

大坝安全监测技术在水利水电工程中的应用

张建军

广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 中国·广西 南宁 530023

摘要: 随着水利水电工程规模的不断扩大和建设技术的不断进步, 大坝作为水利水电工程的重要组成部分, 其安全性直接关系到工程的整体稳定性和人民生命财产的安全。大坝安全监测技术的发展和运用, 对于保障大坝的安全运行具有重要意义。论文针对大坝安全监测技术在水利水电工程中的应用进行了研究, 探讨了常见的大坝监测手段和方法, 包括结构监测、渗流监测、变形监测和环境监测等。采用先进的传感器技术和数据采集系统, 实现对大坝各项关键指标的实时监控, 能够及时发现潜在的安全隐患, 预测大坝可能出现的危险情况, 并提供科学依据以指导工程管理和决策。通过分析多个水利水电工程的实际案例, 论文总结了大坝监测技术在实际应用中的有效性与局限性, 并提出了未来大坝安全监测技术的发展趋势, 尤其是在智能化、自动化和数据融合方面的进展。研究结果表明, 结合现代传感技术、物联网、大数据分析等新兴技术, 大坝安全监测技术能够显著提高水利水电工程的安全性和可操作性。该技术的进一步完善和推广, 有助于提升中国水利水电工程的安全管理水平, 确保工程的长期稳定运行。

关键词: 大坝安全监测; 水利水电工程; 传感器技术; 数据采集系统; 智能化技术

Application of Dam Safety Monitoring Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Jianjun Zhang

Guangxi Zhuang Autonomous Region Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530023, China

Abstract: With the continuous expansion of the scale of water conservancy and hydropower projects and the continuous progress of construction technology, dams, as an important component of water conservancy and hydropower projects, have a direct impact on the overall stability of the project and the safety of people's lives and property. The development and application of dam safety monitoring technology are of great significance for ensuring the safe operation of dams. This paper studies the application of dam safety monitoring technology in water conservancy and hydropower engineering, and explores common dam monitoring methods and techniques, including structural monitoring, seepage monitoring, deformation monitoring, and environmental monitoring. By adopting advanced sensor technology and data acquisition systems, real-time monitoring of key indicators of the dam can be achieved, potential safety hazards can be detected in a timely manner, dangerous situations that may occur in the dam can be predicted, and scientific basis can be provided to guide engineering management and decision-making. By analyzing practical cases of multiple water conservancy and hydropower projects, this paper summarizes the effectiveness and limitations of dam monitoring technology in practical applications, and proposes the development trend of future dam safety monitoring technology, especially in the areas of intelligence, automation, and data fusion. The research results indicate that by combining emerging technologies such as modern sensing technology, the Internet of Things, and big data analysis, dam safety monitoring technology can significantly improve the safety and operability of water conservancy and hydropower projects. The further improvement and promotion of this technology will help enhance the safety management level of water conservancy and hydropower projects in China, ensuring the long-term stable operation of the projects.

Keywords: dam safety monitoring; water conservancy and hydropower engineering; sensor technology; data collection system; intelligent technology

0 前言

随着中国水利水电工程规模的扩大和技术进步, 大坝作为重要组成部分, 其安全性问题日益受到关注。大坝的稳定性不仅影响工程运行, 还关系到人民生命财产安全和社

会可持续发展。虽然近年来大坝故障引发的安全事故有所减少, 但仍时有发生, 严重影响公共安全和环境保护。因此, 如何确保大坝在复杂环境下的长期安全运行成为重要课题。为了预防和控制潜在隐患, 保障大坝安全, 监测技术逐渐成

为研究重点。随着传感器、数据采集系统和物联网技术的发展,大坝安全监测技术可以实时监控大坝结构、渗流、变形、水位雨量及周围环境等多个维度,有效支持早期预警、风险评估和决策,并于后期的“四预”体系建设环环相扣、层层递进,旨在实现精准化预报、精细化预警、数字化预演和科学化预案。然而,在实际应用中仍面临数据采集精度、信息融合和系统集成等挑战。未来研究将聚焦智能化、自动化和数据融合技术,以提高大坝安全监测的效率和精确度。本研究旨在探讨大坝安全监测技术的应用、效果与局限性,并展望技术发展趋势,为提高大坝安全管理和工程稳定性提供参考。

1 大坝安全监测技术概述

1.1 大坝安全监测的定义与重要性

大坝安全监测是指利用各种技术手段和设备对大坝的结构性状态、环境变化和潜在风险进行全方位、实时的监控和分析,以保障其安全和稳定运行^[1]。这一监测过程不仅涉及技术层面的精确测量和数据分析,还包括对潜在风险的预测和预警,确保在隐患转变为实际威胁之前,能够及时采取干预措施。大坝作为水利水电工程的核心组成部分,其安全性与工程整体的稳定运行以及周边居民的生命财产安全密切相关。大坝失事可能造成灾难性的后果,对其进行科学而严密的监测显得尤为重要。因此,安全监测不仅对水利行业有直接的指导意义,还能够降低因结构损坏、极端气候或自然灾害引起的风险,保障生态环境和社会经济的可持续发展。通过持续完善和创新监测技术,能够有效提升大坝的安全管理水平并推动水利水电工程效益的稳步提高。

1.2 水利水电工程中的大坝安全监测现状

近年来,水利水电工程中大坝安全监测的重要性愈加凸显。随着工程规模和复杂性的增加,传统监测方法面临的挑战也日益增多。目前,大坝安全监测在国内外普遍应用多种先进技术,包括光纤传感技术、卫星遥感技术、物联网技术等。这些技术可以有效采集大坝的结构变形、渗流、水位雨量及环境影响等多方面的数据,从而提高监测准确度。现阶段多为各类技术的独立应用,局部会有一定关联,但系统集成化程度尚不足,数据融合与分析能力仍需提升。部分地区对新技术的应用推广不足,技术人员培训不够,以及监测设施的维护投入有限,影响了监测系统的整体效能。这些现状表明,提升监测系统的智能化、自动化水平依然是大坝安全领域亟需突破的关键。

1.3 大坝安全监测的基本要求与发展趋势

大坝安全监测的基本要求包括实时性、准确性和全面性等,以确保大坝在各种条件下能够稳定运行^[2]。监测系统须具备实时数据采集和处理能力,并通过精准的分析手段检测结构变形、渗流、水位雨量及环境变化。未来的发展趋势表现在智能化、自动化技术的深入应用,以及多种监测数据

的融合分析技术。通过引入人工智能和大数据分析,大坝监测系统将更加精确和高效,预测预警能力和决策支持水平也将显著提升。

2 大坝安全监测的技术手段与方法

2.1 结构监测技术

结构监测技术是大坝安全监测的重要组成部分,旨在通过对大坝主体结构的运行状态及相关指标参数进行实时监控,评估其稳定性和安全性,以确保工程的长期可靠运行。该技术主要围绕混凝土、钢筋和其他结构材料的变形、应力、裂缝和温度等关键参数开展监测。常用的监测设备包括应变片、测缝计和高精度位移计等,通过布置在大坝关键部位的传感器,精确采集结构响应数据。

当前,随着技术的发展,基于光纤光栅的监测设备因其高灵敏度、抗干扰能力强和耐久性好而得到了广泛应用。雷达干涉测量技术作为一种非接触式监测手段,可实现对大坝整体结构变形的高精度监控,尤其在大坝变形预测和局部风险判断方面具有独特优越性。

通过将监测结果与大坝设计参数和运行标准进行比对分析,能够及时发现可能影响大坝安全的结构问题。结构监测技术为水利水电工程管理决策提供了科学依据,有效提高了安全监测的效率和可靠性。

2.2 渗流监测技术

渗流监测技术是大坝安全监测中的关键环节,其主要目标是对大坝内部及周边土体的渗流特性进行实时监测与分析,以保障大坝的稳定性与安全性^[3]。常用的渗流监测方法包括孔隙水压力测量、渗流量监测和抽水试验等。孔隙水压力传感器可用于监测土体内部水压力的变化,提供渗流路径及强度的直观信息。渗流量监测利用量水堰或自动化流量计测量排水量,以评估渗流强度及其变化趋势。现代渗流监测技术借助光纤传感、物联网及无线数据传输等技术,能够实现高精度、多点位、广范围的实时监控,为潜在渗漏及管涌等危险状况提供科学预警,有效避免大坝失稳。

2.3 变形与环境监测技术

变形与环境监测技术在大坝安全监测中至关重要。变形监测技术主要通过光学监测设备、GPS、倾斜仪等工具追踪大坝的形变,以确保结构稳定。环境监测则关注雨量、水温、大气压力、湿度等因素对大坝的影响,通过布设雨量计及环境传感器进行实时监控和数据分析。这些技术手段有助于及早识别潜在风险,保障大坝的安全运行,为决策提供科学支持。智能化监测技术的引入进一步提升了这些手段的精准性和可靠性^[4]。

3 大坝安全监测系统的应用与实施

3.1 传感器技术与数据采集系统

传感器技术与数据采集系统在大坝安全监测中的应用是实现精准监测的关键环节。传感器技术通过感知力学、环

境、渗流等各种物理量,为大坝安全状态提供可靠的监测数据。目前,广泛应用的传感器包括应变计、压力传感器、温度传感器、固体位移传感器和水文传感器等,它们能够实时反馈大坝结构、渗流变化以及环境影响的动态信息。先进的传感器设计进一步提高了测量精度和耐久性,满足复杂工程环境的要求。

数据采集系统则起到数据整合与传输的功能,通过无线网络、物联网技术将传感器的测量信息快速传输至数据处理中心。该系统整合多传感器信息并生成综合分析报告,不仅能够监测大坝实时状态,还能预测潜在安全隐患。数据采集系统还具有良好的兼容性,可与大数据分析平台协同工作,支持监测结果的可视化和科学决策。这些技术的结合提升了大坝安全监测系统的自动化水平,为实现高效的工程管理和灾害防控奠定了基础。

3.2 智能化监测系统的实现

智能化监测系统的实现是大坝安全监测技术发展的重要方向。通过将先进的物联网技术、人工智能算法及云计算平台集成于监测系统,可实现监测过程的高度自动化和信息处理的智能化。基于传感器网络布局,对大坝不同部位的关键指标进行实时采集,并通过无线通信技术将数据传输至云端处理中心。利用大数据分析技术,对监测数据进行深度挖掘与趋势预测,从而识别潜在风险。智能算法与模型能够针对异常数据进行快速告警,并提供相应解决策略建议。引入边缘计算技术,可在数据源头实施即时分析与响应,提升系统的时效性和可靠性。智能化监测系统的应用能够显著提高大坝安全管理的效率与精度,为实现现代化水利工程的可持续发展提供坚实技术保障。

3.3 大数据分析在监测系统中的应用

大数据分析在大坝安全监测系统中具有重要作用,通过对结构变形、渗流等多源监测数据的整合分析,可精准识别潜在风险,提升预警能力。基于机器学习和统计模型的深度挖掘技术,有助于预测大坝运行趋势,为科学决策提供数据支撑,确保工程安全稳定运行。

4 大坝安全监测技术的未来发展方向

4.1 新兴技术对大坝监测的影响

新兴技术对大坝监测的影响日益显著,其中现代传感技术、物联网、大数据分析等正逐步改变大坝安全监测的方式。现代传感技术的进步,使得实时、高精度的数据采集成为可能,不仅提高了监测效率,更增加了数据获取的准确性和时效性^[9]。通过物联网的应用,分散的监测设备能够实现互联互通,形成一个动态响应的监测网络,提高了信息传递的速度和监测系统的灵活性。大数据分析技术的引入,为海量监测数据提供了强大的处理能力,能够挖掘数据中的潜在规律,有助于预测大坝未来可能的变化与行为。云计算技术的发展,更是为这些新兴技术提供了坚实的计算和存储基础,进一步增加了大坝安全监测系统的智能化和自动化水

平。这些技术的综合应用,不仅提升了监测能力,还为大坝的管理和决策提供了更为可靠的科学依据。

4.2 智能化自动化与数据融合的前景

智能化、自动化与数据融合技术的前景在大坝安全监测领域展现出巨大的潜力。智能传感器与物联网技术的结合,将实现大坝各类监测数据的自动采集与传输,提升监测效率。基于大数据分析和机器学习算法,可在海量数据中识别复杂的安全隐患模式,实现对大坝状态的实时评估与预测。自动化监测系统能够在无需人工干预的情况下,进行数据的自动分析与报警提示,提高响应速度。这些技术的集成将促进监测系统向更加智能化的方向升级,进而提高预测能力与决策支持水平,为大坝安全管理提供更科学的保障。创新技术的应用将进一步推动大坝监测手段的自动化与智能化进程,提高水利水电工程的综合安全性。

4.3 未来技术应用中的挑战与应对措施

未来技术应用中的挑战包括技术的高成本、复杂的数据处理、跨学科技术集成的困难,以及如何处理大规模数据系统中的安全性和隐私保护问题。应对措施可以通过加强技术研发投入,提高传感器等关键技术经济性和可靠性,推进学科交叉合作来实现。完善数据安全法规,采用先进的数据加密和防护技术,以确保大坝监测数据的安全与隐私。这些措施将为大坝安全监测技术的进一步发展提供保障。

5 结语

本研究探讨大坝安全监测技术在水利水电工程中的应用,分析结构、渗流、变形与环境监测等常见手段。结果表明,先进传感器与数据采集系统可实时监控关键指标,及时发现安全隐患并预测危险情况,为工程管理决策提供科学依据。通过实际案例验证,现有监测技术在数据精度、设备稳定性和数据分析复杂性方面存在局限。未来研究应关注监测传感器精度提升、人工智能预测模型应用及数据融合分析,推动监测系统智能化发展,保障大坝安全运行,助力水利水电工程可持续发展。

参考文献:

- [1] 马吉.水利水电工程中的大坝安全监测技术[J].电脑乐园,2021(6):37.
- [2] 梁定浩.水利水电工程中的大坝安全监测[J].建材发展导向(上),2020,18(3):357-358.
- [3] 刘震.水利水电工程中的大坝安全监测技术探究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(9):2.
- [4] 林庆浩.水利水电工程中大坝安全监测技术探究[J].写真地理,2021(15):267.
- [5] 周秀芬.简述水利水电工程中的大坝安全监测技术[J].幸福生活指南,2020(14):81.

作者简介: 张建军(1992-),男,中国广西南宁人,本科,工程师,从事水利水电工程设计研究。