

水电站设备运行维护与智能化管理

邓广林

贵州西源发电有限责任公司 贵州 六盘水 553000

摘要：本文围绕水电站设备运行维护与智能化管理展开研究，概述水轮机、发电机等核心设备特性及运维核心内容，分析当前传统运维模式的局限性、设备老化、人员能力不足等问题及成因，阐述物联网、大数据、AI等智能化技术的应用及系统构建，提出管理体系优化路径与保障措施，结合实践案例验证智能化管理的成效，为提升水电站设备运行稳定性、降低运维成本、推动水电行业智能化升级提供理论与实践参考。

关键词：水电站设备；运行维护；智能化管理

引言：随着能源结构转型推进，水电站作为清洁能源核心基础设施，其设备稳定运行直接关系电力供应安全与能源利用效率。当前多数水电站仍存在运维模式滞后、效率偏低等问题，难以适应高质量发展需求。物联网、大数据等智能化技术的兴起，为水电站运维管理变革提供了支撑。基于此，本文聚焦水电站设备运行维护与智能化管理，剖析现状、探索技术应用、优化管理体系，助力水电站实现安全、高效、低碳运营。

1 水电站设备运行维护基础理论与现状分析

1.1 水电站核心设备概述

(1) 水轮机设备结构与运行特性：水轮机是水电站能量转换核心，主要由转轮、主轴、导水机构等组成，依靠水流冲击转轮实现机械能转化。其运行特性受水头、流量影响显著，需维持稳定转速以保障供电质量，同时需适应负荷波动，具备启停灵活、运行高效的特点，常见类型有混流式、轴流式等。(2) 发电机设备结构与运行要求：发电机由定子、转子、励磁系统等构成，核心是将水轮机传递的机械能转化为电能。运行中需保证定子绕组、转子绕组温度在规定范围，维持稳定的输出电压和频率，严格控制绝缘性能，避免短路、漏电等故障，确保长期安全并网运行。(3) 辅助系统设备功能：调速系统控制水轮机开度，调节机组转速和出力，保障机组稳定运行；励磁系统为发电机提供励磁电流，维持输出电压稳定；冷却系统分为水冷却、空冷等类型，降低设备运行温度，防止部件因过热损坏，保障设备使用寿命。

1.2 水电站设备运行维护核心内容

(1) 日常巡检与常规维护要点：日常巡检重点检查设备运行声音、温度、振动等参数，排查管路泄漏、部件松动等隐患；常规维护包括设备清洁、润滑、紧固，定期更换易损件，确保设备处于良好运行状态，及时发

现并处理轻微异常。(2) 设备故障诊断与处理流程：通过监测设备运行参数、分析故障现象，定位故障原因，制定针对性处理方案；遵循“先排查、后维修，先应急、后根治”的原则，处理后需进行试运行，确认故障彻底消除，做好故障记录存档。(3) 设备维护周期与标准制定：根据设备类型、运行时长、工况条件，制定合理的维护周期，分为日常维护、定期维护、大修等等级；明确各维护环节的操作标准、质量要求，确保维护工作规范化、标准化，避免维护不到位或过度维护^[1]。

1.3 当前水电站设备运行维护存在的问题

(1) 传统维护模式的局限性：多数水电站仍采用“定期检修”模式，未结合设备实际运行状态调整维护计划，存在过度维护增加成本、维护不及时导致故障扩大的问题，灵活性和针对性不足。(2) 设备老化与维护效率偏低问题：部分老旧水电站设备服役年限长，出现部件磨损、性能下降等老化现象，且维护设备和技术相对落后，人工维护工作量大、效率低，难以快速处理复杂故障。(3) 维护人员专业能力与智能化需求差距：随着水电站智能化发展，智能监测、远程控制等技术广泛应用，但部分维护人员专业知识陈旧，缺乏智能化设备操作、故障诊断能力，无法适应新形势下的维护需求。

1.4 运行维护问题产生的原因分析

(1) 管理体系不完善因素：缺乏完善的维护管理制度，责任分工不明确，维护流程不规范，未建立健全设备运行监测和故障预警机制，对维护工作的监督、考核不到位，导致维护工作流于形式。(2) 技术应用滞后因素：对智能化维护技术、新型维护设备的投入和应用不足，未充分利用大数据、物联网等技术实现设备状态实时监测，维护技术更新速度跟不上设备发展步伐。(3) 资源投入不足因素：在维护资金、人员培训、设备更新等方面投入不足，导致维护设备老化、维护人员专业能

力无法提升,难以满足设备运行维护的实际需求,间接加剧了各类问题的产生。

2 水电站设备智能化管理核心技术与应用

2.1 智能化管理技术基础

(1) 物联网(IoT)技术在设备监测中的应用:物联网技术通过在水轮机、发电机等核心设备及辅助系统上部署各类传感器,实现设备运行参数的实时采集与互联互通。传感器可精准捕捉温度、振动、压力等关键数据,通过无线传输模块将数据上传至管理平台,打破传统人工监测的时空限制,实现设备状态的全方位、无死角监测,为后续数据处理和故障诊断提供基础。(2) 大数据与云计算技术在数据处理中的应用:水电站运行过程中产生海量设备监测数据,大数据技术可对这些异构数据进行清洗、整合与分析,挖掘数据背后的关联规律;云计算技术提供高效的算力支撑,实现海量数据的快速存储、运算与共享,解决传统数据处理效率低、存储压力大的问题,为设备状态评估和维护决策提供数据支撑^[2]。(3) 人工智能(AI)技术在故障诊断中的应用:人工智能技术中的机器学习、深度学习算法,可通过训练历史故障数据,构建故障诊断模型,能够快速识别设备运行中的异常信号,精准定位故障类型、部位及原因,甚至提前预判潜在故障,相比传统人工诊断,大幅提升故障诊断的准确性和效率,减少故障排查时间。

2.2 水电站设备智能化监测系统构建

(1) 监测指标选取与传感器布置:结合水电站设备运行特性,选取转速、温度、振动、绝缘性能等核心监测指标,确保指标能全面反映设备运行状态;传感器布置遵循“关键部位全覆盖、重点参数精准监测”原则,在水轮机转轮、发电机定子等核心部件及调速、励磁系统关键节点合理布置传感器,保障数据采集的准确性和代表性。(2) 数据采集与传输机制设计:采用“实时采集+定时上传”相结合的方式,确保数据采集的及时性;搭建无线与有线相结合的传输网络,优先采用5G、光纤等高速传输技术,减少数据传输延迟和丢失,同时建立数据加密机制,保障数据传输安全,确保监测数据准确无误传递至管理平台。(3) 监测系统可视化平台搭建:搭建集数据展示、状态预警、历史查询于一体的可视化平台,将采集的设备运行数据以图表、曲线等直观形式呈现,便于工作人员实时掌握设备状态;平台支持异常数据自动报警,可快速推送预警信息,为工作人员及时处置提供便利^[3]。

2.3 智能化维护与决策系统应用

(1) 设备状态预测性维护模型构建:基于设备历

史运行数据和故障数据,结合AI算法构建预测性维护模型,通过分析设备运行趋势,精准预测设备潜在故障和维护需求,打破传统“定期检修”模式,实现“按需维护”,降低维护成本,延长设备使用寿命。(2) 智能化故障诊断与预警系统实现:整合物联网、AI技术,构建智能化故障诊断与预警系统,实时分析设备监测数据,当数据超出阈值或出现异常趋势时,自动发出预警信号,并推送故障诊断建议,指导工作人员快速处理故障,减少故障停机时间^[4]。(3) 维护决策智能化优化方法:结合大数据分析结果和设备运行状态,采用智能化算法对维护计划、资源配置进行优化,合理安排维护时间、人员和物资,避免过度维护或维护不足,提升维护工作的科学性和高效性,降低维护成本。

2.4 智能化管理体系的实践应用案例

(1) 案例电站基本概况:某中型水电站总装机容量300MW,拥有3台混流式水轮发电机组,服役年限15年,此前采用传统维护模式,存在故障排查效率低、维护成本偏高问题,2023年引入设备智能化管理系统,实现核心设备全流程智能化监测与维护。(2) 智能化系统应用效果分析:系统应用后,设备故障诊断准确率提升至95%以上,故障排查时间缩短60%,年均故障停机时间减少80小时;预测性维护模式替代传统定期检修,年均维护成本降低30%,设备运行稳定性显著提升,机组发电效率提高2%,实现了经济效益与安全效益的双重提升。

3 水电站设备运行维护与智能化管理体系优化

3.1 管理体系优化原则与目标

(1) 优化原则:坚持“安全优先、智能高效”核心原则,以设备安全稳定运行为首要前提,融入智能化技术提升管理效能;遵循“贴合实际、循序渐进”原则,结合水电站设备现状、规模及技术水平,避免盲目优化,分阶段推进体系升级;秉持“以人为本、权责明晰”原则,兼顾管理效率与人员适配性,明确各岗位职责,充分调动工作人员积极性;坚守“节能降耗、提质增效”原则,通过优化管理降低维护成本、提升设备运行效率和发电效益。(2) 优化目标:短期目标是完善智能化管理基础,实现日常巡检、故障处理等核心流程的智能化改造,提升故障诊断准确率和维护效率,降低设备故障停机率;中期目标是建成完善的智能化管理体系,实现设备状态预测、维护决策、资源调度全流程智能化,培育一支复合型智能化管理人才队伍;长期目标是实现设备运行维护与智能化管理深度融合,打造安全、高效、节能、低碳的智能化水电站管理模式,全面提升水电站运营管理水平 and 核心竞争力。

3.2 运行维护流程智能化优化

(1) 日常巡检流程智能化改造: 引入智能巡检机器人、移动巡检终端, 替代传统人工巡检, 实现巡检数据实时采集、上传与分析; 通过物联网技术联动设备监测数据, 对巡检异常进行自动预警, 明确巡检重点区域和内容, 减少无效巡检, 提升巡检精准度和效率, 确保隐患早发现、早处置。(2) 故障处理与维护流程闭环优化: 构建“预警-诊断-处置-复盘”闭环流程, 智能化系统发出故障预警后, 自动推送诊断建议和处置方案, 明确责任人员和处置时限; 维护完成后, 系统自动记录处置过程和结果, 对故障原因进行复盘分析, 优化预警模型和维护方案, 形成闭环管理, 避免同类故障重复发生。(3) 维护资源调度智能化配置: 基于大数据分析, 构建维护资源调度模型, 实时整合人员、设备、物资等资源信息, 根据维护任务优先级、故障紧急程度, 自动分配最优资源, 避免资源闲置或调配不合理, 缩短维护响应时间, 提升维护资源利用率^[5]。

3.3 智能化管理人才队伍建设

(1) 人才培养体系构建: 建立“理论+实践+智能化技能”三位一体培养体系, 结合水电站智能化设备和管理需求, 开设物联网、大数据、AI应用等相关课程, 邀请行业专家开展专题培训; 搭建岗位实操平台, 组织工作人员参与智能化系统实操训练, 提升实操能力, 实现现有人员向智能化管理人才转型。(2) 技能培训与考核机制完善: 制定常态化技能培训计划, 定期开展智能化设备操作、故障诊断、系统维护等培训, 更新人员专业知识和技能; 完善考核机制, 将智能化技能、工作绩效与奖惩、晋升挂钩, 设立专项考核指标, 倒逼工作人员提升专业能力, 确保培训效果落地。(3) 复合型人才引进策略: 制定针对性人才引进计划, 重点引进具备水电站设备管理经验、掌握智能化技术的复合型人才; 与高校、科研院所合作, 开展定向培养, 储备青年智能化管理人才; 完善人才引进激励政策, 提供良好的发展平台和薪酬待遇, 吸引并留住人才。

3.4 管理体系优化的保障措施

(1) 制度保障: 完善智能化管理相关规章制度, 明确智能化系统运行、维护、管理的操作规程, 规范各岗位职责和 workflows; 建立健全监督考核机制, 加强对管理体系优化落实情况的监督检查, 及时发现并解决问题, 确保优化措施落地见效。(2) 技术保障: 加强与科研院所、科技企业合作, 引进先进的智能化技术和设备, 持续优化智能化管理系统, 提升系统稳定性和功能实用性; 建立技术支撑团队, 负责系统升级、故障处置和技术创新, 为管理体系优化提供技术支撑。(3) 资金保障: 合理安排资金投入, 加大对智能化设备购置、系统升级、人才培养、技术研发等方面的资金支持; 建立资金动态调配机制, 确保资金精准投入到管理体系优化的关键环节, 提高资金使用效益, 为体系优化提供充足的资金保障。

结束语

水电站设备运行维护与智能化管理是推动水电行业高质量发展的关键举措, 更是保障能源安全、实现节能降耗的重要支撑。本文系统梳理了运维现状、智能化技术应用及管理体系优化方法, 明确了智能化转型的核心路径。未来, 需持续强化技术创新、人才培育与资金投入, 推动运维模式向预测性、智能化转变, 实现设备全生命周期高效管理, 为清洁能源产业发展注入持久动力。

参考文献

- [1] 沈丰华. 水电站电气设备运行检修浅析[J]. 水电站机电技术, 2023, 43(11): 82-86.
- [2] 于洪亮. 水电站电气设备检修与运行维护现状及提升建议[J]. 地下水, 2021, 43(4): 162-166.
- [3] 徐顺力. 浅析中小型水电站运行管理中的问题及对策[J]. 水电水利, 2021, 5(3): 90-91.
- [4] 孟鹏飞, 刘显芊. 水电站启闭设备远程智能综合管理系统设计[J]. 华电技术, 2023, 42(2): 33-37.
- [5] 贵树鑫, 庄链生. 水电站机械设备的运行维护分析与管理思考[J]. 地产, 2023, 9(3): 81-85.