

三维激光扫描技术在工程测绘中的应用探析

岳晨晨

(东营市金海海洋工程技术咨询有限公司, 山东 东营 257000)

摘要 本文聚焦工程测绘向高精度、高效率、智能化转型的核心需求, 针对传统测绘技术在复杂场景下数据采集效率低、细节还原度不足等问题, 系统分析该技术在工程测绘中的应用路径、技术优化方法及质量控制要点。通过技术适配分析、工程案例验证与多场景应用对比, 梳理适配不同领域的三维激光扫描作业流程, 优化点云数据处理、多源数据融合、精度校正等关键技术环节, 以高速公路隧道测绘与矿山巷道监测工程为案例验证, 以期对提升工程建设与运维阶段的测绘数据精准度和应用效率有所裨益。结果表明: 优化后的三维激光扫描作业模式可将平面测量中误差控制在 ± 1.5 cm 以内, 数据采集效率较传统全站仪测量提升 8 倍, 复杂区域测量覆盖率达 100%, 成果一次验收合格率 99%。

关键词 三维激光扫描; 工程测绘; 点云数据处理; 精度控制; 多场景应用

中图分类号: P21; TN24

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.008

0 引言

工程测绘作为工程建设全生命周期的基础环节, 直接决定工程设计的科学性、施工的精准性与运维的安全性。当前工程建设向大型化、复杂化、精细化方向快速发展, 山地隧道、超高层建筑、矿山巷道等复杂场景对测绘技术的精度、效率和全域覆盖能力提出更高要求。传统测绘技术以单点测量为主, 存在作业周期长、复杂区域数据缺失等问题, 难以满足现代工程测绘的多元需求。三维激光扫描技术作为非接触式空间数据采集的核心技术, 突破了传统测绘的单点测量模式, 可实现毫米级精度的全空间数据快速采集, 形成完整的点云数据体系, 为工程测绘提供全新技术路径。结合近三年工程测绘行业创新实践, 本文从技术应用适配、关键技术优化、质量控制机制、工程案例验证等方面, 系统探析三维激光扫描技术在工程测绘中的应用体系, 为该技术在不同工程领域的标准化、规模化应用提供可参考的解决方案。

1 三维激光扫描技术在工程测绘中的应用体系构建

1.1 应用体系整体框架

基于工程测绘“基准建立—数据采集—处理分析—成果应用”的全流程特性, 结合三维激光扫描技术的技术优势, 构建“基准适配—精准采集—智能处理—多元应用”四级闭环应用体系, 各层级数据双向贯通、技术深度协同。基准适配层以工程测量统一基准为核

心, 实现三维激光扫描数据与工程施工、设计基准的无缝对接, 破解坐标系统不统一、数据无法直接应用的难题; 智能处理层通过点云数据去噪、分割、融合与建模, 提升数据的有效性与可用性, 形成适配工程应用的三维模型与二维成果; 多元应用层将处理后的成果应用于工程设计、施工监测、运维管理等环节, 实现测绘数据的全生命周期价值挖掘, 形成技术与工程应用的深度融合模式^[1]。

1.2 多场景技术适配方案

针对不同工程领域的场景特点与测绘需求, 制定差异化的三维激光扫描技术适配方案, 实现技术与场景的精准匹配。交通工程中的高速公路隧道、桥梁等结构, 采用车载三维激光扫描系统, 结合惯性测量单元 (IMU) 与 GPS 定位, 实现移动状态下的快速数据采集, 扫描速率达 120 万点/秒, 适配隧道内光线不足、空间狭窄的作业环境, 单站扫描覆盖半径可达 3 km; 建筑工程中的超高层建筑、古建筑等, 采用地面式高精度三维激光扫描仪, 相位差扫描模式实现亚毫米级精度测量, 精准捕捉建筑外立面、构件细节的三维信息, 点云密度可达 50 点/m² 以上, 满足建筑变形监测、构件检测的需求; 矿山工程中的巷道、采场等区域, 采用便携式三维激光扫描设备, 设备重量控制在 5 kg 以内, 适配矿山巷道复杂地形与恶劣环境, 实现巷道轮廓、采场形态的快速扫描, 数据采集效率较传统测量提升 8 倍以上^[2]。

作者简介: 岳晨晨 (1993-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 工程测绘。

1.3 点云数据智能处理技术

构建“去噪—分割—融合—建模”的点云数据全流程智能处理体系，提升数据处理的效率与精度。采用基于深度学习的自适应去噪算法，自动识别并过滤扫描过程中产生的噪声点、干扰点，噪声过滤准确率达 95% 以上，有效解决粉尘、遮挡等因素导致的数据失真问题；针对多站扫描数据的拼接融合，采用标靶定位与特征点匹配相结合的方式，标靶中心定位精度达 1~3 cm，残缺标靶定位精度较传统质心法提升 1~4 cm，实现多源点云数据的无缝拼接，拼接误差控制在 ±2 mm 以内；结合 BIM 技术，将处理后的点云数据转化为参数化三维模型，实现与工程设计模型的精准对比，生成可视化偏差分析报告，为工程质量检测与整改提供明确方向^[3]。

1.4 多源数据融合处理技术

推动三维激光扫描点云数据与全站仪、GPS、机载 LiDAR 等多源测绘数据的深度融合，构建全域、高精度的工程测绘数据体系。统一多源数据的坐标系统与高程基准，采用 1985 国家高程基准与 2000 国家大地坐标系，实现数据的空间基准统一；将三维激光扫描数据与机载 LiDAR 数据融合，实现工程区域宏观地形与微观结构的一体化测绘，满足工程设计与施工的多元数据需求；融合后的测绘数据可直接应用于工程数字孪生模型构建，实现工程结构的三维可视化展示与动态监测，为工程运维管理提供数据支撑。

2 三维激光扫描技术应用的质量控制机制

2.1 三维质量评价指标体系

基于工程测绘行业标准与三维激光扫描技术应用实践，建立涵盖精度、完整性、实用性的三维量化质量评价指标体系^[4]。在精度指标方面，地面式扫描平面中误差 ≤ ±1.5 cm、高程中误差 ≤ ±2 cm，车载式扫描平面中误差 ≤ ±3 cm、高程中误差 ≤ ±4 cm，构件细节测量精度 ≤ ±0.5 mm；实用性指标规定处理后的成果可直接对接 BIM、CAD 等工程设计软件，技术文档与原始数据齐全率 100%，满足工程设计、施工、验收的多元应用需求。

2.2 事前预防阶段质控措施

编制专项三维激光扫描作业技术设计书，明确作业依据、设备参数、扫描路线与质量要求，结合工程场景特点制定差异化作业方案；对扫描设备、定位设备等进行全面校准，包括激光发射器精度、角度编码器、GPS 接收机等，误差超标的设备禁止入场，关键设备配

备备用装置；开展技术交底与实操培训，重点讲解复杂场景扫描方法、点云数据处理技巧与精度控制要点；对工程现场进行实地踏勘，清理扫描区域的遮挡物，布设高精度标靶与控制点，控制点间距根据工程规模设定为 50~200 m，确保扫描数据的拼接精度^[5]。

2.3 事中控制阶段质控措施

建立动态质量巡查机制，对扫描作业过程进行全程监控，及时纠正不规范作业行为；数据采集阶段随机抽取 10% 的扫描区域进行重复扫描，核查数据的稳定性与一致性，发现数据异常及时停机排查，分析原因并调整作业参数；点云数据处理采用“双人双机”平行计算模式，对去噪、拼接、建模等关键环节进行双重校验，数据处理差异率超 0.2% 时重新处理；搭建实时质量监控平台，将扫描数据与工程设计值动态对比，超限数据自动预警并追溯原因，通过调整扫描参数、优化处理算法等措施及时纠偏。

2.4 事后验收阶段质控措施

按《测绘成果质量检查与验收》(GB/T 24356-2023) 要求开展全要素检查，内业核查成果格式、数据精度与元数据完整性，采用专业软件进行精度分析与逻辑校验；外业随机抽查不低于 10% 的关键部位，重点核验测量精度与成果一致性。验收合格出具质量检查报告，明确成果等级与使用范围；不合格成果限期整改并重新验收，建立整改台账，跟踪整改进度，确保成果质量符合规范要求^[6]。

2.5 典型质量风险防控措施

针对复杂环境下的扫描精度偏差问题，采用标靶加密布设与实时定位校正相结合的方式，提升扫描数据的拼接精度，隧道、巷道等封闭场景标靶布设间距不大于 50 m；针对数据融合误差问题，统一多源数据的处理标准，对融合区域进行人工复核修正，确保数据的一致性；针对成果应用适配性问题，根据工程需求输出多样化成果，满足不同环节的应用需求。

3 工程案例验证与效果分析

3.1 案例概况

选取高速公路隧道测绘工程与矿山巷道监测工程两个典型案例，验证三维激光扫描技术在工程测绘中的应用效果。高速公路隧道工程全长 3.5 km，隧道内空间狭窄、光线不足，测绘需求为隧道轮廓精准测量与变形监测，采用车载三维激光扫描系统开展作业；矿山巷道监测工程为某金属矿地下巷道，巷道断面不规则、地形复杂，测绘需求为巷道轮廓测量与围岩变

形监测,采用便携式三维激光扫描设备实施作业。两个项目均采用本文构建的应用体系与质量控制机制,重点监测测量精度、作业效率、成果合格率等核心指标,验证技术方案的实操性与可靠性。

3.2 应用效果量化分析

对比传统测绘技术,三维激光扫描技术在工程测绘中的应用成效显著。在精度方面,高速公路隧道测绘平面中误差1.2 cm、高程中误差1.8 cm,矿山巷道测绘平面中误差1.5 cm、高程中误差2.0 cm,均优于质量评价指标要求,较传统全站仪测量精度提升50%以上;在效率方面,高速公路隧道测绘作业周期从传统模式的15天缩短至2天,矿山巷道测绘作业周期从7天缩短至1天,数据采集效率提升8~10倍,数据处理自动化率达90%,大幅减少人工干预;在覆盖完整性方面,两个项目均实现复杂区域100%覆盖,有效解决传统测绘无法进入的狭窄区域、遮挡区域数据缺失问题;在成果质量方面,两个项目成果一次验收合格率均达99%,整改率100%,成果数据直接应用于工程施工与变形监测,为工程安全建设提供精准数据支撑;在经济效益方面,通过减少人工投入、缩短作业周期、降低返工率,高速公路隧道工程节约测绘成本60%,矿山巷道工程节约测绘成本55%,综合效益显著。

4 三维激光扫描技术应用推广与优化建议

4.1 技术应用推广策略

结合不同工程领域与场景特点,优化三维激光扫描技术应用方案,推动技术的标准化、规模化应用。针对交通、建筑、矿山等不同工程领域,制定行业专属的三维激光扫描作业规程,明确设备选型、作业流程、质量控制等要求;针对大型工程与中小型工程的不同需求,推出差异化技术方案,大型工程采用高端高精度扫描设备,实现精细化测绘,中小型工程采用经济型设备与简化作业流程,降低应用成本。强化示范引领作用,选择典型工程打造三维激光扫描技术应用标杆项目,通过现场观摩会、技术交流会、行业期刊等形式,分享技术应用经验与成效;加强政策支持,建议行业主管部门出台技术推广激励政策,对采用三维激光扫描技术且成果质量优良的测绘项目给予资金补贴或评优加分,引导测绘单位主动应用新技术、新方法。

4.2 技术优化发展建议

推动三维激光扫描技术的智能化升级,融合人工智能、大数据、5G等前沿技术,开发全自动扫描路径规划系统,实现设备自主避障、自主扫描,减少人工

干预;优化点云数据处理算法,研发轻量化点云数据处理软件,提升数据处理效率,降低软件使用门槛,满足基层测绘单位的应用需求。加强多技术融合应用,推动三维激光扫描技术与BIM、数字孪生、物联网等技术的深度融合,构建工程测绘与工程建设、运维一体化的技术体系,实现测绘数据的全生命周期应用;加强海洋、极地等特殊工程场景的技术适配研究,研发适用于特殊环境的防水、防腐蚀、抗低温扫描设备,拓展技术应用范围。

5 结束语

三维激光扫描技术作为现代工程测绘的核心技术之一,有效解决了传统测绘技术在复杂场景下的应用难点,为工程测绘高质量发展提供了全新技术路径。本文构建的“四级闭环应用体系+三维质量评价指标+全流程质量控制”模式,通过多场景技术适配、点云数据智能处理、多源数据融合、全流程质量防控等关键技术创新,实现了三维激光扫描技术在工程测绘中的标准化、精准化应用。高速公路隧道与矿山巷道监测工程的案例验证表明,三维激光扫描技术应用体系可将平面测量中误差控制在 ± 1.5 cm以内,作业效率较传统测绘技术提升8倍以上,成果一次验收合格率达99%,兼具精度优势、效率优势与经济效益。未来,应进一步推动三维激光扫描技术的智能化、小型化、低成本化发展,加强与BIM、数字孪生等技术的融合应用,完善行业应用标准与人才培养体系,推动技术在更多工程领域的规模化、标准化应用。通过持续的技术创新与实践优化,不断提升三维激光扫描技术在工程测绘中的应用水平,为我国工程建设高质量发展提供更坚实的测绘技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘甄文,赵子龙,李国柱,等.一种基于三维激光扫描仪和激光水准仪的建筑物形变检测方法[J].城市勘测,2024(03):152-156,160.
- [2] 连文峰.三维激光扫描技术在建筑测绘中的应用研究[J].居舍,2023(32):165-168.
- [3] 周枫,朱丹.建筑测绘中三维激光扫描技术的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(22):95-97.
- [4] 何宁杉,李俊,罗军.三维激光扫描技术在大中型航站楼不停航改造中的应用[J].安装,2025(07):88-90.
- [5] 邓杰.SLAM三维激光扫描技术在房产测绘中的应用[J].消费电子,2025(15):209-211.
- [6] 杨晓东.三维激光扫描技术在桥梁工程测绘过程的应用研究[J].模具制造,2025,25(07):153-155.