

工程测量中三维激光扫描优化技术

王志涛 武国强 李季 程威 冯义福
航天规划设计集团有限公司 北京 102600

摘要: 本文聚焦工程测量中的三维激光扫描优化技术, 首先阐述三维激光扫描技术的核心原理、系统构成及应用特点与局限性, 接着分析现存问题及误差来源及其对工程测量结果的影响。随后从外业数据采集、点云数据处理、扫描系统操作与流程三方面提出优化技术, 并给出模拟实验、工程实例验证及精度与效率评价指标等可行性验证方法, 为提升工程测量中三维激光扫描技术的精度与效率提供理论支持与实践指导。

关键词: 工程测量; 三维激光扫描; 优化技术

引言: 在工程建设领域, 精确的测量是保障工程质量、安全与效率的关键。三维激光扫描技术作为新兴测量手段, 凭借非接触、高精度、高效率等优势, 广泛应用于各类工程测量场景。然而, 该技术在实际应用中面临环境干扰、数据处理效率低、设备成本高等诸多挑战。因此, 研究三维激光扫描优化技术, 对于提升工程测量水平、推动工程建设高质量发展具有重要意义。

1 三维激光扫描技术相关理论基础

1.1 三维激光扫描技术核心原理

(1) 激光测距原理: 核心是通过激光发射器向目标发射脉冲激光, 接收器捕捉反射信号, 根据激光传播时间与光速计算目标距离, 常用脉冲法和相位法, 前者适用于长距离测量, 后者精度更高, 可满足工程测量的精准要求。(2) 扫描成像原理: 依托扫描控制模块驱动激光束按预设路径扫描, 逐点获取目标表面三维坐标, 通过海量点云数据拼接, 还原目标的三维形态, 实现从点到面的完整成像, 适配工程中复杂构筑物的形态捕捉。

(3) 坐标转换原理: 将扫描获取的仪器自身坐标系数据, 通过坐标转换算法, 转换为工程测量常用的大地坐标系或施工坐标系, 消除仪器自身误差, 确保测量数据与工程实际坐标统一。

1.2 工程测量中三维激光扫描系统构成

(1) 激光发射器与接收器: 发射器负责发射高稳定性激光脉冲, 接收器精准捕捉反射信号, 两者协同工作, 决定测量的距离与精度, 是系统的核心执行部件。

(2) 扫描控制与定位模块: 控制激光束扫描轨迹、频率, 同时通过GPS或惯性导航定位仪器自身位置, 纠正扫描过程中的仪器偏移, 保障点云数据的空间位置准确性。(3) 数据存储与传输模块: 存储扫描产生的海量点云数据, 支持数据实时传输至电脑终端, 便于后续数据处理、分析, 满足工程测量中数据及时复盘的需求^[1]。

1.3 三维激光扫描技术在工程测量中的应用特点

(1) 非接触式测量优势: 无需接触被测目标, 可在复杂、危险场景(如高空、基坑、易燃易爆区域)开展测量, 避免对工程结构造成破坏, 保障测量人员安全。

(2) 高精度与高效率特性: 测量精度可达毫米级, 远超传统测量方法, 且能快速完成大面积扫描, 大幅缩短测量工期, 提升工程测量效率。(3) 复杂场景适配性: 可精准捕捉不规则、复杂构筑物的三维形态, 解决传统测量难以覆盖的异形结构、密集区域测量难题, 适配各类工程场景。

1.4 三维激光扫描技术应用局限性

(1) 环境干扰影响: 强光、暴雨、浓雾等恶劣天气会削弱激光信号, 遮挡物会导致点云数据缺失, 影响测量精度与完整性。(2) 数据处理效率瓶颈: 扫描产生的海量点云数据需专业软件处理, 数据去噪、拼接、建模耗时较长, 对计算机性能要求较高。(3) 设备成本与操作门槛: 三维激光扫描设备制造造价高昂, 且操作需专业人员掌握相关技术, 增加了工程测量的成本与人力门槛。

2 工程测量中三维激光扫描现存问题及误差分析

2.1 工程测量中三维激光扫描常见问题

(1) 外业数据采集完整性不足: 工程现场多存在建筑物遮挡、地形崎岖、植被覆盖等复杂情况, 若扫描站点布设过于稀疏、间距不合理, 或扫描角度受限于现场环境, 易导致被测区域出现扫描盲区, 桥梁节点、基坑边坡等关键部位点云数据缺失, 无法完整还原工程结构全貌, 直接影响后续工程量计算、结构分析的全面性与准确性。(2) 点云数据噪声干扰严重: 外业扫描过程中, 施工现场的粉尘、施工振动、杂光反射等因素, 会导致采集的点云数据中混入大量无效噪声点, 这些噪声点会干扰点云拼接的贴合度与建模精度, 不仅增加数据去噪、筛选的工作量, 还可能误导工程测量判断, 影响

施工放线、结构检测的准确性。(3)多站点云配准精度偏低:工程测量中需通过多站点扫描拼接覆盖大范围区域,若配准标志布设不规范、特征点提取不准确,或仪器定位存在偏差,会导致多站点云配准出现错位、偏差,无法形成统一、连贯的三维模型,造成不同站点测量数据不一致,影响工程整体测量成果的可靠性。

2.2 三维激光扫描误差来源分析

(1)仪器自身误差:仪器出厂时的校准偏差、长期使用导致的激光发射器功率衰减、接收器灵敏度下降,以及扫描角度、距离测量的固有系统误差,都会直接影响测量数据的精准度,是误差产生的核心来源之一,难以通过操作规避,需定期校准仪器以降低误差。(2)环境因素误差:温度骤变会导致仪器部件热胀冷缩,影响仪器稳定性;风力、暴雨、浓雾等恶劣天气会削弱激光传播效果,导致信号衰减或反射异常;地面振动会造成仪器轻微偏移,进而产生测量误差,这类误差受现场环境影响较大,难以完全控制。(3)操作流程误差:操作人员未严格按照规范布设扫描站点、调整仪器参数,特征点选取不合理、配准操作不规范,以及数据采集过程中仪器意外移动、遮挡等操作失误,都会引入人为误差,这类误差可通过规范操作、加强人员培训来减少^[2]。(4)目标反射特性误差:被测目标表面材质、粗糙度不同,对激光的反射率存在明显差异,光滑表面易产生镜面反射、粗糙表面易散射激光,导致反射信号捕捉不准确,进而产生测距和定位误差,尤其在金属构件、玻璃幕墙等特殊材质测量中更为明显。

2.3 误差对工程测量结果的影响

(1)对工程施工精度的影响:误差会导致测量数据与工程实际尺寸出现偏差,若偏差超出规范允许范围,会造成施工放线、结构安装偏差,影响工程结构的平整度、垂直度,尤其是在高层建筑、精密构筑物施工中,可能引发结构安全隐患,影响工程质量。(2)对工程设计优化的影响:基于存在误差的测量数据进行工程设计优化,会导致设计方案与现场实际情况不符,无法精准解决工程现场的实际问题,不仅难以达到设计优化的目的,还可能需返工调整设计,增加工程设计成本与工期,降低工程建设效率。(3)对工程运维管理的影响:误差会导致三维模型与实际工程结构存在偏差,影响工程运维过程中的隐患排查、病害检测精度,无法精准定位裂缝、沉降等问题部位,降低运维效率,增加运维成本,不利于工程长期安全稳定运行,尤其对老旧工程的运维影响更为突出。

3 工程测量中三维激光扫描优化技术研究

3.1 外业数据采集优化技术

(1)扫描站点合理布设优化:结合工程现场地形、构筑物分布特点,采用BIM模型预模拟布设方案,通过模拟扫描覆盖范围,精准确定站点间距、高度及角度,确保无扫描盲区。优先选取视野开阔、无遮挡、稳定性强的点位,避开施工振动源和强反射区域,预留备用站点应对突发遮挡、设备故障等情况,提升数据采集完整性,减少后期补扫工作量与人力时间成本。大型工程采用分区布设策略,明确扫描优先级,保障关键部位优先精准覆盖。(2)扫描参数自适应调整优化:基于被测目标材质、距离及现场环境条件,构建参数自适应调整模型,自动匹配激光功率、扫描密度、曝光时间等核心参数。远距离、低反射目标(如混凝土墙体、岩石边坡)适当提高激光功率和扫描密度,确保反射信号清晰可捕捉;近距离、高反射目标(如金属构件、玻璃幕墙)降低功率避免信号饱和,调整曝光时间减少反光干扰,实现参数动态优化,兼顾数据精度与采集效率,规避固定参数导致的偏差或低效^[3]。(3)环境干扰规避与控制优化:针对强光、暴雨、浓雾等恶劣天气,合理规划采集时间,优先选择阴天、清晨等光线柔和、无降水的适宜时段作业。施工现场粉尘、杂光干扰采用防尘罩、遮光板等辅助设备防控,减少信号衰减;地面振动通过重型稳定支架、加固安装基础及铺设减震垫缓解,保障外业数据采集的稳定性与精准度,降低环境因素引发的误差。

3.2 点云数据处理优化技术

(1)AI辅助噪声过滤算法优化:引入深度学习模型,通过训练大量工程场景点云数据,实现噪声点与有效点的精准区分,可自动识别粉尘、杂光、遮挡产生的无效噪声点,在高效过滤噪声的同时,最大程度保留目标边缘、棱角等细节特征。相比传统滤波算法,该优化技术效率提升30%以上,过滤精度显著提高,有效减少人工去噪的工作量,避免因人工筛选导致的特征丢失或噪声残留,为后续数据处理奠定基础。(2)点云精简与特征保留优化:采用自适应精简算法,根据点云密度和目标特征分布,对密度过高的区域进行合理精简,对边缘、棱角、节点等关键特征区域保留高密度点云。结合曲率分析技术,精准识别工程结构的特征部位,确保精简后点云仍能精准还原工程结构形态,既减少数据量、提升后续建模与分析效率,又避免特征信息丢失,满足工程测量中工程量计算、结构检测的精准需求。(3)点云配准算法改进:针对传统ICP算法收敛慢、易陷入局部最优的问题,引入迭代初始值优化和特征点预匹配机制。先通过SIFT特征提取算法完成多站点云的粗配准,

快速缩小配准偏差范围,再采用改进ICP算法进行精配准,优化迭代策略、调整收敛条件,大幅缩短配准时间,显著提升配准精度,有效解决多站点云配准错位、偏差问题,确保多站点数据连贯统一,提升整体测量成果的可靠性^[4]。

3.3 扫描系统操作与流程优化

(1) 操作规范标准化优化:制定工程测量专用三维激光扫描操作规范,明确站点布设、参数调整、数据采集、仪器校准等各环节的操作标准和流程,细化操作要点和注意事项,杜绝不规范操作。加强操作人员专业培训,重点培训仪器操作、参数设置、误差控制等核心技能,考核合格后方可上岗,同时建立定期复训机制,不断提升操作人员专业水平,减少人为操作失误,降低操作流程误差。(2) 多设备协同作业优化:整合三维激光扫描仪、GPS定位仪、无人机等设备,构建多设备协同作业系统,实现数据互通共享。通过GPS定位仪实现扫描站点的精准定位,确保仪器位置误差在允许范围内;利用无人机完成高空、高空盲区的补充扫描,弥补地面扫描的局限性,实现大范围区域快速、完整覆盖,显著提升复杂场景(如高层建筑、大型桥梁)下的数据采集效率和完整性^[5]。(3) 数据采集与处理一体化优化:开发专用一体化处理软件,实现外业数据采集与内业数据处理的无缝衔接。数据采集完成后可实时传输至处理终端,软件自动完成数据预处理、去噪、配准等基础环节,减少人工干预,有效缩短数据处理周期。同时,软件支持数据实时复盘,可及时发现采集过程中的问题并快速整改,提升工程测量整体效率和成果质量。

3.4 优化技术可行性验证方法

(1) 模拟实验验证:搭建与实际工程场景相似的模拟实验平台,模拟不同地形、环境条件(如复杂遮挡、恶劣天气、不同材质目标),分别采用传统技术与优化技术进行对比实验。采集两组点云数据,从数据完整性、测量精度、处理效率三个核心维度进行对比分析,量化优化技术的提升效果,验证优化技术的有效性和优

越性,为实际工程应用提供实验支撑。(2) 工程实例验证:选取高层建筑、桥梁、基坑等典型工程实例,应用优化技术开展三维激光扫描测量,将测量结果与传统测量方法结果进行对比,结合工程施工实际需求,验证优化技术在实际工程中的适配性和可行性。重点关注优化技术对现场常见问题(如盲区、噪声、配准偏差)的解决效果,确保优化技术能切实解决工程现场实际问题,具备推广应用价值。(3) 精度与效率评价指标:建立完善的评价指标体系,精度指标包括点云配准误差、测距误差、建模精度等,明确各指标的允许范围和量化标准;效率指标包括数据采集时间、数据处理时间、人员投入量等,量化优化技术的效率提升幅度。通过量化指标对比,客观评价优化技术的优化效果,为优化技术的推广应用提供科学、准确的数据支撑。

结束语

综上所述,工程测量中三维激光扫描优化技术的研究与应用,是解决当前技术瓶颈、提升测量精度的有效途径。通过外业数据采集、点云数据处理及扫描系统操作与流程的全面优化,可显著降低误差、提高效率,为工程建设提供更可靠的数据支持。未来,随着技术的不断进步与应用的深入,三维激光扫描技术将在工程测量领域发挥更大作用,助力工程建设迈向更高水平。

参考文献

- [1]刘进芳.三维激光扫描技术在建筑物立面测绘中的应用[J].科技资讯,2024,22(18):21-23.
- [2]夏荣萍.建筑竣工测量中三维激光扫描技术的应用研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(3):28-30.
- [3]吴元松.机载三维激光扫描技术在露天矿山测量中的应用[J].建筑机械,2025,10(2):102-106.
- [4]李闯.激光扫描技术在三维地下工程测量中的应用研究[J].建设科技,2024,23(4):82-84.
- [5]徐尚政,徐立勇,朱日俊.三维激光扫描技术在建筑工程测量中的应用[J].经纬天地,2024,6(4):47-50.