

# 智慧水利视域下水库运行管理数字化转型的实践路径

李运泰

茂名市茂南区水利工程建设中心, 中国·广东 茂名 525000

**摘要:** 随着全球气候变化趋势的加剧, 水资源供需矛盾日益凸显, 建设智慧水利是应对水安全挑战的重要举措, 作为水利基础设施核心的水库, 其运行管理数字化转型对防洪安全、水资源配置、工程效益提升具有重要意义。结合智慧水利理论框架, 借助实践案例, 对水库运行管理实现数字化转型技术路线、具体实施举措、成效评价方法进行探究, 重点是提出利用数字孪生技术, 建立“感知、传输、决策、执行”一体化数字化管理体系, 为水利行业持续高质量发展提供理论支撑和可行实践建议。

**关键词:** 智慧水利; 水库运行管理; 数字化转型; 数字孪生; 实践路径

## The practical path of digital transformation of reservoir operation management from the perspective of smart water conservancy

Li Yuntai

Maonan District Water Conservancy Construction Center, Maoming City, China Guangdong Maoming 525000

**Abstract:** With the intensifying trend of global climate change, the contradiction between water supply and demand has become increasingly prominent. Building smart water conservancy is an important measure to address water security challenges. As the core of water conservancy infrastructure, the digital transformation of reservoir operation and management is of great significance for flood control safety, water resource allocation, and engineering benefit improvement. Based on the theoretical framework of smart water conservancy and practical cases, this paper explores the technical route, specific implementation measures, and effectiveness evaluation methods for the digital transformation of reservoir operation and management. The focus is on proposing the use of digital twin technology to establish an integrated digital management system of "sensing, transmission, decision-making, and execution", providing theoretical support and feasible practical suggestions for the sustained and high-quality development of the water conservancy industry.

**Keywords:** Smart water conservancy; Reservoir operation management; Digital transformation; Digital twin; Practical path

## 0 引言

全球气候变化导致极端天气增多, 给我国水库工程带来挑战, 需要我们在提高防洪标准、高效利用水资源、保障工程安全等方面作出更多努力; 传统水库管理模式由于数据孤岛明显、决策滞后、响应速度慢等缺点, 无法满足现代化水利治理要求; 智慧水利运用物联网、大数据、人工智能等新技术, 为水库运行管理提供数字化、智能化解决方案, 水库运行管理数字化是提高防洪减灾能力、优化水资源配置、保障工程安全的重要战略, 以智慧水利理论为依托, 结合国内外成熟经验, 对水库运行管理实现数字化转型技术途径及实施策略进行分析。

## 1 智慧水利与水库运行管理数字化转型的内涵及意义

### 1.1 智慧水利的内涵

智慧水利建设重点是借助物联网、大数据、云计算、

人工智能等信息技术, 实现水利行业感知、分析、决策、执行的智能化改造, 提高水利系统运行、管理、公共服务效能, 促进水利事业可持续发展, 实现信息的全面感知、可靠传输、智能处理、有效应用, 实现水利业务的精准管理、动态管理、智能管理。

### 1.2 水库运行管理数字化转型的内涵

水库运行管理数字化建设重点是把数字技术运用到水库运行管理的各个环节, 借助数字化管理平台, 实现水库运行数据的实时采集、顺畅传输、安全存储、深入分析, 运用数字化工具改造管理流程、创新管理模式, 提高水库运行管理的精细化、智能化水平, 保障水库安全运行, 发挥水库最大综合效益<sup>[1]</sup>。

### 1.3 数字化转型的意义

(1) 提高管理效率: 运用数字化管理技术, 信息的传输、共享速度得到极大提高, 减少人工、省去中间环节,

提高管理效率和准确性。

(2) 增强决策科学性：运用大数据、人工智能技术，水库运行数据得到深入挖掘、分析，为科学决策提供依据，决策合理性及准确性大大增强。

(3) 提升安全保障能力：水库运行状态实时监测能力增强，及时发现、处理安全隐患，预防、应对各种突发事件，确保水库安全运行。

(4) 促进水资源合理利用：数字化管理模式，实现水资源优化配置、精细调度，提高水资源利用效率，对解决日益加剧的水资源短缺问题具有重要意义<sup>[1]</sup>。

## 2 水库运行管理数字化转型的技术架构

### 2.1 数字孪生技术体系

数字孪生技术借助于物理水库虚拟化实现“预报-预警-预演-预案”四预功能，如某水利委员会建立数字孪生流域平台，运用12类设施数据，大幅提高跨部门数据共享效率300%；某江数字孪生系统在2023年洪水过程中，运用8种分洪方案，为当地减少经济损失高达7.3亿元。技术框架由数据层、模型层、应用层三层构成：

(1) 数据层：集成多源异构数据，包括实时监测数据（水位、流量、雨量等）、历史运行数据、地理信息数据等。

(2) 模型层：构建水文水力模型、工程安全模型、风险预警模型等，支持动态仿真与预测分析。

(3) 应用层：开发防洪调度、水量调配、工程巡检等业务应用，实现决策支持与智能控制，见表1。

### 2.2 智能感知网络构建

数字化转型的基础是智能感知网络，建设智能感知网络需要运用各种传感器实现全要素监测，见表2。以广东省某大型水库为例，运用水位计、流量计、雨量站、水质传感器等物联网传感器，结合卫星遥感、无人机巡检技术，

建立“天空地水工”一体化监测系统，监测数据采集频率提高到分钟级，异常数据识别和响应时间缩短到五分钟以内，见表2。

### 2.3 大数据与人工智能融合应用

水利大数据中心借助ETL技术完成多源数据的整合，建立标准化数据库，以某市为依托，建设覆盖92%许可水量的取水监测网络，运用AI算法优化灌溉调度，每年节约水资源4200万立方米。人工智能技术在水库管理中的典型应用包括：

(1) 图像识别：AI摄像头对坝体裂缝、水面漂浮物识别准确率达98%以上。

(2) 预测模型：LSTM神经网络水位预报模型RMSE误差在0.1m以内。

(3) 优化调度：多目标遗传算法对防洪、供水、发电等综合效益优化<sup>[1]</sup>。

## 3 水库运行管理数字化转型的实施路径

### 3.1 顶层设计与标准体系构建

数字化转型在“统一规划、分步实施”理念的指导下，以编制《智慧水库建设技术指南》等标准文件为着力点，以广东某江流域综合治理项目为实例，借助建立三维可视化地理环境模型，集成“源-网-站-厂-河(湖)”排水设施信息，实现防洪预警响应时间缩短至15分钟的目标。标准体系构建需重点关注：

(1) 数据接口规范：编制统一数据接口规范，包括MQTT、OPC UA等设备间通信协议，解决32种水文编码体系共存问题。

(2) 安全防护标准：依据等保2.0要求，建立数据加密、访问控制、入侵检测三级安全防护体系。

(3) 模型验证机制：建立数字孪生模型校验规范，使模型预测结果可信度达到90%以上，提高决策的准确性。

表1 数字孪生技术在水库管理中的典型应用

应用场景	技术实现	效益指标
洪水预报	水文水力耦合模型	预报误差≤5%，响应时间≤30分钟
工程安全监测	位移传感器+AI异常检测	渗漏识别准确率≥95%
调度决策支持	多目标优化算法	供水保证率提升15%
应急演练	模拟仿真系统	演练成本降低60%

表2 水库智能感知设备配置清单

设备类型	监测参数	部署位置	传输方式
水位计	水位、库容	大坝上下游	4G/5G+北斗短报文
渗压计	坝体渗流压力	坝基、坝体	LoRa低功耗广域网
振动监测仪	结构振动频率	闸门、启闭机	光纤专网
气象站	降雨量、风速、气温	库区开阔地带	公网无线传输
视频监控摄像头	水面漂浮物、非法入侵	大坝、溢洪道	5G+AI边缘计算

### 3.2 系统集成与协同优化

变革以往“烟囱式”建设模式，打造感知、传输、认知、应用一体化业务平台，广东茂名某区“水务通”系统依托河道底数、巡查轨迹、工单处置等信息，实现“一图观天下、一网管全域”目标，取得明显成效：巡查管理工时减少 50%，事件响应速度提高 10 倍。业务系统集成需重点解决：

- (1) 数据治理：为消除数据重复、矛盾现象，构建“一数一源”数据治理机制，对防汛值班。
- (2) 流程再造：对防汛值班、工程巡检等十二个重点业务流程进行优化再造，减少百分之三十以上审批环节。
- (3) 跨部门协同：运用 API 接口实现与应急、环保、农业等部门数据共享，为跨部门联合决策提供支撑。

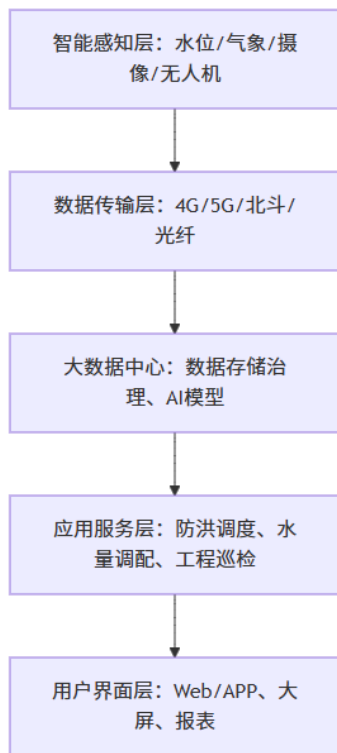


图1 水库数字化业务平台架构图

### 3.3 数字孪生流域建设实践

广东某输水工程数字孪生平台建设，借助“物理水网+数字水网”协同系统，实现跨流域智能调度，整合 1.2 万个监测点位数据，建设洪水演进、水质预测等八类智能模型，促进调水决策从经验向数据转变。数字孪生流域建设关键步骤包括：

- (1) 数据底板构建：利用地形、工程、社会经济等基础信息，形成 L3 级精度的数字高程模型（DEM）作为数据底板。
- (2) 模型耦合集成：利用该底板进一步将水文、水动力、工程安全模型进行深入耦合集成，实现多情景的动态仿真模拟<sup>[4]</sup>。

力、工程安全模型进行深入耦合集成，实现多情景的动态仿真模拟<sup>[4]</sup>。

- (3) 可视化交互：借助于开发的三维可视化平台，实现洪水淹没范围、工程变形等要素的实时动态展示。

表3 南水北调数字孪生平台效益分析

指标	转型前	转型后	提升幅度
调度决策周期	48小时	8小时	83.3%
水质预警准确率	75%	92%	22.7%
工程安全巡检效率	2人/天/公里	无人机自动巡检	提升5倍
公众服务满意度	82分	95分	15.9%

### 3.4 物联网技术应用

物联网技术是水库运行管理数字化建设的基础，利用物联网技术在水库大坝、溢洪道、输水洞等部位安装水位、雨量、位移、应力等各类传感器，实时采集水库水位、降雨量、大坝变形、渗流等运行参数，利用无线传输网络把采集到的参数传送到管理平台，实现对水库运行情况的实时感知和监控；在广东某水库数字化建设过程中，运用物联网技术，安装大量传感器，建立完善的监测系统，水位传感器实时反映水位变化情况，达到警戒水位时自动报警；位移、应力传感器共同作用，对大坝变形、应力进行监测，有效发现安全隐患，为水库设施的长期稳定运行提供技术支撑和安全保障<sup>[5]</sup>。

## 4 数字化转型的挑战与对策

### 4.1 数据治理挑战

广东某水闸借助 ETL 技术，整合分散、质量参差不齐的水利行业数据，建立统一数据中心，实现监测、调度、运维各环节的贯通，为解决各业务部门间数据孤岛问题提供有效示范。对策建议：

- (1) 建立数据主人制，界定各业务系统数据维护责任人。
- (2) 研制自动检测空值、异常值等数据质量问题的评估工具。
- (3) 建立数据血缘关系图谱，实现数据流向的可追溯。

### 4.2 技术融合挑战

DEEPSEEK 的五维穿透技术借助数据治理标准化、智能算法工程化等技术手段，克服了物联网、大数据、AI 等技术协同运用的障碍，构建“数据-知识-决策”闭环，使黄河流域生态保护平台实现 98% 的跨域数据调用成功率。对策建议：

- (1) 建立技术中台，提供通用算法库、模型训练平台等共享服务。

(2) 制定技术融合标准, 规范不同系统间的 API 接口、数据格式。

(3) 加强产学研合作, 引进区块链、数字孪生等前沿技术。

## 5 结语

水库运行管理数字化是智慧水利建设的核心内容, 借助数字孪生、智能感知、大数据等技术, 可提高防洪减灾能力、优化水资源利用效率、增加工程安全性, 未来发展趋势是: 技术方面, 如区块链技术在水资源交易溯源中的应用, 数字孪生与元宇宙结合打造沉浸式决策环境; 模式方面, 推行“数字总承包”模式, 实现从设计、建设、运维全过程数字化管理; 生态方面, 建立“政府引导、企业参与、公众监督”的治理机制, 有效促进水利数字化转型的可持续发展。

## 参考文献:

[1] 冯明. 智慧水利赋能城市生态文明建设的路径探索[J]. 网络安全和信息化, 2025(12):6-7.

[2] 陈季, 沈希奇, 金有杰等. 数字孪生智慧取水节水平台的实现与应用[J]. 水利信息化, 2025(6):22-27.

[3] 张棋. 智慧水利工程管理模式的创建与实施优势[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(12):192-194.

[4] 刘运珊, 刘明荣. 水文新质生产力支撑水利高质量发展路径研究[J]. 江西水利科技, 2025, 51(6):460-465.

[5] 张倩. 智慧水利背景下水库运行管理数字化转型实践路径[J]. 河南水利与南水北调, 2026(03):89-90.

作者简介: 李运泰(1984.10.01), 男, 汉族, 广东茂名, 水工建筑工程师, 中央广播电视大学, 本科, 研究方向: 水利工程建设管理和规划设计。