

# 废水有机污染物检测方法的研究进展与优化策略

张少铭\*

(浙江诚德检测研究有限公司, 宁波 315000)

**摘要:** 为了提高废水中有机污染物检测效率和准确性, 本研究系统综述了气相色谱法、高效液相色谱法、分光光度法和快速检测法等常用检测技术, 并深入探讨了相应的优化策略。研究不仅详细分析了各类方法的原理、应用场景及局限性, 同时提出了预样品处理优化、检测灵敏度提升、设备性能改进等在内的综合优化手段, 旨在提高检测精度、降低分析成本并增强操作便捷性。研究结果表明, 通过技术的不断优化和方法的集成, 可显著提升废水污染物检测技术水平, 为环境监测和污染治理提供有力支持。

**关键词:** 废水监测; 有机污染物; 检测方法

## 0 引言

随着工业化进程加快, 废水中有机污染物的种类和浓度不断增加, 传统处理方法已难以满足严格的环保要求<sup>[1]</sup>。开发高效、准确的检测技术对实时监控废水中的有机污染物至关重要。多项研究已探讨废水有机污染物的检测与优化技术。曹永生<sup>[2]</sup>提出了含难降解有机物的废水工艺优化方案; 董紫君等<sup>[3]</sup>研究了Cl<sup>-</sup>对过硫酸钠/活性炭体系降解有机物的影响; 王慧佳等<sup>[4]</sup>研究了过硫酸钠/活性炭体系在稀土废渣资源化废水中深度脱除有机物的应用。然而, 现有检测方法在监测低浓度污染物时仍面临挑战。气相色谱法、高效液相色谱法和分光光度法在复杂水样中的应用仍受到限制。为此, 优化策略如前处理方法、提高灵敏度和设备性能等逐渐成为提高检测效率的关键。本综述将探讨废水有机污染物检测方法的最新进展, 分析各类方法的优势、局限及优化策略, 为未来研究提供参考。

## 1 废水有机污染物检测重要性

### 1.1 废水污染对环境与生态的影响

废水中的有机污染物主要来源于工业废水、生活污水以及农业废水。许多有机物质在水体中难以完全降解, 部分甚至长期积累, 导致水质持续恶化。未经有效处理的废水会加剧水体富营养化, 促进藻类过度生长, 破坏水生生物的栖息环境, 影响水体自净能力<sup>[5]</sup>。水生生物对有机污染物尤其敏感, 其生长繁殖受到严重抑制。高浓度的有机污染物通过食物链传递, 最终影响高阶消费者和人类的健康。此外, 部分有机污染物通过挥发进入大气, 或通过降

水渗透至地下水, 造成空气和地下水的二次污染。

### 1.2 废水有机污染物的危害

废水中的有机污染物种类繁多, 包括芳香烃类、醛类、酮类和酚类化合物等, 许多具有较强的毒性, 能破坏水生生物的细胞结构, 抑制其正常代谢, 影响生长和繁殖, 甚至导致其死亡, 破坏水域生态平衡。部分污染物如苯和苯酚等具有较长的降解周期, 能持续存在于水体中, 并通过食物链影响人类健康, 长期暴露可能导致肝脏损伤、免疫系统问题, 甚至增加癌症风险。此外, 挥发性有机物不仅危害水生生态, 还能通过空气传播污染大气, 或通过降水渗透地下水, 进一步扩展污染范围, 造成长期生态损害<sup>[6-7]</sup>。

### 1.3 检测在废水治理中的作用与意义

废水有机污染物的检测是废水治理的基础, 通过定量分析污染物浓度, 可以为选择适当处理方法提供科学依据, 并评估现有工艺的效果, 确保废水排放符合标准。定期检测有助于控制污染物排放, 防止水体污染, 并提前预警潜在的环境危害<sup>[8-9]</sup>。同时, 精确检测能识别污染源并追踪污染物排放路径, 为污染防治和治理效果评估提供数据支持, 优化处理方案。随着环保法规的严格, 先进的检测技术不仅能提升废水治理效率, 还能促进资源回收和减少污染排放, 推动绿色发展和水资源的可持续利用。

## 2 废水有机污染物检测方法及应用

### 2.1 气相色谱法

气相色谱法(GC)通过气体载流体分离样品中的各组

\* 通信作者: 张少铭, 工程师, 研究方向为环境检测。E-mail: 443716926@qq.com

分，广泛应用于挥发性和半挥发性有机污染物的检测，如苯、酚类和醛类。GC具有高分辨率和灵敏度，特别适用于低浓度污染物的分析。与质谱联用可以提高检测精度和灵敏度，适用于复杂基质的分析<sup>[10]</sup>。GC的优点在于高效的分离能力和广泛的应用范围，但在分析热不稳定或非挥发性物质时存在局限性。所以GC常结合液-液萃取或固相萃取(SPE)等前处理技术，确保对复杂污染物的准确分析。

## 2.2 高效液相色谱法

高效液相色谱法(HPLC)用于分析非挥发性和极性有机污染物，如农药残留、多环芳烃(PAHs)和药物。HPLC通过液相流动相携带样品在色谱柱内分离，依靠不同成分的滞留时间差异进行分离。紫外-可见光或荧光检测器用于定量分析，HPLC在极性化合物的检测中表现出优异的性能，特别是在复杂水样中的应用<sup>[11]</sup>。HPLC与串联质谱结合后，能够提高灵敏度和选择性，尤其在痕量污染物的检测中表现优异。尽管其设备复杂且成本较高，HPLC仍然是高精度实验室监测的重要技术。

## 2.3 分光光度法

分光光度法(SPM)通过测量样品溶液对特定波长光的吸收强度来定量分析其浓度。该方法因其操作简单、快速且成本低，广泛应用于废水中有机污染物的筛查和定量分析，尤其适用于能够吸收可见光或紫外光的污染物，如酚类、芳香族化合物和氨基化合物<sup>[12]</sup>。SPM的优势在于快速和便捷，但其灵敏度有限，尤其在低浓度污染物的检测中效果较差。为了提高检测精度，通常需要通过适当的前处理方法(如过滤、萃取等)来去除干扰物质，并优化试剂系统和检测条件，以增强其稳定性和可靠性。

## 2.4 快速检测法

快速检测法是一种适用于现场实时监测的技术，具有反应时间短、操作简便等特点，能够在短时间内提供有效的检测结果，特别适用于污染源的快速识别和应急监测。常见的快速检测方法包括便携式分析仪器、免疫分析法和酶联免疫吸附试验<sup>[13]</sup>。这些方法便于现场使用，能够迅速提供污染物浓度的初步结果，但其灵敏度和准确性较低，尤其在低浓度污染物的检测中可能会存在误差。为提高检测的准确性，快速检测法通常需要与实验室分析方法结合，以实现更为精确的污染物监测。

## 2.5 传感器技术

传感器技术对于废水中有机污染物的检测发挥着重要作用。传感器能在现场快速检测废水中的污染物，特别是在低浓度污染物监测方面具有独特优势。常见的传感器包括电化学传感器、光学传感器和气敏传感器等，通过响应污染物的化学或物理变化，提供实时监测数据。传感器技

术具有便捷性、成本低和操作简单的特点，尤其适用于紧急污染源识别和环境监测。

## 2.6 光谱成像技术

光谱成像技术通过捕获样品在不同波长下的光谱信息，提供高分辨率的空间和光谱数据，广泛应用于废水污染物的检测。该技术结合了传统成像技术与光谱分析，能够同时获得样品的空间分布和光谱特征<sup>[14]</sup>。通过对图像进行分析，光谱成像可以在不破坏样品的情况下，对污染物进行快速、定量的检测。它特别适用于复杂水样中的污染物检测，并能够提供更高的灵敏度和精度。

## 2.7 技术对比与检测方法选择

废水有机污染物的检测方法各具优势，选择合适的技术需根据样品类型和检测需求。GC适用于挥发性和半挥发性污染物，具有高分辨率和灵敏度，但对于热不稳定或非挥发性物质需结合前处理技术。HPLC则广泛用于非挥发性和极性污染物<sup>[15]</sup>，如农药残留和PAHs，尤其适合复杂水样中的痕量污染物分析。SPM因其操作简单、成本低，适用于日常废水监测，但灵敏度较低，适合较高浓度污染物的检测。快速检测法适合现场实时监测，便捷且快速，特别用于污染源识别和应急响应，但灵敏度较低，适合初步筛查。根据检测精度、样品复杂度和监测环境，检测人员应根据需求合理选择合适的技术，以确保检测的效率和准确性。

# 3 检测方法优化策略

## 3.1 样品预处理优化

样品预处理是提高废水有机污染物检测精度和灵敏度的关键步骤，旨在去除干扰物质并富集目标污染物。近年来，液-液萃取和SPE方法得到了创新，采用绿色溶剂和超声波辅助萃取技术显著提高了萃取效率并可减少环境污染<sup>[16]</sup>。例如，使用乙醇替代有毒溶剂来提高酚类污染物的回收率。SPE通过使用功能化纳米材料或金属有机框架优化样品富集，提高了回收率和选择性。固相微萃取(SPME)作为无溶剂的高效方法，特别适用于挥发性污染物的分析，通过创新纤维涂层材料进一步提升了检测灵敏度。同时，自动化和智能化技术的发展推动了集成化样品前处理系统的应用，减少人工误差并提高处理效率。

## 3.2 检测灵敏度提升

提高检测灵敏度是废水有机污染物分析的核心，尤其在低浓度污染物的监测中至关重要。通过优化GC和HPLC的色谱柱、流动相及温度程序，能够显著提高分离效率，确保低浓度污染物的准确检测。质谱联用技术(GC-MS、LC-MS)是提高灵敏度的有效手段，能够将目标污染物离子

化并进行质量分析，灵敏度达到 ppt( $10^{-12}$ )级。通过优化质谱源参数和离子化模式，可进一步提升检测灵敏度，尤其在处理复杂废水样品时，大幅提高了目标物的检测限。

### 3.3 检测设备改进

检测设备的性能直接决定了废水有机污染物分析的效果。现代色谱-质谱联用技术(GC-MS、HPLC-MS)通过结合高效色谱和高灵敏度质谱分析，能够实现多成分和痕量污染物的精确定性和定量分析<sup>[17]</sup>。自动进样系统和高分辨率质谱提高了检测效率和精度，特别适合复杂废水样品中的多组分分析。同时，便携式分析仪器的出现使得现场快速检测成为可能，通过集成传感器和微处理器技术，便携设备能够实现实时水质监测并通过无线数据传输进行远程监控，为环境监测和应急响应提供了便利<sup>[18]</sup>。

### 3.4 成本控制与优化

通过优化检测方法和简化操作流程，能够有效降低成本。无溶剂的前处理技术，如 SPME，减少溶剂消耗并降低操作成本。优化 SPE 操作条件，减少试剂使用，不仅降低了化学品成本，还减少了环境负担<sup>[19-20]</sup>。快速检测方法如便携式分析仪器和免疫分析法，能够在现场进行污染源快速识别，减少实验室检测的人工成本。通过在线监测系统，集成自动化设备和远程数据传输，能够实时监控废水质量，减少现场取样频率和人工干预，降低整体监测成本。

## 4 结束语

本文对废水中有机污染物的检测方法进行了综合分析，并探讨了优化策略。通过优化样品预处理、提升检测灵敏度、改进设备性能和控制成本，废水污染物检测技术得到了有效提升。各检测方法在特定应用领域内的优势和局限性得到充分体现，GC、HPLC 和 SPM 等技术的组合使用，为提高废水监测的精度和效率提供了可能。随着检测技术的不断进步，未来废水监测将在实时性、灵敏度和成本效益方面取得进一步提升。特别是传感器技术、光谱成像和快速检测方法的结合，将为实时、精准的污染物监控提供更多可能性，推动环境治理和可持续发展的实现。未来，随着技术的创新和发展，废水监测将更加高效、智能化，为全球水资源保护和生态平衡提供有力支持。

## 参考文献

- [1] 董翔宇, 黄雨竹, 王长智, 等. 印染废水膜浓缩液有机物的铁碳微电解-类芬顿去除性能研究[J]. 环境科学学报, 2025, 45(4): 1-12.
- [2] 曹永生. 环保工程中含难降解有机物的化工废水工艺优化[J]. 石化技术, 2025, 32(3): 439-440+374.
- [3] 董紫君, 韩苗苗, 李微, 等.  $\text{Cl}^-$ 对HA/PMS体系降解废水中

- 有机物的影响机制[J]. 中国给水排水, 2025, 41(3): 89-96.
- [4] 王慧佳, 李倩, 张海林, 等. 过硫酸钠/活性炭体系深度脱除稀土废渣资源化废水中有机物[J/OL]. 中国稀土学报. (2025-01-08)[2025-04-01]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-XTXB20250108006.htm>.
- [5] 杨超, 李福星, 杨丽静, 等. 原位Fenton耦合微纳米气泡降解酸性矿山废水有机物特性研究[J]. 安全与环境学报, 2025, 25(2): 706-713.
- [6] 郭学飞. 废水处理中生物电化学技术的应用研究[J]. 山西化工, 2024, 44(12): 129-131.
- [7] 王倩煜. 工业废水零排放工艺中有机物去除方法研究进展[J]. 云南化工, 2024, 51(12): 24-28.
- [8] 段玉龙, 王靖淇. 自制高铁酸盐在难降解有机物废水处理中的应用[J]. 广西节能, 2024, (4): 34-36.
- [9] 焦蓬. 碳纤维生产废水中的有机物去除技术及回用策略[J]. 生态与资源, 2024, (12): 90-92.
- [10] 张永涛, 魏银萍. 100kt/a甲胺装置生产废水有机物回收利用技改小结[J]. 中氮肥, 2024, (6): 44-47.
- [11] 李鑫达, 王正江, 王璟, 等. 有机物杂质对高盐废水中无机盐结晶回收的影响研究进展[J/OL]. 化学工业与工程, 1-13. (2024-11-07)[2025-04-01]. <https://doi.org/10.13353/j.issn.1004.9533.20240817>.
- [12] 麻微微, 康舒宇, 黄虹溶, 等. 典型石化废水有机物组成特点及与生物毒性效应相关性分析[J]. 环境科学学报, 2025, 45(2): 110-120.
- [13] 程乾坤, 李建如, 方皓, 等. 酸化-微电解-Fenton组合工艺处理PCB显影废水中有机物的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(18): 24-27.
- [14] 李成. 煤化工废水难降解有机物的处理技术进展[J]. 化工安全与环境, 2024, 37(10): 54-56+60.
- [15] 陈静芸, 杨宁, 吴世林, 等. 菌藻结合去除淘米废水中有机物的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(9): 133-141.
- [16] 袁闯, 李正宾. 臭氧催化氧化技术在化工废水处理中的应用[J]. 化学工程与装备, 2024, (7): 158-160+124.
- [17] 许勇毅, 刘一博, 张荣哲, 等. 金属-有机骨架材料的改性修饰及在废水有机物处理中的应用[J]. 化工新型材料, 2024, 52(11): 57-61+66.
- [18] 翟学东, 郭磊, 刘凤洋, 等. 采用催化臭氧氧化降解煤化工含盐废水中有机物效能研究[J]. 当代化工研究, 2024, (13): 70-72.
- [19] 陈志豪. 微电解-A/O法对典型染料废水的处理效果及微电解材料钝化机理研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2024.
- [20] 王逸凡. 高盐含卤代有机物废水UV/ $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 脱卤降解机制研究与中试验证[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2024.