

水利水电工程中的水电站运行管理

杨海旭

松原市哈达山水利枢纽暨松原灌区开发集团有限公司 吉林 松原 138000

摘要：为提升水利水电工程综合运营效能，本文围绕水电站运行管理核心内容与主流运行模式展开研究，剖析当前设备运维、人员制度、调度运营三大板块现存问题，深挖规划脱节、理念落后、资源不足等深层成因。结合行业运维需求，从设备全周期管控、制度人才建设、多维调度优化、数字生态运维四方面提出优化对策，助力电站实现安全运行、增效发电、水资源统筹利用与生态保护协同发展，推动水电站集约化、智慧化转型。

关键词：水利水电工程；水电站；运行管理

引言：水电站是水利水电工程核心枢纽，兼具发电、防洪、灌溉、生态供水多重功能，运行管理质量直接决定工程安全、水能利用率与流域生态稳定性。现阶段国内水电站新旧电站并存，传统管理模式弊端凸显，设备老化、管理体系滞后、多目标调度失衡等问题愈发突出。立足行业数字化、集约化发展趋势，立足工程实际梳理运行管理痛点，针对性完善管控体系，对破解运维难题、平衡综合效益、推动水利水电行业高质量发展具备极强现实意义。

1 水电站运行管理核心内容与运行模式分析

1.1 水电站运行管理基础概述

（1）水电站运行管理是指对水电站生产全过程进行计划、组织、协调和控制的一系列活动，其管理目标为：保障水电站安全稳定运行，提升发电经济效益，优化水资源综合利用效率，延长设备使用寿命，同时满足防洪、灌溉、生态等多目标需求。（2）水利水电工程框架下水电站管理核心职责包括：执行调度指令与发电计划，负责水库调度与水情预报，实施机组启停与负荷调节，开展设备巡检与状态监测，组织检修维护与故障处理，落实安全生产责任，以及协调防洪、发电、供水、航运等综合利用任务。（3）水电站运行管理基本原则涵盖：安全第一、预防为主原则，确保人身、设备和工程安全；统一指挥、分级负责原则，建立清晰的管理层级；效益优先、优化调度原则，最大限度利用水能资源；依法依规、规范操作原则，严格执行规程制度；以及协同联动、综合平衡原则，统筹多目标需求。

1.2 水电站核心生产运行管理工作

（1）水情调度与水库库容运行管控：依据水文气象预报与入库流量监测，编制水库调度方案，合理控制库水位与出入库流量，在保障大坝安全的前提下实现水能资源的高效利用。（2）水轮发电机组日常启停、负荷调

控运行管理：按照电网调度指令或发电计划，规范执行机组启动、并网、负荷调整及停机操作，优化机组运行工况区，规避振动区，提升运行效率。（3）电气设备、水工建筑物常态化运行监测：定期对主变压器、断路器、母线等电气设备及大坝、泄洪闸、引水隧洞等水工建筑物进行巡视检查、在线监测与状态评估，及时发现并处理隐患^[1]。（4）发电、防洪、灌溉多目标协同运行管控：在汛期优先保障防洪安全，科学实施预泄与拦蓄调度；在非汛期兼顾灌溉供水与生态流量需求，实现发电效益与综合利用目标的协调统一。

1.3 现阶段主流水电站运行管理模式

（1）传统人工值守式运行管理模式：运行人员24小时现场值班，负责设备操作、巡视记录与异常处置。该模式依赖人工经验，响应及时但人力成本高，适用于老旧电站或偏远小型电站。（2）少人值守、无人值守智能化管理模式：借助自动化监控系统、远程测控与智能巡检技术，实现“现场无人、远程集中监控”。人员定期巡检或按需到场，显著降低运维成本，成为新建电站主流选择。（3）流域梯级水电站统一集约化管理模式：对同一流域内多个梯级电站实施统一调度、集中监控与资源共享，建立流域集控中心，协同优化水能利用与水库联调，提升整体发电效益与防洪能力，是现代水电站管理的高级形态。

2 水利水电工程中水电站运行管理现存问题及成因剖析

2.1 设备运维管理层面存在的问题

（1）老旧水工建筑物、机电设备老化，故障频发。早期建设的水电站运行年限较长，大坝、泄洪闸等水工建筑物出现混凝土碳化、裂缝渗漏等病害，水轮机、发电机、变压器等主设备绝缘老化、部件磨损严重，非计划停机次数上升。（2）设备预防性检修体系不完善，

事后维修占比过高。部分电站缺乏科学的设备状态评价与寿命预测机制,检修计划主要依据固定周期或故障触发,未能有效落实状态检修。事后维修导致故障扩大化、维修成本增加及发电损失。(3)智能化监测设备配套不足,数据联动能力薄弱。传感器部署不全、精度偏低,振动、温度、油液在线监测系统覆盖有限。各监测子系统独立运行,数据未有效整合至统一平台,难以实现跨设备、跨系统的联合分析与预警。

2.2 人员与制度管理层面短板

(1)运维人员专业能力参差不齐,复合型技术人才短缺。基层电站人员年龄结构老化,掌握水机、电气、自动化及信息化技术的复合型人才稀缺,对新设备、新系统的操作与故障判断能力不足。(2)运行管理制度体系滞后,岗位职责划分模糊。部分电站沿用多年前的规程,未及时纳入智能监控、远程操作等新要求。运行、检修、水调等岗位职责交叉或边界不清,遇事推诿现象时有发生。(3)安全生产考核、责任落实机制不健全。安全指标设定不科学,考核流于形式。违章操作、巡检缺位等行为的问责力度不足,事故隐患整改闭环管理不到位,导致同类问题反复出现。

2.3 调度与综合运营管理问题

(1)水情预判精准度不足,水库优化调度效率偏低。中小流域水文测报站点稀疏,短期径流预报误差较大,导致水库调峰、蓄泄决策滞后,弃水或发电不足并存,水量利用率低于设计值。(2)发电效益、生态保护、防洪调度统筹协调性不足。汛期过度强调防洪安全而大量弃水,枯水期优先发电挤占生态流量;不同管理部门之间目标冲突,缺乏兼顾多目标的联合优化调度模型^[2]。(3)生态运维管控缺失,流域水生生态破坏风险较高。多数电站未建立生态流量在线监测与预警系统,泄放设施运行维护不到位,下游河道减脱水现象严重,鱼类洄游通道受阻,生物多样性下降。

2.4 问题深层成因分析

(1)前期工程规划与后期运维规划脱节。设计阶段侧重工程投资与建设进度,对长期运行维护的可达性、设备更新便利性、智能监测布点等考虑不足,运维阶段需花费数倍成本弥补先天缺陷。(2)管理理念传统,数字化转型推进缓慢。管理层仍依赖人工经验与纸质记录,对大数据、物联网、数字孪生等新技术持观望态度,信息化改造投入意愿低,生产数据沉睡未挖掘。(3)运维资金投入、人才培养资源配置不足。水电站发电收益部分上缴或用于还贷,可用于设备技改和智能升级的资金紧张。同时,流域地理位置偏远,薪酬待遇缺

乏吸引力,年轻技术骨干引进难、留不住,培训体系不健全导致技能断层。

3 水利水电工程中优化水电站运行管理的对策与保障措施

3.1 优化机电及水工设备全生命周期运维管理

(1)构建设备预防性、状态检修一体化运维体系。融合在线监测数据、离线检测结果与运行历史记录,建立设备健康状态量化评估模型,动态优化检修策略。对关键机组实施预测性维护,利用振动频谱、局部放电、油液分析等特征指标提前识别故障萌芽,将事后维修占比控制在15%以内。同时保留定期预防性试验作为兜底保障,形成“日常巡检+状态评估+精准检修”三位一体运维闭环,显著降低非计划停运率。(2)推进老旧设备迭代升级与智能化监测改造。制定分年度设备更新计划,优先更换服役超30年、能耗高、备件断供的水轮机转轮、发电机定转子及高压开关柜。同步加装无线智能传感器,建设统一的数据采集平台,实现机组、闸门、变压器等核心设备的在线监测全覆盖,为状态检修提供数据基础。(3)建立设备运维台账,落实分级管控机制。依托信息化系统建立一机一档全生命周期电子台账,完整记录安装调试、巡检维修、故障停运及备件消耗等信息。按设备重要性及健康度划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级,Ⅰ级设备实施周检月分析,Ⅱ级设备月检季分析,Ⅲ级设备常规管理,集中有限资源保障高风险、高价值设备可靠运行^[3]。

3.2 完善管理制度与人才队伍建设体系

(1)修订标准化运行管理规程,明晰岗位权责。对照最新行业标准与智能运维技术要求,全面修订运行规程、检修规程及应急处置预案,增补远程操作、自动巡检、数据分析等新内容。编制岗位说明书与权责清单,明确运行值长、维护班长、水调专责等岗位的决策边界与协作流程,建立AB岗互补机制,消除管理盲区。(2)搭建分层运维人员培训体系,培育复合型技术人才。面向新员工开设基础技能集训与师徒结对;面向骨干人员开展跨专业轮训,重点补强自动化、信息化及数据分析能力;面向技术专家安排设备厂家深度研修与行业技术交流。建立技能等级与薪酬挂钩制度,每年举办运维技能比武,力争三年内复合型人才占比提升至40%以上。(3)健全安全生产闭环管理与绩效考核机制。构建“风险辨识—隐患排查—整改治理—效果验证”闭环流程,推广使用移动巡检APP实现任务派发、现场签到、缺陷上传、整改反馈的全链条数字化。将操作正确率、缺陷发现率、非计划停运时长等量化指标纳入月度绩效,实行安全一票否决,

考核结果直接关联岗位晋升与年终奖励。

3.3 优化水库调度与多维度协同运营管理

(1) 依托大数据优化水情预测, 实施水库精细化调度。集成流域气象雷达、卫星云图、雨量站及历史径流数据, 应用深度学习算法建立短期(1-3天)和中期(4-10天)径流预报模型, 预报误差控制在15%以内。动态绘制水库调度图, 逐小时优化出库流量与机组负荷分配, 在保证大坝安全前提下将弃水率降低20%以上。

(2) 统筹发电、防洪、生态供水多维调度目标。建立以生态基流为硬约束的多目标优化模型, 汛期采用动态汛限水位策略, 在洪水来临前预泄腾库, 洪水过后及时拦蓄尾水; 枯水期优先满足下游生态流量和城乡供水, 余量安排发电。探索流域生态调度补偿机制, 对因生态放流减少的发电收益给予适当补贴, 实现经济社会与生态环境共赢^[4]。(3) 推进流域梯级电站联合调度、集约化运营管理。成立流域集控中心, 对上下游梯级电站实施统一水情预报、统一调度指令、统一电力交易。利用水力延迟时间进行梯级滚动优化, 上游电站下泄流量精准对接下游电站发电需求, 减少弃水调峰损失。推广“一区域一集控”模式, 将相邻流域的小散电站纳入远程托管, 提高水资源利用效率10%以上。

3.4 落实数字化运维与生态运维双重保障

(1) 搭建水电站智慧运行管控平台, 实现远程值守管控。采用物联网、数字孪生与AI诊断技术, 建设集实时监控、智能告警、故障诊断、运维决策于一体的智慧管控平台。实现机组一键启停、负荷自动跟踪、闸门远程控制及设备异常自动派单。已建电站分批改造接入平台, 新建电站直接按“无人值守、集中监控”标准建设, 运维人员减少60%。(2) 落实生态下泄流量管控, 完善生态补偿运维措施。在所有泄水口安装超声波或雷达流量计, 数据实时上传至环保及水利监管平台, 并与

闸门开度联锁自动调节, 确保下泄流量不低于核定生态基流。对因大坝阻隔造成的鱼类栖息地破碎, 配套建设仿生态鱼道或实施增殖放流, 每年开展两次流域水生态监测, 公布健康评估报告^[5]。(3) 加大运维资金投入, 筑牢长效管理保障体系。将年度发电收入的5%-8%固定纳入运维与技改专项资金, 专款专用用于设备更新、智能改造、人才培养及生态运维。积极争取绿色信贷、中央水利发展基金等外部支持。建立运维资金绩效评价制度, 每年委托第三方审计资金使用效益, 确保投入持续改善设备可靠性与综合效能。

结束语

综上, 水电站运行管理是兼顾工程安全、经济效益、民生保障与生态保护的系统性工作, 需同步补齐设备、人才、制度、调度多重短板。落实全生命周期设备运维、完善人才制度体系、优化流域联合调度、搭建智慧管控平台, 可全方位破解现有管理困境。后续电站需贴合流域特性长效优化管理方案, 平衡发电收益与生态管控需求, 持续推进梯级集约化、数字化运维, 助力水利水电工程长效、绿色、高效稳定运营。

参考文献

- [1]李忠艺.水利工程运行管理的安全风险评估[J].黄河水利职业技术学院学报,2024,36(03):21-26.
- [2]王超,张磊.大型水电站机组运行故障隐患及精细化运行管理策略[J].水力发电,2023,49(07):92-96.
- [3]陈雪峰.智慧水利背景下中小型水电站数字化运行管理体系构建[J].水利水电技术,2024,55(02):112-119.
- [4]周志鸿.水电站水库调度与运行管理协同优化路径研究[J].人民珠江,2023,44(09):89-94.
- [5]赵文斌.中小型水电站日常运维管理难点与提质增效措施[J].水电与新能源,2024,38(05):72-74.