

水利水电工程施工安全风险防控体系构建研究

唐恩棚

重庆钓鱼城建设监理咨询有限公司，重庆 401520

DOI:10.61369/WCEST.2025010015

摘 要： 水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，施工过程具有环境复杂、技术难度高、安全风险大等特点。本文基于风险管理理论，系统分析水利水电工程施工安全风险的类型与成因，结合实际案例探讨风险识别、评估方法，并构建包含组织管理、技术防控、监测预警及应急处置的综合防控体系。通过引入信息化管理技术与动态评估机制，旨在提升工程安全管理水平，降低事故发生率。研究结果表明，系统化的风险防控体系可有效减少人为失误与环境因素导致的安全隐患，为水利水电工程施工安全提供理论与实践参考。

关 键 词： 水利水电工程；施工安全；风险防控；体系构建；信息化管理

Research on the Construction of Safety Risk Prevention and Control System for Hydraulic and Hydropower Engineering Construction

Tang Enpeng

Chongqing Diaoyucheng Construction Supervision and Consulting Co., Ltd. Chongqing 401520

Abstract： As an important part of national infrastructure construction, hydraulic and hydropower engineering has the characteristics of complex environment, high technical difficulty and great safety risks during the construction process. Based on the risk management theory, this paper systematically analyzes the types and causes of construction safety risks in hydraulic and hydropower engineering, discusses risk identification and assessment methods combined with practical cases, and constructs a comprehensive prevention and control system including organizational management, technical prevention and control, monitoring and early warning, and emergency response. By introducing information management technology and dynamic assessment mechanisms, it aims to improve the safety management level of projects and reduce the accident rate. The research results show that the systematic risk prevention and control system can effectively reduce safety hazards caused by human errors and environmental factors, providing theoretical and practical references for the construction safety of hydraulic and hydropower engineering.

Keywords： hydraulic and hydropower engineering; construction safety; risk prevention and control; system construction; information management

前言

水利水电工程是国家能源战略与水资源综合利用的核心工程，在防洪、发电、灌溉等领域发挥着不可替代的作用。然而，其施工过程涉及高边坡开挖、地下洞室掘进、大坝浇筑等高风险作业，且常面临复杂地质条件（如断层破碎带、岩溶发育区）、极端气候（暴雨、强风、冰冻）及多工种交叉作业的挑战。据《中国水利统计年鉴》数据显示，近五年水利工程施工安全事故中，高处坠落、坍塌、机械伤害占比超过60%，暴露出传统管理模式在风险防控中的局限性。

随着“双碳”目标推进与新型基础设施建设需求，水利水电工程规模持续扩大，施工技术复杂度不断提升。例如，白鹤滩水电站采用的百万千瓦水轮机组安装、乌东德水电站的混凝土双曲拱坝施工等，均对安全管理提出更高要求。在此背景下，传统“被动应对式”安全管理已难以满足工程需求，亟需构建科学、动态的风险防控体系，实现从“事后处理”向“事前预防”的转变。本文结合工程实践与风险管理理论，系统探讨水利水电工程施工安全风险防控的关键技术与实施路径^[1]。

一、水利水电工程施工安全风险特征与成因分析

(一) 风险类型识别

1. 自然环境风险

自然环境风险是水利水电工程施工的首要威胁。根据中国地质调查局数据,我国70%以上的大型水电站位于地震活跃带与地质灾害高发区。例如,某水电站因雨季强降雨引发山体滑坡,导致施工道路损毁、设备掩埋;另一工程因未充分勘察地下暗河,在洞室开挖时发生突水事故,造成重大经济损失。此外,极端天气(如台风、暴雪)还可能影响高空作业、起重吊装等关键工序的安全实施。

2. 技术操作风险

技术操作风险贯穿施工全流程。在爆破作业中,因药量计算失误或警戒范围不足引发的爆炸事故时有发生;高边坡开挖若未严格执行“自上而下、分层开挖”原则,易导致边坡失稳;地下洞室支护不及时或支护结构设计不合理,可能引发塌方。据统计,技术操作类事故占比达35%,是安全防控的核心环节^[2]。

3. 设备材料风险

施工设备与材料质量直接影响工程安全。大型起重机械(如塔式起重机、缆索起重机)若存在机械故障或安装缺陷,可能引发倾覆、坠落事故;混凝土强度不达标、钢材韧性不足等材料问题,会降低结构承载能力。某水电站因缆机钢丝绳断裂导致混凝土吊罐坠落,造成多人伤亡,凸显设备维护与材料检测的重要性。

4. 管理组织风险

管理漏洞是安全事故的深层诱因。部分项目存在安全责任划分不清、制度执行流于形式的问题,例如安全员未落实每日巡检制度,或风险应急预案缺乏实战演练。此外,人员培训不足导致的操作失误也较为普遍,某工程因新员工未掌握爆破器材使用规范,引发意外爆炸。

(二) 风险成因剖析

1. 人为因素

人的不安全行为是风险产生的直接原因。根据海因里希法则,每起严重事故背后平均存在300起违章行为。部分施工人员安全意识淡薄,存在冒险作业、违规操作现象;管理人员对风险评估不深入,过度追求施工进度而忽视安全措施落实^[3]。

2. 管理因素

安全管理体系不完善是核心矛盾。部分项目未建立动态风险评估机制,对新出现的风险(如设计变更后的潜在隐患)缺乏应对措施;安全投入不足,监测设备老化、防护设施缺失;此外,多方协作的工程模式下,参建单位间信息沟通不畅,导致风险防控出现盲区。

3. 环境因素

自然环境的不可控性加剧风险复杂性。地质勘察精度不足可能遗漏断层、溶洞等不良地质体;气象数据监测滞后导致极端天气预警失效^[4]。例如,某山区水电站因未及时获取暴雨预警,洪水冲毁临时围堰,造成重大经济损失。

二、水利水电工程施工安全风险防控体系构建

(一) 组织管理体系

1. 责任制度建设

构建“企业-项目部-班组”三级责任体系,明确项目经理为安全第一责任人,技术负责人、安全员、班组长分别承担技术指导、现场监督、操作执行职责。通过签订安全责任书,将风险防控目标分解至岗位,并建立“谁主管、谁负责”的考核机制,对失职人员实行一票否决制。

2. 安全教育培训

实施分层分类培训:管理层需掌握风险评估与应急决策方法;技术人员需熟悉施工规范与安全操作规程;作业人员需接受基础安全知识、设备操作及应急逃生技能培训。采用VR模拟、事故案例分析等互动式教学,提升培训效果^[5]。某工程通过开展“安全技能比武”活动,使作业人员违规率下降42%。

3. 绩效考核机制

将安全指标纳入项目绩效考核,设置安全达标奖、隐患整改奖等激励措施,同时对违规行为进行经济处罚。建立安全积分制度,对累计扣分达标的人员进行再培训或调岗处理,形成“奖励-约束”双向管理机制。

(二) 技术防控体系

1. BIM技术应用

利用BIM(建筑信息模型)技术进行施工全过程模拟,提前发现设计冲突与安全隐患。例如,通过模拟高边坡开挖过程,优化爆破方案与支护结构;对地下洞室群进行三维建模,规划合理的通风、排水及逃生通道,避免因空间布局不合理导致的安全事故。

2. 智能监测技术

部署物联网传感器对关键部位进行实时监测:在高边坡安装GNSS位移监测仪、测斜仪,动态跟踪土体变形;在混凝土坝体埋设应力应变传感器,监测浇筑温度与结构应力;利用无人机定期巡查施工区域,及时发现临边防护缺失、设备异常等问题。监测数据通过云平台自动分析,生成风险预警报告^[6]。

3. 标准化作业流程

针对高风险工序制定标准化操作手册。例如,深基坑开挖需遵循“分层分段、限时支撑”原则,每层开挖深度不超过2米,开挖后8小时内完成支护;爆破作业严格执行“一炮三检”(装药前、爆破前、爆破后检查)制度,确保警戒范围内无人员滞留。

(三) 监测预警体系

1. 风险动态评估模型

基于层次分析法(AHP)与模糊综合评价法,构建多指标风险评估模型。将自然环境、技术操作、设备材料等因素细分为20项子指标,结合专家打分与历史数据确定权重,定期对施工区域进行风险等级评估(分为Ⅰ级严重、Ⅱ级显著、Ⅲ级一般、Ⅳ级低风险)。

2. 预警平台

搭建“感知-分析-预警”一体化平台:当监测数据超过阈值时,系统自动通过短信、APP推送预警信息,并联动现场声光报警器;结合气象、地质部门的预报数据,利用机器学习算法预测风险发展趋势,为决策提供支持。某工程通过该平台成功预警

边坡局部滑移，避免了重大事故发生^[7]。

（四）应急处置体系

1. 应急预案编制

针对坍塌、触电、淹溺等典型事故，制定专项应急预案，明确应急响应流程、人员疏散路线、救援物资储备清单。例如，坍塌事故预案要求在10分钟内启动应急救援小组，30分钟内完成伤员转移；同时与周边医院、消防部门建立联动机制，确保救援力量快速抵达。

2. 实战化演练

每季度开展1次综合应急演练，模拟真实事故场景。某水电站通过模拟大坝漫顶溃坝演练，检验了人员疏散、物资抢险、信息通报等环节的协同效率，发现并改进了3项流程漏洞，提升了应急处置能力^[8]。

三、案例分析与实施效果

以某特大型水电站工程为典型案例，该项目总装机容量达1200万千瓦，是能源领域的重点建设项目。在施工高峰期，现场作业人员规模超5000人，施工组织与安全管理面临巨大挑战。同时，工程涉及高边坡开挖、复杂地下洞室群施工、混凝土双曲拱坝浇筑等多项技术难度高、安全风险大的作业内容，任何环节出现疏漏都可能引发严重事故。为保障工程安全、高效推进，项目团队引入系统化的安全防控体系，并结合工程特点实施多项针对性措施，取得显著成效。

（一）在组织管理层面，项目团队创新性地建立了“安全积分制”管理模式

该制度将安全行为量化为积分，对违规操作、忽视安全规程的人员采取扣除积分、停工培训等措施。通过定期组织停工培训，累计覆盖230人次，培训内容不仅包括安全法规、操作规程，还结合实际案例开展警示教育，强化作业人员的安全意识。此外，项目组设立安全奖惩机制，对安全积分高的个人与班组给予物质奖励和荣誉表彰，形成“人人讲安全、人人守规范”的良好氛围，从人员管理源头筑牢安全防线。

（二）技术防控方面，项目团队充分利用数字化手段提升安全管理水平

通过应用BIM（建筑信息模型）技术，对地下洞室群施工方案进行三维建模与动态模拟，提前发现设计冲突与施工隐患，优化施工工序，大幅减少因设计变更导致的安全风险。同时，在高边坡、大坝等关键部位部署500余个智能传感器，实时监测位

移、应力、渗流等数据，构建起覆盖全工程的动态监测网络。这些传感器与数据采集系统相连，实现24小时不间断监测，为安全风险研判提供科学依据。

（三）监测预警环节，项目团队自主开发智能预警平台，集成物联网、大数据分析技术，实现对监测数据的智能分析与风险分级预警

根据风险程度，平台可自动发出黄色、橙色等不同等级预警信号，并同步推送至管理人员与现场作业人员终端。工程建设期间，平台累计发出黄色预警12次、橙色预警3次，均因预警及时、处置得当，成功避免事故发生。例如，在某次橙色预警中，系统监测到高边坡局部位移突变，项目组立即启动应急预案，疏散附近作业人员并采取加固措施，有效化解了滑坡风险^[9]。

（四）应急处置能力建设上，项目团队制定完善的应急预案体系，并定期开展实战化演练

针对坍塌、火灾等高发事故场景，累计组织6次综合应急演练，涵盖应急响应启动、人员疏散、抢险救援、医疗救护等全流程。通过演练，不断优化应急流程，磨合各部门协作机制，使应急响应时间从平均30分钟大幅缩短至12分钟，显著提升事故处置效率与救援成功率。

（五）工程竣工后，安全数据直观展现了防控体系的卓越成效

轻伤事故率从初始的0.8%下降至0.28%，降幅达65%；施工全过程未发生任何重大安全事故，安全生产目标圆满达成。同时，通过减少事故损失、降低返工成本，项目直接经济损失减少约3200万元。此外，系统化的安全管理措施还提升了工程建设效率，保障了工期进度，为同类大型水电工程的安全管理提供了可复制、可推广的成功经验，验证了防控体系在复杂工程场景下的科学性与有效性^[10]。

四、结论

水利水电工程施工安全风险防控需构建“组织-技术-监测-应急”四位一体的系统化体系。通过强化责任落实、引入智能化管理手段、完善预警与应急机制，可显著提升工程安全管理效能。未来研究可进一步探索AI技术在风险预测中的应用，推动水利水电工程安全管理向智能化、精准化方向发展。在行业持续发展过程中，需持续完善防控体系，保障工程建设安全、高效推进。同时，建议加强跨区域、跨部门的数据共享，建立全国性水利工程安全风险数据库，为行业安全管理提供更科学的决策依据。

参考文献

[1] 覃维；王星. 新建管道施工对近距离既有隧道的影响及安全风险评估 [J]. 交通科技, 2020(02).
[2] 王永泉；黄亚钟；韦芳芳；张辰泽. 基于 BIM 和遗传算法的网架工程施工进度-费用优化研究 [J]. 施工技术, 2020(06).
[3] 谭尧升；陈文夫；郭增光；林思德；林鹏；周孟夏；李俊平. 水电工程边坡施工全过程信息模型研究与应用 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2020(07).
[4] 胡博；刘文渊；任彦华. 天津某软土地层施工缺陷支护桩的安全性评估及处理措施 [J]. 水利与建筑工程学报, 2020(02).
[5] 孟祥爱. BIM 技术在水利工程中的应用分析 [J]. 农业开发与装备, 2022(04).
[6] 鲜伟. BIM 技术在水利水电工程可视化仿真中的应用研究 [J]. 城市建筑, 2019(30).
[7] 闫晓虹. BIM 在水利水电工程施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2019(24).
[8] 段清道. 水利工程施工监理质量控制信息管理系统 [D]. DOAN THANH NGHI 黑龙江大学, 2013.
[9] 李自翔. 云南省水利水电工程有限公司发展战略研究 [J]. 云南大学, 2017.
[10] 张敬宏. 宁夏水利水电工程局发展战略研究 [J]. 宁夏大学, 2015.