

水电站大坝安全监测技术与维护策略探讨

骆彦军

水电九局西藏建设工程有限公司 西藏拉萨

【摘要】水电站大坝的安全监测与维护是保障其稳定运行的关键环节。分析了当前大坝安全监测技术的应用现状，指出了现有技术在精度、可靠性及智能化方面的不足，并提出了改进监测技术与维护策略的实施方法。通过技术创新与多技术融合，监测精度与可靠性显著提升，智能化监测系统为安全隐患预警提供了有力支持。基于监测数据的科学维护策略有效提高了大坝运行的安全性和经济性。研究结果表明，改进后的监测与维护策略在提升大坝安全性能、延长使用寿命方面具有显著效果，为未来大坝安全管理的智能化发展奠定了基础。

【关键词】水电站大坝；安全监测；维护策略；技术应用；案例分析

【收稿日期】2024 年 12 月 16 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 19 日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20250009

Discussion on safety monitoring technology and maintenance strategies for hydropower station dams

YanJun Luo

Ninth Hydroelectric Construction Bureau Tibet Construction Engineering Co.Ltd., Lhasa, Tibet

【Abstract】 The safety monitoring and maintenance of hydropower station dams are crucial for ensuring their stable operation. This paper analyzes the current application status of dam safety monitoring technology, identifies the shortcomings of existing technologies in terms of accuracy, reliability, and intelligence, and proposes methods for improving monitoring technologies and maintenance strategies. Through technological innovation and integration of multiple technologies, the accuracy and reliability of monitoring have been significantly enhanced, and intelligent monitoring systems have provided strong support for early warning of potential safety hazards. A scientific maintenance strategy based on monitoring data has effectively improved the safety and economic efficiency of dam operation. The results show that the improved monitoring and maintenance strategies have significant effects on enhancing dam safety performance and extending service life, laying a foundation for the intelligent development of future dam safety management.

【Keywords】 Hydropower station dam; Safety monitoring; Maintenance strategy; Technology application; Case analysis

引言

水电站大坝的安全运行对保障区域水资源调配和电力供应具有重要意义。随着大坝数量的增加和运行年限的增长，其安全管理面临诸多挑战。安全监测技术作为保障大坝稳定运行的核心手段，其精度和可靠性直接影响到大坝的安全评估与维护决策。当前，尽管监测技术不断发展，但仍存在诸多不足，如精度受限、智能化水平不足以及与维护策略的协同性不强等问题。深入探讨监测技术的改进与维护策略的优化，对于提升大坝安全管理水平、保障其

长期稳定运行具有重要的现实意义。

1 水电站大坝安全监测技术的应用现状

在水电站大坝的安全运行中，安全监测技术始终扮演着至关重要的角色。随着科技的不断进步，大坝安全监测技术也在持续发展和完善。目前，水电站大坝的安全监测主要涵盖变形监测、渗流监测、应力应变监测以及环境量监测等多个方面。变形监测通过测量大坝的位移、沉降等参数，实时掌握大坝结构在运行期间的稳定性变化；渗流监测则关注大坝内部的渗流压力、渗流量等指标，以评估大坝

的防渗性能；应力应变监测能够反映大坝在水压力、温度变化等荷载作用下的应力状态，为结构安全评估提供重要依据；环境量监测则包括水位、气温、降雨量等参数的监测，这些环境因素对大坝的安全运行有着直接或间接的影响。

在实际应用中，现代监测技术的引入为大坝安全监测提供了更为精准和高效的支持。自动化监测系统逐渐取代了传统的人工监测方式，通过传感器网络实现对大坝各项参数的实时、连续监测，并将数据传输至监控中心进行分析处理^[1]。卫星定位技术（GPS）、合成孔径雷达干涉测量（InSAR）等先进手段的应用，极大地提高了大坝变形监测的精度和可靠性。光纤传感技术在大坝内部应力应变监测中的应用也日益广泛，其具有抗电磁干扰、耐腐蚀、长距离传输等优点，能够为大坝内部结构的健康状况提供更为全面的监测数据。基于物联网和大数据技术的监测数据管理平台，实现了对海量监测数据的高效存储、快速处理和智能分析，为大坝安全评估和决策提供了有力支持。

然而，尽管现有的监测技术在水电站大坝安全监测中取得了显著成效，但仍面临一些挑战。例如，部分老旧大坝由于建设时期的技术限制，监测设施的升级改造难度较大，且不同监测技术之间的数据融合与协同分析仍存在技术瓶颈。极端气候条件和复杂地质环境下的监测数据准确性与可靠性也需进一步提升。这些问题的存在提示我们，在大坝安全监测技术的应用过程中，还需不断探索和创新，以适应日益复杂的大坝运行环境和更高的安全管理要求。

2 现有监测技术的不足与挑战

在水电站大坝安全监测领域，尽管技术手段不断更新和应用范围持续扩大，但现有监测技术仍面临诸多不足与挑战，这些不足在一定程度上限制了监测系统的效能和大坝安全管理的精准性。从技术层面来看，部分传统监测手段在精度和可靠性方面仍存在局限性。例如，一些早期安装的应变片传感器在长期运行过程中，受环境因素影响，可能出现零漂、灵敏度下降等问题，导致监测数据的准确性难以保证。渗流监测中的水位计和渗压计在复杂地质条件下，可能会因孔隙堵塞或仪器老化而影响测量精度，进而影响对大坝渗流状态的准确评估。

尽管自动化监测系统已广泛应用于大坝安全监测，但在极端气候条件下，如暴雨、高温、低温等，传感器的稳定性和数据传输的连续性仍面临考验。例如，暴雨可能导致通信线路中断或传感器被淹没，从而影响数据的实时采集与传输。在数据处理与分析方面，现有监测技术也面临诸多挑战。随着监测设备的增加和监测频率的提高，海量监测数据的存储、管理和分析成为亟待解决的问题。目前，虽然大数据技术已部分应用于监测数据管理，但在数据挖掘和智能分析方面仍存在不足^[2]。例如，不同监测参数之间的关联性分析不够深入，难以实现对大坝整体安全状态的全面评估。监测数据的实时预警机制尚不完善，部分系统仍依赖人工设定的阈值进行报警，缺乏对大坝动态响应的智能识别能力，这可能导致对潜在安全隐患的滞后发现。

在技术融合与协同方面，现有监测技术也存在诸多亟待解决的问题。不同监测手段之间缺乏有效的数据共享与协同分析机制，导致监测结果的综合应用受到限制。例如，变形监测数据与渗流监测数据之间缺乏有效的关联分析，难以从多维度对大坝的安全状态进行综合评估。监测技术与大坝运行管理的融合程度仍较低，监测结果未能充分融入大坝的日常运行决策中，导致监测系统的实际应用价值未能得到充分发挥。随着水电站大坝运行年限的增加，部分老旧大坝的监测设施老化问题日益突出。

3 改进监测技术与维护策略的实施

针对水电站大坝安全监测技术的不足与挑战，改进监测技术与维护策略的实施是提升大坝安全管理水平的关键环节。在监测技术方面，应注重技术创新与多技术融合，以提高监测系统的精度、可靠性和智能化水平。一方面，新型传感器技术的引入是提升监测精度的重要途径。例如，高精度光纤传感器因其抗电磁干扰、耐腐蚀性强、测量精度高等特点，可有效应用于大坝内部应力、应变及渗流压力的监测。卫星遥感技术与合成孔径雷达干涉测量（InSAR）的结合，能够实现大坝表面变形的高精度、大范围监测，为大坝整体稳定性评估提供有力支持。

另一方面，监测技术的智能化发展是应对复杂工况的重要手段。通过物联网技术构建的自动化监测系统，能够实现监测数据的实时采集、传输与存储，并借助大数据分析 with 人工智能算法对监测数据

进行深度挖掘和智能分析。例如,机器学习算法可用于监测数据的趋势分析和异常识别,从而实现对大坝潜在安全隐患的早期预警^[3]。多技术融合的监测体系能够弥补单一技术的不足,通过将变形监测、渗流监测、应力应变监测与环境量监测相结合,实现对大坝安全状态的全方位、动态化监测。在维护策略方面,应建立以监测数据为依据的科学维护体系,以提高大坝运行的安全性和经济性。维护策略的制定需充分考虑监测数据所反映的大坝实际运行状态,通过数据分析确定维护的优先级和具体措施。例如,基于监测数据的健康诊断模型能够识别大坝结构的关键薄弱部位,为针对性维护提供依据。维护策略应注重预防性维护与应急性维护的结合。

预防性维护可通过定期检查和监测设施,确保监测系统的正常运行;应急性维护则需针对监测数据所揭示的突发安全隐患,迅速采取措施进行处理,以避免事故的发生。维护策略的实施还需加强监测与维护之间的协同合作。监测数据的及时反馈与准确解读是维护决策的基础,而维护措施的实施效果又可通过监测数据进行评估和优化。因此,建立监测与维护的联动机制,能够实现监测与维护的良性互动,提升大坝安全管理整体效能。通过改进监测技术与维护策略的实施,水电站大坝的安全运行将得到更有力的保障,为大坝的长期稳定运行奠定坚实基础。

4 监测与维护策略的实际效果分析

通过对改进后的监测技术与维护策略实施效果的分析,可以全面评估其在保障大坝安全运行中的作用。监测技术的改进显著提升了数据的精度与可靠性,为大坝安全评估提供了更为准确的依据。高精度光纤传感器的应用,使得大坝内部应力与应变的监测数据误差大幅降低,能够更真实地反映结构的受力状态^[4]。卫星遥感与 InSAR 技术的结合,实现了大坝表面变形的高精度监测,其毫米级的测量精度有效捕捉了大坝在不同工况下的微小变形,为稳定性分析提供了关键数据支持。智能化监测系统的引入,借助大数据分析机器学习算法,实现了监测数据的深度挖掘与异常识别,提高了安全隐患的预警能力。

通过对海量监测数据的实时分析,系统能够快速识别出数据中的异常波动,并及时发出预警信号,

为维护决策争取了宝贵时间。在维护策略方面,基于监测数据的科学维护体系有效提升了大坝运行的安全性和经济性。通过健康诊断模型对大坝结构进行评估,精准定位了关键薄弱部位,使得维护措施更具针对性。预防性维护与应急性维护的结合,确保了大坝在日常运行中的稳定性,同时对突发安全隐患能够迅速响应,避免了事故的扩大化。监测与维护之间的联动机制,实现了数据反馈与维护措施的动态优化,进一步提升了维护效果。维护措施的实施效果通过监测数据得到了量化评估,验证了维护策略的科学性与有效性^[5]。

监测与维护策略的实际效果还体现在对大坝整体安全性能的提升上。改进后的监测技术与维护策略的协同作用,使得大坝在复杂工况下的运行更加稳定。监测数据的高精度与高可靠性为维护决策提供了坚实基础,而科学的维护措施又进一步保障了监测系统的正常运行,形成了良性循环。这种协同作用不仅提高了大坝的安全性,还延长了其使用寿命,降低了全生命周期内的维护成本,为水电站的可持续运行提供了有力保障。

5 结语

通过对水电站大坝安全监测技术与维护策略的深入探讨,明确了当前技术的现状、存在的不足以及改进措施的实施效果。监测技术的持续创新与智能化发展,显著提升了数据的精度与可靠性,为大坝安全评估提供了有力支持。科学的维护策略有效保障了大坝的稳定运行,降低了全生命周期的维护成本。未来,随着科技的不断进步,监测技术将更加智能化、精细化,维护策略也将更加科学化、系统化。在应对复杂环境和极端工况时,大坝安全监测与维护将不断优化,为水电站的可持续运行和运营提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 陈铿.浅谈水电站大坝安全管理工作[J].大坝与安全,2024,(06):8-12+27.
- [2] 曾作朋.水电站大坝智能安防管控平台设计及分析[J].中国水能及电气化,2022,(12):7-10.
- [3] 王田荣.禾坑口水电站大坝渗流监测系统设计[J].机电技术,2024,(05):102-106.

- [4] 薛世军,王秉杰.如何提升积石峡水电站大坝安全监测工作[C]//中国水力发电工程学会自动化专委会.中国水力发电工程学会自动化专委会 2024 年年会暨水电厂数智化技术学术交流会论文集.青海黄河水电公司积石峡发电分公司,2024:4.
- [5] 季昀,刘贝贝,王玉洁,等.西藏 DG 水电站大坝安全监测

系统设计[J].水电与新能源,2024,38(01):40-43.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

