

水利工程安全生产监理风险动态识别与闭环防控体系构建

翟元奎

河南省河川工程监理有限公司 河南 郑州 450000

摘要:随着我国水利工程建设规模持续扩大、工程类型日益复杂、施工环境日趋多样,安全生产形势依然严峻。作为保障工程安全的重要制度安排,监理单位在安全生产管理中承担着关键职责。然而,传统监理模式在风险识别上存在滞后性、静态化和碎片化等问题,难以有效应对动态变化的施工风险。本文基于系统工程理论与风险管理理念,深入剖析当前水利工程安全生产监理中存在的主要风险类型及其成因,提出构建“风险动态识别—智能评估—精准预警—闭环处置—持续优化”的全链条闭环防控体系。该体系融合BIM、物联网(IoT)、大数据分析等数字技术,强化全过程、全要素、全参与方的风险协同治理能力,旨在提升监理工作的前瞻性、科学性与实效性,为水利工程高质量、安全发展提供坚实支撑。

关键词:水利工程;安全生产;工程监理;风险动态识别;闭环防控

引言

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分,关乎国计民生、生态安全与区域发展。近年来,随着南水北调、重大水源工程、防洪减灾体系等大型项目的持续推进,水利工程施工强度高、周期长、交叉作业多、地质条件复杂等特点日益凸显,安全生产风险显著增加。在《建设工程安全生产管理条例》《水利工程建设安全生产管理规定》等法规框架下,工程监理单位被赋予“三控两管一协调一履行”的法定职责,其中“履行安全生产管理的监理职责”是核心内容之一。然而,在实际操作中,监理工作常陷入“被动响应、事后纠偏”的困境,对风险的识别多依赖人工巡检与经验判断,缺乏系统性、前瞻性和动态适应性。因此,亟需构建一套能够实时感知、智能研判、快速响应并持续优化的安全生产监理风险防控体系。

1 水利工程安全生产监理风险特征与成因分析

1.1 风险的主要类型

水利工程安全生产监理面临的风险具有多维性、耦合性与隐蔽性,可归纳为以下几类:(1)人员行为风险:包括施工人员违规操作、特种作业无证上岗、安全防护缺失、疲劳作业等。此类风险占比高、突发性强,是事故的直接诱因。(2)设备设施风险:如起重机械、脚手架、模板支撑系统、临时用电设备等存在设计缺陷、维护不足或超负荷运行,易引发坍塌、触电、机械伤害等事故。(3)环境地质风险:深基坑开挖、高边坡支护、隧洞掘进等作业受地下水、岩体稳定性、气象突变(如暴雨、雷电)影响大,风险具有高度不确定性^[1]。(4)管理流程风险:安全交底流于形式、隐患整改闭环不严、应急预

案演练不足、分包管理混乱等,反映管理体系存在漏洞。

(5) 监理履职风险:监理人员专业能力不足、责任心不强、旁站不到位、对重大危险源监控不力,甚至存在“以包代管”现象,导致监理失效。

1.2 风险成因剖析

上述风险的产生,既有客观因素,也有主观原因:

(1) 工程复杂性加剧:现代水利工程多为综合性枢纽,涉及土建、机电、金属结构等多专业交叉,协调难度大,风险叠加效应明显。(2) 参建方责任边界模糊:建设、施工、监理三方权责不清,尤其在EPC、PPP等新型模式下,监理定位易被弱化。(3) 技术手段滞后:传统监理依赖纸质台账、人工巡查,信息传递慢、数据孤岛严重,难以实现风险的实时追踪与趋势预测。(4) 人员素质参差不齐:部分监理人员缺乏水利专业背景或安全工程知识,对高风险作业辨识能力不足。(5) 动态响应机制缺失:现有风险管控多为“检查—整改”单向流程,缺乏对整改效果的验证与反馈,未形成管理闭环。

2 动态风险识别机制构建

2.1 多源异构数据融合

要实现风险的动态识别,必须打破传统依赖人工经验的局限,构建覆盖“人、机、料、法、环、管”六大要素的全方位数据感知网络。这一网络应以智能化终端为基础,通过部署可穿戴设备如智能安全帽和UWB高精度定位标签,结合AI视频分析技术,对施工现场人员的位置轨迹、安全防护用品佩戴情况以及是否闯入危险区域等行为进行实时监控。同时,在塔吊、升降机、混凝土泵车等关键施工设备上加装倾角、应力、振动等多类型传感器,使其运行状态参数能够自动回传至管理平台,

一旦出现异常即可触发预警。对于环境地质风险,则需布设气象站、水位计、边坡位移监测仪等环境感知设备,持续采集降雨量、温湿度、地下水位及岩土体变形等关键指标。此外,管理过程本身也应实现数字化转型,将安全技术交底、日常隐患排查、整改通知单、验收记录等业务流程全面线上化,形成结构清晰、可追溯、可关联的电子档案体系。通过上述多源异构数据的融合汇聚,为后续的风险智能评估奠定坚实的数据基础。

2.2 风险动态画像与分级

在完成数据采集的基础上,需建立能够随工程进展自适应调整的风险评估模型。该模型应摒弃静态打分的传统做法,转而采用动态权重分配机制——例如,在基础开挖阶段,环境地质风险权重应显著提高;而在机电设备安装阶段,则应强化对特种作业与设备操作风险的关注^[2]。评估方法可综合运用改进的LEC法(作业条件危险性评价)与模糊综合评价,并引入机器学习算法,利用历史事故数据库对模型进行训练与校准,从而实现当前风险水平的精准量化。系统应能自动生成风险热力图,直观展示各工区的风险等级分布,并对法定的重大危险源(如深基坑、高大模板支撑体系、爆破作业点等)实施重点标记与持续跟踪。当监测参数超过预设阈值或行为识别发现严重违规时,系统应立即更新该区域的风险画像,并推送至相关责任人,确保风险状态始终处于“可知、可控、可预警”的状态。

2.3 BIM+GIS空间可视化

为了提升风险信息可理解性与决策支持能力,有必要将动态风险数据与空间信息深度融合。通过将BIM三维模型与GIS地理信息系统进行集成,可构建一个覆盖整个工程场地的数字孪生底座。在此基础上,所有风险点、设备位置、人员分布、环境监测数据均可精准映射到对应的空间坐标上,形成“一张图”全景式风险态势图。监理人员可通过移动终端随时调阅任意工点的实时风险状态,系统还能根据当前风险分布智能推荐最优巡检路线,提升现场检查的针对性。更重要的是,该可视化平台支持对历史风险演变过程的动态回溯,有助于分析风险发展的规律与诱因,为制定前瞻性防控策略提供有力支撑。这种空间化的风险表达方式,不仅增强了信息的直观性,也促进了多专业、多岗位之间的协同沟通。

3 闭环防控体系设计

3.1 体系架构

闭环防控体系的核心在于构建一个自我驱动、自我修正的管理循环。为此,可设计“三层四环”的整体架构。其中,“三层”指感知层、平台层与应用层:感知层

由各类传感器、摄像头、移动终端等构成,负责原始数据的采集;平台层则集成数据中台、AI分析引擎、风险知识库与预警规则库,承担数据处理与智能决策功能;应用层面向监理、施工、业主等不同角色,提供任务派发、整改跟踪、绩效考核等协同管理功能。“四环”则具体指代四个相互衔接的管理环节:首先是风险识别环,通过自动采集与人工补充相结合,确保风险无遗漏;其次是预警响应环,系统根据风险等级(蓝、黄、橙、红)自动推送预警信息,并要求责任人在规定时间内确认;再次是整改处置环,系统自动生成电子整改单,明确责任主体与时限,施工方完成处理后上传佐证材料,监理进行线上复验并销号;最后是持续优化环,通过对整改数据、重复隐患及事故案例的深度分析,不断迭代优化风险评估模型与防控策略,实现体系的自我进化。

3.2 关键机制设计

3.2.1 智能预警机制

智能预警机制突破单一阈值报警模式,融合多源数据实现精准研判。系统不仅依据传感器设定物理阈值(如位移、倾角超限)触发预警,还通过AI视频识别未戴安全帽、无防护高空作业等违规行为^[3]。更关键的是,其具备关联推理能力——当大风预警、老旧设备运行与高危作业同时出现时,能自动升级风险等级,实现由“单点报警”向“复合预警”跃升,显著提升预警的前瞻性与可靠性。

3.2.2 协同处置机制

该机制依托数字化平台构建“监理—施工—业主”三方协同流程。隐患一经识别,系统自动生成结构化整改任务,明确责任主体与时限,并实时推送至相关人员。超期未处理则自动逐级上报,形成压力传导。施工方须上传图文或视频佐证整改过程,监理在线复核销号。全程线上留痕、闭环可溯,有效解决传统模式中响应迟缓、责任模糊、整改虚化等问题。

3.2.3 效果验证机制

为防止闭环流于形式,建立独立验证体系。推行“双随机”复验(随机抽项、随机派员),并对重大隐患引入第三方评估。系统持续跟踪整改完成率、重复发生率等指标,纳入施工单位信用评价,与履约支付、投标资格挂钩。通过数据驱动的性能反馈,倒逼主体责任落实,确保“真整改、改彻底”。

3.2.4 知识沉淀与学习机制

体系通过NLP技术自动解析整改报告、事故案例,构建水利工程安全知识图谱,支持智能检索与经验推荐。定期生成风险态势分析报告,指导监理重点调整。更重

要的是,实际风险事件与模型预测的偏差数据将反哺算法训练,持续优化风险评估精度,形成“实践—总结—学习—迭代”的自我进化闭环,保障体系长效适用。

4 技术支撑与实施路径

4.1 核心技术集成

闭环防控体系的落地离不开一系列前沿技术的深度融合。BIM技术为风险信息提供了精确的三维空间基准,使风险点能够与实体工程一一对应;物联网(IoT)技术则打通了物理世界与数字世界的连接通道,实现了设备状态、环境参数、人员行为的实时在线;大数据分析技术通过对海量历史与实时数据的挖掘,揭示风险发生的内在规律,支持预测性维护与前瞻性干预;人工智能(AI)在图像识别、异常检测、智能决策等方面展现出强大能力,显著提升了风险识别的自动化水平;而区块链技术则可用于存证关键整改记录,确保数据不可篡改,增强监管的公信力与法律效力^[4]。这些技术并非孤立应用,而是通过统一的数据中台进行有机集成,共同支撑起一个智能、高效、可信的监理风险防控生态系统。

4.2 实施路径建议

推动该体系从理论走向实践,需要采取渐进式、系统化的实施策略。首先,应在国家或省级层面选择1至2个具有代表性的大型水利枢纽工程开展试点示范,通过实际运行验证技术方案的可行性与管理流程的有效性。其次,应及时总结试点经验,编制《水利工程安全生产监理数字化工作指南》等行业标准,对数据接口规范、预警阈值设定、闭环处置流程等关键环节作出统一规定,避免各地各自为政、重复建设。第三,必须同步加强监理队伍的能力建设,通过专项培训、技能竞赛、资格认证等方式,培养一批既懂水利工程、又掌握数字技术、还精通安全管理的复合型监理人才。第四,应从制度层面予以保障,将动态风险识别与闭环防控的实施成效纳入监理服务合同的

考核条款,明确奖惩机制,强化履约约束力。最后,建议由省级水利主管部门牵头,建设区域性智慧监理云平台,整合辖区内各项目的监管数据,打破信息壁垒,实现资源共享与协同监管,最终推动形成覆盖全行业的水利安全风险联防联控新格局。

5 结语

水利工程安全生产监理正转向数据驱动、主动预防的数字化转型。本文构建的“风险动态识别与闭环防控体系”,融合现代信息技术与管理理念,形成全生命周期、全要素、全参与方的风险治理新模式。该体系弥补了传统监理在时效、精准和协同上的不足,闭环机制确保风险管控措施有效落地,为水利工程“零事故”目标提供可行路径。展望未来,该体系发展空间广阔:可融合数字孪生技术,构建工程仿真环境,实现潜在风险“预演—预控”;探索引入大语言模型,开发自然语言交互式安全咨询与决策支持系统,降低使用门槛;长远应构建国家级或流域级水利安全风险大数据中心,推动跨层级、跨地域、跨项目联防联控。唯有技术创新、制度完善与能力提升协同发展,才能筑牢水利工程安全生产防线,助力国家水网高质量建设。

参考文献

- [1]黄照芳.论水利工程监理中的安全生产管理与事故预防策略[J].价值工程,2026,45(09):67-69.
- [2]陈奎.水利工程施工安全监理要点的探讨[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.新疆森盛源项目管理有限公司;,2025:314-318.
- [3]李发明.水利工程监理中的安全管理风险识别与应对措施研究[J].水上安全,2025,(16):130-132.
- [4]余冲,刘凯,陈崇德.水利工程建设监理单位安全生产标准化实践及评价[J].建设监理,2025,(03):41-45.