

智能监控技术在电厂集控运行中的应用研究

赵婵婵

新疆华电沙尔布拉克水电有限责任公司

DOI:10.32629/pe.v4i4.21748

[摘要] 针对梯级水电、集中式光伏传统集控监盘压力大、设备故障预警滞后、水光协同调控精度不足等问题,本文结合国内水光互补电站智能化改造实践,从智能监控与一体化集控耦合适配逻辑入手,阐述全域水文监测、光伏故障识别、水光联合风控三类落地路径,针对老旧系统兼容、多源数据融合难题给出优化方案。预判云边协同、水光数字孪生技术发展方向,为水光互补集控智能化改造提供实操参考与技术支撑。

[关键词] 智能监控技术; 电厂; 集控运行; 多能协同调度

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A

Research on the Application of Intelligent Monitoring Technology in Centralized Control Operation of Power Plants

Chanchan Zhao

Xinjiang Huadian Sharbulak Hydropower Co., Ltd.

[Abstract] Addressing the challenges of high pressure on traditional centralized control panels for cascade hydropower and centralized photovoltaic systems, delayed equipment fault warnings, and insufficient precision in hydro-photovoltaic collaborative control, this paper, based on domestic practices in the intelligent transformation of hydro-photovoltaic power stations, starts with the coupling and adaptation logic of intelligent monitoring and integrated centralized control. It elaborates on three implementation paths: comprehensive hydrological monitoring, photovoltaic fault identification, and joint hydro-photovoltaic risk control. Optimization solutions are provided for compatibility issues with legacy systems and multi-source data fusion. The paper also predicts the development direction of cloud-edge collaboration and hydro-photovoltaic digital twin technologies, offering practical reference and technical support for the intelligent transformation of hydro-photovoltaic complementary centralized control systems.

[Key words] intelligent monitoring technology; power plant; centralized control operation; multi-energy collaborative dispatch

引言

新型电力系统以新能源为主体,梯级水电站承担调峰调频兜底任务,光伏具备间歇性、波动性出力特征,水光互补联合运行成为区域清洁能源主流模式。传统水电、光伏独立集控依靠人工监视SCADA画面、凭经验调节出力,难以实现水光实时协同精准调控。伴随工业物联网、长短期记忆深度学习、多源时序数据融合技术成熟,为水光一体化集控智能化改造提供技术底座。本文结合澜沧江梯级水电、青海共和大型水光互补电站改造工程,系统研究智能监控技术应用场景、落地路径与优化改良方案。

1 水光互补电站集控运行和智能监控技术的理论基础及适配性分析

1.1 水光一体化集控运行体系架构与管控短板

国内百万千瓦梯级水电、百兆瓦集中式光伏普遍采用水光一体化远程集控架构,以区域集控中心为中枢,统一接入水电站LCU现地控制单元、光伏SCADA监控系统,统筹水库调度、机组出力、光伏功率调节、并网安全管控,核心运行目标为稳控电网出力、降低弃水弃光、保障大坝与光伏场区设备安全。以青海共和某800MW水光互补示范电站为例,集控分为水文设备监视、光伏阵列运维、水光联合调参、远程故障处置四大业务模块,实行四班三运转24小时远程值守;运行人员依靠多屏SCADA人工读取数据、手动下达出力调节指令。结合该电站全年运行台账、运维记录,传统人工集控存在三大固有短板。

第一,全域监测参数体量巨大,监盘人员负荷极高。单座水

光互补集控需同步监视水库水位、水轮机振动、光伏组串电流、逆变器温度等超300项实时参数,长时间多屏值守易出现视觉疲劳,微小水头波动、光伏组件热斑小幅衰减极易被遗漏,引发短时出力扰动、水资源浪费。

第二,隐性潜伏故障排查周期长、损耗大。水轮机空化磨损、导叶渗漏、光伏组串PID衰减、箱变绝缘老化均无显性告警信号,传统模式依靠月度人工现场巡检,故障定位滞后,长期带病运行加剧设备损耗,抬高弃光、弃水损失^[1]。

第三,水光协同调节高度依赖运维人员经验,无法实现全工况动态寻优。光照、来水实时波动下,人工难以快速匹配水电调频、光伏消纳最优出力配比,电站综合水能、光能利用率长期低于行业标杆水平,新能源消纳潜力未充分释放。

1.2 面向水光一体化集控的智能监控核心技术机理

水光集控专用智能监控以全域感知—特征挖掘—协同辅助决策形成完整业务闭环,融合工业物联网、LSTM深度学习、多源异构时序数据融合三大核心技术,支撑水光联合智能管控落地。

物联网感知层:在水轮机轴承、大坝渗压点位、光伏汇流箱、逆变器、气象站部署振动、水位、辐照、红外测温高精度传感器,统一采样频率50~100Hz,不间断采集水文、机组、光伏、气象原始数据,实现库区、厂房、光伏场区无死角实时感知。

深度学习算法层:依托电站多年来水、光照、机组运行历史样本训练专属识别模型,精准区分正常光照波动、季节性来水变化与设备劣化故障,成熟模型设备异常识别准确率可达98%以上。

多源数据融合层:打通水电LCU、光伏SCADA、水库调度系统、气象测报、设备缺陷台账数据接口,破除单一系统信息孤岛,综合研判水光整体运行健康状态,为联合调度提供完整数据支撑。

1.3 智能监控与水光一体化集控体系耦合适配逻辑

智能监控平台与现有水电、光伏独立控制系统深度耦合,围绕集控“实时全域监测、设备故障预判、多能风险防控、水光精准调参”四大核心业务需求,形成三层匹配关系^[2]。

数据层适配:智能平台兼容水电LCU、光伏SCADA主流工业通讯协议,双向同步水库、水电机组、光伏阵列全量时序参数,测点编号、画面点位、数据时序完全对齐,保障跨品类数据传输同步、无延迟丢包。

功能层适配:智能预警、出力趋势预测、多能风险判别功能无缝嵌入原有集控操作界面,水轮机故障、光伏衰减、水位超限预警直接弹窗推送,运维人员无需切换多套系统完成处置。

管理层适配:系统自动归集异常告警、水光优化调节记录,同步推送至流域水库台账、光伏运维管理平台。

2 智能监控技术在水光互补电站集控运行中的应用场景与实践途径

2.1 水光场站全域水文设备实时智能监测落地方式

水库水位、水轮机振动、光伏辐照、组串功率是水光协同运行的核心依据,监测实时性、精准度直接决定联合调度效果。

结合共和800MW水光互补电站智能化改造工程,全域智能监测分三步落地,各环节配套行业实操技术标准。

第一步标准化全域感知测点布设:水电机组侧在水轮机转轮、导水机构、大坝廊道布置渗压、振动、流速、位移传感器;光伏场区每4组光伏组串配置电流电压采集单元、红外热成像测温探头,优化传感器减振、防水安装工艺,高寒、潮湿环境下测量误差控制在允许范围,实现库区、厂房、光伏方阵全域无死角感知。

第二步搭建高速边缘预处理传输体系:采用5G工业以太网搭建千兆传输链路,所有传感器原始数据就地传输至场站边缘计算单元;搭载专用数据清洗算法自动剔除雨雪、光照突变带来的失真噪声,分布式存储长期留存全年水文、光伏运行曲线,支持历史来水、光照工况回溯对比。

第三步一体化集控可视化智能终端部署:原有多屏SCADA操作台增设超大融合可视化大屏,分区实时展示水库水文、机组状态、光伏全场出力;按照设备额定工况、防洪、消纳要求设置三级预警阈值,参数超限同步声光告警,精准定位异常测点、波动区间,大幅缩短故障排查时长^[3]。

2.2 水电机组与光伏阵列设备异常特征提取、智能预警实现路径

水轮机空化磨损、导叶渗漏、光伏组件热斑衰减、箱变过热、逆变器故障为水光场站高发缺陷,处置滞后易引发机组停机、光伏大面积脱网。智能监控依托特征提取—模型匹配—分级推送处置标准化流程实现提前预判,以澜沧江某梯级电站水轮机、共和光伏阵列联合预警系统为落地实例。

系统归集电站多年水轮机振动、轴承温度、光伏组串电流、逆变器温升历史数据集,依托LSTM网络提取空化、导叶漏水、光伏PID衰减、接线盒过热专属频谱、功率特征,搭建水光一体化故障特征标准库,为在线智能识别提供数据支撑。

平台实时采集水文、光伏全量原始工况数据,自动提取振动幅值、功率衰减、温度偏移核心特征,与故障库实时比对,设定85%特征匹配度作为故障前兆判定阈值,平衡漏判、误判两类风险。

系统设置三级分级预警机制:一级轻微异常仅推送趋势监测提醒,设备可短时持续运行;二级中度异常自动生成现场巡检工单,运维班组限期到场核查;三级重大设备、防洪风险同步推送集控大屏、运维移动端,附带标准化应急处置流程,必要时联动水光出力调节闭锁。

2.3 水光联合集控运行风险自动识别与安全联动管控

水库超汛限水位、水轮机超速、光伏孤岛运行、水光出力失衡均属于集控高危风险,结合国内多座流域水光互补集控智能化改造经验,智能监控依托风险识别—等级量化—跨系统联动实现全流程安全管控,筑牢多能运行安全防线^[4]。

搭建规则化多场景危险自动识别体系。依据水电防洪规范、光伏并网安全规程梳理水库超限、机组误操作、光伏孤岛、水光出力不匹配等38项典型风险点,将判别逻辑固化至监控平台,

实时比对集控操作指令、实时水文光伏参数,出现违规操作、参数超限立即弹窗风险提示。

开展风险量化分级评价工作。结合洪水等级、设备损坏程度、电网冲击影响将风险划分为一般、较大、重大三级,差异化匹配处置流程,保障集控风险处置有序开展。

构建跨品类设备安全联动防控机制。出现水库超警戒水位、水轮机剧烈振动等重大风险时,系统自动闭锁机组增负荷、光伏满发调节指令,同步推送防洪、停机标准化处置方案,联动闸门、冷却辅机进入应急预备状态;光伏轻微衰减、小幅出力偏差仅弹窗提醒运维人员优化出力配比,提前阻断风险扩大通道。

3 水光互补电站集控智能监控应用优化策略及发展展望

3.1 智能监控规模化落地的核心制约因素

结合国内投运5年以上老旧梯级水电、存量光伏场站智能化改造现场实践,当前智能监控大范围推广存在三大共性瓶颈。

老旧场站控制系统软硬件存在兼容障碍。服役超15年小型水电站老式LCU、早期光伏SCADA通讯协议封闭,与新型智能监控平台对接需增设大量协议转换网关,易出现时序数据延迟、丢包,无法满足水光毫秒级协同调控要求。

场站普遍缺少海量水光时序数据深度挖掘手段。单座百兆瓦水光场站日均产生水文、光伏、设备感知海量数据,多数场站仅实现基础存储、简单阈值告警,缺少AI深度分析能力,来水-光照耦合规律、设备长期劣化趋势无法有效挖掘,数据价值难以释放。

行业水光复合型运维人才储备存在明显缺口。智能监控融合水文学、水轮机控制、光伏电力、大数据AI多领域知识,现有运维人员仅掌握单一水电或光伏操作,不具备平台故障排查、多能协同调参能力,轻微系统异常无法自主处置,降低智能设备投运效率。

3.2 水光集控智能监控效能提升针对性优化方案

结合场站改造施工可行性,匹配四大落地优化措施。

老旧控制系统接口标准化改造:统一部署工业协议转换网关,标准化水电LCU、光伏SCADA数据交互格式,消除跨系统传输延迟、数据丢失问题,改造后全量参数同步延迟稳定控制0.5s以内,满足实时协同监盘需求。

搭建水光专用云边协同处理架构:边缘计算单元部署于各梯级电站、光伏分区,就地完成实时数据清洗、故障初步预警;云端区域集控中心统一存储长周期水文、光伏时序数据,开展全年弃水弃光规律、设备劣化趋势深度挖掘;配套分布式存储提升海量水光数据读写调取速度。

完善水光复合型人才常态化培育机制:建立理论授课+场站真机实操培训体系,聘请水文调控、光伏自动化、AI算法领域专

家讲解智能监控底层逻辑,重点训练水光协同调参、故障分级处置实操,配套持证上岗考核机制。

3.3 新型电力系统下水光集控智能监控技术发展趋势

新型电力系统下水光互补承担电网调峰、新能源消纳核心职能,对集控自适应协同调控能力提出更高要求,未来技术发展聚焦三大方向。

区域水光云边集中监控全面普及:搭建流域级水光集控云平台,统筹区域所有梯级水电、光伏场站运行数据,统一开展水能光能利用率对标、设备故障统计;各场站边缘节点独立完成本地实时监测、快速故障预警,形成“云端统筹调度、场站就地响应”新模式,提升区域清洁能源整体消纳效率^[5]。

水光一体化数字孪生深度落地:构建与实体水库、水电机组、光伏方阵1:1高精度数字孪生模型,实时接入智能监控全域感知数据流,实现全工况仿真、故障复现、水光出力预演,实现设备故障事后处置向事前预判转变。

水风光储多源一体化协同监控拓展:适配风光储多能互补电网架构,打通水电、光伏、风电、储能监控数据通道,实现多电源出力协同监视、联合优化调度,平抑光伏间歇性波动,提升区域电网功率稳定调节能力。

4 结语

智能监控技术可系统性弥补传统水电、光伏独立集控运行短板,在水库水文全域监测、水光设备故障预判、多能联合运行风险管控场景实现规模化落地。针对改造过程中系统兼容、时序数据挖掘、复合型人才储备等制约因素,可通过接口标准化改造、云边协同架构搭建、常态化人才培育予以化解。未来依托云边协同、水光数字孪生技术迭代,水光集控智能化、协同化水平将持续提升,助力新型电力系统清洁能源高效消纳。

[参考文献]

- [1]王桂平,张煦,韩长霖,等.梯级水电站集控智能一体化关键技术的研究与应用[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2022,20(6):497-505.
- [2]姜睿,张瀚公,谢丽蓉,等.水光互补一体化管控平台的设计研究[J].太阳能,2024,(11):84-92.
- [3]罗毅,武博翔.基于深度学习LSTM-DBN的水轮机振动故障预测方法[J].振动.测试与诊断,2022,42(6):1233-1238+1251.
- [4]罗冬,覃浩军,王莉丽,等.KF-STFT联合算法在水轮机振动监测中的故障预警应用研究[J].水电站机电技术,2026,49(1):117-119+144.
- [5]刘元收,王洵,刘生强.雅砻江流域水光互补电站联合运行技术探讨[J].水电与新能源,2025,39(11):15-17+25.

作者简介:

赵婵婵(1992--),女,汉族,河北邯郸人,大学本科,助理工程师,研究方向:集控运行。