

数据的全面性和一致性。尤其是在繁杂地形或交叠地段，精确的数据融合技术至关重要，以保障极高可靠性的资产评估和管理。

5 技术效果与应用分析

5.1 技术的精确性与可靠性评估

三维地籍测绘技术的准确性与可信度在自然资源资产核算中极其关键。使用三维 GIS 技术，地籍数据能够通过高精度数字模型准确呈现，比传统二维测绘给予更加完整的空间信息。地面三维扫描技术保证了地物的细节采集，精度实现厘米级别，从而增强地块定位的精确度。空中三维成像就借助多视角遥感数据给予完整的地形囊括图，为数据的完整性和客观性提供支撑。通过数据融合技术，将不同来源的数据实施融合与调整，处理了数据不一致问题，更深入改善了数据的可信度和应用价值。这些改善导致自然资源资产核算不但在精度上显著提升，并且在数据的稳健性和重复利用性方面也获得明显加强，有利于决策的严谨性与合逻辑性。三维地籍测绘技术取得了高效证实，可以适应繁杂地形和多样环境下的运用需求。

5.2 自然资源资产核算的改进

三维地籍测绘技术被用在自然资源资产核算工作中，明显改善了核算结果的准确性和整体工作的效能。依靠精确采集地形和地物的三维空间数据，成功实现了自然资源资产的精准化评价目标。这种测绘技术可以提供十分具体的地理信息，协助完成自然资源的全面盘点和精确计算任务。经过对比分析发现，三维地籍数据与传统的二维数据相比，展现出更加突出的优势，尤其是在地形复杂的区域，明显增强了数据的全面性和可靠性。有了精确的地籍信息，就能帮助资源分配和管理优化的决策制定者做出更加优质的判断，促使自然资源实现可以长期使用和高效管理，为未来的资源规划奠定坚实基础，带来长远而关键的影响，同时也为相关领域的发展提供有力保障。

5.3 技术在其他领域的应用拓展

三维地籍测绘技术的顺利应用没有局限在自然资源资产核算工作上，可以发现许多其他行业领域展现出来的巨大发展空间。城市规划领域，这种技术能大大提高土地使用的精确程度和工作效率，帮助智慧城市建设快速向前迈进。环境保护工作领域，收集自然资源的详细数据信息，可以为生态评估和管理提供非常可靠的技术支持手段。基础设施建设项目领域，三维测绘技术能模拟出地形地貌的真实具体情况，改善建设方案的规划设计思路，降低施工中可能出现的安全风险问题。森林管理、水利资源监测等众多行业领域，三维地籍测绘技术为实现精细化管理和长期可持续发展的

远大目标开辟了全新的未来发展方向。

6 挑战与未来发展方向

6.1 目前技术面临的主要挑战

三维地籍测绘技术在自然资源资产核算中优势明显，但当前发展面临诸多困境。数据采集方面，准确性与完整性是难题。地面三维扫描与空中三维成像依赖高精度设备，成本高，且复杂地形下数据覆盖不全、统一性难保障。数据实时更新和处理存在技术瓶颈，庞大的数据量对系统性能要求极高。数据融合时，多源数据的异构性和不一致性影响地籍测绘精度，亟待改进方法。技术标准化缺失也不容忽视。缺乏统一行业标准和技术规范，各地技术方案和操作方法差异大，不利于技术普及与团队协作，降低工作效率。

6.2 技术进步的可能方向

随着科技的不断进步，三维地籍测绘技术可望在多个方面实现突破。改进的数据处理算法可能显著提高地籍测绘的效率与准确性。机器学习和人工智能的引入，助力大规模数据分析和模式识别，提高数据处理的自动化程度。硬件设备的持续升级将推动扫描精度和分辨率的提升，加强自然资源资产的核算能力。新兴的传感器技术和无人机技术的融合，将在空中三维成像领域引入更多创新，从而扩展应用场景的灵活性和多样性。云计算和区块链技术的发展也为地籍数据的存储、安全与共享提供了有力支持，为实现全球化、协同化的资源管理奠定基础。这些技术的进步不仅提升三维地籍测绘的整体水平，也为应对复杂的自然资源管理挑战提供了新的契机和方向^[1]。

7 结语

本文展示了该技术在提升地籍数据精度和可靠性方面的有效性，为自然资源资产的精确核算和综合评估提供了坚实的技术基础。此外，本项技术的应用还能极大地促进城市规划和环境保护工作的进步。然而，该研究也存在一些限制。例如，尽管研发的三维地籍测绘技术能有效提高数据精度，但在不同区域和不同类型的自然资源中应用时，可能会面临地形、地物遮挡等问题。此外，高级的技术设备和复杂的操作要求也可能限制其在资源较为贫乏的地区的普及率。

参考文献

- [1] 柏国磊.地籍测绘中三维激光扫描技术的应用[J].科学与信息化,2022,(04):67-68.
- [2] 虞红兵,孟微波,曲欣.自然资源三维确权登记关键技术研究[J].现代测绘,2023,46(01):7-11.
- [3] 李祥勇.三维激光扫描技术在地籍测绘中的应用[J].智能城市,2020,6(12):76-77.

Application of 3D Laser Scanning Technology in Structure Detection of Hydraulic Engineering

Junming Su

China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611700, China

Abstract

Three-dimensional laser scanning technology, characterized by its high precision, non-contact operation, and operational efficiency, has established a novel technical approach for structural inspection in hydraulic engineering. Drawing from practical engineering applications, this study systematically evaluates the technology's effectiveness in structural morphology acquisition, hazardous area safety assessment, deformation monitoring, and digital data representation. It also conducts an in-depth analysis of key challenges including environmental adaptability, point cloud processing, structural occlusion, and cost considerations. Based on these findings, the paper proposes implementation strategies to enhance detection data quality and engineering applicability, including optimized inspection protocols, standardized workflows, improved point cloud processing capabilities, strengthened multi-technology collaboration, and refined management mechanisms.

Keywords

3D laser scanning technology; Hydraulic engineering; Structural inspection; Applied research

三维激光扫描技术在水利工程结构检测中的应用研究

苏俊铭

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都 611700

摘要

三维激光扫描技术以其高精度、非接触和高效率的技术特征,为水利工程结构检测提供了新的技术路径。结合工程实践,本文系统分析了该技术在水工结构形态获取、危险部位安全检测、结构变形监测及数字化成果表达等方面的应用成效,并对复杂环境适应性、点云数据处理、结构遮挡及技术成本等应用难点进行了深入剖析。在此基础上,提出通过优化检测方案、规范作业流程、提升点云处理能力、加强多技术协同及完善管理机制等实施策略,以提升检测数据质量和工程应用价值。

关键词

三维激光扫描技术; 水利工程; 结构检测; 应用研究

1 引言

随着水利工程规模不断扩大和运行年限持续增长,工程结构安全检测对精度、效率和安全性的要求日益提高^[1]。三维激光扫描技术凭借高精度、非接触和快速成像等优势,在水工结构检测领域展现出良好应用前景。本文结合工程实践,系统阐述三维激光扫描技术在水利工程结构检测中的应用方式、技术流程及实际成效,为相关工程检测提供技术参考。

2 三维激光扫描技术在水利工程结构检测中的应用

2.1 依托高精度三维扫描技术,实现水工结构形态的全面获取

三维激光扫描技术是利用激光脉冲发射及接受原理得到被测对象表面空间坐标,在较短的时间内可采集大量点云数据,真实反映水工建筑物的整体形状。水利工程常用三维激光扫描设备核心参数及适用场景如表1所示:

在水利工程建设结构检查过程中,一般采用上述扫描精度及扫描范围的地面三维激光扫描系统,适应大坝、闸墩、厂房等大型结构物的检测要求。实际操作中,首先依据工程结构尺度及现场条件确定扫描布站方案,在满足结构关键部位全覆盖的基础上设定扫描站点距离;然后,对扫描仪进行标定并设置参数,确定扫描分辨率和范围;最后进行多站点扫描,并获得扫描点云信息。利用公共特征点或者人工布设标靶对点云进行配准,得到完整、连续的三维模型,并为其后分析提供数据基础^[2]。

【作者简介】苏俊铭(1989—),男,中国四川南充人,助理工程师,从事工程管理、工程测量研究。

表 1

设备参数	常规配置范围	适用结构类型	检测精度保障效果
扫描精度	$\pm 2 \sim \pm 5\text{mm}$	大坝、闸墩、厂房	结构尺寸偏差识别 $\leq 3\text{mm}$
扫描范围	$\geq 300\text{m}$	高坝、大型枢纽	远距离全覆盖无盲区
扫描分辨率	$3 \sim 6\text{mm}@10\text{m}$	混凝土结构、金属闸门	表面细节捕捉无遗漏
测站距离	$20 \sim 50\text{m}$	地下洞室、溢洪道	多站配准误差 $\leq 2\text{mm}$

2.2 采用非接触式检测方式，保障复杂及危险部位检测安全

水利工程中存在大量高空、临水、狭窄及运行中的危险部位，如溢洪道边墙、高坝坝面、闸门背水面及地下厂房顶拱等。传统检测方式往往依赖脚手架、吊篮或人工攀爬，存在较大安全隐患。由于三维激光扫描是远程非接触式测量，可以在安全部位进行扫描获取被测结构物信息。现场操作时，技术人员仅需在坝顶、岸坡或厂房的安全平台上开展工作就可实现危险部位的扫描。从以往工作经验看，在相同范围检测情况下，采用三维激光扫描比人工测试节省了60%~70%的时间，减少了工作人员接触风险源的时间，提高了检测试验的安全性。

2.3 结合点云分析手段，强化工程结构变形与位移监测能力

采集到的三维点云信息经过专业软件可进行进一步处理，可用于结构变形、位移及几何偏差分析。常用的分析过程有点云去噪、精度评价、提取断面并对比分析。对于变形监测的应用，可以对不同时间获取到的点云数据进行时序对比，并采用云-云(C2C)或者云-面(C2M)的算法来获得结构表面的位移变化量。如对一混凝土重力坝检测过程中发现，通过比对两期扫描的数据，发现了该坝体局部有最大的坝面外移量约4.2mm，总体变形趋势与以往的常规测缝仪数据吻合良好，证明了三维激光扫描应用于变形监测是可行的^[3]。

3 三维激光扫描技术在水利工程结构检测中的应用难点

3.1 受制复杂施工与运行环境，扫描精度稳定性面临挑战

水利枢纽建筑物检查多在潮湿、大风、粉尘以及不停航作业等恶劣工况下进行，对三维激光雷达测量精度的一致性有较高的要求。实际工作中，由于坝体漏水、地下洞室经常处于85%以上相对湿度环境等问题的存在，易造成激光反射率上升，回波幅度不稳定。经工程实践检验，在相同距离范围内，湿热条件下点云噪声比干态条件高约20%~30%，影响结构面拟合精度；另外，在施工阶段或运行阶段由于设备振动也会影响扫描精度。所以复杂的使用环境是决定三维激光雷达测量准确度的关键因素^[4]。

3.2 点云数据规模庞大，数据处理与分析难度显著增加

全站式三维激光扫描仪在精密测量模式下的采集结果

为密集型点云模型，一次扫描所获得的点数量可达几千万个到几亿个，在大规模水利水电建筑物检测过程中，经过多站点组合拼接后得到的未处理原始点云文件大小一般在几十至一百多GB范围内，给数据计算能力及计算机软硬件配置带来较大压力。实际工程中对点云数据进行去噪、配准、裁剪、建模以及分析等一系列处理过程，工作量大，用时长。在普通的工程设置下，一次完整的点云处理及分析往往需要花费2~3d时间，远大于传统的测量方法。

3.3 结构遮挡与材质反射并存，影响扫描完整性与可靠性

水利工程结构形态复杂，存在大量凹凸结构、附属构件及设备管线，容易形成激光遮挡区。在闸墩、消力池及地下厂房等部位，单一站点扫描往往无法实现结构全覆盖，需要通过增加站点数量进行补扫，但仍可能存在局部数据缺失。

因结构材质的不同，反射效果也有较大差别。比如混凝土面的反射比较稳定，但像金属闸门、不锈钢件、潮湿岩石面等强反射或者微弱反射面易造成回波饱和或者信号丢失。据统计，在工程测量中金属结构区比混凝土结构区点云的有效获取量下降了10%~15%。对于局部结构几何分析完整性及可靠性的存在一定影响。

3.4 技术应用成本较高，与传统检测体系融合存在障碍

三维激光扫描仪及其相关软件、操作维护费用相对昂贵，尤其是能够胜任水利行业检测任务的中高端仪器价格在80万-150万元，并需要购买相应的数据后处理软件以及计算机硬件设施。同时，现有的水利水电工程检测规程标准多是以常规测绘方法制定，对三维激光扫描成果的技术标准、精度评价及成果认定尚缺少相应的规范指导，因此在一些工程中还停留在辅助性检测的方法层面；技术产品与已有检测工序、质量验收程序的融合不畅，在某种程度上影响着三维激光扫描技术的大规模、常态化的应用。

4 三维激光扫描技术在水利工程结构检测中的应用策略

4.1 优化检测方案与作业流程，提高现场扫描数据质量

提高三维激光扫描检测成效的前提，在于科学制定检测方案并优化现场作业流程。在水利工程结构检测实施前，应结合工程结构类型、检测目标和运行状态，开展针对性的