

水利工程安全风险管理与控制策略研究

石迎梅 毛乾帅

郑州黄河河务局巩义黄河河务局 河南 巩义 451200

摘要：水利工程作为国家基础设施，在防洪、灌溉等方面作用关键，但全生命周期面临自然环境、工程技术、人为活动等安全风险，具有不确定性、复杂性和连锁性。本文阐述了水利工程安全风险应遵循预防为主、分级分类、全生命周期、协同共治原则，介绍了风险识别与评估方法及模型，探讨了风险预防、减轻、转移与应对等控制策略，并从资金、技术人才、科技支撑三方面构建保障体系，以保障工程安全运行与可持续发展。

关键词：水利工程；安全风险；风险管理；控制策略

1 水利工程安全风险的内涵

水利工程作为国家基础设施重要组成部分，在防洪、灌溉等多方面作用关键，关乎国计民生与社会稳定。但其全生命周期面临诸多安全风险，黄河防洪工程因流域水沙特性复杂，风险更具特殊性。自然环境因素中，黄河洪水含沙量高、洪峰突发性强，超标准洪水易导致堤防漫溢溃决；中游河段地震烈度高，可能引发堤防裂缝、控导坝体滑动；沿岸暴雨诱发的山体滑坡会冲击控导工程，凌汛还可能堵塞涵闸进水口。工程技术因素方面，黄河堤防若设计未考虑河床逐年淤积，防洪标准会持续降低；施工阶段堤防土方压实度不足、控导坝体石料砌筑不规范、涵闸混凝土存在质量缺陷，会削弱工程抗灾能力；部分建于上世纪的涵闸设备老化、闸门锈蚀，未及时更新易引发险情。人为活动因素中，黄河滩区违规采砂会破坏堤防防渗层；运行管理中涵闸调度未结合水沙变化，易导致闸前淤积；巡查维护不到位，未能及时发现堤防白蚁巢穴、涵闸渗漏等隐患，小问题可能演变为大事故^[1]。水利工程安全风险具有不确定性、复杂性和连锁性，黄河防洪工程尤为突出，如堤防溃决可能引发河道改道，形成连锁灾害。因此，深入研究风险内涵，针对性管控黄河堤防、控导、涵闸风险，对保障流域安全意义重大。

2 水利工程安全风险管理的基本原则

2.1 预防为主原则

预防为主是水利工程安全风险管理的核心原则，强调全生命周期内以预防为重点，采取前瞻性措施降低风险可能性和影响，而非被动应对。以黄河防洪工程为例，规划阶段，要充分考虑风险因素，科学规划布局，如堤防选址避开地质灾害易发区，考虑洪水、泥沙等自然灾害影响。设计阶段，严格依规范标准设计，提升工程抗灾能力，像堤防设计要合理确定堤顶高程、边坡坡度等

关键参数，确保能够抵御设计标准内的洪水。建设阶段，加强施工质量管理，建立健全质量管理体系，严格检验原材料等，控制工艺工序，监控关键部位，如控导工程建设中，要确保坝体填筑质量，防止出现不均匀沉降等问题。运行管理阶段，加强日常巡查维护，定期检查检测评估，及时处理隐患，如黄河堤防依调度方案操作、监测堤防状态，同时加强应急管理，制定预案并演练，提高突发事件应对能力，减少损失。

2.2 分级分类原则

水利工程安全风险因工程和风险因素复杂，需遵循分级分类原则。分级管理依据工程重要性、规模等因素划分等级，制定相应管理标准和措施。对于黄河防洪工程，大型、重要及位于关键区域的工程风险高，要严格监管，如黄河干流上的重要堤防、大型涵闸需强化安全监测等；小型或风险低工程可适当降低标准，但满足基本安全。分类管理按工程类型、功能等分类，制定专门策略和规范。不同工程结构、运行和风险有差异，如堤防重点防洪水冲刷、加强护坡维护，控导工程关注坝体稳定、加强根石探测与加固，涵闸关注闸门启闭、加强水位监测与设备维护。

2.3 全生命周期原则

水利工程安全风险应贯穿全生命周期各阶段，因不同阶段风险和管理要求不同，全周期管理可全面识别评估风险并应对。规划阶段，考虑长期安全需求，全面评估建设必要性、可行性及风险，结合黄河治理规划合理确定规模布局。设计阶段是关键，设计质量关乎安全可靠，要综合考虑多方面因素，采用先进理念技术，设计合理监测系统，如为堤防设计沉降观测点、为涵闸安装水位监测仪器等。建设阶段是实体形成期，要加强质量安全管理，建立健全体系，培训施工人员，做好环保。运行阶段是发挥效益重点期，要加强巡查维护，根

据黄河水情变化调整运行方案,加强应急管理。退役阶段也不能忽视,要考虑安全风险和环境影响,制定合理方案,妥善处理工程。

2.4 协同共治原则

水利工程安全风险是复杂系统工程,涉及多部门、领域和利益相关者,需协同共治。政府部门起主导作用,河务、应急等部门明确分工,加强沟通,建立协同机制。河务部门负责黄河防洪工程的日常管理与监管,应急部门组织应急处置,环保部门监督工程对黄河生态环境的影响,自然资源部门提供黄河河道地质环境信息与监测数据,各部门信息共享、资源整合。建设单位和运行管理单位是直接责任主体,建设单位依程序建设,运行管理单位加强日常管理,落实制度措施,同时与政府沟通报告情况。科研机构 and 高校发挥优势,开展研究创新,为管理实践提供支持指导。

3 水利工程安全风险识别与评估

3.1 风险识别方法

风险识别作为水利工程安全风险的基础,旨在全面精准找出全生命周期内的各类风险因素,常用方法有以下几种。(1)专家调查法借助水利领域专家的专业知识与经验来识别分析风险,有头脑风暴法和德尔菲法等形式。头脑风暴法组织专家集中畅谈、互相启发,提出众多风险因素;德尔菲法通过多轮匿名问卷收集意见,反复归纳修改形成一致结果。以黄河防洪工程为例,可邀请黄河水利委员会的专家、高校的水利专家等参与,其优点是能利用专家智慧识别潜在风险,缺点是受专家主观影响大,意见或有差异^[2]。(2)检查表法依据工程特点和规范制定详细检查表,对照检查工程各环节风险,涵盖设计、施工、运行管理等方面。对于黄河堤防,检查表可包括堤身质量、护坡状况、防汛道路等项目,优点是简单易行、操作性强,能系统识别风险;缺点是内容可能不全面,难识别复杂风险。(3)流程图法通过绘制业务流程图或工程结构流程图,分析环节关系与风险点,如绘制黄河涵闸调度流程图。优点是清晰展示运行过程与风险传递路径;缺点是复杂工程绘制难,难准确反映所有风险。(4)事故树分析法从结果到原因分析,以事故为顶上事件构建模型识别风险。如以黄河堤防溃决为顶上事件,分析可能导致溃决的各种因素,优点是能深入分析事故原因逻辑,找出关键风险;缺点是分析复杂,需专业知识技能。

3.2 风险评估模型

风险评估在风险识别后,对风险因素进行定量或定性分析,确定风险等级,为风险控制提供关键依据。以

下是几种常用风险评估模型:层次分析法(AHP)通过分解复杂问题为多层次结构,两两比较确定元素重要性,构建判断矩阵计算权重,结合权重和评分得出综合风险值。在黄河防洪工程中,此法能处理多目标问题,结合定性与定量分析,但判断矩阵构建易受主观影响;模糊综合评价法针对水利工程风险因素的模糊性和不确定性,通过确定评价因素集和评价集,专家打分或问卷调查确定隶属度构建模糊矩阵,进行模糊合成运算。在黄河防洪工程中,此法可考虑洪水风险、地质灾害风险等因素,处理模糊信息,结果贴近实际,但隶属度函数确定具主观性;蒙特卡洛模拟法基于概率统计进行随机模拟,对风险因素概率分布抽样,模拟工程运行,计算风险事件概率和损失。如模拟黄河洪水分析堤防安全性,此法考虑不确定性和随机性,结果准确可靠,但计算复杂,需大量资源和时间;神经网络模型模拟人脑神经元结构,具有自学习、自适应和非线性映射能力。通过历史数据训练模型,评估新风险情况。在黄河防洪工程中,可利用历史洪水数据、工程维护记录等训练模型,处理复杂非线性问题精度高,但需大量历史数据,模型结构和参数对结果有影响。

4 水利工程安全风险控制策略

4.1 风险预防策略

风险预防策略是水利工程安全风险首要之策,目的是消除或降低风险发生可能性。规划阶段,需科学合理规划工程布局与规模,充分考虑地质、水文、环境等因素,避开地质灾害易发区与生态环境敏感区。如选黄河堤防坝址,要详细地质勘察,确保地质条件稳定,防止因地质问题致堤防失事。设计阶段,要严格依规范标准设计,提升工程抗灾能力。地震多发区工程,按抗震设防标准设计,采用抗震结构与材料;黄河堤防等重要建筑,设计合理泄洪设施,确保超标准洪水时安全泄洪。建设阶段,加强施工质量管理,健全质量保证体系,严格按图纸规范施工,检验原材料等质量,控制工艺工序^[3]。

4.2 风险减轻策略

风险减轻策略是在风险难完全预防时,降低风险损失。对黄河防洪工程而言,加强工程设施维护管理可提高可靠性与稳定性,减轻损失。如定期检查、维护、更新改造建筑物和设备,及时修复问题,确保良好运行。加强安全监测和预警系统建设也是重要举措。安装监测设备,实时监测水位、位移等参数,发现异常变化。数据超预警值立即预警并处理,避免事故扩大。如黄河堤防安装位移监测点和渗流监测孔,位移或渗流量异常增

大时,及时分析并采取加固或排水措施。另外,制定完善应急预案并定期演练能有效减轻风险。预案明确应急组织等内容,确保风险事件发生时迅速有序应对。定期演练可提高应急处置能力和公众自我保护意识,减少人员伤亡与财产损失。

4.3 风险转移与应对策略

风险转移是将水利工程部分或全部风险转移给其他方。购买保险是常见方式,黄河防洪工程建设与运行管理单位可投保建筑工程一切险等,将建设与运行中面临的自然灾害、意外事故等风险转给保险公司。发生保险事故,保险公司按约赔偿,减轻经济负担。签订合同也是重要手段。建设时,与施工单位签合同,明确质量、安全责任义务,转移部分施工风险。如约定施工单位对黄河堤防质量负责,质量问题致事故要担责赔偿。风险事件发生时,要采取有效应对策略。先启动应急预案,组织救援力量抢险。依事件类型与严重程度采取处置措施,如黄河洪水时开启泄洪设施,地震时检查设施并临时加固。及时向上级报告,协调资源应对。事件处置后总结评估,分析原因,吸取教训,完善制度措施,防止再次发生。

5 水利工程安全风险管理的保障体系

5.1 资金投入保障

资金对水利工程安全风险管理的至关重要。黄河防洪工程建设、维护、更新、监测及救援均需大量投入。政府应增加财政预算,确保资金稳定,并优先保障重点及隐患工程。同时,拓宽融资渠道,吸引社会资本参与,如发行水利债券、设立投资基金、采用PPP模式等,既减轻政府负担,又引入管理经验和技术,提升管理水平。加强资金使用监管,建立健全管理制度,确保专款专用,提高效益。严格审计监督,防止挪用浪费,保障黄河防洪工程安全风险管理工作顺利进行。多方资金保障,共同构筑水利工程安全风险管理的坚实防线。

5.2 技术人才保障

黄河防洪工程安全风险管理的需要一支高素质的技术人才队伍。要加强水利领域专业人才的培养,高校和职业院校应优化专业设置,加强水利工程相关专业建设,培养具有扎实理论基础和实践能力的专业人才。同时,要加强对在职人员的培训和继续教育,定期组织业务培训和和技术交流活动,更新知识结构,提高技术水平和业

务能力。鼓励科研机构 and 高校开展黄河防洪工程安全风险管理相关的研究工作,培养一批高层次的科研人才。通过科研项目和课题研究,解决黄河防洪工程安全风险管理中的关键技术问题,推动技术创新和成果转化。建立健全人才激励机制,吸引和留住优秀人才^[4]。对在黄河防洪工程安全风险管理工作做出突出贡献的单位和个人给予表彰和奖励,提高技术人员的工作积极性和创造性。

5.3 科技支撑保障

科技是黄河防洪工程安全风险管理发展的关键。应加强水利工程安全监测技术研发,提升监测设备精度与可靠性,研发新型传感器以实现实时精准监测。同时,利用大数据、人工智能等技术深入挖掘监测数据,为安全评估和决策提供依据。推进信息化建设,建立水利工程安全风险管理信息平台,整合各阶段信息,实现共享与互联,实时掌握工程状态,快速发现并处理隐患,提升应急响应与决策科学性。此外,加强防灾减灾技术研究,模拟预测洪水、地震等灾害,为设计与管理提供技术支撑。研发新型防护材料与技术,增强工程结构强度与稳定性,确保在极端条件下安全运行。这些科技举措将有效提升黄河防洪工程的风险管理水平。

结束语

水利工程安全风险管理意义重大且任务艰巨。以黄河防洪工程为例,其全生命周期面临多元风险,需遵循科学原则,精准识别评估风险,综合运用多种控制策略。同时,完善的保障体系不可或缺,资金投入确保管理有资源支撑,技术人才提供专业智慧,科技支撑提升管理效能。只有各方协同,构建全方位管理体系,才能有效应对风险,保障黄河防洪工程安全,为经济社会稳定发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]陈丹丹,李海雷.水利工程安全风险管理与控制策略研究[J].治淮, 2025(3): 94-96.
- [2]张秀爱.水利工程安全风险管理与控制策略研究[J].城市周刊, 2025(20): 154-156.
- [3]高胜楠.水利管理中的安全风险控制策略研究[J].水上安全, 2025(7): 151-153.
- [4]马斌.水利工程施工过程中的安全管理与风险控制研究[J].现代装饰, 2024, 584(15): 118-120.