

测绘工程三维地形勘测技术研究

巫睿杰

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 为提升测绘工程地形勘测的精准度与高效性,本文聚焦无人机航测、激光雷达、三维激光扫描三类核心三维勘测技术,系统阐释其技术原理、优势与适用场景,梳理勘测全流程实操要点。针对复杂地形适配差、数据处理效率低、应用成本高等现存问题,提出针对性优化策略,并研判技术智能化、一体化、实时化的发展趋势,为工程三维地形勘测技术的落地应用与升级推广提供参考。

关键词: 测绘工程; 三维地形; 勘测技术

引言: 传统地形勘测技术存在效率低下、精度有限、复杂地形适配性差等短板,难以满足现代测绘工程精细化、高效化、全域化的作业需求。三维地形勘测技术凭借立体成像、高精度数据采集的核心优势,已成为现代测绘工程的核心技术手段。基于此,本文全面剖析主流三维勘测技术的核心特性与工程应用流程,深挖技术应用痛点并制定优化方案,助力提升测绘工程作业质量与效率,适配各类工程建设测绘需求。

1 测绘工程三维地形勘测核心技术概述

1.1 无人机三维地形勘测技术

(1) 技术原理: 依托无人机平台搭载高清航摄传感器,依据预设航线和重叠度参数,对勘测区域实施多角度、全覆盖的航空摄影,获取高分辨率影像数据;通过影像拼接、空中三角测量加密及密集匹配算法处理,解算地形三维坐标,生成三维点云数据与实景三维模型,完整还原勘测区域地形地貌。(2) 技术优势: 作业组织灵活,起降受场地限制小,综合成本相对较低;尤其适配复杂山地、丘陵等人员难以到达的特殊地形,勘测效率较传统人工方式大幅提升;可快速获取大范围地表影像,满足一般精度要求下的三维地形重建^[1]。(3) 适用场景: 适用于中小型工程建设地形勘测、国土地理普查、灾后地形快速复盘评估、乡村基础设施建设测绘等对时效性和机动性要求较高的场景。

1.2 激光雷达三维勘测技术

(1) 技术原理: 基于激光测距原理,通过机载或地面激光雷达设备主动发射激光脉冲,扫描地形地物表面,记录回波信号以精确计算目标点的距离和角度信息,结合GNSS/IMU定位定姿数据,经解算后快速获取高密度、高精度的三维点云数据,精准刻画地表及地物三维空间位置。(2) 技术优势: 具备主动遥感能力,不受光照条件变化及轻微天气影响,数据采集稳定性强;

具有一定植被穿透能力,可有效滤除植被覆盖干扰,获取林下真实地表高程信息,勘测精度高、点云密度大。

(3) 适用场景: 适用于大型基础设施工程勘测、地质灾害隐患调查、高精度地形建模、矿山开采动态监测等对精度和植被穿透能力有较高要求的测绘任务。

1.3 三维激光扫描勘测技术

(1) 技术原理: 采用地面固定式三维激光扫描仪,通过高速旋转棱镜或振镜系统,对勘测目标区域进行全场景、多站位的密集激光扫描,以非接触方式同步采集目标表面海量三维坐标数据,经点云去噪、配准、滤波与建模等预处理流程,构建精细化三维地形及地物模型。(2) 技术优势: 静态扫描模式下测距精度高,点云密度极高,模型细节还原能力突出,可精准捕捉地形微小起伏变化、构筑物复杂形态及表面纹理特征,数据成果详实可靠。(3) 适用场景: 适用于隧道工程断面监测、边坡稳定性分析、古建筑数字化保护测绘、小型精细化工程地形勘测等对局部细节和模型精度要求严苛的场景。

2 测绘工程三维地形勘测技术工程应用流程与实践

2.1 勘测前期准备工作

(1) 现场勘查与方案设计: 组织技术人员对勘测区域进行实地踏勘,核查地形地貌特征、气候环境条件、植被覆盖程度及障碍物分布状况,综合评估作业可行性与潜在风险;依据工程设计需求和测绘标准,明确勘测精度等级、作业边界范围,选定适用的技术手段(无人机航测、激光雷达或地面扫描),编制详细的技术实施方案与应急预案。(2) 设备校验与调试: 作业前对无人机飞行平台、高清航摄相机、机载/地面激光雷达扫描仪、GNSS接收机、惯性导航系统等核心设备进行全面精度校验与参数优化调试,包括相机畸变参数标定、激光雷达测距校准、IMU对准检查等,确保各设备运行状

态稳定、数据采集精度满足设计要求；同步完成电池续航、数据传输、存储介质等辅助保障检查^[2]。（3）控制点布设：依据国家测绘规范和项目精度指标，在勘测区域内科学布设平面与高程控制点，采用静态GNSS或水准测量方式测定控制点精确坐标，构建统一的勘测坐标基准框架；控制点位置选在视野开阔、特征明显、易于长期保存且便于后续数据拼接配准之处，为多源三维数据的坐标统一和精度检核提供可靠依据。

2.2 现场数据采集实施

（1）分区模块化采集：针对大范围或带状延伸的勘测区域，依据地形特征、设备有效覆盖半径及精度均匀性要求，将整体测区科学划分为若干相对独立的采集子模块，合理设定相邻模块间重叠过渡带；各子模块分别独立规划航线、仿地高度及扫描站位布局，按计划逐区块推进数据获取，有效规避大面积作业的数据遗漏风险，减少重复采集与冗余堆积，便于局部质量缺陷的精准补测，保障采集成果的连续完整与接边顺畅。（2）多技术融合采集：对于地形起伏剧烈、植被茂密或建筑物密集等单一技术难以有效覆盖的复杂区域，采取无人机航空摄影与机载激光雷达协同作业的融合采集策略——航空摄影获取高分辨率真彩影像支撑纹理映射与地物判读，激光雷达同步获取高密度三维点云支撑地表高程提取与地形骨架建模；两种手段主动与被动互补、面状纹理与体状点云结合，有效弥补单一技术在光学遮挡或信号衰减下的数据缺失与精度不均，大幅提升采集成果的全面性与可靠性^[3]。（3）采集质量实时核查：数据采集过程中，质量控制人员依托实时监控分析软件，对每架次飞行或每测站扫描数据进行即时抽查审验，重点核查影像清晰度、色彩一致性、航向旁向重叠度、点云密度均匀性及回波强度分布等核心指标；一旦发现影像模糊、点云稀疏、覆盖裂隙等质量问题，立即组织原地补采或重飞，确保全部源数据在撤离现场前均达合格标准，从源头切断质量隐患向后传递。

2.3 数据处理与三维模型构建

（1）原始数据预处理：将外业采集的原始点云、影像及同步POS数据统一导入高性能工作站，依次实施设备系统误差改正、孤立离群噪声点滤除、航带及测站间重叠冗余数据裁剪拼接、影像匀光匀色与薄雾去除等基础处理，消除原始数据中因设备特性和环境因素引入的畸变、色差与干扰，生成规范整洁、格式统一的基础数据文件。（2）数据配准与加密：以野外实测控制点坐标作为绝对空间基准，采用自动特征提取与人工精细选点相结合方式，完成多架次、多测站、多源异构数据的高

精度空间配准，将分散于不同局部坐标系的点云与影像统一转换至项目坐标框架；运用多视密集匹配和空间插值加密算法，对初始配准后稀疏的地形点位进行合理内插加密，显著提升地形细部表达的刻画精度与空间分辨率。（3）三维模型生成与优化：依托专业建模软件（如ContextCapture、LiDAR360、TerraSolid等），依次完成地面点与地物点分类提取、不规则三角网构建、数字高程模型内插、影像纹理自动映射及三维实体模型生成等关键工序；对建模中出现的孔洞、扭曲、边缘锯齿等缺陷结合人工编辑工具实施修复，调整色彩光照参数优化可视化效果，最终输出细节丰富、几何准确的高保真三维地形成果^[4]。

2.4 成果校验与输出应用

（1）成果精度校验：利用外业独立布设的检测点或新增实测特征点，对三维模型及数字产品实施平面坐标与高程数值的系统性精度检验，逐点统计误差分布，计算中误差、最大误差及粗差比例等关键指标；对照技术设计书和国家现行规范限差要求，确认产品质量达规定等级后方可转入交付环节。（2）测绘成果输出：根据工程需求和行业交付标准，编制提交多元化成果产品，涵盖三维实景模型、数字高程模型、数字正射影像图、地形等高线图、坡度坡向分析图、典型断面图等图件资料；同步撰写成果说明文件、质量检查报告及技术总结报告，确保成果内容完整、格式规范、表达清晰。（3）工程落地应用：将经检验合格的三维测绘成果以标准化接口导入工程设计及施工管理平台，深度服务于设计方案空间比选优化、精细化土石方工程量计算与调配、施工过程四维动态模拟与碰撞检测、运营阶段地形变形持续监测与趋势预警等核心环节，实现勘测数据从外业采集、内业处理、成果交付到工程应用的全链条价值闭环，为工程项目全生命周期提供精准可靠的空间数据支撑与科学决策依据。

3 测绘工程三维地形勘测技术应用现存问题与优化策略及发展趋势

3.1 技术应用现存主要问题

（1）复杂地形适配性不足：在高山密林、深切峡谷、水域湿地等特殊地貌条件下，无人机航测受飞行高度和视角限制易产生遮挡盲区，激光雷达虽具一定植被穿透能力，但面对茂密阔叶林或低矮灌丛时穿透效果显著下降，地面点云提取困难；水域表面对激光脉冲吸收效应导致回波信号薄弱，点云数据大面积缺失，三维模型出现孔洞、变形等失真问题，严重影响成果可用性。（2）数据处理效率偏低：三维勘测产生的原始数据量

庞大, 单次作业点云数据可达数GB乃至TB级别, 当前数据处理链条(去噪、配准、分类、建模、质检等)环节多、流程繁琐, 多个处理节点仍依赖人工判读与交互操作, 自动化程度不足, 整体处理周期较长, 难以满足应急抢险、快速施工等对时效性要求较高的测绘任务需求。(3) 设备与技术成本较高: 高精度机载/地面激光雷达系统、工业级三维扫描仪等核心设备采购价格昂贵, 加之定期标定维护、软件授权更新、专业人员培训等持续投入, 使得技术应用综合成本居高不下; 中小型测绘企业和基层勘测单位受资金实力限制, 难以负担全套高端装备, 一定程度上制约了先进三维勘测技术在更广泛工程领域的推广应用。

3.2 技术应用优化改进策略

(1) 优化野外勘测作业方案: 针对复杂地形环境, 在前期踏勘基础上制定差异化专项采集方案, 综合运用无人机仿地飞行、多角度倾斜摄影、多站地面扫描等手段, 对盲区实施针对性补测; 选取光照适中、植被含水量较低的有利时段开展激光雷达作业以提升穿透效果, 通过多时段、多航高、多视角的立体化采集模式, 最大限度消除数据盲区。(2) 升级数据处理技术: 引入基于深度学习的点云智能分类与去噪算法、影像特征自动匹配与空三解算加速技术, 实现海量数据的快速预处理与高精度自动拼接; 开发标准化处理流程与批处理工具链, 将人工干预节点压缩至最低, 从整体上简化处理流程、缩短数据生产周期, 提升三维勘测成果出图效率^[5]。

(3) 构建低成本技术应用体系: 面向中小规模工程需求, 推广轻量化无人机与低成本固态激光雷达的融合集成方案, 采用国产化替代设备与云端协同处理平台, 降低硬件采购与软件运维成本; 探索共享设备租赁、第三方数据服务等灵活合作模式, 通过多项目分摊和设备资源优化配置, 有效降低单次勘测作业的综合成本。

3.3 三维地形勘测技术发展趋势

(1) 智能化发展: 深度融合人工智能、大数据分析

能分类与地物自动识别、三维模型一键式生成等全链条智能化升级; 未来勘测系统将具备自感知、自决策、自优化能力, 逐步构建“无人化”全自动勘测技术体系。

(2) 一体化发展: 打破勘测数据采集、内业处理、三维建模、指标分析、成果输出与工程应用之间的流程壁垒, 构建统一数据中台和标准化接口, 实现从外业到内业、从数据到决策的全业务链贯通, 形成勘测建模分析应用一体化解决方案, 显著提升测绘成果向工程生产力的转化效率。(3) 高精度实时化发展: 借助5G高速传输、物联网泛在感知与边缘计算技术, 实现勘测现场点云数据与影像的实时回传、在线即时建模与动态变化监测; 未来三维地形勘测将逐步向“即采即用”方向发展, 支持工程施工过程动态引导、灾害实时预警响应等实时测绘需求, 为工程全生命周期管理提供即时、精准的空间信息保障。

结束语

本文系统研究了测绘工程三类主流三维地形勘测技术, 明确了各技术的应用场景与全流程作业规范, 总结了当前技术应用的核心难题, 并提出科学化、落地化的优化改进策略。同时明确了智能化、一体化、实时化是未来技术发展的核心方向。后续需持续深耕技术融合创新, 降低应用成本, 推动三维勘测技术全面适配各类复杂测绘场景, 赋能测绘行业高质量发展。

参考文献

- [1]郭震冬,吴昊,顾正东,等.洞内外实景三维数据采集与融合技术[J].测绘通报,2025,12(08):149-152.
- [2]王艳慧,李京,钱乐祥.复杂地形场景无人机倾斜摄影三维建模精度控制研究[J].测绘学报,2024,53(05):721-730.
- [3]成书楼,张鹏,黄波林.融合贴近摄影与LiDAR的复杂地形三维勘测技术[J].测绘科学,2025,50(03):89-96.
- [4]刘军,陈鑫.三维激光扫描技术在工程地形精细勘测中的应用与优化[J].工程勘察,2024,52(09):45-50.
- [5]张天宇.基于无人机PPK技术的大场景三维地形快速勘测方法[J].测绘与空间地理信息,2023,46(11):156-159.