

Research on Optimization and Development Trends of Operation and Maintenance Management Mode for Water Conservancy Engineering

Pusheng Xie

Beijing North Canal Administration Office, Beijing, 101100, China

Abstract

The traditional operation and maintenance (O&M) model of water conservancy projects has many shortcomings in terms of institutional systems, technical means, and risk management, making it difficult to meet the modern demands for efficient, safe, and intelligent water conservancy management. This paper analyzes the O&M tasks and common risk factors of different types of water conservancy projects and proposes optimization strategies, including the restructuring of O&M systems, upgrading of technical methods, full lifecycle asset management, and the design of risk-oriented O&M mechanisms. It further explores the application value of intelligent technologies such as water conservancy information platforms, GIS/BIM integration, digital twins, and artificial intelligence in O&M, aiming to establish a new model of standardized, intelligent, and risk-controlled O&M.

Keywords

water conservancy project; operation and maintenance; management mode optimization; digital twin; intelligent operation and maintenance

水利工程运行维护管理模式优化与发展趋势研究

谢濮声

北京市北运河管理处, 北京市, 101100

摘要

传统的水利工程运维模式在制度体系、技术手段和风险应对方面存在诸多不足, 已难以满足现代水利工程高效、安全、智能的管理需求。本文在分析不同类型水利工程运行维护任务及常见风险因素的基础上, 提出管理模式优化策略, 包括运维制度体系重构、技术手段升级、资产全生命周期管理与风险导向运维机制设计。进一步探讨了水利信息平台、GIS/BIM集成、数字孪生与人工智能等智能化技术在运行维护中的应用价值, 以期构建标准化、智能化、风险可控的运行维护新模式。

关键词

水利工程; 运行维护; 管理模式优化; 数字孪生; 智慧运维

1 引言

当前, 水利工程运维管理正加快向数字化、智能化方向转型。研究表明, 物联网、大数据、遥感监测、BIM与GIS集成等技术在部分重点水利工程中已初步应用, 实现了设备状态、水情信息等的实时采集与初步智能分析。但整体来看, 仍存在运维数据分散、系统集成度低、智能决策支持能力不足等问题, 难以适应当前复杂多变的水利运行需求。因此, 研究如何将数字孪生、人工智能、边缘计算等新兴技术深度融合于水利运维体系中, 构建高效、协同、智能的运行维护模式, 已成为该领域发展的关键方向, 具有重要价值。

【作者简介】谢濮声(1988-), 男, 壮族, 本科, 工程师, 从事水工建筑物运行与维护研究。

2 水利工程运行维护的现状分析

2.1 不同类型水利工程运行维护任务划分

防洪排涝工程汛前需对堤坝、水闸、泵站等结构进行雷达和超声波检测, 清理泄洪通道淤积, 采用多波束测深确保通水能力。灌区工程重点检查输水渠道、取水建筑, 使用机器人检测管道腐蚀及渗漏, 维护配水及自动控制设施。水电工程则关注水轮机组与大坝监测系统, 定期采集渗流、位移等数据。

2.2 传统管理模式及问题

传统“分段式”运维包括巡检、定期维护和应急修缮, 存在数据采集手段落后、管理责任模糊、信息化水平低等问题。设备信息多依赖人工记录, 修缮计划与设计评估脱节, 管理中部门职责不清易引发推诿现象。

2.3 常见风险因素分析

水利工程面临自然灾害、设施老化与管理失误等风险。自然风险可用历史数据建模识别高风险区域；设施老化通过腐蚀速率与碳化深度评估；管理风险则通过故障树分析法找出薄弱点，提升防控能力^[1]。

3 水利工程运行维护管理模式优化策略

3.1 运维制度体系重构

构建“三级责任-全流程管控”的运维制度体系框架，具体如图1所示。

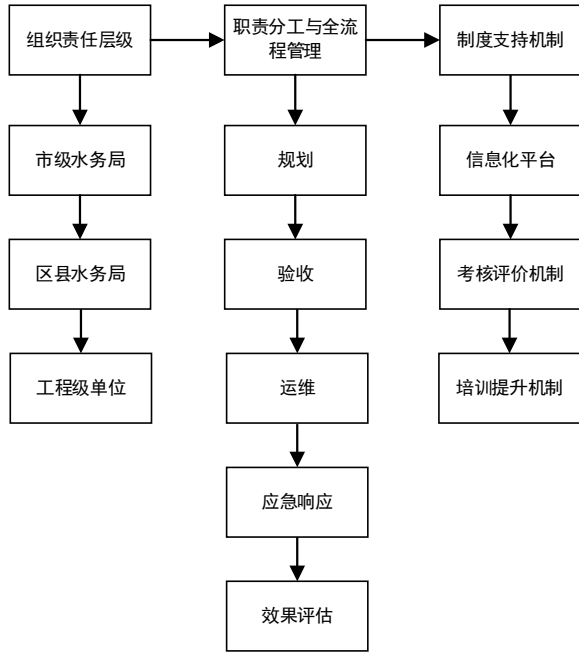


图1 运维制度体系框架

在组织责任层级方面，形成“市级-区级-工程级”三级管理架构：市级水务局统筹制定制度与技术标准；区县水务局具体实施监督与协调；各水闸工程项目由项目法人主体负责日常运行维护，建立明确的责任追溯链。

在职责分工与全流程管控方面，每个层级覆盖自规划、验收、运维、应急到评估的全过程：市级负责技术标准与应急预案体系建设；区级监督工程应用及巡检计划执行；工程级执行日常巡查、运行监测和应急处置，形成技术管理、财务、应急、安全等多维度管控闭环。

在制度支持方面，机制包括信息化平台支撑、考核机制与培训机制：依托BIM+GIS+数字孪生等技术，实现工程运行的可视化、远程监控与智能评判；建立定期巡检、日/月评估、年终审核三级考核机制；组织各级技术人员培训以保证制度的熟练执行，从而落实标准化、精细化、全流程监督。

3.2 运维技术手段升级

运维体系升级以“智能感知-数字孪生-智能决策”为路径，部署IoT感知系统，在水坝、闸室等关键部位布设光

纤位移传感器、渗压计、加速度计等设备，采集位移、渗流、应力等数据，并通过5G网络实时传输至信息中心。基于BIM与GIS技术构建水利工程的数字孪生系统，实现运行状态的映射与仿真。通过机器学习算法对监测数据建模，建立关键设备健康指数与故障预测模型，如利用支持向量机等算法对水闸启闭机的运行电流、温升、振动等关键参数进行分析，实现对异常状态的提前预警与趋势预测^[2]。引入具备视觉识别与激光雷达功能的无人巡检机器人替代人工巡查，提高效率并降低成本。

3.3 资产全生命周期管理

建立以价值流为主线的资产全生命周期管理体系。在设计阶段应用全寿命成本(LCC)分析，选取最优运维方案。借助BIM技术将设备参数、采购信息、交接数据等与模型关联，实现资产数字化管理。在运行阶段采用基于状态的维护(CBM)，根据设备健康度决定是否维护，如某金属闸门健康评分过低则触发防腐处理。引入资产绩效管理(APM)，通过数据分析识别高成本低效益资产，提出改造或淘汰建议。在报废阶段，采用区块链技术记录资产处置信息，保障残值回收和环保处理。

3.4 风险导向的运维策略调整

构建“风险识别-量化评估-分级管控”体系。通过FTA与ETA识别风险源，结合贝叶斯网络量化风险等级。对堤坝决口等高风险事件，设立“预防-应急-恢复”三级响应机制：预防阶段加强堤防与监控，突发时结合智能预警与数字孪生模拟溃坝过程，辅助逃生与应急处置；恢复阶段借助无人机航拍与3D建模快速评估灾害损失并制定治理方案^[3]。对中低等级风险，优化运维计划与巡检策略，实现风险动态闭环管理。

4 信息化与智能化技术在运维管理中的应用

4.1 水利信息平台与智能感知系统

平台通过多源异构数据融合技术，构建感知-传输-分析-决策一体化的信息系统。部署光纤光栅、倾角计、渗压计等智能传感设备，实时采集水闸、水质等关键部位数据，并经边缘计算节点初筛后，利用5G/NB-IoT上传云端，系统自带算法模块可诊断异常、修复缺失，保障数据准确性与响应效率。

4.2 GIS与BIM在水利设施运维中的融合应用

以BIM构建三维结构模型，以GIS承载空间位置信息，平台实现水利设施结构与地理的联动分析。当水闸发生隐患时，可GIS定位、BIM可视化结构展示并结合地质数据，实现快速故障诊断与维修决策，提升运维效率^[4]。

4.3 数字孪生技术构建与虚实联动监控

依托IoT感知数据与BIM模型，构建堤坝、泵站等设施的数字孪生模型，实现运行状态实时映射与趋势预测。系统可模拟运行工况，辅助分析次生灾害风险，支持移动端交

互与多维告警。

4.4 人工智能辅助决策系统

系统集成 CNN 与 LSTM 等算法模型，自动识别设施裂纹、锈蚀等故障，并融合历史数据实现洪涝态势预警^[5]。通过强化学习优化巡检路径和资源调配，构建数据驱动的智能运维闭环，推动水利工程向智慧化管理转型。

5 案例分析与成效评估

5.1 某大型水库运行维护模式优化案例概况

某大型水闸控制流域面积超过 1200 km²，承担防洪调度、农业灌溉与生态补水等多重任务，运行年限已超 30 年。由于设备老化、管理机制滞后，存在闸门启闭不灵、液压系统故障频发、调度响应滞后等问题，年均因闸门故障影响灌溉与生态供水达 6000 万 m³，造成区域水资源利用效率显著下降。此前，主要依靠人工巡查和定点检修，存在监测盲区、响应滞后及管理效率低下等问题。为应对上述挑战，管理单

位全面重构运行维护机制，从制度体系、感知手段、信息平台到智能决策进行系统升级，实现了标准化、数字化与智能化的全生命周期运维管理。

5.2 信息化运维平台建设实践

该水闸依托“三级责任-全流程管控”制度体系，强化市-区-工程三级运维责任分工，采用智能感知系统结合数字孪生技术，实现对闸室结构、液压启闭系统、配电设备等核心部位的实时监测与状态感知。平台集成 GIS 与 BIM 一体化建模，实现“工程一张图”展示与设备结构可视化追踪，结合 IoT 采集数据、AI 算法分析与风险导向的动态运维策略，提升运行判断的准确性和响应效率。实现从传统人工运维向数字驱动与智能联动的高效运维转型。

5.3 实践效果评估

水闸运维模式优化后，在多项关键指标上实现显著提升，详见表 1。

表 1 实践效果

指标项	优化前（年均）	优化后（年均）	改善幅度
年均设备故障次数（次）	34	9	-73.50%
因设备故障导致调水失效量（万 m ³ ）	6000	1080	-82.00%
年均巡检人力成本（万元）	180	95	-47.20%
异常响应平均时长（分钟）	95	18	-81.10%
运维任务平均闭环周期（天）	5.2	1.3	-75.00%
关键设备监测数据获取频率（次/日）	2	288（每 5 分钟）	14300%
汛期调度预警准确率	76.20%	93.80%	17.60%
整体运维效率指数（满分 100）	64	92	43.80%

通过系统升级，水闸设备故障率显著降低，年均启闭异常由 34 例降至 9 例，灌溉与生态调度损失显著减少；人力成本压缩近一半，响应时间缩短至不足 20 分钟；运维任务处理效率提升 4 倍；设备数据获取密度从每日 2 次提高至每 5 分钟 1 次，基本实现实时监控；调度预警准确率大幅提升至 93.8%，增强了应急与防汛能力；总体运维效率指数由 64 提升至 92，充分说明信息化与智能化平台的建设显著提升了水闸运行管理的科学性、敏捷性与可靠性。

6 结语

随着水利工程规模扩大与运行环境复杂化，传统维护管理模式已难以满足高效、安全、可持续运行需求。本文通过分析运行维护现状与问题，提出制度优化、技术升级与风险导向并重的管理策略，并探讨信息化与智能化技术的深度

融合路径。实践表明，构建智能化、一体化的运维体系可显著提升运维效率与安全水平。未来，应持续推动标准体系完善与技术融合创新，实现水利工程高质量运行维护目标。

参考文献

- [1] 高庆国,王英.南水北调东线工程运行管理维护的创新与实践[J].治淮,2025,(03):85-87.
- [2] 吴新娣.水利工程运行维护管理与优化策略探讨[J].现代工程科技,2025,4(03):185-188.
- [3] 付希义,田亮,张庆萍,等.数字孪生技术在水利工程运行维护管理中的应用[J].水利水电快报,2024,45(S2):104-107.
- [4] 陈杨城.水利工程运行维护管理与优化策略探讨[J].水上安全,2024,(18):157-159.
- [5] 李檬.水利工程运行维护管理与优化策略探讨[J].大众标准化,2024,(10):82-84.