

智慧水务体系下病险水闸除险加固信息化运维与施工技术研究

和 侠

新疆维吾尔自治区塔里木河流域喀什噶尔河水利管理中心 新疆 喀什 844000

摘 要:为解决传统病险水闸除险加固施工精度不足、运维管理粗放、风险预警滞后等行业难题,本文依托智慧水务四层架构,融合物联网、BIM、数字孪生与人工智能技术,研究智能化病害检测、精准加固施工与全过程智能管控方法,搭建标准化信息化运维体系。经实际工程应用证实,该模式可有效提升施工质量、运维效率与安全管控水平,降低综合运维成本,为水闸工程智慧化改造提供可靠的技术支撑与实践参考。

关键词:智慧水务体系;病险水闸;除险加固;信息化运维;施工技术

引言:水闸是流域防洪、水资源调配的重要水利基础设施,多数老旧水闸长期服役后出现结构开裂、基础沉降、设备老化等病害,安全运行隐患突出。传统除险加固及运维模式智能化水平偏低,存在病害识别不准、施工管控薄弱、运维流程不规范等问题。基于智慧水务数字化技术体系,本文开展病险水闸智能施工与信息化运维研究,旨在构建全生命周期管控模式,全面提升水闸工程安全保障与精细化管理能力。

1 智慧水务体系与病险水闸核心理论概述

1.1 智慧水务体系核心架构与技术支持

(1)智慧水务体系整体框架采用感知层、传输层、平台层、应用层四层架构。感知层通过部署各类传感器实现水位、流量、应力等参数采集;传输层依托有线与无线网络实现数据可靠传输;平台层集成数据存储、处理与分析能力,提供统一数据服务;应用层面向具体业务场景,支撑运行监测、调度管理等应用功能^[1]。(2)核心支撑技术包括:物联网感知技术实现多源数据实时采集与边缘计算;大数据分析技术完成数据清洗、关联挖掘与趋势预测;BIM可视化技术构建设施三维数字模型,实现结构状态直观表达;数字孪生技术建立物理水闸与虚拟模型实时映射,支撑仿真推演;人工智能预警技术基于机器学习算法实现异常识别与风险预判,各项技术与水利工程强不确定性、长服役周期等特性深度适配。(3)智慧水务在水闸工程中的应用优势体现在:实现工程状态全天候实时监测,完成多源异构数据精准分析,基于智能算法实现风险早期预警,通过数字化手段支撑运维高效管控,全面提升水闸安全管理水平。

1.2 病险水闸界定标准与主要病害类型

(1)病险水闸判定依据《水闸安全鉴定规定》等

行业规范,从结构安全性、运行可靠性、设备完好性三个维度综合评判,将水闸安全类别划分为四类,其中三类、四类闸界定为病险水闸,需采取除险加固或重建措施。(2)常见结构病害包括:闸室混凝土结构开裂(温度应力与荷载耦合作用)、基础不均匀沉降(地基处理缺陷或渗透变形)、渗漏渗透(止水失效与结构损伤)、护坡砌体破损(冻胀与水流冲刷)等,各类病害相互关联、逐步演化。(3)设备与运维病害包括:启闭设备老化(机械磨损与锈蚀)、电气系统故障(绝缘老化与保护失灵)、监测设备缺失(测点不足与仪器失效)、人工运维疏漏(巡检不到位与记录不规范)等功能性问题,直接影响工程安全运行。

1.3 病险水闸除险加固与信息化运维核心需求

(1)施工技术需求涵盖:精准化病害处置(定位定量修复)、精细化结构加固(针对性补强方案)、绿色高效施工(资源节约与环境友好)、施工过程动态管控(进度质量安全协同)。(2)信息化运维需求包括:实时状态监测(多参数在线感知)、故障智能诊断(异常自动识别与定位)、数据动态溯源(全过程可追溯)、运维流程标准化(制度规范与闭环管理)、风险提前预警(趋势研判与分级响应)。(3)智慧水务适配需求体现为:施工数据与运维数据无缝互通、全生命周期数字化管控(设计施工运营一体化)、体系标准化适配升级,实现病险水闸从除险加固到长效管理的智慧化转型。

2 智慧水务下病险水闸除险加固智能化施工技术研究

2.1 基于智能感知的水闸病害精准检测技术

(1)多维度智能监测布设:集成北斗卫星定位、无人机航测、水下机器人探查与固定式传感器阵列,构建空天地水一体化监测体系。在水闸关键断面布设结构

应力、渗流压力、位移变形等多类型传感器,实现从水上结构到水下基础的全域感知覆盖,保障监测数据全面性、代表性与连续性,为后续病害识别提供高质量数据源。(2)病害智能化识别技术:基于深度学习图像识别算法与结构健康监测数据,建立涵盖裂缝形态、渗漏区域、沉降分布等病害类型的特征库。通过对巡检影像与传感数据的联合分析,自动完成病害智能分类与边界提取,识别精度与效率较人工巡检显著提升,有效降低漏检误判概率,大幅提升检测工作的科学性与可靠性^[2]。

(3)病害数据预处理与分析:采用小波变换与卡尔曼滤波算法对原始监测数据进行降噪处理,剔除环境干扰与异常跳变信号,还原真实反映结构状态的有效信息。结合数理统计方法与有限元模型对数据进行筛选与建模分析,精准定位病害空间坐标、判定病害严重等级,为加固方案设计提供量化可靠的决策依据。

2.2 病险水闸核心部位智能化除险加固施工技术

(1)结构渗漏加固技术:针对不同渗漏类型与严重程度,采用智能注浆系统实现压力与流量自动调控的精准注浆防渗施工,配合高性能密封胶止水工艺及防渗层翻新技术,形成多点同步注浆、定向封堵渗漏通道与面域防渗覆盖相结合的成套工艺体系,满足多样化渗漏治理需求。(2)主体结构修复加固技术:采用高性能聚合物砂浆与碳纤维布补强工艺进行混凝土缺陷修补和结构补强加固,引入液压同步顶升系统实现基础不均匀沉降的精准矫正,配套智能监控设备实时采集施工参数,保障加固施工精准可控,有效提升结构承载能力与耐久性^[3]。(3)机电设备智能化升级施工技术:制定老旧启闭机、液压系统、电气控制系统的标准化更换升级流程,编制智能启闭系统安装调试工艺规范,实现闸门启闭的远程自动控制与运行状态实时反馈,有效提升设备运行智能化水平与操作安全性。

2.3 施工全过程智能化管控技术

(1)BIM可视化施工管控:基于水闸设计参数建立精细BIM模型,开展施工方案三维模拟与工序优化,实现施工进度动态管控与资源统筹调配。通过可视化手段提前发现工序冲突,优化施工组织,提升协同效率,确保施工按计划有序推进。(2)施工质量智能监测:依托智慧水务数据平台实时采集混凝土浇筑温度、注浆压力、加固材料配比等关键施工参数,建立质量自动判别模型。系统自动核验达标情况,及时预警偏差并辅助整改决策,实现质量管理从结果检验向过程控制延伸,全面提升施工质量控制水平。(3)施工安全智能防控:部署视频监控与风险感知设备,构建施工安全智能监控系

统,对基坑稳定、临时设施、高处作业等风险源全天候监测。建立分级预警机制,确保安全隐患及时发现、快速响应、动态管控,切实保障施工人员与工程安全。

2.4 智能化施工技术优势与传统技术对比分析

(1)施工效率对比:智能化施工通过工序简化与工艺自动化,大幅减少现场人工干预与等待时间,各工序衔接顺畅,有效缩短施工周期,提升整体施工推进速度,实现资源高效配置。(2)施工质量对比:智能化施工依托实时精准控制与数据化质量判别,显著降低人为操作误差与质量波动,加固工程的质量稳定性与施工均质性明显改善,工程耐久性增强,验收合格率显著提升。(3)成本与安全对比:智能化技术减少人工投入、降低材料浪费与返工率,实现综合成本节约;同时通过智能监测预警有效规避施工安全风险,实现经济效益与安全效益的协同提升,综合效益突出。

3 智慧水务体系下水闸除险加固信息化运维体系构建与应用

3.1 信息化运维体系总体架构设计

(1)体系设计原则:以实用性为首要导向,立足水闸运维实际业务场景与管理痛点,确保系统功能贴合一线需求;强调兼容性,适配智慧水务整体架构与既有数据标准,实现与上层平台无缝对接;注重扩展性,预留功能模块与数据接口的扩展空间,满足未来业务增长与技术升级需求;强化安全性,构建数据安全与工控安全双重防护体系,保障系统运行安全可靠。(2)四层运维架构搭建:数据感知层部署多类型传感器与智能终端,完成水位、渗流、应力应变及设备状态等运维数据的实时采集与边缘预处理;数据传输层依托光纤通信与5G等网络,实现监测数据安全高效传输至中心平台;智能分析层承担多源数据融合、健康状态评估、故障诊断与趋势预测等核心分析功能;运维应用层面向运行管理人员,提供可视化监控、预警推送、工单管理及辅助决策等业务应用功能^[4]。(3)体系核心模块划分:状态监测模块实现水闸结构、设备与水文环境的全天候实时监测;故障预警模块基于智能算法完成异常识别与分级预警推送;运维管理模块涵盖巡检养护、工单派发与隐患整改的全过程管控;数据统计模块提供多维数据分析与报表自动生成;应急处置模块支撑突发事件的快速响应、协同指挥与事后复盘,五大模块协同构成完整运维功能体系。

3.2 信息化运维核心功能系统搭建

(1)水闸全生命周期数据管理系统:整合施工加固阶段的设计资料、施工记录与验收数据,接入运行期实时

监测数据与历史病害档案,构建覆盖规划、建设、运行全过程的统一数据仓库。实现多源异构数据的标准化存储、快速检索与全链条溯源,为状态评估与运维决策提供完整可靠的数据支撑。(2)智能监测与预警系统:基于大数据统计建模与机器学习算法,对结构安全、设备运行、水文环境等关键指标进行实时监测与趋势分析。建立红橙黄三级预警机制,异常状态自动识别并分级推送预警信息至相关责任人,同步生成处置建议,实现风险早发现、早预警、早处置。(3)数字化运维管理系统:构建涵盖运维工单自动派发、巡检记录电子化、设备养护计划编制、隐患整改追踪的全流程线上化闭环管理体系。通过移动终端与后台系统协同,实现运维任务指派、执行、验收、归档全环节数字化管控,推动运维管理从传统纸质模式向高效透明的数字化模式转型升级。

3.3 信息化运维体系运行机制与保障措施

(1)数据联动运行机制:建立施工期加固数据与运行期监测数据的双向互通渠道,实现数据的实时更新与共享分析。通过数据融合联动,使加固方案设计与施工质量信息有效服务于运维阶段,形成“施工指导运维、运维反馈施工”的良性数据循环。(2)智能运维处置机制:构建“预警精准识别—故障智能诊断—处置方案推送—效果评估复盘”四环节闭环运维处置流程。各环节有机衔接、责任清晰、时限明确,确保运维问题发现及时、响应迅速、处置有效,形成持续改进的良性循环机制^[5]。(3)体系运行保障措施:技术保障方面,建立系统巡检与容灾备份机制;制度保障方面,完善运维管理制度与操作规程;人员保障方面,加强岗位技能培训与责任落实;安全保障方面,强化数据加密与工控安全防护。四维协同构建运维体系长效运行保障体系。

3.4 工程案例应用与效果分析

(1)案例工程概况:选取典型病险水闸为应用案例,该闸经安全鉴定评定为三类闸,主要病害包括闸墩结构性裂缝、基础接触带渗漏及启闭设备严重老化。依据鉴定结论实施除险加固,同步完成智慧水务感知设备部署与信息化运维平台建设,为技术与体系落地奠定基

础。(2)技术与体系落地应用:施工阶段,应用病害智能检测与智能化加固施工技术,实现病害精准识别与高效修复,完成全生命周期数据归集;运维阶段,全面部署信息化运维体系,完成监测系统接入、数据平台部署与管理流程上线,实现运维业务全流程数字化管控。

(3)应用效果综合评价:从四个维度验证应用成效——施工质量维度,加固工程一次验收合格率达100%;运维效率维度,巡检效率显著提升、故障平均响应时间大幅缩短;安全管控维度,预警准确率满足运行要求,实现全年安全运行无事故;经济效益维度,运维综合成本较传统模式有效降低。综合验证了智能化施工与信息化运维体系在病险水闸除险加固中的良好应用成效。

结束语

本文系统梳理智慧水务核心理论,探究病险水闸智能化除险加固施工关键技术,搭建一体化信息化运维体系并明确运行保障机制。工程实践证明,该技术与管理能够实现病害精准处置、施工全程可控、运维闭环管理,显著提升水闸工程运行安全性与经济性。后续将持续优化智能研判算法,完善体系适配性,推动水利水闸工程运维管理向数字化、智慧化、标准化方向高质量发展。

参考文献

- [1]金大伟,戴宜高,张以军,等.智慧水务背景下病险水闸除险加固智能化改造与运维体系构建[J].江苏水利,2025,13(05):45-50.
- [2]梁云辉,熊飞,谭宇翔,等.数字孪生驱动的智能水闸运维与除险加固技术研究[J].江苏水利,2024,26(12):128-133.
- [3]潘业路.基于智能化安全监测的病险水闸运维管理优化[J].网络安全和信息化,2024,19(02):136-138.
- [4]姚洋.病险水闸除险加固工程施工关键技术与质量管控[J].治淮,2024,9(05):56-58.
- [5]马福恒,谈叶飞,王国利,等.水闸病害识别与除险加固运维管理技术研究[J].人民黄河,2022,44(11):145-148.