

水利水电工程施工安全风险识别与智能化管控策略分析

楚琼¹, 郝亭亭²

1.河南元丰建设工程有限公司, 河南 安阳 455000

2.元武建设集团有限公司, 河南 安阳 455000

DOI:10.61369/ME.2024100002

摘要： 水利水电工程具有施工周期长、环境复杂、技术难度高等特点，安全风险管控是保障工程顺利推进的核心环节。本文分析了水利水电工程施工阶段的主要安全风险类型，结合智能化技术发展趋势，提出针对性的风险识别与管控策略。研究聚焦施工作业、设备运行、人员行为及环境因素四大风险维度，探讨如何通过智能化手段优化安全管理流程、提升风险预警能力、强化应急响应效率，为水利水电工程安全管理模式创新提供理论参考。

关键词： 水利水电工程；施工安全；风险识别；智能化管控；安全管理

Analysis of Construction Safety Risk Identification and Intelligent Management and Control Strategy of Water Conservancy and Hydropower Projects

Chu Qiong¹, Hao Tingting²

1.Henan Yuanfeng Construction Engineering Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

2.Yuanwu Construction Group Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

Abstract： Water conservancy and hydropower project has the characteristics of long construction period, complex environment and high technical difficulty. Safety risk management and control is the core link to ensure the smooth progress of the project. This paper analyzes the main types of safety risks in the construction stage of water conservancy and hydropower projects, and puts forward targeted risk identification and control strategies in combination with the development trend of intelligent technology. Focusing on the four risk dimensions of construction operation, equipment operation, personnel behavior and environmental factors, this paper discusses how to optimize the safety management process, improve the risk early warning ability and strengthen the emergency response efficiency by intelligent means, which provides theoretical reference for the innovation of safety management mode of water conservancy and hydropower projects.

Keywords： water conservancy and hydropower engineering; construction safety; risk identification; intelligent control; safety management

引言

水利水电工程是支撑国家能源安全与民生保障的重要基础设施，但其施工过程中面临地质条件复杂、作业环境恶劣、多工种交叉作业等挑战，安全风险隐患突出。传统安全管理模式依赖人工经验，存在响应滞后、覆盖面不足等问题。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展，智能化手段为施工安全风险管控提供了新思路。本文旨在分析水利水电工程施工安全风险的典型特征，结合智能化技术应用场景，提出系统性管控策略，以推动水利水电工程安全管理转型升级。

一、水利水电工程施工中的主要安全风险

（一）施工作业风险

水利水电工程施工涉及多工种、多环节的复杂作业流程，高

风险操作贯穿始终。爆破开挖作为基础性工序，面临岩体结构预判偏差带来的连锁反应。地质勘探数据与现场实际岩层裂隙发育程度存在差异时，装药量计算误差可能导致爆破能量释放失控，飞石超出设计警戒范围直接威胁周边临时工棚和施工人员^[1]。导流洞贯通

阶段，钻孔定位精度不足可能改变岩体应力分布，引发局部塌方或渗流路径异常。高空作业场景中，大坝闸门安装需依赖悬空作业平台，平台搭设未考虑风力载荷或未设置双重防坠装置时，人员失稳坠落风险陡增。深基坑开挖过程中，支护结构滞后于土方开挖进度会导致坑壁暴露时间过长，地下水位回升或降雨入渗可能引发流砂现象，造成基坑底部隆起或侧壁整体滑移。混凝土浇筑环节受作业面空间限制，泵管堵塞或模板胀模若未能及时处理，可能引发混凝土倾泻掩埋作业人员。交叉作业区域如引水隧洞与调压井衔接处，开挖支护与机电预埋管线同步施工时，机械臂回转半径内的人员误入可能造成挤压伤害。导流明渠截流阶段，抛投材料级配不满足抗冲刷要求或合龙时机选择不当，可能因水力冲刷导致截流戗堤溃决，危及上下游施工区安全。

（二）施工设备风险

施工设备的高强度运行与复杂工况适配性不足构成系统性风险。门座式起重机在吊装大型压力钢管时，回转机构制动器灵敏度下降可能导致吊物摆动幅度超出安全阈值，撞击相邻脚手架或临时配电设施。混凝土搅拌运输车在狭窄盘山道路行驶时，制动系统过热衰退或轮胎抓地力不足可能引发车辆侧翻，罐体滚落造成二次伤害。盾构机在穿越断层破碎带时，超前地质预报未能及时调整刀盘转速与推进压力，刀具异常磨损可能触发主轴承卡滞，导致设备停机与掌子面失稳^[2]。履带式挖掘机在边坡开挖作业中，重心偏移监测失效或液压系统渗漏可能造成设备滑移倾覆，连带破坏已完成的支护结构。临时发电机组在潮湿环境中长时间运行，绕组绝缘层老化加速可能引发电气短路，火花溅射至邻近油料存储区将升级为火灾事故。液压启闭机调试阶段，比例阀响应延迟与油缸同步性失调可能引发人机交互失控，闸门非预期启闭造成水流冲击破坏堰坝结构。设备日常维护缺失加剧隐性风险，例如钢丝绳断丝未及时更换可能在高负荷吊装时断裂，减速箱润滑油污染导致的齿轮异常磨损可能在满负荷运转时突发崩齿^[3]。特种设备操作资质管理漏洞同样致命，无证人员误触塔吊限位装置或错误设置混凝土泵车臂架展开角度，可能直接引发设备结构性损伤。

（三）施工人员风险

人员行为失范与安全意识薄弱构成施工安全的核心威胁。新入职工人未经系统培训即参与高危作业，对安全操作规程认知模糊，例如未正确系挂安全带进行高空临边作业、违规跨越警戒区域操作挖掘机。疲劳作业现象普遍，连续加班导致注意力分散，在操作振捣棒、手持电钻等振动工具时易发生误触开关或脱手滑落^[4]。团队协作失效加剧风险，信号工与吊车司机沟通不畅可能引发吊物碰撞，测量员与钻爆班组信息传递延迟则导致炮孔位置偏差。个体防护装备使用不规范进一步放大风险，如安全帽下颌带未系紧、防尘口罩滤芯更换不及时，降低了对坠落物与粉尘的防护效能^[5]。部分管理人员存在侥幸心理，为追赶工期默许简化安全流程，例如未完成边坡稳定性评估即组织下方作业，或将临时用电线路私接至非标准配电箱。

（四）施工环境风险

施工现场地理环境与气候条件的不可控性显著影响风险等

级。库区施工受库水位频繁升降影响，岸坡岩土体饱水软化可能诱发滑坡，淹没区围堰渗透压力突变加剧结构失稳风险。高山峡谷地带作业面临突发性山洪与泥石流威胁，临时排水系统设计容量不足时，积水倒灌可能冲毁施工便道与材料堆场。高原地区低氧环境导致人员生理机能下降，机械内燃机燃烧效率降低，设备出力不足与人员反应迟滞形成叠加风险。沿海地区盐雾腐蚀加速钢模板、脚手架扣件锈蚀，结构承载力隐性衰减可能引发坍塌事故^[6]。地下洞室施工中通风条件受限，柴油设备尾气积聚与岩石掘进产生的硅尘形成混合污染，长期暴露增加施工人员呼吸道疾病与中毒风险。季节性因素同样不可忽视，冬季低温导致混凝土养护不达标、液压设备油液黏度异常，夏季高温则可能引发沥青摊铺作业人员中暑或油罐车静电起火。

二、水利水电工程施工安全风险的智能化识别与管控策略

（一）健全智能化施工安全管理体系

构建基于数字孪生技术的全生命周期安全管理框架，实现风险要素的动态映射与预控。依托 BIM 平台集成地质勘测数据、施工进度计划与设备运行参数，建立三维可视化风险预警模型^[7]。在爆破作业前导入装药量与岩体力学参数，系统自动模拟能量释放范围并标识飞石警戒区，提前调整警戒方案。开发多源异构数据融合分析模块，将塔吊倾角传感器、深基坑监测仪、环境气象站等实时数据接入中央控制平台，设定支护结构变形阈值与风速预警红线，触发报警时自动暂停高危工序。建立标准化风险数据库，对历史事故案例进行特征提取与模式分类，形成风险知识图谱辅助决策。推行电子化安全交底制度，通过移动终端向作业班组推送定制化风险提示卡，结合当日施工任务标注重点防控区域。引入区块链技术实现安全检查记录不可篡改，质量安全责任人数字签名与工序验收信息永久存证，形成完整追溯链条。

（二）加强施工人员智能化安全培训

创建虚拟现实沉浸式培训系统，真实还原高危作业场景与突发事件情境。开发高空坠落模拟模块，受训者佩戴 VR 设备体验安全绳失效时的失重状态，强化防坠装置检查意识。设计机械伤害应急处置仿真程序，操作人员需在虚拟环境中快速识别装载机盲区、正确解除液压管路爆裂险情。搭建移动端微课学习平台，按工种推送标准化教学视频与三维动画教程，混凝土工可随时查看泵管堵塞排除技巧，电工学习智能配电柜漏电保护原理^[8]。引入行为识别技术评估培训效果，通过动作捕捉系统分析学员操作塔吊时的视线焦点分布与操纵杆控制轨迹，针对性纠正习惯性违章动作。实施动态能力画像管理，基于 UWB 定位数据统计人员进入危险区域的频次，结合电子答题系统测试安全规程掌握程度，生成个体安全信用评分并关联岗位权限。设立智能安全督导机器人，在施工现场自动识别未佩戴护目镜、违规穿越警戒线等行为，通过语音交互实时纠正违章。

（三）应用智能技术赋能设备风险预防

部署物联网传感网络实现设备健康状态全景监控。为起重机

械安装应力应变传感器与振动频谱仪，实时监测主梁挠度变化与齿轮箱异常振动，预测性提醒更换磨损钢丝绳。在混凝土泵车输送管关键节点设置压力变送器，当骨料卡滞引发压力陡升时，智能控制系统自动执行反泵操作并锁定故障管段。研发盾构机刀具磨损智能诊断系统，融合声发射信号与推进油缸压力曲线，动态调整刀盘转速避免岩体过度破碎^[9]。开发特种设备数字孪生模型，液压启闭机调试阶段同步运行虚拟仿真，比对实际油压与理论值偏差，提前发现密封件失效风险。推广设备二维码身份管理系统，扫码获取运行日志与维修记录，润滑保养周期到期自动触发工单推送。应用边缘计算技术实现本地化智能决策，当挖掘机重心偏移超过安全阈值时，车载控制器直接切断液压动力输出，避免依赖远程响应造成处置延迟。

（四）强化智能化安全监管与应急响应

建立空地一体化监测体系提升风险感知能力。无人机搭载热成像仪定期巡检边坡稳定性，通过地表温度异常变化识别潜在滑坡体。在隧洞施工段布设光纤光栅传感阵列，实时捕捉围岩变形与渗流压力突变，联动声光报警装置启动人员撤离程序。开发智能安全帽集成气体检测与定位功能，当作业人员进入缺氧环境或有毒气体超标区域时，自动激活应急呼吸装置并发送求救坐

标。构建多模态应急指挥平台，融合视频监控画面、人员定位信息与设备运行状态，事故发生时自动生成三维态势图并规划最优逃生路径。部署智能应急物资管理系统，利用 RFID 标签实时追踪救生筏、呼吸器库存位置，灾害预警触发后自动调度最近储备点物资^[10]。开展数字孪生驱动应急演练，模拟围堰溃决、洞室塌方等极端场景，优化应急预案响应流程与资源调配方案。建立智能语音调度中枢，在突发事件中自动呼叫预设救援单位，同步推送事故地点环境参数与伤员定位信息，缩短应急响应时间。

三、结语

综上所述，水利水电工程施工安全风险具有多源异构特征，需通过智能化技术实现风险要素的精准识别与动态管控。构建数字孪生平台优化管理架构、利用智能终端增强人员行为约束、依托传感网络提升设备监测效能，是现阶段风险防控体系升级的着力点。未来应深化技术工具与工程实践的适配性研究，突破多系统数据融合瓶颈，形成更具弹性的安全治理生态，为水利水电工程高质量发展提供可持续保障。

参考文献

[1] 张壮. 水利水电工程施工安全管理对策探讨 [J]. 散装水泥, 2024, (04): 138–140.
[2] 余荣幸. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2024, (S2): 277–279.
[3] 夏金阳. 关于水利水电工程施工安全控制的几点思考 [J]. 珠江水运, 2024, (08): 154–156.
[4] 康健, 刘玉成, 黄少争. 解析水利水电工程施工中的安全控制措施 [J]. 水上安全, 2024, (08): 155–157.
[5] 罗杰. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 家电维修, 2023, (12): 52–53+30.
[6] 王健. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(09): 305–308.
[7] 金凯, 王琛. 基于 BIM 技术的水利水电工程施工安全评估构建研究 [J]. 四川水泥, 2022, (07): 58–60.
[8] 胡芳. 水利水电建筑工程施工过程中安全管理问题及其对策研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (22): 126–128.
[9] 于强强. 做好水利水电项目建设施工安全管理分析 [J]. 长江技术经济, 2022, 6(S1): 122–124.
[10] 胡晓凤. 社会经济发展下水利水电工程施工安全管理与安全控制措施探究 [J]. 水上安全, 2023, (05): 161–163.