

# Application of 3D Laser Scanning Technology in Geological Surveying and Mapping

Jian Han

Inner Mongolia Fifth Geological and Mineral Exploration and Development Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014000, China

## Abstract

3D laser scanning, based on laser ranging and angle encoding, acquires high-density 3D coordinates and reflection intensity of the ground surface and outcrops in a short time, providing continuous and verifiable spatial evidence for geological mapping. This paper discusses key aspects of field organization, precision control, and result generation in accordance with the operational practices of China's engineering geology and mining surveying, and provides actionable application points. Practice and research indicate that this technology demonstrates stable operational advantages under complex terrain and steep target conditions, but requires standardized station layout and verification systems to constrain error propagation.

## Keywords

3D laser scanning technology; geological surveying; high-terrain slope; underground space; roadway section; application

## 三维激光扫描技术在地质测绘中的应用

韩剑

内蒙古第五地质矿产勘查开发有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014000

## 摘要

三维激光扫描以激光测距与角度编码为基础, 在短时间内获取地表与露头的高密度三维坐标与反射强度, 为地质测绘提供连续、可复核的空间证据。本文结合中国工程地质与矿山测绘作业习惯, 讨论其在外业组织、精度控制与成果生成中的关键环节, 并给出可落地的应用要点。实践与研究表明, 该技术在复杂地形与高陡目标条件下具有稳定的作业优势, 但需以规范化布站和检核体系约束误差传播。

## 关键词

三维激光扫描技术; 地质测绘; 高陡边坡; 地下空间; 巷道断面; 应用

## 1 引言

传统的地质测绘方式不仅周期长、用工量大、危险性高、测量误差大精度低、成本高。而三维激光扫描技术的出现极大改善了传统测绘技术的缺点, 有效降低了外业人员工作量, 提高了测绘人员安全, 大幅提升了地质测绘的信息化及自动化程度<sup>[1]</sup>。为此, 本文将针对三维激光扫描技术在地质测绘中的应用展开探讨, 以供参考,

## 2 三维激光扫描技术概述

三维激光扫描是利用激光束按既定角分辨率对目标表面进行逐点或逐线扫描, 通过距离观测与方位、俯仰角联合解算得到目标表面的三维坐标集合, 并同步记录回波强度等辅助观测量, 从而形成可用于测量与编录的点云模型。地质测绘实践中, 地面站式扫描与车载、背负式扫描常用于露头、

边坡、巷道及构筑物的快速测量, 作业流程通常包含外业布站、靶标或特征约束、点云拼接与检核等环节, 相关测绘行业技术文件亦对外业组织与质量检验提出了要求。该技术误差主要受仪器测距精度、扫描角分辨率、入射角与表面反射特性、遮挡盲区以及站间几何构型影响, 因而需要在外业阶段就设置合理的观测距离与交会角度, 避免“高密度但低可靠”的数据积累。

## 3 三维激光扫描技术在地质测绘中的应用

### 3.1 布站设计与控制约束

首先, 站位数量与位置以遮挡与起伏为主控, 踏勘时沿沟谷、剖面和可通行脊线布站, 架设点优先选基岩露头或硬化、压实平台, 避开松散堆积体与新填方。站间距结合量程与盲区控制, 保证相邻站形成有效交会角, 并使主要层面与断裂带在多方位被观测。站高应兼顾入射角与遮挡, 必要时抬高脚架或借助台阶获得视通。对水面、玻璃与金属反射体划定回避带, 预留侧移或抬高站位的补测路线, 粉尘与雨雾条件下调整到能见度较高的作业窗口, 并记录仪器高。

【作者简介】韩剑(1990-), 男, 中国内蒙古包头人, 本科, 助理工程师, 从事测绘研究。

其次,靶标按外围包络、内部加密布设,先在边界、坡顶坡脚及地形转折处设骨架靶,再在断层拐点、露头边界与高差控制线加密,保持平面与高程约束均衡。球靶与平板靶可混合使用,靶标高度尽量避开近地遮挡,且同站可见靶标避免近共线分布。两站共享靶标数量不低于规程建议值,且分散于不同方位和高程带,避免同向集中削弱定向。靶标中心坐标采用独立测定或与控制点联测,现场记录编号、杆高、支撑方式与观测时刻<sup>[2]</sup>。接着,定向以既有控制网为基准,选取稳定且几何分布良好的已知靶标或特征点参与解算,并在区内布设独立检核点覆盖不同坡向,用于统计平面与高程残差。检核点残差超限时复核靶标识读、杆高输入与整平状态,再进行迭代重算或剔除异常点。残差呈方向性偏移时,核查站位高差配置及靶标高程分布,再检查长距离斜视、近似平行视线或遮挡引起的系统畸变,必要时补设中间站或重选已知点重算。最后,采集参数与目标细部尺度匹配,近距离露头采用小角步长与较高点密度,并进行一次重复扫描用于一致性检验。远距离坡面以覆盖完整为先,适当放宽角步长并控制入射角,结合变换站高与侧移补齐遮挡,使相邻站覆盖区保持重叠。对关键剖面与破碎带采用窄视场精扫,坡缘与遮挡边界适度加密以抑制边缘噪点。每站收工前现场核对靶标可见数与覆盖缺口,缺口处即时补扫。

### 3.2 高陡边坡形变获取

在滑坡体、危岩及人工高边坡的多期三维激光扫描监测中,作业前应结合地形、开挖边界与潜在失稳结构面,将坡面划分为稳定参照区与重点变形区,参照区宜选取远离施工扰动、岩体完整且不易被季节性植被或积雪覆盖的位置,并在各期保持相近的观测距离、入射方向与点间距,现场同步记录气温、降雨、喷混与爆破等工况以便解释差异。站位布设以固定站位为主,优先落在硬化地面或基岩露头,站位到坡脚需留足安全距离并避开落石沟与排水槽外侧,若受封闭或机械占位影响必须更换站位,应围绕同一参照区进行重复观测,通过公共靶标与特征角点建立站间转换关系,必要时对坡肩、坡脚、平台边缘等几何突变部位增加近距补扫以减少遮挡。控制与靶标设置宜采用“外围包络、内部加密”的思路,在坡顶、坡脚及转折处布设可重复识别的靶标或反射板,并用全站仪或GNSS对关键靶标独立定点,统一采用同一坐标基准与高程基准,靶标编号、杆高、观测时刻及站仪高度应逐项登记,保证复测可追溯。点云整理阶段先进行人工巡视式剔除,将植被、车辆、临时堆料、脚手架与防护网等非地质对象从对比对象中分离,对崩塌堆积体的松散表面应单独分区,遇到新鲜崩落、片帮或喷射混凝土覆盖时,应按独立面体保留并标注其形成时段与范围,避免被误判为噪声。形变获取宜在同一基准下分别生成各期坡面三角网或格网高程面,先以参照区检核模型差值并控制系统偏差,再在变形区计算面到面距离及沿坡向剖面位移,剖面线宜穿越裂缝端点、坡肩与坡脚,并在每期固定位置复测以便直接

对照。成果表达同时给出典型剖面位移曲线、网格化高程差分布与最大变形带边界,并将位移峰值与结构面走向、台阶分布及排水设施位置进行空间对应核查,若出现局部异常突增,应回查原始点密度、遮挡范围与观测角度,并在同一剖面线补测复核。

### 3.3 采场与堆体方量测算

露天采场与排土堆体方量测算宜以边界清楚、基准统一、分区可追溯为控制思路组织三维激光扫描作业。计量边界应沿台阶坡顶线、坡脚线、采剥分界、排水沟及道路外缘闭合环,并在关键拐点布设可复测标识点或短线复核,遮挡区以邻近稳定线位替代且同步留存照片与替代理由。分层口径需与生产台阶或分区管理一致,将采场按台阶编号,堆体按作业单元划分,明确本期新增、回采扣减、整形修坡三类变化的计入规则,并记录当班装运与整形工况以便追溯。站位布设以完整采样坡折线为核心,近垂直台阶面采用侧向多站交会,坡脚阴影区补设低位站,堆体顶面与道路交汇处控制标高与入射角以避免折线缺采,采装车流密集时段暂停扫描,必要时对同一区域实施两次快速复扫以消除瞬时堆料。控制约束可采用RTK或全站仪测定公共靶标坐标,靶标均匀分布于边界内外并兼顾高差,站间拼接优先以公共靶标约束,缺靶区辅以稳定特征面配准并检查平面与高程残差。点云整理需剔除植被、设备、车辆与临时堆料等非计量对象,保留坡折线、沟槽与挡墙等几何突变处,采场建立TIN或栅格DEM,堆体采用加密网格并在坡肩坡脚处加密采样<sup>[3]</sup>。方量计算前统一坐标与高程基准并锁定对比时相,采剥量以设计面或上期实测面为参照面,排土量以自然地表或经复核的底面为参照面,并对边界外推与内缩设置误差带开展敏感性试算。成果检核选取典型断面实施断面面积法,同时以网格差分法计算总体积并进行交叉比对,抽取若干断面布设RTK或全站仪高程点复测,差异集中于台阶边缘或坡脚阴影区时回到站位遮挡、坡折线采样密度与边界闭合重新补扫并复核。体积汇总按分区逐级累加,统一体积单位、折算系数与逐期签认信息。对雨后积水或粉尘导致回波异常的区域应单独标注并择机复测。

### 3.4 岩体结构面参数提取

在露头与边坡编录中,三维激光扫描提取岩体结构面参数宜按“覆盖、加密、校核、整理”的流程实施。踏勘阶段依据节理、层面与断裂的连续出露段确定扫描边界,边界沿岩性分界、台阶折线与排水沟等稳定线位闭合布设,并在潜在控制面延伸方向两侧外扩至同一几何面仍可被完整采样的位置,对坡顶与坡脚的连通裂隙、软弱夹层端部设置独立精扫窗口。外业采集以结构面粗糙起伏可分辨为准控制站距与点间距,站位形成交会观测以降低遮挡,入射角偏小时抬高站位或侧移补扫,强风化、渗水挂帘或泥膜覆盖面应缩短距离并增加侧向观测以稳定点密度,植被遮挡则改变站位高度与视线方向获取裂隙内壁有效点,并记录观测距离与

天气条件。多站拼接布设可重复识别的靶标或特征点并与既有控制点联测,拼接后检查公共点残差与面间错台,超限时报回到外业补扫或调整控制,避免将拼接误差带入产状计算。内业参数提取采用面片拟合与线迹测量并行,先剔除车辆、支护喷浆、台阶修坡面等非岩面点,再在可识别区域圈定结构面面片并进行稳健平面拟合,由法向计算倾向与倾角。随后沿结构面可见边界提取线迹,统计迹长、端点坐标、延伸方向与组内间距,并注明可见长度受遮挡或边界截断的约束。持久性以可追踪长度结合遮挡方向外推,并注明外推范围。粗糙度在代表面上按统一尺度窗测取高程残差均方根并标注测窗尺寸,裂隙开度在点云剖面上选取垂直于迹线的多条断面量测并取中位值,必要时补充起伏幅度与充填物厚度的描述。分组时以产状集中区、空间连通性与岩性一致性为准进行编号,组内抽取代表面与罗盘测量对照,差值超限则回查圈定范围并剔除混入面。成果输出同步给出分组统计产状、间距与迹长分布,关键结构面提供端点坐标、可追踪长度、采样尺度以及其与坡面、支护构筑物的交切关系描述<sup>[4]</sup>。

### 3.5 地下空间与巷道断面测绘

地下巷道与洞室断面测绘应以设计轴线与里程桩为主控,结合掘进循环确定扫描间隔,围岩稳定段宜按 10–20 m 布设断面,遇断层带、破碎圈、涌水段、底鼓与收敛突增段应缩至 3–5 m,并在同一断面内完成拱顶至底板的环向闭合观测,防止因站位偏移造成轮廓缺口与口径不一。站位沿巷道中心线或侧帮安全带推进,单站优先保证拱肩、两帮与底板折线可见,近垂壁面采取侧向补站形成交会角,站间用短距离前后视靶标传递姿态与里程,靶标固定在稳定支护面并记录编号、杆高、里程与时刻,转弯、分岔及断面突变处加密布设以抑制累积误差。现场需同步登记支护类型与开挖方式,喷浆、锚网、钢拱架及二衬分阶段标注完成状态,轨道、管线、风筒与临时支护应作为遮挡体做现场标记,提取断面时统一剔除范围以保持超欠挖与净空统计的一致性。粉尘浓度高或通风风速大时应避开迎风入射并缩短单站采集时间,

采用两次快速复扫提高点位可靠性,遇水雾与渗流面可适当降低观测距离并增加侧向观测,保证粗糙起伏与裂隙边界可被分辨<sup>[5]</sup>。断面成果以设计断面或上期基准面为参照,在扫描点集中先圈定稳定支护面或可见围岩面,再生成实际轮廓线并计算超欠挖、收敛量与净空余量,断面切片应取与设计轴线正交的截取平面,切片厚度宜为 0.10–0.20 m,并对掉块、局部鼓出与喷浆回弹区保留外缘点以反映极值。多期对比时统一里程零点与参考靶标,复测优先沿既有测线复用固定点位以减少解释偏差。喷浆或钢拱架段以支护完成后的稳定外表面计量,未闭合掌子面后方应避开强扰动区。拱脚、仰拱与底鼓处设置局部精扫窗口并沿两侧布置固定测线,复测时保持站位与靶标组合一致以便对比。质量检验在代表性断面布设人工量测点对照,核查相邻断面轴线连续与里程一致,出现跳变时回查站间转接误差与车辆遮挡并补测归档。

## 4 结语

三维激光扫描为地质测绘提供了高密度、可回溯的空间观测手段,在高陡边坡、矿山采场与地下空间等场景中能够显著提高几何获取的完整性与可比性。面向工程应用,应把质量控制前移到外业布站与检核设计,并以分区口径、复测机制和成果交叉检验约束误差累积。后续工作可在规范框架内进一步细化不同地质对象的测量口径与检验指标。

### 参考文献

- [1] 梁恩金.三维激光扫描技术在矿山地质测绘中的应用[J].世界有色金属, 2025(12).
- [2] 翟鲲鹏.三维激光扫描技术在地质测绘中的应用[J].四川建材, 2025, 51(5):80-82.
- [3] 许光辉,郝伟涛.三维激光扫描技术在地质测绘中的应用研究[J].价值工程, 2023, 42(17):94-96.
- [4] 罗昭献.关于三维激光扫描技术在地质测绘中的应用[J].世界有色金属, 2023(7):166-168.
- [5] 冯涛.地质测绘中三维激光扫描技术的应用[J].建材发展导向, 2023, 21(19):29-31.