

Design and Application of Digitalization Based Intelligent Management and Control Platform for Pumped Storage Power Station

Gang Han¹ Zhi Sun¹ Lianrun Xue² Haiyi Liu³ Hai Huang¹

1. China Power Construction Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410007, China

2. China Power Construction (Chenxi) Energy Development Co., Ltd., Huaihua, Hunan, 419500

3. China Power Construction Group Central South Survey and Design Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410007, China

Abstract

Under the guidance of the “dual carbon” goals, pumped storage power stations have rapidly developed as core new energy storage facilities. Traditional manual management models face challenges such as delayed monitoring and inefficient coordination, making it difficult to meet the industry’s requirements for refined and digitalized management. To address these issues, this paper designs a digitalized intelligent management platform for pumped storage power stations, integrating core technologies like space-ground integrated monitoring, digital twins, and artificial intelligence. The platform establishes an integrated management system with a “five-layer technical architecture + six functional modules,” achieving full-process coverage of real-time monitoring, intelligent early warning, precise control, and compliance traceability for environmental protection work. A pilot application was conducted at the Chenxi Pumped Storage Power Station in Hunan Province. Results show that the platform improved environmental protection management efficiency by over 60%, achieved a plant measure grass seed survival rate exceeding 90%, a topsoil stripping reuse rate over 90%, and a wastewater reuse rate of 92%, significantly reducing construction and operational costs while minimizing ecological impact.

Keywords

Pumped Storage Power Station; Environmental Water Conservation; Digitalization; Smart Management Platform

基于数字化的抽水蓄能电站环水保智慧化管控平台设计与应用

韩刚¹ 孙致¹ 薛廉润² 刘海义³ 黄海¹

1. 中电建环保科技有限公司, 中国·湖南长沙 410007

2. 中电建(辰溪)能源开发有限公司, 中国·湖南怀化 419500

3. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 中国·湖南长沙 410007

摘要

在“双碳”目标引领下,抽水蓄能电站作为核心新型储能设施快速发展,传统人工管控模式存在监测滞后、协同低效等痛点,难以满足行业精细化、数字化管控要求。为破解上述难题,本文设计基于数字化技术的抽水蓄能电站环水保智慧化管控平台,融合天地一体化监测、数字孪生、人工智能等核心技术,构建“五层技术架构+六大功能模块”的一体化管控体系,实现环水保工作实时监测、智能预警、精准管控与合规追溯全流程覆盖。以湖南省辰溪抽水蓄能电站为试点开展应用验证。结果表明,平台使环水保管控效率提升超60%,植物措施草种成活率达90%以上,表土剥离再利用超90%,污水水回用率92%,显著降低建设运营成本与生态影响。

关键词

抽水蓄能电站; 环水保; 数字化; 智慧管控平台

1 引言

“双碳”目标推动下,抽水蓄能电站进入高速发展阶段。

【作者简介】韩刚(1981—),男,中国河北晋州人,本科,工程师,从事水环境、电站环水保工程研究。

这类电站多选址于山区或生态敏感区,实际建设涵盖大坝填筑、隧洞开挖、料场开采等多个环节。施工扰动范围广,不仅水土流失风险高、水质管控难度大,生态修复还需较长周期。传统环水保管控依赖人工巡检与定期采样监测,监测范围受限且数据存在滞后性,预警不及时、多部门协同低效等问题凸显。新时代电站建设坚守“生态优先、绿色发展”理

念,这一要求愈发刚性。国家能源局《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035)》明确,要推动抽水蓄能与生态环境保护协同发展。《抽水蓄能电站环境保护设计规范》等标准,也提高了环水保监测与管控的精细化、数字化门槛。因此,搭建数字化环水保智慧化管控平台,实现从被动应对到主动预警、人工管控到智能决策的转型,已成抽蓄电站高质量建设的必由之路。本文将对数字化的抽水蓄能电站环水保智慧化管控平台设计与应用展开探讨。

2 平台总体设计

2.1 设计原则

平台设计锚定“生态优先、技术适配、实用高效、可扩展”四大核心原则。以生态优先为首要导向,紧扣抽蓄电站环水保需求,聚焦环境监测、水土流失防控、水质保护等关键环节,让功能精准匹配实际管控场景^[1]。技术适配需贴合电站特性,融合物联网、大数据、AI及数字孪生,针对性应对高温、高湿、强电磁干扰环境,筑牢系统稳定性与数据准确性基础。再者坚持实用高效,简化操作流程,实现数据自动采集、智能分析与快速预警,兼顾运维成本控制与管控效率提升。另外兼顾可扩展,采用微服务架构,预留接口便于后续功能升级、跨平台数据对接,适配不同规模电站的个性化需求。

2.2 技术架构

2.2.1 物联感知层

立体感知网络是数据采集的核心,核心是搭建“天地一体化”+现场物联网的复合网络。依托卫星遥感,定期捕捉施工扰动范围、植被覆盖度等大范围指标,实现宏观把控。通过无人机配备高清摄像头、红外热成像仪等,完成边坡稳定性、表土堆存场堆积量等范围排查。同时在关键区域布设各类传感器,涵盖水质、水文、土壤等维度,搭配水质在线监测仪表、环境自动监测系统,实现实时采数及监测点位的展示。同步接入施工设备定位、人员全域智能安全帽,最终做到人、机、环数据全覆盖。

2.2.2 数据层

数据层的核心任务是完成数据存储、清洗与整合,搭建标准化数据资源池。采用“双库架构”实时库专门存储传感器、无人机等设备的实时数据,响应时间严格控制在1秒内。历史库则归档监测数据、施工档案等静态信息,借助PostgreSQL+PostGIS打理地理数据,支持空间查询与地图集成。为保障数据质量,边缘计算节点先对原始数据清洗、去重、降噪,再经5G网络上传云端。同时着力建立数据标准,对接人员全域智能安全帽、SCADA监控系统及环境监测数据,打破数据孤岛,实现多源数据融合共享。

2.2.3 数字化平台层

数字化平台层为上层应用提供核心技术支撑,核心搭载三大引擎。其中数字孪生引擎用激光扫描+BIM补模技术,搭建1:1电站数字镜像,整合地质、地形等多类数据,实现

物理与虚拟场景的实时映射。部署AI算法引擎,内置随机森林、LSTM等机器学习模型,专门用于水质异常识别、水土流失预测等核心场景。此外依托大数据分析引擎,基于Hadoop、Spark,开展数据关联分析与趋势预测,深挖监测数据与施工、气象的内在关联。

2.2.4 智慧应用层

围绕环水保核心业务,开发实时监测管控模块、智能预警告警模块、智能精准加药模块、巡检养护管理模块、报表合规管理模块这六大功能模块,实现全流程管控^[2]。各模块相互协同,覆盖电站建设与运营全周期环水保工作。

2.2.5 智慧决策层

智慧决策层承担平台核心中枢职责,核心定位是依托应用层数据及分析结果,提供可视化决策支持。依托大屏直观展示数字孪生模型、实时监测数据等核心内容,支持多维度数据查询与统计分析。专门针对突发环境事件,系统自动调取应急预案、历史案例及专家库,生成最优处置方案,实现预报、预警、预演、预案协同机制的“四预联动”,助力管理人员科学决策。

3 平台核心功能模块设计

3.1 实时监测管控模块

实时监测管控模块的核心目标,是实现环水保指标全方位、可视化管控。重点针对水质管控,实时采集污水处理站进、出水数据,实现水质异常前的预警及调度,联动视频监控精准定位异常工艺环节^[3]。借助天地一体化数据融合技术,核算土壤侵蚀量、边坡位移量,直观呈现表土堆存场等关键区域的扰动范围与风险状态。同步跟踪生态指标,涵盖植被覆盖率、乡土物种成活率及野生动物活动轨迹,量化生态修复成效。模块支持多形式数据可视化,通过GIS地图、折线图、柱状图等展示实时数据与历史趋势,点击任意监测点即可查看详细参数及设备运行状态。

3.2 智能预警告警模块

以多源数据为基础、AI算法为支撑,搭建分级预警体系。先为水质、水土流失、大气、噪声等核心指标划定阈值范围,再结合机器学习模型预判指标变化趋势,打造“阈值预警+趋势预警”的双重防护。一旦指标超标或预判即将超标,系统立即触发告警,通过短信、平台消息、声光报警等方式同步通知责任人,明确标注告警等级及对应处置建议。对于环境监测预警、水质突变预警等紧急情况,系统自动联动雾炮机、喷淋系统、警铃、智能精准加药装置等现场设备启动初步处置,同步生成应急调度指令,大幅压缩响应时间。以辰溪抽水蓄能电站为例,该模块应用后,环境监测预警、水质突变预警响应时间从2小时缩短至5分钟,有效降低了生态损失。

3.3 生态修复管理模块

生态修复管理模块核心聚焦电站生态修复全流程管控,

贯穿方案设计、施工管控、效果评估三大环节。从方案设计入手,依托数字孪生模型,结合区域生态特征打磨优化植被配置方案,特意优先选用金荞麦、中华猕猴桃等乡土物种,适配本地生态环境。施工环节通过无人机巡检搭配人员定位,全程监督修复区域的种植密度、养护进度,确保施工严格贴合方案要求。效果评估环节,基于卫星遥感与现场监测数据,构建雷达图动态赋分模型,从植被覆盖率、物种多样性等维度评估成效,生成报告为后续优化提供依据。辰溪抽水蓄能电站借助该模块,实现金荞麦、中华猕猴桃迁地保护全流程跟踪,成活率超96%。

3.4 资源循环管控模块

资源循环管控模块,核心发力点是水资源与表土资源的循环利用,实现精细化管控。水资源管理上,针对性监测施工污水的收集与回用情况,优化水循环系统运行参数,确保污水经三级沉淀、污水水一体化处理设备处理后,回用率不低于90%,回用于绿化灌溉、洞室开挖、场地冲洗。表土管理特意搭建闭环管理模型,实时跟踪表土剥离利用率与表土场堆存量,优化调配方案以保护土地资源,减少运输碳排放。辰溪抽水蓄能电站应用该模块后,实现洞室开挖用水的自给自足和表土资源的合理调配,减少新鲜水资源的消耗和表土资源的损失。

3.5 巡检养护管理模块

巡检养护管理模块,核心是实现巡检工作的标准化、信息化管控。管理人员通过平台下发巡检任务,特意明确路线、内容及时间节点,巡检人员借助移动终端上传现场照片、数据与问题描述,系统自动生成巡检报告。针对发现的问题,同步建立台账并分配处置责任人,跟踪整改进度,形成闭环管理。模块支持垃圾桶满溢AI智能预警功能,采用Python 3.8+PyTorch 1.10深度学习框架,构建面向环境卫生监管的YOLOv7目标检测模型,辰溪抽水蓄能电站应用类似模块后,巡检效率提升40%,问题处置及时率达98%。

3.6 报表合规管理模块

报表合规管理模块依据《抽水蓄能电站环境保护验收技术规程》等行业标准,自动生成环水保合规报表,特意涵盖监测数据统计、污染物去除率等核心内容,支持报表导出功能。模块还具备数据追溯功能,可查询任意时段的监测数据与处置记录,保障环保合规可追溯。同时实时更新行业环保标准,标准调整时自动优化报表指标,确保电站环水保工作契合最新行业要求。

4 平台应用案例与成效分析

4.1 应用案例

选取辰溪抽水蓄能电站作为试点,开展平台的实际应用实践。该电站位于湖南省怀化市辰溪县境内,总投资78.65亿元、装机1200MW,建设过程中面临生态脆弱、施工扰动范围大的实际挑战。依托本文设计的平台,电站搭建

起全范围环水保管控体系,整合各类监测设备实现多源数据的实时协同处理。

4.2 应用成效

4.2.1 管控效率显著提升

平台取代传统人工巡检与采样监测模式,将监测覆盖范围从局部拓展至全电站,数据采集频率从4小时/次提升至1分钟/次,环水保管控效率提升超60%。依托AI智能预警与自动处置,电站施工期噪声控制在60分贝内,地表水质稳定保持Ⅲ类标准,未发生任何环保超标事件。

4.2.2 生态保护成效突出

依托生态修复管理模块与智能预警模块的协同运作,电站施工迹地乡土草种成活率超90%,有效守护沅水生态屏障。经平台优化的“智能预警告警模块+智能精准加药模块”,精准控制药剂投加量,推动五节一环保在抽水蓄能电站的实施,切实实现工程建设与生态保护的和谐共生。

4.2.3 成本与能耗大幅降低

资源循环管控模块聚焦资源高效利用,表土剥离再利用利用率超90%、污水回用率达92%,年节约新鲜水成本30余万元。平台智能调控优化水泵、风机等设备运行参数,污水处理系统能耗降低12%,太阳能路灯满足室外照明用电需求,减碳量等效6.1万棵树的固碳量。同时平台精简30%运维人员,大幅降低人工运维成本。

4.2.4 合规管理能力强化

报表合规管理模块可自动生成标准化环保报表,切实保障环保合规工作全程可追溯。平台还推动建立“专业团队+施工质量投诉”双重监管体系,借助移动端终端让村民参与生态监督,形成多元共治的良好格局,也让电站环保措施的执行力度得到有效提升。

5 结语

本文的数字化抽水蓄能电站环水保智慧化管控平台,融合天地一体化监测、数字孪生、AI等核心技术,搭建起“五层架构+六大模块”的一体化管控体系。平台落地后,真正实现了抽蓄电站环水保工作实时监测、智能预警、精准管控与合规追溯的全流程覆盖。辰溪抽水蓄能电站的应用实践,充分验证了平台的实际应用价值,不仅能有效提升环水保管控效率、强化生态保护成效,还能降低电站建设运营的成本与能耗,切实破解传统管控模式的各种痛点,为抽蓄电站环水保数字化转型提供了可落地的实践方案,具备重要的行业推广意义。

参考文献

- [1] 童慧,凌海涛,索飞,等.天地一体化技术在平江抽水蓄能电站环水保超标预警管控中的应用研究[J].矿产勘查,2022,13(01):146-151.
- [2] 谢梦诗,朱依茜,姚新宇,等.抽水蓄能电站多业务一体化数字化架构研究[J].水电站机电技术,2025,48(12):52-55.
- [3] 朱天真,叶国达,吕晓飞.抽水蓄能电站施工管理数字化平台架构及关键技术应用[J].信息系统工程,2025,(06):121-124.