

三维激光扫描技术在水利工程变形监测中的应用

王明

江苏省工程勘测研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i8.5626

[摘要] 本文探讨了三维激光扫描技术在水利工程变形监测中的应用。研究表明,该技术以其高精度、高效率和全面覆盖,显著提升了监测质量。通过时间序列分析和空间分析,能够准确识别和描述变形模式和发展趋势,为工程安全评估提供依据。

[关键词] 三维激光扫描; 水利工程; 变形监测; 时间序列分析; 空间分析

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Deformation Monitoring and Analysis of Hydraulic Engineering with 3D Laser Scanning

Ming Wang

Jiangsu Engineering Survey and Research Institute Co., LTD

[Abstract] This study explores the application of 3D laser scanning technology in the deformation monitoring of hydraulic engineering. Results indicate that this technology significantly improves monitoring quality with its high accuracy, efficiency, and comprehensive coverage. By using time series and spatial analysis, deformation patterns and trends are accurately identified, providing evidence for safety assessments.

[Key word] 3D laser scanning; hydraulic engineering; deformation monitoring; time series analysis; spatial analysis

引言

(1) 研究背景与意义。水利工程如水坝、水闸和渠道等在国民经济中占据重要地位,对农业灌溉、防洪抗旱和水资源管理等方面有着不可替代的作用。然而,这些工程在长期运行过程中会受到自然环境(如地震、洪水、温度变化等)和人为因素(如施工质量、操作失误等)的影响,易出现不同程度的变形。变形监测是保障水利工程安全与稳定的关键手段之一。

传统的变形监测方法主要依赖于人工测量和基于点的监测设备具有以下局限性:①测量效率低:人工测量通常需要较多的时间和人力资源,且因环境、天气等因素的影响较大。②数据覆盖有限:传统方法主要获取少量点的数据,缺乏对整体结构全面、连续的变形信息。③安全性问题:对于危险或不易到达的监测点,传统方法存在较大的操作风险。

三维激光扫描技术作为一种新兴的测量技术,具有高精度、高效率、可获取海量数据等优势,为水利工程的变形监测提供了新的解决方案。通过快速获取高密度、高精度的三维点云数据,能够全面反映工程结构的变形状况,提高监测的覆盖性和精确性,为工程维护和管理提供科学依据。

(2) 研究目标。本研究旨在探索三维激光扫描技术在水利工程变形监测中的应用,主要目标包括:①实现精确监测:利用三维激光扫描技术获取水利工程的高精度三维点云数据,分析其

变形情况。②数据分析与建模:对采集到的点云数据进行处理和分析,识别变形模式,建立变形模型并对结果进行验证。③提出解决方案:根据监测结果,提出工程维护和加固的建议,提升水利工程的安全性和稳定性。

通过实现上述目标,期望能够拓展三维激光扫描技术在工程监测中的应用范围,提升水利工程变形监测的智能化和精细化水平。

1 三维激光扫描技术概述

1.1 基本原理

1.1.1 激光扫描基础知识

三维激光扫描技术是一种以激光束为测量手段,通过测量从目标物体表面反射回来的激光的时间和角度,获取物体外形的技术。这种技术依赖于激光测距和平面成像技术,能够快速、精确地获得物体表面的点云数据,进而重构三维模型。点云数据是一组三维坐标点的集合,代表被扫描物体的表面结构。

1.1.2 扫描仪的工作原理

三维激光扫描仪主要由激光发射器、接收器和精密的旋转装置组成。工作时,激光发射器发射一束激光,当激光遇到物体表面时会反射回来,接收器接收到反射激光后,通过计算激光发射和接收的时间差,确定目标点与扫描仪之间的距离。同时,通过旋转装置调整激光发射方向,可以覆盖整个被测物体的表面,

从而生成完整的点云数据。

这种技术常用的扫描模式有两种:时差法(Time-of-Flight)和相位测距法(Phase-Shift)。时差法通过测量激光的飞行时间来计算距离;相位测距法则通过测量连续波激光的相位变化来计算距离。每种方法都有其优缺点和适用场景。

1.2 技术特点

三维激光扫描技术以其高精度、高效率和非接触式的特点,广泛应用于各个领域。高精度是指扫描仪能够捕捉到物体表面非常细微的细节,通常能达到毫米级甚至更高的精度。高效率则表现在其能够在短时间内对大面积或复杂结构进行全面扫描。非接触式测量则避免了对被测物体的损伤或破坏,非常适合对于脆弱或珍贵物品的测量。

三维激光扫描技术生成的点云数据具有高分辨率和全覆盖性的特点。通过密集采样,扫描仪能够捕捉物体表面详细的几何信息,形成高分辨率的三维数据。而且,扫描过程可以全方位覆盖物体表面,从不同角度获取数据,确保没有盲区。最终形成的三维模型完整且细致,对于精确测量和分析有着重要意义。

1.3 应用领域

在水利工程中,三维激光扫描技术主要用于水坝、河道和水库等基础设施的监测和维护。通过定期扫描这些结构,可以及时发现变形或隐患,从而进行维护和修复,确保工程的安全与稳定。

在建筑工程领域,三维激光扫描广泛应用于建筑物的测绘、设计和施工监控。它不仅可以快速获取建筑物的现状数据,还能辅助绘制精准的建筑模型。

地质勘探中,三维激光扫描技术主要用于矿区的规划和岩石结构的研究。此外,它还可以应用于滑坡监测和灾害评估,提供科学依据,减少灾害风险。

2 水利工程变形监测需求分析

水利工程的关键目标之一是保障其长期安全与稳定,因此对其变形的监测极为重要。以下将结合实际需求,详细分析水利工程变形监测的具体要求。

2.1 变形类型及监测内容

在水利工程中,常见的变形及其监测内容包括:沉降:大坝和渠道基础的沉降变形监测,重点是测量局部和整体的沉降量;倾斜:结构的倾斜变形,旨在监测主体工程的整体倾斜程度和方向;裂缝:坝体及渠道等结构上的裂缝检测和监测,包括裂缝宽度、长度以及随时间的变化;位移:整体结构或其组成部分的水平或垂直方向的位移,需精确测量其幅度和变化趋势。

2.2 变形监测的技术要求

为了确保监测数据的准确性和可靠性,变形监测必须符合以下技术要求:精度要求:三维激光扫描技术用于水利工程变形监测时,需要达到毫米级甚至更高的精度,以便准确捕捉微小变形;数据采集频率:根据实际需求,数据采集的频率可能从日常监测到紧急情况下的实时监测。数据采集频率必须能够及时反映变形动态,以便采取应对措施;环境适应性:水利工程常处

于复杂的自然环境中,监测设备必须具备良好的环境适应性,能够在高湿度、高温以及其他恶劣条件下稳定运行。

3 三维激光扫描监测过程

3.1 准备工作

三维激光扫描的监测过程首先需要充分的准备工作,这对整个项目的准确性和效率起着关键作用。在准备阶段,首要任务是选择合适的设备,并对其进行校准。设备的选择应基于被监测对象的特点和所需的精度。同时,校准过程中的期望是确保设备在扫描前后保持高精度,以保证采集数据的一致性。

接下来是布置和规划监测点。监测点的布局必须考虑到结构物的特点、变形的可能性以及周围环境的影响,通过严格而合理的规划来覆盖被测区域。

3.2 数据采集

在数据采集环节,详细配置扫描参数是确保数据质量的必要前提。扫描参数通常包括扫描分辨率、扫描距离、扫描角度及激光强度等,这些参数将直接影响采集到的点云数据的精度和细致程度。在实际操作中,根据现场情况和监测需求,进行多角度、多距离的综合扫描以确保数据的全面性和准确性。

实时监测环境,并适时调整扫描策略,是保证数据质量的关键。在此过程中,遵循一定的操作规范和方法,如逐段扫描、重复扫描等,以完善数据的完整性和可靠性。

3.3 数据处理

数据采集完成后,下一步是对点云数据进行预处理和过滤。在实际扫描中,噪声数据不可避免,因此需要采用技术手段对原始点云数据中的噪声及无关信息进行去除。数据配准与拼接是将多次扫描的点云数据整合并构建全局模型的重要步骤。通过特征匹配和变换矩阵计算,将不同扫描视角的点云数据准确对齐,形成连续且完整的点云模型,这是后续分析精度的重要保障。

最后,进行3D模型的重建。利用经过处理后的点云数据,进行网格化操作及表面重建,从而得到直观、立体的3D模型。通过3D模型,能够更清晰地进行结构物的形变监测和分析,生成的模型可以用于进一步的变形分析、应力分析及决策支持。

4 变形监测数据分析

4.1 数据分析方法

时间序列分析:时间序列分析是一种通过对变形数据进行时域分析来识别趋势和模式的方法。对于水利工程而言,可能涉及到季节性变化或者突发性事件引起的结构变形,通过时间序列分析可以直观地展示变形随时间的变化情况。

空间数据分析:空间数据分析侧重于分析变形在空间上的分布情况。通过该分析,可以识别出结构的整体变形行为,确定变形的集中区域和变形量的空间分布,为进一步的工程决策提供依据。

变形模式识别:变形模式识别是指从数据中识别出主要的变形形式,如沉降、倾斜、裂缝、位移等。识别变形模式有助于确定结构受力情况和潜在的危險区域。

统计分析和模型拟合：统计分析通过对数据进行描述性统计、回归分析等方法，量化变形特征。同时，模型拟合则是基于统计分析结果，选取合适的数学模型对变形进行拟合，从而更准确地描述变形规律和预测未来变形趋势。

4.2 典型案例分析

项目背景：某大型水库大坝的变形监测项目，因其地质条件复杂，长期运行过程中存在变形的风险。

监测方案实施：使用三维激光扫描技术对大坝进行定期扫描监测，收集全面的变形数据，包括表面的位移和裂缝情况。

数据分析和结果：通过时间序列分析识别出大坝在汛期的逐渐沉降趋势，同时空间数据分析表明大坝中部区域变形最为明显，变形模式识别结果显示主要为沉降和微倾斜。

工程重要性与影响：该监测结果为大坝管理和维护提供了重要依据，通过提前识别变形趋势，可以采取适时的加固措施，确保大坝的安全运行。

5 应用实例

项目背景介绍：某大型水坝长期运行中存在变形风险，需要采用三维激光扫描技术进行监测。水坝的稳定性关系到下游居民区的安全，因此实时掌握水坝的变形状况至关重要。

监测方案实施：制定详细的监测计划，包括扫描点位布置、扫描频率及参数设置等。选择多个关键点进行三维扫描，定期完成数据采集。具体步骤包括扫描设备的校准、扫描范围的确定及周边环境的测量等。

数据分析与结果：对采集的点云数据进行时间序列分析和空间分析，利用软件分析工具监测水坝的变形情况。结果显示，水坝中部区域存在明显的沉降和倾斜变形，通过对不同时间点的数据对比，发现变形具有一定的趋势性。

工程意义与效果：通过监测结果，可以及时发现水坝的变形趋势，为决策者提供科学依据。采取加固和修缮措施后，水坝的稳定性得到了显著提升，确保了水坝的长期稳定运行，提高了下游居民区的安全防护水平。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本研究通过对三维激光扫描技术在水利工程变形监测中的应用进行详细分析，取得了以下结论：首先，三维激光扫描技术以其高精度、高效率 and 全面覆盖的特点，显著提升了变形监测的质量。与传统监测方法相比，三维激光扫描技术可以提供更加精细和全面的监测数据，弥补了现有方法在时空分辨率和数据密

度上的不足。

其次，应用时间序列分析和空间分析等数据处理方法，可以准确识别和描述水利工程的变形模式和发展趋势。通过长期监测数据的积累和分析，为水利工程的安全评估提供了科学、可靠的依据，有助于早期发现潜在风险，及时采取相应的预防和修复措施。

6.2 研究展望

首先，在技术改进方面，未来可以通过提高扫描仪器的环境适应性来增强其在复杂监测环境中的应用能力。例如，针对不同天气条件和地形地貌的适应性改进；此外，提升数据处理算法的智能化水平也是一个重要方向，从而实现更加快速和精准的数据分析与问题诊断。

其次，未来研究也应关注三维激光扫描技术在其他工程领域的应用。特别是在地质灾害监测、隧道施工监控等领域，三维激光扫描技术的优势依然明显，具有极大的应用潜力。这些领域的成功实践将进一步验证该技术的通用性和可靠性。

最后，随着三维激光扫描技术的不断成熟和设备成本的逐步降低，其在水利工程及其它相关领域的推广应用前景广阔。我们可以预见，三维激光扫描技术将在提升工程建设和管理的智能化水平方面发挥越来越重要的作用，为实现更加高效、安全和科学的工程监测管理提供强有力的技术支持。

[参考文献]

- [1] 鲍艳, KIM IL BOM, 张东亮, 等. 基于三维激光扫描技术的竣工盾构隧道渗漏水检测[J]. 测绘通报, 2024, (04): 101-106.
- [2] 胡洋, 韩扬, 梁文鹏. 三维激光扫描技术在桥梁变形监测中的应用[J]. 测绘通报, 2024, (03): 179-182.
- [3] 阮国杰, 陈代鑫. GPS在大坝变形监测中的可行性研究[J]. 水上安全, 2024, (08): 1-3.
- [4] 谭尧升, 杨帅, 郑晓峰, 等. 基于三维激光扫描的高拱坝仓面钢筋网智能识别方法[J]. 水力发电, 2023, 49(11): 88-93.
- [5] 袁媛. 玉龙喀什水利枢纽混凝土面板堆石坝变形监测探讨[J]. 水利技术监督, 2022, (05): 12-16.
- [6] 邹俊威. 三维激光扫描与BIM技术在泵闸流道变截面偏差检测中的应用[J]. 水利信息化, 2024, (03): 51-54+96.

作者简介:

王明(1975-), 男, 汉族, 江苏省扬州市人, 本科, 助理工程师, 单位: 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 研究方向: 水利规划设计测量。