

数字化监测技术在水库大坝运行管理中的应用探究

苟松民

巴中市水利局巴中市化成水库运行保护中心 四川 巴中 636000

【摘要】：传统水库大坝运行管理存在数据采集不连续、隐患识别精准度低、运维管控滞后、流程难以溯源等诸多不足，难以适配新时期水利工程安全运行管理需求。本文依托传感感知、物联网传输、时序数据分析及标准化综合监测平台四大核心数字化技术，探究其在大坝安全巡查、渗流变形管控、预警应急、设备运维等关键环节的应用路径。实践表明，数字化监测技术可实现大坝工况数据连续采集、安全异常精准识别、运行管理流程全程追溯，显著提升水库大坝安全防护水平与防汛应急处置效率，为智慧水利建设与大坝长效安全运行提供有力技术支撑。

【关键词】：数字化监测技术；水库大坝；运行管理；智慧水利

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.018

引言

水库大坝是水利防洪减灾、水资源优化调配的核心枢纽工程，其安全稳定运行直接关乎区域民生保障、生态环境质量与经济社会平稳发展。当前，区域内多数水库大坝仍沿用传统人工巡检、周期性定点监测的管理模式，存在数据采集碎片化、风险预判滞后、运维管理粗放、应急处置效率低下等短板，无法精准捕捉坝体细微工况变化，难以满足现代化水利工程智能化、精细化的安全管理要求。随着智慧水利建设的持续推进，数字化监测技术逐步融入水库大坝运行管理体系，凭借全天候自动采集、智能化分析研判、全流程管控溯源的技术优势，成为革新大坝运行管理模式、筑牢工程安全防线的核心手段。基于此，本文结合数字化监测核心技术体系，系统剖析其在水库大坝运行管理各环节的应用价值与实践成效，为水库工程智慧化运行管理体系搭建提供参考依据。

1 数字化监测技术在水库大坝运行管理中的核心应用技术

1.1 传感感知技术

传感感知体系承担水库大坝运行工况原始数据采集的核心职能，监测点位需围绕坝体变形、渗流特性、孔隙水压、结构等开展成套布设，以此实现大坝水情、工程工况、环境参数的全方位、全自动采集作业。坝体位移监测依托卫星导航系统搭建的高精度地表位移观测设备，捕捉监测载体的位移变化规律。渗压监测单元主要由渗压传感器与数据采集终端构成，渗流监测则配套量水堰及堰槽监测设备落地实施。相较于传统人工巡检模式，智能化传感感知体系可实现全天候无人值守数据采集，具备采集频次密集、数值精度稳定的优势，能够精准捕捉坝体细微、迟缓的状态演变规律，有效规避人工监测周期跨度大、数据偏差明显、高危监测区域覆盖不全等实操短板，可为后续数据挖掘分析与安全风险预警工作，供给完备、真实、连续的基础数据支撑。

1.2 物联网传输技术

物联网传输技术承担着前端感知设备与后台管理平台之间的数据对接任务，负责各类监测数据的实时交互、加密传输及稳定投递。水库大坝多坐落于山区与偏远流域，通信条件相对复杂，传统有线方式布线施工困难、运维成本较高且抗干扰性能不足。数字化安全监测体系依托物联网实现现场感知与水库中心分析的数据对接。视频监控站点数据体量偏大，水雨情及大坝安全监测对传输时效与稳定性要求严苛，恶劣天气与突发工况下仍需维持数据稳定交互。结合现场实际工况、水库偏远点位及各类监测需求，视频监控站点适配光纤与公网链路，辅以无线网桥通信模式；水雨情及大坝安全监测采用光纤通信为主体、北斗通信为补充的主备传输架构。

1.3 时序数据分析技术

水库大坝监测数据具备鲜明的时序演变特征，水位、渗流、位移等各项指标均随时间持续变动，静态单点数据难以真实反映坝体运行规律与潜在安全隐患。大坝安全监测技术的实际应用效果，关键在于数据处理与运行管理环节的紧密衔接^[3]。时序研判不应局限于单次监测值与固定阈值的对照，还需厘清水位、温度、降雨等环境因子与坝体结构响应之间的联动规律。整套技术体系可精准甄别监测数据的突变偏差、数值偏移、持续性异常等状态，清晰区分常规工况波动与结构性安全隐患。对海量连续时序监测信息开展清洗筛选、分类与深度研判，剔除外界因素产生的无效干扰数据，搭建动态更新的坝体运行数据库，为隐患排查、防洪调度、突发处置提供精准的数据支撑，改善传统人工经验研判存在的主观偏差与时效滞后问题。

1.4 标准化综合监测信息平台技术

标准化综合监测信息平台是整合各类监测数据、实现运行状态集中管理与可视化展示的核心载体。平台贴合水库建设运维成本、技术条件与管理能力现状，具备落地门槛低、运维简便、适配性强的优势。

该平台依托成熟数据库、基础图表可视化、集成化数据接

口技术,整合水库大坝、库区水系、闸阀设备、全部监测测点的基础信息,统一接入GNSS位移、渗流、渗压、雨量、水位、视频监控等前端设备采集的全量监测数据,搭建一体化水库综合监测数据库,实现所有监测要素统一归集、统一存储、统一调取。

系统将实时监测数据自动汇总至平台主界面,以实时数据表格、趋势曲线、测点标注等简易直观形式展示,分模块呈现坝体渗流流量、坝基渗压、垂直位移与水平位移、库区实时水位、区域降雨量、监测设备在线状态等关键信息,改变以往多套独立监测系统分散查看、数据互不连通的管理短板。水库管理人员登录平台即可一站式查看大坝整体运行指标,快速定位数据超标、设备离线等异常测点,无需切换多个系统调取数据[1]。

2 数字化监测技术在水库大坝运行管理各环节的具体应用

2.1 在安全状态巡查中的应用

安全巡检是水库大坝常态化运维管理的基础性工作。传统人工巡检模式存在覆盖范围受限、作业频次偏低、高危点位排查不到位、台账记录不规范等诸多短板,极易造成细微隐患遗漏和排查工作滞后。数字化监测手段革新大坝安全巡检作业模式,推动人工排查与智能监测的深度融合,搭建起“线上智能感知+线下精准核查”的立体化巡检体系。日常运行管理阶段,前端传感装置与视频监控设备可实现全天候智能值守,全面覆盖坝体表层、坝基、溢洪道、输水隧洞、库区边坡等关键区域,精准捕捉坝体裂缝、滑坡、塌陷、杂物淤积等外观病害问题。数字化巡检平台配套移动端作业设备,规范现场巡检流程,运维人员可依托终端实时上传巡检影像与文字资料,系统自动留存巡检轨迹、作业时段及巡查内容,规避各类巡检疏漏问题[2]。

2.2 在渗流与变形管理中的应用

坝体渗流特性与结构形变是评判大坝安全稳定状态的核心参数,也是诱发渗漏、滑坡、崩塌等险情的关键因素,属于运行管理的重点。传统管理模式依赖周期性人工监测获取离散数据,难以精准把握渗流、变形的动态演化规律,无法提前预判安全隐患。渗流与变形管理工作需整合库水位、降雨、渗流量及位移四类核心参数的时序关联特征,借助系统对渗压、渗漏流量、水平位移、垂直位移等参数进行全天候连续监测。通过时序数据研判,综合比对实时监测值、行业规范阈值与历史常态数据,精准甄别渗流异常、形变超标等不良工况。当量水堰监测流量出现攀升趋势时,可先核实该变化是否同步匹配库水位抬升或降雨过程,再核查周边渗压测点的空间分布状态;若仅单测点数值突变而周边测点稳定,可优先排查传感设备与传输线路故障。渗流监测体系的优化核心在于提升数据采集连续性、降低单点误判概率[3]。

2.3 在预警与应急管理中的应用

预警处置与应急管理是水库防汛减灾、突发事故处置的关键环节,直接影响水库整体安全管理成效。传统预警方式以人工研判、层级上报为主要模式,存在预警时效滞后、等级划分模糊、应急响应迟缓、处置流程混乱等缺陷,无法适配极端暴雨、突发洪水、坝体病害等各类突发工况。结合水利行业规程及水库常态化运行准则,可针对水位、降雨量、渗流状态、结构形变、设备故障等多项维度设定分级预警限值。一旦监测数值触及预警标准,平台可自主启动系统弹窗、短信及移动端消息等多元通知渠道,快速向运维人员、值班人员及相关管理单位推送险情信息,实现险情提前预警、及时告知。突发事故处置阶段,平台动态更新监测数值、险情现状与处置推进情况,完成险情监测研判、应急资源调度、事故处置复盘的全链条管控,有效提升水库防汛减灾及突发险情处置的速度、精度与标准化程度。

2.4 在设备维护管理中的应用

水库坝体结构安全、监测终端、输水建筑物及防汛配套设施的运行状况,共同构成大坝安全管理工作的核心基础。传统设备运维以定期检修、事后抢修的模式为主,存在检修工作盲目性强、运维资源消耗过多、故障处置不及时、设备档案杂乱、运维记录残缺等问题,容易造成设施带故障作业、突发停机等安全隐患,干扰大坝监测及调度工作的有序开展。数字化监测体系可实时采集水库机电装置、监测设备的运行工况、工作参数及运行时长,自动留存设备运行数据、启停状态与故障报错信息[4]。平台依托大数据研判手段,精准预判设备老化趋势与潜在故障风险,推动运管模式由传统被动故障抢修转向主动前置预判维护。结合设备实时工况制定针对性检修方案,可有效规避冗余检修与漏检问题。

3 数字化监测技术在水库大坝运行管理中的应用成效

3.1 运行信息获取更为连续

以往水库大坝监测工作依托人工周期性作业开展,采集间隔跨度较大、数据断层问题突出,仅可获取阶段性离散信息,无法完整还原坝体全天候运行态势,难以捕捉短时突发工况波动。数字化监测体系依托全域传感感知网络与稳定物联网传输架构,对大坝水情工况、设备运行状态、环境参数等多维信息开展全天候高频自动采集与实时传输,突破传统人工监测的时空约束。海量监测数据并非完全具备有效研判价值,需结合完整率、及时率、有效率三类指标完成数据链路质量核验。各类监测信息同步录入数字化管理平台,构筑时序统一、内容连贯完整的坝体运行数据库,精准记录汛期水位骤变、短时强降雨、坝体微变形、渗流动态演变等全过程工况数据,实现大坝运行状态无盲区、无断点的连续全域监测[5]。

3.2 异常识别准确性得到改善

以往大坝隐患排查工作多依托工作人员经验开展研判,识别结果容易受从业者专业素养、实操经验及主观认知干扰,存在异常感知迟钝、隐患判定偏差,以及细微病害漏检、错检等问题,整体风险识别精度偏低。数字化监测体系结合时序数据研判、智能算法分析等多项技术,突破传统人工经验的固有局限,依托海量历史工况数据、常态运行参数及预警限值的多维比对分析,完成坝体运行异常状态的智能精准识别。借助数据关联挖掘与趋势预判手段,提前掌握隐患演变趋势,提升坝体安全异常识别的精度、灵敏度与预判能力,落实隐患早期筛查、科学研判与提前预警的工作目标,从源头强化水库大坝的整体风险防控水平^[6]。

3.3 运行维护处置更加可追溯

传统水库大坝运行管理台账多依托纸质表单或零散电子文件留存资料,普遍存在记录不规范、信息残缺、归档混乱、数据易遗失与检索不便等问题。隐患排查、设备养护、应急处置及调度决策等各项工作,缺少完整的过程存档资料,导致难以实现全流程溯源管控。数字化监测管理平台搭建标准化电子运行管理台账体系,对大坝日常巡检、隐患筛查、异常预警、问题整改、设备维保、应急处置、调度指令落地等全部运行管

理工作,完成自动化实时记录与线上归档^[7]。资料存档过程同步留存原始数据概要、现场影像及阈值迭代版本,便于后续运行管理人员厘清参数调整的场景背景,精准定位坝体长期反复出现的各类病害问题。水库运维工作的开展时间、作业点位、工作内容、作业人员、处置举措、实施成效及复查结果可形成完整数据存档,支持随时检索溯源与统计分析,构建大坝运行管理的全流程闭环管理模式。需要注意的是,该类管理评价指标仅适用于过程管理,无法替代大坝专业安全鉴定工作。

4 结语

数字化监测技术的落地与深度应用,正在深刻革新传统水库大坝的运行管理模式。依托传感知采集、物联网信号传输、时序数据挖掘、一体化综合监测平台四类核心技术的融合赋能,该体系可全面覆盖安全巡检、渗流形变监测、风险预警应急、设备日常养护等核心管理场景,有效弥补传统模式在数据断层、风险预判滞后、运行管理流程粗放、应急响应迟缓等方面的短板。依托体系化的连续监测数据、多维度的交叉核验以及全链条可追溯档案,数字化监测体系能够稳定服务于大坝常态化运行管理,切实强化安全管理质量、防汛减灾能力与险情处置效率,为水库大坝科学化调度、精细化管理、立体化风险防控提供坚实的技术与数据支撑,筑牢新时期智慧水利与数字水库体系建设根基,保障水库工程长期安全、高效、平稳运行。

参考文献:

- [1] 邓来强,王文哲,黄婷.水库大坝渗流监测技术优化研究[J].水上安全,2026,(8):127-129.
- [2] 曹江竹,刘博文.基于物联网的流域数字化安全监测技术应用[J].湖北应急管理,2026,(12):6-8.
- [3] 任新杰,曹卜文.水库大坝安全监测技术及其在维护管理中的应用研究[J].工程建设与设计,2026,(4):217-220.
- [4] 慎东方,周琴慧,张继铭.水库大坝安全监测技术的现状与发展趋势[J].水上安全,2026,(5):134-136.
- [5] 谭柏贤.智能化监测技术在水库大坝安全防护中的应用研究[J].水上安全,2025,(23):122-124.
- [6] 闫宝.水库大坝安全监测技术及应用研究[J].城市建设,2026,(11):66-68.
- [7] 刘君洪.自动化监测技术在水库大坝安全监测中的应用研究[J].水上安全,2025,(22):160-162.