

# 数字化转型背景下供水工程智慧化管理探索

李皓巍

(淄博市引黄供水有限公司, 山东 淄博 255000)

**摘 要** 当前社会经济不断发展,对水资源保障提出了更高的要求,水利事业需要从信息化向智慧化转变。本文基于技术—管理—制度协同视角,系统剖析数据驱动决策、智能应用系统开发及组织文化变革的赋能机制,提出以智能感知网络、动态决策支持体系及复合型人才梯队为核心的智慧化实施路径,通过数据治理闭环、算法模型迭代与跨域资源整合,可实现管网漏损率降低、应急响应时效提升的显著效能,为构建“感知—决策—服务”一体化的可持续供水生态提供理论范式与实践参考。

**关键词** 数字化转型; 智慧水务; 供水工程; 数据驱动

中图分类号: TP3; TV67

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.026

## 0 引言

在全球气候变化加剧与城市化进程提速的双重压力下,传统供水工程管理模式面临信息孤岛、响应滞后与资源错配等系统性瓶颈<sup>[1]</sup>。数字化转型浪潮为破解这一困局提供了技术支点,物联网、大数据与人工智能等技术正驱动水务系统向“感知—分析—决策”的智慧化范式跃迁。当前,供水工程智慧化实践虽在智能水表普及、远程监测等领域取得突破,但仍存在技术应用碎片化、数据治理机制缺失与组织惯性制约等深层矛盾。

## 1 数字化转型背景下供水工程智慧化管理的关键要素

### 1.1 技术支撑体系

1. 物联网与传感器技术。物联网与传感器技术构成供水工程智慧化管理的感知神经末梢,其核心在于通过全域覆盖、高精度感知与实时传输实现物理系统的数字化映射。在供水场景中,需分层部署多模态传感网络:于水源地布设溶解氧、浊度与重金属传感器,实现水质污染事件的分钟级预警;沿输配水管网安装压力变送器与光纤振动传感器,通过声波信号频谱分析精准定位微渗漏点;用户终端则集成超声波智能水表,同步采集用水量、瞬时流量及压力波动数据,结合边缘计算模块实时检测异常用水行为<sup>[2]</sup>。

2. 大数据与云计算。大数据与云计算技术构成供水工程智慧化管理的决策中枢,通过海量数据的深度挖掘与弹性算力调度,驱动管理流程从粗放式向精准化跃升<sup>[3]</sup>。基于 Hadoop 与 Spark 框架构建分布式数据湖,整合 SCADA 系统、GIS 地理信息与用户投诉记录等

跨域数据流,利用流式计算引擎实现管网压力波动、水质异常的秒级响应。在算力支撑层面,采用混合云架构实现资源弹性扩展——私有云承载核心业务数据存储与机理模型训练,而公有云则处理突发性高并发任务,通过“数据—算力—知识”的三维聚合,为供水系统赋予动态感知、全局优化与自我迭代的智慧基因。

3. 人工智能与机器学习。人工智能与机器学习技术是供水工程智慧化管理的认知升级引擎,通过模式识别与预测优化突破传统经验决策的效能边界。在管网健康管理中,基于深度残差网络构建的漏损预测模型,可融合压力波动、声纹特征与土壤湿度等多维数据,提升漏点定位精度和检测效率。知识图谱技术的引入则破解了多源异构数据的语义关联难题,例如将历史维修记录、气象数据与用户投诉信息映射为“管材腐蚀—暴雨强度—爆管概率”的因果推理链,辅助制定预防性维护策略。

### 1.2 管理创新机制

1. 业务流程重构。业务流程重构是供水工程智慧化管理的核心驱动力,旨在打破传统“烟囱式”管理壁垒,构建以数据流为纽带的端到端流程闭环。通过引入业务流程管理工具与数字孪生技术,将水源调度、漏损控制、用户服务等离散环节整合为可视化协同链路。在用户服务领域,构建“用水申请—方案设计—施工验收—智能抄表”的一站式线上平台,通过 OCR 识别与 RPA 机器人自动校验用户资料,缩短报装周期。

2. 动态决策支持。动态决策支持系统是供水工程智慧化管理的“智慧大脑”,通过数据—模型—反馈的闭环架构实现管理策略的实时优化与自适应调整。其核心在于构建多目标协同的决策模型库,集成模型

预测控制、马尔可夫决策过程等算法,动态平衡水质安全、能耗效率与用户满意度等冲突性目标。在常态管理中,基于用户用水行为数据与气象预报信息,通过滚动时域优化动态调整水厂生产计划,使日均泵站能耗降低<sup>[4]</sup>。

### 1.3 组织与文化变革

1. 组织架构调整。供水工程智慧化转型需突破传统科层制组织的刚性桎梏,构建“数据中台+敏捷团队”的柔性组织架构。

在纵向层面,打破“水厂—管网—用户”的条块分割,设立跨层级的智慧水务指挥中心,统筹数据资产管理与业务决策联动。

在横向层面,组建由数据工程师、水利专家与用户体验设计师构成的敏捷小组(Squad),采用“双线汇报”机制并行推进技术创新与业务优化。组织架构调整需配套权责清单与绩效考核体系变革,例如将管网漏损率、数据采集完整度等指标纳入部门 KPI,通过“数据驾驶舱”可视化呈现组织效能<sup>[5]</sup>。

2. 数据驱动文化。数据驱动文化是供水工程智慧化转型的认知革命,其核心在于将数据要素从辅助工具上升为战略资产,重塑组织决策逻辑与价值创造范式。需构建“全员参与—全链治理—全场景应用”的文化培育体系:

在认知层面,通过“数据故事会”、数字孪生沙盘推演等沉浸式培训项目,推动员工从经验依赖型向证据导向型思维转型,例如开展“数字素养提升计划”,要求技术骨干基于 Python 工具自主分析管网压力数据并生成可视化报告。

在机制层面,建立数据质量“红黑榜”与数据贡献度积分制,将数据采集完整性、算法模型迭代频次纳入部门绩效考核,激励基层人员主动参与数据治理闭环。

在实践层面,推行“用数据说话”的例会制度,要求管理层基于 BI 仪表盘中的实时漏损率、用户投诉热力图等指标制定资源配置方案,摒弃“拍脑袋决策”惯性。

## 2 供水工程智慧化管理的实施路径

### 2.1 基础设施建设

1. 智能感知网络部署。智能感知网络的系统性部署,是供水工程智慧化管理的物理载体与技术先导。在水源地、输配水管网、二次供水设施及用户终端等全链路节点,需分层植入多类型传感设备:于水源保

护区布设水质多参数在线监测仪,实时追踪浊度、余氯及重金属含量;在管网关键交汇处安装压力变送器与流量计,结合声波传感器捕捉微渗漏信号;用户端则升级为具备远传功能的智能水表,同步采集用水量、水压波动等数据。通过 NB-IoT、LoRa 等低功耗广域通信协议的适配,构建兼具广覆盖与高并发的数据传输通道,解决复杂地下环境中的信号衰减难题。边缘计算节点的嵌入使得数据预处理能力下沉,通过本地化异常检测算法过滤噪声数据,降低云端负荷并提升响应时效。

2. 通信与网络平台搭建。通信与网络平台的构建是打通供水系统“感知—决策”闭环的核心纽带,需针对复杂场景设计多层级融合的传输架构。在主干管网与核心设施区域,依托 5G 切片技术构建大带宽、低时延的专用信道,满足高清视频监控与实时控制指令的传输需求;对于地下管廊等信号衰减区域,则采用 Mesh 自组网与 LoRa 扩频技术增强覆盖深度,确保传感器数据的稳定回传。混合云架构的部署实现了数据分流与资源弹性调度——边缘计算节点负责水质异常、压力骤变等关键数据的本地化预处理,而私有云平台则承载历史数据存储与深度建模任务。通信协议兼容性设计成为关键,通过 OPC UA 与 MQTT 协议的转换网关,实现不同厂商设备的数据互通。

### 2.2 数据治理与应用

1. 数据标准化与整合。数据标准化与整合是激活供水工程数据价值的核心前提,需构建覆盖数据全生命周期的治理框架。基于供水业务场景特征,制定统一的数据采集规范与编码体系。通过 ETL 工具与数据湖技术,将 SCADA 系统、智能水表及用户服务平台产生的结构化与非结构化数据清洗转换,建立包含设备状态、水质参数、用户行为等主题的标准化数据仓库。在跨部门协同层面,需建立数据共享交换平台,采用区块链技术实现水质监测记录、维修工单等敏感数据的可信流转与权限控制。

2. 数据分析与挖掘。数据分析与挖掘是驱动供水工程智慧化管理的认知引擎,依托机器学习与可视化技术将原始数据转化为可操作的决策知识。基于标准化数据仓库,构建涵盖管网健康度评估、用水需求预测及能效优化等主题的多维分析模型,例如采用孤立森林算法识别压力异常数据中的隐性漏损事件,或通过聚类分析划分区域用水模式以优化加压泵站调度策略。在知识发现层面,图神经网络(GNN)可解析管网拓扑结构与水力参数的复杂关联,辅助识别关键脆弱节点并模拟不同干预措施的系统性影响。因果推理技

术的引入能够区分数据中的相关性与因果关系，避免因气象因素与用水行为混杂导致的误判风险。

### 2.3 智能应用系统开发

1. 智能调度系统。智能调度系统的构建标志着供水工程从人工经验驱动向算法协同决策的范式跃升。该系统依托多源数据融合架构，集成管网压力、用户需求水量及气象预测等信息流，通过混合整数规划与模型预测控制算法，实现水源调配、泵站运行与储水设施联动的动态优化。例如：在旱季供水场景中，系统可基于深度强化学习模型模拟不同调度策略的长期影响，结合马尔可夫决策过程平衡当前用水需求与未来水资源储备的冲突。

2. 设备健康管理。设备健康管理系统的深度应用，推动供水工程从被动式故障维修向全生命周期主动防护转型。通过嵌入设备本体的振动、温度、电流等多维传感器，结合边缘计算节点实时提取运行特征参数，构建基于数字孪生的设备退化评估模型。例如：针对泵机轴承磨损问题，系统通过对比实时振动频谱与历史故障数据库的相似性，利用迁移学习算法预测剩余使用寿命，并依据劣化曲线生成润滑维护或部件更换的优先级建议。

3. 客户服务平台。客户服务平台的智能化升级，重构了供水企业与用户间的交互模式，通过多模态数据融合与语义理解技术实现服务精准触达。平台集成移动端应用、智能语音助手及Web门户等多渠道入口，基于自然语言处理引擎解析用户报修、咨询等非结构化诉求，自动关联工单系统与知识图谱生成定制化响应。在服务优化层面，利用协同过滤算法挖掘用户群体的共性需求，动态生成阶梯水价建议、节水方案等个性化报告，并通过可视化仪表盘呈现用水成本与资源消耗的关联性。

## 3 智慧化管理的保障措

### 3.1 资金与资源投入

资金与资源的可持续供给是供水工程智慧化转型的底层支撑，需构建政府主导、市场协同的多元化投入机制。例如：采用PPP模式引入技术企业与供水机构共建数据中台，分摊前期建设成本并共享长期运营收益。在资源优化层面，需建立技术适配性评估体系，优先采购具备开放接口与可扩展能力的设备，避免因技术代际差异导致的重复投入。针对中小型供水企业融资难问题，可探索“技术租赁”模式，由第三方平台提供传感器、算法模型等轻资产服务，按需付费以降低初始投资压力。

### 3.2 安全与隐私保护

供水工程智慧化转型亟需构建覆盖数据全生命周期与系统全要素的安全防护体系。在技术层面，采用量子密钥分发（QKD）与同态加密技术强化核心数据传输安全，通过零信任架构（ZTNA）实现设备、用户和应用的动态身份验证与最小权限访问控制。在管理层面，需建立“攻防演练—威胁情报—应急响应”联动的动态防御机制。例如：通过数字孪生技术模拟勒索软件攻击路径，预演断网、数据篡改等极端场景的处置预案。

### 3.3 人才队伍建设

人才队伍是供水工程智慧化管理的核心动能，需构建“引育用留”全链条培养机制以破解复合型人才短缺瓶颈。建立产学研协同育人基地，开设“智慧水务”微专业课程，重点培养具备水利工程、数据科学与系统运维交叉能力的“π型人才”。针对现有员工，需实施数字素养提升计划，依托数字孪生仿真平台开展管网智能诊断、AI调度推演等场景化实训，推动传统技术骨干向“技术+数据”双核驱动转型。在激励机制层面，需将算法模型开发、数据治理成效纳入职称评定与绩效考核体系，设立“数字创新工作室”鼓励基层员工参与技术迭代。

## 4 结束语

数字化转型正重塑供水工程的传统管理范式，智慧化作为技术革命与管理创新的交汇点，已展现出显著的资源优化与服务升级效能。智慧化管理不仅实现了管网漏损率下降、应急响应时效提升等显性效益，更深层次推动了供水服务从“保障供给”向“价值共创”的范式跃迁。未来，需以动态演进的视角，持续融合5G-A、具身智能等先进技术，完善跨域协同的治理体系，并培育“人—机—水”共生的智慧生态，使供水系统真正成为韧性城市建设的数字基座。

### 参考文献：

- [1] 聂雄. 基于物联网的工业供水管网监测系统及用水量预测研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2024.
- [2] 沈越. 城市供水动态评估体系的探索和数字化应用 [J]. 数字通信世界, 2023(09):132-134.
- [3] 曹文杰, 许健. 数字孪生技术在引洮供水工程中的应用 [J]. 水利技术监督, 2024(04):304-308.
- [4] 王良, 王伟强, 闫浩波, 等. 城市供水运营智慧化管理平台研究与应用 [J]. 内蒙古科技与经济, 2023(04):102-105.
- [5] 鄢铭, 王家华, 陈红勋, 等. 供水泵站智慧化管理系统的功能架构与实现 [J]. 中国市政工程, 2024(01):46-50, 153.