

智能化水力发电设备维护管理系统在减少停机时间方面的优势体现

薛迎春

甘肃嘉宁工程咨询有限公司 甘肃兰州

【摘要】在水力发电领域，设备持续稳定运行对供电可靠性与经济效益影响深远。智能化维护管理系统应运而生，其集成多种前沿技术，借助传感器网络全方位采集设备运行数据，运用大数据与智能算法精准剖析，实时监测、提前预警故障，智能规划维修策略，优化资源调配，强化远程协同，全方位降低停机风险、缩减停机时长，为水电产业高效运转赋能，推动能源供给稳定前行。

【关键词】智能化；水力发电；设备维护；停机时间；预测性维护

【收稿日期】2025 年 1 月 18 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250046

The advantages of intelligent hydropower equipment maintenance management system in reducing downtime are reflected

Yingchun Xue

Gansu Jianing Engineering Consulting Co., Ltd., Lanzhou, Gansu

【Abstract】In the field of hydropower generation, the continuous and stable operation of equipment has a profound impact on power supply reliability and economic benefits. Intelligent maintenance management systems have emerged to meet this need. They integrate various cutting-edge technologies, using sensor networks to collect comprehensive operational data from equipment. By leveraging big data and smart algorithms for precise analysis, they enable real-time monitoring, early fault warnings, intelligent maintenance planning, optimized resource allocation, and enhanced remote collaboration. This approach comprehensively reduces downtime risks and minimizes downtime duration, empowering the efficient operation of the hydropower industry and promoting stable energy supply.

【Keywords】Intelligent; Hydroelectric power generation; Equipment maintenance; Downtime; Predictive maintenance

引言

当今时代，水力发电作为关键的清洁能源支柱，在全球能源体系里举足轻重。设备故障引发的停机却如鲠在喉，严重阻碍发电进程，威胁供电稳定。传统维护手段常滞后于故障发展，难在早期察觉隐患。伴随科技进步，开发智能化维护管理系统成为当务之急。它能动态捕捉设备细微变化，精准预测故障节点，及时化解停机危机，确保电力稳定输出，对水电行业提升效益、实现可持续发展意义非凡，值得深入探究其优势所在。

1 实时精准监测预警

水力发电设备长期处于复杂且多变的运行环境中，传统人工巡检模式的弊端愈发凸显。一方面，人工巡检间隔时间常常长达数小时甚至数天，在这期间，设备哪怕出现极其细微的异常变化，也极易被巡检人员忽视。另一方面，受到巡检人员技能水平参差不齐、经验多寡不均，以及检测工具精度有限等多种因素的限制，即便进行了巡检，也很难精准定位潜在的故障点。

智能化系统则完全不同，其布设在设备各个关键部位的高敏传感器，犹如精密的“触角”，24 小时不间断地采集机组振动、温度、压力、转速等海量

运行数据^[1]。这些传感器能够敏锐捕捉到设备运行过程中哪怕最微小的参数波动，为后续的数据分析提供了丰富且精准的原始素材。

依托大数据分析技术构建的深度模型，对这些实时流入的数据进行高速比对与剖析。模型通过对海量历史数据的学习，建立起设备正常运行状态下的参数基准。一旦某个或多个参数偏离正常运行区间，系统立即发出精准预警。以某知名大型水电站为例，过去由于轴承磨损故障，每年平均停机 2-3 次，单次停机损失电量高达数十万度，这不仅给电站带来了巨大的经济损失，也对区域电力供应的稳定性造成了冲击^[2]。引入智能化监测预警系统后，在一次轴承温度出现缓慢上升趋势时，系统提前 4 小时敏锐察觉。运维人员依据预警迅速排查，原来是润滑系统轻微堵塞。及时疏通后，成功规避了一场可能的停机事故，保障了发电持续进行，避免了大量电量损失以及后续一系列因停机引发的连锁问题。

不仅如此，该系统还具备强大的工况自适应能力。丰水期高负荷运行时，设备承受应力大、磨损快，系统自动加密监测频率、收紧阈值，确保能够及时发现设备在高负荷运行下可能出现的各种异常情况。将原本每 15 分钟采集一次的振动数据频率提升至每 5 分钟一次，对温度阈值从原本的 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 收紧至 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。枯水期低负荷待机，适当放宽部分非关键参数监测精度，动态聚焦关键隐患，在保证设备安全运行的前提下，合理分配系统资源。如此灵活调整，全方位守护设备安全，从源头上降低停机风险，为后续维修决策抢得先机，使设备始终处于最佳运行状态监测之下。

2 智能故障预测维修

在传统模式下，水力发电设备维修主要依赖被动应急方式。设备毫无预警地突发故障，致使运维团队被迫紧急响应。这种仓促应对不仅耗时费力，维修过程常常持续数天乃至数周，而且由于准备工作仓促，在抢修期间极易对设备造成二次损害，从而进一步缩短设备的使用寿命，增加运营成本。

智能化系统扭转了这一被动局面，它凭借机器学习算法深挖设备全生命周期数据，涵盖从设备安装调试、日常运行到历次维修记录等海量信息。通过对这些数据的深度学习，构建出高度精准的故障预测模型^[3]。某中型水电站水轮机转轮叶片，按传统

定期检修流程，内部隐性裂纹在萌芽阶段很难被发现。但智能系统结合叶片材料特性、水流冲击实时受力模拟以及长期监测积累的数据，提前 8 个月精准预估叶片裂纹风险。在预测过程中，系统综合考虑了叶片所处水流环境的复杂变化，如不同季节水流速度、含沙量等因素对叶片受力的影响，以及叶片自身材料随着时间推移可能出现的性能衰退。

运维团队依据预测结果，提前筹备适配的维修材料、专用工具，调配技术精湛的维修人员。在裂纹尚未恶化前，选在发电低谷期开展预防性修复，完美避开了叶片断裂可能导致的长达数周的停机困境。在筹备过程中，维修团队详细制定维修方案，对每一个维修步骤进行预演，确保在实际维修过程中能够高效、精准地操作。

系统基于故障预测精细编排维修计划。依据故障严重程度、发展速度合理划分维修优先级，精确计算每个维修任务所需时长，科学调配人力、物力。维修人员借助智能终端接收详细维修指引，按部就班精准作业，杜绝维修现场混乱无序、延误拖沓^[4]。系统根据故障预测结果，将紧急且严重影响设备运行的故障维修优先级设定为最高，优先调配最优质的维修资源；对于一些发展较为缓慢的潜在故障，则合理安排在设备相对空闲时段进行维修。这一从故障抢修迈向主动预防的跨越，大幅削减计划外停机次数与维修耗时，保障设备运行连贯性，极大提升了设备的可靠性与稳定性。

3 优化维修资源调配

在水力发电设备维修工作中，资源调配环节存在的各类棘手问题，早已成为延长停机时间的“罪魁祸首”。在传统管理模式下，物资管理工作粗放无序，缺乏精细化管理。这致使备件库存状况不明朗，维修人员常常耗费大量时间去查找所需备件信息，宝贵的维修时机就这样悄然流逝^[5]。与此维修人员技能特长与任务分配之间毫无科学规划可言，随意匹配现象屡见不鲜，极大地降低了维修工作效率。智能化管理系统的问世，恰似一阵春风，吹散了这团混乱无序的阴霾。

当维修指令下达的那一刻，系统便以极快的速度检索所需备件的库存数量，以及所在仓库位置，同时结合实时交通路况与地理信息，运用智能算法精心规划最优配送路径，全力确保备件能够以最快

速度运抵维修现场。地处偏远山区的某水电站，往昔由于备件运输路途遥远，加上信息不畅，维修工作常常陷入漫长等待备件的困境，等待时间长达数天^[9]。如今，系统的充分协调多方物流资源，在极为紧急的情况下，甚至会启用直升机空运，成功将备件送达时间从原本的 3 天大幅缩短至 8 小时以内。在协调物流资源的过程中，系统会综合权衡运输成本、运输时间、备件紧急程度等多方面因素，审慎选择最为合适的运输方式与物流合作伙伴。

针对维修人员，系统依据故障类型、复杂程度，精准匹配最合适的技术团队，与此还会推送个性化维修工艺指导。维修人员借助移动端能够实时接收任务，并反馈维修进度，管理者则在后台进行全程监控，根据实际情况灵活调整资源分配。在一次发电机定子故障维修中，系统从众多维修班组里，精准筛选出精通电气绝缘修复的骨干成员，依据现场反馈，及时增派助手、调配特种工具。这次维修，效率较以往提升了 35%，停机时间大幅缩短，有力保障了设备能够快速恢复运行。在整个维修过程中，管理者可通过系统实时查看维修进度，一旦发现某个环节出现延误，便能立即根据实际情况调整资源分配，比如从其他维修任务中调配人员或工具，确保维修工作得以顺利推进。

4 远程协同运维支持

众多大型水电站往往坐落于偏远山区，交通极为不便。当设备遭遇复杂故障时，传统的运维沟通协作方式效率极为低下。由于地理位置的限制，技术专家很难在第一时间赶赴现场提供技术支持，这不仅延长了设备的停机时间，也增加了企业的运营成本。智能化系统搭建的远程协同运维平台，创新性地融合了高清视频通讯、AR（增强现实）等前沿技术，有效打破了地域与时空的限制。通过高清视频通讯，现场人员能够与技术专家实时连线，将设备故障的详细情况清晰、直观地展示给专家。

当现场维修人员遭遇棘手难题，只需轻点智能终端，即可与远端专家实时高清连线。借助 AR 技术，将设备故障部位三维模型与现场实时影像精准叠加，专家虽远在千里之外，却仿若身临其境，能够精准标注故障点，手把手指导维修操作。在某跨国水电站项目里，不同国家、不同专业背景的运维人员需协同完成检修任务。该平台让各方人员同步查

看设备资料、实时维修进度，在线热烈研讨优化方案，快速达成决策^[7]。在研讨过程中，各方人员可以通过平台共享自己的专业知识与经验，从不同角度提出解决方案，经过充分讨论后选择最优方案实施。

如在一次跨境河流域梯级水电站群联合检修中，各国运维团队依托平台高效协作，共享彼此技术经验，迅速解决多台机组共性问题，避免重复停机排查。相较于以往分散检修，此次整体检修时间缩短 25%，有力保障区域电力稳定供应，让远程协同成为减少停机延误的有力保障^[8]。通过远程协同运维，不仅提高了维修效率，还促进了不同地区、不同团队之间的技术交流与合作，为水电站设备的长期稳定运行奠定了坚实基础。

5 结语

智能化水力发电设备维护管理系统在减少停机时间上效果卓越。从实时监测预警的隐患洞察、智能故障预测的主动预防，到优化资源调配的高效执行、远程协同运维的即时支持，全方位重塑水电设备运维格局，保障发电稳定高效。展望未来，随着 5G 网络飞速普及、物联网应用深度拓展、人工智能持续进阶，系统将迈向更高智能化层级，深度融合虚拟工厂、数字孪生等创新技术，实现设备运行实时虚拟呈现、维修方案超前预演，进一步压缩停机时长，为水力发电产业腾飞注入磅礴动力，助力全球能源清洁转型行稳致远。

参考文献

- [1] 本刊编辑部.中国电建成都院两项成果获“2024 年度水力发电科技进步奖”一等奖[J].水电站设计,2025,41(01):30.
- [2] 本刊编辑部.《水电站设计》获中国水力发电工程学会“2024 年优秀期刊”[J].水电站设计,2025,41(01):7.
- [3] 曹一凡,张宏,朱立新,等.水力发电企业生产管理中大数据处理技术的应用[J].数字技术与应用,2024,42(06):133-135.
- [4] 朱俊杰,陈泽阳,胡军,等.水力发电机组透平油在线监测技术研究与应用[J].水电站机电技术,2024,47(02):56-59+73.
- [5] 黄俊龙.水力发电现状和制约因素的思考[J].科技风,2021,(23):189-191.

- [6] 中国水力发电工程学会《电力与能源云课堂》在电网头条开讲[J].科技传播,2021,13(06):16.
- [7] 中国水力发电工程学会《电力与能源云课堂》在电网头条开讲[J].新媒体研究,2021,7(06):8.
- [8] 刘永珺,马月姣,陶卿,等.水力发电智能化现状及发展策

略研究[J].无线互联科技,2020,17(18):175-176.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS