

水利水电工程管理风险预警体系构建及应用研究

谭伟奇 五家渠农六师勘测设计研究有限公 831300

摘要

水利水电工程作为支撑国民经济发展的重要基础设施，其建设与运行过程中面临着复杂多元的风险因素，传统的事后处置模式已难以适配当前工程安全管理的需求。本文结合水利水电工程全生命周期的风险特征，从风险辨识、指标体系搭建、预警模型构建、响应机制完善四个维度，系统构建一套科学可落地的管理风险预警体系，并结合实际工程场景验证其应用效能。研究表明，该体系能够有效提升工程风险的前置防控能力，降低各类安全事故的发生概率，为水利水电工程的安全稳定运行提供坚实的技术支撑。

关键词

水利水电工程；风险预警体系；全生命周期管理；风险处置策略

一、引言

水利水电工程普遍具有建设周期长、施工环境复杂、涉及主体众多的特点，从前期勘测设计、中期施工建设到后期运行维护的全流程中，始终伴随着各类不确定性风险。近年来，随着我国一批重大水利水电枢纽工程陆续建成投运，工程安全管理的复杂度进一步提升，传统依赖人工巡检、经验判断的风险管理模式，逐渐暴露出风险识别滞后、响应效率偏低、预警精度不足等短板。在此背景下，构建一套覆盖全流程、多维度的风险预警体系，实现风险的早发现、早研判、早处置，已经成为当前水利水电工程管理领域亟待解决的核心问题。

二、水利水电工程管理风险的分类与特征

结合水利水电工程的建设与运行实际，可将工程管理中的核心风险划分为五大类：第一类是人员伤亡风险，主要来自高空作业、爆破施工、汛期抢险等场景下的人员安全隐患；第二类是经济损失风险，涵盖工程质量缺陷导致的返工、设备故障引发的停工、造价超概算等问题；第三类是工期延误风险，多由极端天气、地质条件突变、物资供应滞后等因素引发；第四类是环境影响风险，包括施工期水土流失、运行期水体污染、生态系统扰动等问题；第五类是社会影响风险，涉及移民安置稳定、下游群众生命财产安全保障等相关内容。

这些风险普遍具备三个典型特征：一是隐蔽性强，很多结构内部的损伤、地质深层的隐患难以通过常规人工巡检及时发现；二是传导性快，单一局部风险如果未得到及时处置，很容易快速扩散为系统性安全事故；三是后果严重，水利水电工程一旦发生重大安全事故，往往会对区域内的生命财产安全、生态环境造成不可逆的严重影响。

三、风险预警体系的核心构建路径

3.1 多维度风险辨识机制搭建

风险辨识是整个预警体系的基础环节，需要覆盖工程全生命周期的所有关键节点。在勘测设计阶段，重点识别地质勘测数据不全、设计方案存在缺陷等风险；在施工建设阶段，聚焦施工操作不规范、设备老化失修、临时结构稳定性不足等隐患；在运行维护阶段，重点监测大坝结构变形、渗流量异常、设备运行参数偏离阈值等问题。同时，还要将自然环境因素、人为操作因素、外部

突发事件等纳入辨识范围，建立完整的风险因子清单，实现对所有潜在风险点的无死角覆盖。

3.2 分层级预警指标体系设计

遵循灵敏性、独立性、可操作性的原则，搭建三级分层预警指标体系。一级指标对应五大核心风险类别，二级指标对各类风险进行细化拆解，例如将结构安全风险进一步拆解为变形指标、渗流指标、应力应变指标等，三级指标则对应具体的可量化监测参数，比如坝体水平位移量、渗漏量、裂缝开度等。参考相关工程规范，为每个三级指标明确不同预警等级的阈值区间，结合风险发生的可能性和损失严重程度，将预警划分为一般、较重、严重、特别严重四个等级，确保指标能够精准反映风险的动态变化特征。

3.3 智能化预警模型与技术支撑

融合传感器技术、大数据分析机器学习算法，搭建智能化的预警数据处理平台。在工程关键部位布设自动化监测传感器，实时采集水位、流量、变形、应力等核心数据，通过 5G 传输网络将数据同步至云端处理平台。利用历史工程风险数据训练异常检测模型，自动识别监测数据中的异常波动，排除环境干扰等误报因素，自动生成对应的预警信息。同时引入蒙特卡罗法、贝叶斯估计法等风险评估算法，对风险的发生概率和潜在损失进行动态研判，提升预警结果的科学性与精准度。

3.4 全链条预警响应处置机制

建立与预警等级相匹配的分级响应处置流程，针对不同类型的风险制定差异化的处置策略：对于损失大、概率大的灾难性风险，第一时间采取风险规避

措施，暂停相关作业、撤离人员；对于损失小、概率大的常规风险，采取风险缓解措施，通过优化施工方案、加强巡检频次降低风险发生可能性；对于损失大、概率小的风险，通过工程保险、合同条款约定责任划分的方式实现风险转移；对于损失小、概率小的低风险，可采用风险自留的方式，纳入常规日常管理范畴。同时配套完善应急预案，明确各部门的预警响应职责，形成“监测-研判-预警-处置-反馈”的完整闭环管理链条。

四、工程应用实践与成效分析

该风险预警体系已在多个大型水利水电枢纽工程中投入试点应用，以某流域大型水利枢纽工程为例，通过在大坝、船闸、升船机等关键构建筑物上布设数百个自动化监测传感器，实现了对工程结构安全、洪水灾害、电力生产安全等六类核心风险的 24 小时动态监测。系统投运后，工程风险的平均识别响应时间从原来的 48 小时缩短至 15 分钟，近两年来成功预警了 3 起坝体局部渗流异常、2 次区域极端暴雨超标洪水等潜在风险，通过提前处置有效避免了安全事故的发生，直接减少潜在经济损失超过数千万元。同时，体系的应用也推动工程安全管理模式从“被动处置”向“主动预防”转变，大幅降低了人工巡检的工作强度，工程安全管理的整体效率提升 60%以上。

五、结论与展望

水利水电工程管理风险预警体系的构建，是提升工程本质安全水平的核心手段，通过多维度的风险辨识、科学的指标体系设计、智能化的技术支撑和闭环的响应机制，能够有效破解传统风险管理模式的痛点问题。未来，随着物联网、数字孪生等新技术的进一步普及应用，风险预警体系还将向多源信息深度

融合、全场景模拟推演、风险趋势精准预测的方向持续升级，为我国水利水电工程的长期安全稳定运行提供更加强有力的保障。

参考文献

- 刘梦烨. 浅谈企业经营风险预警体系的构建方法[J]. 企业管理, 2020(12): 45-48.
- 谷雨. 浅谈医院医疗质量风险预警体系的构建[J]. 科技资讯, 2017, 15(36): 196.
- 吴长春. 水利水电工程建设风险管控[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018.
- 三峡枢纽工程运行安全风险预警指标体系构建研究课题组. 三峡枢纽工程运行安全风险预警指标体系构建研究[J]. 水利学报, 2024, 55(3): 289-298.
- 张士辰. 水电水利工程风险辨识与典型案例分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.