

土地工程中三维激光扫描技术在地形测绘的精度优化策略

梁源

广西容县自良镇乡村建设综合保障中心，广西 玉林 537516

DOI:10.61369/ERA.2025100010

摘要： 随着三维激光扫描技术在土地工程地形测绘中的广泛应用，其测绘精度成为保障工程质量的关键。本文系统分析了设备、数据采集、数据处理以及控制与检核等层面影响三维激光扫描地形测绘精度的因素，针对这些影响因素，分别从多个方面提出精度优化策略。同时深入探讨了各策略间的关联性与互补性，提出建立系统化的精度优化管理流程，并根据不同土地工程类型的需求，对精度优化策略进行适应性调整。研究成果为提升三维激光扫描地形测绘精度、保障土地工程质量提供了理论依据与实践指导。

关键词： 三维激光扫描技术；地形测绘；精度影响因素；精度优化策略

Optimisation Strategies for Precision in Topographic Surveying Using 3D Laser Scanning Technology in Land Engineering

Liang Yuan

Guangxi Rongxian County Ziliang Town Rural Construction Comprehensive Support Centre, Yulin, Guangxi 537516

Abstract： With the widespread application of 3D laser scanning technology in topographic surveying for land engineering projects, surveying accuracy has become a critical factor in ensuring engineering quality. This paper systematically analyses the factors influencing the accuracy of 3D laser scanning topographic surveying, including equipment, data collection, data processing, and control and verification. Based on these influencing factors, the paper proposes accuracy optimisation strategies from multiple perspectives. Additionally, the paper delves into the interconnections and complementarities among these strategies, proposing the establishment of a systematic precision optimisation management process. It also suggests adaptive adjustments to precision optimisation strategies based on the specific requirements of different types of land engineering projects. The research findings provide theoretical foundations and practical guidance for enhancing the precision of 3D laser scanning topographic surveying and ensuring the quality of land engineering projects.

Keywords： 3D laser scanning technology; topographic surveying; precision-influencing factors; precision optimisation strategies

引言

近年来三维激光扫描技术凭借其非接触式测量、数据采集速度快、能真实还原地形地貌等优势，逐渐取代传统测绘手段，成为土地工程地形测绘的重要技术支撑。然而随着土地工程项目对地形测绘精度要求的不断提高，三维激光扫描技术在实际应用中暴露出的精度问题日益凸显。测绘精度不仅关系到地形数据的准确性，更直接影响土地工程后续环节的科学性与可靠性。因此深入分析影响三维激光扫描地形测绘精度的因素，并针对性地提出优化策略，成为保障土地工程质量、推动行业技术进步的关键课题。

一、影响三维激光扫描地形测绘精度的因素分析

（一）设备层面因素

三维激光扫描技术（3D Laser Scanning）是一项新兴的测量技术，发展于上世纪九十年代，又被称为“实景复制技术”，

具有无需接触、准确可靠、快速高效获取三维空间数据信息的能力^[1]。设备的性能与状态是影响三维激光扫描技术测绘精度的基础，激光扫描仪的测距精度直接决定了测量点与仪器之间距离的准确性。不同型号的扫描仪，其测距误差存在显著差异，高精度的扫描仪能够提供更精确的距离数据，而测距误差较大的设备则

会导致地形测绘结果出现偏差。扫描仪的角度分辨率影响着点云数据的密度和分布均匀性，角度分辨率越低，在相同测量距离下，扫描获取的点云越稀疏，难以完整、准确地反映地形细节，从而降低测绘精度^[2]。此外，仪器的稳定性和校准情况也至关重要，若扫描仪在使用过程中发生震动、位移，或者长时间未进行校准，其内部的坐标系和测量参数会发生变化，使得测量结果出现系统性误差，严重影响地形测绘的精度。

（二）数据采集层面因素

数据采集过程中的操作和环境条件对测绘精度有着直接影响，扫描距离和角度的选择不当，会导致测量误差增大。当扫描距离过远时，激光信号在传输过程中会发生衰减，受到环境干扰的可能性增加，从而降低测距精度；而扫描角度过大，可能会产生扫描盲区或数据重叠不充分的情况，影响点云数据的完整性和准确性^[3]。另外扫描环境中的光照、大气条件等因素也不容忽视，强烈的光照可能会干扰激光信号的接收，导致数据采集错误；空气中的尘埃、水汽等会对激光产生散射和吸收作用，改变激光的传播路径和强度，进而影响测量精度。同时扫描过程中的人为操作因素也会带来误差，如扫描路线规划不合理，导致部分区域漏扫或重复扫描次数不足，使得点云数据存在缺失或密度不均匀的问题，最终影响地形测绘精度。

（三）数据处理层面因素

数据处理是将原始点云数据转化为可用地形测绘成果的关键环节，处理方法和技术的直接关系到测绘精度。在点云滤波过程中，如果滤波参数设置不合理，可能会误删有效地形点，或者无法去除噪声点和非地形点，导致地形模型失真^[4]。数据配准环节中，若采用的配准算法精度不高，或者控制点选取不当，会使不同测站获取的点云数据无法准确拼接，产生拼接误差，影响地形的整体精度。此外，在地形建模过程中，选择的建模方法和参数也会对测绘结果产生影响。例如采用简单的插值方法进行建模，可能无法准确反映复杂地形的真实形态，而过于复杂的建模方法又可能引入不必要的误差，导致测绘精度下降。

（四）控制与检核层面因素

控制与检核是保证地形测绘精度的重要手段，若控制与检核措施不到位，会使测绘误差无法及时发现和纠正^[5]。在控制测量方面，控制点的数量和分布不合理，会导致无法有效约束测量误差，使得测量结果出现偏差。例如控制点数量过少，无法满足平差计算的要求；控制点分布不均匀，在地形复杂区域控制点缺失，会导致该区域的测量精度无法得到保障。在检核过程中，如果检核方法不完善，如仅进行少量的抽检，或者检核标准不严格，可能无法发现存在的误差，使得错误的测绘成果流入后续应用环节，造成严重后果。

二、三维激光扫描地形测绘精度优化策略

（一）设备选型与维护优化策略

在设备选型阶段，应根据测绘项目的实际需求与精度标准，优先选择测距精度高、角度分辨率优的激光扫描仪^[6]。例如对于高

精度地形测绘项目，可选用具有毫米级测距精度的扫描仪，以确保测量点距离数据的准确性；同时角度分辨率需满足地形细节捕捉要求，保证点云数据密度与分布均匀性。此外，设备的稳定性和环境适应性也是选型关键，优先考虑具备防震、防尘、防水功能的仪器，以适应复杂多变的野外作业环境^[7]。在设备维护方面，建立定期校准与检查制度至关重要，依据仪器使用频率与工作环境，设定合理的校准周期，确保仪器内部坐标系和测量参数的准确性。每次作业前后，对设备进行全面检查，包括仪器的固定装置是否牢固、激光发射与接收部件是否正常等，及时发现并处理设备潜在问题，减少因设备故障或性能下降导致的测量误差。

（二）数据采集方案优化策略

优化数据采集方案，首先要合理规划扫描路线与站点布局。在作业前，需对测绘区域进行详细踏勘，结合地形地貌特征、通视条件等因素，确定最佳扫描站点位置与扫描路线，确保地形区域全覆盖且数据重叠度合理，避免出现漏扫或扫描盲区。同时严格控制扫描距离与角度，根据仪器性能和地形复杂程度，科学设置扫描参数，在保证数据质量的前提下，提高采集效率。此外，针对环境因素的影响，可采取相应的应对措施。在光照强烈时段，尽量选择阴影区域作业或采用遮光设备减少光照干扰；在大气条件较差时，如大雾、沙尘天气，可暂停作业或增加扫描次数，以提高数据采集的准确性。同时加强操作人员培训，规范操作流程，减少因人为操作不当导致的误差，确保数据采集的规范性与可靠性。

（三）数据处理流程优化策略

数据处理流程优化需从点云滤波、数据配准、地形建模等多个环节入手。在点云滤波环节，结合地形特征与数据特点，选择合适的滤波算法，并通过试验调整滤波参数，在有效去除噪声点和非地形点的同时，最大限度保留有效地形点，确保地形模型的真实性和完整性^[8]。数据配准过程中，采用高精度配准算法，并合理布设控制点。通过增加控制点数量、优化控制点分布，提高点云数据拼接的准确性；同时利用多余观测数据进行平差计算，进一步降低拼接误差。在地形建模方面，根据地形复杂程度，选择适宜的建模方法，如对于简单地形，可采用基于规则格网的建模方法；对于复杂地形，采用三角网建模方法，并合理设置建模参数，以精确反映地形真实形态，提升测绘成果精度。

（四）精度控制与评估优化策略

完善精度控制体系，需科学布设控制点，确保控制点数量充足且分布均匀，尤其在地形复杂区域，应加密控制点布设，为测量误差约束提供可靠依据。同时建立严格的检核制度，采用多种检核方法相结合的方式，如内业数据检查、外业实地抽检等，对测绘成果进行全方位质量检测^[9]。在精度评估方面，制定明确的精度评估指标与标准，结合项目需求，从平面精度、高程精度、点云密度等多个维度对测绘成果进行量化评估。通过与已知高精度数据对比分析，及时发现精度问题并采取针对性改进措施，确保测绘成果满足项目要求。

三、精度优化策略的综合应用与协同

（一）策略间的关联性与互补性

设备选型与维护优化策略是基础，为数据采集和处理提供可

靠保障。高精度、性能稳定的设备能够获取高质量的原始点云数据,降低数据采集环节的误差风险,减少数据处理过程中因数据质量问题导致的误差修正工作。例如稳定且测距精度高的扫描仪,采集的数据无需在点云滤波时花费过多精力剔除因设备误差产生的大量噪声点,为后续数据配准和地形建模节省时间与资源,也为精度控制与评估提供了可靠的数据基础^[10]。数据采集方案优化策略是关键环节,直接影响原始数据质量,与数据处理流程优化策略紧密相连。合理的扫描路线和站点布局能确保点云数据完整、均匀,减少数据配准过程中因数据缺失或重叠不合理导致的拼接误差,同时也便于在点云滤波时保留有效地形点。而数据处理流程优化策略则是对采集数据的深加工,通过合适的算法和参数设置,将高质量的原始数据转化为精确的地形模型,进一步提升测绘精度,弥补数据采集过程中可能存在的细微误差。精度控制与评估优化策略贯穿整个测绘过程,对其他策略起到监督和反馈作用。科学的控制点布设和严格的检核制度,能及时发现设备性能、数据采集和处理环节存在的问题,从而反向推动设备选型与维护策略的改进、数据采集方案的优化以及数据处理方法的完善,形成闭环管理,确保各策略协同发挥作用,共同提升测绘精度。

（二）建立系统化的精度优化管理流程

建立系统化的精度优化管理流程,需以项目目标为导向,将各环节优化策略有机整合。在项目前期准备阶段,依据测绘精度要求和项目特点,结合设备选型与维护优化策略,选择合适的激光扫描设备,并对设备进行全面校准和检查;同时开展测绘区域踏勘,运用数据采集方案优化策略,制定详细的扫描路线和站点布局方案,确定合理的扫描参数。在数据采集过程中,严格按照既定方案执行,实时监控设备运行状态和数据采集质量,如发现问题,及时依据设备维护策略和数据采集优化策略进行调整。数据采集完成后,进入数据处理阶段,运用数据处理流程优化策略,依次进行点云滤波、数据配准和地形建模,每一个步骤都需遵循精度控制与评估优化策略,对处理结果进行阶段性检查和评估,确保每一步的数据处理都符合精度要求。项目后期,通过精

度控制与评估优化策略,对最终测绘成果进行全面质量检测和精度评估,将评估结果反馈至整个管理流程,为后续类似项目提供经验参考,持续优化精度管理流程。

（三）面向不同土地工程类型的策略适应性调整

不同土地工程类型对地形测绘精度的需求和关注重点存在差异,需对精度优化策略进行适应性调整。例如在土地平整工程中,更注重地形高程精度,在设备选型时应优先选择高程测量精度高的扫描仪;数据采集时,在地形起伏较大区域增加扫描密度和控制点布设;数据处理阶段,重点优化地形建模中高程数据的处理算法,确保地形模型的高程信息准确,为土地平整方案设计提供可靠依据。而在土地规划工程中,对地形的整体形态和平面位置精度要求较高,设备选型需兼顾平面精度和角度分辨率;数据采集时,确保测绘区域全覆盖且数据拼接无缝;数据处理过程中,加强数据配准精度,采用高精度的平面坐标转换算法,使地形模型能够准确反映土地现状,为规划设计提供精准的基础数据。在地质灾害监测类土地工程中,则需强调数据采集的时效性和设备的稳定性,可选择具备实时扫描和远程传输功能的设备,同时增加数据采集频率,及时捕捉地形变化信息,数据处理着重分析地形变化趋势,为灾害预警提供支持。

四、结束语

本文系统分析了设备、数据采集、数据处理以及控制与检核等多层面因素对三维激光扫描地形测绘精度的影响,提出了涵盖设备选型与维护、数据采集方案、数据处理流程以及精度控制与评估的优化策略,并深入探讨了策略间的协同应用及面向不同土地工程类型的适应性调整方法。随着土地工程领域的不断发展和技术创新,对地形测绘精度的要求将持续提高。后续研究可进一步结合人工智能、大数据等前沿技术,探索更高效、智能的精度优化策略,同时加强不同土地工程场景下的实践验证与策略迭代,推动三维激光扫描技术在土地工程地形测绘中发挥更大价值,助力土地工程行业向更高质量、更智能化的方向迈进。

参考文献

[1] 许梁. 基于三维激光扫描技术的结构检测方法研究 [D]. 山东建筑大学, 2024.DOI:10.27273/d.cnki.gsajc.2024.000448.
[2] 钟磊, 苏杰. 三维激光扫描技术在建筑物立面测绘中的精度分析 [J]. 科学技术创新, 2024, (15): 131-134.
[3] 李志远. 基于 TLS 扫描精度影响因素研究与分析 [D]. 吉林建筑大学, 2024.DOI:10.27714/d.cnki.gjljs.2024.000185.
[4] 赵海波. 电力线路竣工验收中的高精度三维激光扫描技术应用研究 [C]// 中国智慧工程研究会. 2024 人工智能与工程管理学术交流会论文集. 嘉兴市众业供电服务有限公司海盐力源分公司, 2024: 108-110.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.020844.
[5] 李鸿奎, 李静, 孔维枢. 三维激光扫描技术与传统测绘技术的精度分析 [J]. 资源导刊, 2024, (06): 44-47.
[6] 周涛. 基于三维激光扫描技术的矿山地质测绘精度评估系统研究 [J]. 中国金属通报, 2024, (01): 138-140.
[7] 欧阳静宣, 徐升亮, 肖礼兵, 等. 基于三维激光扫描的摩崖石刻重建技术与精度研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(12): 1724-1728.DOI:10.15980/j.tzzz.2023.012.026.
[8] 刘开红. 移动式三维激光扫描技术在矿山测量中的精度及误差分析 [J]. 世界有色金属, 2023, (20): 26-28.
[9] 朱尚军, 岳迅, 李世保. 三维激光扫描作业中测量精度影响因素及控制措施 [J]. 现代矿业, 2023, 39(08): 43-46.
[10] 鲍海恩. 基于三维激光扫描技术的矿山地质测绘精度评估系统研究 [J]. 世界有色金属, 2023, (05): 4-6.