

水利水电工程安全管理中风险评估技术的应用与优化

李允壮

山东省水利工程局有限公司，山东 济南 250014

摘要：随着水利水电工程规模的不断扩大和工程结构的日益复杂，风险评估技术在安全管理中的作用愈发凸显。通过系统化的风险识别、定量分析和预警机制，能够有效预判潜在风险，提升工程运行的安全保障水平。然而，在实际应用中仍存在问题。因此，需通过技术手段的优化升级，引入人工智能、大数据等先进技术提高评估的科学性和实时性；同时强化管理机制建设和人员的专业培训，提升风险控制的响应效率。结合案例分析，可以发现这些优化举措不仅增强了风险评估的实效性，也显著降低了事故发生率，为水利水电工程的安全稳定运行奠定了坚实基础，具有重要的现实意义和推广价值。

关键词：水利水电；工程安全管理；风险评估技术；应用优化

水利水电工程在国家基础设施建设中重要性不言而喻，其建设与运行阶段的风险评估技术对经济发展与社会稳定影响关键，地质条件的复杂变化，极端气候的潜在影响，设备故障等风险并存在水利水电工程的实施与运行中，风险评估技术的准确应用与持续优化，对潜在风险发现与科学应对策略制定起着作用，水利水电工程的顺利实施与长期安全运行也面临保障。

一、水利水电工程中风险评估技术的应用现状分析

（一）风险识别应用

水利水电工程的前期规划阶段，风险识别起关键性始点任务，以三峡水利枢纽工程为例，工程团队借助多种手段梳理潜在风险因素，地质勘察投入大量人力物力，运用测绘技术细致勘查工程区域，地质雷达与地震勘探等技术精准探测地下结构，断层，岩溶等地质隐患逐步识别，大坝基础若在工程建设中未妥善处理这些地质风险，不稳定性可能导致严重安全事故的潜在风险逐步增加，风险因素的处理过程显得尤为重要。

长江流域水文条件复杂多变，施工环境风险识别与这些条件存在相关性，工程团队持续监测长江水位，流量和含沙量等数据，同时结合历史水文资料进行分析。洪水，泥石流等自然灾害风险在分析中逐步显现，汛期洪水突发且冲击力强，对工程施工进度与安全威胁巨大，工程建设原材料供应，施工设备调配等环节也包含在风险识别范畴里^[1]。

（二）风险分析应用

水利水电工程借助风险分析技术对风险发生的可能性与影响程度进行深入剖析，为措施的制定提供依据，小浪底水利枢纽工程施工时，混凝土浇筑这一关键环节运用了故障树分析（FTA）技术，故障树分析把混凝土浇筑质量问题这一“顶事件”为出发点，层层追溯各类“底事件”，在混凝土原材料质量方面，水泥标号，稳定性，骨料粒径，级配等因素都可能对混凝土强度与耐久性施影响，水泥质量不稳定且强度不达标直接生成混凝土强度不足问题，工程结构安全也受到危及^[2]。

搅拌工艺显著干扰混凝土质量，过短的搅拌时长使混凝土成分混合不均匀，过长的搅拌

时长可能使混凝土离析，运输过程道路颠簸且运输时长过长，混凝土坍落度可能发生变化，浇筑效果受到干扰。浇筑施工振捣不密实，混凝土内部形成空洞，蜂窝等缺陷，故障树分析明确风险因素逻辑关系，运用概率计算方法得出混凝土浇筑环节出现质量问题的概率与对工程整体的影响程度，分析结果使施工团队精准定位风险源，严格把控原材料质量，优化搅拌与运输工艺，加强浇筑施工管理，保障混凝土浇筑质量，降低工程风险^[3]。

（三）风险评价应用

水利水电工程风险评价技术涉及对各类因素的综合考量，为工程决策提供依据，南水北调中线工程借助层次分析法（AHP）对沿线风险进行评估，自然风险，施工风险与运行管理风险被分层次纳入分析。自然风险部分包含地震，降雨和地质灾害等自然因素；施工风险涵盖施工技术，安全控制和进度管理；运行管理风险涉及设备维护，人员管理与水质监测，每个部分包含细分内容，分层次处理风险因素，使评价过程具体且可分析，为工程决策提供依据^[4]。

工程沿线部分区域处于地震带上，自然风险评估显示地震风险权重偏高，选址与设计阶段采取防范措施，降雨引发滑坡的风险权重相对次之。各风险因素的权重可经专家打分等确定，数学计算综合各风险因素权重后，工程整体风险水平可计算出，风险评价结果使工程管理者清晰了解工程面临的主要风险，合理分配资源。地震高风险区进行工程加固，施工技术复杂区域进行技术攻关，优先在高风险区域与环节投入人力，物力和财力，针对性防范措施采取后，工程安全确保，工程效益实现最大化。

二、水利水电工程风险评估技术应用问题

（一）数据准确性问题

风险评估与数据支撑联系难以断分，水利

水电工程数据获取存在诸多困难，雅砻江锦官电源组工程区域地质条件复杂，部分区域精确地质数据获取异常困难。地质灾害风险评估时，地质勘探钻孔数量有限，深层地质结构了解不全面，断层与破碎带等地质风险因素判断偏差显著，水文数据受气候变化影响，长期监测数据波动性增加，极端气候下流量，水位数据可能出现异常，洪水风险评估准确性波动，风险评估结果可靠性受到影响，工程建设中的施工数据也难以完整收集，锦官电源组工程施工规模庞大，涉及众多环节与参建单位，不同单位数据记录标准不一，数据整合难度显著加大。施工日志记录内容简略，关键施工参数存在缺失，对施工风险评估的进行施以阻碍，地下洞室开挖施工阶段，岩石硬度，节理裂隙发育情况等数据缺乏，洞室坍塌风险难以准确评估。设备运行数据也出现各种不足，老旧监测设备精度差，传输稳定性不足，数据丢包和错误现象时有发生，设备故障风险评估缺乏可靠依据，这些数据获取难题相互交织，雅砻江锦官电源组工程风险评估的可靠性进一步降低，创新数据采集与处理方式亟待探索，以提升风险评估准确性，保障工程安全稳定运行^[5]。

（二）技术适应性问题

水利水电工程在地理环境，工程规模和施工工艺等具体特征中存在特殊性，现有的风险评估技术难以完全适配，蒙特卡罗模拟法等复杂模型不仅计算过程复杂，对数据要求也高，而小型工程缺乏足够的的数据积累与专业技术人员，技术应用难以有效适配。某山区小型水电站在进行风险评估时，完全照搬大型工程的流程和模型，未能考虑山区地形复杂，交通不便等具体因素，这些特殊因素使评估结果与实际情况脱节，难以对工程安全管理进行有效指导。

（三）人员专业素养问题

风险评估技术应用中专业人员操作的权

重作用相当显著，水利水电工程里相关素养不足的状况并不少见，某中型水利枢纽工程实例显示，参与评估人员对模糊综合评价法理解不深入，选取指标与确定权重缺乏科学依据，仅依据经验判断。数据收集环节由于缺乏培训，遗漏与错误等现象时可一见，风险应对措施制定未能结合评估结果提出可行方案，流于形式化，安全管理中未能发挥其作用。

三、水利水电工程风险评估技术的优化措施

（一）加强数据管理与收集

白鹤滩水电站建设投入大量资源构建大数据平台，数据管理体系的逐步完善为风险评估准确性的提升提供了支撑，为获取地质数据，不仅增加勘探钻孔数量，同时引入高精度地质雷达技术，地下地质结构探测精度提升，断层与溶洞等不良地质体的位置与规模判断也愈加精确，三维地质建模软件整合勘探数据后构建可视化地质模型，工程基础设计与地质灾害风险评估在软件生成的模型中逐步获取直观且精确的数据支撑。

水文数据收集的智能化特征愈加显著，多普勒超声波流量计对水位与流量变化进行实时且精准的监测，卫星遥感技术获取工程周边大范围流域的水文信息，包含降水分布与水体面积变化等重要内容，时间序列分析和卡尔曼滤波算法为长期监测数据波动建立修正模型，洪水期受极端天气影响的水位数据波动中包含噪声干扰现象，修正后可还原水位变化真实趋势，此类处理使洪水风险评估可靠性显著提升。

白鹤滩水电站为获取多维度数据，与气象部门保持紧密合作，实时引入气象预报数据，对极端天气下工程风险进行提前预判，同时地质研究机构的共享研究成果逐步输入，例如区域地壳稳定性等最新的地质数据也逐步引入，这些数据为工程长期运行阶段的风险评估助力，多维度提升数据质量保障性。

（二）研发适配性技术

向家坝水电站智能化风险评估系统对水利水电工程规模与特征的适配性技术开发要求显著，深度学习算法借助人工智能技术处理复杂数据，为大型工程提供技术依据，运行中完成多形式数据采集，大坝变形状态，设备实时运行状态等数据逐步输入模型，多层神经网络构建复杂关系网络并输出预测结果，长期输入大坝位移和渗流数据后，异常变形风险能够提前预警，预警时间显著提前，工程维护时间显得充足且可应对复杂风险。

小型水利水电工程对简易实用的风险评估工具有较高要求，某小型水电站开发出风险评估表，地形地貌，工程规模，设备运行年限等关键指标包含在评估内容中。地震断裂带和泥石流易发区包含在地形地貌考量里；电站装机容量，水库库容与工程规模相关；设备运行年限和老化程度存在相关性，每个指标设定相应分值与权重，处于地震断裂带附近赋较高风险分值，加权计算后可迅速得出风险等级，工程管理人员无需复杂培训，能初步评估电站风险，及时发现潜在风险，整体水利水电工程行业的风险评估水平也提升。

（三）强化人员培训与考核

乌东德水电站高度重视风险评估人员专业素养的提升，定期组织内容全面的培训课程，业内权威专家受到邀请讲解风险识别，分析，评价等基础理论知识，同时分享研究成果与实际案例等最新的内容，专家讲解贝叶斯网络技术，在风险分析中的应用时，结合工程案例详细介绍构建贝叶斯网络模型，确定节点变量与条件概率的要点，学员逐步对技术应用特征显示深入理解。

培训后的考核具备相当严格性，理论知识考核包含风险评估的各个环节，各类评估技术原理，数据处理方法等都包含在内，实际操作考核要求学员在模拟工程场景中运用所学技术进行风险识别，分析与评价，还要求制定应

对方案。给定一个虚拟水利水电工程施工场景，场景包含复杂地质条件，多变水文环境等信息，学员需在规定时间内完成风险评估全流程操作，考核合格者可颁发专业证书，参与风险评估工作的人员扎实专业知识与操作技能的具备也能够确保。

人员激励机制的建立同样尤为重要，风险评估优秀成果奖的设立，可对在风险评估工作中成功发现重大风险或提出创新性应对方案的优秀人员给予表彰，奖励包含物质与精神奖励。某团队精准进行风险评估，提前发现工程设备潜在故障风险，避免了重大安全事故，团队成员获得高额奖金与荣誉证书，奖励充分调动人员积极性，风险评估工作高质量开展也获得保障。

（四）完善风险评估流程

二滩水电站风险评估流程的构建过程严谨且科学，在风险识别阶段，要求采用头脑风暴法，检查表法和故障树分析法进行交叉验证，大坝施工风险识别时，团队成员先借助头脑风暴法激发思维，尽可能提出全面的潜在风险因素；再依据标准风险清单，使用检查表法逐一核对，避免遗漏；最后从大坝结构安全这一项事件出发，运用故障树分析法层层分解挖掘潜在风险因素，风险识别的全面性与准确性在这一过程里逐步达到保证。

风险分析阶段，工程特征为分析模型的精准选择提供依据，混凝土坝施工质量风险分析采用可靠性分析模型，模型逐步考虑混凝土原材料性能，施工工艺变异性等关键内容，大量

试验数据与工程实际监测数据推动模型参数校准，输入数据后确定混凝土强度变异系数等关键参数，风险分析结果可靠性逐步提升。

风险评价阶段中，地质，水利以及工程管理等多领域专家组成评审队伍，专家从专业角度出发，综合工程实际，风险发生概率与影响程度等因素，逐步确定风险等级。制定风险应对措施时，依据风险评估结果生成可操作方案，明确每个风险应对措施的实施步骤，责任部门与责任人，工程安全管理部明确地震应急预案制定的物资储备地点，调配流程，应急抢险队伍组成等，部门负责人是责任人，风险评估流程定期回顾时，工程实际进展，新风险类型以及技术发展等包含在内容调整依据中，更新风险识别清单，优化分析模型等关键环节也进行调整，效率与质量持续提高，水利水电工程安全管理有力保障。

结束语

水利水电工程安全管理中风险评估技术的应用与优化，对工程安全的保障重要性不言而喻，深入了解风险评估技术应用现状后，正视问题变得尤为重要。数据管理的加强，适配技术的创新研发，人员培训的强化，评估流程的完善等优化措施，能够提升风险评估技术在水利水电工程中的应用效果，工程风险可有效降低，长期安全稳定运行的目标能够达到，为经济社会发展提供坚实保障。通过这些优化，不仅能提升工程本身的安全性，还能促进水利水电行业的技术革新，进一步推动其在可持续发展道路上稳健前行。

参考文献

- [1] 童亮瑜. BIM 技术应用于水利水电工程安全生产的探讨[J]. 新型工业化, 2022, 12(09): 161-164.
- [2] 金凯, 王琛. 基于 BIM 技术的水利水电工程施工安全评估构建研究[J]. 四川水泥, 2022(07): 58-60.
- [3] 张红艳, 高鹏. 水利水电工程安全管理风险分析及对策[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 13(S2): 89-92.

[4]陈立. 水利工程安全管理与风险评估[J]. 水利工程, 2022, 35 (2): 78-91.

[5]刘丽. 安全管理与风险评估的综合方法在水利水电工程中的应用[J]. 工程管理, 2020, 14(3): 45-57.