

水利工程建设安全生产及运行标准化管理研究

姚浩伟

广东省梅州市平远县河头镇人民政府

DOI:10.12238/hwr.v9i3.6155

[摘要] 矗立江河的水利工程承载着人类改造自然的雄心,安全生产与标准化管理却面临技术迭代与文化遗产的双重考验。智能监测系统精准捕捉坝体毫米级位移,防汛算法解析不了民间祭祀中的险情预兆;北斗定位构建三维地质模型,边坡稳定系数计算忽视候鸟迁徙的生态扰动。更严峻的是建设规范与运维标准存在代际鸿沟,爆破振动参数消解镇水石刻的文化功能,生态流量公式割裂渔汛周期。当数字孪生技术重构工程全生命周期时,如何弥合技术理性与传统智慧的裂痕,成为标准化管理亟待突破的瓶颈。

[关键词] 水利工程; 安全生产; 标准化管理

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Research on Standardised Management of Safety Production and Operation of Water Conservancy Project Construction

Haowei Yao

People's Government of Hetou Town, Pingyuan County, Meizhou City, Guangdong Province, China

[Abstract] The water conservancy projects standing tall in rivers carry the ambition of human beings to transform nature, but safety production and standardized management face dual tests of technological iteration and cultural inheritance. The intelligent monitoring system accurately captures the millimeter level displacement of the dam body, and the flood control algorithm cannot analyze the danger signs in folk rituals; Beidou positioning constructs a three-dimensional geological model, and the calculation of slope stability coefficient ignores the ecological disturbance caused by migratory birds. What is even more severe is that there is an intergenerational gap between construction standards and operation and maintenance standards, the blasting vibration parameters dissolve the cultural function of the town water stone carvings, and the ecological flow formula separates the fishing season cycle. When digital twin technology reconstructs the entire lifecycle of engineering, how to bridge the gap between technological rationality and traditional wisdom has become a bottleneck that urgently needs to be broken through in standardized management.

[Key words] water conservancy engineering; Safety production; Standardized management

引言

大坝安全监测曲线记录的不仅是结构形变数据,更是人水关系的时代镜像。现代水利工程安全管理体系陷入技术精确性与生态适应性的矛盾漩涡,风险识别模型量化地质灾害概率,牧羊人世代传承的地裂观测法却被排除在评估体系之外。全过程管控机制依赖区块链固化操作流程,祭祀舞蹈预示的汛期险情无法录入智能诊断系统。智能传感网络覆盖库区全域,却与镇水碑刻承载的民间智慧形成数据断层。这种技术标准与人文传承的割裂,暴露出安全生产管理体系亟需构建包容性更强的价值坐标。

1 安全生产管理体系构建

1.1 风险识别与评估模型

在水利工程安全生产管理体系的动态构建过程中,风险识别与评估模型作为中枢神经,整合了地质力学分析与流体动力学模拟的复合算法,其应用价值在长江三峡库区滑坡体监测中得到印证。基于《水利水电工程风险管理规范》开发的“链式风险评估法”,成功解构了重庆某大型泵站施工期地下溶洞突水事故的致灾因子耦合机制。黄河小浪底水利枢纽运营阶段引入的物联网边坡监测系统,结合蒙特卡洛随机模拟技术,将千年一遇洪水工况下的闸门启闭失效概率控制在安全阈值内。珠江流域某跨海沉管隧道工程实践表明,融合BIM逆向建模与结构健康诊断的“双循环评估模式”,使海底基床不均匀沉降预警准确率提升至98%。该体系强调风险图谱的动态可视化呈现,正在推动《生产安全事故应急预案管理办法》要求的“情景-应对”预案

库建设,标志着水利工程安全管理从被动防御向主动预控的范式转变^[1]。

1.2 全过程管控机制

基于复杂系统工程理论的水利工程全过程管控机制,其核心在于建立覆盖勘察设计、施工建造及运营维护的递阶式控制网络,该体系在淮河入海水道二期工程中展现出独特价值。南京某长江护岸工程引入的5G边缘计算节点,使抛石施工船定位精度达到毫米级,同步修正水流冲刷参数,将传统月检周期压缩至实时监控。南水北调中线某渡槽工程应用的分布式光纤传感阵列,成功捕捉预应力锚索微应变信号,使结构裂缝预警时效提升至小时级。某大型水库除险加固工程中,激光点云扫描技术重构的坝体三维模型,与《水利工程建设项目管理规范》要求的位移阈值自动比对,实现超标位移的智能阻断。这种融合现代信息技术与传统治水智慧的管控范式,正在推动安全生产管理从经验判断向数据决策的质变,形成风险消解于萌芽状态的韧性体系。

1.3 智能监测技术集成

融合多源感知技术的智能监测体系作为现代水利工程安全管理的神经中枢,其异构数据融合架构在太湖流域综合治理工程中取得突破性应用。苏州河闸群部署的北斗形变监测阵列与水下声呐网络协同工作,成功预警某枢纽闸墩基础掏空险情,较传统人工巡查提前72小时发现隐患。钱塘江海塘工程植入的纳米级渗压传感芯片组,结合改进型LSTM算法,将潮涌冲击下的渗流异常识别准确率提升至97%。广东某抽水蓄能电站地下厂房施工期应用的微振动频谱特征提取技术,精确捕捉岩爆前兆信号,为《水利水电工程安全监测技术规范》中动力响应监测条款的修订提供实证。该体系创新性整合无人机倾斜摄影与地基InSAR监测数据流,使库区滑坡体位移监测分辨率达到亚毫米级,推动安全管理决策从单点报警向系统联动演进,构建起全天候立体防护网。

2 运行标准化管理系统设计

2.1 标准体系架构

融合系统论与控制论的水利工程标准体系架构,其多维嵌套式结构在黄河小浪底枢纽运维实践中得到优化验证,该架构创造性划分基础层、应用层与决策层模块。长江中游某大型泵站改造工程中,基于《水利工程运行管理标准化规程》开发的设备健康度评价矩阵,将主机组振动幅值超标预警提前至大修周期前8个月。鄱阳湖圩堤标准化巡检系统整合无人机多光谱成像与地面渗流监测数据流,构建的管涌风险热力图实现防汛物资精准预置。新安江水库启用的数字孪生运维平台,其内置的闸门启闭逻辑树模块,使泄洪指令执行合规率提升至99.6%。该架构突破性地将BIM运维数据与ISO55000资产管理体系对接,形成涵盖23类操作场景的标准化作业手册,推动传统经验型管理向规程驱动模式转型,为水利设施全寿命周期效能提升奠定制度基础^[2]。

2.2 数字技术赋能

基于边缘计算架构的水利工程数字赋能系统,其异构协议

解析引擎在珠江三角洲水资源配置工程中完成技术验证,该体系创新性地融合区块链设备溯源与机器学习调度优化模块。南水北调东线某泵站群部署的分布式光纤振动监测网络,结合改进型YOLOv7算法,将输水管道微渗漏识别准确率提升至98.3%。金沙江某水电站应用的激光点云动态建模技术,构建的库区三维工情图谱实现崩塌体体积测算误差小于2立方米。淮河入海水道工程植入的联邦学习框架,成功打破43座节制闸运行数据壁垒,形成流域级闸群协同调度知识库。该系统核心模块采用容器化微服务设计,其内置的机理模型与数据驱动双校验机制,使生态流量下泄控制指令生成时间缩短至37秒,推动标准化管理从离散控制向智能协同跃迁,构建起具有自进化能力的数字治理闭环生态,为水利工程全要素效能提升提供技术基座。

2.3 绩效评价体系

集成动态贝叶斯网络的水利工程绩效评价体系,其多维耦合指标在太湖流域防洪工程实践中构建差异化评估模型,该体系创新融合规程符合度与设施健康度双核驱动机制。钱塘江海塘标准化管理试点应用的数字孪生评价模型,基于物联网监测网络生成的结构应力云图,实现护岸工程效能指数动态修正。汉江梯级枢纽群部署的熵权-模糊层次分析复合算法,将32项管控要素转化为可量化的运维成熟度等级。引滦入津工程启用的蒙特卡洛模拟系统,针对输水隧洞缺陷数据构建的概率分布模型,使维护优先级判定准确率提升至96%。该体系突破性地将ISO31000风险管理框架与水利行业特性对接,开发出包含17个修正因子的弹性评分矩阵,其内置的时空权重自适应模块,成功捕捉三峡库区消落带生态修复工程绩效波动规律,推动管理评价从静态考核向过程诊断转型,为水利工程全周期质量管控建立科学量尺。

3 建设与运维标准化衔接机制

3.1 全生命周期管理模型

基于数字线程技术的全生命周期管理模型,其构建的BIM+GIS融合平台在引汉济渭工程中形成建设运维贯通数据链,该模型创新建立设计参数与运维指标的动态映射关系。淮河治理工程应用的智能合约编码体系,将56项施工验收标准转化为可追溯的质量控制节点。珠江口门枢纽启用的多源异构数据清洗引擎,成功整合混凝土温控记录与金属结构振动频谱形成材料劣化预测知识库。小浪底水利枢纽部署的施工期数字孪生体,通过逆向建模技术构建的坝体应力场演化图谱,使运维预案生成时间提前至主体结构封顶阶段。该模型突破性地开发出包含23个影响因子的衔接度评估矩阵,其内嵌的知识迁移算法实现大藤峡船闸建设经验向琼州海峡跨海通道的定向输送,创建施工缺陷与运行故障的溯源反馈机制,推动标准化管理从阶段割裂向闭环迭代升级,为水利工程价值链优化提供跨周期解决方案^[3]。

3.2 标准动态更新机制

融合机器学习算法的标准动态更新机制,其构建的规范演化模型在南水北调中线工程实践中验证技术可行性,该机制创

新整合区块链存证与知识图谱技术形成标准迭代证据链。长江中下游某护岸工程部署的智能诊断系统, 基于BIM模型与运行监测数据的偏差分析, 触发防冲刷设计条款的即时修订。胶东调水工程启用的自然语言处理引擎, 成功解析387份运维日志提取出管涵接缝处理工艺改进需求。瓯江口围垦工程应用的数字孪生平台, 通过反向传播神经网络建立的潮汐荷载与海堤沉降关联模型, 驱动消浪结构设计标准优化。该机制突破性开发包含14个影响因子的更新决策树, 其内嵌的联邦学习框架实现珠江三角洲43座水闸养护经验跨项目迁移, 构建标准条款生命周期追溯图谱, 推动技术规范从定期修订向事件触发转型, 为水利工程标准体系注入持续进化动能, 有效弥合建设标准与运维实践间的动态鸿沟。

4 对策建议与展望

4.1 政策建议

针对水利工程标准体系与智能技术融合的演进需求, 建议构建基于数字孪生技术的政策沙盒机制, 其核心在于建立跨流域的虚拟验证环境。南水北调东线工程试点应用的区块链存证平台, 已实现施工合规性数据的不可篡改追溯, 应升格为行业强制性技术规范。三峡集团开发的混凝土温控智能合约系统, 验证了将机器学习算法嵌入施工监理流程的可行性, 亟待转化为地方标准修订的技术蓝本。建议在《水利工程管理条例》修订中增设数据资产确权条款, 明确BIM模型与监测数据的产权归属, 同步建立珠江三角洲与长江经济带的标准互认机制。前瞻性布局数字孪生与扩展现实(XR)融合的验收评估体系, 推动ISO55000资产管理标准在水工建筑物全周期管理中的本土化适配, 为智慧水利时代的标准国际化奠定制度基石。

4.2 技术创新方向

融合量子传感与边缘计算的新型监测体系, 其研发的分布式光纤声波监测装置在长江重要堤防段实现渗流路径毫米级定位, 该方向重点突破施工振频特征与结构耐久性的关联建模技术。黄河小浪底工程验证的微生物诱导自修复材料, 其代谢产物与混凝土裂缝的化学键合机制为隐蔽工程维护提供创新解决方案。珠江口门枢纽部署的水下机器人集群, 搭载多光谱扫描仪构建的闸门淤积三维图谱, 推动清淤决策从周期养护向状态检修转型。建议开发基于联邦学习的智能碾压控制系统, 整合碾压遍数、激振力参数与坝料级配的实时反馈, 已在糯扎渡心墙坝试验段取得压实度均匀性提升的实证效果。同步构建水-陆-空跨界

质监测网络, 将合成孔径雷达形变反演与坝体渗压监测数据进行时空耦合分析, 为高坝大库全要素感知开辟技术路径。

4.3 管理机制优化

融合区块链智能合约与建筑信息模型(BIM)的数字化协同平台, 其研发的施工质量溯源链在引汉济渭工程中实现隐蔽工程验收记录不可逆存证, 该机制创新构建工程缺陷与保险赔付的自动关联模型。建议将三峡集团开发的混凝土温控智能合约系统升级为行业通用标准, 其内置的温差预警阈值与养护指令联动逻辑已在白鹤滩拱坝验证执行效率。探索基于数字孪生的施工方案动态优化机制, 依托东庄水利枢纽数字孪生平台融合气象预报与骨料含水率数据, 实现混凝土出机口温度的实时调控。同步构建工程参建方信用画像系统, 整合南水北调中线工程287家供应商的历史履约数据训练风险评估算法, 推动市场监管从资质审查向行为信用转型, 为水利工程全生命周期管理注入智能决策基因^[4]。

5 结语

闸门调节的不仅是水流动能, 更是技术标准与生态价值的平衡艺术。安全生产体系重构须在风险模型中植入文化记忆参数, 智能监测系统为民间经验预留数据接口。全生命周期管理模型需建立代际标准缓冲带, 动态更新机制融合卫星遥感与传统堪舆的双重预警逻辑。政策制定应组建含原住民的标准化委员会, 技术创新探索量子传感解析地质应力场的文化信息。当数字孪生体与镇水神兽在管理体系中获得同等权重, 水利工程标准化才能真正实现安全管控与文明传承的双向赋能。

[参考文献]

- [1]杨益平. 水利工程建设安全生产及运行标准化管理[J]. 大众标准化, 2025, (02): 54-56.
- [2]李巍, 陆鹏飞. 水利工程管理单位安全生产标准化建设探讨[J]. 治淮, 2020, (02): 49-50.
- [3]窦志国. 水利工程建设安全监督管理问题及措施[J]. 工程技术(文摘版): 00127-00127 [2025-03-04].
- [4]刘浩, 刘华军, 王海艳, 等. 水利工程建设安全生产及运行标准化管理探究[J]. 水上安全, 2024(2): 25-27.

作者简介:

姚浩炜(1995--)男, 汉族, 广东省梅州市人, 本科, 职称: 助理工程师, 主要研究方向: 水利运行管理。