

Advantages and prospects of UAV LiDAR technology in hydraulic engineering surveying and mapping

Peng Shan

Bayingoleng Mongolian Autonomous Prefecture water Conservancy and hydropower survey and design Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract

UAV LiDAR technology, with its high precision, high efficiency and wide adaptability, has shown great potential in the field of hydraulic engineering mapping. This technology can quickly obtain terrain data through laser scanning, overcome the limitations of traditional mapping methods in complex environments, and realize the fine mapping of water conservancy facilities and river terrain. UAV LiDAR has all-weather operation capability, which can improve the monitoring accuracy of key infrastructure such as reservoirs and DAMS, and provide data support for disaster prevention and reduction. With the improvement of sensor accuracy, the development of intelligent data processing and the application of multi-source data fusion technology, the technology will play a greater role in water conservancy project management, ecological environment monitoring and water resource scheduling. However, the current application of UAV LiDAR in hydraulic surveying and mapping is still faced with high equipment cost, complex data processing, and large environmental factors. In the future, it is necessary to further optimize the technical system, improve the popularity, and promote the development of hydraulic surveying and mapping in the direction of intelligence and refinement.

Keywords

UAV LiDAR; Hydraulic engineering surveying and mapping; High precision measurement; Intelligent monitoring; Data fusion

无人机 LiDAR 技术在水利工程测绘中的优势与前景

单鹏

巴音郭楞蒙古自治州水利水电勘测设计有限责任公司, 中国·新疆 库尔勒 841000

摘要

无人机LiDAR技术以其高精度、高效率和广泛适应性,在水利工程测绘领域展现出巨大潜力。该技术通过激光扫描快速获取地形数据,克服了传统测绘方法在复杂环境下的局限性,实现了水利设施及河道地形的精细化测绘。无人机LiDAR具备全天候作业能力,能够提高水库、堤坝等关键基础设施的监测精度,为防灾减灾提供数据支撑。随着传感器精度的提升、数据处理智能化的发展以及多源数据融合技术的应用,该技术将在水利工程管理、生态环境监测和水资源调度等方面发挥更大作用。然而,当前无人机LiDAR在水利测绘中的应用仍面临设备成本高、数据处理复杂、环境因素影响大等问题,未来需进一步优化技术体系,提高普及度,推动水利测绘向智能化、精细化方向发展。

关键词

无人机LiDAR; 水利工程测绘; 高精度测量; 智能监测; 数据融合

1 引言

水利工程的规划、建设与管理离不开精确的测绘数据。传统测绘方式依赖地面站测量与航空摄影,虽然能够提供基本地形信息,但在复杂水利环境下存在测绘周期长、数据获取困难、人工成本高等问题,难以满足现代水利工程对高精度测绘的需求。近年来,无人机LiDAR技术的快速发展,为水利测绘提供了新的解决方案。该技术利用机载激光扫描系统,通过点云数据重建地形,实现高精度三维测绘,在河道地形勘测、水库堤坝监测、灾害预警等方面展现出广泛应

用前景。相较于传统方法,无人机LiDAR具有自动化程度高、适应复杂环境、获取数据精度高等优势,有助于提升水利工程的测绘效率与监测能力。当前,该技术在水利行业的应用仍处于推广阶段,面临数据处理复杂、成本较高、环境适应性待提升等问题。如何优化技术体系,提高无人机LiDAR在水利测绘中的应用价值,成为当前研究的重要方向。

2 无人机 LiDAR 技术概述

无人机LiDAR技术是一种结合无人机平台与激光雷达传感器的测绘技术,通过主动发射激光并接收回波,实现对地表地形的高精度测量。该技术依托机载激光扫描系统、惯性导航系统和全球定位系统协同工作,获取高密度点云数据,并通过算法处理重建三维地形模型。相比传统测绘方

【作者简介】单鹏(1988-),男,中国江苏江阴人,本科,工程师,从事水利工程测绘研究。

法,无人机 LiDAR 具备更高的测绘精度和数据获取效率,能够在复杂环境下快速作业,为地形测绘、水利工程监测和灾害评估提供可靠数据支持。该技术不仅能够穿透植被覆盖区域获取真实地形信息,还能够适应各种恶劣气候条件,提高水利测绘的时效性和精准度。随着传感器精度的提升和数据处理能力的增强,无人机 LiDAR 在水利工程中的应用范围不断拓展,为智慧水利和精细化管理提供了强有力的技术支持。

3 无人机 LiDAR 在水利工程中的主要应用

3.1 河道地形测绘

无人机 LiDAR 能够快速获取高精度的河道地形数据,为水利工程规划、治理和防洪调度提供重要支撑。传统的河道测绘依赖人工测量或光学摄影,在植被覆盖、水流湍急或地形复杂的区域容易产生数据缺失或误差。无人机 LiDAR 技术通过高密度点云数据采集,可精准描绘河道断面形态、河床起伏和水文特征,即使在密集植被覆盖的地区,也能通过穿透植被获取地面点数据,为水利工程设计和水文建模提供真实可靠的基础数据。此外,该技术可结合历史数据分析河道冲刷、淤积和岸坡变化情况,为水利设施建设与河道治理提供精准依据,提高流域管理的科学性和决策效率。

3.2 水库及堤坝监测

水库和堤坝是水利工程的重要组成部分,其运行状态直接关系到防洪安全和水资源调度。无人机 LiDAR 可用于水库坝体、堤坝及周边区域的高精度监测,及时发现沉降、裂缝、渗漏等隐患。相比传统监测方法,该技术无需布设大量监测点,能够快速完成大范围扫描,建立高精度三维模型,并通过周期性数据比对分析坝体形变趋势,提高预警能力。在水库蓄水、泄洪及极端天气影响下,堤坝结构可能发生位移或变形,无人机 LiDAR 可以精准测量坝体表面变化情况,结合自动化数据处理和形变分析算法,实现高效的动态监测。此外,该技术可应用于水库库区水面浮动物监测、泄洪道清理评估等,为水库安全管理提供精准数据支持。

3.3 灾害预警与评估

水利工程受自然灾害影响较大,滑坡、泥石流、洪水等灾害的发生可能导致水利设施受损,甚至引发次生灾害。无人机 LiDAR 技术能够在灾前、灾中和灾后提供精准的地形数据,为灾害预警、应急响应和灾后恢复提供支持。在灾害发生前,该技术可用于地质灾害隐患排查,监测堤防裂缝、河岸塌陷、山体滑坡风险等,通过高精度数据分析潜在灾害区域。在洪水、泥石流等灾害发生期间,无人机 LiDAR 能够在短时间内获取受灾区域的地形变化情况,为应急救援和水文调度提供可靠依据。灾害过后,该技术可用于损毁水利设施的评估,分析地形变化,精准测量堆积物体积,为灾后修复提供科学依据,提高灾害应对的效率和精度。

3.4 水资源管理与调度

水资源的合理调度是水利工程的重要任务,需要精准

掌握流域地形、水面面积、蓄水能力等关键数据。无人机 LiDAR 可用于水库、湖泊、河流的水面高程测量,通过定期扫描监测水位变化趋势,提高水资源管理的精准度。该技术可结合水文模型分析降水、蒸发、渗透等因素对水资源的影响,为科学调度提供数据支撑。在农业灌溉、水电站运行等场景中,无人机 LiDAR 可快速评估水库来水量、灌溉渠道流量等情况,优化水资源利用方案。此外,该技术还能用于湿地保护和生态流量监测,分析水系连通性,评估生态水文状况,为水资源的可持续利用提供科学依据。

4 无人机 LiDAR 在水利工程测绘中的技术优势

4.1 高精度数据获取能力

无人机 LiDAR 技术能够获取高精度的地形数据,测量精度可达厘米级,点云密度可达到每平方米 200 点以上,远高于传统测绘方法。通过激光雷达主动发射激光脉冲并接收回波,测量目标表面的三维坐标信息,误差通常控制在 ± 5 厘米以内。相比传统光学摄影测量依赖影像匹配进行高程计算,LiDAR 技术直接获取地面点数据,避免了影像遮挡带来的误差,提高了地形测绘的精度。在水利工程中,高精度测绘对于河道断面测量、堤坝沉降监测至关重要。例如,某流域河道测绘项目中,使用无人机 LiDAR 获得的河床高程数据误差低于 3 厘米,而传统 RTK 测量的误差在 10 厘米以上,数据一致性提升约 70%。高精度数据获取能力使 LiDAR 技术在水库蓄水量计算、堤坝变形监测等方面具备更高的可靠性,能够为水利工程提供更精准的决策支持。

4.2 快速大范围测绘能力

无人机 LiDAR 具备高效的数据采集能力,每小时可完成 10 至 20 平方公里范围的测绘工作,而传统地面测量仅能覆盖 1 至 2 平方公里,提高了至少 10 倍的测绘效率。LiDAR 技术采用激光脉冲扫描方式,每秒可发射 30 万至 200 万次激光信号,通过高频扫描获取大范围高精度点云数据,即使在宽阔的水库或复杂的河道环境中,也能在短时间内完成高精度建模。在水利工程巡检中,使用 LiDAR 无人机可在 1 小时内完成 50 公里长的河道测绘,而传统水准仪测量至少需要 5 天,效率提升了 98%。快速测绘能力使 LiDAR 技术在水利灾害应急测绘中尤为重要,例如暴雨引发山洪或河道冲刷变化时,短时间内获取最新地形数据可为防汛决策提供实时依据,提高应急响应能力。

4.3 复杂环境适应性强

无人机 LiDAR 能够适应复杂地形和恶劣气候条件,在植被覆盖率超过 80% 的区域依然能获得高精度地面点数据,突破了传统测绘方法在密集森林、陡峭山地等环境下的应用局限。LiDAR 技术可穿透稀疏植被,通过多回波信号分离树冠、枝叶和地表,获得精确的裸地高程信息,在水利工程的生态监测和河道测量中具有明显优势。例如,在某山区水库测绘项目中,LiDAR 穿透密林获取的地形数据与实测数据误差小于 5 厘米,而光学影像测绘在相同区域的误差超过

20厘米,提高了4倍的精度。在陡峭河谷和悬崖等难以人工测量的区域,无人机LiDAR可稳定飞行并进行高精度扫描,确保获取完整地形数据,为水利工程设计和防洪规划提供精准支持。在极端天气条件下,无人机LiDAR相比光学摄影测量不受光照影响,可在阴天、雾霾或低光环境下作业,拓展了水利工程测绘的时间窗口,保障了数据的连续性和可靠性。高适应性使无人机LiDAR在水库蓄水量测算、堤坝稳定性评估、山洪灾害监测等水利工程领域的应用价值进一步提升,为复杂环境下的高精度测绘提供可靠保障。

5 无人机LiDAR在水利工程测绘中的前景展望

5.1 技术创新推动水利信息化发展

无人机LiDAR技术的快速发展推动了水利测绘向信息化、智能化方向迈进。传感器精度不断提升,新型LiDAR系统的测距精度已达到 ± 2 厘米,点云数据密度提升至每平方米500点以上,为高精度水利测绘提供了坚实的技术基础。结合高性能计算和人工智能算法,LiDAR数据的自动化处理能力显著提高,实现从数据采集到三维建模的全流程智能化。多源数据融合技术的应用,使LiDAR能够与卫星遥感、地面监测等数据协同处理,提升水利测绘的完整性和实时性。在水利工程规划中,高精度数字地形模型与水文分析模型的结合,能够优化流域管理,提高水资源利用效率。基于云计算的水利信息管理系统,使测绘数据实现远程访问和共享,提高水利工程的决策效率和管理水平。

5.2 提高防灾减灾能力

无人机LiDAR在水利防灾减灾领域的应用前景广阔,能够为洪水、滑坡、堤坝失稳等灾害提供高精度数据支持,提高预警与应急响应能力。高精度地形监测可实时捕捉河道侵蚀、泥沙淤积、水库蓄水量变化等关键参数,为流域防洪提供精准数据。极端天气条件下,传统测绘方式难以及时获取灾害区域数据,而无人机LiDAR可在短时间内完成大范围扫描,提高灾害评估效率。历史数据对比分析技术能够预测地质灾害风险,例如通过监测堤坝形变速率评估安全隐患,为防洪调度提供科学依据。在灾害发生后,无人机LiDAR可迅速获取受灾区域的地形变化情况,提供三维重建数据,支持救援路径规划和灾后恢复,为水利工程灾害应对提供高效、精准的技术手段。

5.3 促进水利工程智能管理

无人机LiDAR技术的应用促进了水利工程从传统监测向智能管理的转型,提升了工程运行维护的精度和效率。高

精度三维建模技术能够构建数字水利设施,实现虚拟巡检与远程监测,减少人工巡查的时间成本和安全风险。智能算法分析LiDAR数据,可自动识别堤坝裂缝、水库沉降、河道冲刷等问题,提高水利工程的监测精度。结合物联网技术,LiDAR测绘数据可与实时水文、气象监测数据融合,实现动态水利管理,优化水资源调度方案。自动化数据处理系统可实现无人机自主飞行测绘,减少人为干预,提高测绘作业的效率 and 稳定性。未来,基于LiDAR技术的智能水利管理平台将成为趋势,实现水利设施状态监测、灾害预警、调度优化的一体化管理模式,提高水利工程的安全性和运行效率。

6 结语

无人机LiDAR技术在水利工程测绘中的应用不断深化,为高精度地形测绘、工程监测、防灾减灾和智能管理提供了可靠的技术支持。高精度数据获取能力提升了水利规划的精确性,快速大范围测绘能力优化了水利资源管理效率,复杂环境适应性增强了在特殊地形和极端天气条件下的应用价值。随着传感器技术、数据处理算法和多源数据融合技术的进步,该技术在水利信息化、灾害预警和智能管理方面的作用将进一步增强。未来,结合人工智能和自动化测绘技术,无人机LiDAR将在水利工程全生命周期管理中发挥更大价值,提高水利设施的安全性、运行效率和科学管理水平。技术体系的优化和应用模式的拓展将推动水利测绘向更高效、更精准、更智能的方向发展,为水利工程的现代化提供重要支撑。

参考文献

- [1] 王迪.航空摄影测量技术在水利工程地形测绘中的运用[J].科技资讯,2025,23(01):21-23.
- [2] 高超.数字化测绘技术在水利工程测量中的应用[A].2024(第十二届)中国水利信息化技术论坛论文集[C].河海大学、江苏省水利学会、浙江省水利学会、上海市水利学会:2024:68-71.
- [3] 李松勤.无人机航测技术在水利工程测绘中的应用[J].住宅与房地产,2021,(18):233-234.
- [4] 杨智翔,彭祥国,黎广,易志朝,王海龙,王林,万会明,邹昕,陈健,黄敏婷,张响,戴建彪,刘雅佳,罗路长,周武平.中铁水利水电规划设计集团有限公司,无人机LiDAR在水利工程测绘中的应用[Z].项目立项编号:201820TG08.鉴定单位:江西省水利厅.鉴定日期:2021-06-04.
- [6] 张保亮.无人机航测技术在水利工程测绘中的应用[J].建筑技术开发,2021,48(02):53-55.