数字化背景下供水厂站智慧管控平台建设研究

韩继炜[1] 刘明扬[2]
1. 济南普利电子系统控制工程有限公司 山东 济南 250100；
2. 济南水务集团有限公司 山东 济南 250100

摘 要 针对供水厂站调度效率低、数据分散、应急响应慢等痛点，提出数据驱动、协同控制的智慧管控平台框架：感知、传输、平台、应用与安全五层架构；建立标准化数据治理体系，融合SCADA、GIS、CIS、EAM等数据，形成统一的数据服务；集成数字孪生、智能巡检、预测性运维与能耗优化等模块，并配套系统集成、部署方案及网络与数据安全防护，为供水企业数字化建设与运维提供可落地路径。

关键词 数字化背景；供水厂站；智慧管控平台；数据治理；智能巡检；系统集成

Research on the Construction of an Intelligent Management and Control Platform for Water Supply Plants and Stations in the Digital Context

Han Ji-wei[1], Liu Ming-yang[2]
1. Jinan Puli Electronic System Control Engineering Co., Ltd., Jinan 250100, Shandong Province, China
2. Jinan Water Group Co., Ltd., Jinan 250100, Shandong Province, China

Abstract Addressing the pain points of low dispatching efficiency, scattered data, and slow emergency response in water supply plants and stations, this paper proposes a data-driven, collaborative control framework for an intelligent management and control platform. It adopts a five-layer architecture comprising perception, transmission, platform, application, and security. Standardized data governance is established, integrating data from SCADA, GIS, CIS, EAM, etc., to form a unified data service. Modules such as digital twin, intelligent inspection, predictive operation and maintenance, and energy consumption optimization are incorporated, accompanied by system integration, deployment schemes, and network and data security protection. This provides a feasible pathway for the digital construction and operation of water supply enterprises.

Key words Digital Context; Water Supply Plants and Stations; Intelligent Management and Control Platform; Data Governance; Intelligent Inspection; System Integration

在城市水务系统持续扩容与运行复杂性不断提高的背景下，供水厂站作为水源调配与水质处理的核心环节，其运行效率与管理水平直接影响供水安全与资源利用效率。传统模式下多依赖人工决策与分散控制，难以满足精细化、实时化管理的需求[1]。推进智慧管控平台建设具有提升系统稳定性、保障运行安全与促进管理智能化的重要意义。

1 智慧供水管控平台建设的总体架构设计

智慧供水厂站管控平台采用“五层一体”总体架构，包括感知层、传输层、平台层、应用层与安全层，各层协同支撑全厂站智能化运行。

感知层：由现场仪控设备、在线水质监测终端、能耗计量装置及设备状态传感器构成，覆盖泵房、加压站、清水池及输配管网等关键节点，实现对流量、压力、水质、电能等参数的高频采集。传输层：依托工业以太网、专网光纤与5G专线，保障海量数据的低延时、高可靠传输。平台层：集成实时数据库、时空数据引擎、业务规则引擎与AI计算框架，支撑水力仿真、工况诊断、能耗分析等核心能力。应用层：围绕智能巡检、设备运维、水质监管、能效管理等业务，构建可视化监控界面与智能决策支持工具。安全层：贯穿各层，通过身份认证、权限控制、日志审计与加密传输，构建纵深防御体系。

2 数据资源体系建设与管理机制

数据资源体系围绕“可感知、可治理、可共享”。采集端分布式布设，在泵房、加压站、清水池与管网节点配置流量、压力、水质、电能等传感设备；接入侧采用具备边缘处理的智能网关，完成本地计算与数据初筛，降低冗余噪声[2]。设备按工业级稳定性选型，采集周期分级设置：水质不低于1 min一次，压力与流量可秒级刷新；支持Modbus、OPC UA、MQTT等多协议统一接入。治理侧建立分类、命名、编码与时间粒度标准，形成数据字典与指标口径；引入MDM与元数据管理，对资产、模型与地理单元绑定唯一标识并实施版本控制。质量管

理以规则引擎+人工复核，监测完整性、准确性、及时性与一致性，异常标注隔离；策略引擎支撑清洗、脱敏、融合、归档等全生命周期。融合共享以数据中台整合SCADA、GIS、CIS、EAM等数据，统一“空间—时间—业务”编码，流批并行处理；通过API网关与服务目录按最小权限授权，提供REST接口，配套审计追踪与加密传输。

3 智能化功能模块设计与实现路径

3.1 数字孪生与智能巡检

数字孪生技术通过构建物理厂站的虚拟映射，为运维管理提供直观、立体的监控视角。系统基于BIM模型与实景扫描技术，建立设备级精度的三维模型，如图1所示。对水泵、电机、阀门、管道等关键设施进行1：1还原，模型精度达到设备细节级别，支持按工艺区域、设备类型分层展示[3]。实时数据与模型动态关联，当设备参数超阈值时，三维模型中的对应设备会自动高亮并触发预警，同时提供设备旋转、缩放、剖切等交互功能，支持按照预设路径漫游，可精准定位故障设备位置。对于关键设备故障，系统自动调取关联视频画面与历史运行曲线，形成“三维模型+实时数据+视频画面”的多维感知体系，大幅降低异常响应时间。



图1 三维场景展示

智能巡检管理构建“人工+视频+传感器”三位一体巡检机制，如图2所示。系统建立紧急、重要、一般三级报警分级管理体系，紧急报警（如水泵故障、管网破裂）立即推送至中控室和负责人手机，重要报警（如参数超阈值）推送至值班人员，一般报警（如巡检漏检）推送至巡检人员。视频巡检功能支持预设巡检路线，摄像头按计划自动切换视角，同时显示设备参数；AI视频识别可对烟雾、火灾、人员闯入等场景进行智能分析，识别准确率达95%以上。平台内置处置预案库，针对不同故障类型提供标准化处置流程，当异常发生时，系统自动推送相关预案，指导运维人员高效处置，使故障响应时间从传统2 h以上缩短至15 min以内，显著提升巡检效率与安全管控能力。



图2 智能工艺巡检与报障

3.2 智能运维系统

智能运维系统面向设备全生命周期，形成“监测—评估—决策—执行”的闭环，如图3所示。采集振动、温升、电流谐波、启停频次等数据，建立关键机组、阀门与变频器特征库，结合故障诊断模型提前识别轴承磨损、密封失效、绝缘劣化等隐患。系统集成CMMS与资产管理系统，将点检、保养、检修记录与备件库存关联，形成设备的数字档案。基于剩余寿命预测与风险分级，自动给出检修优先级与窗口建议，支撑月度、年度计划。现场通过移动终端/AR获取指导书、风险提示与实时数据，工单流转与关键步骤确认同步回传，提升运维精度与资源配置效率。



图3 设备在线监测与健康评估

3.3 水质监测与风险预警系统

水质监测与风险预警系统面向全过程水质安全，在取水口、处理单元、清水池及出厂管线布设浊度、余氯、pH、溶解氧、TOC、氨氮、电导率等在线传感器，实现高频采集与时

空追踪。数据入水质数据仓库后进行滤波、异常识别与噪声抑制，并结合SPC与机器学习模型识别趋势偏移、突变与复合污染特征[4]。系统配置事件分级与响应策略库，联动超标预警、溯源与处置建议；结合水力模型与GIS模拟扩散范围，为加药调整、切换出水口、分区关阀等操作提供依据，形成闭环管控。

3.4 能耗管理与节能优化

能耗管理与节能优化模块覆盖泵站、电机、风机、照明等耗能单元，建立分项计量体系，采集功率、电流、功率因数及启停状态等数据，形成细粒度能耗画像，如图4所示。基于历史运行、水力工况与负荷曲线构建能耗基线，识别异常能耗与低效工况。优化引擎在压力、流量与水质约束下，以单位输水能耗、电价成本与设备磨损为目标，生成泵组切换、变频设定与蓄水调度方案。界面提供对标分析、KPI追踪与减排核算，为节能改造、设备选型与电价策略优化提供依据。



图4 能源管理看板

4 平台集成与系统部署策略

平台集成面向巡检、监控、管网、调度、资产等异构系统，建议采用“ESB+API网关”架构：ESB负责消息路由、协议转换与数据格式适配；API网关统一鉴权、限流与访问控制。存量系统通过适配器封装底层通信，输出标准化服务。交互机制同步与异步并行，关键业务按强一致控制，一般管理业务采用最终一致以提升解耦与稳定性；跨系统流程由编排引擎实现工单流转、告警联动、能耗分析等复合场景。部署上采用中心节点与现场边缘协同：核心平台集中在私有云或数据中心，结合虚拟化与容器实现弹性伸缩与隔离；现场边缘节点承载关键控制与本地缓存，保障通信异常时的基本调控。运维引入CMDB与自动化工具，完成版本、补丁与环境一致性管理；监控覆盖主机、网络、应用与数据库，结合指标告警与日志关联分析定位根因。安全以分区隔离、纵深防御、可信访问为主线：划分生产控制区、管理信息区与外部接入区，通过防火墙与IPS实施访问控制，关键控制流量走专用通道；远程访问采用VPN与多因素认证[5]。数据传输加密，存储分级密钥与细粒度权限，敏感字段脱敏并审计追踪；安全监测中心汇聚日志、流量与审计信息，借助SIEM关联分析并联动工单，形成闭环处置。

5 结束语

总而言之，数字化技术的快速发展为供水厂站智慧管控平台建设提供了坚实支撑。通过系统架构优化、数据体系完善与功能模块深化，平台可实现对供水过程的精准感知、智能巡检与高效管理，全面提升运行效率与服务质量。未来，随着人工智能算法演进、5G/6G通信普及及数字孪生技术融合，智慧管控平台将在自适应调控、多源协同与韧性风险防控等方面发挥更大价值。

参考文献

[1]金蕊,何国华.超长隧道消防分区供水及智慧管控系统设计[J].中国交通信息化,2025(2):116-121.

[2]杨成杰,张果果,于敬新,等.农村供水智慧化管控平台设计与实现[J].水利技术监督,2025(6):40-42.

[3]李震,周明,王涛,等.数字孪生技术在供水厂站智能运维中的应用研究[J].给水排水,2024(8):102-108.

[4]孟庆彬,蔡文俊,石磊,等.物联网技术在智慧水务中的应用研究[J].电子世界,2020(17):207-209.

[5]费战波.基于物联网的智慧水务管控一体化平台研发及应用[P].河南省:新天科技股份有限公司,2021-01-16.

（本文编辑 杜宇琪）