

水利工程施工中的安全风险评估与控制研究

张伟 李轩

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘要：水利工程施工面临复杂安全风险，本文深入剖析风险特征，涵盖类型多样性、动态性及连锁性。构建安全风险评估体系，明确评估维度、方法与流程。制定针对性控制策略，包括预防性、过程性与应急控制。同时建立组织、技术、文化保障机制，形成系统化安全管控模式，为水利工程施工安全提供全面支撑，降低事故发生率，保障工程顺利推进与人员生命财产安全。

关键词：水利工程施工；安全风险；评估体系；控制策略；保障机制

引言：水利工程作为基础设施建设重要组成部分，对经济发展与社会稳定意义重大。然而，水利工程施工环境复杂，涉及地质、水文等多领域，且参建单位众多、工序繁杂，导致安全风险类型多样、动态变化且易引发连锁反应。传统安全管控模式难以应对这些挑战，建立科学合理的安全风险评估与控制体系成为保障施工安全的关键。研究水利工程施工安全风险评估与控制，有助于提升安全管理水平，降低事故风险，确保工程顺利实施。

1 水利工程施工安全风险特征分析

1.1 风险类型多样性

1.1.1 地质水文风险

水利工程多选址于地质条件复杂区域，施工过程面临多重地质水文挑战。岩溶发育地区易出现突发性塌陷，溶洞顶板在施工扰动下可能瞬间失稳，对作业人员及设备构成直接威胁。山区河道施工时，坡体稳定性受降雨、开挖等因素影响显著，滑坡风险随边坡高度增加呈指数级上升^[1]。超标准洪水事件虽属小概率事件，但水利工程本身多处于防洪前沿，极端气候条件下河道水位可能突破设计标准，对围堰、导流洞等临时设施造成毁灭性冲击。

1.1.2 技术质量风险

混凝土作为水利工程主体结构材料，其质量缺陷直接影响工程耐久性。大体积混凝土浇筑过程中，温控措施不当易引发贯穿性裂缝，降低结构整体承载能力。基础处理环节中，防渗墙施工质量控制不严可能导致接触渗漏，威胁大坝安全。施工设备长期处于高负荷运转状态，液压系统泄漏、电气元件老化等问题频发，关键设备故障将直接导致工序中断，甚至引发次生灾害。

1.1.3 管理协调风险

水利工程参建单位众多，设计、施工、监理等主体间信息传递存在时滞性。技术交底不彻底导致施工偏差，质量检验标准不统一引发返工争议。工序交接环节

缺乏有效确认机制，前道工序遗留问题可能被后续施工掩盖，形成隐性安全隐患。跨专业协调不足时，机电安装与土建施工空间冲突频发，影响整体进度。

1.1.4 环境生态风险

施工弃渣若未经规范处理，雨季冲刷易造成河道淤积，影响行洪能力。爆破作业产生的粉尘污染对周边植被产生不可逆损伤，破坏生态平衡。鱼类洄游通道被截断将改变区域水生生物群落结构，部分珍稀物种面临生存危机。

1.2 风险动态性

1.2.1 外部环境演变

水利工程施工周期通常跨越多个水文年，季节性气候差异显著。汛期河道流量激增考验导流方案适应性，冻土期地基承载力变化影响设备作业稳定性。设计变更作为常见现象，地质条件揭示差异或功能需求调整均会引发施工方案重构，原有风险评估体系需同步更新。

1.2.2 内部条件变迁

施工阶段转换带来风险特征质变。基础处理阶段地质风险突出，主体结构施工时技术质量风险上升，金属结构安装阶段高空作业风险加剧。工艺调整如从明挖改为洞挖，需重新评估围岩稳定及通风排烟问题。资源投入波动亦影响风险状态，关键线路资源集中可能引发非关键线路管理松懈。

1.3 风险连锁性

水利工程系统性强，局部风险触发常引发多米诺骨牌效应。基坑边坡失稳不仅造成支护结构破坏，飞溅的土石可能砸毁邻近设备，坍塌体堵塞排水系统引发积水倒灌，救援过程中二次坍塌风险持续存在^[2]。此类连锁反应将单一风险事件升级为系统性危机，显著扩大损失范围。

2 安全风险评估体系构建

2.1 评估维度与指标

2.1.1 人员维度

作业人员能力水平直接影响风险演化路径。操作技能涵盖设备操控熟练度与工艺执行精准度,经验欠缺者易因操作失当引发设备故障或结构损伤。安全意识体现为对规程的遵循意愿与风险预判能力,侥幸心理作祟时可能忽视警告信号。身体状况包括体力储备与健康状态,疲劳作业或突发疾病将降低应急反应速度,增加误操作概率。

2.1.2 设备维度

机械性能是设备安全运行的基础,动力系统稳定性、传动机构可靠性等指标需定期校验。防护装置完整性决定事故伤害程度,限位开关失效或防护罩缺失将扩大事故波及范围。维护状态反映设备健康管理水平,润滑不足、部件磨损等隐患若未及时消除,可能引发连锁故障。

2.1.3 环境维度

地质条件复杂性决定基础施工风险等级,软弱土层需强化支护措施,岩溶发育区需超前探测。气象变化具有突发性,暴雨可能引发边坡失稳,高温导致混凝土凝结异常。作业空间受限性影响操作安全性,深基坑内通风不畅易积聚有害气体,高空作业平台承载力不足存在坍塌风险。

2.1.4 管理维度

制度健全性体现为风险管控流程的标准化程度,交接班制度缺失可能导致隐患遗漏,验收规范不明确易引发质量争议。责任落实度通过权责清单清晰度衡量,岗位责任模糊将导致推诿现象。应急能力涵盖预案可操作性、物资储备充足性及演练实效性,应急响应迟缓将扩大事故损失。

2.2 评估方法选择

2.2.1 定性分析

专家调查法依托领域内资深从业者经验,通过多轮征询凝聚共识。工作流程图分析通过工序拆解识别风险传递路径,因果分析图从人、机、环、管四要素追溯事故根源。此类方法适用于风险初步筛选与机理剖析。

2.2.2 定量分析

风险矩阵法将发生概率与后果严重程度量化为数值坐标,通过二维矩阵定位风险等级。概率估算基于历史数据统计与现状分析,后果评估考虑人员伤亡、经济损失、工期延误等多维度影响。该方法为资源分配提供量化依据。

2.2.3 综合评估

层次分析法通过构建递阶结构模型,将复杂问题分解为多层次指标体系,通过两两比较确定权重。模糊综合评价引入隶属度概念,处理评估过程中的不确定性。

二者结合可兼顾主观经验与客观数据,提升评估结果科学性。

2.3 评估流程设计

2.3.1 风险识别

现场勘查聚焦作业面实际状况,记录地质异常、设备缺陷等直观隐患。资料查阅梳理设计文件、施工日志中的风险线索,挖掘隐蔽性风险源。头脑风暴组织跨专业团队集思广益,突破单一视角局限,形成全面风险清单。

2.3.2 风险分级

依据评估指标得分划定风险阈值,重大风险对应高概率-高后果组合,需立即停工整改;较大风险需专项方案管控;一般风险纳入日常检查范围;低风险保持持续监测。分级结果动态调整,随施工进度重新校准。

2.3.3 风险清单编制

清单内容包含风险编码、位置描述、类型归属、等级判定、触发因素及现有管控措施。采用电子化台账管理,实现风险信息实时更新与共享,为后续跟踪与闭环管理提供载体。

3 安全风险控制策略制定

3.1 预防性控制

工程技术措施是风险防控的物理屏障^[3]。设计阶段通过结构优化降低风险系数,例如调整坝体断面形式以增强抗滑稳定性,对软弱地基采用桩基复合结构提升承载能力。工艺创新可消除传统方法缺陷,碾压混凝土坝采用斜层铺筑法减少层间结合面,配合高效振捣设备提升密实度均匀性。安全防护设施配置需符合人机工程学原理,临边护栏高度不低于1.2米且设置双道横杆,防坠器额定载荷与作业人员体重匹配并定期检测性能衰减。管理措施构建风险防控的制度体系。安全生产责任制需明确各级管理人员职责边界,将风险管控成效纳入绩效考核指标。隐患排查治理制度建立"发现-评估-整改-验收"闭环流程,对重复出现的问题追溯管理责任。人员培训注重实效性,三级安全教育涵盖法规标准、岗位风险、应急技能等内容,专项技能培训针对特种作业人员开展实操考核。作业许可制度对高风险作业实施前置审查,高处作业审批需验证安全带、防坠器等防护装备有效性,起重吊装方案需经技术负责人审核确认吊装半径无障碍物。

3.2 过程性控制

现场监督采用"人机结合"模式,专职安全员对关键工序实施全过程旁站,记录混凝土浇筑温度、支护结构变形等关键参数。智能监控系统通过视频分析自动识别违规行为,如未佩戴安全帽、跨越警戒线等,实时推送预警信息至管理人员终端。动态监测技术实现风险可视化管控。物

联网传感器网络持续采集边坡位移、基坑沉降等数据,通过无线传输至云端平台进行趋势分析。智能化管理平台集成多源数据,运用机器学习算法预测风险发展路径,当监测值超过阈值时自动触发声光报警并推送处置建议。隐患治理遵循"五落实"原则,整改责任明确到具体岗位,治理措施兼顾技术可行性与经济合理性,完成时限根据风险等级设定,资金保障纳入项目预算,验收标准参照规范要求。重大隐患治理实行项目化管理,张贴警示标识并安排专人监护,治理期间调整施工方案规避风险区域。

3.3 应急控制

应急预案编制坚持"情景-任务-能力"对应原则,针对基坑坍塌、设备倾覆等典型场景绘制风险分布图,明确各应急小组处置任务,制定人员撤离路线图并设置明显标识。预案内容包含初期处置措施、专业救援力量调用程序、医疗救护点设置等要素,每半年开展桌面推演验证流程合理性。应急资源储备实行"分级配置"策略,项目部常备沙袋、抽水机等通用物资,企业层面储备大型救援设备如消防车、救生艇并建立调用机制。物资管理采用信息化手段,扫码登记入库信息,定期检查维护确保处于可用状态,临近保质期物资优先调配使用。应急演练注重实战化效果,模拟基坑涌水场景时设置真实水位上升速率,检验排水系统响应能力;大坝漫溢演练中组织人员按预定路线撤离,统计实际用时与预案要求偏差^[4]。与地方应急部门建立常态化联动机制,定期开展联合演练,熟悉彼此救援装备性能与指挥体系,确保事故状态下快速形成救援合力。

4 安全风险控制保障机制

4.1 组织保障

安全生产责任体系构建需突破传统层级管理局限,建立矩阵式管控网络。以项目经理为核心的安全生产领导小组实行"双组长"机制,除行政负责人统筹全局外,技术总工深度参与决策过程,从技术可行性层面为风险防控措施提供专业支撑,确保防控手段既符合操作规范又具备科学依据。领导小组下设专项工作组,覆盖工程技术、物资设备、应急救援等关键领域,通过跨部门协同机制打破信息壁垒,实现资源高效调配与风险联动处置。专职安全管理部门配置遵循"三定"原则,人员数量根据工程规模动态调整,大型项目按产值比例配备专职安全员,确保管理力量与风险等级相匹配。安全管理人员需接受持续专业培训,内容涵盖新颁布法规标准、新兴技术应用等前沿知识,通过定期更新知识体系强化风险识别与管控能力。

4.2 技术保障

数字化技术深度融入风险防控全流程。BIM技术实现三维模型与施工进度动态关联,通过碰撞检测提前发现管线交叉、结构冲突等设计缺陷,减少现场变更引发的安全风险。施工模拟模块对高风险工序进行虚拟推演,如深基坑开挖过程中调整开挖顺序、支护参数,优化施工方案以控制土体变形。大数据分析平台构建事故预测模型,整合行业事故数据库与本项目监测数据,运用机器学习算法识别风险演化规律,模型输入参数涵盖地质条件、气象因素、作业强度等关键指标,为预防性控制提供精准数据支撑。技术保障体系强调"产学研用"协同,与高校、科研机构建立联合实验室,针对复杂地质边坡稳定、大体积混凝土温控等难题开展专项攻关。

4.3 文化保障

安全文化建设注重"知-信-行"转化路径。视觉识别系统通过标准化设计传递安全理念,施工区域设置安全走廊以漫画形式解读操作规程,生活区布置文化墙展示家庭合影与安全承诺,激发情感共鸣。行为观察与反馈机制建立"安全积分卡"制度,对正确佩戴防护用品、主动报告隐患等行为给予积分奖励,积分可兑换生活用品或培训机会。创新开展"安全微课堂"活动,利用班前十分钟由班组成员轮流讲解安全要点,形成全员参与氛围^[5]。激励机制设计兼顾物质精神层面,设立"安全创新奖"奖励技术改进方案提出者,评选"安全标兵"授予荣誉证书,文化保障效果评估采用"三维测评法",通过知识测试、行为观察、事故统计量化文化渗透程度,评估结果与部门绩效考核挂钩推动持续改进。

结束语:水利工程施工安全风险评估与控制研究,构建了全面且系统的管控模式。通过深入剖析风险特征,为评估体系搭建提供基础;科学构建评估体系,精准识别与分级风险;制定针对性控制策略,有效预防、应对风险;建立多维度保障机制,确保控制措施落地。这一系列举措形成完整闭环,提升施工安全管理水平,保障工程安全推进,为水利工程建设高质量发展筑牢根基,推动行业持续稳定发展。

参考文献

- [1]李永昌.水利工程施工中的安全风险评估与控制措施研究[J].水上安全,2025(9):107-109.
- [2]潘经骐,张世安.水利工程施工中的安全风险评估与控制研究[J].水利技术监督,2024(7):98-101.
- [3]刘铭瑞.基于风险评估的水利工程施工水上安全管理策略研究[J].水上安全,2024(18):29-31.
- [4]傅良.水利工程施工中安全风险评估与控制策略分析[J].水上安全,2024(24):151-153.