

基于多源数据融合的污水处理厂尾水排放智能监测技术研究

梁贵芬

单位：云南泰义检测技术有限公司

摘要：污水处理厂尾水排放监测是水污染源管控的关键环节。针对传统单一监测手段数据割裂、时效性差、异常识别滞后等问题，本文以云南省某县级污水处理厂为研究对象，融合在线自动监测、人工采样检测、污泥性状分析及进水关联数据等多源信息，构建尾水排放智能监测技术框架。研究表明，通过建立“在线实时预警、人工验证复核、污泥特征关联”的三级融合体系，异常排放识别响应时间由传统模式的 12 至 24 小时缩短至 2 小时以内，监测数据完整率达到 98.5%，在线与人工检测数据比对合格率由 82% 提升至 96%。该技术框架有效解决了单一监测手段的局限性，为污水处理厂尾水排放精细化监管提供了技术支撑。

关键词：多源数据融合；污水处理厂；尾水排放；智能监测；在线比对

一、引言

城镇污水处理厂是控制水环境污染的重要基础设施，其尾水排放水质直接关系到受纳水体的环境质量。根据《城镇污水处理厂污染物排放标准》要求，污水处理厂须对出水水质开展常态化监测，监测指标涵盖 pH 值、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮、重金属、粪大肠菌群等二十余项。

当前，污水处理厂普遍采用在线自动监测为主、人工采样检测为辅的双轨监测模式。在线监测设备可实时获取 pH 值、化学需氧量、氨氮等常规指标的连续数据，但存在设备漂移、基体干扰、试剂失效等问题，数据准确性需要定期校准验证。人工采样检测方法准确可靠，能够覆盖重金属、粪大肠菌群等在线设备无法监测的指标，但监测频次低，通常每季度一次或每年两次，响应严重滞后，难以捕捉瞬时异常排放事件。更为关键的是，两种监测手段各自为政，数据之间缺乏有效的关联与融合，导致整体监测效能不高。

近年来，多源数据融合技术已在环境监测领域逐步应用，但在污水处理厂尾水排放场景下的系统研究仍较为缺乏。本文以云南省某县级污水处理厂为研究对象，探索基于多源数据融合的尾水排放智能监测技术，整合在线监测数据、人工检测数据、污泥性状数据及进水关联数据，构建三级融合预警体系，旨在提升尾水排放监测的实时性、准确性和智能化水平。

二、多源数据体系与技术框架

2.1 数据源体系设计

本研究构建的三级数据源体系包括以下层次。第一，在线自动监测数据。在污水排口安装在线监测设备，实时采集 pH 值、水温、流量、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮等七项指

标，数据采集频率为每两小时一次。在线数据具备连续性好、响应快速的优势，是智能监测的核心数据层。第二，人工采样检测数据。按照排放标准要求，每季度开展一次人工采样检测，监测因子包括悬浮物、色度、五日生化需氧量、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群及多种重金属。人工检测数据准确度高、法律效力强，可作为在线数据的校准基准和超标判定的最终依据。第三，辅助关联数据，包括进水水质数据、污泥含水率及性状数据、雨水排放口水质数据。进水水质的波动可预示后续处理负荷的变化，污泥性状异常往往是工艺故障的前兆信号，雨水排放口水质则可反映是否存在雨污混流问题。

2.2 三级融合架构与预警机制

本研究采用数据层、特征层、决策层三级融合架构。数据层融合方面，对多源异构数据进行标准化处理，统一时间标签，剔除异常值和缺失值，建立统一的监测数据库。特征层融合方面，提取在线数据的时序变化特征，包括变化趋势、波动幅度、突变点等，与人工检测数据的绝对偏差特征进行交叉验证，识别数据漂移和异常波动。决策层融合方面，基于多证据综合判定尾水排放状态，将结果划分为正常、关注、预警、超标四个等级，触发分级响应机制。正常状态下执行常规监控；关注状态下需加密监测频次；预警状态下启动工艺排查和设备检查；超标状态下须立即启动应急预案并上报监管部门。该分级机制实现了从被动响应向主动预警的转变。

三、关键技术与实践应用

3.1 在线监测数据质量控制

针对在线监测设备普遍存在的电极漂移、试剂变质、基体干扰等问题，本研究建立了日校准、周比对、月核查三级质量控制机制。每日开展 pH 值和溶解氧电极的零点校准，确保传感器基准准确。每周采用标准溶液对化学需氧量、氨氮、总磷检测通道进行准确度验证，要求相对误差控制在正负百分之十以内。每季度按照《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》的比对要求，开展在线数据与人工检测数据的准确度比对。以某县级污水处理厂 2026 年度监测数据为例，化学需氧量在线数据与人工检测数据的相对偏差范围为负百分之八点二至正百分之六点五，氨氮相对偏差范围为负百分之五点六至正百分之九点三，全部满足准确度验收要求。

3.2 人工采样与在线数据的交叉验证

本研究建立了人工采样检测结果对在线数据的反向校准机制。当人工检测数据与在线数据出现显著偏差，即相对偏差超过百分之二十时，自动启动核查流程：检查在线设备的运行状态和试剂有效期，核查人工采样点位与在线监测采样点位是否一致，复核实验室分析质控

记录，必要时开展加标回收验证。在实际运行中，该交叉验证机制成功识别了两次因试剂变质导致的氨氮在线数据正偏差问题，及时更换试剂后数据恢复正常，避免了因错误数据引发的误判和工艺调整。

3.3 污泥性状与雨水排放口联动分析

污水处理厂运行工况异常往往先反映在污泥性状变化上，而后才体现在尾水水质波动中。监测数据显示，当污泥含水率超过百分之八十且呈持续上升趋势时，出水悬浮物超标风险显著增加；当污泥颜色发黑、臭味出现异常时，出水化学需氧量和氨氮同步升高的概率达到百分之七十五。将污泥监测数据纳入多源融合体系后，可在尾水水质出现明显异常之前六至八小时识别工艺故障风险。此外，将雨水排放口数据与尾水排放数据进行联动分析，可有效识别雨污混流导致的稀释排放或冲击负荷异常问题，弥补了单纯监测尾水排放口的盲区。

四、应用效果与结论

4.1 应用效果

该多源数据融合监测技术在目标污水处理厂连续运行十二个月，取得了显著的应用效果。异常排放识别响应时间由传统单一监测模式下的十二至二十四小时缩短至两小时以内，响应效率提升约百分之八十五。全年共触发预警事件十五起，其中二级预警四起、三级预警十一一起，均得到及时处置，未发生一级超标排放事件。监测数据完整率由融合前的百分之九十二点三提升至百分之九十八点五，人工检测与在线数据的比对合格率由百分之八十二提升至百分之九十六，数据一致性和可信度显著提高。

4.2 结论

第一，针对污水处理厂尾水排放监测中在线与人工数据割裂问题，本研究构建多源数据三级融合监测技术框架，实现多源信息协同利用。第二，融合体系运行十二个月实践显示，异常排放识别响应时间缩短约 85%，监测数据完整率达 98.5%，在线与人工检测数据比对合格率从 82%提升至 96%，提升了尾水排放监测实时性与可靠性。第三，在线监测数据的日校准、周比对、月核查三级质量控制是保障融合数据准确性的关键，将辅助数据纳入融合体系可提升异常工况早期识别能力，提前预警 6-8 小时。第四，该技术框架硬件投入小、可操作性强，有向工业园区和城镇污水处理设施推广潜力，建议后续引入机器学习预测模型和图像识别技术提升智能监测自动化水平。

参考文献：

[1]杜艳芝,祁玉清. 基于多源数据融合的污水处理工艺优化与环境风险智能评估 [J]. 资源节约与环保, 2025, (9): 109-113.

[2]赵申. 基于多源数据融合的地下污水处理厂隐患预警设计 [J]. 给水排水, 2024, 60 (S2): 621-625.