

人工智能在污水处理中的应用

段磊 付心怡 李茜

西安市生态环境局高新分局

DOI:10.12238/eep.v8i1.2482

[摘要] 随着全球工业化和城市化进程的加速,水资源短缺和水污染问题日益严峻。污水处理作为解决水污染的重要手段,其效率和成本控制成为关键问题。近年来,人工智能(AI)技术的飞速发展为污水处理领域带来了新的机遇。特别是诸如ChatGPT、DeepSeek等开源大模型更方便了人工智能(AI)的训练,通过更强大的数据处理能力、模式识别能力和智能决策能力,能够有效优化污水处理过程,提高处理效率,降低运营成本,同时为环境监测和污染治理提供科学依据。本文将简述人工智能(AI)技术在城镇污水出厂污泥膨胀预警的应用,并分析未来的发展趋势。

[关键词] 人工智能; 城镇污水处理厂; 污泥膨胀; 提前预警

中图分类号: S273.5 文献标识码: A

Application of artificial intelligence in sewage treatment

Lei Duan Xinyi Fu Qian Li

Xi'an Ecological Environment Bureau High-tech Branch

[Abstract] With the acceleration of global industrialization and urbanization, water scarcity and water pollution have become increasingly severe. Wastewater treatment, as an important means to address water pollution, faces key challenges in terms of efficiency and cost control. In recent years, the rapid development of artificial intelligence (AI) technology has brought new opportunities to the field of wastewater treatment. In particular, open-source large language models such as ChatGPT and DeepSeek have made the training of AI more accessible. Equipped with more powerful data processing, pattern recognition, and intelligent decision-making capabilities, these technologies can effectively optimize the wastewater treatment process, improve treatment efficiency, reduce operational costs, and provide a scientific basis for environmental monitoring and pollution control. This paper will briefly describe the application of AI technology in predicting sludge bulking in urban wastewater treatment plants and analyze future development trends.

[Key words] Artificial intelligence; urban sewage treatment plant; sludge expansion; early warning

引言

传统污水处理依赖人工经验和固定工艺参数,面临水质波动适应能力弱、能耗高、运维成本高等痛点。近年来,以深度学习为代表的人工智能技术为行业注入新动能。AI通过大模型和独有的自研算法与行业场景深度融合,在污水处理领域打造了智能化解决方案,并在多个实际场景中验证了其技术价值^[1]。

1 人工智能在污水处理中的应用现状

1.1 污水监测与数据采集。污水处理过程中,准确监测污水的水质参数是实现有效治理的基础。传统的监测方法依赖于人工采样和实验室分析,这种方法不仅耗时费力,而且难以实时反映污水水质的变化。AI技术结合物联网(IoT)传感器网络,可以实现对污水水质的实时监测和数据采集。通过在污水排放口、污水处理厂进水口和处理过程中关键节点部署传感器, AI系统

能够实时收集污水的化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)等关键水质参数的数据。这些数据可以被传输到云端或本地服务器,供AI模型进行分析和处理。

例如,基于机器学习的传感器融合技术可以整合多种传感器的数据,提高监测的准确性和可靠性。通过深度学习算法, AI系统能够自动识别和校准传感器数据中的异常值,确保监测数据的质量。此外, AI还可以利用图像识别技术对污水的颜色、浊度等外观特征进行监测,进一步丰富水质监测的维度。

1.2 污水处理过程优化。污水处理是一个复杂的生物化学过程,涉及多个阶段和多种工艺参数的调控。AI技术能够通过对历史数据的学习和分析,建立污水处理过程的预测模型,从而实现对处理过程的优化控制。例如,人工神经网络(ANN)和遗传算法(GA)等AI方法可以用于预测污水处理厂的出水水质,优化曝气

量、药剂投加量等关键参数,提高处理效率,降低能耗和药剂成本。

在生物处理阶段, AI可以通过分析微生物群落结构和活性数据,优化生物反应器的运行条件,提高生物降解效率。例如,通过机器学习算法对微生物群落的基因测序数据进行分析,可以预测微生物对不同污染物的降解能力,从而为生物处理工艺的优化提供依据。此外,AI还可以用于优化污泥处理过程,通过预测污泥的产量和特性,优化污泥的脱水和处置工艺,降低污泥处理成本。

1.3 故障诊断与预测。污水处理厂的设备运行状态直接影响污水处理的效果和成本。AI技术可以通过对设备运行数据的实时监测和分析,实现故障的早期诊断和预测维护。例如,通过机器学习算法对设备的振动、温度、电流等运行参数进行建模,可以实时监测设备的运行状态,预测设备可能出现的故障。一旦发现异常,AI系统可以及时发出警报,并提供故障诊断报告,帮助维护人员快速定位和解决问题。

此外,AI还可以结合大数据分析技术,对污水处理厂的历史故障数据进行挖掘,找出故障发生的规律和趋势,为预防性维护提供决策支持。通过优化维护计划,减少设备停机时间,提高污水处理厂的运行效率和可靠性。

1.4 预测预警。AI技术在水污染预测预警方面具有显著优势^[3]。通过对历史水质数据和气象数据的分析, AI模型可以预测未来一段时间内污水水质的变化趋势,为污水处理厂的运行提供提前预警。例如,基于深度学习的长短期记忆网络(LSTM)和卷积神经网络(CNN)等模型可以用于预测暴雨、洪水等极端天气事件对污水水质的影响,提前调整污水处理厂的运行参数,确保出水水质达标。

此外,AI还可以结合地理信息系统(GIS)技术,对流域内的水污染扩散进行模拟和预测,为区域水污染治理提供决策支持。通过实时监测和预测水污染的时空分布, AI系统可以为环境管理部门提供科学依据,优化污染治理方案,提高水环境质量。

2 城镇污水处理厂污泥膨胀AI预警方案

污泥膨胀预警目标是提前24小时到72小时预测污泥膨胀(SVI>150mL/g)风险,说到污泥膨胀,首先要提到一个关键指标SVI。SVI是污水处理领域的关键参数,全称为Sludge Volume Index(污泥体积指数),用于评估活性污泥的沉降性能和浓缩特性^[2]。

2.1 定义与计算公式。SVI=(30分钟沉降后污泥体积占混合液体积的百分比)/(混合液悬浮固体浓度)×10。

SV₃₀:曝气池混合液在1000mL量筒中静置30分钟后的污泥体积(mL/L)。

MLS:混合液悬浮固体浓度(g/L)。

2.2 物理意义。沉降能力:反映污泥颗粒在重力作用下的自然沉降速度。

(SVI值越高,污泥沉降越慢,易发生膨胀)

浓缩特性:表征污泥在二沉池中的浓缩效果

(理想SVI值对应污泥浓度与回流比的平衡点)

2.3 典型数值范围与解读。

SVI值(mL/g)	污泥状态	处理建议
<50	污泥密实,可能老化	检查F/M比,调整排泥量
50-150	正常状态	维持现有工艺参数
150-200	轻微膨胀风险	监测丝状菌,优化DO控制
>200	严重膨胀(如Type 021N)	需投加药剂或工艺改造

3 关键技术特点

3.1 多维度预警指标体系。核心参数: SVI(主指标)、丝状菌长度(图像识别)、SOUR(比耗氧速率)。

辅助参数:进水C/N比、DO浓度梯度、F/M(食微比)、温度波动创新融合:采用注意力机制动态加权不同参数的重要性

3.2 SVI在线监测技术创新。开发光学沉降速率模块进行SVI数据监测,考虑结合图像处理库(如OpenCV)和数据分析工具(如NumPy和Pandas)来实现。可以用基于Python和OpenCV的实现思路和代码示例,用于从图像中提取污泥沉降过程的关键信息。(由于篇幅限制,本文不对Python代码进行展示)。测量频率可从4小时/次提升至15分钟/次。

3.3 丝状菌的智能识别。(1)基于显微图像视频流(40倍物镜)构建YOLOv5检测模型(2)识别硫氧化菌、放线菌、鞘细菌、硫氧化滑动细菌、拟杆菌等7类丝状菌。^[4]

设备类型	技术参数	安装位置
光学SVI监测仪	测量范围50-300mL/g,±3%误差	二沉池进水管
显微成像模块	400万像素,自动对焦	好氧池末端
边缘计算网关	4核ARM CPU,8GB内存	中控室机柜

3.4 智能硬件配置及安装位置。非平衡数据增强:使用SMOTE-TL算法合成少数类样本,通过与其他污水处理厂采集数据进行比对,通过大模型开展在线学习训练,不断更新大模型。

整体流程如图1所示。

4 系统创新价值

(1)工艺调控前移:从“事后处置”转变为“事前预防-事中调控”模式。(2)多目标优化:结合预警结果自动调整:

①增加缺氧段HRT(水力停留时间);②投加次氯酸钠(精准至0.5mg/L增量);③调节内回流比(±10%动态范围);④控制好氧段溶解氧(DO)精确到±0.2mg/L。

5 人工智能在污水处理中的未来发展趋势

5.1 多技术融合。未来,AI技术将与其他新兴技术(如物联网、大数据、区块链等)深度融合,形成更加智能化的污水处理解决方案。例如,通过物联网技术实现设备的互联互通,结合AI的数据分析能力,实现污水处理厂的智能化运行和管理;利用区块链技术确保数据的安全性和可信度,为污水处理过程的监管提供支持。同时解决复杂实际应用中的污染物去除、成本降低、水重复利用和管理挑战^[5]。

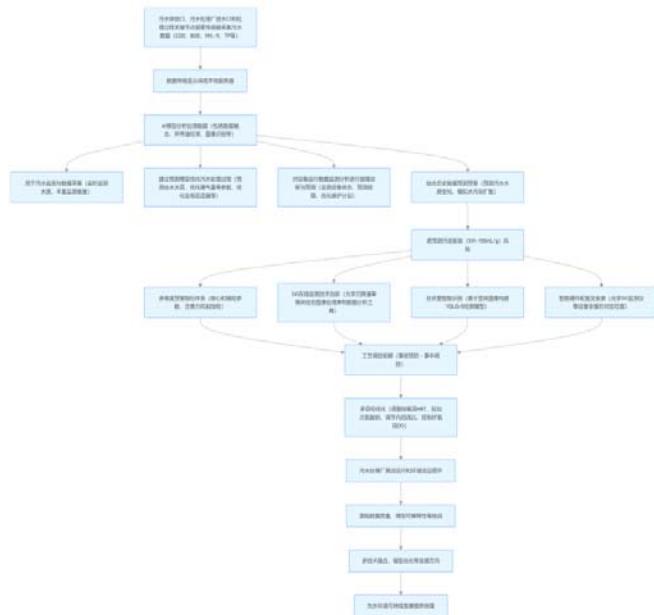


图1 AI系统在污水处理中应用流程示意图

5.2 模型优化与创新。随着AI技术的不断发展,未来将出现更加高效、准确的模型和算法,进一步提升污水处理的智能化水平。例如,基于强化学习的自适应控制模型可以实时调整污水处理厂的运行参数,实现最优运行;生成对抗网络(GAN)可以用于生成虚拟的污水数据,用于模型的训练和验证,提高模型的泛化能力。

5.3 绿色计算与可持续发展。在环保和可持续发展的背景下,未来AI技术将在污水处理中更加注重绿色计算和节能降耗。通过优化算法和硬件设计,减少AI模型的计算能耗,降低污水处理厂的运行成本。同时, AI技术将为污水处理厂的能源管理提供支持,实现能源的高效利用和循环利用。

5.4 智能决策与管理。AI技术将为污水处理厂的决策和管理

提供更加科学、精准的支持。通过对历史数据和实时数据的分析, AI系统可以预测污水处理厂的运行趋势,为管理层提供决策建议,优化污水处理厂的运营策略。此外, AI还可以结合地理信息系统(GIS)和卫星遥感技术,为区域水污染治理提供宏观决策支持,实现流域水环境的可持续管理。

6 结论

人工智能技术在污水处理领域的应用已经取得了显著的成果,从污水监测、处理过程优化到故障诊断和预测预警, AI技术为污水处理厂的高效运行和环境效益提升提供了有力支持。然而, AI技术在污水处理中的应用仍面临数据质量、模型可解释性、技术复杂性和数据安全等挑战。未来,随着多技术融合、模型优化、绿色计算和智能决策等方向的发展, AI技术将在污水处理领域发挥更加重要的作用,为实现水环境的可持续发展提供有力保障。

[参考文献]

- [1] 金美松,陈子璇,苗艳坤.人工智能技术在水污染治理领域的应用研究[J].当代化工研究,2024(12):86-88.
- [2] 唐白石,胡轶波,江海鑫.人工智能与活性污泥仿真软件在污水处理中的协同应用[J].净水技术,2024(10):48-56+85.
- [3] 彭永臻.活性污泥膨胀机理、成因及控制[M].科学出版社,2012.
- [4] 施悦.活性污泥生物相显微观察[M].哈尔滨工业大学出版社,2014.
- [5] 卿晓霞,龙腾锐.污水处理系统中的人工智能技术应用现状与展望[J].给水排水,2006,32(8):4.

作者简介:

段磊(1986--),男,汉族,陕西西安人,毕业于陕西师范大学,理学硕士,工程师,研究方向:环境保护和环境工程。