水电站数字化运维平台建设与应用实践

韦佰泽

（广西国能水电开发有限公司，广西 梧州 543000）

摘 要 中小型水电站长期依赖人工巡检和分散监控，具有巡检频次低、异常发现滞后、数据孤岛等特征。结合灯泡贯流式水电站车间化改造实践，构建集前端感知、网络传输、数据中台和业务应用于一体的数字化运维平台，实现视频智能巡检、设备状态监测、移动巡检闭环和运行决策支持。平台投运后，日常巡视频次由每天 6 次提升至 24 次，异常响应时间由约 2 小时缩短至 10 分钟以内，现场值守人员相应压减。实践表明，数字化运维平台能够有效提升水电站设备监控的连续性和运维管理的精细化水平。

关键词 水电站；数字化运维；智能巡检；状态监测；闭环管理

中图分类号：TV74；TP399 **文献标志码**：A DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.009

0 引言

随着视频识别、边缘计算、物联网和工业互联网平台等技术逐步成熟，为水电站从“人防”向“技防 + 人防”转变提供了条件。建设数字化运维平台，把分散的监控、巡检和检修数据汇聚到统一平台，用智能算法替代部分人工重复性检查，成为中小型水电站提升运维水平的重要路径。灯泡贯流式电站厂房紧凑、设备密集，水轮机层和水车室空间狭小，人工巡检行走距离长、观察角度受限，恰好适合用固定摄像机和智能识别替代部分人工巡视，具有较强的代表性。本文结合灯泡贯流式水电站车间化改造实践，介绍数字化运维平台的架构设计、关键功能、应用成效和运行中需要注意的问题。

1 水电站运维现状与数字化需求

1.1 传统运维模式存在的问题

传统水电站运维主要依赖人工巡检和数据采集与监视控制系统（SCADA）集中监控，人工巡检根据班次定时开展，单台机组每天巡检 6 次左右，两次巡检之间设备状态处于“盲区”；现场巡检受人员经验和疲劳影响，对温度、油位、泄漏和表计读数等异常的识别存在漏判，夜间和恶劣天气下漏检概率进一步增大。SCADA 系统以运行参数越限报警为主，对缓慢发展的缺陷和视觉可见的“跑冒滴漏”缺乏感知，参数未越限时设备已经劣化的情况难以被及时发现。巡检记录以纸质表单或分散电子表格为主，缺陷从发现、派工到销号缺乏闭环跟踪，数据难以积累和分析。运行人员交接班时设备状态主要靠口头和书面记录传递，班次之间对缺陷发展过程缺乏连续掌握，容易出现同一问题重复发现、重复处理却无人系统跟踪[1]。老旧机组故障逐渐增多，备件更换和检修记录分散在不同班组，管理人员难以从全厂视角统筹安排检修计划。随着老旧机组进入故障多发期，单纯增加巡检频次和人员并不能从根本上解决问题，反而进一步加剧人员紧张。各子系统之间数据不互通，运行、检修和管理各自形成数据孤岛，管理人员难以从全厂视角掌握设备状态。

1.2 数字化运维平台建设目标

数字化运维平台的建设目标，是在不改变现有运检组织框架的前提下，用数字化手段把设备状态“看得更清、巡得更频、响应更快、管理更闭环”。具体包括：实现关键部位视频和状态量的全天候连续监测；用智能算法自动识别“跑冒滴漏”、温度异常、表计超限和人员行为等问题；将巡检、报警和检修工单统一到一个平台，形成“发现—派工—处理—复核—销号”闭环；为运行分析和设备状态评价积累连续数据。平台设计上兼顾新建和改造电站，强调利旧和分步实施，避免一次性大投入。建设中坚持“实用、可靠、可扩展”原则，优先改造故障多发、人工巡检困难的部位，再逐步推广到全厂，防止平台建成后因操作复杂而闲置。建设过程中同步梳理设备台账和巡检点位，把原来分散在各班组的检查标准统一到平台，避免线上线下两套要求。

作者简介：韦佰泽（1989-），男，本科，助理工程师，研究方向：水电站运维。

2 水电站数字化运维平台总体架构

2.1 前端感知层

前端感知层由高清摄像机、热成像设备、声学采集装置和机组在线监测装置组成。针对水轮机层、发电机层、球阀层和水车室等关键部位，配置变焦枪机用于设备状态扫视、半球摄像机用于室内定点监视、热成像筒机用于温度异常识别，配合本安声学装置捕捉机械异常声响。表计读数通过微距摄像机近距离采集，“跑冒滴漏”和油位通过定点镜头自动识别。前端设备根据区域分组供电和组网，关键部位双镜头覆盖，消除巡检盲区。摄像机镜头加装防护罩和自动吹扫装置，适应厂房内潮湿、多尘和油污环境，减少因镜头脏污造成的误报。对球阀、水车室等空间狭小部位，选用小型半球和广角镜头，保证关键设备无遮挡；对油槽、水管法兰等易泄漏点，定点安装近距离镜头，提高识别稳定性。

2.2 网络与边缘计算层

网络层负责把前端数据可靠传输到监控平台。厂内采用工业以太网汇聚视频和状态数据，重要信号双链路冗余；跨厂远程监视通过电力专网或VPN接入集控中心。边缘计算节点部署在机房侧，承担视频流预处理、AI模型推理和本地报警，减少上行带宽压力，保证网络中断时本地报警不丢失。关键报警根据“先本地声光、后平台推送”的顺序发出，避免依赖远程平台才发现异常。网络设计考虑水电站厂区大、设备分散的特点，在桥架和设备间就近设置接入交换机，光纤环网传输，提高可靠性。视频存储根据关键点位循环录像不少于30天，报警抓拍和短视频单独长期保存，便于事后追溯和事故分析[2]。

2.3 数据中台与AI模型层

数据中台统一接入SCADA实时数据、视频流、巡检记录和检修工单，完成数据清洗、时间对齐和存储，形成设备台账和历史数据库。AI模型层根据业务场景配置识别模型，覆盖油位水位和表计读数识别、温度异常识别、“跑冒滴漏”识别、机械异响识别和人员行为规范识别等场景。模型在边缘侧推理结果和视频抓拍一同上传，作为报警和工单依据。模型根据现场样本持续优化，降低误报和漏报。数据中台预留标准接口，便于后续接入水情、发电计划和物资管理等外部系统，避免形成新的信息孤岛。数据存储根据原始数据、报警记录和报表分层管理，热数据保留近期明细、冷数据归档历史趋势，兼顾查询速度和存储成本[3]。

2.4 业务应用层

业务应用层面向运行、巡检和管理人员，提供实时监视、智能报警、移动巡检、工单管理和运行分析等功能。实时监视画面根据厂房区域组织，值班人员在集控室即可完成原来需要现场巡视才能看到的部位；智能报警自动推送到值班人员和巡检人员；移动巡检通过手机或平板根据二维码点位确认，巡检轨迹和结果实时回传；工单根据报警自动生成，处理过程全程留痕；运行分析根据日、月汇总报警趋势和设备状态变化。应用界面根据岗位差异化设计，运行人员看监视画面，巡检人员看待办工单，管理人员看统计报表，减少跨岗位操作干扰。大屏集中展示全厂设备状态和报警概况，值班人员一屏掌握全厂运行情况。

3 水电站数字化运维平台关键功能与应用实践

3.1 智能视频巡检替代人工定时巡视

智能视频巡检把原来由人工步行完成的设备状态扫视转为由摄像机根据预设路径自动巡航。平台根据机组和区域设定巡航方案，变焦枪机在预定点位停留并抓拍，AI模型自动比对油位、水位、表针位置和温度，发现异常立即报警并推送截图。单台机组由原来每天6次人工巡检，提升为每天24次自动巡航，两次检查间隔由约4小时缩短至1小时以内。对夜间和恶劣天气等人员不便到场的时段，视频巡检实现了不间断覆盖。值班人员在监控屏上即可完成常规巡视，现场巡检人员由“走完全部点位”转为“处理报警和重点复核”，现场工作内容更加聚焦。对巡检中确认无异常的点位，系统自动记录巡检轨迹和时间，防止漏巡和代签。对夜间时段，视频巡检替代了人工照明巡视，既减轻了夜间巡检劳动强度，也避免了人员在设备间穿行的安全风险[4]。

3.2 设备状态监测与分级预警

平台对温度、振动、油位和压力等状态量设定多级阈值，正常状态由数据中台持续记录；接近预警值时提示值班人员关注；达到报警值时自动生成工单并通知巡检人员现场核实。热成像和声学装置补充了SCADA不直接采集的温度分布和机械声响信息，使缓慢发展的轴承温升、金属摩擦和阀门内漏等问题能够在劣化早期被发现。报警根据严重程度分级，一般问题纳入日巡检，紧急问题立即通知处理，避免报警过多造成“狼来了”效应。对反复报警的点位，平台自动汇总报警频次和持续时间，辅助判断是否需要安排停机检查。对温度和振动趋势缓慢上升的设备，平台根据周生成

变化曲线，避免因单次数值正常而忽视长期劣化。报警信息同时附带抓拍画面和实时数据，值班人员无需现场即可初步判断异常性质[5]。

3.3 移动巡检与缺陷闭环管理

现场巡检人员使用移动终端根据二维码点位完成检查，扫码确认到位，拍摄现场照片并填写检查项。发现缺陷时直接在终端生成工单，自动附带点位、照片和描述，派工到相应检修人员；处理完成后拍照复核，由专人销号。整个过程在平台上留痕，管理人员可根据设备、根据时间统计缺陷数量、处理时长和重复缺陷。相比原来纸质表单人工流转，缺陷平均处理周期明显缩短，重复发生的问题也更容易被追溯。工单超期未处理时平台自动升级提醒，防止小缺陷拖成大故障。对同一设备反复出现的缺陷，平台自动汇总历史处理记录，检修人员到场即可了解此前处理方式和备件情况，避免重复排查。

4 水电站数字化运维平台应用成效与问题分析

对照 1.2 节提出的建设目标，选取平台投运前后各 6 个月的运维数据逐项核验，主要指标对比如图 1 所示。日常巡视频次、异常响应时间和缺陷闭环率等核心指标均明显改善，基本实现“看得更清、巡得更频、响应更快、管理更闭环”的预期。

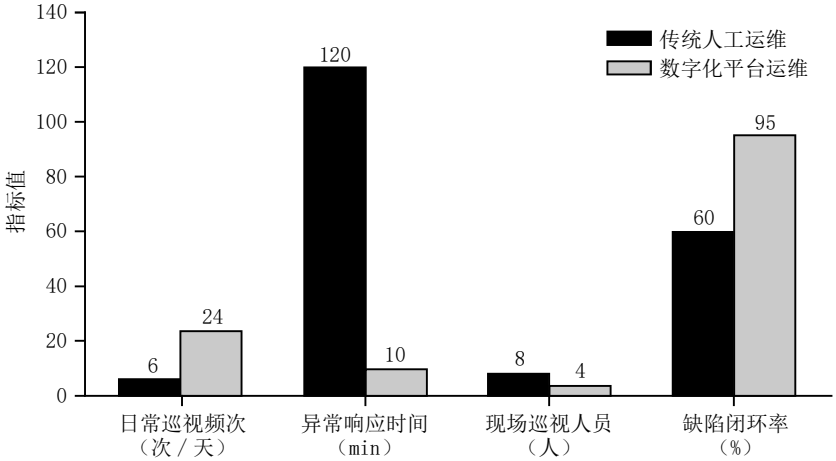

图 1 传统运维与数字化平台运维关键指标对比

在取得成效的同时，平台运行中也暴露出一些问题。一是 AI 模型在光照变化、镜头污渍和设备外观改造后需要重新校准，初期误报率偏高，需要一段时间的样本积累和调优；二是部分老旧仪表不具备数字化读数条件，仍需人工录入，影响自动化程度；三是运行人员对平台功能的熟悉程度不一，部分报警仍根据传统方式处理，平台价值没有完全发挥。这些问题通过建立模型定期巡检和误报复核机制、补充表计数字化改造、加强操作培训逐步改善。从长期看，平台的成效不仅在于减少了人工巡视量，更在于把设备状态数据连续保存下来，为状态检修和运行优化提供了原来不具备的数据基础。下一步可结合设备台账和运行年限，逐步探索基于历史数据的故障趋势预测，把运维管理再向前推进一步。

5 结束语

水电站数字化运维平台通过前端感知、边缘计算、数据中台和业务应用的分层架构，把原来分散的人工巡检和集中监控整合为连续、闭环、可分析的运维体系。智能视频巡检提高了巡视频次和覆盖范围，状态监测和分级预警把异常发现提前，移动巡检和工单管理实现了缺陷闭环，运行分析为检修决策提供了数据支撑。对中小型水电站而言，数字化转型不必追求一步到位，可以从关键部位智能巡检和报警闭环切入，分步扩展感知范围和分析深度，在有限投入下稳步提升运维水平。

参考文献：

[1] 黄春犁,胡美玲,赵会城.水电站启闭设备的全寿命周期数字化管理系统[J].现代工业经济和信息化,2022,12(10):34-36,38.

[2] 彭小明,陈瑛,管帝.数字化技术在新集水电站建设管理中的应用[J].水利水电快报,2024,45(S1):76-78,87.

[3] 肖楚生.水电站机电设备智能运维系统的关键技术与应用展望[J].小水电,2025(04):64-69.

[4] 李锦成,何展国,岳智猛,等.水电站工程建设投资数字化管控系统研发与应用[J].水电与新能源,2026,40(01):84-87,92.

[5] 刘建琳.水电站档案数字化转型与智能发展分析[J].水电站设计,2026,42(01):99-102.