

Comparison between InSAR Radar Technology and Traditional Monitoring Technology

Jun Deng

Testing and Testing Research Institute of Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611730, China

Abstract

The stability of engineering slope is directly related to people's life and property and the safety of nearby buildings. Slope deformation is caused by natural factors such as rainfall, earthquakes, natural settlement, as well as human factors such as excavation and building loads. It is particularly important to effectively monitor slope safety, monitor and evaluate its stability, and remind people to take measures before hazards occur. With the development of modern InSAR safety monitoring technology, slope deformation monitoring has become a highly technical field, involving geology, civil engineering, remote sensing technology and computer science. This paper analyzes and compares three main monitoring techniques widely used at present, aiming at providing a scientific and efficient monitoring scheme for slope deformation for engineering projects.

Keywords

engineering slope; slope deformation; remote sensing technology; monitoring technology analysis; monitoring program

InSAR 雷达技术与传统监测技术的比较

邓军

中国水利水电第七工程局有限公司试验检测研究院, 中国·四川成都 611730

摘要

工程边坡的稳定性直接关系到人民生命财产及附近建筑物安全。边坡变形是由自然因素,如降雨、地震、自然沉降等,以及人为因素,如挖掘、建筑负荷等多种因素引起的。如何有效对边坡安全监测,对其稳定性监控和评估,提醒人们在危害发生前进行处理尤为重要。随着现代InSAR安全监测技术的发展,边坡变形监测已经成为一个高度技术化的领域,涉及地质学、土木工程、遥感技术和计算机科学等多个学科。论文对目前广泛应用的三种主要监测技术进行详细的分析和比较,旨在为工程项目提供一个科学、高效的边坡变形监测方案。

关键词

工程边坡; 边坡变形; 遥感技术; 监测技术分析; 比较监测方案

1 工程边坡变形监测技术概述

随着社会现代化的不断发展、进步,各种大型水利工程建设不断增加,水利水电工程在我们日常生活中起到的作用越来越突出。但由于工程施工、地质、气候等多种因素导致边坡荷载负重增加,致使边坡地质结构发生形变,给施工人员、施工设备和长期运营带来严重的安全隐患。边坡滑坡灾害是典型的地质灾害,中国地形地貌条件复杂,极端气象事件频发,强震活动频繁以及各种工程对地质环境的破坏等因素加剧了边坡滑坡灾害的发生。边坡滑坡灾害一直是世界各国长期以来着力研究的重要工程地质难题之一。中国70%的地区都有滑坡分布,其中有20%~25%的地区直接受到滑坡威胁。另据不完全统计,中国目前已建成各类水库9.8

万多座,总库容8983亿立方米,修建了各类河流堤防43万公里,开辟了98处国家蓄滞洪区,占容积达到1067亿立方米。一旦发生滑坡或溃坝将带来巨大的生命财产损失。边坡滑坡灾害产生原因、诱发因素与发展机理复杂多变,以及边坡滑坡演化过程的极其不稳定等原因使得边坡滑坡灾害往往难以及时、准确地监测和预报,加之治理成本高。因此,对于边坡工程特别是大型复杂边坡,除了进行常规的工程地质调查、测绘、勘探、试验和稳定性评价外,应及时有效地开展边坡工程的动态监测,预测边坡失稳的可能性和滑坡的危险性,并提出相应的防灾减灾措施,对于确保国民经济发展与保障人民群众生命财产安全具有重大意义。鉴于水电站边坡滑坡灾害的严峻形势及其带来的巨大损失,如何实现边坡变形的智能实时监测、边坡形变分析与风险评价、滑坡体信息的准确提取、滑坡灾害的预测与评估等是水利水电工程安全管理的核心内容,也是目前国内外工程地质领域中的一个热点研究问题。

【作者简介】邓军(1988-),男,中国四川成都人,本科,工程师,从事水利水电工程安全监测与管理研究。

边坡变形监测技术^[1]的发展经历了从简单的人工测量到复杂的自动化和遥感技术^[2]的演变。全站仪自动化监测系统^[3]是早期应用较广的一种技术,通过在边坡上设置反射镜或者监测点,全站仪定期测量这些点的三维坐标,以此来监测边坡的位移变化。三维激光扫描仪(也称为激光雷达)是近年来发展起来的一种新技术,它通过发射激光束并测量反射回来的激光束的时间,快速精确地获取边坡表面的三维模型。InSAR^[4](合成孔径雷达干涉测量技术)是一种利用雷达波的相位差异来监测地表微小变形的遥感技术,它能够覆盖更广阔的地区,特别适合于大范围的地表变形监测。

2 全站仪、三维激光扫描、InSAR 三种监测技术介绍

2.1 全站仪自动化监测系统

全站仪自动化监测系统通过高精度的角度和距离测量,提供了一种有效的边坡变形监测手段。这种系统的核心优势在于其高精度和实时监测能力,能够连续不断地跟踪监测点的位置变化,从而及时发现边坡的任何微小变形。此外,通过长期的数据收集和分析,可以有效地预测边坡的变形趋势,为边坡稳定性评估和灾害预警提供科学依据。然而,全站仪监测系统的部署和运行成本较高,特别是在较大或较复杂的边坡上。此外,监测精度受到天气条件、视线阻挡以及人员技术素质的影响,往往同一边坡在同一时段不同人员观测得到的监测数据质量良莠不齐;随着技术的发展,自动监测机器人的出现,使全站仪监测由过去的设站、定向、观测、数据后处理模式向全自动化发展,提高了观测的效率和减少人为误差,但在雨雾天气及长距离观测时表现出观测质量较差,难以满足全天候全时段观测需要,这在一定程度上限制了其应用范围。尽管如此,对于关键基础设施周围的小到中等规模的边坡,全站仪监测系统仍然是一种非常可靠的监测手段。全站仪监测工作图见图1。

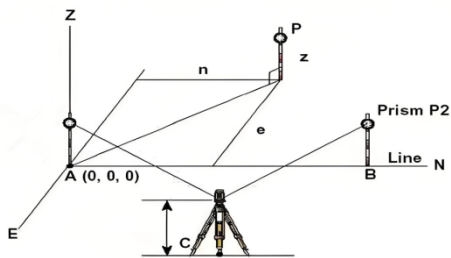


图1 全站仪监测工作图

2.2 三维激光扫描仪

三维激光扫描仪技术^[5],通过高频率的激光扫描,能够在短时间内覆盖并精确测量边坡表面的大范围区域。与传统的测量技术相比,激光扫描仪的一个显著优势是它能够生成高密度的点云数据,这些数据可以被用来构建边坡的详细三维模型。这不仅有助于识别当前的边坡状态,还能够用于模拟边坡在未来不同情况下的行为。尽管三维激光扫描仪在

数据采集速度和精度上具有明显优势,但其高昂的设备成本和数据处理的复杂性限制了其广泛应用。此外,像全站仪一样,激光扫描仪的效果也会受到恶劣天气条件的影响。因此,在选择监测方案时,需要权衡成本、精度和实际应用需求。图2为三维激光扫描技术工作图。

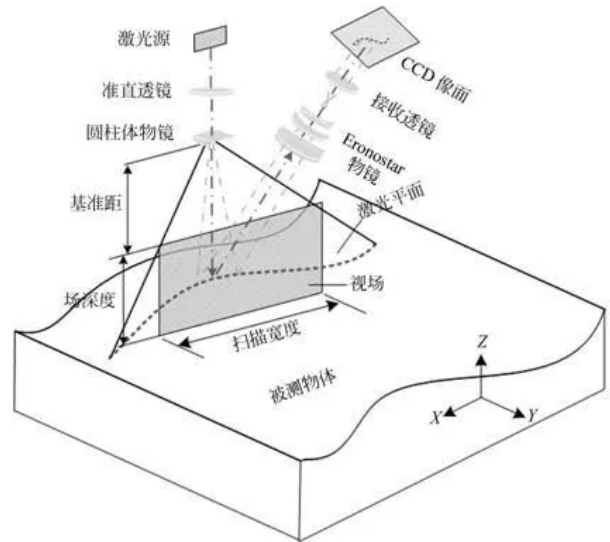


图2 三维激光扫描技术工作图

2.3 InSAR 雷达技术

InSAR 技术通过分析从不同时间获取的雷达图像之间的相位差异,能够检测地表的微小变形。这种技术的最大优势是其能够覆盖广阔的地区,并且不受天气和光照条件的影响。InSAR 技术特别适合于监测大范围的边坡变形和地表沉降^[6],如矿区、山体滑坡区等。然而,InSAR 技术的空间分辨率相对较低,这意味着它可能无法捕捉到小范围内的细微变形。此外,对于非均匀变形的监测,InSAR 技术的效果也会受到限制^[7]。尽管如此,由于其低成本和大范围覆盖的能力,InSAR 技术在预算有限的大规模监测项目中仍然具有很大的应用潜力;近年来 InSAR 技术的发展得到了较大的提高,随着图像识别、检测技术的发展,传统的单幅 SAR 图像表现形式逐步向多时相 SAR 图像发展,相比单幅 SAR 图像数据,多时相 SAR 图像数据包含地表更为丰富的信息,而如何充分利用这些信息逐渐成为 SAR 图像处理领域的研究热点,其中被广泛研究的就是变化检测技术。所谓多时相 SAR 图像变化检测是指通过对同一区域、不同时期获取的两幅或多幅 SAR 图像进行比较分析,根据图像之间差异来获取所感兴趣地物、场景或目标的变化信息,已成为遥感科学、地球系统科学、统计学和计算机技术等学科交叉后的新方向。SAR 图像变化检测已成功应用于土地覆盖与土地利用动态监测、城市规划及布局和湿地变化监测管理等对地观测的实际问题中,尤其在自然灾害灾情监测与评估的应用方面。这些都对进一步深入开展 SAR 图像变化检测技术研究提出了更新、更迫切的需求。InSAR 监测工作图见图3,三

种变形监测技术优缺点见表1。

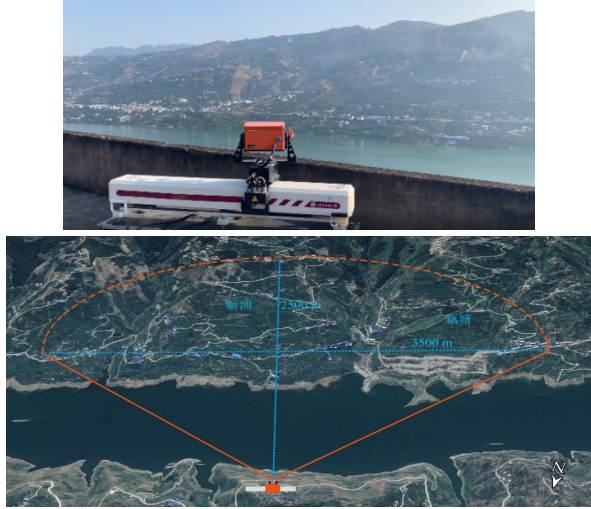


图3 InSAR 监测工作图

表1 三种变形监测技术优缺点

监测技术	优点	缺点	费用	时间分辨率	适用场景
全站仪	使用广泛,可靠性较高	受通视条件、大气条件和植被影响较大	较高	分钟/小时/周	大坝、边坡
三维激光扫描	数据采集速度快、精度高	设备昂贵,数据处理复杂	高	实时	大范围监测
InSAR	不受大气条件影响,监测面广,数据采集速度快,精度较高	空间分辨率较低	一般	实时	矿山、边坡

3 监测设计方案的比较与最优化

对比全站仪自动化监测系统、三维激光扫描仪和InSAR 雷达技术的优缺点,明显可以看出,每种技术都有其适用场景。全站仪和三维激光扫描仪在小到中等规模的项目

中,特别是需要高精度测量的情况下,能快速识别出变形的速率,反馈观测数据,表现出色,但在特殊环境下表现则较为一般。而InSAR 技术在大范围、低成本、全天候监测方面展现了其独特的优势。因此,最优的监测方案应当是一种综合利用各种技术的混合方案,以实现成本效益最大化。

4 最优监测设计方案提议

基于上述分析,建议采用一种分层次的监测策略。首先,利用InSAR 技术进行初步的大范围监测,快速识别出潜在的高风险区域。然后,在这些关键区域内部署全站仪和三维激光扫描仪进行更为详细和精确的监测。这种策略不仅能够确保关键区域的监测精度,还能够在整体上控制监测项目的成本。

5 结语

综上所述,工程边坡变形监测是一项复杂但至关重要的任务。通过综合应用全站仪自动化监测系统、三维激光扫描仪和InSAR 雷达技术,可以构建出一套既经济又高效的监测方案。随着技术的不断进步和实践经验的积累,未来的监测方案将更加多样化和精准化,为保障人类生命财产安全提供坚实的技术支持。

参考文献

- [1] 王念秦,申辉辉,鲁兴生.边坡变形监测技术发展现状及问题对策[J].科学技术与工程,2021,21(19):11.
- [2] 李子阳,戴济群,黄对,等.水利工程卫星遥感监测技术应用与展望[J].水科学进展,2023,34(5):798-811.
- [3] 陈子江,姜亚飞.测量机器人自动监测系统在边坡远程监测中的应用研究[J].工程技术研究,2021,6(17):50-51.
- [4] 段斌,何加平,覃事河,等.基于GB-InSAR技术的水电工程高边坡变形监测[J].中国安全科学学报,2022,32(S2):64-69.
- [5] 何林,周彬.三维激光扫描技术在滑坡变形监测中的应用研究[J].现代盐化工,2023,50(3):84-87.
- [6] 陈冉冉,王红军,刁鑫鹏,等.InSAR形变监测在开采沉陷损害鉴定及稳定性评价中的应用[J].测绘通报,2023(12):106-111.
- [7] 欧阳梓铭,左小清,李勇发,等.基于SBAS-InSAR技术的阿海电站滑坡形变监测可靠性分析[J].大地测量与地球动力学,2023,43(11):1117-1122.