

# 智能化监测系统在大坝变形监测中的效能提升与实践探索

吴雪龙

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2060

**[摘要]** 本文探讨智能化监测系统在大坝变形监测领域的应用,详细剖析传统监测手段存在的局限,全面阐述智能化监测系统的关键技术、工作原理以及独特优势。结合实际工程案例,有力论证智能化监测系统在提升监测精度、实时性以及数据分析处理能力等方面的卓越效能,为大坝安全监测提供科学、高效的技术支撑与实践参考,助力水利水电工程安全稳定运行。

**[关键词]** 智能化监测系统; 大坝变形监测; 效能提升; 实践探索

中图分类号: TV42+1.1 文献标识码: A

## Efficiency improvement and practical exploration of intelligent monitoring system in dam deformation monitoring

Xuelong Wu

The establishment is now: Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research institute co., LTD.

**[Abstract]** This paper discusses the application of intelligent monitoring system in the field of dam deformation monitoring, analyzes the limitations of traditional monitoring means in detail, and comprehensively describes the key technologies, working principles and unique advantages of intelligent monitoring system. Combined with actual engineering cases, the excellent efficiency of intelligent monitoring system in improving monitoring accuracy, real-time performance and data analysis and processing ability is effectively demonstrated, which provides scientific and efficient technical support and practical reference for dam safety monitoring, and helps the safe and stable operation of water conservancy and hydropower projects.

**[Key words]** intelligent monitoring system; Dam deformation monitoring; Efficiency improvement; Practical exploration

### 引言

大坝作为水利水电工程的核心枢纽,承担着防洪、灌溉、发电、供水等多项重要功能,对社会经济发展起着关键作用。一旦大坝出现安全问题,引发洪水泛滥、下游地区被淹等严重后果,对生态环境造成不可逆的破坏,更会威胁人民生命财产安全。大坝在长期运行过程中,受到水压力、温度变化、地基沉降等多种因素影响,会不可避免地产生变形。大坝变形监测作为保障大坝安全运行的重要手段,实时获取大坝的变形数据,及时发现变形异常情况。对这些数据的分析,可提前预测大坝可能出现的安全隐患,为采取有效的维护和加固措施提供依据,从而有效预防大坝事故的发生,确保大坝的安全稳定运行。

随着水利工程发展,大坝安全愈发重要,变形监测作为关键环节备受关注。传统监测方法如几何水准测量、全站仪测量虽应用广泛,但存在效率低、受环境制约大等局限。近年来,智能化监测系统凭借先进传感器、物联网、大数据和人工智能技术,在大坝变形监测领域崭露头角。众多学者研究表明,智能监测系

统能实现实时、连续监测,突破传统方法时空限制,高效采集海量数据。例如,基于全球导航卫星系统(GNSS)的智能监测设备,可快速获取高精度位移信息,极大提升监测时效性。在数据处理与分析方面,智能化监测系统利用机器学习算法,能精准识别变形趋势、预测潜在风险,比传统人工分析更具科学性与准确性。不过,当前智能监测系统也面临数据安全、设备稳定性及与现有系统融合等挑战,后续研究需进一步攻克这些难题,推动其在大坝变形监测中的广泛应用与技术升级。

### 1 传统大坝变形监测方法概述

传统大坝变形监测方法主要包括几何水准测量、全站仪测量和垂线法等。几何水准测量通过水准仪建立水平视线测定两点高差,从而得到高程变化,精度较高但效率低、受环境影响大。全站仪测量可获取三维坐标,能监测多个点位,但对通视条件要求高。垂线法分为正垂线和倒垂线,用于监测大坝的垂直位移和倾斜,精度高但安装维护复杂,监测范围有限。这些方法在一定程度上保障了大坝安全,但随着技术发展,逐渐显现出一些局限性。

## 2 传统大坝变形监测方法的局限

### 2.1 监测精度与时效性不足

人工测量频率较低,通常只能定期进行,无法实时反映大坝的变形情况。在大坝出现突发变形时,难以及时发现并采取应对措施,难以满足大坝实时安全监测的需求。同时,传统自动化监测系统虽然在一定程度上提高了监测效率,但在数据采集、传输和处理速度上仍存在局限。早期的自动化监测系统多采用有线传输方式,布线复杂,维护成本高,且容易受到线路故障影响。在数据处理方面,处理速度较慢,无法及时对大量监测数据进行分析,导致无法及时捕捉大坝变形的细微变化,对于一些早期的安全隐患难以做到及时预警<sup>[1]</sup>。

### 2.2 数据处理与分析能力薄弱

人工处理这些数据效率低下,需要耗费大量的时间和人力。而且在数据处理过程中,容易出现人为错误,导致数据准确性受到影响,难以快速准确地从海量数据中提取出有价值的信息。同时,传统方法在数据分析方面多局限于简单统计和直观判断,如计算平均值、最大值、最小值等,无法深入挖掘数据背后的潜在信息<sup>[2]</sup>。对于大坝变形与多种影响因素之间的复杂关系,难以进行全面、深入的分析。无法准确分析温度变化、水位涨落等因素对大坝变形的综合影响,无法建立精确的变形预测模型,不利于对大坝安全状态进行全面评估和预测。

### 2.3 监测系统的可靠性与稳定性欠佳

在一些山区大坝,由于地形复杂,电磁环境恶劣,传统监测设备的传感器容易出现故障,导致数据丢失或错误,给大坝安全监测带来很大困难。此外,传统监测系统的维护难度大,需要专业技术人员定期进行设备巡检、校准和维修。而且由于系统的复杂性,维护成本较高,需要投入大量的人力和物力。对于一些小型水利工程,高昂的维护成本可能成为难以承受的负担,导致监测系统无法正常运行,影响大坝的安全监测工作<sup>[3]</sup>。

## 3 智能化监测系统的技术框架

### 3.1 传感器技术

光纤传感器基于光的传输和调制原理,具有高精度、抗电磁干扰、耐腐蚀等优点。光纤布拉格光栅传感器能够通过测量光栅反射光波长的变化,精确感知外界物理量的变化,可用于测量大坝的应变、温度、位移等参数,测量精度可达微米级;全球导航卫星系统(GNSS)传感器利用卫星信号进行定位,实时获取大坝监测点的三维坐标。其具有全天候、高精度、实时性强等特点,可实现对大坝整体变形的监测。利用差分定位技术,定位精度可达到毫米级,为大坝变形监测提供可靠的数据支持;此外,根据大坝的结构特点和变形规律,合理优化传感器布局至关重要。在大坝的坝顶、坝肩、坝基等关键部位以及可能出现变形较大的区域,加密布置传感器,以提高监测的精度和全面性。

### 3.2 数据传输

智能化监测系统实现自动化数据采集,可按设定的频率实时获取大坝变形数据。与高精度传感器的集成,能快速、准确采集各类监测数据,避免人工测量的误差和时间延迟。例如,系统

可以每隔几分钟甚至几秒钟采集一次数据,确保及时捕捉到大坝的微小变形,为大坝安全监测提供实时、连续的数据支持。同时,无线传输技术在智能化监测系统中得到广泛应用,如4G、5G、LoRa等。这些技术具有传输速度快、覆盖范围广、安装便捷等优点,确保监测数据快速、稳定地传输到监控中心。

### 3.3 数据分析

在数据预处理方面,对采集到的数据进行去噪、滤波、异常值剔除等预处理操作,是提高数据质量的关键步骤。采用数字滤波算法、小波变换等技术,去除数据中的噪声和干扰信号,提高数据的准确性和可靠性。利用中值滤波算法可以有效去除监测数据中的突发异常值,保证数据的连续性和稳定性,为后续的数据分析提供可靠的数据基础;在数据分析方面,采用机器学习、深度学习算法,如神经网络、支持向量机等,对变形数据进行分析 and 预测。这些算法能够自动学习数据中的特征和规律,建立高精度的变形预测模型。建立神经网络模型,将大坝的水位、温度、时间等因素作为输入,大坝变形量作为输出,经过大量数据的训练,模型能够准确预测大坝在不同工况下的变形趋势,为大坝安全评估提供科学依据;在变形趋势预测方面,建立数学模型,对大坝变形趋势进行预测,提前发现潜在安全隐患。

### 3.4 系统的可靠性与稳定性设计

在硬件和软件方面采用冗余设计,提高系统的容错能力和可靠性。在硬件设备上,采用双电源、双服务器、多传感器备份等方式,当某一设备出现故障时,备用设备能够自动切换,保证系统的正常运行。当传感器出现故障时,系统可以自动切换到备用传感器,并对故障传感器进行报警提示,通知维护人员进行维修,确保监测工作的连续性;此外,对监测数据进行定期备份,将数据存储在多个不同的存储介质中,确保数据安全。在系统故障时,快速恢复数据,保证监测工作的正常进行。例如,采用异地备份和云存储技术,将重要的监测数据备份到远程服务器或云端,防止因本地存储设备损坏导致数据丢失。

## 4 智能化监测系统的实践探索

### 4.1 工程背景

某大坝是集防洪、灌溉、发电等多元效益于一体的大型水利枢纽工程。大坝为混凝土重力坝,坝高120米,坝顶长度500米。其地质条件复杂,坝基主要由花岗岩和砂岩构成,节理裂隙发育程度较高。该大坝自1985年建成投入运行以来,历经38年的高水位运行以及强降雨等自然因素考验,对其安全性监测的要求愈发严苛。在过往运行中,曾因暴雨导致坝体出现过2厘米的局部位移,虽经紧急处理未造成重大事故,但敲响了安全监测的警钟。

### 4.2 智能化监测系统技术参数

#### 4.2.1 传感器采样频率

采用高精度的位移传感器和应变传感器,位移传感器采样频率可达10Hz,能够实时捕捉大坝的微小变形,每小时可采集36000个数据点;应变传感器采样频率为5Hz,每小时能采集18000个数据,可精确监测大坝内部应力变化。高采样频率确保

了数据的完整性和及时性,为准确分析大坝的运行状态提供了充足的数据支持。

#### 4.2.2 数据传输延迟时间

通过无线传输技术和高效的数据处理平台,数据传输延迟时间控制在0.5秒以内。这使得监测数据能够快速反馈到监控中心,便于及时发现异常情况并采取相应措施。在实际运行中,从传感器采集数据到监控中心接收并展示,平均延迟时间仅为0.3秒。

#### 4.3 传统监测方法与智能化监测系统对比

##### 4.3.1 监测精度

传统的水准测量和全站仪测量受观测环境、仪器精度以及人为因素影响较大,难以精确捕捉大坝的微小变形。而智能化监测系统的传感器具有更高的精度,能够更准确地反映大坝的实际变形情况。在一次模拟实验中,对大坝5毫米的标准位移变化,传统水准测量平均误差为0.8毫米,全站仪测量误差为1.2毫米,智能化监测系统位移传感器误差仅0.08毫米。

##### 4.3.2 响应时间

传统人工测量周期长,即使采用自动化全站仪测量,也存在一定的时间延迟。智能化监测系统实现了数据的实时采集和传输,能够在第一时间发现大坝的异常变化,为及时处理险情争取宝贵时间。在一次实际的水位快速上涨事件中,传统自动化全站仪从监测到数据变化到发出初步警报耗时12分钟,智能化监测系统则在1秒内就发出了预警。

##### 4.3.3 预警准确率

传统监测方法主要依靠人工经验判断,容易出现误判和漏判。智能化监测系统通过建立数据分析模型和运用智能算法,对监测数据进行深度挖掘和分析,大大提高了预警的准确率。在过去一年的监测中,传统方法预警10次,准确预警6次;智能化系统预警20次,准确预警19次。

##### 4.3.4 年度维护成本

传统监测方法因涉及大量人工操作与仪器频繁校准,年度维护成本达80万元。智能化监测系统主要为设备维护与软件更新,年度维护成本仅50万元,有效降低了运营成本。

##### 4.3.5 数据存储容量

传统监测方式以人工记录与少量电子数据存储为主,一年数据存储量约0.5TB。智能化监测系统由于实时采集海量数据,一年数据存储量可达5TB,为后续数据分析与趋势预测提供了丰

富的数据资源。

#### 4.4 智能化监测系统实践应用

在大坝运行过程中,智能化监测系统发挥重要作用。2022年的一次强降雨期间,监测系统实时监测到坝体位移出现异常变化,位移传感器数据显示在短时间内坝体水平位移增加了5mm,超过了预设的警戒值。系统立即发出预警信号,相关部门迅速启动应急预案。通过对监测数据的进一步分析,确定了异常变形的位置和原因,及时采取了加固措施,避免了潜在的安全事故。据估算,若此次事故未及时发现处理,可能造成直接经济损失达5000万元。此外,智能化监测系统还为大坝的日常维护和管理提供了有力支持。通过对长期监测数据的分析,掌握了大坝的变形规律和运行趋势,为科学制定维护计划提供了依据。同时,基于监测数据的分析结果,对大坝的运行调度方案进行了优化,提高了大坝的运行效率和安全性。在优化调度后,大坝发电效率提升了8%,年发电量增加了1000万千瓦时。

## 5 结论

智能化监测系统在提升大坝变形监测精度、实时性、数据分析处理能力和系统可靠性等方面具有显著优势。应用高精度传感器技术、实时数据采集与传输技术、智能化数据分析与处理技术以及系统可靠性保障技术,实现对大坝全方位、实时、高精度的监测,能够及时发现变形异常情况,提前预警潜在安全隐患,为大坝安全管理提供科学、高效的技术支持。未来,需进一步加强技术研发和创新,完善系统功能,提高系统的可靠性和适应性。同时,加强与其他相关技术的融合,如人工智能、大数据分析等,为大坝变形监测提供更加全面、精准的技术支持,推动水利工程安全监测技术的不断发展。

### [参考文献]

- [1]冯学敏,龙静,吴林黛,等.基于北斗智能化变形监测方法[J].四川水利,2024,45(6):155-159.
- [2]李仲雄.大坝安全监测自动化系统应用现状分析及发展趋势研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(1):153-155.
- [3]张斌,史波,陈浩园,等.大坝安全监测自动化系统应用现状及发展趋势[J].水利水电快报,2022,43(2):68-73.

### 作者简介:

吴雪龙(1990--),男,汉族,新疆昌吉人,本科,工程师,研究方向:测绘工作。