

智能预警技术在水利安全管控中的应用

闫亚明

河南省水利第二工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要：水利安全管控是流域防洪减灾、水利工程长效运行的核心保障，传统人工巡查管控模式存在监测滞后、隐患识别不全、研判主观性强等诸多短板。本文以智能预警技术为研究核心，梳理水利安全管控的现存难点，系统阐述数据感知、大数据预处理、AI研判、物联网传输等核心技术体系。结合水库大坝、河道堤防、山洪灾害、水利工程运行四大实际场景，分析智能预警技术的具体应用方式，介绍管控系统架构与运行机制。研究旨在推动水利安全管控从被动处置转向主动防控，为水利工程智能化、精细化安全管理提供实践参考。

关键词：智能预警技术；水利安全管控；具体应用；运行机制

引言：现阶段，我国各类水利工程设施分布广泛，流域水情环境复杂多变，极端天气引发的水利安全风险逐年增多，对水利安全管控的时效性、精准性提出了更高要求。随着物联网、大数据与人工智能技术的普及，智能预警体系逐步应用于水利管控领域。本文立足水利安全管控实际工作场景，探究智能预警核心技术与落地应用，完善智能化管控运行机制，助力水利安全防控体系提质升级。

1 水利安全管控与智能预警技术基础概述

1.1 水利安全管控核心内容与管控难点

水利安全管控涵盖水库大坝、堤防、渠系等工程结构安全监测，流域洪水、山洪灾害防范，水利设施运行隐患排查等多项工作。传统管控模式多依靠人工定期巡查，信息采集存在滞后性。受流域范围广、监测点位分散、极端天气不确定性影响，人工手段难以持续捕捉细微风险变化。同时各类监测数据分散存储，信息互通不畅，风险研判高度依赖管理人员经验，容易出现隐患发现不及时、风险等级判定偏差等问题。

1.2 智能预警技术核心内涵与技术特征

智能预警技术依托监测感知设备采集现场实时信息，结合数据处理、风险模型开展自动分析，在风险达到临界阈值时主动推送预警信息。该技术具备实时连续采集、自动化分析研判、分级推送通知的特点，能够实现全天候不间断监测。区别于传统阈值报警，智能预警可结合历史数据、工况变化开展趋势预判，由事后报警转向事前风险识别，提升风险识别的科学性。

1.3 智能预警技术适配水利管控的核心优势

将智能预警引入水利安全管控，能够弥补人工巡查时空限制，持续掌握水利工程与流域水情动态。通过统一汇聚各类监测数据，实现多源信息综合分析，降低人

为判断带来的误差。预警信息可分层传递至各级管理岗位，缩短应急响应准备时间。依托长期监测数据持续优化研判模型，逐步提升隐患识别精度，推动水利安全管理从事后处置模式，转变为风险前置防控模式^[1]。

2 水利安全管控智能预警核心技术

2.1 水利数据感知与采集技术

数据感知采集是水利智能预警的基础底层技术，主要实现水利全域要素的实时、精准采集，为后续预警分析提供原始数据支撑，核心分为两类采集模式。（1）环境水文数据采集，依托水位计、雨量传感器、流速流量计、水质监测探头等专业设备，定点布设与移动监测相结合，实时采集流域水位、降雨量、水流速度、水体含沙量等基础水文参数，覆盖河道、水库、灌区等重点水利区域。（2）工程状态数据采集，通过渗压计、沉降监测仪、位移传感器、应变监测设备，对大坝、堤防、水闸等水利工程的渗流、沉降、位移、结构形变等关键指标进行全天候采集，精准捕捉工程结构细微状态变化，数据采集频率可根据汛期、枯水期等场景动态调整。

2.2 大数据分析 with 数据预处理技术

水利监测数据体量庞大、类型繁杂、冗余信息较多，大数据分析 with 预处理技术是保障预警精准度的关键前置环节。（1）数据标准化处理，针对多设备、多维度采集的异构数据，统一数据格式、采集频次与计量标准，消除不同监测设备、不同区域监测数据的口径差异，实现水文数据与工程监测数据的规范化整合。（2）数据清洗与筛选，通过算法剔除监测过程中因设备故障、环境干扰产生的异常数据、空白数据与重复数据，保留有效监测样本。（3）数据分类归档，按照水情数据、工程数据、气象数据进行分类存储，构建结构化水利数据库，为智能研判模型提供规整、可靠的数据

样本。

2.3 AI智能研判与风险识别技术

AI智能研判技术是水利智能预警的核心算力支撑,依托机器学习、深度学习算法实现风险自主识别与分级判定。(1)模型训练优化,基于历史水利灾害数据、工程故障数据、历年水文监测数据,训练适配不同水利场景的风险研判模型,拟合水情变化、工程形变与安全风险的关联规律。(2)实时风险研判,将预处理后的实时监测数据导入模型,对比安全阈值与历史工况数据,自动识别洪水、渗漏、坍塌等安全隐患。(3)风险分级判定,结合行业水利安全规范,对识别的风险进行等级划分,区分一般隐患、重点隐患、重大风险,为差异化预警处置提供依据。

2.4 物联网联动预警与信息传输技术

物联网技术实现水利监测设备、分析平台与管控终端的互联互通,保障预警信息高效、稳定传输。(1)设备联动组网,依托5G、物联网专网、北斗通信等技术,搭建全域水利监测组网,实现各类感知设备联网运行、同步采集、数据互通,解决传统监测设备独立运行、数据孤立的问题。(2)信息实时传输,采用低延迟、高适配的传输协议,将现场采集数据、平台研判结果实时上传至水利管控平台,保障数据传输的时效性与完整性。(3)分级预警推送,根据风险等级,联动平台终端、手机客户端、预警广播等设备,定向推送预警信息,实现水利安全风险的全域联动预警覆盖^[2]。

3 智能预警技术在水利安全管控中的具体应用

3.1 水库大坝安全风险智能预警管控

水库大坝为水利枢纽核心挡水建筑物,其结构稳定性、渗流状态、运行形变直接决定流域防洪安全与蓄水安全。智能预警技术围绕大坝静态结构监测与动态运行监测,实现全时段、全维度风险管控,替代传统人工周期性巡检模式,落实精细化管控标准。(1)大坝渗流安全智能监测预警。在大坝坝体、坝基及两岸山体布设渗压计、渗流量监测设备,实时采集坝体渗透压力、渗流量、渗水浊度等核心参数。系统依托预设的大坝安全监测规范阈值,实时比对监测数据,精准捕捉坝体异常渗流、集中渗漏、坝基渗透变形等隐患,针对渗流数据突变、持续攀升等异常工况自动触发预警,规避管涌、流土等大坝险情。(2)大坝变形智能监测预警。采用GNSS位移监测系统、静力水准仪、倾角传感器等设备,对大坝坝顶、坝坡、关键断面的水平位移、垂直沉降、倾斜形变进行全天候监测。设备按照固定频次采集形变数据,通过大数据比对历史基线数据与同期工况数据,

识别大坝缓慢形变、不均匀沉降等隐性风险,实现微小形变隐患的早发现、早甄别。(3)水库水文工况联动预警。结合库区水位、入库流量、出库泄洪流量监测数据,联动大坝运行工况,构建水库蓄水、调洪、泄洪全流程智能监测体系。针对汛期水位超警戒、入库洪峰叠加、泄洪设施工况异常等情况,系统自动匹配大坝承载标准,输出分级预警信息,为水库调度、大坝安全防护提供数据支撑。

3.2 河道堤防防汛防涝智能预警管控

河道堤防是流域防洪排涝的主要屏障,具有线路长、覆盖范围广、隐患点位分散的特点。传统堤防管控存在巡查盲区、数据滞后、隐患排查不全面等问题,智能预警技术通过全域布控、实时监测、动态研判,实现河道堤防防汛防涝的常态化精准管控。(1)河道水情动态智能监测。在河道干流、支流关键断面布设水位、流速、流量在线监测设备,实时采集河道水文动态数据。系统持续追踪水位涨幅、水流流速变化趋势,对比防汛警戒水位、保证水位标准,针对水位超限、流速突增、河道涨水过快等情况启动预警,精准覆盖汛期河道涨水、短时强降雨致涝等风险场景。(2)堤防结构隐患智能感知。沿堤防堤身、堤脚布设沉降、位移、裂缝监测传感器,结合视频智能监控设备,全方位监测堤防运行状态。重点识别堤身裂缝扩张、堤体沉降变形、边坡滑移、堤脚冲刷掏空等结构性隐患,通过视频智能识别技术实时抓拍堤防漫水、渗漏、塌陷等现场情况,实现隐患点位精准定位。(3)河道积涝智能预警管控。针对城市河道、低洼河段、支流汇流区域,结合雨量监测数据与河道蓄水能力,构建积涝研判模型。系统结合实时降雨、河道水位、管网排水工况,预判区域积水深度、积涝范围与持续时长,对短时强降雨引发的河道壅水、区域内涝风险进行分级预警,辅助防汛排涝精准施策^[3]。

3.3 山洪地质灾害智能监测预警管控

山区流域地形复杂、河道狭窄、汇流速度快,短时强降雨极易引发山洪、滑坡、泥石流等次生地质灾害,具有突发性强、破坏力大、预判难度高的特点。智能预警技术依托空天地一体化监测手段,实现山洪地质灾害的前置监测与精准预警。(1)降雨汇流智能监测预警。在山区小流域全域布设高密度雨量监测站点,结合气象遥感数据,实时采集区域降雨时长、降雨强度、累计降雨量数据。系统基于山区流域汇流特性,构建降雨-汇流研判模型,实时计算流域汇流量与洪峰到达时间,针对超阈值降雨、短时暴雨集中区域,提前发布山洪预警信息。(2)山洪水势动态研判预警。在山区河道卡口、村

镇临河断面布设水位、流速监测终端,实时追踪山洪起涨、演进、消退全过程。通过比对历史山洪工况数据与河道行洪能力,精准判断山洪风险等级,识别河道断流异常、洪水突涨、河道漫溢等危险工况,解决传统山洪预判滞后、覆盖不全的问题。(3)边坡地质灾害联动预警。针对山区河道两侧边坡、山洪易发区隐患点位,布设土体含水率、岩土位移、裂缝监测设备,同步联动水情、雨情数据。系统结合降雨入渗、土体形变参数,研判边坡滑坡、泥石流等地质灾害风险,实现水情灾害与地质灾害的联动监测、同步预警。

3.4 水利工程运行隐患智能排查预警

水闸、泵站、灌区渠系、调水工程等各类水利配套工程,长期处于连续运行状态,机械故障、结构老化、运行失稳等隐患频发。智能预警技术应用于工程设备运行监测、工况研判、隐患排查等环节,实现水利工程常态化安全管控。(1)水工设备运行状态监测。针对水闸启闭设备、水泵机组、电气控制系统等核心设施,布设运行参数监测终端,采集设备运行转速、负荷、温度、振动、电流电压等基础数据。系统实时比对设备额定运行参数,识别设备过载、异常振动、温度超标、启停故障等运行隐患,实现设备故障实时预警。(2)渠系工程安全智能管控。在灌区主干渠、支渠、渡槽、倒虹吸等工程点位,布设水位、流量、结构形变监测设备。实时监测渠系输水流量、渠道水位、结构沉降与裂缝变化,精准排查渠道渗漏、渡槽形变、管道淤积、输水不畅等隐患,保障调水、输水、灌溉工程稳定运行。(3)工程运行工况智能研判。依托长期积累的工程运行数据,构建设备工况研判模型,对比不同季节、不同输水负荷下的设备运行规律,甄别常态化微小异常与隐性老化隐患,实现从故障事后处置向隐患事前预警转变,保障各类水利工程长期安全稳定运行^[4]。

4 智能预警水利管控系统架构与运行机制

智能预警水利管控系统依靠标准化架构与完整运行流程支撑风险防控工作。(1)系统整体层级架构设计:

智能预警水利管控系统采用分层模块化四层架构,层级分工清晰、拓展性良好。感知层布设水文、结构监测传感器与采集终端,完成现场原始数据采集;传输层借助5G、物联网专网、北斗通信实现数据传输加密交互;平台层集成数据处理、智能研判、预警管理模块,承担系统运算调度;应用层面向各级管理单位,提供查询、预警推送、应急调度等可视化业务功能。(2)数据流转与预警触发机制:监测数据汇总后开展清洗、归一化处理,导入分析模型开展风险研判,指标突破阈值或识别异常工况时自动启动分级预警,全程留存日志资料,实现预警流程可追溯。(3)多级联动预警响应运行流程:系统构建市、区县、乡镇分级响应体系,一般风险由基层处置报备,中、重大风险逐级上报分发预警信息,联动各相关岗位,形成监测、研判、预警、处置闭环流程^[5]。

结束语:本文系统梳理了智能预警技术在水利安全管控中的技术体系与应用场景,明确了分层系统架构与闭环预警运行流程。智能预警技术有效弥补了传统水利管控的短板,可实现水利工程隐患、流域水情风险的全天候精准监测与前置预判,大幅提升水利安全防控的科学化、规范化水平。后续需持续优化研判模型,完善多级联动机制,进一步发挥智能技术赋能作用,夯实水利工程安全运行保障基础。

参考文献

- [1]林浩,王斌.水利安全管理中智能遥感技术的多维度应用研究[J].中国高新科技,2026,(3):139-141.
- [2]房淑文.水利工程智能预警系统关键技术构建与实证[J].水上安全,2026,(10):46-48.
- [3]刘向华,靳伟.水利工程中大坝安全监测数据的智能分析与预警机制研究[J].中国高新科技,2026,(2):32-34.
- [4]张静明,贾星星.水利水电工程运行安全监测与智能预警方法[J].大众科学,2026,47(6):185-187.
- [5]董伟.水电站基于人工智能技术的数字安全管控研究与应用[J].电力设备管理,2026,(4):252-254.