

# 水利工程设施安全监测与长效管控机制研究

王萍

新疆维吾尔自治区金沟河流域水利管理中心

DOI:10.32629/etd.v7i4.20260

**[摘要]** 本研究聚焦于水利工程设施安全运行的核心需求,系统剖析了当前安全监测体系存在的技术与管理短板。研究指出,监测数据利用不足、管护责任虚化、设施老化与环境变化叠加构成了长效管控缺失的主要风险源。针对上述问题,本文构建了一个涵盖监测布设优化、数据闭环处置、责任融合清单、健康档案评估及执行力考核反馈的协同运行机制框架。该框架强调技术手段与管理制度的深度融合,旨在实现安全风险由被动应对向主动预警、长效防控的根本转变,为提升水利工程全生命周期安全管理水平提供系统化路径。

**[关键词]** 水利工程; 安全监测; 长效管控; 风险识别; 协同机制

**中图分类号:** F416.9 **文献标识码:** A

## Research on Safety Monitoring and Long term Control Mechanism of Water Conservancy Engineering Facilities

Ping Wang

Jingou River Basin Water Conservancy Management Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region

**[Abstract]** This study focuses on the core requirements for the safe operation of water conservancy engineering facilities, and systematically analyzes the technical and management shortcomings of the current safety monitoring system. Research has pointed out that insufficient utilization of monitoring data, virtualization of management and protection responsibilities, aging facilities, and environmental changes are the main risk sources of long-term control deficiencies. In response to the above issues, this article constructs a collaborative operation mechanism framework that covers monitoring deployment optimization, data closed-loop disposal, responsibility fusion list, health record evaluation, and execution assessment feedback. This framework emphasizes the deep integration of technical means and management systems, aiming to achieve a fundamental transformation of safety risks from passive response to active warning and long-term prevention, and provide a systematic path for improving the safety management level of water conservancy projects throughout their entire life cycle.

**[Key words]** water conservancy engineering; Safety monitoring; Long term control; Risk identification; collaboration mechanism

### 引言

水利工程设施是国民经济和社会发展的基础,也是防洪安全、供水保证、生态健康、公共安全的根基。随着许多水利工程项目进入运维期,设施老化、环境变化、管理的复杂程度三者互相交织,传统的安全管理模式遇到很大的难题。安全监测是感知工程状态的眼睛,长效管控是保证工程健康持续发展的动力<sup>[1]</sup>。目前两者常常出现脱节的现象,监测不能有效地推动管控,管控缺少了依靠监测数据的科学决策支持,造成风险预警迟缓、隐患处置不力。因此,探究创建起安全监测同长效管控的协同运作机制,达成从“监测感知”到“管控维护”的无缝对接和

闭环管理,有着急迫的现实意义和长远的战略价值。本文主要从现状问题入手,找出主要的风险,给出的一套可以操作、可以迭代的协同机制建立路径。

### 1 水利工程设施安全监测的现状与问题指向

#### 1.1 现有安全监测体系的主要构成与技术手段

目前水利工程的安全监测系统一般是由变形监测、渗流监测、应力应变监测、环境量监测等组成系统的。技术手段从传统的光学仪器、测压管发展到现在的全球导航卫星系统、测量机器人、光纤传感、无人机遥感和各种智能传感器<sup>[2]</sup>。自动化采集系统逐步被应用,监测数据由原来的只能人工读取变为可

以远程传送。监测内容包括坝体、边坡、泄水建筑物、闸门启闭设备等主要部分,基本采用定期巡检和定点观测相结合的方式。但是该体系大多只重视数据的收集和积累,缺少对数据进行深层次分析和及时应用的能力。

### 1.2 当前运行管理中暴露的典型薄弱环节

水利工程设施运行管理中存在着很多典型性的薄弱环节。第一,监测项目的设置具有惯性,不能根据工程实际运行年限和工况的变化而做出相应的调整,部分监测点失效或者冗余。第二,监测数据分散,各个系统之间数据格式不一样,没有统一的数据治理平台,造成数据孤岛现象<sup>[3]</sup>。第三,预警阈值的确定大多依据设计规范或者历史经验,静态阈值不能适应不断变化的运行环境,造成误报或者漏报。第四,监测和日常运维管护流程衔接不好,监测人员和巡查维护人员职责相分离,信息共享、协同作业的机制不健全。这些薄弱环节使监测系统不能发挥出它的风险前瞻感知和决策支持的主要作用。

## 2 长效管控机制缺失的核心风险识别

### 2.1 监测数据利用不充分与预警滞后风险

大量的监测数据沉睡在数据库里。数据分析大多只是简单的对比和报表的生成,并没有对数据时序特征、关联关系以及演化趋势做深入的研究。坝体渗流量同库水位、降雨量的多元耦合关系分析不够,不能准确找到异常渗流的真正原因。预警模型简单,一般用单指标超限报警,对于多指标协同异变的综合研判能力差。数据利用浅表化造成风险预警滞后,一般在隐患发展成险情的时候才被发现,失去了最好的处置时机。黄河下游某引黄闸的监测数据显示,该闸墩位移在汛前就出现了微小但持续的趋势性变化,但是没有设置趋势预警规则,直到位移量接近规范限值时才触发报警,增加了工程处突成本<sup>[4]</sup>。

### 2.2 管护责任落实不到位与制度执行偏差

水利工程设施安全管控责任在制度文本中有所体现,但是执行过程中容易产生衰减和偏差。谁管事、谁负责原则具体到每个岗位职责的描述上没有具体化,对于监测预警响应、交叉巡查验证等协同性的事务责任边界不清楚。日常巡查缺乏针对性,检查记录模板化,不能反映设施的细微缺陷<sup>[5]</sup>。因为没有对制度执行的监督、考核机制,导致管护标准在执行过程中被降低。责任链条没有形成闭环,从问题发现、上报、审批到处置、反馈等环节很多,周期长,容易造成小隐患变成大问题。

### 2.3 设施老化与外部环境变化叠加的失效风险

水利工程材料及结构在服役期间会经历性能劣化过程,比如混凝土的碳化、钢材的锈蚀、止水材料的老化等。同时外部环境也在发生着变化,由于极端气候事件频繁出现,水文条件变得越来越复杂,库区地质灾害的风险增大,人类活动给工程周边环境带来的影响也越来越大。老化规律和环境变化效应不是简单的相加,会形成非线性的耦合加速破坏效应。以运行几十年的土石坝为例,坝体材料受干湿循环、冻融循环的影响,强度会逐渐降低,如果遭遇超过原设计标准的高水位长时间浸泡,那么它的滑坡失稳风险就会急剧增大。目前现有的管控机制对于这种

长期时变性风险和突发环境荷载的叠加效应没有进行系统的评价和预案的准备。

## 3 水利工程设施安全监测与长效管控协同运行机制的构建路径

### 3.1 分级分类的监测布设与阈值动态调整

建立协同机制的第一条途径就是让监测布设更加细致,预警标准更加动态。必须抛弃一刀切的监测方式,根据工程等级、结构类型、服役阶段和运行工况实行分级分类管理。对高坝大库、重要堤防等一类工程来说,监测网络要全覆盖、高密度、高频次;对小型水库、一般水闸来说,可以集中于关键的薄弱部位,改善监测资源的配置。根据工程等级和服役年限来确定监测频次是十分重要的,服役超过设计基准期的工程要加密变形和材料性能监测。关键断面及隐蔽部位传感器布置规则要明确,坝体内部、输水涵管、穿堤建筑物接合部等处应采用内外结合的方式进行监测,不能有盲区。预警阈值应该实行动态管理,创建起季节性水位变动时的预警阈值修正办法。汛期和非汛期、高水位运行期和低水位检修期的坝体渗流压力、变形速率的安全阈值要经过科学的调整,可以通过历史监测数据统计分析结合数值模型反演来确定,使预警更加贴近工程实际的状态。下表给出一种按照运行工况进行变形监测预警阈值动态调整的示例。

表1 某混凝土坝坝顶水平位移预警阈值动态调整示意

运行工况	库水位区间	常规预警阈值 (mm)	加强预警阈值 (mm)	说明
非汛期	低水位以下	±15	±20	基准值
汛前	低水位至正常水位	±18	±25	考虑水位上升速率
主汛期	正常水位至设计洪水水位	±25	±35	考虑高水位持续作用
汛后	水位消落期	±20	±28	考虑水位骤降影响

### 3.2 异常数据的快速识别与闭环处置流程

水利工程设施监测数据的价值主要体现在对异常的快速发现和响应上。必须制定统一的监测数据实时清洗和异常波动判定标准。数据清洗规则要过滤掉仪器噪声、通信干扰这些无效数据,异常判定要依靠统计过程控制办法,比如设定移动平均线控制范围,或者用机器学习算法找出偏离正常模式的离群点。在此基础上建立高效的三级预警响应机制。一级预警由现场班组处理,对轻微超限或者趋势刚刚出现的异常予以初步检查并上报;二级预警由管理站所牵头,开展专业技术分析并实施现场核查;三级预警由工程管理局或者其他部门牵头,启动应急预案,调集相关力量对重大险情进行处置。关键是建立从预警发布、现场复核、方案制定、工程处置到最终销号的闭环台账管理系统。每一次预警的产生、传递、处理、反馈的全部过程都要在线进行记录,有迹可循,责任到人,保证风险处置无死角、无后遗症。

### 3.3 管护责任清单与日常巡查融合制度

将水利设施监测和管护责任深度融合起来,就是打破专业壁垒。应制订出分部位、分频次的巡查路线和记录标准,将自动化监测点和人工巡查点在地图上进行整合,确定最佳巡检路线。巡查记录不能只是简单的“正常”或者“异常”勾选,而应该包含对设备外观、运行声音、周边环境变化的定性描述,还要和对应位置的监测数据自动关联对比。创建起监测数据异常同巡查成果互相验证的责任绑定机制。当监测系统发出某个部位异常信号的时候,系统会自动生成工单,将该工单发给责任人,在规定时间内去现场开展专项巡查验证工作,将巡查结果及监测数据一同上传到系统中,供之后作出决策时参考使用。同时还要制定出跨汛期和非汛期的管护任务转换表。汛期重点检查防汛设备、泄洪设施、渗流出口,非汛期主要做检修维护、缺陷处理、资料整理。清单确定任务内容、标准、责任人、完成时限,使管护工作标准化、周期性地切换。

### 3.4 设施健康档案构建与周期评估方法

为每一个重要的水利设施创建数字化的健康档案,这是进行全生命周期管理的前提。健康档案的主要部分就是单座设施的监测数据时序建档和趋势分析。需要把历史和实时监测的数据结合起来,绘制出关键物理量(位移、渗压、应力)随时间、水位、温度等变量变化的曲线以及相关关系图,清楚地显示设施“生命体征”变化的过程。根据档案,每年进行一次安全状况综合评定及风险等级修订。评定不能只看当年数据是否超限,还要分析长期变化趋势是否出现转折、加速或者发散等不利的迹象。根据综合设计复核计算、现场检测、监测分析等各方面的信息,采用专家打分或者风险矩阵等方法对设施风险等级进行更新,每年更新一次。最后落实以评定结果为依据的维修加固优先级排序。把资源优先投向风险等级高、趋势恶化的工程及部位,使维修决策由原来的“按计划安排”变为现在的“按状态需求”,提高资金和资源的利用效率。以某座通过趋势分析发现坝基扬压力不断缓慢上升,相关系数增大为例,如果目前数值还没有达到警戒值,那么就应将该工程的维修加固优先级提高,安排专题勘探和加固设计。

### 3.5 基层执行力的考核与反馈改进机制

再好的机制也需要有执行力来保证。必须创建起一个可量化的、可追踪的基层执行力考核体系。水利设施核心指标有监测设备完好率和数据有效率。设备完好率考核传感器、采集单元、通信链路的可靠性,数据有效率考核采集数据的完整性、及时性、准确性。这两个指标直接反映的是监测系统基本

运行状况。另外还要建立超限未处置事件的倒查和责任追究制度。对系统已经预警但是没有在规定时间内响应和处置的事件进行回溯分析,找出是技术误报、流程堵塞还是人为失误造成的,并对相应的环节进行追责。更重要的是要创建起季度运行管理缺陷分析以及制度修订流程。定期召集管理、技术、巡查人员对本季度预警处置、巡查发现、设备运行等情况进行回顾,从管理流程、技术标准、协调衔接三个方面进行系统的分析。将分析结果转换成具体的制度修订意见,动态改善监测布置方案、预警阈值、巡查清单或者处置流程,让整个协同运作体系具有自我学习、不断改良的特性,塑造起“实践-反馈-改善”的良性循环。

## 4 结束语

水利设施安全属于一项必须长期坚持、细致开展的管理工作。本文通过对安全长治久安的系统分析得出结论,只有打破监测和管控之间的壁垒,使两者深度融合、协同运作才能达到安全长治久安的目的。所提出的建立路径从动态精准的监测预警开始,通过高效闭环的处置流程、清晰明确的责权清单、持续跟踪的健康档案最后回到执行力考核和制度更新上形成闭环。该机制认为技术是管理的助力,管理是技术的引领,有效实施会大大提高水利工程风险早发现、早预警、早处置的能力,使安全管理由被动应对转向主动保障,为水利工程的长周期安全稳定运行提供有力的制度和技术支撑。随着物联网、大数据、人工智能等新技术的深入应用,该协同机制将会得到更强的技术支持,它的智能化、自适应性也会得到进一步的提高。

## [参考文献]

- [1]刘本宁,孙正明,阿拉坦,等.水利水电工程安全监测系统设计与实现[J].海河水利,2023(3):105-107.
- [2]刘岩,侯文昂,杜镇瀚,等.北斗系统在水利工程安全监测中的适用性思考[J].水利水电工程学报,2024(6):1.
- [3]王翔,郑淇文,张志勇,等.高质量发展阶段中国水利工程安全监测现状及提升策略[J].水利水电快报,2023,44(3):76-83.
- [4]纪传波,李少林,刘光彪,等.水利工程安全监测测值过程线标准化集成与应用[J].人民长江,2023(S1):156-159.
- [5]陈勇旭,张红.基于监测-检测数据的引水隧洞缺陷识别与风险评价[J].科学技术与工程,2025,25(33):14436-14445.

## 作者简介:

王萍(1991--),女,汉族,河南永城人,大学本科,水利工程中级,研究方向水利工程建设管理。