

关于中小型水电站安全管理提升的探析

鲜秀梅

大唐乡城（得荣）水电开发有限公司 四川 甘孜 627850

【摘要】中小型水电站在运行中受设备规模、管理模式与人员配置等因素影响，安全风险相对集中而易被忽视。本研究围绕安全管理薄弱环节展开分析，强调以风险预控为主线，通过优化安全管理制度、完善设备监测手段、强化运行人员专业培训以及提升应急处置体系等措施实现安全管理的有效提升。论述过程以问题识别为基础，将管理改进与技术支持相结合，旨在为中小型水电站构建更加稳固的安全管理体系提供可行路径，从而减少事故发生概率并促进电站稳定运行。

【关键词】中小型水电站；安全管理；风险预控；技术改进；应急能力

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.074

引言

中小型水电站在电力系统中占据重要位置，其运行稳定性直接关系到区域能源供应的可靠性。由于规模限制与管理方式相对单一，安全管理中往往存在隐性风险，稍有疏忽便可能导致设备故障或人员伤害。如何在有限资源条件下构建高效、可靠的安全管理体系，是多个电站共同面对的现实课题。该研究以常见管理短板为切入点，通过对管理流程、技术应用及人员能力的梳理，探索安全管理提升的关键抓手，使读者能够逐步理解安全风险的来源，并为后续展开的系统化分析奠定逻辑基础。

1 中小型水电站安全隐患的主要来源

中小型水电站在长期运行中面临多重安全隐患，其成因既与自然环境相关，也与管理机制和技术条件紧密联系。受地形条件影响，一些电站位于地质结构较为复杂的区域，岩体稳定性不足、水文变化剧烈、降雨突增等因素都会引发坝体渗漏、边坡滑移和溢洪道负荷异常等结构性风险。同时，部分水电站建设年代较早，设备老化、材料性能衰减、关键构件疲劳度升高，使机组运行稳定性降低，进而导致水轮发电机组振动增大、润滑系统失衡或保护装置灵敏度下降，这些问题在中小型电站中尤为突出。

在运行管理层面，由于资金与人员配置受限，安全巡检频次不足、隐患排查记录不完备、设备台账更新滞后等情况时有出现。部分电站仍沿用以经验判断为主的管理方式，缺少风险预控曲线、关键设备状态监测参数和预警阈值的系统化设定，使潜在故障难以及时暴露。运行人员专业技能参差不齐，电气二次系统保护逻辑、自动化监控系统参数设置以及调度指令执行等环节容易出现偏差，加剧了安全管理薄弱带来的不确定性。

在外部条件方面，极端气候事件对中小型电站的影响不断加剧，暴雨引发的径流骤增易造成闸门卡滞、泄洪能力不足或尾水位骤变，引起系统性运行压力升高。部分流域还存在来水含沙量突增的问题，使泄水建筑物磨蚀速度加快，进一步降低

结构可靠性。外部施工活动、水库周边开发和人为干扰等因素亦可能使水电站安全边界受到破坏，形成新的风险来源。这些复杂因素叠加，使中小型水电站在设备可靠性、人员操作规范性和环境适应能力方面均承受较大挑战，形成多层次、多触点的安全隐患结构。

2 安全管理薄弱环节的关键表现

中小型水电站在安全管理过程中呈现出多维度的薄弱环节，其中制度执行力度不足是影响安全水平的核心问题之一。部分电站虽然建立了安全管理制度，但缺乏动态修订机制，未能根据设备老化程度、运行负荷变化及极端天气频发等新情况进行调整，使制度内容与实际风险不匹配。操作规程与风险控制标准更新滞后，导致运行人员在处理故障、电气操作转换、机组启停等环节缺乏准确依据，安全管理呈现形式化倾向。

设备监控的精准度不足也暴露出管理缺陷。中小型电站自动化程度普遍偏低，在线监测系统覆盖不全，部分关键设备仍依赖人工巡检，导致水轮机振动数据、油温变化、励磁系统波动范围等参数无法实时捕捉。控制系统在阈值设定、保护逻辑配置和数据采集速率等方面存在滞后，使隐患在早期阶段难以被识别。监控室信息交互效率不高，缺乏集成化的数据分析平台，使操作人员难以对运行状态作出趋势性判断，风险识别能力受到限制。人员专业能力方面的不足同样是薄弱环节的重要表现。部分电站存在运维人员数量不足、交叉技能缺乏、知识结构单一等情况。电气二次保护、自动化系统参数整定、水工结构运行分析、调度负荷分配等专业领域的技术能力未能达到复杂工况下的操作需求。培训模式偏向理论灌输，缺乏与实际情境结合的模拟演练，使操作人员在面对突发机组跳闸、闸门异常、变压器温升偏高或通信中断等情况时反应不够迅速。

安全检查体系中，隐患排查缺乏系统性也是突出的弱点。部分电站未建立分类分级的隐患库，隐患整改周期、责任划分、验证机制等内容不够明确，造成整改流程不连续。检查记录存在描述模糊、数据量化不足、缺乏趋势分析等问题，使管理者难以掌握设备状态变化规律。应急管理方面，预案结构单一、

响应流程细化不足,值班力量不足以及应急物资储备不全,都使突发事件处置能力受到限制。环境适应能力方面的薄弱点在一些电站也比较明显。面对暴雨洪峰、突发融雪径流、泥沙含量升高等外部风险时,调度预警机制不够敏锐,泄洪方案准备不充分,易出现排水不及时、闸门反应滞后等问题。多因素叠加,使中小型水电站安全管理呈现出制度僵化、监测滞后、技术能力不足和应急准备薄弱等多层表现。

3 管理优化路径中的制度强化措施

管理体系的强化是中小型水电站提升安全管理能力的重要路径,在制度建设中更需要突出针对性、可操作性与动态调整。为了适应设备老化、运行负荷变化和极端水文条件频发的运行环境,制度内容应具备实时更新机制,使风险控制条款能够与电站的实际运行状态同步。针对机组启停流程、闸门调度指令、电气倒闸操作、设备检修周期等关键环节,应构建更具精细化的规范体系,将运行参数、操作步骤、允许偏差范围和强制性复核要求用量化指标明确呈现,使制度从文本化管理转变为可执行的技术准则。

在制度强化过程中,对风险预控体系的完善是关键环节之一。需要建立覆盖水工结构、电气设备、自动化系统和环境负荷的风险分级管理体系,通过风险矩阵、趋势分析模型和缺陷评估指标体系,对潜在风险进行量化判别。在此基础上制定分级响应措施,对高风险点设置重点监测频率、配备专责人员和快速处置流程。隐患排查制度也应升级为周期固定、责任明确、指标量化的常态化机制。对于现场检查获取的数据,应纳入风险数据库,按照设备类别、缺陷性质和影响范围进行标签化管理,为下一步的预测性维护提供依据。

制度优化还需强化操作行为的约束性。在倒闸操作、机组水力状态调整、励磁系统切换以及闸门升降指令执行等环节,应建立双人核对、三级授权、闭环记录等制度要素,确保操作行为符合安全边界。对一些容易出现误操作的环节,可通过强制性模拟验证、预操作评估和电子化操作票来提高执行精度。制度中应明确操作权限等级,对关键控制环节实行分级授权管理,使高风险操作由具备专业资质和经验的人员承担,从制度层面减少人为因素引发的安全漏洞。

在监测与信息管理制度方面,需要推动监控数据的统一管理与标准化处理。制度内容应明确设备状态参数采集频率、数据完整性要求和异常值触发条件,实现对振动幅度、油温变化、励磁波动、水位偏差等指标的常态监测。对监控系统产生的预警信息,制度应规定响应时间、责任人、复核机制以及处置流程,使监测结果能够真正转化为管理行动。对数据缺失、参数漂移和监控系统故障等情况,也需建立问责与补偿机制,确保监测体系保持高可靠性。

在应急管理制度方面,应根据突发洪峰、机组跳闸、变压

器温升升高、通信中断等风险情景制定更加精细的响应流程。制度中应包括资源调配、信息传递、应急决策链条和恢复运行流程的具体要求,使应急响应具备稳定性和可执行性。对应急物资储备、值班力量配置和应急培训频次应作出硬性规定,通过制度完善提升电站对突发状态的处置能力。制度强化的关键在于建立闭环管理机制,通过制度制定、执行、评估和修订的循环,使管理体系能够长期保持有效性,并持续支撑中小型水电站的安全运行需求。

4 技术与人员能力协同提升策略

技术体系的优化与人员能力的提升需要同步推进,在中小型水电站的安全管理中形成彼此支撑的协同效应。部分电站的设备状态监测依赖度较低,使关键参数难以实现实时掌控,因此在技术层面有必要引入更加精准的智能监测与自动化控制手段。通过安装振动在线监测装置、油温与油压智能传感器、励磁系统动态采集模块及水位自动采样设备,可显著提高数据获取的连续性和完整性。将监测结果引入数据集成平台,通过算法模型对机组稳定性、轴系偏移量、闸门启闭阻力、电气二次回路可靠性等指标进行趋势研判,使技术系统从被动响应转变为主动预测。自动化系统的优化还应覆盖保护逻辑整定、阈值调整策略以及运行模式切换,减少人为判断误差带来的不确定性。

在技术升级推进过程中,需要构建面向中小型电站的轻量化智能管理系统,使监测、控制、报警和数据分析实现一体化运行。通过可视化界面展示水工结构应力分布、机组运行偏差、变压器热成像信息以及泄洪能力动态变化,有助于提升操作人员对电站整体运行状态的理解深度。针对地理位置偏远、设备多样性强等特点,可引入云端数据备份和远程技术支持,实现对关键设备的远程诊断、参数校核和应急技术指导,使技术水平不受人员规模限制。

人员能力建设是技术系统发挥效益的重要基础。中小型水电站的运维人员在面对自动化系统升级、监控参数复杂化及风险场景多样化时,需要具备更高的专业判断能力与操作技能。培训体系应围绕电气二次保护原理、调速系统特性、励磁系统逻辑、水工结构运行分析和机电设备故障模式等内容展开,通过情景化教学、实操训练和动态案例推演提升技术理解深度。为强化应急处置能力,可利用VR仿真平台构建跳闸事故、闸门失灵、水位突升、主变异常升温等典型情景,使人员在模拟环境中形成稳定的处置路径,从而在真实事件中具备快速反应能力。

人员配置方面也须具备专业互补性,通过建立跨专业协作机制,使运行值班、设备维护、调度执行与安全管理之间的信息流更加顺畅。针对技改项目、参数设定和重大检修任务,可引入技术专家指导,提升操作人员对复杂设备系统的理解深

度。通过岗位技能等级制度、专业能力考核、技术竞赛等方式，可激发人员自我提升动力，使团队整体技能结构更加适配现代化管理需求。当科技手段与人员能力形成有效协同后，安全管理在故障识别速度、运行判断精度和风险处置效率等方面都会得到显著增强，为电站建立稳定的安全管理体系提供持续支撑。

5 安全管理综合提升的整体归纳

中小型水电站在安全管理体系构建过程中呈现出管理要素分散、技术能力不足与风险识别深度不够等多重挑战，因此在整体提升过程中需要通过制度、技术、人员和运行机制的联动形成系统化管理格局。在管理结构方面，安全制度的细化、动态化与量化，使运行流程、风险边界及操作要求具备明确标准，为后续技术应用和行为规范提供基础支撑。通过风险等级划分、缺陷数据库构建、操作流程闭环化等制度措施，使管理行为由经验型向数据驱动型转变，有利于构建持续稳定的安全管控框架。

在技术支撑层面，监测手段的升级使设备状态的透明度显著提高，机组振动参数、励磁波动特性、水位变化信息、电气保护信号等数据能够被实时捕获，为故障预警与运行优化提供量化依据。自动化控制、智能分析模型和远程技术支持的引入，

使传统管理模式向智能化管理模式迈进，减少人为判断偏差，使运行决策具备更高准确性和响应速度。技术平台的完善也提升了信息共享效率，使不同部门之间能够基于统一数据进行交流协同。

在人员能力体系中，通过强化专业技能训练、模拟化应急演练以及跨岗位协同培养，使操作人员对设备结构、系统逻辑和工况变化具备更高理解能力，能够在复杂情景下保持稳定的判断能力和执行能力。人员技能与技术系统形成互补关系，使风险识别、故障处置与运行调整更加高效。安全管理的整体提升体现在风险控制链条的连续性与运行体系的整体协调性。制度提供方向约束，技术强化监测能力，人员提升操作质量，多要素叠加形成更稳定的安全防护结构，使中小型水电站能够在多变的运行环境中保持更高的可靠性和管控能力。

6 结语

在中小型水电站安全管理体系构建过程中，制度、技术与人员形成联动机制能够有效提升风险识别深度与运行调控水平。通过细化管理规范、完善监测手段以及强化专业能力建设，电站在复杂工况下具备更高的运行稳定性与安全控制能力，使整体管理结构呈现更高的协调性与可靠性。

参考文献：

- [1] 刘国强.中小水电站安全管理体系构建研究[J].水电能源科学,2022,40(6):155-160.
- [2] 陈海明.水电站设备智能监测技术在运行管理中的应用[J].中国电力设备,2023,24(4):72-78.
- [3] 王建军.基于风险分级管控的水电站安全管理模式研究[J].水利技术监督,2022,30(3):45-50.
- [4] 周彦宏.中小型水电站运行风险识别与预控技术分析[J].水电与新能源,2024,43(2):88-94.
- [5] 孙明哲.水电站自动化改造对安全管理水平的促进作用[J].电力自动化应用,2023,42(1):113-118.