

水利工程施工过程中的技术创新与 施工安全风险研究

胡江武, 傅俊波, 章春雷

(浙江东洲建设咨询有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要 水利工程施工具有施工环境复杂、安全风险高度集中的典型特征。本文立足于水利工程施工的理论框架与工程属性, 梳理复杂地质与水文条件、高风险施工环节, 以及施工组织与人员行为可能诱发的安全隐患, 并从技术创新视角进一步讨论 BIM 施工模拟、智能感知监测及新型施工工艺与高性能工程材料在施工过程中的作用机理。结果表明, 通过技术创新与安全风险管理的协同推进, 结合风险分级管控、动态监测预警与人员培训管理, 可显著强化水利工程施工安全风险防控能力, 为水利工程施工安全管理提供参考。

关键词 水利工程; 施工安全; 技术创新; BIM 技术

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.035

0 引言

随着水利工程建设规模的持续扩展以及施工环境的复杂化演进, 传统施工管理模式在安全风险防控方面逐渐显露出适应性不足的问题。在此背景下, 如何在保障施工效率的同时更有效地控制安全风险, 已成为水利工程建设领域较多关注的现实议题。依托引入现代施工技术与信息化管理手段, 将技术创新与安全风险逻辑有机融合, 不仅有助于提升施工过程的可控性与透明程度, 也对推动水利工程施工管理模式的转型升级具有重要意义。

1 水利工程施工的理论特点

水利工程施工以水力学、岩土工程、结构工程及工程安全管理理论为主要支撑, 这些理论共同揭示了施工过程系统性强、受自然条件影响显著以及风险可控要求较高的基本特征, 其中水力学理论为施工期导流与水流控制提供依据; 岩土工程理论为基坑开挖、边坡处理与基础加固提供支撑; 结构工程理论对施工阶段结构受力与稳定控制具有指导作用; 工程安全管理理论则强调通过系统识别与控制施工风险, 使安全管理环节前置展开, 这些理论共同构成水利工程施工的理论基础框架。

水利工程项目大都沿着江、河、湖等自然水体修建, 其建设位置大多偏僻险要, 并且很容易受到建设区域气象、水文、地理地质因素的影响。加之我国水利资源分布不均, 很多大型水利工程需要跨省、市, 跨流域,

服务的对象也复杂繁多, 导致很多水利工程建设协调部门多、周期长、施工难度大。水利工程项目从设计到施工的过程中受自然地理环境因素和社会法律因素的影响最为明显, 因此在施工全过程中需注重技术措施与安全管理的协同推进。

2 水利工程施工中存在的安全风险

2.1 复杂地质与水文条件带来的不确定性

水利工程往往建设于河道及地质条件复杂区域, 施工阶段易受地层结构差异、地下水位波动以及河道来水不稳定等因素干扰, 从而诱发基坑渗流、边坡失稳及地基承载力不足等安全风险。在深基坑开挖与围堰施工过程中, 若对地质勘察成果掌握不充分或水文变化预测存在偏差, 极易引发管涌、突涌水与局部坍塌等事故, 对施工安全形成直接威胁, 增加应急处置的复杂程度。

2.2 高风险施工环节中的事故隐患问题

水利工程施工过程涵盖多类高风险作业环节, 例如大体积混凝土浇筑、高边坡施工、水下作业及大型起重设备运行等, 这些工序对施工技术参数控制水平要求较高, 一旦温控措施、支护结构或工序衔接出现缺口, 往往容易触发结构开裂、边坡滑移或设备倾覆等事故。此外在导流与截流施工阶段, 水流控制若发生失误, 可能造成施工区域被淹没, 增加人员伤亡与设备损坏风险^[1]。

作者简介: 胡江武 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程。

2.3 施工组织与人员行为引发的安全隐患

施工组织安排不合理与人员操作不规范, 同样构成水利工程施工中不可忽视的风险来源, 在多工序交叉作业条件之下, 若施工进度统筹缺乏科学性或现场管理协调力度不足, 容易出现作业面冲突与安全防护缺失等问题, 同时部分施工人员安全意识薄弱, 对新技术、新设备操作掌握不充分, 违规操作与疲劳作业现象仍然存在, 使事故发生概率进一步上升。

3 水利工程施工过程中的技术创新

3.1 基于BIM的施工模拟与方案优化

在水利工程施工推进背景下, 凭借BIM技术开展的三维建模与施工模拟, 逐步演化为施工方案比选与调整中的关键支撑路径, 借助覆盖地形地貌、水工建筑物、施工设备及临时工程的多维模型构建过程, 导流方案、围堰布置以及施工工序得以被纳入同一分析框架中展开动态推演。在施工准备阶段, 结合BIM开展施工时序模拟, 关键工序持续时间往往倾向于被精细化管理。例如: 将混凝土分层浇筑周期限定于10~12 h区间内, 以降低温差应力集中带来的结构风险, 同时模型联动地质与水文参数后, 不同施工方案下的结构受力特征与稳定状态得以横向对照分析, 从而为方案调整与取舍提供更具针对性的技术参考。国内某中型水利工程实施过程中, 工程内容涵盖围堰施工与大体积混凝土浇筑, 施工环节交叉复杂, 项目团队在施工准备及实施阶段引入BIM施工模拟技术, 对导流方案、施工时序及资源配置展开整体统筹, 并贯穿全过程应用实践, 现场调整频次明显下降, 施工组织效率与安全管理水平同步增强, 相关技术指标对比结果见表1。

3.2 智能感知与实时监测相结合的安全预警

智能感知技术的应用, 为水利工程施工安全风险动态识别与预警机制构建了稳定技术基础, 在深基坑、高边坡以及围堰结构中布设位移、应力与渗压传感器后, 关键部位运行状态能够实现连续化监测, 举例来说位移监测精度通常维持在0.5 mm/s以内, 应力

与温度监测误差控制于 ± 0.3 °C区间内, 为结构安全评估形成可靠数据来源, 在数据传输层面, 采用LoRa等低功耗通信方式, 15~20 km范围内的稳定传输得以保障, 从而适配偏远施工区域的监测条件^[2]。在系统运行过程中, 监测数据按照既定阈值进行分级处理, 当指标呈现异常波动趋势时, 预警信息可经由移动终端推送至管理人员端口, 为现场处置决策提供即时参考, 在恶劣天气或夜间施工条件之际, 系统仍可保持在-20~50 °C环境区间内稳定运行, 施工安全管理的实时性与可靠性由此得到进一步强化。

3.3 新型施工工艺与高性能工程材料创新

在水利工程施工实践背景下, 新型施工工艺与高性能工程材料的引入, 对施工质量控制与安全保障体系形成了明显支撑, 以大体积混凝土施工为例, 通过对配合比进行系统调整并引入低水化热材料, 混凝土内部温差得以被限制在合理区间内, 裂缝产生的潜在风险随之降低, 同时配合温控管与循环冷却工艺运行, 混凝土养护温度通常维持在0~7 °C范围内, 结构性稳定性因此得到保障, 在围堰及地下结构施工中, 新型防渗材料的应用使渗透系数控制在 10^{-7} cm/s量级, 防渗能力显著增强。此外高性能工程材料在耐久性与环境适应性方面表现突出, 即便处于-40~120 °C工况条件下, 力学性能仍可保持稳定, 从而削弱材料老化对施工安全的不利影响^[3]。

4 水利工程施工安全风险管控策略

4.1 建立安全风险分级管控机制, 实现精准防控

在水利工程施工安全管理体系中, 依托量化指标构建风险分级管控机制, 往往被视为精准防控的重要技术路径, 该机制通常遵循“风险源识别—指标量化评估—等级划分—分级管控”的逻辑链条展开, 以施工工序为基本单元, 对基坑开挖、围堰施工、高边坡作业及大型设备运行等环节展开风险源识别; 随后结合结构稳定系数、允许位移值与安全系数等指标, 对风险状态进行量化评估, 例如将基坑水平位移限定在设

表1 基于BIM施工模拟与方案优化前后技术指标对比

对比指标	BIM应用前	BIM应用后
混凝土分层浇筑周期	14~18 h	10~12 h
关键工序衔接等待时间	6~8 h	2~3 h
施工方案现场调整次数	每月3~4次	每月1次以内
高峰期施工设备投入数量	波动较大, 协调难度高	数量稳定, 调度明确
作业空间冲突情况	局部频繁发生	基本消除
施工进度偏差控制	偏差较大	控制在计划范围内
结构受力校核效率	依赖人工复核	模型自动校核

计允许区间内,并将边坡变形速率控制在 0.5 mm/s 以内^[4]。依据评估结果对风险等级加以划分,并针对高等级风险配置更为严格的技术控制措施,比如将巡检频率提高至每 4~6 小时一次、缩短监测数据更新周期等,通过明确不同风险等级所对应的技术指标与响应路径,施工安全风险得以实现分层管控与精准干预。

在某国内大型水利工程施工过程中,施工区域地质条件复杂且高风险作业相对集中,传统统一管理模式下难以适配现场安全需求,项目在施工初期引入风险分级管控机制,对基坑开挖、围堰施工及高空作业等关键环节开展系统性风险识别,并依据风险等级制定分层管理方案。实施阶段由专职安全管理人员牵头,组织技术、施工与监测部门协同推进,逐步形成动态更新的风险清单,随着机制持续运行,现场安全管控重点更加清晰,高风险作业得到有效约束,施工过程中突发安全事件明显减少,整体施工安全水准随之增强。

4.2 完善施工安全监测体系,提升动态预警能力

施工安全监测体系的完善,往往构成水利工程施工风险动态预警能力强化的重要技术支点,该体系多依照“监测对象确定—传感器布设—数据采集与传输—阈值设定—预警响应”的逻辑链条加以构建。在施工现场,围绕基坑位移、边坡稳定状态、围堰渗流情况及结构应力分布等关键指标布设监测设备,对位移变化、应力波动以及水位起伏展开连续采集,位移监测精度通常控制在毫米级范围内,应力与温度监测误差维持在 ± 0.3 °C 区间,并借助无线传输方式实现 10~20 km 范围内的数据稳定回传,当监测参数接近预设安全阈值或呈现异常变化趋势时,系统会及时触发预警信息,为施工调整、技术加固或临时停工决策提供可靠参考^[5]。

在国内某水利工程施工实施阶段,项目施工区域分布零散,现场监管难度相对较高,为增强安全管理成效,施工单位构建以现场监测为核心的安全预警体系,对重点结构与高风险作业区域实施连续监测。在运行过程中,监测数据统一接入管理平台,由专人负责预警信息分析与处置,并将结果反馈至施工一线,随着体系持续运行,现场管理人员能够及时掌握关键部位运行状态,提前采取调整措施,风险扩散趋势得以有效抑制,施工过程的连续性与安全性因此获得保障。

4.3 加强人员安全培训管理,降低人为事故发生率

在水利工程施工安全风险控制实践中,人员安全培训管理通常需要依托明确的技术参数与操作指标展开,该管理过程一般涵盖岗位风险分析、技术指标明确、

培训实施以及考核反馈等多个环节,基于施工技术方案,对不同岗位所涉及的关键操作参数与安全控制指标加以明确,例如设备运行电流区间、允许作业风速或适宜温度条件等;随后围绕设备操作流程、关键工序控制点及应急处置要求开展针对性培训,使作业人员清楚理解技术边界与安全限值。借助设置操作考核标准与现场抽查机制,作业人员对技术指标的掌握程度得以验证,并随着施工阶段变化及时更新培训内容,从而削弱因操作失当或技术认知不足引发安全事故的发生概率^[6]。

国内某水利工程施工引入新设备与新工艺后,原有人员技能结构难以完全匹配施工实际需求,项目在施工前期组织开展分岗位安全培训,对关键工序操作流程进行系统讲解,并在施工推进过程中结合现场实际持续开展针对性培训,培训实施由项目管理层统一统筹,施工班组具体落实,并借助现场示范与交流反馈不断调整培训内容。经由上述管理措施,作业人员对施工风险的认知明显增强,违规操作行为得到有效控制,人为因素诱发的安全事故显著减少。

5 结束语

水利工程施工安全水平的提升依托于技术创新与风险管理体系的协同推进,未来伴随水利工程建设环境持续复杂化,施工安全管理将更加侧重信息化、智能化与精细化的发展取向,一方面新一代信息技术、智能感知与数据分析手段的深度融合,有助于施工风险的动态识别与主动防控;另一方面施工管理模式逐步由经验驱动转向数据支撑,安全管理决策因而更趋科学高效。依托持续深化技术创新成果在工程实践中的落地应用,可为水利工程高质量、安全、可持续建设提供稳固支撑。

参考文献:

- [1] 李翔晖,周坤峰.水利工程施工中土石方开挖技术与安全措施研究[J].水上安全,2025(12):184-186.
- [2] 汤磊,徐晖.基于信息化技术的水利工程施工质量安全管理方法[J].大众标准化,2025(03):170-172.
- [3] 李娟.水利工程堤防防渗施工技术及管理研究[J].水上安全,2024(16):148-150.
- [4] 黄雨娟.水利工程施工技术优化与质量管理体系的构建及实践研究[J].水上安全,2025(10):85-87.
- [5] 姜燕,刘玉兰.水利工程施工中堤防及护岸工程施工技术研究[J].水上安全,2025(06):97-99.
- [6] 王永亮.水利工程施工技术措施与水利工程施工技术管理[J].水上安全,2025(02):22-24.