

水电站安全生产风险分级管控体系的设计与实践

刘 绵

国能大渡河沙坪发电有限公司 四川 乐山 614300

摘 要:水电站作为能源供应核心设施,安全生产至关重要。本文设计水电站安全生产风险分级管控体系,以“风险优先、分级负责、动态管控”为核心逻辑,涵盖设计目标与原则、体系架构、风险识别与评估、分级标准及管控措施。依托新技术优化体系,与其他安全管理体系融合,建立持续改进机制。通过水电站实践案例分析,体系实施后安全事故发生率大幅下降,风险管控成效显著,但也存在对极端天气风险预测精度不足等问题,需持续改进。

关键词:水电站;安全生产;风险分级管控

引言:在能源结构转型加速的背景下,水电站的安全稳定运行对保障能源供应、维护流域生态平衡意义重大。当前,水电站面临设备老化、水文环境复杂及生产流程日趋精密等多重挑战,传统安全管理模式难以应对耦合化、动态化的风险特征。构建科学高效的安全生产风险分级管控体系,成为破解风险防控难题、落实安全生产主体责任的核心路径。本文结合实践深入探讨体系设计要点与优化方向,为水电站提升风险管控能力、筑牢安全防线提供可借鉴的实践方案。

1 水电站安全生产风险分级管控体系概述

水电站作为能源供应核心基础设施,其安全生产直接关系能源稳定供应、人员生命安全及流域生态安全。安全生产风险分级管控体系是通过系统化识别、评估、分级及管控风险,实现安全风险前置防控的核心管理模式。该体系以“风险优先、分级负责、动态管控”为核心逻辑,整合水电站生产全流程要素,涵盖发电设备运行、水工建筑物维护、人员操作、环境监测等关键环节^[1]。相较于传统安全管理模式,其突破经验化管控局限,通过量化评估与精准施策,将风险管控从“事后处置”转向“事前预防”。当前,随着水电站装机容量提升、设备自动化程度提高及流域调度复杂度增加,各类风险耦合性增强,建立科学的分级管控体系已成为落实安全生产主体责任、防范重特大事故、保障电站长期稳定运行的必然要求,也是推动水电行业安全管理现代化的重要支撑。

2 水电站安全生产风险分级管控体系设计

2.1 设计目标与原则

体系设计目标聚焦构建“全员参与、全程覆盖、动态闭环”的风险管控机制,通过精准识别发电生产各环节风险,科学划分风险等级,制定差异化管控措施,实现风险可知、可防、可控,最终将人身伤亡、设备损坏及环境污染等事故发生率降至最低,保障电站连续安全

稳定运行。设计过程严格遵循四项核心原则:一是合规性原则,严格契合《安全生产法》《水电站安全管理规定》等法律法规及行业标准,确保体系合法合规;二是系统性原则,涵盖从设备采购、建设施工到运行维护、退役处置全生命周期,实现风险管控无死角;三是实用性原则,结合水电站机组类型、装机容量及流域特征,设计简便易行的操作流程,避免形式化;四是动态性原则,预留风险评估指标更新接口,适应设备老化、技术升级及环境变化等风险动态调整需求,确保体系持续有效。

2.2 体系架构设计

体系架构采用“四层三级”金字塔结构,实现风险管控责任层层传导、流程环环相扣。顶层为决策层,由电站管理层组成,负责审批风险分级标准、管控方案及资源配置,定期召开风险研判会议;第二层为管理层,涵盖安全监督部门、生产技术部门等,承担风险识别评估组织、管控措施制定及执行监督职责;第三层为执行层,包括运行班组、检修班组及运维团队,负责日常风险排查、隐患上报及管控措施落地;第四层为监督层,由内部审计部门及外部第三方机构构成,负责体系运行有效性审计及合规性监督。三级管控对应风险等级划分,一级风险由决策层直接管控,制定专项防控方案并定期督查;二级风险由管理层牵头管控,明确责任班组及整改时限;三级风险由执行层自主管控,纳入班组日常巡检范围。架构内置信息共享平台,实现风险信息从执行层到决策层实时传递,支撑分级管控高效协同。

2.3 风险识别与评估方法

风险识别采用“全员排查+专业研判”结合模式,构建全方位识别网络。全员排查由各班组每日开展岗位风险自查,重点排查设备异常声响、仪表参数波动、防护设施损坏等显性风险,通过移动端APP实时上报;专业研判由生产技术部门每月组织专家团队,针对机组大修、

汛期调度等特殊场景,采用故障类型及影响分析、危险与可操作性分析等方法,识别设备连锁故障、水文突变等隐性风险。风险评估采用“定量+定性”综合评估法,定量评估针对设备运行风险,选取故障频率、维修成本等6项指标,采用层次分析法确定权重,计算风险值;定性评估针对人员操作、管理流程等风险,采用风险矩阵法,结合事故发生可能性及后果严重程度划定等级。评估过程引入设备在线监测数据,通过传感器实时采集机组振动、温度等参数,建立风险预警模型,实现评估从“定期开展”向“实时动态”转变,提升评估精准度。

2.4 风险分级标准制定

风险分级标准依据“后果严重程度+发生可能性”双维度制定,将风险划分为一级(重大)、二级(较大)、三级(一般)三个等级。一级风险判定标准为:可能导致3人及以上死亡、直接经济损失超1000万元,或造成主变压器、水轮机等核心设备报废,且发生可能性为“较高”及以上,如大坝漫溢、机组飞车等风险;二级风险判定标准为:可能导致1-2人死亡、直接经济损失100-1000万元,或造成辅助设备损坏影响机组运行,发生可能性为“中等”,如高压电缆绝缘破损、调速系统故障等风险;三级风险判定标准为:可能导致人员轻伤、直接经济损失低于100万元,仅造成单台设备短时停机,发生可能性为“较低”,如阀门泄漏、仪表失灵等风险^[2]。标准明确各等级风险判定指标及阈值,针对水文、气象等外部环境风险,额外关联流域降雨量、气温等参数动态调整阈值。标准经行业专家评审及应急管理部门备案,确保分级科学权威,为差异化管控提供依据。

2.5 风险管控措施规划

风险管控措施遵循“分级施策、源头防控”原则,针对不同等级风险制定差异化方案。一级风险实施“专项防控+应急联动”措施,成立专项管控小组,配置冗余安全设备,如大坝增设应急泄洪闸门、核心设备安装双重保护装置,同时制定专项应急预案,每季度开展实战演练,联动流域管理机构及周边救援力量建立应急响应机制;二级风险实施“定期监测+专项检修”措施,将风险设备纳入重点监测清单,增加巡检频次,如对高压电缆每月开展绝缘测试,调速系统每半年进行专项检修,建立设备健康档案,跟踪缺陷整改情况;三级风险实施“岗位防控+隐患闭环”措施,明确岗位人员管控责任,规范操作流程,如阀门操作人员需严格执行开关记录制度,仪表失灵后4小时内完成更换,隐患整改实行“发现-上报-整改-销号”闭环管理。针对共性风险开展全员培训,提升风险辨识及初期处置能力,配套建立管控措施执行

考核机制,确保措施落地见效。

3 水电站安全生产风险分级管控体系的优化与完善

3.1 基于新技术的优化策略

依托数字化、智能化技术实现体系优化升级,构建“感知-分析-决策-执行”智能管控闭环。在风险感知层面,部署物联网传感器网络,实现大坝渗压、机组振动、流域水位等关键参数24小时连续监测,结合无人机巡检技术对大坝边坡、输电线路等区域开展可视化排查,提升隐性风险识别能力;在风险分析层面,搭建大数据分析平台,整合历史故障数据、监测数据及操作记录,采用机器学习算法构建风险预测模型,实现对设备故障、汛期险情等风险的提前预警;在决策执行层面,引入数字孪生技术构建电站虚拟仿真系统,模拟不同风险场景下管控措施实施效果,为优化管控方案提供数据支撑,同时开发移动端管控APP,实现风险预警信息精准推送至责任人员,确保管控指令快速响应^[3]。另外,应用区块链技术实现风险数据不可篡改存储,保障风险评估及整改记录的真实性,为体系审计及责任追溯提供可靠依据,全面提升体系管控智能化水平。

3.2 与其他安全管理体系的融合

推动风险分级管控体系与现有安全管理体系深度融合,实现资源与优势互补。与ISO45001职业健康安全管理体系融合,把风险分级结果纳入职业健康风险评估,优化高风险岗位劳动防护与作业时间,完善监护机制;与安全生产标准化体系融合,以风险分级管控为核心优化评审指标,将风险管控成效作为评级关键依据,推动标准化建设转型;与应急管理体系融合,以风险等级为依据编制应急预案、配置资源、设定演练频次,实现风险预警与应急响应无缝衔接;与设备全生命周期管理体系融合,将风险评估结果融入设备各环节,优先选用低风险设备,为高风险设备制定强化运维方案,协同推进风险管控与设备管理。

3.3 持续改进机制的建立

建立“监测-评估-改进-反馈”持续改进闭环机制。每月统计风险识别准确率等关键指标,分析体系短板;每半年组织一次体系有效性评估,采用内外部结合方式,邀请专家等全面审核,评估风险管控与实际状况匹配度;针对问题制定专项改进方案,明确目标、责任主体和时限;建立改进效果反馈机制,跟踪成效,将有效经验固化为文件,收集各方改进建议,定期更新体系内容。

4 水电站安全生产风险分级管控体系实践案例分析

4.1 案例水电站概况

案例选取金沙江梯级开发核心向家坝水电站,该电站建于2010年,总装机容量120万千瓦,安装4台30万千瓦混流式水轮发电机组,坝型为混凝土重力坝,最大坝高85米,坝长420米,控制流域面积1.2万平方公里,承担区域调峰、防洪及灌溉多重任务。电站现有员工320人,下设运行、检修、安全、技术等6个部门,采用“四班三倒”运行模式。建站以来累计发电超800亿千瓦时,曾获“省级安全生产示范单位”称号。随着运行年限增加,电站出现机组部件老化、设备自动化程度不足等问题,加之金沙江流域水文条件复杂,汛期降雨量年际变化大,存在大坝渗流、机组故障、洪水漫溢等潜在风险。为提升风险管控水平,该电站于2020年启动安全生产风险分级管控体系建设,成为金沙江流域内首个开展体系化风险管控的梯级电站。

4.2 体系实施过程

体系实施分四个阶段推进,历时10个月完成全流程落地。第一阶段为筹备部署(2个月),成立由向家坝水电站总经理任组长的实施小组,开展全员体系宣贯培训,组织专家调研梳理电站生产流程,明确各部门风险管控职责;第二阶段为体系设计(3个月),结合向家坝水电站实际制定风险分级标准,优化“四层三级”架构,确定故障类型及影响分析、风险矩阵法等评估方法,编制风险识别清单及管控措施手册;第三阶段为试点运行(3个月),选取运行一班、检修一班作为试点班组,开展风险排查、评估及管控措施试运行,收集试点过程中出现的问题,优化完善体系流程,如针对风险上报不及时问题,升级移动端上报系统;第四阶段为全面推行(2个月),组织全员开展体系操作培训,上线智能监测平台及管控APP,将风险管控纳入各部门绩效考核,建立日常监督检查机制,定期开展风险研判会议,及时解决体系运行过程中出现的各类问题,确保体系全面落地执行^[4]。

4.3 实施效果评估

通过定量与定性结合方式开展实施效果评估,结果

显示体系管控成效显著。定量指标方面,体系实施后一年内,向家坝水电站安全事故发生率较上年下降80%,其中三级风险隐患整改率从85%提升至100%,二级风险预警及时率达98%,设备故障停机时间从年均120小时降至35小时,直接减少经济损失约600万元;员工风险识别能力显著提升,岗位自查发现的风险隐患数量较上年增加120%,初期故障处置成功率提升至90%。定性评估方面,通过员工问卷调查及专家评审发现,95%的员工认为体系提升了风险防控意识,各部门风险管控责任更加明确,跨部门协同处置效率提升40%;体系通过应急管理部门专项评审,成为金沙江流域水电站风险管控示范案例,相关经验被流域内5座水电站借鉴推广。评估同时发现体系存在智能预警模型对极端天气风险预测精度不足等问题,已纳入后续优化计划,为体系持续改进提供方向。

结束语

水电站安全生产风险分级管控体系的设计与实践,是保障水电站安全稳定运行的关键举措。通过构建科学的体系架构、精准的风险识别与评估方法、合理的分级标准及有效的管控措施,结合新技术优化与多体系融合,实现了风险的前置防控。实践案例验证了体系的可行性与有效性,但也暴露出一些不足。未来,需持续完善体系,提升对极端风险的预测能力,为水电行业安全管理现代化提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]吴建军.水电站安全管理风险评估及维修保养措施研究[J].小水电,2024,(05):36-37+55.
- [2]刘明,韩牧原,王文军,刘吴镇,曹季涛.智能化水电站巡检机器人的系统设计[J].信息记录材料,2024,25(10):210-212.
- [3]闻龙清,李县辉,张淑媛,等.水电企业班组人身安全风险管控智能化应用[J].电力安全技术,2024,26(09):5-8.
- [4]曹志金.水电企业安全文化建设的探索与实践[J].中国安全科学学报,2021,31(S1):92-95.