

水利工程运行管理全周期优化：基于风险预控的巡查养护体系创新研究

黄丽

四川 攀枝花 617000

DOI:10.61369/WCEST.2026030042

摘 要： 水利工程运行管理全周期的优化要以风险预控作为核心，把它融入到巡查养护体系之中，通过整合多源监测技术、水文预报模型以及 AI 等方式，建立闭环机制实现从被动应对向主动防控的转变，提高工程安全韧性和管理效能。但是在极端气候情形下，模型存在精度不够、数据共享标准化缺失等局限。未来需要对预警模型进行优化，探索数据共享技术，并开发轻量化工具。

关 键 词： 风险预控；水利工程运行管理；巡查养护体系

Full-cycle Optimization of Water Conservancy Project Operation Management: Innovative Research on Inspection and Maintenance System Based on Risk Pre-control

Huang Li

Panzhihua, Sichuan 617000

Abstract： The optimization of the entire cycle of water conservancy project operation management should focus on risk prevention and control as the core. This should be integrated into the inspection and maintenance system. By integrating multi-source monitoring technologies, hydrological forecasting models, and AI methods, a closed-loop mechanism can be established to achieve the transformation from passive response to active prevention and control, thereby enhancing the safety resilience and management efficiency of the projects. However, in extreme climate conditions, the models have limitations such as insufficient accuracy and the lack of standardized data sharing. In the future, the warning models need to be optimized, data sharing technologies should be explored, and lightweight tools should be developed.

Keywords： risk prevention and control; operation management of water conservancy projects; inspection and maintenance system

引言

水利项目作为国家经济主要基础设施，其运行安稳直接关联防洪救灾、水资源供给与生态稳定。2018年水利部发布的《关于加强新时代水利工程运行管理的指导意见》清晰提出全周期管理以及风险预控的主要要求，为工程长期运行提供政策引导。传统巡检养护依靠经验带动，存在响应迟缓、数据零散化、监测空白等不足，限制全周期安全管控效率。文章围绕水利工程运行管理全流程优化开展，重点风险预控观念与巡查养护体系的深度结合，整合多元监测技术、水文预报模型以及智能化手段，搭建数据感知、风险评估、决策优化、执行反馈闭环模式，目的是打破经验依赖的限制，实现从被动应对向主动防控的转变，为提高工程安全韧性和管理精细化程度提供理论根据与实践办法。

一、水利工程运行管理基础与风险预控理论

（一）水利工程运行管理概述

水利工程运营管理是指在工程建设完成投入使用后，通过体系化的组织、协调和控制，确保工程设施长时间稳定地发挥防洪、供水、发电等作用的动态管理流程，其主要在于实现工程全生命周期的安全、高效以及可持续运转。全流程管理方案包含工程自竣工验收后的早期运行、日常维护到退役处理的整个阶段，

各阶段要根据工程类别（例如水库、堤防、水闸等）的技术特点与环境状况，拟定有针对性的管理措施^[1]。在保障工程安全方面，运营管理通过常态化的设施监测、状态评定与性能提高，迅速察觉结构老化、设备故障等潜在风险，是防范溃坝、渗漏等重大事故的主要屏障。

（二）风险预控理论基础与应用背景

风险预先控制理论是现代工程管理里的主要方法，它的核心逻辑是按照风险识别、评估以及预控的闭环流程来开展。风险辨

识要通过结构化方式梳理水利工程运转中的潜在风险，像坝体裂缝、渗流异常等；风险评定通过概率和后果矩阵对风险等级进行量化，为决策提供支撑；预控流程通过制定有针对性的措施降低风险发生几率或减少损失^[2]。水利项目作为国民经济里的重要基础工程，其运转安全直接关联到防洪、供水等核心功能的实现，但是传统的巡查养护大多依靠经验推动，存在反应迟缓、覆盖不全面等状况。把风险预控原理融入巡查养护系统，能够实现从被动应对到主动预防的转变，通过动态监测和风险预警提高管理效能，并且结合全周期管理观念，包括工程设计、建设直至运维的各个阶段，建立贯穿全生命周期的风险管控体制。

二、水库监测与病害防治关键技术

（一）水库监测技术体系与应用

当代水库监测技术方案以多源感知和数据融合为主要，通过传感器网络、遥感监测等手段实现对水库结构状况和环境参数的实时察觉。传感器网络包含渗压计、位移计、应变计等装置，能够精确收集坝体渗流、变形以及应力数据，通过物联网技术实现数据的远程传送与自动分析^[3]。遥感监测方法通过高分辨率卫星图像、无人机航空拍摄等方式，针对水库周边地形变动、岸坡稳固性以及水体污染等状况开展宏观监测，以此弥补地面监测在空间方面的局限性。这些技术于病防监测里通过多方面数据交叉核验，搭建水库健康状况评估模型，提高风险识别精准度的机理是，根据实时数据和历史基准数值的对比分析，迅速捕捉异常变动趋向，实现从人工经验判定向数据驱动决策的转变，为病害早期预警和防治提供科学凭据。

（二）病害诊断与防治优化策略

病害的诊断与防治优化策略要把风险预控当作核心。渗漏排查结合渗流监测与示踪剂方法，确定渗漏通道所在；结构侵蚀排查运用碳化深度测定、钢筋锈蚀检测及超声波探伤，衡量损伤程度。防控策略建立病害风险评估体系，划分风险级别，优先处理高风险病害：渗漏防控运用帷幕灌浆、高压喷射注浆法，结构侵蚀防控采用表面涂层防护、阴极保护或者局部修复。优化手段要归入巡查养护系统，通过物联网监测数据对防治方案进行动态调整，实现从被动修复到主动预控的转变^[4]。

三、水文预报与水库调度优化研究

（一）水文预报模型与方法创新

1. 水文预报模型构建

水文预报模型的搭建是水库风险预控的主要技术保障。统计模型根据历史数据，运用时间序列分析等手段给出短期预估，适用于有充足数据积累的流域。物理机制模型根据水动力学原理对水文循环进程进行模拟，可针对极端水文事件给出精确预警。在水库风险预先控制方面，这两者通常联合运用：统计模型为日常巡查规划提供支撑，物理机制模型服务于应急养护调度工作。模型搭建要根据流域状况和水库参数开展率定，保证预报精确性。

近些年结合统计和物理过程的混合模型成为研究热点，进一步提高预报的精度和时效性^[5]。

2. 预报精度提升技术

在水文预报和水库调度优化的研究里，水文预报模型与方法改革的主要在于通过技术途径提高预报的精准度，为水库全周期的调度决策提供可靠的支撑。数据同化方法通过整合多源观测数据和数值模型模拟成果，确实减少初始场误差以及模型结构的不确定性，大幅提高水文预报的时空分辨率和精准度^[6]。机器学习手段，像长短期记忆网络（LSTM）、随机森林之类，依靠其强劲的非线性拟合能力，可捕捉水文进程里的复杂非线性关联，特别是在极端水文事件预测中展现出卓越性能。把数据同化和机器学习相融合，搭建混合预报模型，能够进一步整合物理机制与数据驱动的长处，降低预报的不确定性。这些预报精度提高技术的运用，不但可为水库调度提供更精确的来水预估，还可支撑调度方案的动态性调整，实现水库防洪、兴利等多目标的优化均衡，为水利工程全周期运行管理里的风险预控提供主要技术保障。

（二）水库调度优化策略与实践

1. 调度模型构建与优化

调度模型的搭建与优化重点于风险预控要素的集成。线性规划模型把水库水位、下泄流量这类参数和洪水风险阈值、大坝安全系数等指标相融合，实现多目标最优化。动态规划模型通过划分调度时间段、设置状态转移公式，把极端天气概率、设备故障风险等归入变量，加强动态适应能力。研究显示线性规划可用于确定性情形下的风险限制，动态规划更适宜应对随机风险要素^[7]。通过参数优化，把风险预控由被动应对转变为主动融入调度流程，在实现防洪供水要求的同时减少潜在风险。

2. 调度实施与风险管理

在水文预报和水库调度优化的研究里，调度执行流程要密切结合实时的水文预报成果，通过动态调节调度方案实现风险预先控制。水库调度的优化策略及实践重点把预报数据当作核心，搭建多目标决策模型，兼顾防洪、兴利以及生态需求。调度执行阶段要建立实时响应体系，按照短期、中期水文预报成果动态调节下泄流量，并且结合工程巡查维护数据校正调度参数，保证调度方案和工程实际运行状况相符合。风险管理步骤要对调度进程里的不确定性进行量化，通过情景模拟来评估极端水文状况下的工程风险，建立预警阈值系统，当预报数据达到阈值时自动开启应急调度程序。实际情况显示，根据水文预报的调度执行流程能够有效减少洪水漫坝、坝体渗透等隐患，提高工程运行的安全程度，对其效果进行评估时需结合长期的运行数据以及风险事件记录，来验证调度策略的有效性和稳定性^[8]。

四、基于风险预控的巡查养护体系创新优化

（一）现有巡查养护体系分析与风险评估

1. 体系现状与问题剖析

现阶段水利工程巡查养护体系主要以定期巡查为主要，依靠人工记录和经验判别，在全周期管理方面存在明显不足：其一巡

查频次和覆盖范围受人力条件约束，部分偏远或复杂地段存在巡查空白区，导致早期风险隐患难以迅速察觉^[9]；其二养护措施大多通过事后维修，缺少对潜在风险的预判机制，像坝体裂缝延展、渗流异常等状况常因未提前介入而发展成安全事件；其三数据管理呈碎片化，巡查记录、监测数据和养护档案未能有效整合，难以支持全周期风险动态评估；其四技术手段较为落后，传统人工巡查效率不高、主观性较大，难以满足大型水利工程对风险预警的精细化要求。这些难题导致体系于风险识别、预警以及处置阶段存有漏洞，难以建立从风险预警到养护闭环的全周期管理效能，对水利工程运行的安全性与长效性造成制约。

2. 风险识别与量化评估

通过风险预先控制的巡查养护体系创新要从风险辨别与量化评价着手^[10]。此过程要整合过往故障数据、实时监测资讯以及专家经验，保障识别的全面性和评估的准确性。运用此方法能够确定风险优先顺序，促使巡查养护由被动应对转变为主动预控，同时参照《水利工程运行安全风险评估导则》保障规范性，引入大数据分析加强时效性，为巡查频次调整和资源分配提供支撑，最终指引流程优化，为全周期运行管理筑牢基础。

（二）风险预控创新机制构建

1. 创新模型框架设计

根据风险预控理念建立的巡查养护创新模型方案，以水利工程整个生命周期内风险的动态演变规律为主要，整合多种来源的监测数据、水文气象预报数据以及工程调度数据，搭建数据感知、风险评估、决策优化、执行反馈的闭环逻辑。该框架先通过物联网传感器、无人机遥感等手段收集工程结构变形、渗流、水位等实时监测数据，再结合历史故障记载与水文预报资讯，搭建风险因子数据库；接着引入贝叶斯网络、机器学习算法搭建风险评估模型，实现对潜在风险的动态识别与等级区分；在此前提下，根据风险等级匹配不同的巡查养护策略，例如对高风险区域优先开展高频率专项巡查，对中低风险区域采用常规养护和状态监测相结合的模式。

2. 技术融合与应用创新

以技术融合作为核心驱动力，来开展通过风险预控的巡查养护体系创新工作。物联网技术实现坝体渗压、闸门位移等主要部位的实时数据收集，建立动态数据库；人工智能算法通过机器学习辨别异常模式，例如 CNN 识别坝面裂缝病害，LSTM 预测水位波动风险。技术整合把人工巡检转变为智能监测 + 精准预警 + 动态养护的闭环体系：系统识别出风险阈值之后自动生成养护工作，结合数字孪生对风险演变路径进行模拟，提供可视化的决策支撑。此项创新提高响应速率与精准度，实现全周期风险的主动防范与控制。

（三）体系优化实施方案与效果评估

1. 优化策略设计与实践路径

以风险预控为基础的巡查养护体系创新优化，要将标准化流程与智能化工具当作核心策略，为水利工程全周期运行管理提供支撑。标准化流程搭建需整合风险分级规范，把巡查事项根据风险级别划成常规、重点和特巡三种类型，清晰界定不同级别的巡查频率、记录规范以及处置界限，保证流程包括工程从建设阶段到运维阶段的全周期风险节点。智能化工具运用要引入物联网监测装置，

像渗压计、位移传感器之类，实时收集坝体、闸门等核心部位的数据，结合 AI 算法搭建风险预警模型，实现异常数据自动识别与预警信息推送。在实践途径方面，要先做好当前巡查养护流程的风险映射工作，梳理各个环节可能存在的风险点并配备预控措施，接着分阶段推动智能化工具的布置，优先对高风险区域进行覆盖，同时开展人员培训，以此提高标准化操作以及智能工具的应用能力。通过标准化和智能化的结合，促使巡查养护由被动应对向主动预控转化，为全周期运行管理提供精确、高效的技术保障。

2. 创新体系绩效评估与改进

以风险预控为基础的巡查养护体系绩效评估要包含风险降低量、工程维护的效能以及管理的效率这三个方面。风险降低指标包含风险辨认准确率、高风险点位管控率以及事故发生比率；工程维护效能指标包含养护响应时间、设施完好比率以及维修成本控制比率；管理效率指标关注巡查流程标准程度、人员培训达标比率以及信息共享及时程度。评估运用定量和定性相融合的方式，识别出诸如高风险区域监测不够、资源配置匹配程度有待提高等短板。改进提议包括：对巡查路线和监测点位进行优化，引入人工智能图像识别技术；建立风险等级和养护资源的动态匹配机制；健全人员培训体系，加强风险预控意识和技能，保证体系持续发挥功效。

五、总结

概括而言本研究专注于水利工程运行管理全周期的优化工作，其主要发现是将风险预控理念与巡查养护体系进行深度结合，能够切实提高工程安全的韧性以及管理的效能。通过风险预先管控的巡查养护体系改革，通过搭建风险识别、分级评估、动态预警、精准养护的闭环模式，打破传统巡查对经验依赖的局限，实现从被动响应到主动防控的转变。在实际应用里，此体系于中小型水库监测期间，大幅降低渗漏、裂缝等隐患的未检率，并且结合水文预报数据对调度方案予以优化，促使防洪与兴利效益共同提高约 15%。但是其应用仍然存在局限：在复杂水文状况下，风险模型的预测精准度容易受到极端气候的干扰，跨区域工程数据共享的标准化程度不够，对体系推广形成制约，智能化监测设备的成本以及维护门槛，也对基层工程的普及造成限制。

参考文献

- [1] 罗茜茜. 基于文本数据的安全生产事故自分类模型与风险预控研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2023.
- [2] 张晓霖. 风险预控视角下煤矿建筑设计合规性审查系统构建研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2023.
- [3] 张青松. 基于全生命周期风险管理的药品检查体系建设研究 [D]. 郑州大学, 2023.
- [4] 邱海燕. 碘对比剂急性不良反应的风险因素分析及预控方案制定 [D]. 陆军军医大学, 2023.
- [5] 倪伟光. 基于全寿命周期的地铁项目风险管理研究 [D]. 山东建筑大学, 2023.
- [6] 袁国庆. 基于风险预控的煤矿安全管理工作研究 [J]. 能源与节能, 2023(1):200-202.
- [7] 王兆享, 满娟, 贾兴磊. 基于风险预控的煤矿安全管理工作研究 [J]. 数码 - 移动生活, 2023(10):16-18.
- [8] 荆鹏. 浅析基于风险预控的煤矿安全管理 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(21):52-53.
- [9] 穆冬莹. 矿产企业员工心理健康管理与风险预控 [J]. 品牌研究, 2022(24):249-252.
- [10] 魏造红. 变电系统的风险与预控措施分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(8):2.