

数字化污水处理厂的建设构想与实践

张伯进

上海电气数智生态科技有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i3.2560

[摘要] 本文旨在通过先进的信息技术提升污水处理厂管理的效率、智能化水平和可持续性,探讨水务数字化工厂的建设与实践。文章提出了数字化污水处理厂的总体技术路线,包括运用“物联网+云平台+大数据”等先进技术,构建启东二污污水处理厂数字孪生系统平台的总体框架,从逻辑上分为感知层、网络层、业务支撑层、数字孪生模型层、数字孪生业务应用层和展现层。并探讨了多维传感器网络、数字孪生、智能化控制等关键技术在污水处理厂中的应用,为数字化污水处理厂建设提供了实践指导。

[关键词] 水务行业; 数字化工厂; 设备智能化; 数据采集与分析; 自动化控制

中图分类号: P335+.2 **文献标识码:** A

The Construction Concept and Practice of Digital Sewage Treatment Plants

Bojin Zhang

Shanghai Electric Digital Intelligence Ecological Technology Co., LTD.

[Abstract] This paper aims to enhance the efficiency, intelligence level and sustainability of water plant management through advanced information technology, and explores the construction and practice of digital water factories. The article proposes the overall technical route for digital water plants, including the application of advanced technologies such as "Internet of Things + cloud platform + big data" to construct the overall framework of the digital twin system platform for Qidong No. 2 Sewage Treatment Plant. Logically, it is divided into the perception layer, network layer, business support layer, digital twin model layer, digital twin business application layer and presentation layer. The application of key technologies such as multi-dimensional sensor networks, digital twins, and intelligent control in sewage treatment plants was also discussed, providing practical guidance for the construction of digital sewage treatment plants.

[Key words] Water industry; digital factory; intelligent equipment; data collection and analysis; automatic control

引言

水资源是人类赖以生存和发展的重要基础,水务行业的发展对于社会经济的可持续发展具有重要意义。随着城市化进程的加速和环境问题的日益严峻,传统的污水处理方式已无法满足现代社会的需求。数字化转型为水务行业提供了新的解决方案,通过集成先进的信息技术,如物联网(IoT)、大数据分析、云计算和人工智能(AI),可以显著提高污水处理厂的自动化水平和运营效率^[1]。

1 数字化水厂的重要性和必要性

数字化工厂是指利用先进的信息技术手段,将生产设备、业务流程、数据分析等进行集成和优化,实现生产过程的智能化和自动化。水务数字化水厂是一种融合现代信息技术、自动化技术和水处理工艺的新型管理模式,其核心在于通过构建数字化平台实现水厂运行的全面感知、实时分析和智能化决策。数字化水厂

强调数据驱动的运行优化,通过整合物联网(IoT)、大数据分析、人工智能(AI)等技术,全面提升水厂的效率和管理水平^[2]。

数字化水厂核心理念包括全面感知、实时分析和智能决策。全面感知是利用传感器网络对水处理全过程进行实时监控和数据采集,涵盖进水水质、处理过程状态、设备运行参数及出水水质等关键环节;实时分析是通过大数据平台对采集的数据进行实时分析,发现潜在问题,优化运行参数,提高处理效率;智能决策是基于人工智能技术实现运行参数的自动调整和优化,减少人为干预,保障水厂的高效、稳定运行。水务数字化发展仍然存在一些问题,包括:顶层设计缺失,标准体系不完善;数据质量较差,数据利用不充分;展示层面较多,应用场景较少;智慧水务泛化,平台建设不系统等。水务数字化工厂需要建立共享的数据资源体系、建设全面的数字化管理系统、推广精准自动的智能控制等。

2 污水处理厂数字化转型的关键技术

2.1 总体技术路线

运用“物联网+云平台+大数据”等先进技术,采用面向服务架构、分层架构体系,构建启东二污污水厂数字孪生系统平台的总体框架,从逻辑上分为感知层、网络层、业务支撑层、数字孪生模型层、数字孪生业务应用层和展现层。总体架构图如下:



2.1.1 建立感知层体系

感知层设备是物联网技术构架的基础,主要包括污水厂、尾水湿地及农污站点的设备运行状态、出水水质、视频监控等。感知层的建设是通过强大的数据协议转换功能,在不影响生产运行的前提下,进行多种通信接口、通信协议的转换,实现自动采集各种设备工况和传感器的生产运行数据,并建立与各类数据通讯,最终形成完善的感知层体系。

2.1.2 建立控制层体系

现场控制层是通过PLC硬件和工控软件进行设备的集中控制,在常规自动化控制系统基础上部署工艺智能控制系统实现全厂曝气、加药各工艺环节智能优化控制等。

2.1.3 建立网络层体系

通过建立专线(VPN)和移动网络(4G/5G)与互联网融合,建立网络层体系,兼容多种网络方案,保证数据传输的可靠性。

2.1.4 建立业务支撑平台

基于私有云,构建数据中心,包括数据接入、数据处理、数据治理、数据存储、数据接口及数据库建库。提供各类支撑服务,包括业务服务、中间件服务、物联网服务、监测预警服务、平台安全服务、视频服务及GIS服务,为数据采集传输和平台层服务提供充分保障。

建立数字孪生模型通过多维时空数据模型,基于仿真引擎构建数字孪生平台和污水厂工艺在线仿真模型。在数字孪生底座三维模型基础上,实现多类业务数据的融合展示,包括要素锚点、数据浮框、详情弹窗及实时数据刷新等。通过污水厂仿真模型提供污水厂虚拟仪表和在线仿真预测,能够实时预测生化出水水质变化,并提供最优工艺运行参数组合。数字孪生业务应用将项目需求充分结合数字孪生、数据挖掘等技术手段,提供用

于数字孪生系统平台的应用服务,内容包括运行监控、运行管理、绩效考核、辅助决策、系统管理及移动应用,为政府管理部门、PPP项目运营公司和运维企业提供信息服务。多终端展现层应用各种先进技术进行业务成果的发布展示,包括大屏端、PC端及移动端。

2.2 深度集成多维传感器网络

多维传感器网络的组成多维传感器网络由不同种类的传感器组成,传感器覆盖污水厂的各个关键环节,包括水质、流量、压力、温度、光学、气体、传感器集成平台等,本次启东第二污水厂对监测设备的技术要求包括:设备应符合现行相关标准和规范的要求;在线监测系统的供电系统应安全可靠,工作环境满足设计要求和环境适用性;对仪表应进行日常运维和定时校准管理;在线监测的数据库宜采用时序数据库;数据应满足实时性和准确性;对在线监测网络构建及数据采集和分析应采用成熟的理论方法。

深度集成的关键技术:深度集成是将传感器网络的数据融合、智能算法和自动化系统无缝结合,深度集成的难点在于:硬件的可靠性、数据的安全性和系统兼容性。在启东第二污水厂中,其关键技术包括:物联网(IoT):通过无线传输(如LoRa、NB-IoT)或有线通信(如光纤网络)实现数据实时传输;数据融合算法:利用多传感器数据融合技术(如Kalman滤波、贝叶斯网络),提升数据的准确性与可靠性;机器学习:预测水质变化趋势、优化控制策略;边缘计算与云计算,边缘计算:在靠近传感器的设备上实时处理关键数据,减少延迟、云计算:集中存储与分析大规模历史数据,为优化提供依据、数字孪生技术:建立水厂的虚拟模型,实时监控和模拟运行。

2.3 污水厂数字孪生技术

数字孪生技术主要用于虚拟-物理系统的同步,可通过数字孪生技术实现污水厂的实时检测、智能决策以及仿真优化,结合强大的可视化平台,将复杂的水务管理流程直观化、智能化。

2.3.1 数字孪生系统的构建

数字孪生系统的核心在于现实世界与数字世界的无缝连接。其构建分为三个步骤^[3]:

数据采集与整合多维度数据采集:通过物联网(IoT)技术收集污水厂的实时运行数据,包括流量、压力、能耗、水质参数等;数据整合与清洗:利用数据治理平台对多源异构数据进行清洗、分类和存储,构建高质量的基础数据库。

模型创建分为:

物理模型:利用污水厂的设计图纸、管网拓扑图等构建真实世界的物理模型;

算法模型:基于仿真,建立水处理工艺的动态模型,如水质变化预测模型、能耗优化模型等。

2.3.2 核心功能

工艺智能控制:智能控制系统能实现以出水水质指标(如氨氮、总氮、总磷)为目标导向的智慧化决策与自动化运行,基于活性污泥模型,完成复杂工艺环节的自动化、精细化控制,至少

包括: 精确曝气流量控制系统、加药除磷智能控制系统、碳源投加智能控制系统等。

智慧运营管控: 智慧污水厂运营管控平台为污水厂的管理和运行提供了统一的运营和管理信息化平台界面。平台需集成: 污水厂运行监控、视频安防、设备管理等多种应用数据, 提供电脑登录和手机APP登录等多种操作体验, 实现污水厂“少人/无人值守”, 为污水厂运营和管理提供相关数据。

2.4 智能化控制

通过建立自动化控制系统, 实现对远程监控与操作、污水处理过程、流程优化等的自动化控制。例如, 根据流入水量的变化调整曝气池的供氧量, 以达到节能降耗的目的, 可以优化设备的运行时间和能耗^[4]。

数字化污水厂智能控制的主要算法及适应范围: 智能控制的实现依赖于先进的算法, 算法的优劣直接影响工艺运行的稳定性与效率。以下是智能控制中常用算法及其适应范围的概述: 回归算法: 适用于线性或非线性关系明显的控制变量预测, 如水量和污染物浓度的趋势预测。神经网络: 用于处理复杂的非线性关系, 如实时优化曝气池的溶解氧控制。决策树与随机森林: 可用于工艺故障诊断和运行优化决策。强化学习: 适合动态、实时优化, 如加药控制的自适应调整。粒子群算法与遗传算法: 在优化能耗与处理效率的多目标控制中具有良好表现。聚类算法: 用于分类和分析处理环节的数据特性, 如污泥负荷分布分析。贝叶斯网络: 在不确定性较高的工艺环节中, 可作为因果关系分析的工具。

2.4.1 智能化控制的主要控制环节

不同工艺环节对智能控制的需求各异, 选择适宜的智能控制方法尤为重要: 对于原理简单、逻辑性强的环节, 可采用传统自动控制。在复杂工艺环节中, 结合自动控制与智能控制能够显著提升效果。

2.4.2 智能控制技术要求

根据水厂的工艺特点, 智能控制可以包括水平衡智能控制、智能加药絮凝、智能反冲洗、泵组优化智能控制、智能曝气、智能内回流、智能照明、智能通风等。

智慧化决策结合具体应用场景需求建立模拟分析(工艺模型、水质模型、控制模型和调度模型)、机器学习(数据仓库、联机分析处理和数据挖掘)及分析判断(知识库、专家库、预案库、案例库)等实现科学决策支持。

在数字化污水厂中, 智慧化决策是实现科学化管理和优化运行的重要环节。以启东第二污水厂为例, 智慧化决策通过先进的数据分析和智能算法, 将大量实时数据转化为可执行的决策支持和优化方案。以下是智慧化决策在数字化污水厂中的具体应用主要爆款优化运行资源调度和异常检测故障诊断: 数字化

污水厂平台通过智能算法, 实现水处理工艺的优化和资源的合理调度。基于水质监测数据和消费需求预测, 系统可以自动调整水处理工艺参数, 提高水质的稳定性, 同时优化能源利用效率。此外, 通过分析实时流量、压力和水质等数据, 系统能够智能调度水泵和阀门, 从而实现能耗的优化和设备的高效利用。异常检测与故障诊断具备异常检测和故障诊断功能, 能够实时监控设备的工作状态, 对潜在的故障和异常情况进行识别和预警。通过这些功能, 运营人员能够根据诊断结果及时采取维修和保养措施, 提高设备的可靠性和维护效率, 减少停机时间和维护成本^[5]。

3 数字化污水厂实践

以启东第二污水厂建设为例, 该水厂的智慧水务系统立足于“安全运行、节能降耗、保障水质、减员增效”的目标, 基于整体规划、迭代建设的原则, 实现污水厂整体信息化和工业化的深度融合, 搭建智慧运营管控平台, 合理人员配置, 创新污水厂运行维护管理模式, 并对曝气、加药等工艺环节进行优化控制实现每个工艺环节的闭环联动控制, 使污水厂的运营更加高效化、生产更加智能化、管理更加精细化、决策更加科学化、服务更加个性化, 从而实现污水厂可靠、高效的少人/无人值守安全运行。

4 结论

数字化污水厂的建设为水务行业的管理效率和生产质量提供了有效的提升途径。物联网、多维传感器融合、大数据分析、智能化控制、数字孪生等技术融入污水处理厂的运营, 能够显著优化水处理工艺、减少人工干预、提高处理效率, 并加强水质监控与自动化控制。启东第二污水厂的实践表明, 数字化转型不仅优化了污水处理的各个环节, 推动了生产的智能化、管理的精细化, 还实现了水务系统的可持续发展。

[参考文献]

- [1]倪晓棠, 黄海伟, 田永英, 等. 我国智慧水务现状与未来发展趋势浅析[J]. 建设科技, 2023(10):6-10.
- [2]刘放平, 李烈岳. 基于物联网的智慧水务系统在污水处理中的应用研究[J]. 科学技术创新, 2020(13):90-91.
- [3]谢军. 某污水处理厂智慧管理平台建设设计探讨[J]. 绿色建筑与智能建筑, 2022(12):3.
- [4]郑宇祺. 污水处理厂的智慧化改造[J]. 新型工业化, 2022(6):5.
- [5]尹勇, 陈小旭, 刘威. 智慧水务视角下水务数字化转型的挑战与实践分析[J]. 智慧中国, 2023(09):88-89.

作者简介:

张伯进(1984--), 男, 汉族, 江苏省人, 本科, 专业: 城市公共安全管理、职称: 中级工程师、研究方向: 水务信息化。