

水利工程运行风险动态预警体系构建与应急响应机制研究

赖世捷

武义县宣平溪水电工程管理处

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6433

[摘要] 本文聚焦水利工程运行风险动态预警体系构建与应急响应机制研究,基于风险评估理论与信息技术发展趋势,系统分析水利工程运行过程中潜在风险要素,构建涵盖数据采集、动态预警及响应决策的全流程风险预警体系。通过多源数据融合技术、机器学习算法及动态评估模型,实现风险的实时监测与动态评估;结合应急管理理论,设计分级分类应急响应机制,明确风险预警等级划分标准、响应流程及资源调配策略。研究成果为提升水利工程运行风险管理水平、保障工程安全稳定运行提供理论依据与技术支持,对完善水利工程安全保障体系具有重要的实践指导意义。

[关键词] 水利工程; 运行风险; 动态预警体系构建; 应急响应机制

中图分类号: TV 文献标识码: A

Research on the Construction of Dynamic Early Warning System and Emergency Response Mechanism for Water Conservancy Project Operation Risks

Shijie Lai

Xuanpingxi Hydropower Project Management Office of Wuyi County

[Abstract] This paper focuses on the research on the construction of a dynamic early warning system and emergency response mechanism for water conservancy project operation risks. Based on risk assessment theories and the development trend of information technology, it systematically analyzes the potential risk factors in the operation process of water conservancy projects, and constructs a full - process risk early warning system covering data collection, risk identification, dynamic early warning and response decision - making. Through multi - source data fusion technology, machine learning algorithms and dynamic evaluation models, the real - time monitoring and dynamic evaluation of risks are realized. Combined with emergency management theories, a hierarchical and classified emergency response mechanism is designed, and the standards for grading risk early warnings, response processes and resource allocation strategies are clarified. The research results provide theoretical basis and technical support for improving the operation risk management level of water conservancy projects and ensuring the safe and stable operation of projects, and have important practical guiding significance for improving the safety guarantee system of water conservancy projects.

[Key words] water conservancy project; operation risk; construction of dynamic early warning system; emergency response mechanism

水利工程作为国家基础设施建设的关键组成部分,在防洪、供水、发电及生态调节等领域起到核心作用。伴随经济社会的高速增长,水利工程规模渐渐扩大、功能日益多样,其运行环境呈现出动态、不稳定性特征。面临自然灾害、设备老化、人为操作失误等若干风险的挑战。传统的静态风险管理模式难以匹配复杂多变的运行状态,从而产生了智能化的风险预警体系与高效协同的应急响应机制。在这样的情形背景下,实施水利工程运行风险动态预警体系构建与应急响应机制的研究,对于提升水利工程安全管理水平、减轻灾害损失、保障人民生命财产安全

全以及社会稳定具有重大的现实意义与战略价值。

1 水利工程运行风险要素分析

1.1 自然环境风险

自然环境因素是水利工程运行碰到的首要风险源头,其有着突发状况、不可掌控和连锁反应的特性。就极端气象条件而言,暴雨可引发流域洪水,超过预先设计的防洪标准时,或许会引发大坝漫顶溃决的风险;干旱会引起水资源短缺,影响到水利工程供水、发电等功能的正常开展。在地质灾害范畴,地震、山体滑坡等有破坏大坝基础、输水渠道等关键设施的可能性,对工

程结构的安全构成威胁。季节性的气温改变会引起水工建筑物材料热胀冷缩,长时间的作用也会引发结构裂缝,引起工程耐久性减弱。

1.2 工程本体风险

水利工程全生命周期期间工程本体风险与工程的设计、施工及运行维护密切挂钩。处于设计阶段,若防洪标准、结构参数等设计指标设定不合理,大概会引发工程先天就有不足。处于施工阶段,混凝土浇筑质量未达要求、基础处理不规范的相关问题,会埋下关乎结构安全的隐患,在长期运转的过程里,大坝基扬压力若发生改变,可能引发渗漏、管涌等危险;混凝土坝鉴于冻融循环、化学侵蚀等作用,结构强度会慢慢下降。

1.3 设备设施风险

水利工程设备设施的类别十分繁杂,涉及机电设备、金属结构、监测系统等,其运行状态直接影响工程功能的达成,诸如发电机组、水泵的机电设备。长期运转有概率出现机械磨损、电气故障,引发设备停机,甚至造成安全事故;类似闸门、拦污栅的金属结构,很容易受腐蚀、变形方面的干扰,造成启闭灵活性及挡水能力下降;监测系统传感器的精度降低、数据传输出现故障,会造成工程运行状态信息有误差,干扰风险判断与决策的进行。

1.4 管理运营风险

管理运营风险主要是由人为因素与制度缺陷所引发的,操作人员专业能力有限、安全意识淡薄,大概会出现违规操作现象,诸如下达错误的水库调度指令、设备操作不当情况等。管理制度存在缺陷,欠缺有效的风险排查及隐患整改机制,会造成风险隐患长久留存;应急演练开展不充分、应急预案可执行性差,造成在突发风险事件发生之际,不能及时、高效地实施应急处置行动。

2 动态预警体系构建

2.1 数据采集与传输系统

动态预警体系依靠数据采集与传输系统作为基础,在数据采集相关事宜上,打造多层次、无死角的数据采集网络。就流域尺度而言,依靠水文站、气象站采集降雨量、水位、流量、风速风向等数据;在工程本体这个位置,以应变计、渗压计、位移计等传感器实时监测大坝应力、渗流、变形等结构参数情况。就设备设施而言,利用振动传感器、温度传感器等采集机电设备运行状态方面的数据^[1]。就数据传输而言,利用物联网技术达成传感器数据自动采集与上传工作,针对偏远的地区或通信条件有限的区域,依靠卫星通信保障数据的有效传输;采用边缘计算技术,在数据源头对原始数据开展初步处理,减小数据传输的体量,提高传输效率,保证数据能真实、精准、迅速地体现工程运行状态。

2.2 风险识别与评估模型

风险识别与评估模型构成了动态预警体系的核心。在风险识别这个阶段,依靠历史风险事件数据与实时监测产生的数据,采用机器学习算法构建风险识别模型。拿神经网络做例子,依靠

大量历史数据开展训练工作,把握风险特征跟运行数据的映射关系,做到对潜在隐患的自动诊断;支持向量机借助寻找最优的分类超平面,对风险状态实施分类辨认。就风险评估而言,创建动态风险评估指标体系,从风险出现概率和后果严重程度两个维度去选取评估指标。

2.3 预警发布与响应决策系统

预警发布与响应决策系统是连接风险预警跟应急响应的桥梁,按照风险评估后得出的结果,参照相关国家标准跟行业规范,制定四级预警的分级规范。一般化风险,经由短信平台、广播系统、水利工程管理信息平台等多渠道,及时把预警信息发出,使信息传递的及时性和准确性到位^[2]。设立响应决策支持体系,基于既有的专家知识库和历史案例库,运用决策树、案例推理这类技术,向管理人员提供风险应对策略以及资源调配方案,要是出现橙色预警,系统自动推荐实施局部工程调度方案,分派抢险队伍和物资,同时给予相关的技术辅导。

3 应急响应机制设计

3.1 应急组织架构与职责划分

水利工程作为水资源协调、防洪、排水灌溉的重要工程,它可在协调施工组织的过程中解决群众用水的问题,也能改善水土流失的不利影响。科学且合理的应急组织架构是保障应急响应工作高效开展的关键,打造三级应急组织体系,各层级分工明晰、合作紧密,指挥决策层由政府应急管理部门、水利行政主管部门与水利工程管理单位负责人一起组成,作为应急响应的关键中心,承担全面统筹应急指挥工作之责。按照风险评估结果与实时动态资讯,拟定科学合理的应急策略与行动计划;现场处置层由专业的抢险队伍、水利工程技术专家及设备维修人员组成,当接到指挥决策层下达的指令后,赶紧开展抢险救援事宜^[3]。针对像大坝渗漏、设备故障这样的险情,采用专业技术跟设备进行工程抢险、排除隐患问题,同时即刻反馈现场情形,为决策调整给出依据,后勤保障层由物资供应、通信保障、医疗救护等多个部门构成,承担起应急响应的物资及服务方面的支持,物资供应部门按照需求明细,即刻调配抢险设备与防汛物资;通信保障部门保障应急通信网络顺畅无阻,保证信息能实时传送;医疗救护部门承担着现场伤员的救治跟转运事宜,为抢险工作保障生命安全相关事宜,通过明确各层级、各部门及相关人员职责,形成定期沟通协调机制与信息共享阵地,保障应急响应工作协同有序地实施。

3.2 分级分类响应流程

分级分类的响应流程保障了应急响应工作的针对性与有效性,要是遇到一般风险(蓝色预警)情形时,实施日常巡查强化举措,增添工程设施巡检的次数,加大监测数据实时分析力度。若出现较重风险(黄色预警)状况时,邀请专业技术人员进行现场检查排查,制订隐患整改计划,若有必要则采取局部工程防护办法;若出现严重风险(橙色预警)情况时,推进局部工程调度实施,先调低水库的水位,同时即刻启动人员疏散预案,实施受威胁区域群众的转移工作。若处于特别严重风险(红色预警)的阶段时,

全面激活应急预案体系,设立现场应急指挥中心,集结军队、社会救援力量等各方面资源,开展大规模的抢险救灾活动,同时提前做好灾后重建相关准备,保证应急响应工作规范、有序开展。

3.3 应急资源保障体系

应急资源保障体系是应急响应工作得以顺利开展的物质根基,在应急物资储备这个范畴内。基于水利工程风险特点以及历史灾害数据,恰当规划物资储备的种类与数量,囊括抢险设备(如挖掘机、抽水机这类)、防汛物资(像沙袋、土工布之类)、应急照明设备等。搭建应急物资信息化管理体系,实时掌控物资库存情形,实现物资的动态把控和快速调度,在应急队伍组建与发展方面,构建专业抢险队伍,定时开展技能培训与应急演练,提升队伍应急处理水平。跟社会救援力量达成合作机制,填充应急救援的力量,制定区域跟部门之间的资源共享契约,保障在重大灾害突发的瞬间,应急资源能迅速又高效地调配至需求区域。

4 技术支撑与保障措施

4.1 信息技术融合应用

信息技术的深度整合为动态预警体系、应急响应机制提供强大技术依托,构建依托大数据、云计算和人工智能的水利工程运行风险智能管理平台。采用大数据技术对多源异构数据进行清理、存储和分析,剖析风险演变的规律;依靠云计算平台实现海量数据的分布式存储及并行计算,增进数据处理功效。采用人工智能技术,若如机器学习、深度学习算法,做到风险的智能预警与辅助决策工作,采用深度学习算法对历史风险数据和实时监测数据开展分析,预计风险的发展走势,为决策提供具有前瞻性的指引。

4.2 制度与标准建设

完备的制度跟标准是保障体系及机制有效运行的重要根基。在制度规划层面,需制定水利工程运行风险管理全流程相关制度规范,清晰界定风险预警与应急响应工作启动、开展及结束的流程,把各岗位职责边界进一步细化,规定数据采集人员要按照频次要求实时上传监测数据,决策人员应按照既定的流程启动应急预案,同时严格约束信息报送的格式、内容以及时效方面的要求,保证信息传递既准确又及时^[4]。技术标准及操作规范层面,搭建包含数据采集、风险评估、预警发布及应急处置全流程的标准架构:明晰水位、渗流等数据采集精度的误差范围,对神经网络、模糊综合评价等风险评估方法的适用场景跟参数设置进行规范,让预警信息发布分级标准与多渠道推送规则一致,设定大坝抢险、人员疏散等应急处置的技术实施细则。构建日常化的监督考核机制,通过按时开展预警模型精准度评估、应急演练成效剖析等工作,把评估结果放进水利工程管理单位绩效考

核体系里,形成“制度-标准-考核”的闭合循环管理,助力水利工程运行风险管理水平稳步提升。

4.3 人才培养与资金投入

人才跟资金是推动水利工程运行风险管理工作的关键成分。从人才培养角度,提升与高校、科研机构的合作水平,开设跟水利工程风险管理相关的专业课程及培训项目,培养掌握风险评估、预警技术、应急管理等方面专业知识的复合型人才;提倡在职人员参与继续教育与专业技能培训,增强从业人员的专业素养与技术实力^[5]。从资金投入方面看,政府扩大对水利工程运行风险管理的财政支持规模,保障动态预警体系建设、应急演练等工作的资金配备;探求多渠道资金投入机制,引入社会资本参与水利工程风险管理项目打造,为水利工程安全运转提供坚实的资金后盾。

5 结论

本文系统构建了水利工程运行风险动态预警体系与应急响应机制,通过整合多源数据、融合先进信息技术、运用科学管理方法,实现了风险的实时监测、动态评估、精准预警和高效应对。该体系与机制的建立,有效提升了水利工程运行风险防控能力,优化了应急资源配置,增强了工程抵御风险的韧性。然而,实际工程运行环境复杂多变,后续研究需进一步结合不同类型水利工程的特点和实际应用场景,对体系与机制进行验证和优化,不断完善技术方法和管理策略。同时,随着信息技术的快速发展,持续探索新技术在水利工程风险管理中的应用,推动水利工程运行风险管理向智能化、精细化方向发展,为水利事业高质量发展提供可靠的安全保障。

【参考文献】

- [1]李忠艺.水利工程运行管理的安全风险评估[J].黄河水利职业技术学院学报,2024,36(3):21-26.
- [2]娄谦,靖静,靖庆生.水利工程建设与运行中的安全风险识别与防控机制研究[J].水上安全,2025(3):59-61.
- [3]陈祥梅,王萍.水利工程运行与管理中的安全风险评估与控制[J].水上安全,2023(14):172-174.
- [4]严光福.水利工程运行安全风险管理机制建设的探讨[J].建筑与施工,2025,4(4):228-231.
- [5]邓嘉莉.水利工程运行管理中存在的安全风险及改进措施[J].建筑工程技术与设计,2020(26):2062.

作者简介:

赖世捷(1972--),男,浙江省武义县人,本科,工程师,研究方向:水利工程运行管理。