

# Research on Dam Safety Assessment and Maintenance Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

Xianghui Li

Guangxi Beihai Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Beihai, Guangxi, 536000, China

## Abstract

One of the key structures of hydropower stations is the dam body, and its safety is closely related to the life and property safety of downstream residents and social stability. With the accumulation of the service life of dams, safety evaluation and guarantee are crucial. This paper explores the technology of dam safety assessment and its maintenance strategies, proposes a new concept of modern dam safety assessment, analyzes the identification strategies of dam aging and potential risks, and deeply explores the commonly used safety assessment methods, such as monitoring methods, structural assessment models, and risk assessment methods. In addition, this article also explores the technical routes for dam maintenance and reinforcement, analyzes potential safety risks of various dams, and proposes appropriate solutions.

## Keywords

dam safety assessment; Maintenance technology; Water conservancy and hydropower engineering; Monitoring technology; assessment structure

## 水利水电工程中的大坝安全评估与维护技术研究

李向辉

广西北海水电勘测设计院有限公司, 中国·广西 北海 536000

## 摘要

水电站关键构造之一为坝体,其安全性与下游地区民众的生命财产安全及社会稳定息息相关。伴随着水坝使用年限的累积,安全评价与保障至关重要。本论文对大坝安全评估技术及其养护策略进行了探讨,提出了现代大坝安全评价的新理念,分析水坝陈旧化及其潜在风险的识别策略,深入探讨了普遍应用的安全评估方法,如监测手段、结构评估模型及风险评估方法。此外,本文还探讨了水坝养护与强化的技术路线,分析各类大坝潜在安全风险,提出了适宜的解决策略。

## 关键词

大坝安全评估; 维护技术; 水利水电工程; 监测技术; 结构评估

## 1 引言

随着水利水电工程的快速发展,大坝作为关键基础设施,其安全性问题逐渐引起广泛关注。近年来,伴随着大坝运行年限的增长以及环境变迁的作用,老化现象、结构破损及安全风险愈发严峻。水坝安全评定与保养有助于保障水坝的稳定运作,可为决策提供科学支撑。因此,构建科学合理的评估与维护机制,确立适宜的安全管理模式是当前水利电力工程领域亟须解决的课题。本论文将详尽剖析大坝安全评估与养护技术,为增强大坝安全性及延长其使用年限的理论基础。

## 2 公利水电工程中的大坝安全评估与维护技术概述

水电站系现代水利工程的关键构成部分,其核心设

施——水坝,亦肩负着防洪、水利灌溉、水电发电等多重使命,系维护人民生命财产及社会经济稳定的关键性基础设施,然而,伴随着大坝服役年限的逐步增加及自然环境的不停演变,大坝安全问题愈发突出,成为水利学科急需解决的关键问题。

大坝安全评估是保障其持久稳定运作的根本,该评估流程涵盖对水坝构造、效能及其周边环境的整体审视,致力于运用科学方法,分析大坝现有安全状态,并展望其未来可能遭遇的潜在风险,评估重点在于迅速发现与识别大坝潜在的安全风险,精确评定这些潜在风险及其潜在危害性,进而为后续大坝维护工作提供坚实的理论依据和决策参考<sup>[1]</sup>。

在大坝安全评估的前提下,大坝养护任务至关重要,确保维护活动的成效,确保大坝持久发挥其设计功能与安全特性,这涵盖但不限于常规检测、构造加固、渗漏修复及排水系统保养等措施,进行周期性审查,可迅速探测大坝表层裂缝、渗漏等异常状况,为后续的运维工作提供指引,对大

**【作者简介】**李向辉(1980-),男,中国广西容县人,本科,工程师,从事水利水电工程研究。

坝缺陷部位进行结构加固,增强其抗震、防洪等功能,大坝渗漏治理旨在消除内部渗流路径,遏制水分对大坝构造的侵蚀与损害,而排水系统的保养则保障大坝在遭遇洪水等恶劣天气状况下,有效排除积水,降低大坝负载。

科技进展日新月异,大坝维护领域对智能监控及自动化维护系统的应用范围不断拓展,该先进技术手段显著提升了维护作业的效能与精确度,进一步提升了大坝安全监控的全面性与时效性,例如,采用在水库大坝上布置智能型传感器及远程监管系统,可确保对大坝进行全天候、全维度的监控,该设备可即时搜集大坝相关各项信息,例如位移、应力、渗流量等参数,并通过远程传输机制将这些信息传递至监控枢纽,监控中心运用尖端的数据分析技术,对所涉数据实施加工与剖析,及时捕捉大坝异常迹象,采取相应的保养策略。此外,结构加固技术持续演进与进步,常规的加固手段,例如增加支撑体系、强化坝体结构等,尽管在某种程度上增强了大坝的承载能力,施工难度常较高、成本昂贵,而创新的结构加固技术,以高性能材料加固大坝、运用预应力技术增强大坝抗拉性能等,则可确保加固成效之同时,简化施工难度与成本<sup>[2]</sup>。

### 3 水利水电工程中的大坝安全评估与维护技术存在的问题

#### 3.1 监测数据不足

大坝安全评估的监测数据通常依托于传统监测仪器,例如应力计、水位计、位移计等测量仪器。尽管此类设备能够提供基本的数据支撑,其准确度与即时性相对较差,特别是在一些边远地域,受限于地理环境,部署与维护监控设施面临重大挑战,导致难以全面、实时掌握大坝的运行状况数据。

传统设备的局限制约了安全评估对现有数据的全面依赖,尤其于紧急情境中,难以迅速作出反应,进而作用于安全决策制定。因此,未来大坝监测需强化数据实时性与种类多样性,逐步采纳更先进的监测手段,如物联网感应器、无人驾驶飞行器监测、遥感科技等,构建大坝安全状态综合监控体系。

#### 3.2 评估方法单一

目前,大坝安全评价的关键手段仍主要依托于周期性审查与人工评判的融合模式。尽管有限元分析、结构健康监测、动态响应分析等前沿评估技术已在大坝评估领域得到实施,但总体渗透率较低。此类传统评估手段存在一定局限,人工评价通常主观性较重,评估结果易受评估者经验与主观判断的制约,评估结果难以精确。

有限元分析、结构健康监测等现代技术的应用尚处于探索阶段,尤其是在一些老旧的大坝或偏远地区,这些技术的应用受限于设备投资、技术支持以及操作难度。因此,丰富大坝安全评价技术手段的多样性,深入融合量化分析与质

性研究,利用先进技术工具,方能达至更加科学的评价。

#### 3.3 评估周期不合理

目前,大多数大型水坝的安全评估历时较长,通常每数年实施一次全面审查。水坝为持续运行的工程,特别是那些历史悠久的堤坝,伴随着使用年数的累积,内部资料与构造的退化将逐步暴露出诸多潜在安全风险。然而,鉴于评估期限的约束,诸多潜在问题未及时发现与解决。例如,持续的裂缝、渗漏等缺陷,通常在评估周期终结之际难以揭示,可能导致安全风险的累积,可能导致灾难性影响。

为了有效防范这种情况,应该缩短安全评估周期,实施更为灵活的评估机制。除常规审查之外,还应实施实时监控、持续评估等措施,持续监测大坝健康状况,依托实时数据监测<sup>[3]</sup>。

### 4 水利水电工程中的大坝安全评估与维护技术的策略

在大坝安全评估和维护的过程中,随着科技的发展,特别是监测技术和评估方法的不断创新,传统的大坝安全管理逐渐向智能化、数据化和动态化方向发展。为了解决当前存在的监测数据不足、评估方法单一和评估周期不合理等问题,引入多维监测技术、采用先进的评估模型、强化维护管理与定期检查已成为提升大坝安全性和保障其长期稳定运行的关键措施。以下是对这三项策略的具体扩展和分析。

#### 4.1 引入多维监测技术

伴随着无人机、遥感技术、地质雷达等多重监测手段的迅猛进步,它们在大坝安全监测领域显现出显著的应用价值。常规监测手段如水位计、位移计、应力计等,尽管可以提供某些基础信息,常常面临精度欠缺、响应速度慢、覆盖区域有限等困境,尤其是对于某些边远区域或地形条件相对复杂的地域,传统监测设备的部署与维护往往面临诸多制约,难以构建完备的监测体系。而当代的多元化监测手段能够有效解决这些局限,提供更为详尽、即时的监控信息,例如,无人机(UAV)可周期性越境大坝,采用高分辨率摄像头或激光雷达技术对大坝及其周边环境实施三维成像,可准确检测大坝表面裂缝、沉降及变形等状况。遥感技术借助卫星或航空图像,融合图像处理技术,监测水库及其周边环境变动,及时监测可能导致大坝安全隐患的地质和水文变化。地质雷达能够探测大坝及配套设施,挖掘更深层级的架构信息,对大坝内部变动进行监控。借助这些前沿的多维监测技术,可实现大坝运行状况的即时收集与远端监督,构建一个全面、精确、快速响应的安全监控体系。

#### 4.2 采用先进的评估模型

传统的大坝安全评价方法通常依赖周期性巡查与人工解析,存在时长较长、反应迟缓、高度依赖专家经验等难题。为了增强水坝评价的科学性与精确度,务必采纳更前沿的评估机制,融合计算机模拟、数据剖析、人工智能等手段,增

强评估的精确性与预测能力。其中,以大数据与机器学习为基础的评估策略,已在某些领域展现出良好的应用成效。例如,机器学习算法得以依托庞大历史监测与实时数据集,筛选出潜在的威胁要素,对模型进行培养,机器学习技术可对大气结构潜在演变趋势进行预测,探测初期潜在缺陷,并依据不同风险等级提供实时调整的评估结论。此外,依托计算流体动力学(CFD)、有限元分析(FEA)等高精度仿真手段,可实现大坝应力场、形变状况及水动力学的仿真,为水坝安全评价提供更丰富的量化支撑。除了单一结构健康状况监测,现代化评估技术需与环境数据分析相结合,例如气候条件、水文变迁、地质变动等,这些要素可能对大坝的安危状况产生影响。综合多维数据信息,运用多种模型整合策略,可提升大坝安全评价的精确度,并达到早期警报的成效。例如,采用大数据驱动预测模型,可辨识出潜在安全风险,提前实施防灾措施,降低大坝安全风险水平。

#### 4.3 强化维护管理与定期检查

大坝的定期检查和维修是保障其长期安全运行的重要措施。尽管当代监测技术与评估模型能够提供即时数据及风险预判,唯有实施有效的保养管理与周期性检验,确保大坝实现可持续的长期安全管理。为此,构建更健全的维护管理机制,确立各类水坝的检验频次、保养规范及紧急应对措施。针对各类坝体(诸如水库坝、堤坝、引水坝等),可依据其设计使用年限、构造特性及所处环境,设定差异化的检测频次与规范。对部分运行年限较久的大坝,检查周期宜较短,尤其在洪水期临近时,需强化关键地带的审查。评估项目涵盖大坝表面状况、基础设施状况、沉降变形观测、渗漏检测等方面,系统分析水利枢纽的构造健康状况,在大坝养护期间,引入智能化技术同样至关重要。

在大坝的日常管理与维护中,智能化传感器、物联网技术和大数据分析的引入,不仅能有效提高监测和评估的精度,也为大坝的维护管理提供了更高效的手段。借助智能传感器与物联网技术,实时监测大坝运作状况得以实现,此技术能够全方位、不间断地收集大坝各类信息,并将信息通过自动化系统传递至监控枢纽。监控中心的技术人员可随时浏览即时信息,评估大坝各构件的完好状态,迅速识别潜在安全风险。若某特定区域监测指标出现异常,系统可即时触发

警报,指导工作人员实施现场勘查及相应处置行动。这样,职员可依据数据所揭示的特定方位、类别及强度,快速作出判断,部署维修计划,有效阻隔了因反应滞后引发的负面效应加剧。

智能化传感器与物联网领域的技术融合,可即时监控大坝各项指标,应力、温度、位移、渗漏水量等参数。借助物联网技术,传感器所收集的信息将自动传输至云端平台,实现了远程监视。此方法确保了监控人员可实时了解大坝的运作状况,仍可在边远及难以地区实施高效监控。例如,在水库内部或偏僻的城乡地区,人工审核传统方法难以确保全面性与时效性,而借助远程监控与传感器技术,工程师能即时识别出潜在缺陷,进行有针对性的处理。

此外,结合大数据分析,能够进一步提升大坝安全监测和维护的效果。通过对历史及实时数据实施广泛处理与深入分析,有助于工程师深入掌握大坝运行态势,辨识潜在的威胁要素。大数据技术具备对多源传感器数据进行分析与处理的能力,进而揭露了传统监测手段可能遗漏的潜在风险。例如,运用大数据构建模型,预测大坝的长期运行态势,识别结构变形及沉降趋势的潜在风险,协助相关机构迅速实施干预行动,避免重大事故的发生。

## 5 结语

水电站中的关键结构,其安全性与人民生命财产安全及社会稳定息息相关。为了确保水坝持续稳定运行,需采纳科学高效的安保评估及养护策略,运用现代监测技术、采纳前沿评估方法、加强运维管理体系,能更有效地确保大坝安全,降低潜在威胁,延长水坝使用寿命。在未来,随着科技的持续进步,水坝安全评价与养护技艺持续进化,增强水利水电工程安全运行保障能力。

### 参考文献

- [1] 颜彦,曹金鑫.大坝安全监测体系构建及其在水利工程中的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(17):205-207.
- [2] 巩庆涛.水利水电工程中的大坝安全监测技术探讨[J].水上安全,2024,(08):53-55.
- [3] 王翔,郑淇文,张志勇,等.高质量发展阶段中国水利工程安全监测现状及提升策略[J].水利水电快报,2023,44(03):76-83+88.