

水库水利工程大坝安全监测及隐患治理

陈存勤

河南省水利第一工程局集团有限公司 河南 郑州 50000

【摘要】：我国众多水库大坝服役年限跨度大，受自然环境侵蚀、水文工况波动及长期荷载作用，坝体防渗、结构稳定等性能逐年衰减，安全风险逐年累积。大坝安全监测作为把控工程运行态势的关键手段，可实现隐患早发现、早预警。落实针对性隐患治理措施，完善日常管护机制，是规避溃坝风险、维系水利工程长效稳定运行的重要保障。基于此，本篇文章对水库水利工程大坝安全监测及隐患治理进行研究，以供参考。

【关键词】：水库水利工程；大坝安全监测；隐患治理

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.071

引言

水库大坝是水利防洪减灾、水资源调配的核心枢纽构筑物，长期受水流冲刷、地质变化及老化损耗影响，易滋生结构变形、渗漏开裂等安全隐患。开展常态化安全监测，可实时掌握大坝运行状态，精准识别潜在风险。强化隐患排查与专项治理，能从源头筑牢工程安全防线，保障下游群众生命财产安全与区域水利体系平稳运行。

1 水库水利工程大坝安全监测及隐患治理研究意义

1.1 保障区域公共安全稳定

水库大坝作为区域性重要水利基础设施，工程运行状态直接关联流域内人居环境与生产生活秩序。水工建筑物长期处于复杂水文地质环境中，外界自然条件变化与结构自身老化会逐步改变坝体受力形态与防渗性能，潜在隐患若得不到及时管控，会逐步演化成结构性安全问题。系统性开展大坝安全监测与隐患治理相关研究，能够依托成熟技术体系梳理工程运行规律，建立适配不同坝型与库区环境的风险识别逻辑。相关研究成果可为工程日常管护提供理论支撑与实践依据，推动安全管控模式由事后处置转向事前预防，有效规避水工建筑物失效引发的连锁危害，维系流域范围内社会秩序平稳，为城乡生产生活开展营造稳固安全基底。

1.2 维系水利工程长效服役价值

各类水库大坝建设投入大量人力物力资源，承担防洪调度、农业灌溉、生活供水等多元功能，工程服役年限直接决定水利资源利用效率。自然风化、水流侵蚀、地基沉降等外部因素会持续损耗坝体结构性能，常规管护模式难以精准捕捉细微结构变化。针对大坝安全监测技术与隐患治理路径开展专项研究，可梳理不同工况下工程病害演化特征，形成标准化监测流程与治理实施方案。依托研究成果优化工程运维模式，能够精准把控结构损伤发展趋势，对各类隐患实施科学整治，延缓工

程老化速率，延长构筑物服役周期，保障水利工程全生命周期功能完整发挥，最大化盘活水利基础设施建设投入价值。

1.3 完善水利行业规范管控体系

水利行业工程安全管理依托成熟的理论标准与技术规程支撑，大坝安全管控是水利行业规范化建设的核心组成部分。现阶段不同区域水库建设年代、施工工艺、地质条件存在差异，隐患类型与风险特征呈现多元化特点，现有管控标准仍需结合实际工况持续优化。开展大坝安全监测及隐患治理深度研究，可归纳不同地域、不同类型水库的病害共性规律，提炼监测技术应用要点与治理工艺适配条件。研究形成的理论成果与实践经验，能够补充水利工程安全管控相关规范内容，细化监测布设标准、隐患分级判定依据及治理技术适用范围，推动行业管控体系向精细化、标准化、系统化方向完善，为同类水利工程安全管理提供参照范式。

1.4 助力水资源合理配置利用

水资源统筹调配依托水库工程调蓄功能实现，大坝结构安全与运行稳定是水资源优化配置的基础前提。区域水资源时空分布差异显著，水库承担汛期蓄洪、枯水期补水的重要职能，坝体出现渗漏、变形等隐患时，会直接影响蓄水调蓄能力，打破区域水资源供需平衡。深入开展大坝安全监测与隐患治理研究，可精准把控工程运行健康状态，及时修复影响蓄水与调度功能的各类病害，保障水库按照规划目标完成水量调蓄与输送任务。稳定的工程运行状态能够提升水资源跨时段、跨区域调配能力，适配农业生产、工业发展及生态补水等多元用水需求，推动区域水资源实现节约化、合理化、可持续化利用。

2 水库水利工程大坝安全监测途径

2.1 坝体结构性形变监测

水库大坝主体结构长期承受水体压力、岩土约束力与区域

地质应力的多重叠加作用,结构形态产生的细微偏移与形变特征,可直观映射构筑物内部受力状态与整体健康水平。此类监测工作重点聚焦坝体竖向沉降、水平位移、坝体倾角及坝体接缝开合度等核心指标,依托专业精密监测仪器在坝顶、坝坡、坝基等关键位置布置固定观测点位,按照规范周期持续记录结构形态随时间演变的完整轨迹。监测点位规划严格贴合坝体原有施工布局、结构分区特点以及下部地质基底构造特征,规避地质破碎带与应力集中盲区,保障观测数据序列具备良好连续性与完整逻辑性。不间断采集整理结构形变相关原始信息,对照不同水文时段、不同蓄水工况下的监测数值开展横向与纵向对比,能够精准捕捉坝体缓慢形变与细微异变迹象,有效甄别自然地质沉降、长期水体荷载及岩土蠕变作用引发的内部隐性结构损伤。整套监测体系完全契合大坝全生命周期运行演化规律,可动态捕捉结构异常发展趋势与形变累积效应,为后期隐患成因研判、病害等级评定及工程常态化管护决策提供真实客观的数据支撑,实现坝体结构性安全风险的早期识别、提前把控与全过程动态跟踪管控。

2.2 坝体渗流安全监测

渗流病害始终是诱发大坝整体失稳、局部滑移及内部掏空破坏的重要潜在诱因,库区水体顺着坝体自身裂隙、施工接缝、坝基岩层空隙及两岸山体接触带形成持续性渗透路径,长期作用下会逐步冲刷内部填料、弱化岩土粘结强度,大幅降低构筑物整体稳定性能。该项监测业务重点围绕坝体内部渗漏、坝基基底渗流以及两岸绕坝渗流三大核心环节开展,通过在坝体内部、防渗帷幕沿线、坝基廊道及岸坡接触部位预埋专业监测传感设施,构建覆盖全域的立体化渗流感知网络。系统持续采集并实时捕捉渗透水位高低、渗流量大小以及渗水水质含沙量等相关状态参数,全面反映渗流场分布变化规律。监测点位布局充分结合库区年度水文变化特征、坝体防渗体系构造形式及地质薄弱区域分布,重点覆盖高水压易渗漏区段与结构衔接部位,形成无死角的立体化监测覆盖格局。长期累积整理的渗流监测数据,可精准判别整体防渗体系实际完好运行状态,清晰区分正常稳态渗流与异常集中渗漏的本质差异,及时察觉防渗层老化破损、内部裂隙扩张及基础管道侵蚀等隐蔽性隐患。

2.3 环境水文联动监测

库区范围内水文气象条件与周边区域地质环境的持续性动态变化,会从外部直接干预并改变大坝原有受力工况与边界条件,各类自然环境要素波动也成为催生工程安全隐患的重要外在诱因。监测工作内容广泛涵盖库区运行水位、区域降雨分布、大气气温起伏、坝区土体冻融变化以及库区周边边坡地质环境变动等多项核心要素,对水文气象指标与周边地质环境状态实施同步采集、同步归档与同步分析。监测站点依照流域地

形地貌分布特征、水系走向及坝体影响范围科学合理布设,兼顾上游库区、坝址区域及下游防护区段,实现库区全域环境要素全天候常态化连续采集。环境水文相关要素出现剧烈波动时,会直接改变坝体上下游水压荷载配比与渗流场边界约束条件,汛期强降雨、库水位骤升骤降以及极端气温变化,均会加重坝体结构受力负担与岩土体流变速率。整合归纳多维度环境监测原始信息,可建立自然环境波动与大坝运行工况之间的内在关联逻辑,精准预判极端气候、高水位运行等特殊工况下工程潜在安全风险,为水库科学调度、防洪管控及工程安全防控部署提供可靠参考依据,最大程度削弱自然环境无序波动给大坝长久稳定运行带来的各类不利影响。

2.4 自动化智能在线监测

现代水利工程运维管理体系正朝着数字化、智能化与精细化方向深度转型,自动化智能在线监测模式依托高精度传感设备、远距离信息传输链路与云端数据处理平台,搭建集数据采集、传输、存储、分析于一体的完整一体化监测体系。各类适配水工环境的高精度传感装置,批量布设安装于坝体形变关键断面、渗流控制节点及水位观测位置,可自主实时采集结构形变、渗流压力、库区水位、环境温湿度等多类核心监测指标,借助专用网络通道将现场数据同步传输至后台数据管理终端。整套系统能够实现二十四小时全天候不间断自主采集、自动归档与长效信息存储,彻底规避传统人工定期监测存在的时间间隔断层、数据滞后以及人为操作带来的读数偏差与记录误差。后台智能监测平台具备自动分类整理、运行状态智能研判及超标异常自动预警多项功能,可依托内置算法梳理长周期监测序列的变化规律,对偏离正常运行区间的监测指标快速识别并触发预警机制。

3 水库水利工程大坝隐患治理实施策略

3.1 隐患标准化排查与分类研判

水库大坝长期受水文环境、地质条件及结构老化多重因素影响,各类隐性病害会随运行时长逐步显现。依据水利工程安全管理相关规程规范,建立全覆盖式隐患排查体系,对坝体主体、防渗系统、泄水建筑及岸坡基础等关键区域开展系统性摸排。结合构筑物结构形式、建设年代与运行工况,对渗漏通道、结构裂隙、沉降变形等各类病害进行特征甄别,依托隐患影响范围、发展态势及潜在破坏程度完成层级划分。建立隐患信息专属档案,完整收录病害位置、表现形态、环境关联条件等基础内容,形成可追溯的隐患信息台账。以专业技术标准为依托开展隐患成因深度研判,厘清自然环境侵蚀、施工遗留缺陷及长期荷载作用等诱发因素的内在关联,为后续治理方案编制提供严谨依据。

3.2 靶向化工程加固修复处置

大坝各类结构性与渗漏性隐患需依托专业工程技术完成整治修复,结合现场实际工况匹配适配的施工工艺与新型水工材料。坝体表面及内部裂隙按照宽度与深度差异,采用压力灌浆、表层防渗封堵、结构补强浇筑等技术手段,恢复坝体结构整体性与受力性能。坝基及绕坝区域渗流异常问题,通过帷幕灌浆、固结灌浆工艺封堵地下渗漏通道,重构基底防渗屏障体系。岸坡及坝体周边存在滑移风险的区域,运用锚杆支护、混凝土挡护、土体置换压实等方式提升整体稳定性。整治施工全过程遵循水利工程质量管控标准,严格把控工序衔接、材料配比与作业工艺,依照现场水文气候条件合理规划施工周期。施工结束后开展结构性与防渗性能核检,确保修复区域与原有构筑物形成稳定整体,从物理层面根除病害滋生源头,保障大坝承载能力、防渗能力完全契合长期安全运行标准。

3.3 常态化运维管护体系搭建

长效隐患治理需依托规范化日常运维模式作为支撑,健全水利工程管护制度体系,明确大坝各区域管护责任边界与作业标准。依照工程运行属性制定周期性巡检机制,对坝体外观变形、排水设施通畅性、启闭设备运行状态及周边地貌变化开展常态化巡查记录。完善工程运行资料归集管理制度,整合巡检记录、监测数据、历年治理档案等各类资料,形成连贯完整的工程运维履历。定期对安全监测设备、防汛配套设施开展检修校准与保养维护,保障各类设施始终处于正常工作状态。结合季节水文变化特点调整管护重点,汛期强化渗流与结构状态巡查,枯水期开展隐蔽部位病害细致排查。系统化管护模式可及

时捕捉初期微小隐患,延缓结构老化进程,以常态化管控降低重大病害滋生概率,维系大坝长期稳定运行状态。

3.4 应急防控与综合治理联动

水库大坝安全隐患具备动态演化特征,部分病害在极端水文气象条件下易快速恶化,完备的应急防控机制可有效管控风险蔓延态势。结合库区流域地理区位、下游人居布局与产业分布,编制贴合工程实际的险情处置预案,明确风险预警层级、管控范围及处置流程细则。统筹水利管理、防灾减灾、属地管控等相关主体资源,整合专业技术人员、防汛机械物资与抢险保障力量,搭建一体化协同响应框架。定时开展险情模拟推演实训,磨合多主体联动处置流程,优化险情上报、现场管控、下游疏导等环节衔接机制。针对已判定的重大安全隐患划定专属防控区域,布设多级预警传播渠道,完善流域范围内信息传递网络。以应急防控配合常态治理的联动模式,能够有效把控隐患突发演变节奏,弱化工程病害对流域民生发展、生态环境及水利调度秩序造成的冲击,构建全时段全维度的安全治理格局。

4 结语

水库大坝安全监测与隐患治理是水利工程长效运维的关键工作,关乎民生安全与生态稳定。唯有坚持常态化监测、精细化排查、系统化治理,完善全过程管控机制,及时消除各类安全隐患。持续提升大坝防灾抗险能力,健全运维管理体系,才能长久发挥水库工程防洪、灌溉、供水综合效益,守护区域水利安全与生态发展大局。

参考文献:

- [1] 梁颖文.基于现场监测的某水库大坝安全性评估研究[J].陕西水利,2025,(10):157-160.
- [2] 孙燕飞.水库大坝安全监测中自动化监测系统运用研究[J].水上安全,2025,(17):150-152.
- [3] 邓鹏.物联网技术在小水库大坝安全监测中的应用现状[J].中国宽带,2025,21(04):95-97.
- [4] 王洪迪,周明强,杨国俊.数字孪生在猛进水库工程建设中的应用[J].水利技术监督,2025,(05):63-66+80.
- [5] 张建伟,李毅男,张龔,等.基于数字孪生的水库大坝安全监测:关键技术与应用[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2025,46(03):1-9.