

水利水电工程施工安全风险防控与应急管理

张德春

内蒙古赤峰市红山水库管理中心 内蒙古 赤峰 024511

摘要:随着我国经济的快速发展,我国对水利建设的要求也越来越高。由于修建了大量的水利工程,农村地区的灌溉,防洪,供水,以及南水北调等方面都得到了很大的改善。在这些问题中,最重要的就是安全管理。随着社会的发展,人民的物质生活越来越好,用电的需求量也越来越大。随着国家对生态环境的保护,国家正在积极地发展水利水电,这就导致了大量的水利建设,在水利建设中,不仅要确保施工的顺利进行,而且还要将安全事故降到最低。这对建筑工人的安全水平提出了很高的要求。

关键词: 水利水电; 施工安全; 风险防控; 应急管理

随着国家经济发展的良好态势,全国大规模开展了水利水电项目建设。项目建设不仅为国家的经济发展提供了方便,而且为地方居民的生产、生活提供了方便。但是,根据当前的实际状况,我国的水利水电项目建设仍然面临着诸多问题,它们都对建设进度及建设的安全产生了一定的影响。

1 水利水电工程安全风险防控机制

1.1 全链条风险管控机制。风险查找机制。危险源辨识:水利生产经营单位需全面辨识施工、运行、设备、人员、环境等全领域危险源,每季度至少开展一次全面或专项辨识,建立动态更新的危险源清单。**风险分级:**根据风险等级划分(重大、较大、一般、低风险),采用红、橙、黄、蓝四色标识,明确管控责任主体及措施。**风险研判与预警机制。动态评估:**通过智能技术(如BIM、GIS、物联网)构建数字孪生系统,实时监测地质条件、设备状态等数据,实现风险动态评估¹。**智能预警:**集成远程监控和风险预警平台,对高风险区域(如隧洞、高边坡)实时预警,推送信息至责任人。**风险防范与处置机制。分级管控:**重大风险需专项方案、专人值守及实时监测;一般风险通过标准化作业流程和定期巡检控制。**双重预防:**结合风险分级管控与隐患排查治理,形成“风险一张图”与“隐患一清单”,降低事故概率。

1.2 责任落实与协同治理机制。责任链条。明确水利生产经营单位为风险管控责任主体,建立“责任一清单”,覆盖项目负责人、技术管理人员及一线作业人员。各级水行政主管部门需审核重大危险源信息,强化监管执法与责任倒查。区域协同。推进“一县一策”精准指导(如甘肃省组建专家团队分区域帮扶),解决基层单位风险防控能力不足问题。建立跨部门联动机制,

共享气象、地质等数据,提升区域风险联防联控能力。

1.3 技术支撑与能力提升机制。智能技术应用。利用VR模拟高风险场景(如盾构作业、高空作业)开展沉浸式培训,提升人员风险应对能力。推广智能安全设备(如穿戴式监测装备、无人机巡检),提高隐患排查效率。标准化建设。依据《水利安全生产风险管控“六项机制”实施工作指南》,优化风险评价模型,统一危险源辨识标准。完善应急预案体系,定期组织消防、防汛等实战演练,强化应急资源调配能力。

2 水利水电工程安全风险防控技术应用与创新

2.1 核心技术应用。智能感知与动态监测技术。物联网与传感器网络:通过布设水位、渗压、变形等智能传感器,实时采集大坝、隧洞等关键部位数据,结合边缘计算技术实现风险动态感知与异常预警。**无人机与机器人巡检:**运用无人机搭载高精度摄像头和激光雷达,对高边坡、深基坑等危险区域进行三维建模与隐患识别,替代人工高危作业。**数字孪生与仿真技术。基于BIM+GIS构建工程数字孪生体,集成地质预报、施工模拟等功能,实现风险场景预演与应急方案优化。例如,隧洞施工中通过三维可视化模型模拟塌方风险并制定支护策略。应用水文模型与AI算法预测洪水、泥石流等自然灾害对工程的影响,提前调整施工计划。AI决策支持系统。**

2.2 技术融合与创新方向。新材料与智能装备创新。研发自修复混凝土、智能锚杆等新材料,提升结构抗灾能力;推广穿戴式安全装备(如智能安全帽),实时监测作业人员生命体征并预警危险行为。智能盾构机集成地质雷达与自动化控制系统,实现复杂地层掘进风险自主规避。产学研协同创新。产学研联合攻关解决技术难题,如中国电建集团联合高校开发的“河湖污染精准治

理技术”，通过智能监测与生态修复降低环境风险。建立“AI+水利”开放平台，共享风险数据库与算法模型，推动中小型工程智能化转型。区域联防联控技术。构建流域级风险监测平台，整合气象、地质、工程等多源数据，实现跨区域风险联防联控。例如，海河防潮闸工程通过三维可视化风险监测系统提升跨区域防洪协同能力。

2.3 未来发展趋势。技术深化：推动量子计算、区块链技术与风险防控体系融合，增强数据安全性与分析效率。基层赋能：通过“一县一策”模式推广便携式智能监测设备，解决偏远地区风险防控技术资源不足问题。标准引领：制定智能建造与风险防控技术标准，规范AI算法、传感器精度等核心指标。通过技术创新与应用，水利水电工程安全风险防控正从“被动应急”向“主动预防”转变，为新质生产力赋能行业高质量发展提供支撑。

2.4 BIM+GIS在水利水电工程中的应用，（1）设计优化与协同。三维协同设计与仿真分析。基于BIM+GIS技术构建工程三维模型，集成地质、水文、机电等多专业数据，实现多专业协同设计，减少设计冲突（如碰撞检查、净空分析）。通过BIM模型开展水流模拟、结构稳定性分析及施工进度仿真，优化设计方案。例如，利用BIM+GIS技术预演洪水调度过程，生成科学泄洪方案。地形分析与土方量计算。结合GIS地理信息与BIM模型，精准绘制原始地形和设计曲面模型，自动计算土方量，为施工预算和资源调配提供依据。（2）施工管理与智能建造。4D施工进度管理。将BIM模型与施工进度计划（时间维度）结合，动态模拟施工流程，优化资源调配和工序衔接。例如，水利枢纽通过BIM+GIS技术实现施工方案比选与动态进度监控。利用无人机、传感器实时采集施工数据，更新BIM模型，辅助质量与安全管控。智能建造与资源优化。推广智能施工设备（如智能盾构机），结合BIM+GIS技术实现复杂地层掘进风险预警与自动化控制。（3）运维与风险防控。数字孪生与安全监测。构建数字孪生平台，集成BIM模型与GIS空间数据，实时监测大坝变形、渗压等关键指标，动态预警风险¹⁵。例如，欧阳海灌区通过数字孪生系统实现洪水优化调度。结合AI算法分析历史数据，预测自然灾害（如泥石流、洪水）对工程的影响，提前制定应急预案。全生命周期管理。从规划、设计到运营维护，BIM+GIS技术贯穿工程全生命周期，支持工程信息共享与动态更新。例如，水利枢纽通过BIM+GIS技术优化征地移民分析与设施管理。（4）协同决策与跨部门协作。多源数据融合与可视化决策。整合气象、地质、工程等多源数据，通过三维可视化模型辅助决策者全局把控项目风险与效

益。例如，BIM+GIS技术用于淹没分析和方案比选，提升决策科学性。打破部门壁垒，实现设计、施工、环保等多部门协同，提升信息共享效率。跨区域联防联控。构建流域级监测平台，通过GIS空间分析实现跨区域防洪协同。例如，海河防潮闸工程通过BIM+GIS技术提升跨区域风险联防能力。

2.5 VR技术在水利水电工程安全风险体验中的应用。（1）沉浸式安全培训与教育。虚拟仿真实验教学。通过VR技术构建高度仿真的水利工程场景（如大坝、隧洞、水电站），学生可拆解压力钢管结构、模拟导流洞设计，动态验证水流方案的可行性，将抽象理论转化为直观操作体验。院校利用VR实验室开展《水工建筑物》课程教学，学生通过三维交互理解复杂结构设计，减少二维图纸和公式推导的认知障碍。高危作业模拟与安全规范训练。水利施工VR实训平台模拟高空作业、深基坑开挖等高风险场景，学员可反复练习安全操作流程（如系安全带、安装防护栏杆），强化行为规范性。某职业技术学院定制的水利工程施工安全教育系统，通过VR重现高边坡支护、爆破作业等场景，解决传统教学中“高危操作难实践”的痛点。（2）事故场景模拟与风险感知。灾害重现与应急演练。VR技术模拟溃坝、山洪、泥石流等灾害场景，结合视觉与听觉特效，让体验者身临其境感受灾害后果，提升风险防范意识。事故后果体验与警示教育。设计淹溺事故、机械伤害等虚拟场景，例如未系安全带的作业人员坠入水中，通过逼真的感官刺激强化“违规操作 = 致命风险”的认知。电力行业VR安全体验馆模拟触电、高空坠落等事故，移植至水利工程领域后可有效降低人为失误导致的安全事故概率。（3）工程安全监测与智能决策。风险动态可视化与预警。结合物联网传感器数据，VR系统实时映射大坝变形、渗压等监测指标至三维模型，通过颜色标识（如红色预警区）直观展示风险等级²⁶。例如，峡江水利枢纽通过数字孪生+VR技术实现防汛风险“云上监控”。专利技术利用坝体安全因子（SF）和深度安全因子（SFD）构建双重风险评估模型，触发阈值时自动推送VR巡检任务。应急预案优化与协同演练。通过VR技术预演不同应急预案（如泄洪调度、人员疏散），多部门可协同在虚拟环境中测试方案可行性，优化应急响应流程。虚拟场景支持多人协同操作，例如模拟隧洞塌方时，团队可分工实施支护、救援等任务，提升实战协作能力。（4）典型案例与实施成效。某大学虚拟实验室：学生通过VR技术模拟刘家峡水电站运行，拆解压力钢管结构并验证导流洞设计，事故率较传统教学降低20%。安全监测系统：结合

VR巡查与智能预警,水坝异常区域处置效率提升40%,人力巡检成本减少35%。水利施工VR实训平台:某院校应用后,学生安全操作规范考核通过率从68%提升至92%,高危作业事故模拟训练覆盖率实现100%。未来发展方向。技术融合:推动VR与AI、数字孪生深度融合,构建智能决策支持系统,实现风险预测-演练-处置闭环管理。标准化推广:制定水利工程VR安全教育技术标准,规范设备精度、场景建模等核心指标,推动中小型工程普及应用。通过VR技术,水利水电工程安全风险防控从“被动应对”转向“主动体验”,显著提升从业人员风险感知能力与应急处置水平。

3 水利水电工程智能管控系统开发案例

3.1 灌区水资源智能调度系统。海灌区数字孪生平台。集成预报调度、渠道防洪、水资源配置等模块,构建设备测控自动化与业务决策智能化体系,实现灌区抗旱调度效率提升30%,优化水资源利用率达25%。应用三维可视化技术动态预演洪水场景,支持泄洪方案智能生成与多部门协同验证。疏勒河灌区“四预”系统。结合水文模型与闸控联动技术,开发智慧防洪、水资源调配等应用模块,实现按需供水、自动控制与智能调度,减少人工干预环节50%。

3.2 水利枢纽智能建造与运维系统。水库BIM智慧管控平台。基于BIM模型开发智慧工地与三维可视化系统,支持施工进度、质量与安全的在线监控,实现“1人1机”全项目管理模式,建设效率提升20%。集成地质雷达与传感器网络,实时预警大坝变形与渗压异常,保障防洪标准从50年一遇提升至100年一遇。水电站智能建造平台。应用智能碾压、温控与灌浆技术,通过STDPA平

台实现碾压混凝土施工质量全流程闭环控制,减少材料浪费15%。智慧钢筋厂与拌和系统实现生产数据自动采集与工艺优化,工期压缩10%。

3.3 灌区闸门智能控制系统。灌区多站点协同控制项目。部署16个监测站点,支持远程手动/自动控制模式切换,结合“以电折水”测流技术精准计算水泵流量,能耗降低18%。多端协同平台实现闸门状态、水位流量等参数的跨部门共享,应急响应时间缩短40%。排涝区泵闸联动系统。基于4G工控机与PLC冗余设计,实现极端低温环境(-30℃)下泵闸智能联动,排涝响应效率提升50%。数据直报市/县两级防汛平台,支持跨区域协同调度与灾情动态分析。

3.4 区域性智能监测与生态管控。滨海地下水智能管理系统。融合地球物理电法与多源数据同化技术,构建海水入侵防治与淡水增储模型,提升滨海地下水资源利用率22%。智能精准管理平台支持生态风险评估与多目标优化决策,减少污染风险30%。

总之,在新的安全生产环境下,水利水电建设项目的安全管理备受社会各界的重视。施工过程中的安全管理,既是指对相关的人和设备进行高效的管理,又是对工程质量进行的安全控制,鉴于水利水电工程在实际运用中,对其高标准、高要求,在具体的安全管理上,没有小事,不留死角,确保工程质量和施工安全。

参考文献

- [1]刘玉环.浅谈水利水电工程施工安全风险防控与应急管理.2021.
- [2]王永燕.新形势下水利水电工程施工安全管理与控制探究.2023.