智慧监测技术在水利水电工程大坝安全管理中的应用研究

周雪梅

屏边苗族自治县玉屏镇人民政府，中国·云南 红河州 661299

摘要：大坝作为水利水电工程核心枢纽，其安全管理关乎人民生命财产与区域稳定，也是工程综合效益发挥的关键。本文聚焦智慧监测技术，阐述其核心特征与技术体系构建，分析其在大坝安全管理中的应用价值与具体场景。研究可为提升大坝安全隐患识别效率、优化管理流程提供理论与实践支撑，对推动大坝安全管理智能化升级、保障工程长效稳定运行具有重要意义。

关键词：智慧监测技术；水利水电工程；大坝安全管理；风险预警；技术体系

Application research of intelligent monitoring technology in dam safety management of water conservancy and hydropower projects

Zhou Xuemei

Pingbian Miao Autonomous County Yuping Town People's Government, China Yunnan Honghe Prefecture 661299

Abstract: As the core hub of water conservancy and hydropower engineering, the safety management of dams is related to people's lives, property, and regional stability, and is also the key to the comprehensive benefits of the project. This article focuses on smart monitoring technology, elaborating on its core features and technical system construction, and analyzing its application value and specific scenarios in dam safety management. Research can provide theoretical and practical support for improving the efficiency of identifying dam safety hazards and optimizing management processes, which is of great significance for promoting the intelligent upgrading of dam safety management and ensuring the long-term stable operation of the project.

Keywords: Intelligent monitoring technology; Water conservancy and hydropower engineering; Dam safety management; Risk warning; Technical system

0 引言

伴随水利水电工程建设规模不断增大，大坝运行所处的环境变得越发复杂，以往传统的监测方式已然很难满足精细化安全管理方面的需求。大坝一旦发生安全事故，很容易引发一系列连锁灾害，对下游民众的生活、生态安全构成威胁，所以强化安全管理已经是刻不容缓。智慧监测技术依靠自动化、智能化的优势，为大坝安全管理开辟了一条新的道路[1]。本文针对该技术在大坝安全管理里的应用展开深入探讨，目的是破解传统管理中存在的难题，稳固工程安全防线。

1 智慧监测技术的核心特征

先进的信息技术跟智能硬件相互结合，造就了独特的核心优势，能够满足水利水电工程大坝安全管理多方面的复杂需要。它运行自动化程度比较高，可以达成无人参与的连续监测，突破了传统监测模式在时间、空间上的限制，保证监测过程连续又稳定[2]。在数据采集阶段，其有多源融合特性，能够整合不同维度跟类型的监测信息，涵盖大坝结构、水文环境、气象条件等多方面，为后续分析提供全面的数据支持。它拥有强大的智能分析能力，依靠算法模型挖掘海量监测数据，精准辨别潜在的安全隐患信号，达成从数据采集到信息解读的智能化转变。同时，它兼容性与扩展性都不错，能够按照不同大坝的结构特征、运行年限、管理需求，灵活调整监测参数和设备配置，适应多样化应用场景。

2 水利水电工程大坝安全管理的重要性

2.1 保障人民生命财产安全与区域社会稳定的核心需求

作为水利水电工程的核心枢纽设施，大坝的安全稳定直接关系到下游区域人民的生命财产安全。一旦大坝出现溃坝、渗漏等安全事故，将引发洪水灾害，淹没周边村庄、

城镇以及农田，造成大量人员伤亡和巨额财产损失。下游区域往往聚集着密集的人口和重要的基础设施，包括交通干线、工业厂区、医疗机构等，这些设施的损毁不仅会带来短期的灾难损失，还会对区域经济发展造成长期的负面影响[3]。从社会稳定层面来看，大坝安全事故极易引发公众恐慌情绪，破坏正常的社会秩序，甚至可能引发一系列社会问题。做好大坝安全管理工作，能够有效防范各类安全风险，为人民群众营造安全的生产生活环境，是维护区域社会和谐稳定的关键举措，也是政府履行公共服务职能、保障民生的重要体现。

2.2 维系水利水电工程综合效益发挥的基础前提

水利水电工程具备防洪、发电、灌溉、航运、供水等多重综合效益，而这些效益的正常发挥均以大坝的安全稳定运行为前提。在防洪方面，大坝通过拦蓄洪水、调节洪峰流量，有效降低下游地区的洪涝灾害风险，保障农业生产和城市安全；发电功能则为区域经济发展提供清洁、稳定的能源支持，推动工业生产和居民生活用电需求的满足；灌溉功能能够为周边农田提供稳定的水源，提升农业生产产量，保障粮食安全；航运和供水功能也直接关系到区域交通运输顺畅和居民基本生活需求。若大坝存在安全隐患，不得不降低运行负荷甚至停止运行，将导致上述综合效益无法正常发挥，不仅会造成巨大的经济损失，还会影响区域能源供应、农业生产和生态环境等多个领域的稳定发展。因此，加强大坝安全管理是维系水利水电工程综合效益、实现工程可持续运行的核心基础[4]。

3 智慧监测技术在大坝安全管理中的应用价值

3.1 提升大坝安全隐患识别的精准性与时效性

传统监测方式依赖人工操作，存在数据采集滞后、误差较大、隐患识别不及时等问题，难以满足大坝安全管理的精细化需求。引入智慧监测技术后，这一现状得到显著改善。通过分布在大坝关键部位的智能设备，能够实时采集大坝变形、渗流、应力等核心数据，数据采集精度达到毫米级甚至更高，有效降低了人工操作带来的误差。借助实时传输网络，采集到的数据能够迅速传输至控制中心，避免了传统监测中数据汇总耗时较长的问题，实现了监测数据的即时呈现。同时，智能分析系统能够对实时数据进行动态分析，与历史数据、标准阈值进行对比，一旦发现数据异常，立即发出预警信号，精准定位隐患位置和严重程度。即使是微小的结构变化或渗流异常，也能被及时捕捉，有效避免了安全隐患的积累和扩大，为大坝安全隐患的早期处置提供了有力支撑。

3.2 优化大坝安全管理流程与降低运维管理成本

在管理流程方面，智慧监测技术实现了大坝安全管理从传统人工巡检、纸质记录、人工分析的繁琐流程，向自动化监测、数字化记录、智能化分析的转变。监测数据的采集、传输、分析、预警等环节实现无缝衔接，管理人员可通过可视化平台实时掌握大坝运行状态，无需进行大量的现场巡检和数据整理工作，极大地提升了管理效率。在运维成本控制方面，减少了人工巡检的工作量，降低了人工成本投入，避免了因人工巡检不全面导致的重复工作和资源浪费；通过对大坝运行状态的精准监测和提前预警，能够实现安全隐患的早发现、早处置，避免了小隐患发展为大事故所带来的巨额维修成本。同时，智慧监测系统能够对大坝设备运行状态进行实时监控，及时发现设备故障并进行维护，延长设备使用寿命，降低设备更换成本，从多个维度实现了大坝运维管理成本的有效控制[5]。

4 大坝安全智慧监测技术体系构建

4.1 智能传感器与监测设备部署体系

依据大坝的结构类型、尺寸规模、关键风险点的分布状况，建立一套具有多层次特征的智能传感器及监测设备部署模式。针对大坝的坝体、坝基、坝肩等关键结构部位，按照不同监测需求布置相应传感器，例如针对变形采取用于监测沉降、位移等的传感器，针对渗流采取监测渗流量、渗压等状况的传感器，针对应力应变采取知晓大坝承受荷载作用时受力状态的传感器等。变形监测设备能够及时察觉到大坝沉降、位移、倾斜等方面的改变，渗流监测设备可以监测渗流量、渗压等指标，应力应变监测设备能了解大坝承受荷载作用时的受力状态。同时，在大坝周边区域设置气象监测设备和水文监测设备，收集降雨量、气温、水位、流速等环境数据，为大坝安全分析提供全面的环境背景资料。进行设备部署工作的时候，充分考虑大坝复杂地形和恶劣环境，选用具有抗干扰、抗腐蚀、耐高温、耐低温等特性的设备，确保设备在复杂环境中稳定运行。通过科学规划设备部署位置和数量，实现监测范围全面覆盖，避免出现监测盲区，为大坝安全监测提供可靠硬件支持。

4.2 数据实时传输与通信网络架构

建立既稳定又高效还安全的数据实时传输与通信网络架构非常重要，这是确保智慧监测系统正常运转的关键所在。运用多网络融合的传输模式，把有线通信跟无线通信技术相结合，以此保证监测数据能够快速且准确地传至数据处理中心。针对大坝内部固定监测设备，优先选用有线通信方式，借助光纤、以太网等传输介质，达成数据的高

速稳定传输，避免无线通信受环境干扰的状况，对于移动监测设备或者偏远区域的监测点，则采用无线通信技术，像物联网、卫星通信、5G 等，来解决复杂地形下的通信覆盖难题。建立完备的网络冗余机制，一旦某一传输链路发生故障，系统能够自动切换到备用链路，保证数据传输不中断。另外，强化网络安全防护设计，采用数据加密、身份认证、访问控制等安全技术，防止监测数据在传输中被篡改、窃取或者泄露。搭建网络管理平台，对传输网络进行实时监控与维护，及时发现并处理网络故障，保障通信网络稳定运行。

4.3 数据处理、分析与安全预警平台构建

作为智慧监测技术模式的关键核心部分，数据处理、分析、安全预警平台有着数据整合、深入分析还有风险预警的重要职责。该平台拥有很强的数据处理能力，能针对多源且海量的监测数据进行清洗、过滤、整合、存储工作，把无效数据和干扰数据剔除掉，以此保证数据的准确与完整，并建立起完善的监测数据库，为后续分析和查询给予支持。在数据分析这一环节，集成了多种先进算法模型，像机器学习、深度学习、数值模拟等，能对监测数据做动态分析、趋势预测、异常识别，深入探寻数据背后的安全风险信息，精准判断大坝运行状态。安全预警功能运用分级预警机制，依据隐患严重程度划分不同预警等级，还制定相应的预警阈值和预警流程。要是监测数据超过预警阈值，平台会马上通过短信、邮件、平台弹窗等多种途径向管理人员发出预警信号，并且同步推送隐患位置、风险等级、处置建议等信息。平台具备可视化展示功能，借由图表、地图等形式直观呈现大坝运行状态、监测数据变化趋势，便于管理人员迅速了解大坝安全状况，为决策制定提供有力支撑。

5 智慧监测技术在水利水电工程大坝安全管理中的应用

5.1 大坝变形与渗流状态智慧监测应用

大坝变形监测中，通过在坝体关键截面、坝顶、坝基等核心部位，部署全球定位系统接收机、激光测距仪、伸缩仪等智能设备，可实时捕捉大坝在自重、水压力、温度变化等荷载作用下的垂直沉降、水平位移、坝体伸缩等变形指标。数据经通信网络实时传至处理平台，平台结合结构力学模型动态分析数据，判断变形是否合规并预测发展趋势，若出现异常立即预警，为加固、防渗等处置提供精准依据。渗流监测则在坝基、坝肩、防渗帷幕等区域部署渗压计、渗流量监测仪，实时追踪渗压、渗流量、渗流水质等关键数据。系统通过综合分析这些数据，判断防渗体系是否破损、渗漏通道是否形成，一旦某区域出现渗流量突增、渗压异常等情况，可快速定位渗漏位置、分析原因，为及时高效开展堵漏措施提供支持，有效防范渗流异常引发的大坝失稳事故。

5.2 大坝应力应变与结构完整性智慧监测应用

针对大坝的混凝土结构、钢结构等关键部分，会装设应变计、应力计、钢筋计等智能监测装置，以此实时监测大坝在施工阶段、运行阶段的应力应变状况。智慧监测系统能够依据大坝荷载状况、温度变化等诸多因素，认真剖析应力应变数据，进而判断大坝结构是否处于正常受力状态，是否存在应力集中、结构开裂等隐患。比如说在大坝浇筑完毕后的养护阶段，监测混凝土应力应变变化能够及时对养护措施予以调整，防止混凝土因温度应力过大而产生裂缝，在运行阶段，借助对坝体关键部位应力应变数据的监测，可了解大坝在水压力等荷载作用下的结构受力情形，避免因长期受力不均致使结构损坏。把无损检测技术和智慧监测技术相结合，能对大坝结构完整性进行评估。运用超声波检测仪、雷达探测仪等设备采集大坝内部结构数据，与智能监测系统的应力应变数据相结合，建立大坝结构完整性评价模型，精确识别大坝内部隐蔽性缺陷，为大坝维修加固提供科学依据，确保大坝结构长期稳定。

5.3 基于智慧监测的大坝安全风险智能预警与应急处置应用

利用智慧监测系统来运用全面监测所获取的数据，进而建立大坝安全风险智能预警模型。通过这个模型能够做到风险的预先判断、分级预警。该模型综合考虑大坝结构特性、运行年限、历史事故、实时监测等众多核心数据，运用先进算法评估风险动态，划分风险等级，明确预警标准和处置流程。一旦监测数据出现异常并且达到预警阈值，系统就会马上向各级管理人员终端、监控平台发送预警信号，保证预警信息能够快速传递。在应急处置阶段，此系统和应急指挥平台成功对接，可以快速整合事故前后整个周期的监测数据，分析事故原因、发展趋势、可能造成的损失范围。借助地理信息系统直观呈现事故区域的地形、人口、基础设施分布状况，为处置方案制定、资源调配、人员转移提供精准支持，实现从“事后处置”至“事前预判”的转变。系统能够实时监测事故处置过程并评估效果，为后续措施调整提供科学依据，最大程度减少事故损失。

6 结语

智慧监测技术已在大坝安全管理领域得以应用，达成

了从传统人工管理向智能化管理的转变，切实提高隐患识别的精准度、管理工作的效率。该技术模式的搭建、在实际当中的应用，为大坝安全给予了全面保障。未来需进一步改良技术的适配性、系统的稳定性，促使技术与管理深度融合。此项技术的推广运用，可为水利水电工程高质量发展筑牢坚实基础，有益于达成工程安全与综合效益共同提高。

参考文献：

[1] 邓煜龄，郭永刚，苏立彬. 基于区块链的大坝监测数据共享平台的设计与实现[J]. 水利建设与管理，2025, 45(11): 33-39.

[2] 宿玉扬，赵磊，曾靖莹等. 水电站大坝集群运行数据标准化监督管理模式研究[J]. 技术与市场，2025, 32(11): 179-185.

[3] 刘毅，周秋景，赵运天. 以智能大坝理念引领坝工技术发展[J]. 中国水利，2025(20): 29-36.

[4] 季雪. 水利工程中电气自动化技术的运用研究[J]. 水上安全，2025(19): 136-138.

[5] 向衍，戴波，王亚坤. 水库大坝智慧运维技术创新与实践[J]. 中国水利，2025(16): 81-90.

作者简介：周雪梅（1991.08-），女，彝族，云南屏边人，本科，工程师，研究方向：水利水电工程。