

水利施工安全事故防控关键技术研究

冯 超

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘 要：水利施工环境复杂、风险因素多元，安全事故防控是保障工程顺利推进的核心要务。本文针对水利施工安全管理需求，先梳理事故主要类型及人-机-环-管四维度成因；再探讨全流程风险识别与动态评估技术；重点研究边坡工程、临时构筑物、极端环境下的防控技术，以及智能监控预警系统构建和应急处置救援技术。研究形成系统化防控技术体系，为提升水利施工安全管控水平、降低事故发生率提供技术支撑，对保障水利工程建设安全具有重要实践意义。

关键词：水利施工；安全事故；风险识别与评估；防控关键技术

引言：水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分，但其施工环节涉及复杂地质条件与多样自然环境，边坡失稳、临时构筑物失效等安全事故频发，严重威胁人员生命与财产安全。当前水利施工安全防控技术存在针对性不足、管控效率偏低等问题。在此背景下，开展水利施工安全事故防控关键技术研究，梳理事故成因，构建全链条防控技术体系，可有效弥补现有技术短板，提升安全管理的科学化与智能化水平。

1 水利施工安全事故类型与成因

1.1 水利施工安全事故主要类型

水利施工环境复杂、工序繁多，安全事故类型呈现多样性与关联性特征。常见事故类型主要包括：（1）边坡失稳类，如开挖边坡坍塌、滑坡等，多因地质条件复杂、支护不及时或施工扰动引发；（2）临时构筑物失效类，涵盖围堰渗漏溃决、脚手架与模板支撑体系坍塌、临时栈桥断裂等，与结构设计缺陷、荷载超标等因素相关；（3）机电设备类事故，如吊装设备倾覆、电气短路引发的触电或火灾等，多源于设备维护不当、操作不规范；（4）还包括基坑涌水、高处坠落、物体打击等常见类型，各类事故往往相互诱发，加剧灾害后果。

1.2 水利施工安全事故成因

事故成因可归纳为人、机、环、管四个核心维度。

（1）人员层面，主要是作业人员安全意识薄弱、专业技能不足，存在违规操作、冒险作业等行为，同时管理人员安全监管不到位，隐患排查不彻底。（2）设备层面，表现为施工设备老化失修、选型不合理、安全防护装置缺失，以及设备运维保养体系不完善，未能及时发现设备故障。（3）环境层面，水利工程多位于复杂地质区域，面临暴雨、台风、高温严寒等极端天气影响，地质灾害隐患与恶劣气候叠加，大幅提升事故风险。（4）管

理层面，核心问题是安全管理制度不健全、责任落实不到位，安全培训流于形式，应急预案缺乏针对性，风险管控机制未能有效贯穿施工全流程^[1]。

2 水利施工安全风险识别与评估技术

2.1 水利施工安全风险识别技术

水利施工风险识别要覆盖施工全生命周期，结合工程特性构建系统化识别体系，核心技术路径包括：（1）全流程风险排查技术，以施工工序为脉络，梳理从前期筹备、基础开挖到主体施工、收尾验收各阶段的潜在风险点，明确风险产生的作业环节与影响范围；（2）多维度风险因子识别方法，综合考量施工技术参数、场地地质条件、设备运行状态、人员作业行为等核心要素，建立风险因子分类框架，实现对各类风险源的精准定位；（3）信息化识别辅助技术，依托BIM技术构建三维施工模型，整合地质勘察、施工组织设计等数据，通过模型推演预判施工过程中的风险隐患，同时结合现场巡查记录系统，实现风险识别信息的实时录入与同步更新，提升识别效率与全面性。

2.2 水利施工安全风险动态评估技术

风险评估需兼顾科学性与时效性，构建适配水利施工动态变化特征的评估体系，关键技术包括：（1）分层级评估指标体系，结合水利工程规模、施工复杂度等因素，划分风险评估层级，选取影响风险等级的核心指标，明确各指标的权重与评估标准，形成标准化评估框架；（2）动态评估模型构建技术，基于模糊综合评价、层次分析等方法，结合实时监测数据构建动态评估模型，实现对风险等级的量化评估，同时针对施工过程中风险因子的变化，自动调整评估参数，保障评估结果的时效性；（3）评估结果输出与应用技术，通过数据可视化手段呈现评估结果，清晰标注高风险区域与关键管控

点,为施工安全决策提供数据支撑,同时建立评估结果与风险防控措施的联动机制,实现风险评估与管控的闭环管理,有效降低事故发生概率^[2]。

3 水利施工安全核心防控关键技术

3.1 水利施工边坡工程安全防控关键技术

水利施工边坡工程因地质条件复杂、施工扰动影响大,易发生坍塌、滑坡等安全事故,其防控关键技术路径包括:(1)边坡稳定性实时监测技术,采用无人机航测、边坡位移传感器、孔隙水压力计等设备,构建空地一体化监测网络,实现对边坡位移、沉降、应力及地下水动态等关键指标的实时采集,同时依托数据传输模块完成监测数据的远程同步,保障监测信息的时效性与连续性;(2)边坡失稳预警技术,基于监测数据构建阈值预警模型,明确不同等级预警对应的指标临界值,结合趋势预测算法预判边坡稳定性变化态势,通过声光报警、短信推送等多渠道及时传递预警信息,为应急处置预留充足时间;(3)边坡加固施工安全控制技术,针对不同地质条件采用针对性加固方案,核心技术包括锚杆锚索支护施工技术、喷射混凝土加固技术、格构梁防护技术等,施工过程中严格把控钻孔深度、注浆压力、材料强度等关键参数,同时实施加固效果动态监测,确保加固措施的有效性;(4)边坡施工过程管控技术,规范边坡开挖分层分段流程,控制开挖坡度与开挖速率,避免超挖、乱挖引发边坡扰动,开挖后及时进行临时支护,减少边坡暴露时间,降低自然环境对边坡稳定性的影响。

3.2 水利施工临时构筑物安全防控技术

临时构筑物是水利施工的重要支撑设施,其安全稳定直接影响施工全局,防控技术包括:(1)围堰工程安全防控技术,根据工程水文地质条件选取合理的围堰类型,重点应用防渗技术与抗冲技术,防渗方面采用土工膜铺设、黏土心墙防渗等工艺,确保围堰防渗性能达标,抗冲方面通过抛石护脚、钢筋石笼防护等措施提升围堰抗水流冲刷能力,同时加强围堰沉降、位移及渗漏量的实时监测,及时处置渗漏、管涌等隐患;(2)脚手架与模板支撑体系安全保障技术,采用标准化构件搭建,严格遵循搭设流程控制立杆间距、横杆步距及扫地杆设置,确保体系整体稳定性,核心技术包括满堂支架预压技术、节点加固技术等,同时建立搭设质量验收机制,对支架承载力进行验算,避免因荷载超标引发坍塌;(3)临时栈桥与吊装设备安全控制技术,临时栈桥施工重点把控基础承载力与桥面铺装质量,设置防撞护栏与防滑设施,保障通行安全,吊装设备需严格执行设

备选型、安装验收流程,应用起重量限制器、力矩限制器等安全保护装置,同时实施设备定期检修维护,确保设备运行状态良好;(4)临时构筑物拆除安全技术,制定科学的拆除方案,明确拆除顺序与安全防护措施,拆除过程中设置警戒区域,配备专人监护,避免拆除物料坠落、结构坍塌等安全风险^[3]。

3.3 水利施工极端环境下安全防控关键技术

水利施工多面临复杂多变的自然环境,极端环境易加剧施工安全风险,需针对性构建防控技术体系,核心技术包括:(1)高温与严寒环境施工安全防护技术,高温环境下采用遮阳降温设施、通风降暑设备,合理调整作业时间,配备防暑降温物资,同时加强作业人员健康监测,预防中暑事故;严寒环境下实施施工设备防冻保护,对水箱、管路等部位采取保温措施,选用耐低温材料与施工工艺,对混凝土浇筑构件进行保温养护,避免冻胀破坏,同时为作业人员配备防寒防护用品,保障作业安全;(2)暴雨与台风等灾害天气防控技术,建立灾害天气预警联动机制,及时获取气象预警信息,提前做好施工场地排水系统梳理,加固临时构筑物、施工围挡及起重设备等,必要时暂停室外作业,转移施工人员至安全区域;暴雨过后对施工场地、边坡、基础等部位进行全面排查,及时处置积水、坍塌等隐患,经安全验收后方可恢复施工;(3)复杂地质条件下施工安全保障技术,针对岩溶、滑坡、泥石流等不良地质区域,提前开展详细地质勘察,采用地质雷达探测、钻孔取样等技术明确地质隐患分布,施工中实施超前支护技术,如管棚支护、小导管注浆等,避免地质灾害引发安全事故;对于地下水丰富区域,采用降水井、轻型井点等降水技术控制地下水位,保障基础施工安全;(4)强风与雷电环境防护技术,在露天作业区域设置防风防护设施,对高处作业平台、脚手架等进行加固,避免大风引发人员坠落或结构坍塌;在雷雨多发区域配备防雷装置,对电气设备、金属构件等进行接地处理,作业人员避开高处作业与露天作业,预防雷击事故。

3.4 水利施工安全智能监控与预警系统构建

依托信息化、智能化技术构建监控与预警系统,是提升水利施工安全管控水平的关键,核心构建技术包括:(1)多源监测数据融合技术,整合视频监控、传感器监测、人员定位等多类监测数据,采用数据清洗、格式转换等技术实现不同来源数据的标准化处理,通过边缘计算节点完成数据实时汇聚与初步分析,降低数据传输压力,保障数据完整性与一致性;(2)智能感知终端部署技术,根据施工场地特点与风险管控需求,在高空

险区域、关键工序部位部署高清摄像头、红外传感器、位移传感器、人员定位终端等感知设备,实现对作业人员行为、设备运行状态、施工环境参数等的全方位感知,同时采用无线通信技术实现设备互联互通,提升监测覆盖范围;(3)基于AI的安全隐患智能识别技术,构建隐患识别算法模型,通过深度学习训练实现对违规操作、设备异常、环境风险等隐患的自动识别,如未佩戴安全帽、高空抛物、设备超负载运行等,大幅提升隐患识别效率与精准度,减少人工监控的局限性;(4)动态预警与信息推送技术,基于监测数据与隐患识别结果,构建多级预警机制,明确不同预警等级的响应流程,通过系统平台、移动终端、现场声光报警器等多渠道推送预警信息,确保相关人员及时接收并处置;(5)系统平台集成与运维技术,构建集数据采集、分析、展示、预警、管理于一体的智能监控平台,实现监测数据可视化展示、隐患台账管理、处置流程跟踪等功能,同时建立系统定期检修维护机制,保障系统硬件设备正常运行与软件功能稳定升级。

3.5 水利施工安全事故应急处置与救援技术

高效的应急处置与救援技术是降低事故损失的关键,要构建“预案-响应-救援-善后”全流程技术体系,核心技术包括:(1)应急预案优化与数字化技术,基于水利施工常见事故类型制定针对性应急预案,明确应急组织机构、职责分工、处置流程及救援措施,采用数字化手段构建应急预案管理平台,实现预案的动态更新、查询与演练管理,提升预案的针对性与可操作性;(2)应急物资智能化调配技术,建立应急物资数据库,对救援设备、防护用品、医疗物资等进行分类管理,采用物联网技术实现物资存储状态与位置的实时监控,构建智

能调配算法模型,根据事故类型、规模及地理位置快速规划物资调配路径,保障救援物资及时到位;(3)事故现场快速处置技术,针对不同事故类型采用专项处置技术,如坍塌事故的边坡卸载与临时支护技术、涌水事故的封堵与排水技术、触电事故的断电与急救技术等,同时配备应急抢险设备,提升现场处置效率;(4)人员搜救与医疗救护技术,采用无人机搜救、生命探测仪等设备提升被困人员定位效率,构建现场医疗救护点,配备专业医疗人员与急救设备,实施初步医疗救治与转运衔接,降低人员伤亡风险;(5)应急通信保障技术,构建多渠道应急通信网络,整合卫星通信、无线对讲、移动网络等通信方式,确保事故现场与指挥中心的通信畅通,实现救援指令的及时传达与现场情况的实时反馈^[4]。

结束语:本文围绕水利施工安全事故防控关键技术展开系统研究,明确了事故类型与成因,提出了风险识别评估、专项防控、智能监控及应急处置等系列技术。该技术体系覆盖施工全流程,为安全管控提供了全方位技术方案。未来要结合水利工程智能化发展趋势,进一步优化技术参数与系统功能,推动防控技术的集成化与国产化应用。

参考文献

- [1]王继臣,田文彬,杨文强.水利工程机电设备水下安装施工技术创新与风险防控[J].电脑采购,2024(52):66-68.
- [2]周磊,张威,孙中兴.水利水电工程施工安全事故分析与防范对策研究[J].水上安全,2025(8):109-111.
- [3]何志泓.水利工程施工中坍塌事故的防控措施与技术优化研究[J].治淮,2025(10):92-93.
- [4]刘志国,郭军德.水利施工安全事故防控关键技术研究[J].水上安全,2025(17):183-185.