

三维激光扫描技术在地形测绘中的应用

潘婉

徐州市铜山区科源测绘服务有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2394

[摘要] 地形测绘是地理信息获取的核心手段,广泛服务于城市规划、交通建设等多个领域,数据精度与获取效率直接影响工程规划科学性与实施安全性。传统测绘方法在复杂地形、大范围任务中存在效率低、精度不足、操作受限等弊端。三维激光扫描技术作为测绘领域重大突破,凭借非接触性、高精度等优势,实现地形测绘从“单点测量”向“面测量”的转变,破解传统技术瓶颈。本文阐述该技术原理、组成与分类,分析应用流程,探讨优势、局限及发展趋势,为其在地形测绘领域的规范化应用提供理论参考。

[关键词] 三维激光扫描; 地形测绘; 点云数据; 数据处理; 测绘精度

中图分类号: P217 **文献标识码:** A

Application of 3D Laser Scanning Technology in Topographic Surveying

Wan Pan

Keyuan Surveying and Mapping Service Co., Ltd.

[Abstract] Topographic surveying is a core method for obtaining geographic information and is widely used in urban planning, transportation construction, and other fields. The accuracy and acquisition efficiency of data directly affect the scientific nature of engineering planning and the safety of implementation. Traditional surveying methods have drawbacks such as low efficiency, insufficient accuracy, and operational limitations in complex terrains and large-scale tasks. As a major breakthrough in the surveying field, 3D laser scanning technology, with its non-contact and high-precision advantages, has transformed topographic surveying from "point measurement" to "surface measurement", breaking through the limitations of traditional technologies. This paper expounds the principle, composition, and classification of this technology, analyzes the application process, and discusses its advantages, limitations, and development trends, providing theoretical references for its standardized application in topographic surveying.

[Key words] 3D laser scanning; topographic surveying; point cloud data; data processing; surveying accuracy

引言

地形测绘是获取地表地理信息、构建地形模型的基础性工作,是工程建设、资源开发的重要前提。随着我国基础设施建设推进,地形测绘场景愈发复杂,对精度、效率的要求持续提升。传统测绘依赖人工逐点操作,存在效率低、精度不足等问题,在复杂危险地形中作业受限。三维激光扫描技术是20世纪90年代兴起的高精度扫描技术,通过激光脉冲获取海量空间坐标,构建点云模型,集成多项技术突破传统局限,可高效完成复杂地形测绘。本文结合其核心特性,探讨在地形测绘中的应用要点,为技术推广提供支撑。

1 三维激光扫描技术核心原理与系统组成

1.1 核心原理

三维激光扫描技术核心基于激光测距与角度测量,通过发

射激光脉冲、捕获反射信号并记录传播时间,结合发射角度计算扫描点与扫描仪的空间距离,经坐标系转换确定各扫描点三维坐标。海量扫描点形成点云数据,为地形建模提供基础。激光测距是核心环节,常用脉冲测距法、干涉测距法、激光三角法三种方式,分别适用于大范围测绘、高精度测绘、短距离细节测量,可根据场景与精度需求灵活选用。

1.2 系统组成

三维激光扫描系统由硬件与软件两部分构成,二者协同保障测绘高效开展。硬件负责数据采集,核心为三维激光扫描仪(含激光发射、接收等组件,完成扫描点坐标初步采集),辅以计算机、电源、支架及GPS接收机(精准定位)、CCD相机(捕捉地表纹理)等设备。

软件是技术应用关键,包括数据采集软件(控制参数、监控

采集)、点云数据处理软件(滤波、配准等,提升数据精度)、三维建模软件(构建地形模型、提取特征、输出成果),三者分工协作,完成数据处理与成果生成。

1.3 技术分类

三维激光扫描技术可按不同标准分类,其中最常用的是按运行平台划分,分为机载型、地面型、手持型与星载型四类。机载型(机载LiDAR)搭载于飞机或无人机,扫描距离超1km,适用于大范围地形普查;地面型含移动式(车载,适用于道路、城市测绘)和固定式(小型便携,适用于小范围高精度测绘);手持型便携性强,适配无法架设设备的复杂场景;星载型搭载于卫星,适用于全球尺度地形测绘与更新。

此外,按扫描距离可分为短距离($\leq 3m$,适用于细节测量)、中距离($\leq 30m$,适用于室内或小型场地)、长距离($> 30m$,适用于大型地形测绘)三类;按测距原理可分为脉冲式、相位式、激光三角式,分别适用于远距离测绘、高精度近距离测绘等场景,可根据测绘需求灵活选用^[1]。

2 三维激光扫描技术在地形测绘中的应用流程

2.1 前期准备工作

前期准备是地形测绘的基础,核心包括测绘区域勘察、设备选型与调试、扫描方案设计三大环节。首先勘察测区范围、地形特征、植被覆盖等情况,识别遮挡物等干扰因素,为方案设计提供依据。其次,结合测绘精度、区域范围选择适配设备,大范围测绘选用机载或星载系统,小范围高精度测绘选用固定式设备,同时调试校准设备,避免故障导致误差。

最后设计科学扫描方案,确定测站位置、数量及角度,避免扫描盲区;合理设置扫描参数,平衡精度与效率。此外,需布设测区控制网,设置控制点,为后续点云配准与坐标转换提供基准。

2.2 点云数据采集

点云数据采集是地形测绘核心环节,核心任务是通过三维激光扫描仪快速精准获取地表点云数据。采集时需按预设方案在指定测站架设设备,完成定位与参数设置后启动扫描,自动发射激光脉冲并记录扫描点三维坐标、反射率等信息,实时监控采集情况,调整角度与参数,避免扫描盲区,保障数据完整性。

大范围或复杂地形需多测站扫描,相邻测站重叠率不低于30%,为后续配准提供条件。采集时同步记录温湿度、风速等环境参数,为误差修正提供依据;如需地表纹理信息,可通过CCD相机同步拍摄,支撑三维模型纹理映射^[2]。

2.3 点云数据处理

原始点云数据含无效、噪声及冗余干扰数据,直接建模会影响测绘精度,需系统处理。该环节是技术应用关键,核心包括数据预处理、点云配准、数据滤波、数据分类与特征提取五步。预处理通过软件算法筛选清理异常点、重复点等,提升数据质量;点云配准采用ICP算法,将多测站数据统一坐标系,完成拼接。

数据滤波核心是分离地面与非地面点,去除植被、建筑物等干扰,常用坡度、高程等滤波算法,可结合辅助信息提升精度;

数据分类按地形特征划分数据,便利后续分析;特征提取通过DOPP等算法提取山脊、坡度等关键信息,为地形建模与参数计算提供依据。

2.4 成果输出

成果输出是地形测绘的最终环节,基于处理后的点云数据与地形特征,通过三维建模软件构建地形模型,生成适配不同场景的测绘成果。核心成果包括数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、数字线划图(DLG),分别用于地形参数计算、可视化识别、工程规划设计。

成果输出前需进行精度检验,通过与控制点对比、实地抽样检测等方式验证精度,若存在误差则返回数据处理环节修正,直至达标后按规范输出,为后续工程应用提供可靠的地理信息支持。

3 三维激光扫描技术在地形测绘中的应用优势

3.1 非接触式测量,提升作业安全性与适用性

三维激光扫描技术采用非接触式测量,无需人员接触地表或进入危险区域,仅通过扫描仪即可完成数据采集,有效解决传统测绘在复杂危险地形的作业难题。对于陡峭山区、矿山边坡等危险区域,该技术可在安全区域远距离扫描,既保障人员安全,又能完成传统方法无法开展的任务。同时,非接触测量可避免破坏地表植被与土壤,适配生态敏感区域测绘,减少对生态环境的影响^[3]。

3.2 测量精度高,数据完整性强

三维激光扫描技术测量精度可达毫米级,远优于传统测绘技术,能精准捕捉地表细微起伏与地形细节,有效提升测绘成果精度。该技术通过高密度扫描,每秒可采集数十万至数百万个扫描点,形成的点云数据能全面覆盖测区,完整记录地形特征与地物分布,避免传统单点测量的数据遗漏,提升数据完整性。此外,其采用主动激光光源,不受光照条件限制,可全天候作业,进一步规避恶劣光照下的精度下降问题,保障数据精度稳定。

3.3 作业效率高,降低人力成本

传统地形测绘依赖人工逐点操作,效率低下,大范围测绘需投入大量人力物力,作业周期长。三维激光扫描技术实现数据采集自动化,无需人工逐点操作,单站扫描仪15-30分钟即可完成大面积数据采集,效率较传统方法提升数十倍至上百倍,大幅缩短作业周期,降低人力与时间成本。同时,数据处理实现半自动化,通过专业软件完成滤波、配准等工作,进一步提升整体作业效率。

3.4 全数字化作业,提升数据复用性

三维激光扫描技术实现地形测绘全数字化,从数据采集、处理到成果输出均采用数字化方式,规避传统手工记录绘图的误差,提升作业规范化水平。采集的点云数据与三维模型可直接导入CAD、BIM等设计软件,实现快速复用,为工程规划设计提供便捷。此外,数字化数据便于存储、传输与更新,可构建地形信息数据库,实现数据动态更新与共享,为各类工程提供长期地理信息支持,提升数据利用价值。

4 三维激光扫描技术在地形测绘中的应用局限

4.1 设备成本较高, 推广难度大

三维激光扫描设备硬件成本高昂, 一套完整系统价格达数十万元至上百万元, 远超传统测绘设备, 中小型测绘企业难以承担, 限制技术推广。同时设备维护成本高, 需专业人员校准维修, 增加企业运营成本。此外, 专业数据处理软件多为进口, 授权费用高且操作难度大, 对技术人员技能要求高, 进一步抬高了技术应用门槛。

4.2 数据处理难度大, 对技术人员要求高

三维激光扫描采集的点云数据量庞大, 单测站数据可达数GB至数十GB, 处理难度高, 对计算机硬件性能和数据处理技术要求较高。数据处理中, 配准、滤波等环节需专业算法支撑, 操作不当易产生误差影响精度。同时, 需技术人员具备扎实的测绘、计算机知识及软件操作能力, 目前这类专业人才短缺, 成为制约技术推广的重要因素。

4.3 环境干扰影响数据质量

三维激光扫描技术虽环境适应性较强, 但复杂环境中仍受外界干扰, 影响数据质量。茂密植被会遮挡激光信号, 导致地表点云缺失; 强降雨、大雾等恶劣天气干扰激光传播, 增大测距误差; 城市建筑物产生反射干扰, 使点云出现噪声。此外, 激光穿透性有限, 无法对隐蔽、地下地形有效扫描, 难以获取完整地形数据。

4.4 缺乏统一的技术标准与规范

目前三维激光扫描技术在地形测绘中的应用缺乏统一标准, 不同品牌、型号设备在精度、数据格式、操作流程上存在差异, 导致数据难以兼容, 阻碍数据对比分析与共享。同时, 数据处理、成果输出等环节标准不统一, 造成企业作业流程与成果质量参差不齐, 影响测绘成果的通用性与权威性, 不利于技术的规范化、规模化推广应用。

5 三维激光扫描技术在地形测绘中的发展趋势

5.1 设备向小型化、低成本、高精度方向发展

随着激光技术与电子技术的进步, 三维激光扫描设备将逐步实现小型化、轻量化, 提升设备的便携性, 适用于更多复杂场景的测绘任务; 同时, 设备制造成本将逐步降低, 推动技术在中小型测绘企业中的推广应用; 此外, 通过技术优化, 进一步提升设备的测量精度与数据采集效率, 满足更高精度的地形测绘需求^[4]。

5.2 数据处理向智能化、自动化方向发展

针对海量点云数据处理难度大的问题, 将研发更先进的智能数据处理算法, 实现数据滤波、配准、分类、特征提取等环节的全自动化, 减少人工干预, 提升数据处理效率与精度; 同时, 结合人工智能、大数据技术, 实现点云数据的智能分析与挖掘, 自动识别地形特征与地物信息, 为地形测绘与工程应用提供更

精准的数据分析支持。

5.3 技术向多传感器融合方向发展

将三维激光扫描技术与GPS、北斗定位、无人机、遥感等技术深度融合, 实现优势互补, 提升地形测绘的综合能力。例如, 结合无人机技术, 实现大范围地形的快速扫描与数据采集; 结合遥感技术, 弥补激光扫描在隐蔽地形、大范围地形测绘中的不足; 结合GPS、北斗定位技术, 提升设备的定位精度, 实现数据的精准坐标转换, 进一步提升测绘成果的质量。

5.4 完善技术标准与规范, 推动行业规范化发展

相关部门将加快制定三维激光扫描技术在地形测绘中的应用标准与规范, 明确设备选型、操作流程、数据处理、成果输出等环节的技术要求, 实现不同设备、不同企业之间的数据兼容与成果共享; 同时, 加强专业技术人员的培养, 提升从业人员的技术水平, 为技术的规范化应用提供人才支撑^[5]。

5.5 拓展技术应用场景, 提升数据利用价值

三维激光扫描技术将逐步拓展到更多地形测绘相关领域, 如生态保护、地质灾害监测、城市地下空间测绘等, 为各类领域提供精准的地形信息支持; 同时, 建立地形信息大数据平台, 实现地形数据的动态更新与共享, 推动地形数据与工程设计、施工、运维等环节的深度融合, 提升数据的利用价值。

6 结论

三维激光扫描技术凭借非接触性、高精度等优势, 有效突破传统地形测绘瓶颈, 大幅提升测绘效率与精度, 为各类工程建设和生态保护提供可靠地理信息支持, 其应用流程各环节的规范性直接影响成果质量。该技术目前仍存在设备成本高、数据处理难度大、环境干扰影响数据质量及缺乏统一标准等局限。未来需通过设备小型化低成本化、数据处理智能化、多传感器融合及完善技术标准等, 克服局限, 推动其在地形测绘领域规范化应用, 助力行业数字化转型。

[参考文献]

- [1]赵会云,李艳.三维激光扫描技术在溶洞测绘中的应用[J].成都航空职业技术学院学报,2025,41(4):72-74+111.
- [2]王海静,李洁.三维激光扫描技术在有色金属矿山地质测绘中的应用[J].世界有色金属,2025,(23):190-192.
- [3]王富渊.新型三维激光扫描技术在立面测量、地形测量中的应用[J].大众标准化,2025,(19):155-157.
- [4]黄邦波.三维激光扫描技术在复杂地形土方量计算中的应用[J].科技创新与应用,2025,15(27):80-82+87.
- [5]周星余.探析三维激光扫描技术在地籍测绘中的应用[J].中国信息界,2025,(08):239-241.

作者简介:

潘婉(1989—),女,汉族,江苏徐州人,中级工程师,本科,研究方向: 测绘地理信息。