

# Research on key technologies for intelligent construction of water supply plants

Enya Yu Wenbo Li Lin Yi Haitao Liu

Hubei Jianke International Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430070, China

## Abstract

As a critical urban infrastructure, smart water plants utilize IoT and big data technologies to achieve intelligent management across production operations, scheduling, and service delivery. This paper analyzes the development and current status of water supply plants both domestically and internationally, identifies existing challenges, and concludes that the intelligent construction and operation of water plants rely on the integration of multiple technologies. The core lies in enhancing production efficiency, ensuring water quality safety, and optimizing resource allocation through digital means. The study proposes several key technologies for water plant construction, offering recommendations and practical experiences to support intelligent development. With a focus on ensuring water supply safety, improving operational efficiency, reducing operational costs, promoting green development, and strengthening service capabilities, the paper combines information technology with the characteristics of the water industry to establish a comprehensive modern water plant management system.

## Keywords

control; decision-making; data acquisition; interconnection

# 供水厂站智能化建设关键技术研究

于恩亚 李文波 易琳 刘海桃

湖北建科国际工程有限公司, 中国·湖北 武汉 430070

## 摘要

智慧水厂作为城市关键基础设施, 通过物联网、大数据等技术, 实现生产运维、调度及服务全流程的智能化管理。本文通过对国内外供水厂站的发展及现状进行分析, 对存在的问题进行研究, 得出供水厂智能化建设和运行依赖于多技术融合, 核心是通过数字化手段提升生产效率、保障水质安全、优化资源配置, 提出几项供水厂站建设的关键技术, 为水厂智能化建设提供建议与经验, 以保障供水安全、提升运行效率、降低运营成本、推动绿色发展、强化服务能力为核心, 结合信息技术与水务行业特性, 形成全方位的现代化水厂管理体系。

## 关键词

控制; 决策; 数据采集; 互通

## 1 引言

党的二十大报告明确提出“打造宜居、韧性、智慧城市”, 为城市基础设施建设指明方向。自党的十八大以来, 中国推进现代化产业体系建设, 加速物联网、数字经济等发展, 为智慧城市奠定了技术基础<sup>[1]</sup>。

2012年发布的《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(试行)》明确要求, 对供水系统从水源地到龙头水的全流程实施信息技术实时监测, 建立信息公示制度, 保障用水安全<sup>[2]</sup>。

智慧水厂作为城市关键基础设施, 通过物联网、大数据等技术, 实现生产运维、调度及服务全流程的智能化管理,

核心是推动信息化与工业化融合, 构建集中管控平台, 优化人员与运维模式, 以提升运营效率、管理精细度及决策科学性, 最终达成“安全运行、节能降耗、保障水质、减员增效”目标。本研究整合 SCADA、GIS、大数据分析等技术, 构建以制水工艺为先导、管网地理信息为基础的“智慧供水”平台, 实现供水自动化、监测现代化与管理决策智能化, 从而降低成本、增强应急能力, 提升企业服务水平。

## 2 国内外研究发展现状

### 2.1 关键技术体系发展现状

#### 2.1.1 国际方面

领先国家已构建较为成熟的统一数据架构。德国西门将 AI 模型深度嵌入数

据框架, 使其能自动化处理 80% 的常规决策任务。然而, 国际实践也普遍面临历

【作者简介】于恩亚(1979-)男, 中国湖北武汉人, 硕士, 高级工程师, 从事市政工程研究。

史遗留系统（如老旧 PLC）数据接入困难、多源异构系统间协议兼容性差导致的

数据孤岛，以及高昂的存量设施数据化改造成本等挑战。

### 2.1.2 国内方面

国内研究与应用虽起步稍晚但发展迅猛，市场规模已超百亿。以腾讯云、阿里云“水务大脑”为代表的平台，正着力构建集成 IoT 感知层、边缘计算层与云端分析层的统一数据中台。但在数据框架的底层支撑上，国内仍存在显著瓶颈。

## 2.2 现存核心问题分析

### 2.2.1 技术实施瓶颈

在老旧设施改造方面，20 世纪 50 年代建设的泵站中，仅 32% 具备传感器升级条件，机械结构与现代控制系统兼容性差；无线通信存在缺陷，地下管道中 5G 信号衰减达 20-30 dB/m，NB-IoT 丢包率高达 10% ~ 15%。存在数据孤岛，在 AI 模型泛化性方面不足，单一水厂训练的爆管预测模型迁移至其他区域时准确率下降 20% ~ 40%。数字孪生建模成本高，全流程水厂数字孪生体构建成本超 500 万元，中小水厂难以承担。

### 2.2.2 安全风险加剧

工控系统漏洞：全球水务行业 2023 年遭受勒索软件攻击次数同比增加 67%，平均恢复成本达 420 万元/次。数据隐私风险：智能水表用户用水行为数据可能被反推个人隐私。智能阀门、水泵等设备若遭远程劫持，可能引发区域性停水或管网爆裂事故。

### 2.2.3 标准体系缺失

国际 ISO 24591 标准仅覆盖 45% 的智能化场景，中国现行 GB/T 37737 ~ 2019 对 AI 算法的伦理规范尚未明确。

### 2.2.4 经济与实施困难

改造成本高昂，老旧水厂智能化升级费用达 800 万-1200 万元/万吨·日，投资回收周期超 8 ~ 10 年。农村地区供水管网智能化覆盖率不足 5%，单公里改造成本高达 20 万元。经济效益平衡难题。智慧水务系统可使漏损率从 25% 降至 12%，但部分城市因水价过低（如中国平均水价 3.5 元/吨），节水收益难以覆盖投资成本。

### 2.2.5 管理与生态组织困难

数据治理困境。单座水厂日均产生数据量超 10 TB，但有效利用率不足 40%。跨部门（水务、环保、城建）数据共享率仅 15%-20%，因标准不统一、权责不清。

人才与组织转型滞后。复合型人才缺口：需同时掌握水务工艺、AI 算法、网络安全的跨界人才缺口率超 50%。组织架构僵化：传统水务企业数字化转型中，70% 面临部门协作阻力。

### 2.2.6 环境与可持续性方面

能源消耗矛盾。智能水务系统使水厂整体能耗增加 8%-12%（边缘计算节点、5G 基站等），与“双碳”目标冲

突。数据中心冷却用水量激增，某省级水务平台年耗水量达 10 万吨。

## 3 主要研究内容及关键技术

### 3.1 研究内容

#### 3.1.1 建立以规划为依据、以需求为导向的建设标准

水厂智能化建设需以城市水务及国土空间规划为依据，遵循需求牵引、应用至上原则，构建一体化、集约化的智慧水务系统。

功能需求上，需建立生产运行监控系统，实现远程集中化管理；构建应急预案库，自动生成备选方案；搭建设备全生命周期运维体系，实时跟踪工单执行；借助云计算与时空数据库挖掘数据，用于故障诊断与决策支持；优化办公流程，覆盖 KPI、巡检等管理环节。

性能需求从时延性、系统容量、可靠性、维护性出发，明确页面响应、数据处理、设备接入等指标，保障系统高效稳定运行。

接口需求聚焦智能管控平台与外部系统的数据交互，包括 ERP（连通资产财务）、视频监控（联动告警）、OA（单点登录）、档案报表（数据导入导出）、水力模型调度（调取管网数据）、上级智慧水务系统（预留对接接口）共 6 类。

建设需全局统筹，按急用先上原则分步实施，兼顾工艺经济性与工程连续性，同步再造管理流程，推动各部门信息化协调发展。

#### 3.1.2 搭建互联互通的平台系统

水厂智能化建设需在智慧城市总体框架下构建总体架构，实现跨部门系统互联互通、数据共享与业务协同，突出整合共享理念。设计需结合部门职能与信息化基础，基于大数据平台，整合地理信息系统、数字孪生、AI 等技术，满足可运行、维护、扩展要求。总体架构含智能感知层、基础设施层、数据管理层等多层结构，采用开放分布式设计，体现技术先进性与架构科学性。

搭建互联互通平台是核心任务，具体从三方面推进。打破系统壁垒，整合 ERP、视频监控等现有系统，通过 MQTT、RESTful API 等标准化接口消除“数据孤岛”，构建“一个平台、全域协同”的集成框架。感知层深度互联，在取水、制水、输水全流程部署物联网设备，依托 5G 专网和工业环网实现全链条数据贯通。平台搭载大数据分析 AI 算法模块<sup>[4]</sup>，在生产侧实现设备预测性维护与工艺预警，管理侧优化工单与能耗，服务侧联动客服提升体验，借助可视化看板与移动 APP 助力智能决策，提升运营效率。

#### 3.1.3 构建管控闭合、稳定、高效、低能的现代化管理体系

水厂智能化建设以保障供水安全、提升运行效率、降低运营成本、推动绿色发展、强化服务能力为核心，结合信息技术与水务行业特性，形成全方位的现代化水厂管理体系。

### 3.2 关键技术

供水厂智能化建设和运行依赖于多技术融合，核心是通过数字化手段提升生产效率、保障水质安全、优化资源配置，以下是用到的关键技术及应用场景：

**智能感知与数据采集技术：**实时采集生产全流程数据，构建数字孪生基础。部署多参数水质传感器，实现水源地、处理工艺段、管网末端的水质实时监测；通过智能仪表、压力变送器采集水量、水压、能耗等运行数据；利用高清摄像头和图像识别技术，自动检测设备运行状态、识别安全隐患。

**智能控制系统技术：**保障生产稳定性与安全性。基于 PLC/DCS 实现加药、混凝等工艺环节的闭环控制，减少人工干预；应用模糊控制等先进算法优化工艺流程；融合 DCS 与 SCADA 系统，构建一体化监控平台，实现设备集中管理与远程控制。

**数据分析与智能决策技术：**挖掘数据价值。通过数据中台与云计算整合多类数据，支撑工艺优化与设备维护；建立数字孪生模型，用于工艺模拟等；开发智能决策模块，利用机器学习算法预测用水高峰、设备故障等，辅助决策。

**智能运维与故障诊断技术：**构建水厂虚拟镜像。通过预测性维护，实现“状态检修”；设计故障自愈技术，保障供水连续性；开发移动运维 APP，提升运维效率。

**2 节能与绿色运行技术：**推动水厂绿色转型。基于实时能耗数据动态调整设备参数；部署光伏等可再生能源；通过智能脱水设备等提升污泥处理水平。

## 4 技术成果特点及应用意义

### 4.1 提出全流程数字化感知与互联的模式

采用“感知层-网络层-数据层-分析层-应用层”分层设计。感知层布设远传水表、管网传感器等设备，实时采集水量、压力、水质等数据；基于 BIM+GIS 构建三维数字孪生体，实时映射设备状态，支持移动端故障定位；通过数据驾驶舱动态展示水质合格率等指标，关键数据秒级更新<sup>[5]</sup>。

### 4.2 提出一种智能化生产与决策的建设运行范式

以“工艺智能驱动决策闭环”为核心，构建“感知-分析-优化-执行”架构。建设层依托数字孪生融合 SCADA、GIS 与水力模型，通过边缘计算及 5G/ 光纤解决信号衰减与协议兼容问题，实现全域感知；运行层通过深度学习水质模型优化工艺，结合量子传感精准投药，AI 引擎生成调度方案并仿真验证，嵌入低碳模型平衡水质、能耗与碳排目标，以“数据驱动+A 决策+能碳双控”实现从被动响应到主动决策的跃迁，达成安全低碳高效运营<sup>[5]</sup>。

### 4.3 打造一种协同管理与服务的模式

将协同化管理与服务贯穿生产、运营、用户服务全链条，通过技术集成与流程优化，实现内部高效协作与外部服务精准触达。

#### 4.3.1 业务系统深度集成与流程自动化

集成 ERP、SCADA、OA、客服等系统，打破数据孤岛。

#### 设备采购需求从 SCADA

系统自动触发，经 OA 审批后同步至 ERP 完成采购；库存数据实时同步。管网漏损报警自动生成抢修工单并派发至最近班组，附现场定位与历史记录；用户微信报漏后，系统自动匹配工单、更新 GIS 地图，实现“报障-派单-处理-反馈”闭环。

#### 4.3.2 远程运维与跨部门协同

建立跨水厂远程运维中心，通过 5G 视频监控实现“少人值守+远程支持”，专家团队实时监控多厂设备状态，提前预警故障。构建多部门联动应急平台，水质超标时自动通知生产、质检、客服等部门并上报水务局，通过数字孪生模拟处置流程，缩短决策时间。

#### 4.3.3 用户服务智能化与精准化

开发微信小程序 /APP，集成用水查询、在线缴费、报漏报修等功能，实时展示水质数据，推送维修进度。基于用水数据构建分层画像，对高耗水企业推送节水建议，为低保用户自动减免水费，客服同步告知结果。

## 4.4 供应链与生态协同

与设备厂商、药剂供应商实时联动，设备故障预警同步厂商以提前备货，共享药剂消耗数据实现准时配送。对接政府监管平台上报水质水压数据，参与区域水务数据共享，协同调度水资源，提升区域供水韧性。

## 4.5 决策支持与绩效协同

搭建跨部门数据驾驶舱，整合生产、能耗、服务等指标，管理层通过动态看板掌握全局。系统自动抓取各部门工作数据生成绩效报表，减少人工误差，提升考核公平性与透明度。该模式以“数据共享、流程贯通、多方联动”为核心，实现高效协作，构建服务闭环，提升运营效率，成为智慧城市水务生态核心节点。

## 5 结语

本文通过对供水厂站建设的关键技术的研究，提出全流程数字化感知与互联的模式，智能化生产与决策的建设运行范式，协同管理与服务的模式将协同化管理与服务贯穿生产、运营、用户服务全链条，通过技术集成与流程优化，实现内部高效协作与外部服务精准触达。高效协作，构建服务闭环，提升运营效率、降低运营成本、推动绿色发展。

## 参考文献

- [1] 寇有观，落实科学发展观 建设智慧生态城市《中国市长》2012年第3期53-55.
- [2] 中国社会科学院，《中国生态城市建设发展报告(2012)》.
- [3] 刘建明等.物联网与智能电网[M].北京:电子工业出版社，2012: 26-30.
- [4] 尤政，智能传感器技术的研究进展及应用展望[J].科技导报，2016,34(17): 72-78.
- [5] 梁超，濮文渊等，BIM 在建筑给排水工程设计中的应用给水排水，2012，38(1)141-144.