

智能化监测技术在工业污水治理全流程管控中的应用与效能评估

丁力¹, 黄圣杰², 简云昊¹

1. 重庆市三峡水务有限责任公司, 重庆 401123

2. 重庆市豪洋水务建设管理有限公司, 重庆 401123

DOI:10.61369/UAID.2026020002

摘 要 : 针对传统工业污水治理存在的监测精度低、响应滞后及管理被动等问题, 本文探讨了智能化监测技术在工业污水治理全流程管控中的应用与效能。文章构建了涵盖感知层、网络层、平台层、应用层及数据安全域与运维管理域的四层两域智能化监测架构, 并确立了数据标准化与多源数据融合机制。梳理了该技术在源头监测与精准溯源、过程处理智能控制与优化、末端排放合规性管理三大环节的具体应用路径。

关 键 词 : 智能化监测技术; 工业污水治理; 全流程管控; 数据融合

Application and Effectiveness Evaluation of Intelligent Monitoring Technology in the Whole-Process Management and Control of Industrial Wastewater Treatment

Ding Li¹, Huang Shengjie², Jian Yunhao¹

1. Chongqing Three Gorges Water Co., Ltd., Chongqing 401123

2. Chongqing Haoyang Water Construction and Management Co., Ltd., Chongqing 401123

Abstract : In response to the issues of low monitoring accuracy, delayed response, and passive management in traditional industrial wastewater treatment, this paper explores the application and effectiveness of intelligent monitoring technology in the whole-process management and control of industrial wastewater treatment. The paper constructs a four-layer and two-domain intelligent monitoring architecture that encompasses the perception layer, network layer, platform layer, application layer, as well as data security and operation and maintenance management domains, and establishes mechanisms for data standardization and multi-source data fusion. It outlines the specific application paths of this technology in three key areas: source monitoring and precise traceability, intelligent control and optimization of process treatment, and compliance management of end-of-pipe emissions.

Keywords : intelligent monitoring technology; industrial wastewater treatment; whole-process management and control; data fusion

引言

随着物联网、5G 通信、大数据和人工智能等新一代信息技术的迅猛发展, 智能化监测技术为破解传统污水治理难题提供了全新路径。通过部署高精度传感网络、融合多源异构数据并引入智能算法模型, 智能化监测技术能够实现从源头排放到末端出水的全链路实时监控、智能预警与动态优化, 推动工业污水治理由传统的人工巡查 + 事后处置向实时监测 + 提前预警 + 精准管控的主动防御模式转变。

基于此, 本文系统探讨智能化监测技术在工业污水治理全流程管控中的应用。通过构建四层两域的智能化监测应用架构与数据标准化融合机制, 详细梳理技术在源头溯源、过程优化及末端合规等环节的具体应用路径, 并结合模拟数据从技术、经济与管理三个维度开展综合效能评估, 旨在验证智能化监测技术的应用价值, 为工业企业污水治理的数字化转型与全流程精细化管控提供理论依据与实践参考。

一、智能化监测在工业污水治理全流程中的应用架构

（一）整体架构设计

为在保护水资源的同时，又使水资源得到合理利用，工业废水的治理工作就显得尤为重要，这就要求有关单位要高度重视，并对治理过程中常见的问题进行全面分析，结合时代的发展，采用先进的技术和手段及时处理工业废水，从而保证水资源的质量，使可持续发展的思想得到有效贯彻^[1]。在工业污水治理全流程中，智能化监测的应用可构建为四层两域的智能化监测架构。其中，四层包括感知层、网络层、平台层与应用层；两域为数据安全域与运维管理域，共同支撑污水治理的全链路闭环管控，适配多环节、多场景需求^[2]。感知层部署于污水排放及处理各节点以及周边水体，集成水质、流量、液位传感器与视频监控设备，通过物联网实时采集多维度数据，并经过预处理过滤无效数据。网络层采5G+物联网+边缘计算模式，边缘节点对数据进行本地化处理，实现数据减量与降延；有效数据通过5G或光纤传输，同时支持设备远程控制指令的反向传输^[3]。平台层作为系统的核心支撑中心，包含三大模块：采用分布式架构的数据存储模块（用于存储海量数据）、数据处理模块（实现数据清洗与整合）、以及算法模型模块（依托机器学习等技术支撑智能分析）。应用层设置源头溯源、过程控制、末端合规、效能评估四大模块，提供数据可视化、智能决策等服务，全面满足企业与监管部门的需求^[4]。两域贯穿四层架构：数据安全域通过加密、访问控制等手段，保障全流程数据安全；运维管理域监测设备状态、预警故障、定期校准，确保系统稳定运行。

（二）数据标准化与融合机制

数据标准化是多源数据高效利用的前提，需构建涵盖采集、格式、指标、编码的统一规范体系^[5]。采集标准化明确传感器采集频次与精度（如COD传感器每小时采集不少于1次，精度误差 $\leq \pm 5\%$ ）；格式标准化采用JSON作为统一交换格式；指标标准化参照《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）等国标，统一水质指标定义、单位与判定标准；编码标准化对监测点位、设备及数据类型赋予唯一编码，实现数据溯源与关联分析^[6]。数据融合遵循多源采集-分层融合-智能校验流程，采集阶段整合传感器监测、人工抽检、工艺运行及环保监管等多源数据；分层融合分为数据层（清洗去重、格式统一）、特征层（提取水质波动、工艺参数关联等关键特征）、决策层（综合研判输出精准决策）三个层级；智能校验通过交叉验证、阈值判定、历史数据比对等方式剔除异常数据，保障数据可靠性。同时建立数据更新机制，实时同步新增数据与标准变更内容，确保数据时效性与规范性。

二、智能化监测技术在全流程各环节的具体应用

（一）源头监测与溯源管理

源头监测聚焦工业企业各车间排放口，构建实时监测+异常预警+精准溯源管控模式，从源头遏制污染物超标排放^[7]。在各排放口部署多参数水质与流量传感器，实时监测pH值、COD、

氨氮、总氮等核心指标及污水排放量，数据同步上传平台，实现24小时不间断监控^[8]。监测数据异常时，系统自动触发预警，通过短信、平台弹窗通知管理人员，并联动视频监控调取现场画面辅助研判。污染溯源环节，基于标准化融合数据构建排放点位-生产工序-原料消耗关联模型，结合机器学习算法分析异常指标与工艺参数、原料用量的相关性，快速定位污染源头，如氨氮浓度超标时，可精准判定是否为工序原料投放过量，并锁定具体工序与设备。

（二）过程处理环节的智能控制与优化

工业污水处理涵盖格栅、沉砂池、生化反应池、二沉池等多工艺节点，智能化监测技术以实时监测-动态调控-工艺优化模式，提升处理效率与稳定性，降低能耗药耗。各节点部署专用设备监测核心指标，如生化反应池的溶解氧、污泥浓度等，二沉池的出水浊度、污泥回流比等，实时掌握运行状态。基于平台算法模型，系统可动态调控参数，如生化池溶解氧不足时自动提高曝气功率，污泥浓度过高时调节回流与排放速率；结合深度学习构建水质预测模型，依据历史数据预判水质趋势，提前调整参数避免出水超标。此外，通过全流程大数据分析，挖掘工艺参数与处理效果、能耗药耗的关联以优化运行方案，并基于监测数据异常预判设备故障与工艺问题，及时预警处置，减少对处理流程的影响。

（三）末端排放与合规性管理

末端排放管控以达标排放为核心，构建实时监测-合规判定-异常处置-数据上报全链条管控体系，保障污水排放符合国标与环保要求^[9]。在总排放口部署高精度多参数监测设备，实时监测水质指标与排放量，数据同步上传企业管理平台及环保监管平台，实现企业自管+政府监管双重管控^[10]。合规性管理模块依托标准化指标体系，自动判定排放数据合规性并生成报告。达标数据建档留存，超标情况分级预警处置，一般超标时自动关闭排放口、切换至应急储存池并通知排查；严重超标时叠加向监管部门上报。系统兼具数据追溯与档案管理功能，支持多维度查询统计，生成周期排放报告，为环保核查、排污许可年检提供数据支撑；同时联动视频监控与监测数据，杜绝偷排漏排，保障管控实效。

三、应用效能的模拟分析与讨论

（一）技术效能分析

基于某化工企业污水治理项目模拟数据，对比智能化监测系统应用前后的技术指标表现。应用前，采用传统人工采样监测模式，监测指标误差率平均为8.2%，系统（传统监测设备）正常运行率为88.5%，COD去除率稳定在82%左右，数据有效率为90.3%；应用智能化监测系统后，监测指标误差率降至4.1%，符合目标要求，得益于高精度传感器与智能校验机制的应用；系统正常运行率提升至96.2%，设备故障预警与及时运维有效减少了停机时间；通过工艺参数智能优化，COD去除率提升至85.3%，提升幅度达3.3%，出水水质稳定性显著增强；数据有效率提升至

98.7%，多源数据融合与智能清洗技术有效剔除了无效数据。技术效能分析表明，智能化监测技术可显著提升工业污水治理的监测精度与工艺优化能力，增强系统运行稳定性与数据可靠性，为污水治理全流程管控提供坚实技术支撑。但模拟过程中也发现，极端天气（如高温、暴雨）可能影响传感器精度，需进一步优化传感器防护设计与校准机制。

（二）经济效能分析

从投资与效益两方面开展经济效能模拟分析，以日处理水量10000m³的工业污水治理项目为例。智能化监测系统总投资约120万元，较传统监测设备投资增加40万元，但系统应用后，单位处理水量运行成本从1.8元 /m³ 降至1.58元 /m³，降低比例达12.2%；月均电费节约1.2万元，电费节约率为9.5%；月均药剂消耗量减少800kg，药剂消耗降低率为6.3%。按年运行300天计算，年节约运行成本约7.92万元，投资回收期约5.05年，具备较好的长期经济效益。此外，系统应用后减少了因超标排放导致的罚款损失，同时降低了人工监管成本，间接提升了经济效能。经济效能分析显示，智能化监测系统虽初期投资较高，但可通过节能降耗、减少损失等方式实现长期收益，符合企业绿色低碳发展的成本控制需求。

（三）管理效能分析

模拟数据显示，智能化监测系统应用后，企业人工监管成本降低25.6%，减少了专职监测人员配置，将管理人员从繁琐的人工采样、数据分析工作中解放出来；污水排放达标率从96.8%提

升至99.2%，有效规避了环保合规风险；异常情况响应时间从120分钟缩短至25分钟，污染溯源时长从4小时缩短至1.5小时，大幅提升了应急处置效率与管理精准度。在管理方式的优化方面，该智能监控系统能够对整个过程中的废水进行可视化和智能化的决策，将传统的手工巡查 + 事后处理的被动管理方式转变为“实时监控 + 事前预警 + 精确处置”的积极控制模式，提高管理决策的科学性和高效性。同时，该系统还能自动产生符合要求的报表和统计资料，方便企业进行环保监督检查，降低企业和监管机构之间的交流成本。管理有效性分析显示，智能监控技术在提高企业内部废水处理管理水平的同时，建立企业和监管机构的协同控制机制，促进了工业废水处理模式的智能化和标准化升级。

四、结束语

本文围绕工业污水治理全流程管控需求，系统构建了基于智能化监测技术的四层两域应用架构，明确了从数据采集、标准化处理到多源融合的技术路径，并分别在源头监测与溯源管理、过程处理智能控制与优化、末端排放与合规性管理三个关键环节提出了具体应用方案。通过基于某化工企业模拟数据的技术、经济与管理三维效能评估，验证了智能化监测系统在提升监测精度、优化工艺运行、降低运行成本、缩短异常响应时间、提高达标排放率等方面的显著优势。

参考文献

[1] 彭涛, 彭帅. 环境工程工业污水治理中常见问题分析与措施 [J]. 中国化工贸易, 2020, 12(17): 162-163.
[2] 王雪清, 郭宏山, 邢心语. 石油化工园区污水治理技术与对策研究 [J]. 工业水处理, 2023, 43(11): 7-14. DOI: 10.19965/j.cnki.iwt.2023-0566.
[3] 鲁珊珊, 安雅娟. 探讨常见工业污水治理方法 [J]. 资源节约与环保, 2015(12): 66. DOI: 10.3969/j.issn.1673-2251.2015.12.052.
[4] 袁曙光, 邓杰, 沈娟. 常见工业污水治理方法的研究 [J]. 资源节约与环保, 2016(5): 35-35. DOI: 10.3969/j.issn.1673-2251.2016.05.035.
[5] 朱蕾, 彭晓燕. 工业污水治理中常见问题探究 [J]. 环境与发展, 2018, 30(10): 44, 46. DOI: 10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.10.024.
[6] 李飞飞. 环境工程中工业污水治理的常见问题 [J]. 化工管理, 2021(32): 36-37. DOI: 10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2021.32.016.
[7] 王帅彬. 环境工程中工业污水治理的常见问题研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(11): 12-14. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2023-11-03.
[8] 曹东. 工业污水治理中常见问题分析与措施 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(14): 104-105.
[9] 丁海燕. 工业污水治理中常见问题分析与措施 [J]. 环境与发展, 2019, 31(1): 33-34. DOI: 10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2019.01.016.
[10] 孙齐远. 环境工程中工业污水治理的主要问题及应对策略 [C]// 第三届基础教育教学方法研究论坛论文集. 2024: 1-5.