

水电站大坝安全监测及运行管理措施分析

杨洪飞 孟 方

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西西安 710000

摘 要：水电站是水利水电工程重要组成部分，担负着调节水流、发电、防洪等功能。但因地质条件、自然灾害、人为因素等原因，大坝在运行过程中存在诸多安全隐患。因此，为实现对大坝安全状态的有效监控与管理，积极引进各种监控技术与管理措施已在水电站运行中得到广泛推行。本文通过分析大坝安全监测的意义，了解当下安全监测及管理存在问题，从而为水电站大坝安全监测与管理制定科学有效的措施，旨在保证大坝在任何复杂环境下的稳定运行。

关键词：水电站大坝；安全监测；运行管理；措施分析

水电站大坝是水利水电工程中最重要的一环，其安全监测和运行管理是保障工程运行的基础。为确保大坝安全运行应对其进行全面性、多层次的监测，涉及对坝体结构的定期检测和评价，同时监测坝体是否出现变形、渗流、裂缝等情况。为进一步保证大坝安全运行状态，还应配备位移传感器、压力传感器、遥感技术等先进监测设备。针对水电站大坝的运行调度与管理，必须建立完善的运行管理体系，明确各岗位的职责权限，保证大坝的运行达到相应标准。

一、水电站大坝安全监测意义分析

水电站大坝的安全监测不仅是整体工程的核心部分，更是预防潜在灾害的重要措施。因此，针对水电站大坝开展全面、及时、准确地监测，对保证水电站的安全运行具有重要意义。随着水电工程规模的持续扩大，大坝的数量与规模不断增加。但是受地质、气候变化、人类活动等多种因素的影响，大坝依然存在诸多安全隐患，如坝体变形、渗漏水、开裂等^[1]。因此，加强对大坝安全监测研究，使得相关部门及时发现问题，从而采取有效防治措施，以此保证大坝的安全稳定运行。大坝安全监测能使管理人员及时掌握大坝运行状况，可在第一时间发现隐患，及时采取维修及改善措施，以保证大坝的安全。大坝安全监测也可为大坝设计、施工、运行提供重要数据支撑，有助于完善大坝设计方案，从而提升其抗灾能力，有效保障电站长期稳定运行。

二、水电站大坝安全监测及管理存在问题

过去几年水电站大坝安全监测及管理存在诸多问题，从而给人们的生命财产带来威胁。为更好地了解不同大

坝安全事故的发生类型及原因，可通过以下表格（表1）进行分析：

表1 大坝不同安全事故发生类型及原因

大坝安全事故类型	主要原因
决堤溃坝	设计缺陷、工程疏漏、自然灾害等多因素综合作用导致大坝破坏
泥石流冲击	山体滑坡、持续暴雨等导致泥石流形成，撞击大坝造成损坏
水位过高溢流	下游暴雨水量增大、大坝泄洪不及时等原因导致水位过高，溢流决堤
大坝基础失稳	土体沉降、基础不牢固等地质因素导致大坝基础失稳
设备故障	大坝排水系统故障、监测设备失灵等技术问题引发安全事故

（一）忽视大坝巡视检查

大坝巡检是保证大坝安全稳定运行的重要措施，定期巡检能及时发现大坝存在的隐患，从而采取措施加以治理，避免事故发生。但多数水电站在日常运行中对巡检不够重视，致使大坝存在安全隐患。大坝是承受水压力的重要结构物，一旦发生开裂或渗漏，易引发重大安全事故，危及周围居民及周围环境安全（如图1）。若没有定期检查便无法发现隐患，易造成无法弥补的损失。大坝泄洪道、泄洪闸等设备长期运行后，存在磨损、堵塞等问题，若不及时检查无法得到及时的维护与维修，从而造成设备失效，影响大坝正常运行。

（二）缺少有效监测手段

目前，多数水电站大坝的监测方法还停留在传统的



图1 水电站大坝开裂示意图

人工监测阶段,存在着监测频次低、数据收集不及时等问题,不能及时发现大坝存在的安全隐患。部分水电站大坝监测设备老化、性能不稳定,数据精度难以保证,进而给大坝安全监测带来困难。针对监测数据的分析与处理也缺乏有效的技术手段,因数据处理技术及专业人才的匮乏,大量水电站大坝监测数据未能得到有效分析与利用,难以形成有效的预警机制,造成对大坝安全状况的全面认识。大坝一旦发生安全问题,后果十分严重,直接危及周围地区的安全。

(三) 对相关单位疏于管理

水电站大坝近年来多种问题频频发生,究其原因是有有关部门对大坝安全管理的重视不足。水电站大坝本身是一项具有潜在安全隐患的工程,其建设与运营期间需进行定期监测与评价。然而当下部分相关单位还存在着监测设备不够完善、数据不够及时、频率不够高等问题,未能及时发现并及时处理大坝隐患。大坝管理者的职业素养与责任感亟待加强,部分管理人员对大坝的安全状况缺乏准确的评估,对突发事件的处理能力也不强。同时部分管理者对大坝安全风险认识不足,时刻存有侥幸心理,这对大坝安全有着直接威胁。另外,政府监管机构还需要加强监管,部分地方政府对水电站大坝安全监控工作重视不够,存在着监督不力,监管不到位等问题,使得部分水电站存在监管盲区,进而对大坝的安全构成极大的隐患。

三、水电站大坝安全监测及运行管理措施

(一) 积极推进大坝安全监测及管理实现自动化建设

随着信息化技术的持续发展与应用,水电站大坝安全监测与运行管理手段不断得到更新与优化。为进一步提高大坝安全监测的效率与精度,积极推进大坝安全监测与管理的自动化建设具有重要意义。自动化建设可有效降低人为干扰,提高监测数据的精度与可靠性。通过引进先进的传感技术及监测系统,对大坝各参数进行实时监测与数据采集,及时发现安全隐患,进而提供决策

依据,以保证大坝安全运行^[2]。自动化施工还可提高大坝运行管理的效率与响应速度,利用远程监测与智能分析平台,对大坝运行状态进行实时监测与分析,及时发现问题并进行调整与处理。同时通过自动化施工可实现对大坝设备的远程监控与调度,以此保证大坝处于最佳运行状态,从而使得发电效益最大化,显著降低事故发生风险(如表2)。

表2 水电站大坝安全监测及运行管理自动化建设措施

措施	描述
自动化监测系统	部署传感器和监控设备,实时监测大坝结构、水位、温度等参数,实现自动化数据采集与分析
预警机制建立	建立预警系统,根据监测数据设定预警阈值,一旦超过阈值立即发出警报,提前预防潜在风险
定期巡检与维护	定期对大坝进行巡检和维护,及时发现和解决结构问题和设备故障,确保大坝安全运行
应急响应预案制定	制定应急响应预案,明确各种灾害情形下的应急处理流程和责任分工,提高应对突发事件的能力

1、自动化监测系统的建立可实现大坝运行状态的实时监测与数据采集,提高监测效率和准确性,帮助管理人员及时发现潜在问题。

2、预警机制的建立有效预防各种突发事件的发生,从而降低事故发生风险,有效保障大坝的安全。

3、定期巡检与维护可及时发现并处理大坝结构及设备的问题,从而延长设备寿命,也可保障大坝的稳定运行。

4、应急响应预案的制定能够提高应对灾害和事故的能力,显著减少损失,以确保大坝在突发事件中能够快速、有效制定应对措施。

(二) 加强监测数据的分析与研究

大坝安全监测与运行管理对保证水电站安全稳定运行具有重要意义,为加强对监测资料的分析和研究,水电站运行管理部门应采取建立完善的监测体系,包括实时监测设备、遥感监测设备、水文气象监测设备等,以便对大坝及其周围环境进行实时监测。针对监测数据进行分析处理,需构建完善的监测数据库,从而为下一步分析提供充足的数据支撑^[3]。水电站管理部门还应定期对监测数据进行探讨与评价,能够及时发现大坝存在的安全隐患,从而制定防治措施。针对大坝监测数据进行分析时应结合大坝的实际情况,根据不同监测指标从而制定相应的分析方法,旨在对大坝的安全性进行综合评价(如表3)。

表3 数据分析方法与技术

数据分析方法与技术	详细分析
统计分析	利用统计学方法对监测数据进行整体分析,包括均值、方差、相关系数等指标,了解数据的分布规律和变化趋势
趋势分析	通过时间序列分析,观察数据的变化趋势,识别周期性变化和长期趋势,以及异常数据点,为预测大坝未来的运行状态提供依据
特征提取与识别	利用信号处理技术和机器学习算法,对监测数据进行特征提取和识别,发现数据中的规律性特征,以便更准确地判断大坝的安全状况
风险评估	基于概率统计方法和风险评估模型,对大坝运行中可能存在的风险进行评估,量化风险大小,为制定应对措施和应急预案提供科学依据
数据可视化	利用数据可视化工具,将监测数据以图表、曲线等形式直观展示,帮助管理人员更直观地了解大坝的运行情况,及时作出决策和调整

(三) 大坝安全监测全过程实施综合管理

大坝安全监测与运行管理是保证水电站正常运行、预防灾害的重要手段,针对大坝安全监测的全过程实行一体化管理,需对大坝进行安全监测,应覆盖设计、施工、运行等多个环节。设计阶段应综合考虑工程地质、水文、气象、材料等多种因素,运用先进的计算方法,对坝体进行仿真分析,以保证大坝的稳定可靠。施工阶段严格按设计要求施工,加强质量监管,以保证工程质量达到规范要求。运行过程中要对易出现的安全隐患进行定期巡视和监控,及时发现并处理隐患^[4]。也可利用遥感监测、无人机巡检(如图2)、数字监测等先进技术手段,对大坝及周边环境进行实时监测与分析。在此基础上对大坝可能出现的安全隐患进行预警,并采取相应的处理措施,保证大坝的安全稳定运行。另外,大坝安全监测中还应建立健全的应急预案及应急响应机制,当发现大坝存在安全隐患或突发事件时,要能快速组织应急抢险队伍,快速采取有效措施,将可能造成的损失降到最低。



图2 无人机鸟瞰水电站大坝示意图

(四) 加强人员培训与管理

为保证大坝的安全稳定运行,必须加强人员的培训和管理。水电站大坝管理人员既要有丰富的工程知识,又要具备管理经验,才能对大坝结构的变化及风险因素进行准确的分析,进而及时采取措施。培训内容主要包括大坝的结构原理、监控设备的使用方法、风险评估等,并通过现场操作与模拟演练,提高学员的应变能力^[5]。水电厂大坝安全监测人员应严格按照有关规定,严格执行各项规章制度及纪律,完全落实责任义务,以保证监测数据准确可靠。同时应建立完善的考核、奖惩机制,使管理人员积极主动地投入到工作中,从而提高监理工作的效率与质量。相关部门还应定期开展技术培训与交流活 动,有利于监测人员及时掌握最新的监测技术与方法,从而提高自己的业务素质与技术水平,有利于及时发现并解决问题,有效提高大坝安全管理水平。

(五) 制定规范的监测流程

监测流程应包括大坝基础、坝体、坝顶及泄水设施等各个部位的周期性检测,检查工作应由专业工程师及技术人员负责,以确保每个细节都能引起足够的重视(如表4)。尤其在雨季来临时更应加大检查次数,确保大坝在极端条件下仍能正常发挥作用^[6]。监控流程应包含实时监控体系的构建与运用,可在大坝上安装各种传感器及监测装置,可对大坝的变化及运行状况进行实时监测,当出现异常状况时应及时报警,进而采取相应措施,从而提高大坝安全监控的效率与精度。

表4 监测流程与部门内容分析

监测项目	监测方法	监测频率	负责单位
大坝变形监测	放线测量、卫星遥感、地面测量等	每月一次	工程监测部门
渗流量监测	地下水位监测井、渗压计等	每周一次	水文监测部门
水质监测	取样化验、在线监测等	每日多次	环保监测部门
设备运行监测	设备运行数据记录、振动监测等	实时监测	设备管理部门
预警系统监测	预警系统运行状态监测	实时监测	安全监测中心

结束语

综上所述,通过对水电站大坝安全监测和运行管理措施分析,充分认识到保证大坝安全运行的重要意义。大坝不仅承担着电站发电的任务,还关系到周边地区的

生态环境安全问题。相关部门需持续改进监测技术,制定完整的管理措施,才能有效防止大坝事故发生,也可保证水电站的安全稳定运行。相信未来,通过继续加强对大坝安全的关注,持续提高监测精度和敏感性,从而及时发现问题并采取有效措施,以确保大坝的安全运行。

参考文献

[1]熊昌全,唐明,张宇宁,李纯阳.水电站大坝安全监测及运行管理分析[J].电子技术,2023,52(10):102-103.

[2]张秀丽.国家水安全战略目标下水电站大坝安全管理的启示[J].大坝与安全,2021,(06):1-5.

[3]江超,肖传成.我国水库大坝安全监测现状深度剖析与对策研究[J].水利水运工程学报,2021,(06):97-102.

[4]杨威.探究水电站大坝安全监测自动化现状与发展目标[J].低碳世界,2020,10(04):111-112.

[5]尹广林.水电站大坝安全监测自动化的现状和展望[J].决策探索(中),2020,(03):12-13.

[6]周建波,王玉洁.水电站大坝安全监测设施管理维护技术要求[J].大坝与安全,2019,(01):24-26.