

水库大坝安全自动化监测系统的运行现状与改进措施

蔡镇阳

河南省燕山水库运行中心, 河南 郑州 450000

[摘要] 水库大坝安全稳定运行直接关系到流域内人民群众的生命财产安全和生态环境可持续发展。水库大坝安全自动化监测系统实现了大坝监测从人工化与半自动化向智能化和精细化的转型。文章立足当前我国水库大坝安全自动化监测系统的实际运行情况, 深入剖析系统运行中存在的技术短板、管理缺陷及适配不足等问题, 进一步提升水库大坝安全监测效能、保障大坝长期安全稳定运行, 以供参考。

[关键词] 水库大坝; 自动化监测系统; 运行现状; 改进措施; 安全预警

DOI: 10.33142/hst.v9i2.19158

中图分类号: TV62

文献标识码: A

Operation Status and Improvement Measures of Reservoir Dam Safety Automation Monitoring System

CAI Zhenyang

He'nan Yanshan Reservoir Operation Center, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: The safe and stable operation of reservoir dams is directly related to the safety of people's lives and property and the sustainable development of the ecological environment in the watershed. The automatic monitoring system for reservoir dam safety has achieved the transformation of dam monitoring from manual and semi automated to intelligent and refined. The article is based on the actual operation of Chinese reservoir dam safety automation monitoring system, and deeply analyzes the technical shortcomings, management deficiencies, and inadequate adaptation in the system operation, further improving the efficiency of reservoir dam safety monitoring and ensuring the long-term safe and stable operation of dams for reference.

Keywords: reservoir dam; automated monitoring system; current operational status; improvement measures; safety alert

引言

随着我国水利工程建设的持续加快, 我国水库大坝的数量与规模也不断扩大, 由此带来的安全管理挑战也日益凸显。

大坝长期运行受到地质活动, 自然环境变化, 材料老化等多种因素的影响容易出现一系列的安全隐患, 例如裂缝、坝体变形等, 严重时可导致重大的安全事故发生, 对下游地区生命财产安全造成严重的影响, 同时也对社会发展生态环境造成难以估量的损失。传统的大坝安全监测主要依赖于人工方式, 不仅监测的精度不高, 效率较低, 浪费大量的人力与物力, 而且响应的速度相对滞后, 无法满足现代水利工程对实施精细化的高要求。伴随着人工智能、大数据、物联网等信息技术的快速发展, 在水库大坝安全管理中得到了广泛的推广应用, 能够实现对大坝安全数据的自动采集、高效传输以及智能分析和及时预警, 从而促进监测工作的效率与水平提升。目前, 我国该

系统初步规模化应用, 但受多种因素影响, 运行稳定性、数据可靠性、预警准确性不足, 难发挥核心保障作用。系统梳理运行现状、剖析问题、探索改进措施, 对完善监测体系、提升管理水平、防范风险意义重大。本文围绕系统运行全流程, 从感知、传输、数据、应用四个层面分析, 提出改进方案供参考。

1 水库大坝安全自动化监测系统的核心构成与运行原理

1.1 核心构成

感知层负责采集大坝运行过程中的各类安全相关参数, 是系统运行的基础。数据采集终端负责对传感器输出的模拟信号或数字信号进行采集和预处理与初步存储, 为后续数据传输提供基础。传输层负责将感知层采集的监测数据实时与稳定地传输至数据层, 实现数据的远距离传输与交互。数据层主要由数据和数据处理服务器与数据管理软件组成, 数据库负责存储原始监测数据和预处理数据与

分析结果等各类数据确保数据的安全性与可访问性。应用层负责对数据层处理后的监测数据进行深度分析和可视化展示及安全预警等,通过智能算法分析数据变化趋势和识别安全隐患,为大坝安全管理提供科学的决策依据。

1.2 运行原理

水库大坝安全自动化监测系统按“实时采集—稳定传输—精准处理—智能分析—及时预警”原理运行,各层协同形成闭环管理。感知层传感器实时采集大坝参数,转成电或数字信号,经采集终端预处理后,通过传输层有线或无线通道传至数据层数据库;数据层对原始数据清洗、去噪等处理,剔除异常、修正误差,形成标准化数据;应用层调用标准化数据,用智能算法研判趋势、对比阈值,识别异常,数据超阈值时预警模块自动预警并推送信息,决策支持模块提出处置建议辅助管理;管理人员依预警和建议处置,系统持续监测处置后大坝状态,形成“监测-分析-预警-处置-再监测”闭环。

1.3 系统核心监测指标

大坝安全自动化监测的核心指标围绕大坝结构性态与运行状态展开,涵盖四大类关键指标,各类指标的监测要求与核心作用如表 1 所示。

表 1 水库大坝安全自动化监测要求与核心作用

监测指标类别	具体监测指标	监测要求	核心作用
坝体变形监测	水平位移、垂直位移、坝体沉降、坝体裂缝	采样频率 ≥ 1 次/h, 位移精度 $\leq 0.1\text{mm}$, 裂缝监测精度 $\leq 0.01\text{mm}$	判断坝体是否存在不均匀变形、滑坡等隐患,反映坝体结构稳定性
渗流监测	渗压、渗流量、渗流水质	采样频率 ≥ 1 次/2h, 渗压精度 $\leq 0.5\text{kPa}$, 渗流量精度 $\leq 1\%$	监测坝体、坝基的渗漏情况,防范渗漏引发的坝体破坏
应力应变监测	坝体应力、坝基应力、钢筋应变、混凝土应变	采样频率 ≥ 1 次/4h, 应力精度 $\leq 0.1\text{MPa}$, 应变精度 $\leq 1\mu\epsilon$	反映坝体结构受力状态,判断是否存在应力超标、结构损伤等问题
环境与水文监测	库水位、雨量、气温、水温、上下游水位差	水位、雨量采样频率 ≥ 1 次/30min, 气温、水温 ≥ 1 次/1h, 水位精度 $\leq 1\text{cm}$	掌握大坝运行的外部环境条件,分析环境因素对大坝安全的影响

2 水库大坝安全自动化监测系统的运行现状

目前,我国水库大坝安全自动化监测系统已经初步达成了规模化的应用,该系统正逐步取代传统的人工监测,并有效避免传统人工监测模式的效率低、精度不高等不足,

为大坝的安全预警以及管理提供了有力的支撑。伴随着数字孪生水利建设的深入推进,水库大坝安全自动化监测系统也朝着更加智能化、一体化的方向发展,在具体应用的过程中,提高了监测体系的完备性以及技术的先进性。但是在系统的实际运行过程中也逐渐暴露出一些不足之处。例如,传感器的老化现象比较严重,从而导致监测数据的准确性与全面性受到干扰。不同设备之间的兼容性比较差,系统传输的稳定性不高,同时也存在着较为严重的安全隐患。在数据层中,面对海量的监测数据,而处理能力相对较弱,无法实现监测数据的高效处理与分析,导致数据的质量不高。缺乏完善的数据共享机制,导致数据的流通不畅,无法充分发挥出数据的潜在应用价值。而在应用层面预警的准确性有待进一步提高,因智能分析功能较为薄弱,无法为大坝安全管理提供有效精准的决策依据。这些问题相互影响、相互制约,导致系统的运行效能未能充分发挥,难以满足现代大坝安全管理的精细化、智能化需求,亟需通过系统性的改进与优化,提升系统运行质量与效能。

3 水库大坝安全自动化监测系统运行中存在的核心问题

传感器技术滞后,精度与稳定性欠佳,难适应复杂大坝环境。选型与大坝特性、工况不匹配,关键部位精度不足。校准技术不完善,缺自动化手段,人工校准效率低、误差大,周期不规范,数据精度难保障。常用设备抗干扰技术不足,设备适配性差,不同厂家、类型设备协议不统一、接口不兼容,数据传输不畅。带宽与数据量增长不匹配,老旧线路难满足高频次、大容量数据传输,且缺冗余备份机制,传输中断难恢复。处理算法简单,缺大数据、人工智能深度分析挖掘技术,难挖掘数据关联与规律。存储技术与数据量增长不匹配,小型水库数据库容量不足,有数据丢失风险。质量控制技术欠缺,数据误差、缺失、异常问题突出。智能技术应用不足,难以提前预判与精准预警大坝隐患。缺乏三维可视化、动态模拟技术,难以直观展示大坝结构与隐患。决策支持技术不完善,难结合多源数据综合分析,提不出科学处置建议,应用功能与安全管理融合度低。多数水库缺专业运维团队,人员数量不足、专业能力有限,难完成日常维护等工作。人员岗位职责不明确,存在权责交叉、推诿扯皮现象,影响运行管理效率。缺统一建设、技术、数据、运维标准,系统兼容性与互通性不足,数据难共享。

4 水库大坝安全自动化监测系统的改进措施

4.1 技术优化:完善系统配置,提升技术适配性

紧密围绕大坝的监测需求,运维工况结构特性选择抗

干扰能力强,稳定性强,精度高的传感器,并在坝基、坝体坝肩等关键部位部署传感器,提升监测的全面性与精准性。以传感器的精度要求、运维环境等为依据,定期校准传感器。为了避免人工矫正的误差,提高矫正的效率与精度,建议采用自动化的校准技术,同时及时更换精度不准、老化的传感器。运用谱分析式测量技术提升信号抗干扰能力,在数据采集终端增设本地存储功能,全面保障数据采集的质量。在传输方式的选择上,大中型水库建议以光纤传输为主,小型水库以无线传输为主,合理布设传输线路与无线基站,全面提升无线信号覆盖能力。统一传输接口协议与数据格式,扩大传输带宽,优化传输协议,采用加密技术对监测数据进行加密传输,提升数据传输效率与安全性。引入大数据、人工智能等技术提升数据质量,开发数据深度分析与挖掘算法实现对大坝安全隐患的提前预判,建立数据质量评价体系确保数据质量符合监测要求。引入大数据、人工智能、机器学习等技术,开发智能分析与预警算法,实现对大坝安全隐患的提前预判与精准预警。

4.2 管理完善:强化运维保障,健全管理体系

组建专业的团队,明确各人员的岗位职责,定期组织运维人员参加专业培训,鼓励交流学习,以提高其专业技术水平。加强完善科学完备的运维管理流程,制定规范化的运维管理制度,明确设备检修,传感器校准,故障排查等关键运维环节工作的执行周期以及操作流程,以此确保运维工作可以规范有序的展开,从而实现运维管理的标准化与制度化。建立全面的运维台账,运维台账需涵盖运维工作的全过程,包括设备的运行状态,运维操作的具体情况,处置详情等内容,以此为后续的运维追溯以及制定针对性的决策提供可靠的数据支撑。积极引入人工智能、大数据等运维智能化技术,从而自动、及时的发现设备所存在的故障隐患,并第一时间发出预警信息,以便运维人员能够及时做出相应的处理,在提高运维工作质量与效率的同时控制运维成本。

4.3 标准健全:完善标准体系,强化规范执行

在水库系统的建设与管理过程中,标准健全支撑着整个系统稳定性、规范的运行。基于实际情况,建立统一的建设标准,清晰界定各个功能模块的布局与相互关系,规范系统建设过程。同时对技术要求进行详细明确,从而为系统建设提供技术指引。以水库的地理位置、水文特征,地质条件、功能定位等制定差异化的建设标准,以此确保标准的适用性。同时借鉴成功经验,参考现有的相关标准,对差异化标准进行持续完善与优化。统一传输设备,传感

器等设备的技术标准,对设备的抗干扰能力,稳定性精度等方面的要求进行明确,确保设备的兼容性与互换性。规范数据的储存、传输与共享方式,实现数据的集成和分析,以此提高系统的整体协同工作能力,明确运维工作的周期、流程、标准等,规范运维工作开展。

5 改进措施的实施效果

通过实施一系列针对性的改进措施后,系统的数据采集准确性提高,通过优化传感器的布局选型,改进后的数据采集系统将实现全方位、无死角的覆盖,降低外界干扰对数据采集的影响,以此保证数据采集的完整性。通过采用先进的网络通信技术以及冗余设计,不仅可以有效解决数据丢失问题,而且可以确保数据传输更加安全、稳定。制定统一的数据传输标准与接口规范,改善设备兼容性,增强冗余备份能力。完善数据质量管理体系,保障数据质量的稳定性与一致性。引进先进的智能分析算法与工具,提高分析挖掘能力,运维保障更有力,人员素质提高。

6 结论与展望

水库大坝安全自动化监测系统关乎大坝安全管理与流域安全保障。当前,我国该系统已初步规模应用,但存在感知层数据采集可靠性低、传输层不稳定、数据层处理能力弱、应用层智能水平差,以及管理不规范、标准不完善等问题,影响系统效能发挥。在此基础上,本文通过从技术革新、管理强化、标准完善三个维度提出了一系列具有可操作性、针对性的改进策略。通过对系统的感知层、传输层、数据层以及应用层进行全面的优化配置,不断提高技术的智能化水平,确保数据采集的精准度与效率,实现隐患的精准预测与预警。在管理层面通过完善运维管理制度,注重运维人员的专业技能培训,提升运行管理水平。加强完善标准化体系,制定科学统一的监测标准,接口标准,数据格式标准等,实现规范化运行与数据互通。这些措施立足全链路,能有效解决核心问题,提升系统效能。展望未来,随着数字中国建设与新一代信息技术发展,系统将向智能化、精细化、一体化发展。要加强关键技术研究创新,推动新技术融合,构建一体化动态监测体系,加强数据共享与协同联动,同时注重长期运维与持续优化,确保系统良好运行,助力水利工程安全管理高质量发展。

[参考文献]

- [1]张建云,盛金保,金君良,等.全国水库大坝应急管理存在问题和对策建议[J].中国应急管理科学,2022(9):23-30.
- [2]王敏洁.论述水库监测设施的日常运行及其管理[J].黑龙江水利科技,2023,51(9):143-145.
- [3]王健,王士军.全国水库大坝安全监测现状调研与对策

思考[J].中国水利,2018(20):15-19.

[4]陈述平,杨成群.大坝运行安全监测管理信息系统设计与实现[J].水利规划与设计,2020,0(4):148-152.

[5]谢长江,梁永荣,林艳燕.基于 LoRa 的水库大坝智能安全监测系统研究与实现[J].电气自动化,2021,43(3):16-19.

[6]尹江珊,侯文昂,张士辰,等.我国水库库区管理现状和建议[J].中国水利,2023(16):30-34.

[7]周少良,胡万玲.数字孪生水利工程背景下的大坝安全监测系统建设研究[J].人民珠江,2023,44(12):437-442.

[8]唐世祥,陈康,赵韧,等.振弦式传感器在大坝安全监测系统中的应用及施工期监测分析[J].水利水电技术(中英文),2020,51(12):361-366.

[9]马瑞,董玲燕,义崇政.基于物联网与三维可视化技术的大坝安全管理平台及其实现[J].长江科学院院报,2019,36(10):111-116.

作者简介:蔡镇阳(1997.10—),毕业院校:长春科技学院,所学专业:金融学,当前就职单位:河南省燕山水库运行中心,职务:助理工程师,职称级别:初级。