

# 矿山工程测绘中激光雷达测绘技术应用精准性探索

毕加东

云南省有色地质局三一二队

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2391

**[摘要]** 在矿山工程规模化扩张与复杂化程度持续提升的行业背景下,传统测绘技术受限于作业效率、环境适应性及测量精度等短板,已难以适配现代矿山工程全生命周期建设对地理空间信息的高要求。激光雷达(LiDAR)测绘技术凭借主动遥感、高精度、高效率及强环境适应性等固有优势,在矿山工程测绘领域实现快速推广应用,成为推动矿山测绘数字化、智能化转型的核心技术支撑。基于此,本文系统梳理激光雷达测绘技术的核心原理与技术特性,深入剖析其在矿山地形测绘、设施测绘及开采进度监测等关键场景的应用机制,重点探讨影响技术应用精准性的核心因素及针对性提升策略,并结合最新技术融合成果展望未来发展方向。

**[关键词]** 矿山工程; 测绘技术; 激光雷达; 精准性; 点云数据; 数字孪生

中图分类号: TD2 文献标识码: A

## Exploration of the accuracy of laser radar surveying and mapping technology application in mine engineering surveying and mapping

Jiadong Bi

No. 312 Team, Yunnan Provincial Nonferrous Geological Bureau

**[Abstract]** under the industrial background of large-scale expansion and continuous improvement of complexity of mine engineering, the traditional surveying and mapping technology is limited by the shortcomings of operation efficiency, environmental adaptability and measurement accuracy, which has been difficult to adapt to the high requirements of geospatial information for the full life cycle construction of modern mine engineering. With the inherent advantages of active remote sensing, high precision, high efficiency and strong environmental adaptability, lidar surveying and mapping technology has been rapidly promoted and applied in the field of mine engineering surveying and mapping, and has become the core technical support to promote the digitalization and intelligent transformation of mine surveying and mapping. Based on this, this paper systematically combs the core principles and technical characteristics of laser radar mapping technology, deeply analyzes its application mechanism in key scenarios such as mine terrain mapping, facility mapping and mining progress monitoring, focuses on the core factors affecting the accuracy of technology application and targeted improvement strategies, and looks forward to the future development direction combined with the latest technology integration results.

**[Key words]** mine engineering; Surveying and mapping technology; Lidar; [Accuracy] Point cloud data; Digital twins

### 引言

矿山工程全流程依赖精准地理空间数据,测绘精度直接决定储量核算、开采设计等关键工作质量。传统测绘依赖全站仪、GPS等手段,存在明显短板:一是作业效率低,人工逐点观测难以适配动态监测需求;二是环境适应性差,危险复杂区域易形成测量盲区;三是精度受天气、操作水平等影响,难以满足高精度场景需求。

激光雷达技术通过发射激光脉冲、结合GNSS/INS协同定位,可快速获取高精度三维点云数据,有效破解传统技术瓶颈。探索激光雷达测绘精准性、明确影响因素并提出提升策略,对发挥技术优势、保障矿山安全、推动智慧矿山建设意义重大,本文围绕此展开研究提供技术参考。

### 1 激光雷达测绘技术概述

#### 1.1 技术原理

激光雷达测绘技术是集成激光测距、GNSS定位、INS惯性导航三大核心模块的高精度空间信息采集技术体系,其核心是借助激光脉冲的时空传播特性完成目标三维坐标的精准解算。其工作原理以激光脉冲的收发联动为核心,设备向被测目标发射高频激光束,脉冲触达物体表面后,部分能量沿入射路径反向散射,被传感器实时捕捉<sup>[1]</sup>。

从技术实现流程来看,激光雷达测绘完整链路可分为数据采集、数据预处理、数据融合与成果输出四个阶段。数据采集阶段,激光发射模块按设定频率(通常为100kHz-2MHz)发射高频激光脉冲,扫描镜精准控制激光束扫描角度与范围,确保测区全面覆盖;接收模块通过光电探测器实时捕捉反射激光脉冲,将光信号转换为电信号并传输至数据处理单元。动态测量场景(如无人机机载、车载测量)中,GNSS系统通过接收多颗卫星信号实现厘米级定位,为传感器提供绝对坐标基准;INS系统通过陀螺仪、加速度计等元件实时感知设备运动状态,补偿载体振动、姿态变化产生的测量误差,二者协同工作保障动态测量过程的数据稳定性。

三维点云数据是激光雷达测绘技术的核心成果,其本质是由海量离散三维坐标点构成的点集,不仅包含目标高程、平面位置等几何信息,部分激光雷达设备还可通过记录激光反射强度信息,间接反映目标表面材质特性(如岩石、植被、金属设施等)。这种高密度、多维度的点云数据能够精准复现测区地形地貌与工程设施形态,为后续三维建模、参数提取、变化监测等应用提供扎实数据基础。

### 1.2 技术优势

第一,测量精度高。该技术依托高频激光脉冲,可在极短时间内采集海量测距点位,测量精度稳定在毫米级。由此生成的高密度点云数据,能够清晰分辨地形的细微起伏与复杂构造,构建高保真的地理空间基底模型,充分满足矿山工程对测绘精度的严苛标准。

第二,作业效率高。传统矿山测绘需人工逐点布设观测标志,外业作业强度大、周期长,以1平方千米露天矿地形测绘为例,采用全站仪测量通常需3-5天,而无人机机载激光雷达测量仅需1-2架次(每架次40分钟左右)即可完成外业数据采集,内业数据处理时间可控制在2-3小时内,整体作业效率提升10倍以上。

第三,复杂地形适应能力。矿山作业区普遍存在陡坡、深沟、悬崖等复杂地貌,传统测绘手段不仅效率低下,还存在较高的人员安全风险。激光雷达技术采用非接触式测量方式,可在安全区域对危险区域进行远距离测量;其特有的多回波技术可使激光脉冲穿透植被缝隙,捕捉林下地表反射信号,有效规避植被遮挡形成的测量盲区,实现复杂地形区域的全面测绘。

第四,数据扩展性强。激光雷达生成的三维点云数据具备丰富拓展应用潜力,通过专业数据处理软件(如EdgeWise、PointCab等)可实现多类成果衍生输出,包括数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字线划图(DLG)等传统测绘成果,以及矿体体积、边坡坡度、设施变形量等关键工程参数。同时,点云数据可与地

理信息系统(GIS)、建筑信息模型(BIM)、数字孪生等技术深度融合,构建矿区三维可视化管理平台,实现矿山工程全生命周期的数字化管控。

## 2 激光雷达测绘技术在矿山工程测绘中的应用

### 2.1 地形测绘

在矿山工程前期规划与设计阶段,精准的地形测绘是实现科学决策的核心前提。激光雷达技术凭借高精度、高效率的优势,能够在短时间内完成矿区三维地形信息的采集,并依托这些数据构建精细化数字地形模型。该技术发射的高频激光脉冲,可精准识别地表的微小起伏形态,所生成的点云数据兼具高密度特性与毫米级测量精度,为数字地形模型的搭建打下坚实的基础。

数字地形模型作为矿山前期规划工作的数据基底,能够将区域内地形起伏态势、坡度变化规律以及地貌分布特征进行一体化可视化呈现,各类关键信息直观明了。依托数字地形模型的高精度数据支撑,矿山选址环节可同步统筹开采布局、运输路径规划与生态保护要求,使决策方案更贴合实际地形条件。在开采方案编制过程中,数字地形模型提供的精准地形参数,不仅能够支持矿体储量的精准核算与土石方剥离量的精确测算,还能为边坡稳定性分析提供核心数据依据<sup>[2]</sup>。

### 2.2 矿山设施测绘

矿山工程包含矿井巷道、选矿车间、运输路网及尾矿库等基础设施,这类设施的有针对性测绘结果,直接决定矿山生产运营的效率与安全管控的成效。激光雷达技术凭借高精度、高效率的技术优势,可快速获取各类设施的三维空间坐标、实体尺寸及相对布局关系,生成高密度点云数据集,精准复现设施的几何形态与空间分布特征,为搭建矿山全域设施三维数字化模型提供扎实的数据支撑。

基于激光雷达测绘数据构建的三维模型,能够将矿山各类实体设施完整映射至数字空间,为生产运营工作搭建起直观的可视化管理界面。通过对同一区域开展周期性激光扫描,工作人员可对比不同时段的点云数据,快速捕捉设施结构的变形位移或破损损伤问题。针对安全管控重点的尾矿坝,该技术可高精度量测坝体轮廓形态、高度差及边坡坡度等参数,直接为坝体稳定性验算提供数据依据。

### 2.3 矿山开采进度监测

在矿山开采作业阶段,只有实时掌握开采进度动态,才能实现生产流程的高效组织与精细化管理。激光雷达测绘技术通过对开采工作面实施周期性扫描作业,可采集到高精度三维点云数据。这类数据不仅完整记录作业区域的地形地貌特征,还能精准涵盖矿体赋存状态与剥离物堆积形态的几何属性。

将激光雷达测绘技术应用于矿山开采进度监测工作,其技术优势表现得尤为突出。该技术的厘米级测量精度,可保障采剥量计算、开采边界界定等数据的真实性与可信度,进而精准复现场作业推进情况。

## 3 矿山工程测绘中激光雷达测绘技术精准性提升策略

### 3.1 仪器设备优化与校准

在对矿山激光雷达测绘工作进行把控的过程中,首要任务在于仪器的选择,只有选用测距误差微小、激光脉冲频率优异的激光雷达设备,才能为后续测绘成果的精度奠定良好的基础。与此同时,全球卫星定位系统的定位精度与惯性导航系统的姿态稳定性,同样对最终测绘成果的可靠性起决定性作用。低测距误差可避免地形特征因设备固有偏差发生畸变;高脉冲频率能保障点云数据的高密度特性,精准捕捉山体细微棱角等细节特征<sup>[3]</sup>。

为持续维系激光雷达测绘数据的高精度水准,需按固定周期开展设备校准与运维工作。不仅要校准激光雷达核心性能,还需同步验证全球卫星定位系统接收机的定位精度,测试惯性导航系统的运行稳定性,确保各组件性能指标均满足矿山测绘的严苛要求。通过科学仪器设备的选择,并严格执行定期校准与维护机制,可将仪器误差对测绘成果的影响降至最低阈值,从而显著提升激光雷达数据的可靠性与精准度。

### 3.2 数据采集优化

开展激光雷达矿山测绘数据采集前,需结合矿区地形特征、周边环境条件及具体测量目标,制定兼具数据完整性与测量精度的采集方案。地形复杂程度与精度要求是确定扫描角度、扫描频率及采样密度的核心依据,即扫描角度需依据地形起伏状况与目标分布特征动态调整,确保测绘覆盖无盲区;扫描频率根据地形细节还原需求设定,高频扫描可生成高密度点云数据,精准复现微地貌形态;采样密度则结合区域重要性与地形复杂度综合权衡,在避免数据过度冗余的同时,保障关键地形信息不缺失。

在植被繁茂或地形破碎区域,多回波激光雷达技术是实现可靠测绘的核心方式。该技术可使激光脉冲穿透树冠层,精准捕捉地表反射回波,有效弥补传统激光雷达无法获取林下高程数据的缺陷。数据采集过程中,天气条件是影响测绘精度的直接干扰因素,降雨、降雪、大雾等天气会导致激光传播路径偏移,因此航测作业需严格筛选晴朗稳定的天气窗口。

### 3.3 数据处理与质量控制

采集激光雷达测绘数据时,要想保证数据既完整又准确,必须先厘清矿区的地形起伏、环境状况和测量目的,再据此制定合理的采集方案。针对矿区地形的复杂程度和所需的精度,应精细设定扫描角度、频率和采样密度,是决定成果质量的关键。

遇到陡坡、深沟等复杂地段,可适当扩大角度范围,以捕捉细微地貌。扫描频率则按地形细节和精度需求设定,高频采集能生成更密集的点云,更准确地还原地形,在矿体边界、关键设施等需高精度区域更应该提高频率,以保留更多细节。采样密度同样要兼顾区域重要性与地形复杂度,在复杂或高精度区适度加密,在平坦或低要求区适当降低,进而在数据量与效率之间取得平衡<sup>[4]</sup>。

在植被茂密或地形破碎的区域,传统激光雷达常被树冠遮挡而丢失地面信息,多回波系统则利用脉冲串的多次回波,穿透植被间隙,直接记录林下地形,弥补了单回波方案在密林区的盲区。在采集阶段,天气因素的影响较大。雨、雪、雾会散射或吸收激光能量,削弱信号强度,因此航测计划须避开这些低能见度时段,把观测窗口锁定在晴朗、稳定的气象条件。

### 3.4 环境适应优化

针对矿山复杂环境对测绘精度的影响,从环境监测、作业时机选择、技术防护三个方面优化,提升技术对环境的适应性。例如,露天矿测绘中,通过气象监测避开降雨、降雪、大雾等恶劣天气;选择晴朗、无风的时段作业,避免强光直射与地面反光对测量精度的影响;植被覆盖区,选择植被生长淡季(如冬季)作业,减少植被遮挡;井下作业中,实时监测粉尘浓度,当粉尘浓度超过阈值时,暂停作业并采取降尘措施;选择粉尘浓度较低的时段作业,提升测量精度。无人机机载测量中,为设备配备防风、防尘、防水罩,提升设备对恶劣环境的适应能力;采用抗粉尘、抗振动的激光雷达设备,同时对设备进行密封处理,防止粉尘进入设备内部影响性能;强电磁干扰区域(如靠近高压线路、大型设备的区域),为设备配备电磁屏蔽装置,减少电磁干扰对GNSS信号与数据传输的影响。

## 4 结语

激光雷达测绘技术作为矿山工程测绘领域的先进技术,凭借高精度、高效率、强环境适应性等优势,在地形测绘、设施测绘、开采进度监测等关键场景广泛应用,有效破解了传统测绘技术的诸多瓶颈,为矿山工程的安全高效开展提供了坚实的空间信息支撑。然而,在矿山复杂的应用环境中,激光雷达测绘技术的精准性仍受仪器设备、数据采集、数据处理、环境等多方面因素影响,需通过设备优化与校准、数据采集精细化、数据处理算法优化、环境适应优化等针对性策略,全面提升技术应用的精准性。矿山企业与测绘单位应加强技术研发与应用实践,不断探索精准性提升的新方法、新路径,充分发挥激光雷达测绘技术的核心优势,推动矿山工程向数字化、智能化、绿色化高质量转型,实现矿产资源的安全高效开采与可持续利用。

### 【参考文献】

- [1]王志伟,王涛,朱兴志.矿山工程测绘中激光雷达测绘技术探究[J].中国金属通报,2024(1):240-242.
- [2]蒋顺伟.矿山工程测量中的无人机机载激光雷达应用及价值分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(3):11.
- [3]刘洪源.矿山工程测绘中激光雷达测绘技术特点与具体应用[J].中国金属通报,2024(12):152-154.
- [4]曹洪辉.探讨矿山工程测绘中的激光雷达测绘技术[J].中国金属通报,2024(11):56-58.

### 作者简介:

毕加东(1990--),男,彝族,云南安宁人,本科,工程师,研究方向:工程测量、遥感数据处理与分类技术。