光学镜片表面平整度不够时，激光束散射现象就愈加多，对距离测量精度也多有影响；电子设备的温度漂移也引起信号放大倍数发生变化，测距精度同样出现偏差。扫描仪的角度测量装置中也多有误差存在，点的方位角也发生偏移，多款不同品牌的三维激光扫描仪，曾经在研究中进行了对比实验测试，即使在完全相同的条件下，测量结果仍存在一定差异，这些都源于制造公差和性能特点，矿产资源管理测绘项目对高精度要求高，选择仪器并进行定期校准都至关重要。

3.2 外界环境干扰因素

自然环境中的多种因素会对三维激光扫描产生干扰。强风天气会使仪器产生晃动，降低测量稳定性；气温变化会引起空气折射率的改变，导致激光传播路径发生弯曲，从而影响距离测量结果。光照条件也是一个重要因素，强烈的阳光直射会使背景噪声增加，降低信噪比，给回波信号的识别带来困难。在一个露天铁矿的扫描项目中，由于中午时分阳光过于强烈，导致部分区域的点云数据稀疏且噪声较大。此外，空气中的水汽、尘埃等微粒也会散射和吸收激光能量，衰减信号强度。在粉尘浓度较高的作业环境中，如煤炭开采现场，激光的有效传输距离明显缩短，需要适当增加扫描次数以保证数据的完整性。

3.3 目标物体表面特性

目标物体的表面材质、颜色与表面粗糙度对反射特性

影响程度大，光滑金属表面高反射率容易使探测器饱和，细节信息容易丢失；黑色吸光材料则会使回波信号强度削弱。表面粗糙度的改变会使得激光散射程度不同，漫反射在粗糙表面使激光斑点变大，中心点位置难以精确确定，以花岗岩矿石堆扫描为实例，矿石表面光泽与凹凸不平的特征，导致点云数据分布不均匀，局部区域出现空洞或畸变现象，扫描参数调整，如降低激光功率、改变入射角度等，这些都可应对这种情况，以达到更好的扫描效果。

3.4 数据处理算法误差

点云数据的原始形式过渡到三维模型的最终结果，需要经过滤波、配准与重建等数据处理步骤，而这些步骤都不可避免地会引入误差，统计滤波算法在具体使用时可能会误删真实的数据点，同时保留部分噪声点；迭代最近点算法在进行点云配准时，初值选择不当可能会降低收敛速度，或者使解陷入局部最优。数据处理软件对结果的差异性也存在一定的解释性，因为不同的软件所采用的算法逻辑和方法有所不同，在具体进行方法与软件选择时，为充分考虑项目的需求与数据的特征，可以进行多次试验对比，最终选择合适的组合形式。

4 维激光扫描在矿产资源管理测绘中精度提升优化策略

4.1 高精度设备选型，定期维护校准

高精度扫描设备的选用，对矿产资源测绘成果质量的保证是前提性的，矿区环境特征、精度需求和作业效率等，都应是设备选型时的考虑内容。大型露天矿山做高精度监测任务时，高端扫描仪就应满足测距精度优于 ± 2 毫米、角度精度优于 ± 8 秒这些要求，矿区覆盖需求与扫描范围相关，通常有效测距能力不小于 500 米。设备在粉尘、潮湿等恶劣条件下稳定工作，要求具备宽工作温度范围和高防护等级等良好的环境适应性，1550nm 波长激光的人眼安全性更好，穿透粉尘能力也较强，更适合矿区环境，激光波长选择也很重要，设备维护是保持精度的举措里的关键一环，清洁光学镜头、检查机械部件、更新固件程序等应包含在定期维护制度的建立内容中^[2]。镜头污染对信号接收质量存在严重影响，机械部件磨损也使定位精度下降，这些都要求进行频繁的检查与维护，作业前后需要检查镜头并清洁，定期更换易损件同样在任务范围内。全面校准设备的系统误差每年一次，内容包括测距、角度和轴系关系等，校准工作应在专业实验室通过标准检定装置完成，性能参数误差也应记录在档案中，对于频繁使用的设备，每季度可以进行简易校准，主要性能指标是否处于允许范围内是检查的目标，通过建立设备的性能档案，可对精度变化趋势进行跟踪记录，为维护和更新提供依据，硬件保障也确保了高精度测绘要求。

4.2 扫描时机择取，环境适应调整

选择合适的扫描时机对提高三维激光扫描精度是重要