

# 水电站运行安全管理与风险评估

陈卓尔

华电靖宇抽水蓄能有限公司, 吉林白山, 135200;

**摘要:** 水电站作为清洁能源生产的核心基础设施, 其运行安全性直接关系到能源供应稳定性、周边生态环境及人民生命财产安全。随着水电行业的快速发展, 水电站机组容量不断扩大、运行环境日趋复杂, 传统安全管理模式已难以适配新形势下的风险防控需求。本文基于水电站运行安全管理的核心目标, 系统分析了运行过程中的主要安全风险源, 阐述了安全管理的关键内容与实施路径, 构建了科学的风险评估体系, 提出了针对性的优化策略, 为提升水电站运行安全管理水平、降低安全事故发生率提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 水电站; 运行安全管理; 风险评估; 风险防控; 优化策略

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.04.048

## 引言

水电能源凭借清洁、可再生、调度灵活的优势, 在我国能源结构转型中地位关键。水电站安全稳定运行是保障能源高效供应、推动社会经济可持续发展的重要前提。其运行涉及多领域, 受自然环境、设备老化、人为操作、管理机制等多重因素影响, 隐患突出, 安全事故易造成重大损失与危害。因此, 强化安全管理、构建系统风险评估体系是行业高质量发展的核心课题。我国当前管理仍存短板, 需优化模式、完善方法, 推动安全管理向主动防控、科学管理升级。

## 1 水电站运行安全管理的核心内容与目标

### 1.1 核心管理内容

水电站运行安全管理是系统性工程, 涵盖设备、人员、环境、制度四大维度, 各环节紧密关联、相互制约, 构成完整安全管理体系。设备安全管理为核心, 需对水轮机、发电机等机电设备实施全生命周期管理, 做好日常巡检、定期维护、故障诊断及备品备件管理, 实时监测运行参数, 防范设备故障引发事故。人员安全管理是关键, 通过专业技能与安全警示教育提升人员素养, 规范作业流程, 健全岗位责任制, 将安全绩效与考核挂钩, 杜绝违规操作。环境安全管理为重要支撑, 完善水文气象、地质灾害监测预警系统, 制定应急防控措施, 强化周边生态管理, 降低自然灾害及次生风险。制度安全管理是基础, 结合实际制定完善管理制度, 加强执行监督与追责, 确保各项工作有序落地<sup>[1]</sup>。

### 1.2 核心管理目标

水电站运行安全管理的核心目标是保障水电站机组及附属设施正常运行, 杜绝重特大安全事故发生, 确保电力稳定供应, 同时保护周边生态环境和人民生命财产安全。具体而言, 包括三个层面的目标: 一是设备安全目标, 确保机电设备、水利建筑物等处于良好运行状态, 降低设备故障发生率, 延长设备使用寿命; 二是人员安全目标, 杜绝人员伤亡事故, 保障工作人员人身安全; 三是系统安全目标, 确保水电站与电力系统协调运行, 避免因水电站故障引发大面积停电事故, 维护电力系统稳定。

## 2 水电站运行过程中的主要风险源分析

### 2.1 自然风险

自然风险是水电站首要外部风险, 具有突发性、不可控性特征, 主要涵盖水文气象与地质两类风险。水文气象风险源于洪水、暴雨、干旱、冰冻等极端天气, 洪水易致水库超警戒水位引发溃坝, 暴雨可能诱发滑坡、泥石流破坏设施, 干旱影响蓄水发电, 冰冻则堵塞设施阻碍运行。地质风险因水电站多建于山区、地质复杂, 地震、断层活动易破坏建筑结构稳定性, 引发安全事故。

### 2.2 设备风险

设备风险是水电站核心内部风险, 源于设备老化、质量缺陷、维护不当等因素, 主要涉及机电设备与水利建筑物两方面。机电设备长期高负荷、恶劣工况运行易出现部件磨损、腐蚀等问题, 控制系统及输变电设备故障可能导致机组不稳、供电中断。水利建筑物受水流冲刷、泥沙淤积等影响, 易产生裂缝、渗漏、变形, 若处

置不及时,会降低安全性能,甚至引发溃坝等重大事故[2]。

### 2.3 人为风险

人为风险源于工作人员操作不当、技能不足、安全意识薄弱,是引发安全事故的重要诱因。操作层面,违规作业、误操作或误判断可能导致设备损坏、机组故障、人员伤亡,还会影响水电站与电力系统协调运行。技能层面,水电站自动化智能化升级对人员技能要求提高,技能不足易延误故障处理、加剧危害。意识层面,部分人员存侥幸心理,忽视制度、冒险作业,显著增加事故发生概率。

### 2.4 管理风险

管理风险源于安全管理制度不健全、机制不完善、监督执行不到位,是各类风险失控的重要诱因。制度层面,制度存在漏洞、与实际脱节或更新不及时,无法适配新技术应用,导致管理缺乏依据。监督层面,监督机制不健全、检查流于形式,问题整改不彻底,隐患长期存在易引发事故。协调层面,内部部门及与外部单位沟通不畅,易造成应急处置滞后、指令执行不到位,加剧事故影响。

## 3 水电站运行风险评估体系构建

### 3.1 评估指标体系构建

评估指标体系是风险评估的基础,需全面覆盖各类风险以保障评估结果客观准确。结合风险源分类,指标体系分为自然、设备、人为、管理四大类,每类下再细分二级、三级指标。自然风险指标含水文气象与地质指标,前者涵盖洪水频率、暴雨强度等,后者包括地震烈度、断层活动频率等。设备风险指标涉及机电设备与水利建筑物,前者含老化程度、故障发生率等,后者涵盖大坝裂缝宽度、渗漏量等。人为风险指标分操作、技能、安全意识三类,涵盖违规操作次数、技能考核合格率、安全培训参与率等。管理风险指标包括制度、监督、协调指标,涉及制度完善度、隐患整改率、部门协调效率等。指标选取需贴合实际、突出重点,兼顾可量化性与可获取性,同时进行标准化处理以消除量纲差异,保障评估结果可比[3]。

### 3.2 评估方法选择

水电站运行风险评估方法多样,主要分为定性、定

量及综合评估三类,需结合评估对象、精度要求、数据可获取性等因素科学选用。定性评估方法适用于风险源复杂、数据匮乏的场景,通过专家判断、问卷调查、故障树分析等方式初步判定风险等级。专家判断法依托行业专家经验,评估风险发生概率与影响程度并划分等级;故障树分析法则通过构建故障树,梳理事故诱因及逻辑关系,精准识别关键风险点。该类方法操作简便、耗时短,但受专家主观因素影响较大,评估精度有限。定量评估方法适用于数据充足、风险源明确的场景,通过构建数学模型量化分析风险概率与影响程度,结果更精准。常用方法包括风险矩阵法、层次分析法、模糊综合评价法,分别通过构建风险矩阵、分层定权计算、建立模糊集合等方式完成评估。其客观性强、精度高,但操作复杂,对数据要求严苛,需投入大量人力物力整理数据。实际应用中,多采用定性与定量结合的综合评估方法,兼顾两类方法优势,通过定性评估锁定关键风险源,借助定量评估精准测算风险等级,为风险防控提供全面可靠的决策依据[4]。

### 3.3 风险等级划分与预警

根据风险评估结果,结合水电站运行实际和安全管理需求,将风险等级划分为四级:一级风险(极高风险)、二级风险(高风险)、三级风险(中风险)、四级风险(低风险)。一级风险指发生概率高、影响程度大,可能引发重特大安全事故,需立即采取停产整改措施;二级风险指发生概率较高、影响程度较大,可能引发较大安全事故,需限期整改,加强监控;三级风险指发生概率中等、影响程度一般,需制定防控措施,定期检查;四级风险指发生概率低、影响程度小,可通过常规管理措施控制风险。

建立风险预警机制,根据风险等级设置不同的预警信号,包括红色预警(对应一级风险)、橙色预警(对应二级风险)、黄色预警(对应三级风险)、蓝色预警(对应四级风险)。通过实时监测评估指标变化,当指标达到预警阈值时,及时发出预警信号,通知相关部门采取针对性的防控措施。同时,建立预警响应机制,明确不同预警等级的响应流程、责任部门和处置措施,确保预警信息得到及时处理,风险得到有效控制。

## 4 水电站运行安全管理与风险防控优化策略

### 4.1 强化技术防控,提升设备与环境风险应对能力

加大技术投入,推广应用先进的监测、诊断、防控技术,提升设备运行稳定性和自然风险应对能力。在设备管理方面,引入智能化监测系统,对核心机电设备的运行参数、振动、温度等指标进行实时监测,通过大数据分析、人工智能等技术,实现设备故障提前预警和精准诊断,缩短故障处理时间;对老化、落后设备进行更新改造,推广应用高效、可靠、节能的新设备、新技术,提升设备安全性能;建立设备全生命周期管理信息系统,整合设备采购、安装、运行、维护、报废等全流程数据,实现设备管理信息化、智能化。

在环境风险防控方面,完善水文气象、地质灾害监测网络,引入高精度监测设备,提高监测数据的准确性和时效性;建立极端天气、地质灾害预警模型,结合历史数据和实时监测数据,精准预测灾害发生概率和影响范围,提前发布预警信息;加强水利建筑物加固改造,对大坝、溢洪道等建筑物进行定期检测和安全评估,及时修复裂缝、渗漏等隐患,提升建筑物抗灾能力;制定针对性的自然灾害应急处置方案,配备必要的应急物资和设备,定期开展应急演练,提升应急处置能力<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 完善管理机制,筑牢安全管理基础

优化安全管理制度体系,结合水电站运行实际和行业发展趋势,及时修订完善安全管理制度,补充新技术、新设备应用相关的管理内容,确保制度的科学性、适用性和时效性;建立健全安全管理责任体系,明确各级管理人员、技术人员、操作人员的安全职责,将安全责任层层分解、落实到人,形成“人人有责、层层负责”的安全管理格局;加强制度执行监督,建立常态化监督检查机制,通过定期检查、不定期抽查、专项检查等方式,及时发现制度执行过程中的问题,对违规行为严肃追责,确保制度落地见效。

完善风险评估与防控机制,定期开展全面的风险评估工作,结合运行工况、环境变化、设备状态等因素,动态更新风险评估结果,调整防控措施;建立风险分级管控机制,针对不同等级的风险,制定差异化的管控策略,重点关注高风险环节和关键风险点,确保风险可控;加强部门之间、水电站与外部单位之间的协调沟通,建立健全联动机制,提升应急处置、调度运行等工作的协同效率。

#### 4.3 加强人员培养,提升安全管理与操作水平

构建系统化的人员培训体系,结合水电站岗位需求和技术发展趋势,制定针对性的培训计划,开展专业技能培训、安全知识培训、应急处置培训等,提升工作人员的操作水平、风险识别能力和应急处置能力;推广“师带徒”模式,发挥资深技术人员的传帮带作用,加快年轻工作人员成长;定期开展技能考核和安全考核,将考核结果与岗位调整、薪酬待遇挂钩,激发工作人员的学习积极性和主动性。

强化安全意识培养,通过安全警示教育、安全知识竞赛、安全主题班会等形式,普及安全知识,宣传安全理念,让工作人员充分认识到安全工作的重要性,摒弃侥幸心理,自觉遵守安全管理制度和操作规程;建立安全文化体系,将安全文化融入日常管理和工作中,营造“人人讲安全、事事讲安全、时时讲安全”的良好氛围。

## 5 结论

水电站运行安全管理与风险评估是保障能源稳定供应、推动水电行业高质量发展的核心举措。水电站运行受自然、设备、人为、管理多重风险交织影响,需构建全覆盖安全管理体系与科学风险评估机制,精准管控各类隐患。通过强化技术防控、完善管理机制、加强人员培养三大路径,可有效提升安全管理水平,降低事故发生率。未来需依托新技术推动安全管理向智能化升级,完善行业标准,为水电能源安全高效供应筑牢保障。

### 参考文献

- [1]周丽娜,李强伟,徐立尉,等.小水电站安全生产风险管控“六项机制”实践探索[J].小水电,2025,(06):6-9+17.
- [2]汪志宏,汪大凯.水电站设备运行维护管理中的安全管理研究[J].小水电,2025,(04):41-44.
- [3]周荣攀.提升水电站安全管理水平的九项技能实务优化研究[J].水上安全,2025,(05):1-3.
- [4]戴天将,傅春江.水电站大坝运行安全管理和技术创新[J].大坝与安全,2024,(04):1-5.
- [5]卫东辉.基于FMEA的水电站运行期风险管理研究[D].郑州市:华北水利水电大学,2024.

作者简介:陈卓尔(1988.08-),男,汉,本科,籍贯:辽宁省丹东市,职务/职称:工程师,研究方向:工程管理。