

水利水电工程施工中的安全技术应用策略

刘 钊

河北省水务中心石津灌区事务中心 河北 石家庄 050000

摘 要：本论文聚焦水利水电工程施工安全难题，系统剖析其安全风险特征，提出运用BIM与GIS技术精准识别风险。构建包含结构安全保障、施工过程控制及应急救援的安全技术体系，通过边坡雷达监测、智能爆破监控等技术提升防护能力。同时完善安全管理体系，从制度建设、人员培训、安全投入等方面强化保障，并探索安全技术智能化创新方向。研究成果旨在为水利水电工程提供科学全面的施工安全策略，保障工程建设顺利推进与人员生命财产安全。

关键词：水利水电工程；施工安全；安全技术；风险识别；安全管理

引言：水利水电工程作为国家基础设施建设的“国之重器”，在防洪减灾、能源供应、民生保障等领域发挥着不可替代的作用。伴随“西电东送”“南水北调”等国家级战略工程的持续推进，其建设规模与技术难度呈指数级增长。但工程多扎根于高山峡谷、江河险滩，频发的洪水、滑坡等自然灾害，叠加深基坑开挖、爆破等高风险作业，致使安全事故隐患丛生。数据显示，近五年行业安全事故仍屡见不鲜，不仅造成重大生命财产损失，更严重掣肘工程进度。因此，系统探究安全技术应用策略，从风险识别到技术创新全链条发力，对筑牢工程安全防线、推动行业高质量发展意义深远。

1 水利水电工程施工安全风险特征与识别

1.1 工程环境复杂性

水利水电工程多建于高山峡谷、江河沿岸等复杂地形区域，地形地貌条件对施工安全影响显著。在高山峡谷地区，山体陡峭，岩石破碎，施工场地狭窄，大型机械设备的运输与安装困难，且容易发生山体滑坡、崩塌等地质灾害。例如，在西南某水电站建设过程中，因选址区域山体岩石风化严重，施工期间突发大规模滑坡，掩埋了部分施工设施，造成人员伤亡和重大经济损失。水文气象条件同样是重要的安全威胁因素。江河洪水具有突发性强、流量大的特点，若施工期遭遇洪水，可能冲毁围堰、淹没施工场地，中断施工进度，甚至威胁施工人员生命安全。此外暴雨、大风、雷电等极端天气，也会增加高空作业、起重吊装等施工环节的安全风险。如在东南沿海地区的水利工程施工中，台风季节的强风、暴雨常导致脚手架倒塌、塔吊倾覆等事故发生。

1.2 高风险作业类型

(1) 深基坑开挖是水利水电工程中常见的高风险作业。在大坝基础、水电站厂房等施工中，深基坑开挖深

度大，地质条件复杂，容易出现基坑边坡失稳、涌水涌砂等问题。一旦发生坍塌事故，将对施工人员和周边环境造成严重危害。高边坡支护作业面临着边坡岩体破碎、稳定性差等难题，在开挖和支护过程中，可能因支护结构失效引发滑坡，导致人员伤亡和设备损毁。(2) 大坝混凝土浇筑工程量大、施工周期长，在高温、低温等恶劣环境下，混凝土浇筑质量难以保证，容易出现裂缝等问题，影响大坝结构安全^[1]。同时高空作业频繁，施工人员面临高处坠落风险。爆破作业是水利水电工程开挖的重要手段，但爆破过程中存在飞石、冲击波、噪声等危害，若操作不当，还可能引发爆炸事故，对周边人员和设施造成严重威胁。

1.3 风险识别方法

为准确识别水利水电工程施工中的安全风险，可采用基于BIM（建筑信息模型）与GIS（地理信息系统）的施工场景模拟技术。BIM技术能够对工程施工过程进行三维建模和动态模拟，直观展示施工工艺和流程，提前发现潜在的安全隐患。GIS技术则可整合地形地貌、水文气象等地理信息数据，分析工程环境对施工安全的影响。结合专家经验与历史事故数据，建立风险评估模型，对施工过程中的风险因素进行量化分析，构建动态风险清单。例如，通过收集以往类似工程的事故案例，分析事故发生的原因和规律，将其纳入风险评估模型中，提高风险识别的准确性和可靠性。同时利用物联网传感器实时采集施工环境数据（如边坡位移、基坑变形、爆破振动等），结合风险清单进行实时风险预警，为施工安全管理提供科学依据。

2 安全技术体系构建与应用

2.1 结构安全保障技术

高边坡稳定性监测是保障水利水电工程施工安全的

关键环节。(1)边坡雷达监测技术能够实现对边坡表面位移的远程、实时监测,通过雷达波反射原理,精确测量边坡表面微小变形,监测精度可达毫米级。一旦监测到边坡位移超过预警值,系统将自动发出警报,以便及时采取加固措施。(2)光纤传感技术则可用于监测边坡内部应力应变变化,通过在边坡内部埋设光纤传感器,实时感知岩体内部的应力分布情况,为边坡稳定性分析提供数据支持。(3)在高边坡锚固加固方面,采用预应力锚索、锚杆等技术,增强边坡岩体的稳定性。预应力锚索通过对岩体施加预应力,将不稳定岩体与稳定岩体连接在一起,提高边坡的抗滑能力。锚杆则可深入岩体内部,增加岩体的摩擦力和粘结力,防止岩体坍塌。

(4)对于大坝防渗体系施工,帷幕灌浆技术是常用的防渗方法,通过向地层中注入水泥浆等防渗材料,形成连续的防渗帷幕,阻止地下水渗漏。混凝土防渗墙施工则需严格控制成槽质量、混凝土浇筑工艺等环节,确保防渗墙的防渗效果和结构强度。

2.2 施工过程安全控制技术

(1)爆破作业智能监控技术可有效提升爆破施工安全性。电子雷管具有延期精度高、可编码控制等优点,能够实现精准爆破,减少爆破振动和飞石危害。同时,在爆破区域周边布置振动监测设备,实时监测爆破振动强度,根据监测数据调整爆破参数,确保爆破作业对周边环境的影响控制在安全范围内。(2)高空作业防护方面,智能安全带配备了定位、报警等功能,当施工人员发生坠落时,安全带可自动触发报警装置,并通过定位系统实时反馈位置信息,便于救援人员快速施救^[2]。防坠落系统则在高空作业区域设置防护网、防护栏杆等设施,并采用智能监测技术,实时检测防护设施的完整性,一旦发现防护设施损坏,立即发出警报。(3)起重机械安全预警系统通过安装载荷监测、防碰撞等传感器,实时监测起重机的工作状态。当起重机超载、接近障碍物时,系统自动发出警报,并采取限制操作等措施,防止起重事故发生。

2.3 应急救援技术

(1)地下工程突水突泥是水利水电工程施工中的重大安全风险,快速封堵技术是应急救援的关键。采用先进的注浆材料和封堵工艺,如高水速凝材料、化学注浆材料等,能够在短时间内形成高强度的封堵结构,阻止水和泥砂涌出。(2)同时配备无人机、机器人等智能救援装备,在复杂、危险的救援环境中,无人机可进行高空侦察,快速获取现场情况,为救援决策提供依据;机器人则可进入危险区域,进行人员搜救和物资输送,提

高救援效率 and 安全性。(3)建立完善的应急救援预案体系,定期组织应急演练,提高施工人员的应急反应能力和自救互救技能。应急救援预案应明确应急组织机构、职责分工、应急响应程序、救援物资储备等内容,并根据工程实际情况及时更新和完善。

3 安全管理体系与保障机制

3.1 制度与标准建设

完善水利水电工程安全施工规范是保障施工安全的基础。相关部门应结合工程实际需求,制定涵盖施工工艺、安全技术、应急管理等方面的详细标准和规范,明确建设单位、设计单位、施工单位、监理单位等参建各方的安全责任。(1)建设单位作为工程建设的组织者,应确保安全资金投入,提供安全的施工环境;(2)设计单位应在设计文件中充分考虑施工安全因素,提出安全技术措施和建议;(3)施工单位作为施工安全的责任主体,应严格按照规范和标准组织施工,落实各项安全管理制度;(4)监理单位应加强对施工过程的安全监理,及时发现和纠正安全隐患。建立健全安全事故责任追究制度,对违反安全规定、导致安全事故发生的单位和个人,依法严肃追究责任,提高参建各方的安全责任意识,确保安全管理制度的有效执行。

3.2 人员培训与行为管理

(1)开展VR虚拟现实安全培训是提升施工人员安全意识和技能的有效方式。通过VR技术模拟真实的施工场景和安全事故,让施工人员身临其境感受安全事故的危害,增强其安全防范意识。(2)针对高危作业人员,如爆破工、架子工、起重工等,进行专项实操技能培训,确保其熟练掌握操作规程和安全技能。(3)建立工人安全行为积分制,将施工人员的安全行为与薪酬挂钩^[3]。对遵守安全规定、表现良好的工人给予积分奖励,积分可兑换奖金或其他福利;对违反安全规定的工人进行扣分处罚,当积分低于规定值时,进行停工培训或调岗处理。通过这种方式,引导施工人员自觉遵守安全规章制度,规范自身安全行为。

3.3 安全投入与资源配置

确保安全防护设施和应急物资的充足配备是保障施工安全的必要条件。(1)在施工现场,应按照标准设置脚手架、临边防护、安全通道等安全防护设施,并定期进行检查和维护,确保其性能良好。(2)同时配备足够的应急物资,如救生设备、医疗箱、灭火器等,并建立应急物资管理制度,定期对应急物资进行检查和更新,确保其在紧急情况下能够正常使用。(3)推广安全责任险,鼓励施工企业为施工人员购买安全责任险,分散企

业安全事故风险。安全责任险能够在事故发生后,为受伤人员提供及时的医疗救治和经济赔偿,减轻企业的经济负担,保障施工人员的合法权益。

4 安全技术创新与智能化发展

4.1 数字化安全管控平台

集成物联网、大数据技术的数字化安全管控平台,能够实现对水利水电工程施工安全的实时监测与风险预警。通过在施工现场布置各类传感器(如位移传感器、压力传感器、温度传感器等),实时采集施工设备运行状态、施工环境参数、人员安全行为等数据,并将数据传输至管控平台。平台利用大数据分析技术,对采集的数据进行深度挖掘和分析,建立风险预测模型,提前预测安全风险。例如,通过分析塔吊的运行数据,预测塔吊可能出现的故障或安全隐患,并及时发出预警信息。同时平台还可实现安全管理流程的数字化,如安全检查、隐患整改、安全培训等工作均可在平台上完成,提高安全管理效率和信息化水平。

4.2 智能装备应用

研发和应用自动化施工设备是减少人工高危作业、提升施工安全的重要方向。智能浇筑机器人能够实现混凝土的自动浇筑、振捣和抹面,提高混凝土浇筑质量和效率,同时避免施工人员在高温、高空等恶劣环境下作业。边坡巡检无人机可定期对高边坡进行巡查,通过搭载的高清摄像头和传感器,实时监测边坡表面裂缝、位移等情况,并将数据传输至监控中心,实现边坡安全的智能化监测^[4]。此外智能焊接机器人、自动化模板安装设备等也逐渐应用于水利水电工程施工中,这些智能装备能够精准执行施工任务,减少人为因素导致的安全事故,提高施工安全水平和工程质量。

4.3 绿色安全施工技术

推广生态护坡、低噪声爆破等环保型安全技术,是实现水利水电工程绿色安全施工的重要举措。生态护坡

技术采用植物与工程措施相结合的方式,在保证边坡稳定性的同时,恢复生态环境,减少水土流失。例如,采用植被混凝土护坡、三维网植草护坡等技术,既能加固边坡,又能美化环境。低噪声爆破技术通过优化爆破参数、采用新型爆破器材等方式,降低爆破噪声和振动,减少对周边居民和生态环境的干扰。同时,在施工过程中,采用节能设备、绿色建材,加强施工扬尘、废水等污染治理,实现施工安全与环境保护的协调发展。

结语

水利水电工程施工安全技术应用策略的研究与实施,是保障工程顺利建设、维护人民生命财产安全的关键。本文通过系统分析水利水电工程施工安全风险特征,构建了全面的安全技术体系,提出了完善的安全管理体系与保障机制,并探讨了安全技术创新与智能化发展方向。在实际工程中,应将风险识别、安全技术应用、安全管理等措施有机结合,形成全方位、全过程的施工安全管理模式。同时,随着科技的不断进步,持续推动安全技术创新,加强数字化、智能化技术在水利水电工程施工安全中的应用,提高安全管理的科学性和有效性。只有这样,才能有效降低施工安全风险,减少安全事故发生,确保水利水电工程建设安全、高效、绿色发展,为国家基础设施建设和经济社会发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]陈生水,钟启明,王媛.水利工程施工安全风险管理与实践[J].水利学报,2022,53(11):1485-1496.
- [2]李术才,张庆松,王琦.水利水电工程地下洞室群施工安全控制技术[J].岩石力学与工程学报,2021,40(9):1721-1732.
- [3]王仁坤,周钟,李建林.高边坡水利工程施工安全监测与预警技术研究[J].水力发电,2020,46(7):45-49.
- [4]巩河贤.水利工程施工中的安全管理与质量控制探讨[J].河北农机,2021(1):132-133.