

水电站机电设备技术管理与维护

杨方银

甘肃电投九甸峡水电开发有限责任公司 甘肃 定西 743000

摘要：水电站机电设备技术管理与维护是保障电力稳定供应的关键。其涵盖设备全生命周期管理，包括设计、安装、运行及退役各阶段，强调标准化、信息化与智能化融合。通过预防性维护、故障精准诊断及智能化技术应用，可有效降低故障率、延长设备寿命。当前面临老旧设备改造、极端天气挑战及运维人员技能断层等问题，未来需推动人工智能融合、发展绿色运维并探索区域协同模式，以提升管理效能与经济效益。

关键词：水电站；机电设备；技术管理；维护

引言：水电站作为国家能源体系的重要组成部分，其机电设备的安全稳定运行直接关系到电力供应的可靠性与能源结构的优化。随着设备向大型化、智能化方向发展，叠加极端气候频发、服役年限延长等现实挑战，传统运维模式已难以满足高效、精准的管理需求。如何通过技术创新与管理升级，实现机电设备全生命周期的智能化管控、故障预防与成本优化，成为保障水电站安全经济运行、推动行业高质量发展的关键命题。

1 水电站机电设备概述

1.1 机电设备分类与功能

(1) 核心设备是水电站能量转换与传输的核心载体。水轮机负责将水流势能转化为机械能，是动力输出的源头；发电机承接机械能并转化为电能，决定发电效率与电能质量；变压器承担电压变换任务，实现电能远距离高效输送；调速器通过调节水轮机开度，稳定机组转速，保障电能频率达标，确保供电稳定性。(2) 辅助系统是机电设备安全稳定运行的保障。冷却系统通过循环介质带走设备运行产生的热量，防止部件因过热损坏；润滑系统为转动部件提供润滑，减少摩擦磨损，延长设备寿命；监控系统实时采集设备运行参数，及时预警故障，为运维决策提供数据支撑。

1.2 设备运行特点

(1) 水电站机电设备需长期连续运行以保障电力稳定供应，运行周期长、负荷波动大。同时，设备所处环境具有潮湿、多水汽、振动频繁等特点，易加速部件腐蚀、老化，对设备防护性能要求极高。(2) 设备运行依赖多系统协同配合，水轮机、发电机、调速器等核心设备与辅助系统间需精准联动。任一系统出现异常均可能影响整体运行，要求各系统在技术参数、控制逻辑上高度匹配，对协同控制技术提出严格要求。

1.3 常见故障类型与成因

(1) 机械故障多源于长期磨损与应力作用。转动部件长期摩擦导致磨损加剧，影响配合精度；设备运行中的振动与载荷变化产生交变应力，易使部件出现裂纹；安装偏差或平衡失调则会导致振动超标，进一步加剧设备损坏。(2) 电气故障主要与绝缘老化和电路异常相关。电气部件长期在潮湿环境下运行，绝缘层易老化破损，引发短路；线路接触不良、元件质量缺陷或过电压冲击，可能导致控制系统失灵，影响设备启停与调节功能。(3) 人为操作与管理因素不可忽视。操作人员误操作、违规操作会直接引发设备故障；运维管理不到位，如定期检修缺失、备件更换不及时、运行参数监控不全面等，会使小隐患逐步扩大，最终导致设备故障停机^[1]。

2 水电站机电设备技术管理体系

2.1 全生命周期管理理论

(1) 设计阶段是设备全生命周期可靠性的基础，需明确严苛的技术规范与可靠性要求。要结合水电站水文条件、装机容量等核心需求，制定设备材质、性能参数、结构设计的技术标准，同时开展可靠性仿真分析，规避潜在设计缺陷，确保设备在长期复杂运行环境下的稳定性与耐久性。(2) 安装调试阶段的质量控制直接决定设备运行效能，核心要点包括三点：一是严格把控设备进场验收，核查部件质量与型号匹配度；二是规范安装工序，严控安装精度，尤其是核心转动部件的同轴度、间隙等关键指标；三是开展系统性调试，模拟各类运行工况，验证设备与系统的协同运行效果，确保各项参数达标。(3) 运行阶段需依托实时监测与数据分析实现动态管理。通过布设传感器采集设备振动、温度、电压等关键参数，搭建实时监测链路；运用数据分析模型挖掘参数变化规律，识别异常征兆，及时调整运行策略，避免故障扩大，同时为后续维护提供数据支撑^[2]。

(4) 退役阶段需实施科学的评估与更新策略。先对设备

老化程度、安全隐患、运行经济性开展全面评估,结合水电站长远规划,制定退役、改造或更换方案;对于退役设备,需规范拆解、回收流程,实现资源循环利用,同时同步推进新设备选型与衔接,保障供电连续性。

2.2 标准化与规范化管理

(1) 国际标准与国内标准各有侧重且相互衔接。国际标准如IEC(国际电工委员会)标准侧重设备通用性、安全性与国际兼容性,ISO标准聚焦管理体系规范化;国内标准结合我国水电站地质环境、电网架构特点,在技术参数、安全阈值等方面更具针对性。实际管理中需做好两类标准的对比适配,优先采用符合国情且达到国际先进水平的标准。(2) 企业内部技术规程是标准化管理的落地保障。需基于国标、行标及企业设备实际,制定涵盖设备操作、维护、检修、应急处置等全流程的技术规程;同时建立规程执行监督机制,通过岗前培训、定期考核、现场巡查等方式,确保规程严格落实,避免人为操作偏差。

2.3 信息化管理平台建设

(1) 物联网(IoT)是设备状态监测的核心支撑技术。通过在水轮机、发电机等核心设备及辅助系统布设智能传感器,构建全域感知网络,实现设备运行参数、环境数据的实时采集与传输,打破传统监测的时空限制,为精准管理提供数据基础。(2) 大数据分析 with 预测性维护技术可显著提升管理效能。依托平台积累的海量运行数据,运用大数据算法分析设备故障演化规律,建立故障预测模型,提前预判潜在故障并制定维护计划,将传统“事后维修”转变为“事前预防”,降低停机损失与维护成本。(3) 数字孪生技术具备巨大潜在价值。通过构建设备虚拟孪生体,实现物理设备与虚拟模型的实时映射,可模拟设备在不同工况下的运行状态,为设计优化、故障溯源、运维演练提供虚拟试验场景,助力提升管理的智能化、精准化水平,推动技术管理模式升级^[3]。

3 水电站机电设备维护策略

3.1 预防性维护

(1) 定期检修计划制定需结合设备类型、运行工况与行业标准,构建分级检修体系。对于水轮机、发电机等核心主机设备,依据运行时长、负荷率制定大修周期,通常每5-10年开展一次全面大修,对设备内部部件进行拆解检查、修复与更换;小修则聚焦日常隐患排查,频次设定为每6-12个月一次,重点检查密封件、紧固件、润滑系统等易损部位,及时处理轻微磨损、渗漏等问题。计划制定需兼顾设备运行需求与供电稳定性,合理

安排检修窗口期,避免集中停电影响电力供应。(2) 关键部件的寿命预测与更换标准是预防性维护的核心。通过收集部件材质参数、运行负荷数据、历史故障记录,结合疲劳强度理论、磨损规律建立寿命预测模型,精准预判水轮机转轮、发电机定子转子、变压器绕组等关键部件的剩余寿命。同时,制定明确的更换标准,针对不同部件设定磨损阈值、性能衰减极限等量化指标,如当轴承磨损量超过0.5mm、绝缘电阻低于规定值时,立即启动更换流程,避免部件失效引发连锁故障。

3.2 故障诊断与修复技术

(1) 采用多元化诊断方法实现故障精准识别。振动分析通过监测设备振动频率、幅值等参数,结合频谱分析技术,判断转动部件不平衡、轴承损坏、轴系不对中等机械故障;油液分析通过检测润滑油的水分、杂质含量、金属颗粒浓度,评估部件磨损程度与润滑系统状态;红外热成像技术可快速定位电气设备的热点区域,及时发现绝缘老化、接触不良等电气隐患。多种方法协同运用,提升故障诊断的准确性与全面性^[4]。(2) 建立快速响应机制与科学的备件库存管理。明确故障分级标准,针对重大故障启动应急响应流程,组建专业抢修团队,制定标准化修复方案,缩短停机时间;针对一般故障优化派单流程,确保维修人员快速到位。备件库存管理采用ABC分类法,对关键核心备件(如主轴承、阀门芯件)保障充足库存,对通用备件实行定额管理,同时搭建区域备件共享平台,通过大数据分析预测备件需求,平衡库存成本与供应及时性。

3.3 智能化维护技术

(1) 构建基于机器学习的故障预测模型。依托设备运行大数据,通过神经网络、支持向量机等机器学习算法,挖掘设备参数与故障之间的关联规律,建立精准的故障预测模型。该模型可实时接收设备运行数据,自动识别异常趋势,提前1-3个月预判潜在故障,并推送具体预警信息与处置建议,实现从“事后维修”向“事前预防”的转变。(2) 推广远程运维与专家系统支持。通过搭建远程运维平台,实现对水电站设备的远程监测、参数调控与故障诊断,无需人员现场值守即可处理常规问题,降低运维成本;整合行业专家资源构建专家系统,内置海量故障案例与解决方案,当现场出现复杂故障时,系统可快速匹配相似案例,提供专家级处置指导,同时支持现场人员与远程专家实时联动,提升故障修复效率与质量。

3.4 维护成本控制与优化

(1) 采用全生命周期成本(LCC)分析方法统筹维

护成本管理。全生命周期成本涵盖设备设计、采购、安装、运行维护至退役的全流程成本，通过LCC分析可打破传统“重采购、轻维护”的误区，综合评估不同维护策略对成本的影响。在维护决策中，不仅考虑单次维护的直接成本，还需核算故障停机损失、部件更换成本、能耗成本等间接成本，实现维护成本的全流程、全方位管控。（2）开展维护策略的经济性评估，实现维护资源最优配置。建立经济性评估指标体系，包括维护成本降低率、设备可用率提升幅度、单位发电量维护成本等，对不同维护策略（如预防性维护、预测性维护、故障后维护）的经济效益进行量化分析。结合设备重要程度、故障影响范围等因素，对关键核心设备优先采用精准化、智能化的维护策略，对次要辅助设备合理简化维护流程，在保障设备可靠性的前提下，最大限度降低维护成本，提升水电站的整体经济效益^[5]。

4 水电站机电设备技术管理的挑战与未来发展趋势

4.1 当前面临的主要挑战

（1）老旧设备的技术改造难题突出。部分水电站服役年限久，核心机电设备技术陈旧、性能衰减，且早期设备型号特殊，配件难寻。改造过程中，新旧设备接口兼容性差、控制系统协同难度大，同时改造需兼顾停电影响与成本控制，导致技术升级进度缓慢，难以适配现代电网对供电可靠性与智能化的要求。（2）极端天气加剧设备可靠性风险。全球气候异常背景下，暴雨、高温、寒潮等极端天气频发，易引发水电站厂房进水、设备受潮短路，或导致冷却、润滑系统效能下降。极端水文条件还会造成水轮机负荷骤变、振动加剧，超出设备设计耐受范围，大幅提升故障概率，对设备防护与应急响应能力提出更高要求。（3）运维人员技能断层问题亟待解决。传统运维人员擅长机械、电气基础维护，但缺乏智能化设备操作、大数据分析等新兴技术能力；而年轻运维人员实践经验不足，难以快速处置复杂故障。行业内专业技能传承不畅，导致高端运维人才短缺，制约了智能化管理体系的落地成效。

4.2 未来发展方向

（1）推动人工智能与自动化技术深度融合。利用AI

算法优化设备运行参数调控，实现机组启停、负荷调节全自动化；结合机器学习强化故障预测精度，构建自主决策型运维系统。通过自动化技术替代人工重复操作，降低人为失误，依托AI提升复杂工况下的设备管控能力，推动运维模式全面智能化。（2）发展绿色运维与节能减排技术。推广低能耗运维设备与环保型材料，优化润滑、冷却系统流程，降低设备能耗；建立设备能效监测体系，通过数据分析挖掘节能潜力。同时，规范退役设备拆解回收流程，推动材料循环利用，实现运维全流程的低碳环保，契合双碳发展目标。（3）探索区域协同运维模式。打破单座水电站运维壁垒，搭建区域共享运维平台，整合技术资源、备件库存与专家力量。通过跨电站远程协同监测、故障联合处置，实现备件高效调配与技术互补，降低单站运维成本。构建区域运维人才培养与共享机制，缓解技能断层问题，提升整体运维效率与应急处置能力。

结束语

水电站机电设备技术管理与维护是保障电力稳定供应、推动行业可持续发展的基石。面对设备老化、极端天气及智能化转型的多重挑战，需以全生命周期管理为纲，融合标准化、信息化与智能化手段，构建预防性维护与故障预测体系。未来，通过深化人工智能应用、推广绿色运维模式及强化区域协同机制，可进一步提升设备可靠性、降低运维成本，为水电行业高质量发展注入新动能，助力“双碳”目标实现。

参考文献

- [1] 妮鹿菲尔·毛吾田.水电站电气设备运行维护与故障检修研究[J].光源与照明,2023(01):156-158.
- [2] 蒋洪.水电站机电设备的故障检修与运行维护[J].水利水电科技进展,2022,42(06):136-138.
- [3] 陈辉.水电站工程中永久机电设备的安装与施工技术管理[J].砖瓦世界,2023(17):190-192.
- [4] 魏伟.水利工程泵站机电设备故障诊断方法分析[J].冶金丛刊,2020,5(5):135-136.
- [5] 赵碧河.中小型水电站机电设备的安装和管理[J].科学技术创新,2020(19):144-145.