

# 多环境介质中新污染物监测技术的研究进展

徐思绮\*

(浙江省衢州生态环境监测中心, 衢州市新污染物监测重点实验室, 衢州 324000)

**摘要:** 本文主要介绍了新污染物的种类, 对不同环境介质中新污染物监测方法进行系统梳理, 分析不同技术的适配场景、检测参数、应用局限, 整合技术创新要点和优化方向, 以期为开展实操监测提供选择参考, 推动新污染物监测技术向标准化与实用化方向发展, 为新污染物在多种环境介质中的精准治理与有效管控提供技术支持。

**关键词:** 新污染物; 全氟化合物; 抗生素; 内分泌干扰素; 环境介质; 监测技术

## 0 引言

新污染物是指排放到环境中对生态环境或者人体健康存在较大风险, 但尚未被纳入管理或现有管理措施不足以管控的有毒有害化学物质, 其具有环境持久性、生物累积性、生物毒性等特点<sup>[1-3]</sup>。随着工业化和城市化进程的加速, 新污染物渗透到各种环境介质中, 目前已在多种环境介质(水体、土壤、空气等)中被检出<sup>[4]</sup>, 并且区域污染问题也越来越突出<sup>[5]</sup>。新型优先管控污染物不断出现, 现有的监测技术不能满足低浓度、多组分、多介质的监测要求, 需要技术上的创新<sup>[6-7]</sup>。环境监测是新污染物控制的基础工作, 目前的监测需求同检测技术的发展间还存在着一定的距离, 相关的检测方法还需要进一步完善<sup>[8-9]</sup>。本文聚焦水、土壤、空气等环境介质, 对当前关注的新污染物监测技术进行梳理, 并对其适用场景和不足之处进行分析, 为环境监测技术创新提供参考。

## 1 新污染物种类

### 1.1 全氟化合物

全氟化合物(perfluorochemicals, PFCs)指以烷基碳链结构为骨架、氢原子被氟原子完全或部分替代的一系列人工合成有机化学品<sup>[10]</sup>, 常见类型有全氟辛酸(perfluorooctanoic acid, PFOA)、全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonic acid, PFOS)、全氟己酸(perfluorohexanoic acid, PFHxA)、全氟壬酸(perfluorononanoic acid, PFNA)等。PFCs具有极强的化学稳定性和亲水、疏水两性特征, 被广泛应用于各类消费

品和工业领域<sup>[11]</sup>。多项研究证实, PFCs具有肝脏毒性、发育毒性、生殖毒性、免疫毒性以及潜在的致癌性, 对自然环境和人体健康造成严重威胁<sup>[12-14]</sup>。现行检测标准有 HJ 1333—2023《水质 全氟辛基磺酸和全氟辛酸及其盐类的测定 同位素稀释/液相色谱-三重四极杆质谱法》、GB/T 5750.8—2023《生活饮用水标准检验方法 第8部分: 有机物指标》、DB32/T 4004—2021《水质 17种全氟化合物的测定 高效液相色谱串联质谱法》、HJ 1334—2023《土壤和沉积物 全氟辛基磺酸和全氟辛酸及其盐类的测定 同位素稀释/液相色谱-三重四极杆质谱法》、EPA 1633《水中、土壤、沉积物、生物固体和组织样品中全氟和多氟烷基物质(PFAS)的测定 液相色谱-串联质谱法》等。

### 1.2 抗生素

抗生素指能够选择性抑制或杀灭细菌的一类化合物, 包括微生物次级代谢产物及其半合成、全合成衍生物, 常见类别有磺胺类、喹诺酮类、四环素类等<sup>[15]</sup>。在其大量使用与不完全降解进入环境后, 可诱导微生物产生耐药性, 并对非靶生物与生态系统构成潜在风险。现行检测标准有 HJ 1399—2024《水质 17种喹诺酮类抗生素的测定 高效液相色谱-三重四极杆质谱法》、HJ 1398—2024《水质 18种磺胺类抗生素和甲氧苄氨嘧啶的测定 高效液相色谱-三重四极杆质谱法》、DB13/T 5221—2020《土壤中土霉素、金霉素、四环素、多西环素、美他霉素的测定 高效液相色谱-串联质谱法》等。

### 1.3 内分泌干扰物

内分泌干扰物(endocrine disrupting chemicals, EDCs)

是一类外源性物质,其能够改变内分泌系统功能,从而对完整生物体、其后代或亚种群造成不利影响<sup>[9]</sup>,主要包括塑化剂、人工合成激素、农药和重金属等<sup>[16]</sup>。环境中内分泌干扰物常检出的有双酚 A、壬基酚、有机氯农药等<sup>[17]</sup>。现行检测标准有 HJ 1192—2021《水质 9 种烷基酚类化合物和双酚 A 的测定 固相萃取/高效液相色谱法》、HJ 1242—2022《水质 6 种邻苯二甲酸酯类化合物的测定 液相色谱-三重四极杆质谱法》、DB21/T 4150—2025《水质 6 种双酚类化合物的测定 固相萃取/高效液相色谱法》、HJ 1184—2021《土壤和沉积物 6 种邻苯二甲酸酯类化合物的测定 气相色谱-质谱法》等。

## 2 不同环境介质中新污染物监测技术发展现状

### 2.1 水环境介质中新污染物监测技术

水环境是新污染物迁移扩散的重要载体,在岩溶含水层等水体中存在着 PFCs、抗生素、EDCs 等多种污染物,质量浓度大多在 ng/L~μg/L 之间,基质繁杂,干扰众多,对检测的灵敏度以及抗干扰能力要求很高<sup>[18]</sup>。目前监测技术已经由传统的离线检测向在线实时监测转变,主要突破点在于前处理技术微型化和检测技术联用化。其中,前处理技术微型化可有效减少试剂消耗与环境二次污染,检测技术联用化则能兼顾检测精度与效率,二者协同推进水环境新污染物监测向高效、绿色、精准方向发展,适配实验室检测新技术推广与应用的核心需求。

#### 2.1.1 水体中 PFCs

PFCs 监测以固相萃取-液相色谱质谱联用技术为主,最新的研究集中在萃取材料改性上,制备分子印迹聚合物、纳米复合材料等新型吸附剂,提高对不同链长 PFCs 的选择性吸附能力,吸附容量较传统吸附剂提高 5 倍以上,可以富集 ng/L 级别的 PFOS、PFOA 等污染物,检测灵敏度达到 0.01 ng/L,解决了传统萃取材料的痛点<sup>[19]</sup>。在线固相萃取-液相色谱串联质谱系统的应用实现了 PFCs 连续自动监测,不需要人工干预,连续运行稳定时间为 180 d,已经应用于太湖、海河等流域预警监测<sup>[20]</sup>。

#### 2.1.2 水体中抗生素

水中抗生素的检测方法主要有液相色谱-串联质谱法、高效液相色谱法、酶免疫分析法、电化学方法等<sup>[21]</sup>。水体中抗生素的监测重点在于实现多组分同步检测,结合人工智能的多靶标动态识别技术日趋成熟,可以同时检测 3 类 10 种以上抗生素,检测灵敏度达到 ng/mL 级,响应时间缩短到 1 min 以内<sup>[22]</sup>。另外,纳米材料修饰的电化学传感器可以快速检测抗生素,周期缩短到 30 min 以内,操作简便、成本低,适合野外应急和大规模筛查。

#### 2.1.3 水体中 EDCs

EDCs 监测以液相色谱-串联质谱联用技术为核心,优

化色谱分离条件,应用超高效液相色谱和高分辨质谱进行分离和定量,检测误差控制在 5% 以内。分散液利用液相萃取、固相微萃取等新型前处理技术,减少有机溶剂用量,提高富集效率,可以检测 0.1 ng/L 级目标污染物。

### 2.2 土壤环境介质中新污染物监测技术

土壤环境基质复杂,新污染物多吸附于土壤颗粒表面,浓度差异大且存在强基质干扰,监测难度大,核心技术瓶颈主要集中在前处理技术的高效性和检测技术的抗干扰性,最新的研究重点是原位监测和快速筛查技术创新<sup>[23]</sup>。

#### 2.2.1 土壤中 PFCs

土壤中 PFCs 的检测关键在于高效提取土壤中吸附态 PFCs。根据相关的提取技术研究<sup>[24-25]</sup>,最新研发的微波辅助萃取-加速溶剂萃取联用技术,通过优化萃取条件使提取率达到 85% 以上,且减少了溶剂的使用量,萃取时间也缩短到 30 min 之内,同时可以借鉴土壤体系污染物提取的相关技术思路来完善提取效果。结合固相萃取净化,可以去除干扰组分,用液相色谱-串联质谱法检测,灵敏度达到 0.1 ng/g,可准确定量不同链长 PFCs。另外,原位荧光光谱技术用荧光探针特异性结合来实现原位快速检测,不破坏土壤结构,适合于大规模筛查。

#### 2.2.2 土壤中抗生素

土壤中抗生素的监测重点是样品前处理方法,超声辅助萃取与固相萃取联用技术日趋成熟,超声破碎土壤颗粒破坏吸附作用,结合净化可有效提取不同形态的抗生素,提取率稳定在 80% 以上。拉曼光谱技术能快速鉴别抗生素,激光激发产生特征光谱来区别抗生素种类,检测时间缩短到 10 min 以内,不需要复杂的前处理,适合于现场快速筛查。

#### 2.2.3 土壤中 EDCs

EDCs 监测以加速溶剂萃取-液相色谱-串联质谱联用技术为主流,优化萃取条件提高效率,用凝胶渗透色谱净化去除大分子干扰,提高检测准确性。分子印迹固相萃取可选择性吸附净化目标物,进一步提高灵敏度,可以检测 0.05 ng/g 级别的目标污染物。免疫传感器等生物传感技术利用抗原抗体特异性结合实现快速检测,操作简便、特异性好,可进行快速评价<sup>[26]</sup>。

### 2.3 空气中新污染物监测技术

环境空气中新污染物以气态、颗粒态两种形态存在,浓度极低且易受气象条件影响,监测技术的主要需求是高灵敏度、快速响应、实时在线监测,最新研究重点是微型化、多技术融合<sup>[27]</sup>。

#### 2.3.1 环境空气中 PFCs

PFCs 在空气中主要以颗粒态存在,监测技术以高效

液相色谱-质谱联用为主,采样环节采用石英纤维滤膜与固相吸附剂结合的方式,捕获气态和颗粒态 PFCs,减少采样过程中的损失,采样效率大于 90%。经过优化前处理和检测条件,检测灵敏度达到  $0.01 \text{ pg/m}^3$ ,可准确定量空气中各种 PFCs。新型质谱技术飞行时间质谱的应用,可对空气中 PFCs 进行快速检测,不需要复杂的前处理,检测时间缩短到 1 min 以内,适合于空气中 PFCs 的实时在线监测<sup>[16]</sup>。

### 2.3.2 环境空气中抗生素

抗生素在空气中主要来源于畜禽养殖、医疗废弃物排放等,浓度很低并且易受到干扰,监测技术以固相吸附-液相色谱串联质谱为主,使用高容量固相吸附剂,延长采样时间,提高对低浓度抗生素的富集效率,可以检测出空气中  $0.1 \text{ pg/m}^3$  级别的抗生素。空气毒性活体监测系统的研发与应用,为空气中抗生素等新污染物的健康效应监测开辟了新途径,该系统把活体大鼠、呼出气标志物实时监测阵列、人工智能技术结合起来,可以实时监测空气中污染物对生物体的健康影响,时间分辨率达 3 s,已经在我国多个城市开展了大规模的应用。

### 2.3.3 环境空气中 EDCs

EDCs 在空气中主要以气态形式存在,监测技术以气相色谱-质谱联用、傅里叶变换红外光谱为主,气相色谱-质谱联用技术通过优化色谱分离条件,实现不同内分泌干扰物的精准分离和定量,检测灵敏度可达  $0.1 \text{ pg/m}^3$ ;傅里叶变换红外光谱技术可以实现空气中内分泌干扰物的实时在线监测,不需要复杂的前处理,响应时间短,可以及时捕捉到污染浓度的变化,适用于大规模空气污染筛查和应急监测。

## 3 结束语

新污染物广泛存在于各类环境介质中,对生态环境与人类健康构成潜在威胁。目前,针对典型新污染物已经形成了多元化监测技术体系,逐步向高效、灵敏、原位、在线发展,有效地解决了传统监测的诸多痛点,为新污染物管控提供了技术支撑,也推动了检验检测行业新技术转化。但当前监测技术仍有局限:(1)低浓度、多组分新污染物同步监测技术不完善,部分新污染物缺少监测方法和标准品;(2)原位监测设备成本高、稳定性差不能大规模推广使用;(3)多介质协同监测技术缺失,监测标准体系不统一影响检测结果的可比性等缺点。未来应聚焦研发新监测技术,融合多种技术提高监测能力,降低监测成本,完善多介质协同监测体系,加快监测标准规范化建设,为新污染物在多种环境介质中的精准治理与有效管控提供技术支撑。

## 参考文献

- [1] WANG YW, JIANG L, JIANG GB. Emerging chemicals in China: Historical development, current situation, and future outlook [J]. *Environment & Health*, 2024, 2(4): 180-188.
- [2] ZHANG M, SUN Y, XUN B, *et al.* Analysis of the spatial distribution characteristics of emerging pollutants in China [J]. *Water*, 2023, 15(21): 3782.
- [3] GUO J, TU K, CHOU LB, *et al.* Deep mining of reported emerging contaminants in China's surface water in the past decade: Exposure, ecological effects and risk assessment [J]. *Water Research*, 2023, 243: 120318.
- [4] 郭蒙琦,姚林林,史建波. 四类典型新污染物的微生物转化研究进展 [J]. *环境化学*, 2025, 44(10): 3784-3806.
- [5] BHAGAT J, SINGH N, SHIMADA Y. Southeast Asia's environmental challenges: Emergence of new contaminants and advancements in testing methods [J]. *Frontiers in Toxicology*, 2024, 6: 1322386.
- [6] BAO Q, YU N, JIANG Q, *et al.* Recent advances in implementation of machine learning for environmental nontarget identification [J]. *Environment & Health*, 2025, 3(11): 1286-1298.
- [7] 高歌,张文晴,魏歆倪,等. 新型优先管控污染物筛选研究进展 [J]. *中国环境科学*, 2024, 44(11): 6472-6483.
- [8] 王燕飞,蒋京呈,林军. 新污染物的调查监测需求分析 [J]. *生态毒理学学报*, 2023, 18(2): 23-32.
- [9] 李青倩,李丽和,王锦,等. 新污染物的污染现状及其检测方法研究进展 [J]. *应用化工*, 2023, 52(7): 2202-2206.
- [10] BUCK RC, FRANKLIN J, BERGER U, *et al.* Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins [J]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2011, 7(4): 513-541.
- [11] 刘娜. 水体中全氟化合物吸附去除实验及其在河流沉积物中分布模拟 [D]. 北京: 中国地质大学, 2021.
- [12] 杨冕,赵璇,黄馨仪,等. 超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱法检测血清中 12 种全氟化合物 [J]. *现代预防医学*, 2022, 49(10): 1867-1873, 1911.
- [13] 孙玉珠,李建宇,武梦茹,等. 动物性食品中全氟烷基物质的残留现状 [J]. *中兽医医药杂志*, 2019, 38(5): 29-33.
- [14] 宋杰玉,徐婵,李进,等. 长江流域全氟化合物污染现状及环境基淮探讨 [J]. *环境科学与技术*, 2022, 45(9): 219-229.
- [15] 周宇齐,卢显鹏,宋洲,等. 涡旋提取-超高效液相色谱串联质谱法测定土壤中磺胺类抗生素 [J]. *化学研究与应用*, 2025, 37(12): 3710-3720.
- [16] 姜晓满,李亚可,李玉环. 质谱分析技术在环境新污染物研究中的应用与进展 [J]. *实验技术与管理*, 2025, 42(11): 1-13.
- [17] 刘琛,顾晓云,陈杰. 基于文献计量学的河流中抗生素与内分泌干扰物研究热点分析 [J]. *环境工程技术学报*, 2024, 14(3): 907-920.
- [18] ANA S, LUKAČ JR, GÖRAN K, *et al.* Ecotoxicological aspects related to the occurrence of emerging contaminants in the Dinaric karst aquifer of Jadro and Žrnovnica springs [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 825: 153827.
- [19] 黄晶滢,闫敬怡,齐骥,等. 基于金属/共价有机框架分子印迹材料的

- 固相萃取结合色谱/质谱在海岸带新污染物筛查识别中的应用[J]. 色谱, 2025, 43(8): 841-856.
- [20] 韩雪, 王蓓莉, 周锦阳, 等. 环境中新污染物被动采样技术研究进展[J]. 环境科学, 2025, 46(10): 6306-6317.
- [21] 李超群, 李立湘, 任颖俊, 等. 在线固相萃取大体积进样-高效液相色谱-串联质谱法检测地表水中 35 种抗生素[J]. 岩矿测试, 2024, 43(6): 945-956.
- [22] 封涛涛, 王斌, 李江, 等. 城镇污水厂新污染物赋存特征及去除技术研究进展[J]. 科技导报, 2024, 42(11): 36-46.
- [23] 周志军, 胡丹心, 葛楹, 等. 冲积平原区水/土多介质新污染物筛查研究[J]. 环境科学与技术, 2025, 48(9): 161-171.
- [24] JIN H, HOU J, RUAN Y, *et al.* Distribution pattern analysis of multiple antibiotics in the soil-rice system using a QuEChERS extraction method [J]. *The Science of the Total Environment*, 2024, 944: 173929.
- [25] 刘勋涛, 李春阳, 陈汐昂, 等. 全氟化合物控制政策、识别控制技术 & 生态风险评估进展[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(9): 1911-1927.
- [26] 王晓慧, 蒲高忠. 新污染物环境生态效应研究热点[J]. 广西科学, 2024, 31(4): 613-621.
- [27] 郭庆伟, 王倩, 张海东, 等. 新污染物检测技术研究进展[J]. 化学通报, 2024, 87(1): 78-85.