

工业废水处理厂出水水质多指标协同监测与智能预警技术研究

陈秀芳

佛山市南海西樵鑫龙水处理有限公司，广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ERA.2025080030

摘要： 本文围绕工业废水处理厂出水水质监测展开。阐述了常规监测技术的优缺点，强调多指标协同监测的必要性，介绍了监测指标筛选方法、集成化监测系统构建、预测算法及预警模型，还涉及数据准确性保障、新技术应用，最后提出未来研究方向。

关键词： 工业废水；水质监测；智能预警

Research on Multi-index Collaborative Monitoring and Intelligent Early Warning Technology of Effluent Quality in Industrial Wastewater Treatment Plants

Chen Xiufang

Foshan Nanhai Xiqiao Xinlong Water Treatment Co, LTD. Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This paper focuses on the monitoring of effluent quality in industrial wastewater treatment plants. It expounds on the advantages and disadvantages of conventional monitoring technologies, emphasizes the necessity of multi-index collaborative monitoring, and introduces the screening method of monitoring indicators, the construction of an integrated monitoring system, prediction algorithms, and early warning models. It also involves ensuring the accuracy of data and the application of new technologies, and finally puts forward the future research directions.

Keywords： industrial wastewater; water quality monitoring; intelligent early warning

引言

随着工业化进程的加速，工业废水污染问题日益严峻。2023年颁布的《水污染防治行动计划》强调了加强工业废水治理的重要性。工业废水水质复杂，包含多种有害物质，传统监测方法在多参数同步监测、实时性和抗干扰能力等方面存在局限。单一指标监测无法全面反映水质状况，因此构建多指标协同监测体系至关重要。同时，为及时应对水质异常，智能预警技术也不可或缺。本研究围绕工业废水处理厂出水水质多指标协同监测与智能预警技术展开探讨，旨在为工业废水处理及环境监测领域的发展提供理论支撑。

一、工业废水水质监测技术原理与现状

（一）常规监测技术分类与局限

工业废水水质监测中，常规监测技术包括化学分析法、光谱技术和生物传感器等。化学分析法是通过化学反应来确定物质的组成和含量，应用广泛，但操作复杂且耗时，难以实现实时监测^[1]。光谱技术基于物质对光的吸收、发射或散射特性进行分析，具有快速、无损等优点，但仪器昂贵且对样品前处理要求高。生物传感器则利用生物活性物质与污染物的特异性反应来检测水质，灵敏度高，但稳定性和重现性较差，且易受环境因素干扰。这些传统监测方法在多参数同步监测方面存在局限，难以同时准确测量多个水质指标。实时性也不足，无法满足对工业废水水质

快速变化的及时监测需求。抗干扰能力弱，复杂的工业废水环境会影响监测结果的准确性。

（二）多指标协同监测需求分析

工业废水污染物组分复杂，包含多种有害物质，如有机物、重金属等。单一指标监测无法全面反映水质状况，可能导致对污染程度的误判。例如，仅监测 COD 无法了解重金属污染情况，而重金属超标可能对生态环境和人体健康造成严重危害^[2]。pH 值作为基本指标，其变化会影响其他污染物的存在形式和毒性。因此，pH 值、COD、重金属等关键参数的协同监测十分必要。通过协同监测这些关键参数，可构建多维度水质评价指标体系，更全面、准确地评估工业废水水质，为废水处理和环境监管提供科学依据。

二、多指标协同监测体系构建

（一）监测指标筛选与优化

工业废水成分复杂，监测指标众多，需筛选并优化。可采用主成分分析法确定核心监测参数，该方法能有效提取关键信息，减少指标数量同时保留主要特征^[3]。建立基于污染源特征和排放标准的动态指标筛选模型，考虑废水来源及处理后应达到的标准，使筛选出的指标更具针对性和实用性。此外，提出指标权重分配算法，根据各指标对水质影响的重要程度合理分配权重，突出关键指标的作用，从而构建科学合理的监测指标体系，为工业废水处理厂出水水质的准确监测和有效管理提供有力支撑。

（二）协同监测系统架构设计

构建包含传感器阵列、数据传输模块、云端处理平台的集成化监测系统。传感器阵列负责采集工业废水处理厂出水水质的多指标数据，应根据监测需求合理选择传感器类型及数量，确保数据的准确性和全面性^[4]。数据传输模块将传感器采集到的数据传输至云端处理平台，需保证传输的稳定性和及时性，可采用合适的通信技术实现。云端处理平台对接收的数据进行存储、分析和处理。在此基础上，运用多源数据融合算法对来自不同传感器的数据进行融合，提高数据的可靠性和有效性。同时，建立异常数据识别机制，及时发现水质异常情况，为后续的智能预警提供支持。

三、智能预警技术开发与应用

（一）机器学习预警模型构建

1. 时序预测算法选择

在出水水质预测中，需对多种时序预测算法进行适用性分析。LSTM 算法具有处理长期依赖关系的能力，适用于水质数据这种具有时间序列特性的预测任务^[5]。它能够学习到数据中的长期模式，对水质变化趋势进行有效捕捉。ARIMA 算法则是一种经典的时间序列分析方法，在平稳时间序列预测方面有良好表现。然而，工业废水处理厂出水水质数据可能存在复杂的非线性关系和季节性波动，单一算法可能存在局限性。因此，有必要建立基于注意力机制的改进预测模型。注意力机制可以使模型更加关注对预测结果有重要影响的特征和时间步，提高预测的准确性和可靠性，更好地适应水质数据的复杂性。

2. 多参数关联预警模型

构建多参数关联预警模型需开发污染物浓度关联网络模型。该模型基于大量的工业废水处理厂监测数据，利用机器学习算法挖掘不同水质参数之间的潜在关联关系^[6]。通过对这些关联关系的深入分析，可以准确识别出在正常运行情况下各参数之间的协同变化模式。一旦出现异常情况，如某个或多个参数偏离正常范围，模型能够依据已建立的关联网络迅速追溯到可能的异常源头。同时，针对复合污染情况，模型可综合考虑多个相关参数的变化，发出准确的预警信号，为及时采取措施保障出水水质提供有力支持。

（二）动态预警阈值设定

1. 自适应阈值算法开发

基于历史数据统计特征和工艺运行状态设计动态调整的预警阈值生成机制。通过分析历史数据，挖掘其中的统计规律，例如均值、标准差、极值等信息，以此为基础构建初始阈值模型^[7]。同时，考虑工艺运行状态对水质的影响，结合实时监测的工艺参数，如流量、温度、处理时间等，对阈值进行动态调整。利用机器学习算法，如神经网络、支持向量机等，学习历史数据和工艺参数与水质指标之间的复杂关系，不断优化阈值模型，使其能够自适应不同工况下的水质变化，提高预警的准确性和及时性。

2. 预警响应策略优化

动态预警阈值设定需综合考虑多方面因素，如工业废水的成分复杂性、处理工艺的稳定性以及环境条件的多变性等。通过对大量历史数据的分析和挖掘，结合先进的数据分析算法，确定合理的阈值范围，并使其能够根据实际情况动态调整^[8]。预警响应策略优化方面，应建立分级预警机制，针对不同等级的预警制定详细且具有针对性的应急处置预案与工艺调控方案。对于低级别预警，可采取一些初步的调整措施，如优化工艺参数等；而对于高级别预警，则需要迅速启动更为严格的应急处置程序，包括暂停部分生产环节、加大处理药剂投放量等，以确保出水水质符合标准，降低对环境的潜在危害。

四、质量控制与技术创新方向

（一）监测数据质量控制体系

1. 传感器校准与维护标准

为确保监测数据的准确性，需制定严格的传感器校准与维护标准。首先应建立在线监测设备定期校准规程，明确校准周期、校准方法及校准参数。例如，对于水质监测中的 pH 传感器，可规定每 [X] 周进行一次校准，采用标准缓冲溶液进行两点校准法，确保测量误差在允许范围内^[9]。同时，要建立基于标准物质的质量控制方法，定期使用标准物质对传感器进行检验，验证其准确性和可靠性。在维护方面，制定详细的维护计划，包括传感器的清洁、更换易损部件等。定期对传感器进行清洁，去除表面的污垢和杂质，防止其对测量结果产生干扰。对于易损部件，如电极等，根据其使用寿命和实际使用情况及时更换，确保传感器始终处于良好的工作状态。

2. 数据验证与修正算法

为确保监测数据的完整性，开发了异常数据识别算法与缺失数据补偿模型。异常数据识别算法通过分析数据的分布特征、变化趋势以及与其他指标的关联性，设定合理的阈值和判别规则，识别出可能存在异常的数据点^[10]。对于这些异常数据，进一步采用统计分析方法和基于物理化学原理的模型进行验证和修正。缺失数据补偿模型则基于历史数据和相关变量之间的关系，建立预测模型。通过分析已有数据的规律和趋势，对缺失的数据进行合理估计和填充，从而提高监测数据的质量和可靠性，为工业废水处理厂的运行管理和决策提供准确的数据支持。

（二）新型监测技术集成应用

1. 光谱联用技术开发

UV - Vis 光谱与荧光光谱联合检测技术是一种有效的有机物污染快速筛查方法。该技术基于两种光谱的互补特性，能够提供更全面的有机物信息。UV - Vis 光谱对具有共轭双键结构的有机物有较好的响应，可检测出一些芳香族化合物和不饱和有机物。荧光光谱则对具有荧光特性的有机物敏感，能检测出多环芳烃等物质。通过联合这两种光谱技术，可以扩大检测范围，提高检测的准确性和灵敏度。在实际应用中，利用先进的仪器设备和数据处理算法，对采集到的光谱数据进行处理和分析，从而实现对工业污水处理厂出水中有机物污染的快速筛查，为水质监测和预警提供有力支持。

2. 微流控芯片传感器研发

微流控芯片传感器研发在工业污水处理厂出水水质监测中具有重要意义。该研发聚焦于设计多参数集成检测微流控芯片，以提升现场快速检测能力。通过将多种检测功能集成于单一芯片，能够同时对多个水质指标进行分析，减少检测时间和成本。芯片的设计基于微流控技术原理，利用微小通道对流体进行精确操控，实现样本的高效处理和分析。在传感器的选择上，结合不同水质指标的特性，选用特异性高、灵敏度强的传感器，确保检测结果的准确性。同时，考虑芯片的稳定性和耐用性，采用合适的材料和制造工艺，使其能够适应复杂的工业废水环境，为水质监测提供可靠的技术支持。

（三）智慧化监测系统发展方向

1. 物联网平台深度整合

5G 通信与边缘计算技术在智慧化监测系统的物联网平台深度整合中具有重要应用前景。5G 的高速率、低延迟特性可实现监测数据的快速传输，确保实时性。边缘计算则能在靠近数据源的网络边缘进行数据处理，减少数据传输至云端的压力，提高系统响

应速度。在工业污水处理厂出水水质监测中，利用 5G 通信将大量水质传感器采集的数据迅速上传至物联网平台，再借助边缘计算技术对数据进行实时分析处理，及时发现水质异常情况并发出智能预警。同时，5G 与边缘计算的结合可优化物联网平台的资源分配，提高整个监测系统的可靠性和稳定性，为出水水质的精准监测和有效控制提供有力技术支撑。

2. 数字孪生技术应用

数字孪生技术在工业污水处理厂监测系统中具有重要应用。通过构建污水处理厂数字孪生系统，可实现对污水处理过程的精确模拟和实时监测。利用传感器等设备采集的数据，在虚拟模型中反映实际处理厂的运行状态。基于此，当水质指标出现异常波动时，能迅速在虚拟模型中体现，进而触发智能预警机制。这不仅有助于及时发现潜在的水质问题，还能为操作人员提供决策支持，使其可根据虚拟模型中的分析结果，提前采取措施调整处理工艺参数，确保出水水质稳定达标，实现虚拟现实联动的高效水质监测与管理。

五、总结

本研究系统探讨了工业污水处理厂出水水质多指标协同监测与智能预警技术。多指标协同监测体系具有多方面优势，能更全面准确地反映水质状况。智能预警模型在实际工程应用中也展现出良好效果，可及时发现水质异常。然而，当前技术仍面临一些挑战。未来需重点突破微型化传感器研发，以实现更便捷高效的监测；加强多源异构数据融合，提升数据利用效率和准确性；提高预警模型可解释性，增强模型的可信度和实用性。通过这些方向的突破，可为构建智慧化环境监测体系提供坚实的理论支撑，推动工业废水处理及环境监测领域的进一步发展。

参考文献

- [1] 钟山. 电站水质智能监测与控制技术研究 [D]. 江苏：南京航空航天大学，2016.
- [2] 王肖颖. 城市供水水质监测与预警系统研究 [D]. 重庆：重庆大学，2015.
- [3] 袁学华. 安徽省某污水处理厂污水主要水质指标的监测与处理效果分析 [D]. 安徽：安徽农业大学，2013.
- [4] 李玥. 水源水质在线监测预警系统的建设及运用研究 [J]. 水土保持应用技术，2017(1):33-34.
- [5] 尚庆国，王琳，李春俊. 城市供水源地水质监测与预警系统研究 [J]. 治淮，2017(8):44.
- [6] 周丰，魏康林，戴贤明，等. 多参数水质监测与预警仪测控系统设计 [J]. 信息通信，2017(11):54-57,59.
- [7] 周玉娇，熊鹰. 生活污水处理厂协同处置工业废水问题研究 [J]. 四川化工，2022,25(1):51-54.
- [8] 刘琼，刘勇，孙秉成，等. 瓦斯涌出智能分析及预警技术研究与应用 [J]. 采矿技术，2018,18(1):59-62.
- [9] 杨春旺. 岸基柜式水质在线监测预警系统 [J]. 低碳世界，2017(18):1-2.
- [10] 赵彦. 供水水源水质监测和预警研究 [J]. 食品安全导刊，2023(7):166-168.