

水电厂机械设备检修及维护管理问题研究

潘 锋 樊宏强 张生辉 姬登云 祁斌斌

国网甘肃省电力公司刘家峡水电厂 甘肃 永靖 731600

摘 要：水电厂机械设备是发电系统稳定运行的核心载体，其检修与维护管理直接关乎电厂安全生产与经济效益。当前多数中小型水电厂存在检修模式滞后、运维流程不规范、故障预判能力薄弱等问题，且管理制度、人才储备及技术设备投入存在短板。本文系统梳理水电厂核心设备运行特点与主流检修模式，深入剖析运维管理现存问题及成因，从检修模式优化、制度完善、队伍建设、智能升级四方面提出针对性对策，助力水电厂设备运维提质增效。

关键词：水电厂；机械设备检修；维护管理问题

引言：在电力行业稳步转型、电网负荷持续波动的背景下，水电作为清洁可再生能源，其稳定供电对电力系统平稳运行至关重要。水电厂机械设备长期高负荷、多工况运行，易受水流冲刷、环境腐蚀及温度交变影响产生故障，高效的检修维护管理是设备长效安全运行的保障。现阶段传统运维模式已难以适配现代化水电运营需求，各类运维漏洞频发。基于此，本文聚焦水电厂机械设备检修与维护管理痛点，探究科学可行的优化路径，为行业运维管理升级提供参考。

1 水电厂机械设备检修及维护管理基础概述

1.1 水电厂核心机械设备类型及运行特点

(1) 核心机械设备类型：主要包括水轮机（将水流能量转换为旋转机械能）、发电机（将机械能转换为电能）、调速器（调节机组转速与出力）、油压装置（为操作机构提供压力油源）、闸门启闭设备（控制通道通断与流量）、辅助供水排水系统（保障冷却、润滑及排水需求）等。各类设备分工明确、协同运行，构成水电厂发电核心系统^[1]。(2) 设备运行特点：设备长期连续高负荷运行，且因电网负荷变化而启停频繁；运行环境特殊，过流部件受水流冲刷和泥沙磨损严重，电气部件受潮湿空气腐蚀，金属构件因温度交变产生疲劳；设备间关联性强、耦合度高，任一环节异常均可能引发连锁反应，导致整台机组非计划停机，影响电网稳定和发电效益。

1.2 机械设备主要检修模式

(1) 定期检修模式：依据日历周期安排检修，属预防性策略，可提前处理常规磨损和老化问题，但难以精确匹配设备实际劣化程度，常出现维修过剩或不足，造成资源浪费。(2) 事后维修模式：设备故障发生后

再入维修，短期运维投入低，但非计划停机频发，影响发电任务，且故障恶化后修复难度大、备件供应紧张，安全隐患突出。(3) 状态检修模式：借助振动、温度、压力、油液分析等在线传感技术，结合数据分析和诊断模型，精准评估设备健康状态，按需制定维修计划，既有效预防重大故障，又避免过度维修，是目前最经济合理的运维模式。

1.3 机械设备维护管理的核心价值

(1) 安全保障价值：通过常态化监测和隐患排查，及时消除跑冒滴漏、绝缘老化、机械松动等缺陷，杜绝飞逸、断轴、火灾等恶性事故，筑牢安全防线。(2) 经济效益价值：维护管理可延长设备大修间隔和服役年限，降低突发故障换件及抢修费用，同时减少非计划停运导致的电量损失，优化全生命周期成本。(3) 运维提质价值：建立标准化作业流程和信息管理平台，规范日常点检、润滑、试验等操作，积累运行数据，推动设备管理向精细化、智能化迈进，提高整体运维效能。

2 水电厂机械设备检修及维护管理现存问题及成因

2.1 检修工作现存核心问题

(1) 检修模式滞后固化：多数中小型水电厂仍沿用传统定期检修与事后维修相结合的运维模式，状态检修技术普及率偏低，仅少数关键机组试点应用在线监测手段。固定周期检修无法精准匹配不同机组实际劣化速率，易造成检修过剩与检修盲区并存；事后维修则始终处于被动响应状态，检修决策缺乏数据支撑，整体精准度不足，难以适应设备差异化运行工况的维护需求。(2) 检修流程不规范：从检修前期勘察、缺陷分析、方案编制，到过程质量管控、中间验收，再到竣工试验及复盘评价，各环节衔接不紧密，缺乏统一的技术

标准和作业指导书约束。部分检修作业过度依赖个人经验操作,拆卸、测量、回装等工序随意性较大,检修质量参差不齐,返修率和重复消缺频次偏高,直接影响设备投运后的运行可靠性^[2]。(3)设备故障预判能力弱:在役监测手段单一,多数设备仅配备常规仪表,缺乏振动、超声波、油液颗粒度等在线监测传感器,数据采集频次低、维度少。离线点检依赖人工定期巡检,难以捕捉突发性或早期微弱异常信号,无法实现故障早期预警与精准定位,设备突发故障率居高不下,非计划停机事件时有发生。

2.2 维护管理工作突出问题

(1)管理制度体系不完善:现行管理制度条款笼统、原则性强,缺乏针对不同设备类型、运行阶段的差异化维护细则,且未建立量化的考核指标与责任追溯机制。制度执行缺少刚性约束和过程监督,现场落地效果大打折扣,管理工作往往停留在纸面层面。(2)设备台账管理不规范:机械设备的运行参数记录、检修履历、保养周期执行情况、故障处理报告等台账资料,普遍存在填写遗漏、更新滞后、格式不统一等问题,纸质台账与电子数据脱节现象严重。历史信息可追溯性差,难以从数据层面挖掘设备劣化规律和故障演变趋势,运维决策缺乏可靠的数据依据。(3)日常维护落实不到位:普遍存在“重大修、轻日常”的思想偏差,巡检工作流于签字确认,清洁、润滑、紧固、防腐、防潮等基础保养频次不足、操作粗放,季节性防汛前检查与汛后维护执行不到位。小问题长期积累演变为大故障,加速设备性能衰减与寿命折损,增加了后续检修的难度和成本。

2.3 问题产生的主要成因

(1)管理理念落后:企业决策层对设备全生命周期管理的战略价值认识不深,仍秉持“保发电量优先、运维投入从简”的传统思维,重生产指标考核、轻设备健康管理,缺乏推进智能化运维转型的内生动力和长远规划,管理创新意识不足。(2)人员专业能力不足:现有一线运维人员年龄结构偏大,传统维修经验丰富但数字化素养薄弱,青年员工实际动手能力欠缺且流动性较高。多数人员未掌握振动分析、红外测温、油液光谱解读等在线监测诊断技术,也无法熟练操作智能化检修仪器,复合型技术人才梯队建设严重滞后,难以适应现代化运维要求。(3)技术与设备投入不足:部分水电厂监测仪器仪表仍停留在老旧水平,精度低、可靠性差,未部署在线监测系统和设备健康管理平台。物联网传感、大数据分析、数字孪生等先进技术因资金短缺或认知局限而难以推广应用,信息化基础薄弱从根本上制约了运维工作

提质增效。

3 水电厂机械设备检修及维护管理优化对策

3.1 优化设备检修模式,提升检修精准度

(1)推行差异化混合检修模式:综合考虑设备类型、运行年限、工况条件、故障历史等因素,科学制定差异化检修策略。对水轮机、发电机、调速器等核心关键设备,优先推行状态检修,依托实时监测数据精准安排维修节点;对辅助供水泵、排水泵、油处理设备等非核心设备,采用定期检修为主、故障检修为补充的方式,确保各层级设备均获得适宜的维护力度,整体降低运维资源损耗。(2)规范标准化检修流程:制定覆盖检修全过程的标准化作业规范与操作手册,对检修前期勘察内容、方案编制模板、作业工序标准、质量验收指标、竣工资料归档等各环节予以明确约定,引入检修质量节点控制与三级验收制度。严格按标准执行每一步操作,杜绝凭经验、凭感觉的随意性作业行为,最大限度保障检修质量的一致性和可追溯性,减少返修率^[3]。(3)搭建智能故障预判体系:在水轮机主轴、发电机轴承、调速器液压系统等关键部位加装振动、温度、压力、超声波、油液颗粒度等在线监测传感器,构建多层次数据采集网络;部署故障诊断与预警平台,利用大数据比对、趋势分析和智能算法模型,对异常信号实时识别与定位,实现从“事后被动抢修”向“事前主动预警”的转变,有效压缩非计划停机时间。

3.2 完善运维管理制度,规范管理体系

(1)健全精细化管理制度:以设备全生命周期管理为主线,梳理检修、维护、巡检、保养、台账、备件、安全等各业务环节,制定针对性强、操作性好的实施细则,明确各级人员职责权限与工作频次,确保每台设备有人管、每项工作有标准、每个环节有记录,杜绝制度内容“大而空”、执行层面“两张皮”的现象。(2)建立考核监督机制:将设备可利用率、检修质量达标率、隐患发现及整改率、台账完整率等关键指标纳入班组及个人绩效考核,设立专职监督岗位,采取定期检查、随机抽查、专项督查相结合的方式,对运维工作质量进行客观评价,考核结果与薪酬奖惩、评优晋升直接挂钩,以刚性约束倒逼各项制度真正落实到位^[4]。(3)规范设备台账数字化管理:建立统一的电子台账管理系统,统一数据录入格式与更新标准,实时记录设备铭牌参数、运行工况、检修履历、保养周期、故障处理经过及备件更换明细等全维度信息,支持多条件组合检索与历史回溯,打破信息孤岛,使运维人员可随时查阅设备完整档案,为科学制定检修计划与备件储备提供准确可靠的数

据依据。

3.3 强化人员队伍建设,提升专业能力

(1) 搭建常态化培训体系:制定年度分层分类培训计划,围绕设备原理结构、检修操作技能、智能化监测仪器使用、故障诊断分析方法、安全操作规程及新技术应用等核心模块,采用课堂教学、现场实操、事故案例复盘、技能比武等多种形式,定期开展培训活动。建立培训效果评估与跟踪反馈机制,持续提升运维人员理论素养与实际动手能力,确保培训全覆盖、有实效,切实提高队伍综合素质。(2) 优化人员队伍结构:积极引进电气工程、自动化控制、数据分析等专业背景的新生力量充实运维团队,改善队伍年龄结构与知识结构。同时充分发挥经验丰富的老员工“传帮带”作用,以师徒结对方式传承关键技能与故障处理经验,定期组织技术交流与经验分享,加速青年员工成长成熟,形成老中青结合、理论与实践兼备的梯队化人才格局,为运维工作高质量发展夯实人才基础。(3) 建立激励机制:设立运维创新奖、隐患排查专项奖、技术攻关奖等多元化激励项目,对在检修工艺改进、故障精准排除、节能降耗、管理创新等方面做出突出贡献的员工给予物质奖励与精神表彰,增强岗位荣誉感与归属感。建立公开透明的评优评先通道,让技术骨干有奔头、有干劲,充分激发全员钻研技术、主动作为的内生动力,营造比学赶超的良好工作氛围。

3.4 加大技术投入,推进运维智能化升级

(1) 更新升级运维设备:系统排查现有监测仪器与检修装备,有计划地淘汰精度不足、可靠性差的老旧设备,配备高灵敏度振动分析仪、红外热成像仪、便携式超声波检测仪、智能轴承诊断仪等先进工具。完善检修车间工装设备配置,提升现场数据采集精度与检修作业效率,从硬件层面为精准化、高效化运维创造有利条件。(2) 搭建数字化运维平台:整合设备在线监测、检修工单管理、隐患闭环处理、备件库存管理、台账信

息查询等功能模块于统一的数字化平台,以可视化驾驶舱形式直观呈现设备健康状态与运维进度。实现任务派发、过程跟踪、结果审核全流程线上闭环管控,支持多维度数据统计分析与报表自动生成,推动运维管理向透明化、协同化、智能化方向持续迈进^[5]。(3) 推广先进运维技术:积极引进设备全生命周期管理系统、基于大数据的故障预测与健康管理技术、数字孪生仿真分析等前沿成果,结合水电厂实际进行适配应用。建立技术推广试点机制,分阶段、分步骤推进新技术落地,通过技术赋能持续优化检修策略与维护工艺,稳步推动运维管理模式由经验驱动向数据驱动转型,全面提升水电厂设备管理水平和企业核心竞争力。

结束语

水电厂机械设备检修及维护管理是一项系统性、长期性的基础工作,直接决定电厂运维质量、安全水平与运营效益。本文剖析了当前水电设备运维的各类问题及深层成因,针对性提出差异化检修、制度完善、人才培育、智能升级的全方位优化策略。未来水电厂需持续摒弃传统运维思维,依托技术与人才赋能,推进设备全生命周期精细化、智能化管理,切实筑牢水电安全生产防线,助力水电行业高质量发展。

参考文献

- [1] 蒋洪. 水电站机电设备的故障检修与运行维护管理研究 [J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(06): 78-83.
- [2] 莫斌伟. 水电站水轮发电机组常见故障技术处理与检修管理 [J]. 低碳世界, 2022, 12(11): 73-75.
- [3] 李长兵. 水电站机械设备运维管理现存问题及优化路径 [J]. 水电能源科学, 2023, 41(09): 190-193.
- [4] 张宇峰. 水电厂机械设备状态检修与运维风险管控 [J]. 水力发电, 2023, 49(05): 89-93.
- [5] 吴杰. 水电厂机械设备检修及维护管理研究 [J]. 工业 A, 2023, 28(12): 157-159.