

水电运维现场危险点分析及安全管控

张红松

国家电投贵州金元安顺水力发电总厂，贵州 安顺 561000

摘 要： 随着水电站运营复杂性的增加，确定和控制现场风险变得尤为重要。本文通过综合分析水电站的运维环境及内在危险点，构建了一个更有针对性的安全管理模型。聚焦于机械设备、自然因素与人为干扰这三方面的危险源识别，采用先进的风险评估方法来实时监测潜在威胁。并通过实施动态预警机制并更新安全策略，显著提高了事故应对的速度与有效性。同时文章还对安全管理制度的构建进行了探讨，强调了技术与操作层面的连续改进的必要性。

关 键 词： 水电站安全；风险管理；危险点识别；风险评估；安全管控；应急响应

Hazardous Point Analysis and Safety Control Of Water And Electricity Operation And Maintenance Site

Zhang Hongsong

State Power Investment Corporation, Guizhou Jinyuan Anshun Hydropower General Plant, Guizhou, Anshun 561000

Abstract： With the increasing complexity of hydropower station operation, it is particularly important to determine and control the site risks. By comprehensively analyzing the operation and maintenance environment and internal danger points of hydropower station, this paper constructs a more targeted safety management model. Focusing on the identification of hazard sources in mechanical equipment, natural factors and human interference, advanced risk assessment methods are adopted to monitor potential threats in real time. Through the implementation of the dynamic early warning mechanism and the update of the safety strategy, the speed and effectiveness of the accident response are significantly improved. At the same time, the paper also discusses the construction of safety management system, and emphasizes the necessity of continuous improvement of technology and operation level.

Keywords： hydropower station safety; risk management; hazard point identification; risk assessment; safety control; emergency response

引言：

在水电站运维领域，全面的风险管理是保障发电安全与效率的基石。考虑到水电站特殊的运作环境和高需求的生产目标，解析各类风险源并设计出精确的管理策略显得尤其重要。本文立足于实际操作需要，提出了一整套从识别到评估，再到控制风险的详尽过程。通过这一过程，能够防止或减轻潜在的灾害，更可以在发生紧急情况时，迅速有效地应对，以保持水电站的稳定运行。

一、水电站运维的基本环境及潜在危险点分析

（一）机械设备运作的安全风险

在水电站的日常运营中，长时间运行的设备，比如涡轮和发电机，其金属部件会由于持续的机械应力及疲劳应力而逐步降低其性能和可靠性，例如涡轮叶片经过数年的转动可以产生微裂纹，最终导致结构断裂的风险增加。并且密封圈和垫片等消耗品也可能在未及时更换的情况下失效，这会引起液压系统的泄漏，造成液压油污染环境或对设备其他部分造成腐蚀，影响整个系统的稳定性。

与此同时，在水电站中，从控制室到现场操作的每一个环

节，员工非标准操作或误操作比如错误的机械启停程序，可以对机械部件造成不必要的压力，极端情况下可能导致设备的突然故障甚至事故，例如如果液压调速器没有按照规定的程序进行调整，可能会造成涡轮转速过快，引发机械结构失衡和设备损坏^[1]。同样监测设备的裂痕、磨损或者异响若未能得到及时识别和处理，可能演化为严重的安全事故。

（二）自然环境造成的安全威胁

水电站的地理位置通常选址在水资源丰富、降雨量较大的地区，洪水和暴风雨等极端天气自然成为对水电站运维人员和设备设施的重要威胁之一。当暴雨过后河流水位急剧上涨，可能导致水电站坝体承受超负荷压力，甚至引发动荡导致坝体崩塌的危

险；同时洪水产生的泥石流也会堵塞进出口水道，影响制动系统，直接威胁水电站的正常运行。再者，暴风雨和雷暴天气经常给输电线路带来毁灭性的打击，雷击不仅容易导致输电线杆损毁，更可通过高电压破坏其配套设备，造成全站瘫痪^[6]。

水电站所在的区域地质条件也是影响其安全运行的关键因素之一，其中地震可能会引发电站周边山体滑坡，大量泥石流涌入进水口，阻塞水道，甚至导致水库库容骤减或坝体开裂，严重威胁整个工程结构完整性。地表地下熔岩活动也可能导致地热异常，影响设施基础稳固性，进一步增加电气设备系统的错误操作风险。

（三）人为因素引发的安全问题

在进行日常维护工作时，工作人员可能由于疏忽或对操作流程的不熟悉，导致意外事故的发生，比如没有按照标准操作步骤进行设备检修，未能正确识别和处理水电站系统中出现的小故障，从而引发更严重的设备损坏乃至事故。且在高压带电作业和高温环境下，缺乏安全防护措施，如不佩戴绝缘手套、防护帽等，可能导致触电、灼伤等严重人身伤亡事件。再者，由于长时间的疲劳工作而导致注意力下降，反应慢，都会显著增加事故概率，例如夜班期间，运维人员因生物钟紊乱而困倦，无法保持高度警觉，极易在关键操作环节出现差错。当运维人员承受过多工作压力或面临突发状况时，精神负荷过重将影响其判断和执行能力，如在面对水位快速变化时，操控闸门的动作稍有延迟或过早，便会造成不可挽回的损失^[7]。

此外，一些水电站在日常管理中可能因忽视安全教育，导致员工缺乏必要的安全意识，这种情况下，即便具备完善的安全规章制度和先进的防护设备，但从业者若安全意识淡薄，仍会导致违章操作的发生，如不按规定使用安全设备、不重视警示标志、擅自开启或关闭重要控制阀门等均是常见现象^[8]。同时如果管理层重视业绩胜过安全，将短期利益置于长期安全之上，直接导致员工形成不良行为习惯，在这种环境中，小故障小失误不被重视，久而久之便埋下了重大事故隐患。

二、危险点识别与风险评估方法

（一）危险源头的辨认与登记

在水电站运维现场，识别危险源头需要使用系统化的工具和技术来识别存在于水电站运维工作中的所有潜在危险源，例如定性方法主要通过SWOT（优势、劣势、机会、威胁）分析、德尔菲法等传统方式，调动多方专家的意见进行风险因素的挖掘；而定量方法则可能采用故障树分析（FTA）或事件树分析（ETA），这些方法能通过数学模型来评估各类风险发生的概率和严重性。

运用这些分析方法后，运维团队应建立一个详尽的危险源数据库，记录每一个识别出的潜在危害的详细信息，包括危险源的具体位置、可能导致的危害类型、影响的人员和设备的历史事故记录等。这种数据的详细登记不仅有助于对现有的危险源进行有效跟踪和监控，同时也为将来的风险评估和安全培训提供了极为重要的基础信息，例如在对高压操作区域的危险源进行登记时，

应详细标明可能存在的触电风险、电弧爆炸的点等，并结合历史事故数据来评估此处的安全防护措施是否充分，是否有改进的空间^[9]。通过这样深入细致的记录和分析，可以极大地减少因信息缺失或记录不全而引起的安全事故。

（二）风险评估模型的构建与实施

在水电站运维的安全风险评估过程中，风险评估模型的构建需运用现场传感器、历史事故记录和员工反馈收集数据，再通过机器学习算法对数据进行深度分析，以识别可能的风险模式，例如采用时间序列分析可以检测设备的异常信号，而关联规则学习则有助于发现不同运维活动间隐含的风险关系。随后基于分析结果，构建风险评估矩阵，将风险按照发生的可能性和影响程度分类，有助于划分出重点监测和防控区域。并且通过建立动态反馈机制，将实时数据与模型输出进行比较，若发现偏差，应迅速调整模型参数或重新训练算法，以提高风险预测的精度和可靠性。

关于风险评估模型实施阶段，需要一个跨学科的团队合作，包括安全工程师、数据科学家和现场操作人员，共同监控实施过程并进行持续改进。通过建立一套标准操作程序（SOP），确保每一步操作都能够严格遵守风险管理策略。对于检测到的高风险区域，实施预防性维护和紧急响应计划，例如定期对关键设备进行压力测试和性能评估，以及设置自动停机机制来应对可能的设备故障^[10]。同时利用虚拟现实（VR）技术进行灾难情景模拟训练，提升员工应对突发事件的能力。

（三）预警机制的建立与维护

在预警机制的核心算法设计中，应基于历史数据和现场实际情况，建立设备故障的预测模型和趋势分析模型，识别出可能的故障模式和异常信号，例如利用神经网络模型对设备的振动信号进行频谱分析，检测到频率偏移时可提前发出预警。此类算法需要不断进行训练和优化，才能适应现场复杂多变的环境。同时结合专家系统的方法，融合运维专家的经验 and 知识，建立规则库和知识库，在算法判断的基础上，进一步提高预警的可靠性和精度。

维护预警机制同样至关重要，对于硬件部分，定期对传感器和监测设备进行校准和测试，确保数据采集的准确性和稳定性；针对软件系统，需定期检查数据存储和处理系统的运行情况，及时排除故障并进行性能优化。为了提升整体预警机制的智能化水平，可以引入自学习和自适应算法，使系统能够根据实时数据动态调整模型参数，增强对突发事件的响应能力。并且建立健全的应急响应机制和演练制度也是维护预警机制的重要组成部分。通过定期组织预警演练和应急预案模拟，检验预警系统的有效性和可靠性，确保运维人员能够熟练应对各种突发情况^[11]。

三、安全管控措施及其执行

（一）安全管理制度的构建

安全管理制度的构建应从宏观和微观两个层面入手，在宏观层面，需要建立全面的安全管理政策和方针，这些政策应明确企业的安全目标、管理原则以及全员参与的重要性。同时定期评估

与更新，以确保其与现实环境同步动态，实现安全管理的制度化、标准化与科学化。这一层次的制度构建不仅为具体操作提供了清晰的指导方向，还将安全责任融入到企业文化中，促使每一位员工都成为安全制度的实践者和推动者。

深入到微观层面，针对具体的运维现场情况，详细且可操作的规程和流程涉及各类危险点的具体防控措施，包括危险预警、风险评估、紧急处理等方面。对于高危作业环节，则需制定专项安全规程，配备必要的安全设备和操作指南。并且还需建立严格的执行与监督机制，确保制度得到有效落实，例如可以设立专门的安全管理委员会，负责日常监督、安全检查以及事故调查。同时通过定期培训和模拟演练，提高员工的安全意识和应急能力，使其能在第一时间识别并应对潜在风险^[5]。这种多层次的安全管理制度，不仅在制度上对危险点进行防控，在实施中更通过不断优化和细化具体措施，从而建立起坚实的安全屏障。

（二）技术与操作层面的安全策略

在技术与操作层面的安全控制策略中，通过采用先进的传感器和监控技术，能够实时检测设备运行状态，包括涡轮转速、水流量、压力等关键指标，此种智能化监控不仅提高了诊断的准确性，还能预判潜在故障，避免由设备异常引起的事故，例如采用振动分析技术能够在早期识别出因结构失衡或磨损导致的异常振动，从而提前介入维护。并且运维团队可以利用大数据和机器学习技术进行历史数据分析，以发现和解析隐藏在看似正常的数据背后的异常模式，这样的措施不仅提升了风险防控的前瞻性，也增强了运维决策的科学性。同时应用机器人技术进行危险区域的巡检和操作，如在高压区或水下环境中，可以有效降低人员的直接危险暴露，从而极大地提升整体的作业安全水平^[9]。

而在日常操作中，强调对运维人员的深度培训成为一环扣紧安全链的关键，训练内容不仅需要涵盖常规操作技能，更须深入系统性教育，使每位员工都能理解其操作的原理及潜在风险。其中模拟演练和情景推演能够有效帮助团队成员准确快速地响应突发事件，尤其是在监控系统报警时，运维人员应如何正确判断情况并采取合理措施。同时定期的技能评审和更新训练保证了团队

能够随技术进步持续提升其专业能力与反应敏捷性。通过这样的高度整合技术与实战练习，形成了一个具有强适应能力和高效应对能力的专业运维团队，从根本上提升了水电站安全运营的可靠性。

（三）应急处理及事故响应

对于场地机电设备的应急处理，事先设定针对各类可能异常情况的应急方案，确保人员熟悉并能在短时间内调用相关知识和技能进行操作，这是最有效的事故响应。此流程的设置需根据设备特性，结合历史经验，分析可能出现的问题与故障，并制定相应措施，例如在水力发电设备中，因为涡轮极易因转速与水流量不匹配产生振动，所以需要制定滞后启动、限流锁定及相关措施的顺序操作表以应对，具体的应急方案需包括必要人员的职责、处理步骤、紧急设备和支援人员的联系方式。同时设置专业的应急响应团队，并定期进行实战演练，如突击训练、实操模拟等，以提高响应效率^[10]。

当事故发生后，损失虽已无法逆转，但是通过科学的事故调查，总结事故原因，重新审视并修正应急方案，却有助于防止相同故障的再次出现。针对可能存在的安全隐患，应当及时发现并采取措施进行防范，如超高负荷运行导致机器及冷却系统过热或者涡轮失衡等，在事故调查及预防阶段可以通过对数据的回溯分析，以便找出故障初期的异常信号，进一步完善维护预警系统。同时应尽可能通过现有资源寻求外部的技术支持和专业建议，进一步提升安全管理水平，增强设备的稳定性和可靠性。

结语：

综上所述，通过深入探讨水电站的运维危险点并实施系统的安全管理策略，能够明显提升整个电站的安全防护等级。本文提出的识别、评估和控制风险的方法，不仅为水电站带来了具体的操作指南，也为未来水电站安全管理提供了思路和模板。维持一个既定的安全管理体系需依靠持续的技术创新和操作纪律，确保每一位工作人员都能在这套体系内找到快速且有效的解决方案。

参考文献：

- [1]胡春林,吴辉,曹德勤,等. 水电集控运行模式研究[J]. 水电站机电技术, 2024,47(03):92-94.
- [2]胡成文. 水电运维现场危险点分析及安全管控[J]. 云南水力发电, 2023,39(07):266-269.
- [3]晏国顺,白光辉,龚科,等. 大型水电企业数字化转型路径探究[J]. 水电与新能源, 2022,36(12):1-4.
- [4]王伟,李谊斌. 水电站运维一体化模式探讨[J]. 科技资讯, 2022,20(24):30-33.
- [5]张雷防,龚相杰. 集控模式下的水电厂区域化设备远程集中运维研究[J]. 水电与抽水蓄能, 2022,8(05):109-111.
- [6]胡成文. 水电运维现场危险点分析及安全管控[J]. 云南水力发电, 2023,39(07):266-269.
- [7]王伟,李谊斌. 水电站运维一体化模式探讨[J]. 科技资讯, 2022,20(24):30-33.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2208-5042-2283.
- [8]王建波. LKK水电站运营管理智能化转型研究[D]. 云南大学, 2021.DOI:10.27456/d.cnki.gyndu.2021.000933.
- [9]刘山. 云南D发电公司生产运营精益化管理模式研究[D]. 云南财经大学, 2022.DOI:10.27455/d.cnki.gycmc.2022.000445.
- [10]刁俊丰. 基于多信息融合的水电厂运维服务支持体系研究[D]. 武汉大学, 2019.DOI:10.27379/d.cnki.gwhdu.2019.000700.[11]刁俊丰. 基于多信息融合的水电厂运维服务支持体系研究[D]. 武汉大学, 2019.DOI:10.27379/d.cnki.gwhdu.2019.000700.