

# 新型环境污染物监测技术研究进展

杨越\*

(山东省德州生态环境监测中心, 德州 253000)

**摘要:** 随着工业化与城镇化的迅猛推进, 一系列新型污染物, 诸如药物残留、个人护理产品及工业化学品等逐渐浮出水面, 这些污染物以其低浓度存在、高毒性影响、易于生物累积及环境持久性等特点, 对生态环境及人类健康构成了严峻威胁。新型污染物作为一类近期被识别或开始受到广泛瞩目的环境污染物, 其特点在于含量虽低但毒性显著。其中, 微塑料、抗生素以及环境内分泌干扰物等新型污染物问题尤为凸显, 如何高效地识别并监测这些污染物已成为环境科学领域研究者们核心关注点。本文将深入剖析新型污染物的特性、危害及其监测难点, 并综述当前环境监测领域的最新研究动态, 特别是针对微塑料、抗生素及环境内分泌干扰物等污染物的检测技术。通过对比各种监测方法的优劣, 为环境工作者在选择适宜的监测手段时提供指导, 以期实现对新型污染物的快速、精准识别与监测。

**关键词:** 新型环境污染物; 监测技术; 监测挑战

## Research progress on new environmental pollutant monitoring technology

YANG Yue\*

(Dezhou Ecological Environment Monitoring Center of Shandong Province, Dezhou 253000, China)

**ABSTRACT:** With the rapid advancement of industrialization and urbanization, a series of new pollutants, such as drug residues, personal care products, and industrial chemicals, have gradually emerged. These pollutants pose a serious threat to the ecological environment and human health due to their low concentration, high toxicity, easy bioaccumulation, and environmental persistence. New pollutants, as a type of environmental pollutant that has recently been identified or begun to receive widespread attention, are characterized by their low content but significant toxicity. Among them, the problems of new pollutants such as microplastics, antibiotics, and environmental endocrine disruptors are particularly prominent. How to efficiently identify and monitor these pollutants has become a core concern for researchers in the field of environmental science. This article will deeply analyze the characteristics, hazards, and monitoring difficulties of new pollutants, and summarize the latest research trends in the field of environmental monitoring, especially the detection technologies for pollutants such as microplastics, antibiotics, and environmental endocrine disruptors. By comparing the advantages and disadvantages of various monitoring methods, guidance is provided for environmental workers in selecting appropriate monitoring methods, in order to achieve rapid and accurate identification and monitoring of new pollutants.

**KEY WORDS:** new environmental pollutants; monitoring technology; monitoring challenges

## 0 引言

当前环境问题日益严峻, 城镇化与工业化的快速推进伴随着人口激增、城市规模不断扩张及重化工业的蓬勃发展, 导致能源消耗急剧增加, 环境污染问题愈发突出<sup>[1-2]</sup>。传统污染物如

空气、水和固体废弃物污染已对区域环境造成了显著破坏, 并对人类健康构成了严重威胁。更为令人担忧的是, 随着现代工业与农业技术的不断进步, 一系列新型环境污染物逐渐显现并引起广泛关注<sup>[3]</sup>。这些新型污染物包括但不限于药物残留、个人护理产品、工业化学品等, 它们通过废水排放、农业活动、

\* 通信作者: 杨越, 硕士, 中级工程师, 研究方向为环境监测和环境保护。E-mail: dzyang\_yue@163.com

\* Corresponding author: YANG Yue, Master, Engineer, Dezhou Ecological Environment Monitoring Center of Shandong Province, Dezhou 253000, China. E-mail: dzyang\_yue@163.com

垃圾处理等多种途径进入环境系统,由于其难以降解和生物累积性,对生态环境造成了长远而复杂的危害。

新型环境污染物往往具有低浓度、高毒性、生物累积性和环境持久性等特点,即使在微量存在下也可能对生物体产生毒性作用,破坏生态平衡,甚至通过食物链传递到人类体内,影响人类健康,如内分泌干扰、免疫系统抑制、生殖系统损害等。因此,新型环境污染物的出现进一步加剧了环境问题的严峻性,急需采取有效措施进行监测与控制<sup>[4]</sup>。

新型环境污染物监测技术的研发与应用,对于环境治理而言具有至关重要的意义。通过准确监测和定量分析环境中的新型污染物,可以全面掌握其污染水平、分布特征以及变化趋势,为制定科学合理的环境治理政策和措施提供坚实的数据支撑<sup>[5]</sup>。及时发现并有效控制新型污染物的扩散,能够显著减轻其对生态系统的破坏程度,保护生物多样性,维护生态平衡。通过监测环境中新型污染物的浓度水平,我们可以科学评估其对人类健康的潜在威胁,为预防和控制相关疾病提供有力依据,从而切实保障公众的健康安全。

本文旨在强调新型环境污染物监测技术研发与应用在环境治理中的核心重要性。通过精准监测与定量分析环境中的新型污染物,研究旨在全面揭示其污染现状、空间分布规律及动态变化趋势,从而为制定科学、合理的环境治理策略与政策提供坚实的数据基础。研究的核心目标是及时发现并有效控制新型污染物的扩散,以期最大程度减轻其对生态系统的损害,保护生物多样性,维持生态平衡。此外,通过监测新型污染物的浓度水平,本研究期望能够科学评估其对人类健康的潜在风险,为预防和控制相关疾病提供可靠依据,进而有效保障公众健康安全。综上所述,本文的主要目的是综述新型环境污染物监测技术的最新进展,探讨其在实际应用中的效能与挑战,为环境治理与公众健康保护提供理论支持与实践指导。

## 1 新型污染物概述

新型污染物(Emerging Contaminants, ECs)作为一类新近识别或备受瞩目的化学物质,其定义涵盖了内分泌干扰物、抗生素、溴代阻燃剂、持久性有机污染物、药物与个人护理产品、饮用水消毒副产物及其他工业化学品中的多种化合物<sup>[6]</sup>。这些污染物因具有低生物降解性、低化学降解性和低光降解性的特性,能够在环境中长期留存,并通过食物链累积,对人类健康构成深远威胁,包括神经毒性、基因毒性及内分泌干扰毒性等多方面的毒性效应。鉴于ECs在土壤、水体及大气等多介质中的广泛分布且浓度通常处于痕量级别,其监测工作面临极大挑战,要求采用高度灵敏且精确的监测技术与设备,并依据科学原理制定详尽的监测标准与操作规范。ECs的确切毒理机制与环境归宿尚存诸多未知,加之现有环境法规体系中针对ECs的具体条款与标准的缺失,使得环境监管策略的制定面临困难与挑战<sup>[7]</sup>。因此,强化ECs的基础科学研究,深入探索其毒性作用机制及在环境中的迁移转化规律,并加速环境法律法规的修订与完善,将ECs纳入监管框架,是科学指导监测方案设计、提升监测数据科学性与权威性,以及保障ECs监测工作有效推进的关键所在。

## 2 新型环境污染物监测技术

### 2.1 微塑料监测技术

微塑料(Microplastics, MPs),直径小于5毫米的塑料颗粒与纤维,因其微小尺寸难以通过常规手段有效去除,已广泛分布于水体、土壤及空气中,成为全球环境污染的重要议题。MPs来源广泛,涵盖塑料制品的自然分解、工业排放及日常使用的磨损<sup>[8]</sup>。在环境监测中,水体中的微塑料尤为关键,它们通过废水处理厂排放、河流湖泊等渠道进入淡水系统,最终可能汇入海洋,对海洋生态系统和生物多样性构成严重威胁。全面监测水体、土壤及空气中的微塑料,对理解其环境影响和制定治理策略意义重大。结合发达地区的监测技术,如原位监测、样品分析、实验室检测及数据模型,针对现有知识空白和技术障碍,提出构建微塑料监测技术和系统的对策,强调数据模型的重要性。

#### 2.1.1 光谱技术

光谱技术作为微塑料监测领域的革新力量,以其高效、快速、无损的特性脱颖而出。利用微塑料颗粒与特定波长光线的相互作用,细分为紫外-可见吸收光谱(UV-Vis)、荧光光谱与拉曼光谱三大技术。UV-Vis光谱凭借高灵敏度与广泛适用性,能迅速识别微塑料的形态、颜色及尺寸,尽管样品预处理稍显复杂;荧光光谱则通过测量荧光发射强度,实现微塑料浓度的精确量化,操作简便且灵敏;拉曼光谱则以其高分辨率与非破坏性检测优势,准确鉴别微塑料种类,但操作与设备要求较高<sup>[9]</sup>。近年来,光谱技术与机器学习算法的融合,极大提升了微塑料识别的精度与效率,而微型光谱仪的开发,更是推动了现场实时监测的进展。然而,挑战犹存,如预处理繁琐、设备成本及专业操作门槛等。

#### 2.1.2 滤网捕集法

滤网捕集法,作为一种基于物理筛选原理的微塑料监测手段,通过精心设计的具有特定孔径的滤网来捕获和分离污水中的微塑料颗粒。该技术在污水处理厂微塑料监测中展现出了操作简便、经济实惠的特点,广泛采用聚四氟乙烯(Polytetrafluoroethylene, PTFE)、聚酯(Polyethylene terephthalate, PET)和聚酰胺(Polyamide, PA)等化学稳定性优良的材料制作滤网。操作流程涵盖样品预处理、滤网捕集、滤膜干燥以及微塑料颗粒称重等关键步骤,确保了监测过程的系统性和准确性<sup>[10]</sup>。

#### 2.1.3 荧光染料法

荧光染料法是一种用于监测微塑料的有效方法,它依赖于荧光染料与微塑料颗粒之间的相互作用。这种方法的关键在于选择合适的荧光染料,这些染料需要能够与微塑料颗粒强烈吸附,并产生清晰的荧光信号。常用的荧光染料包括罗丹明B和尼罗红,它们因其稳定性而被广泛使用。荧光染料法的监测流程相对直接,主要包括以下几个步骤:(1)对样品进行预处理,这通常涉及过滤和沉淀等步骤,以去除样品中的大颗粒和悬浮物,从而减少对监测结果的干扰。(2)向预处理后的样品中添加适量的荧光染料,并通过搅拌或震荡等方法促进染料与微塑料颗粒的相互作用。(3)通过荧光测量设备检测样品中的荧光信号,从而对微塑料进

行定量分析<sup>[11-12]</sup>。这种方法的优点在于其操作简便、灵敏度高，并且能够提供定量的分析结果，使其成为监测环境中微塑料污染的重要工具。

## 2.2 抗生素监测技术

抗生素，作为治疗与预防细菌感染的关键药物，广泛应用于医疗、畜牧业及水产养殖中。虽然带来了显著的健康效益，但也带来了不容忽视的环境问题<sup>[13]</sup>。抗生素的残留物通过废水排放、农业灌溉等途径进入水体、土壤及农产品中，直接影响了水生生物和土壤微生物的生态平衡，更关键的是促进了耐药基因的产生与传播，对全球公共卫生构成了潜在威胁。

### 2.2.1 固相萃取技术(Solid-Phase Extraction, SPE)

固相萃取技术基于抗生素与固相萃取柱中吸附剂的相互作用，通过特定的活化、淋洗和洗脱步骤，实现对目标抗生素的选择性富集。具体包括针对不同环境和抗生素种类的不同操作流程。使用 HLB 固相萃取柱时，可以通过甲醇和纯水的活化去除柱中杂质，纯水淋洗去除基质干扰，再以甲醇-乙腈(1:1, V/V)或2%甲醇溶液洗脱目标抗生素<sup>[14]</sup>。

固相萃取技术，作为一种高效的选择性富集方法，其核心在于利用抗生素与固相萃取柱中吸附剂的特异性相互作用。该技术通过精细设计的活化、淋洗和洗脱步骤，实现了对目标抗生素的精准富集，具有操作简便、富集效率高及适用范围广等优势。在实际操作中，以 HLB 固相萃取柱为例，首先利用甲醇和纯水进行活化，去除柱内杂质，随后通过纯水淋洗降低基质干扰，最终采用甲醇-乙腈(1:1, V/V)或2%甲醇溶液作为洗脱液，精确回收目标抗生素。近年来，随着新型吸附材料与智能自动化设备的引入，固相萃取技术在抗生素监测领域取得了显著进展，不仅提高了富集效率与精度，还简化了操作流程。面对吸附剂选择与洗脱条件控制等挑战，未来研究应致力于开发更高效、更环保的吸附材料，并优化洗脱条件，同时加强跨学科合作，融合生物传感、大数据分析等新兴技术，以期在抗生素监测领域实现更大突破。

### 2.2.2 高效液相色谱法

高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)作为抗生素检测领域的核心技术，凭借其出色的选择性和精密度，在多种抗生素的定量分析上展现出显著优势。该技术通过样品在色谱柱上的精细分离，结合紫外或荧光检测器的高灵敏度检测，实现了对抗生素的精准定量。近年来，随着色谱柱材料、检测器技术和数据处理方法的持续进步，HPLC在抗生素检测领域取得了长足发展。新型色谱柱材料的开发提高了分离效率和选择性，高灵敏度检测器的应用显著增强了痕量抗生素的检测能力，而智能化数据处理技术的引入，如机器学习算法，则进一步提升了数据分析的准确性和效率。HPLC技术仍存在灵敏度相对较低和抗干扰能力不足的局限性，特别是在痕量抗生素的检测上表现欠佳。

### 2.2.3 高效液相色谱-串联质谱法

高效液相色谱-串联质谱法(High Performance Liquid Chromatography-Mass spectrometry Mass spectrometry, HPLC-MS/MS)结合了高效液相色谱的分离能力和质谱的高灵敏度与

特异性，成为复杂基质水样中多种类抗生素同时分析的方法<sup>[15]</sup>。通过串联质谱的多级质谱检测，可以实现对目标抗生素的精确识别和定量分析。这种技术具有高灵敏度和特异性的优点，但设备成本高，操作复杂，需要专业人员进行操作和维护。

## 2.3 环境内分泌干扰物监测技术

环境内分泌干扰物(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs)，作为一类广泛存在的化学物质，指能够干扰生物体内正常激素功能的外源性化学物质。这类物质不仅对人类和动物的生殖、神经及免疫系统构成威胁，还因其来源广泛、危害性大及毒理潜伏期长的特性而备受关注。EDCs主要集中在农药、工业化学品以及消费品中的添加剂等潜在污染源上。具体而言，农业生产中使用的有机氯农药(如 DDT 等)和狄氏剂等<sup>[16]</sup>，通过不断地残留在食物链不断累积。在工业领域，重金属(如铅、汞、镉等)、酚类化合物(如双酚 A、壬基酚)以及邻苯二甲酸酯类增塑剂(如 DEHP、DBP 等)是常见的污染源。消费品如塑料制品中的添加剂，如双酚 A (BPA)，也是不可忽视的 EDCs 来源。

### 2.3.1 气相色谱-质谱联用

气相色谱-质谱联用(Gas chromatography-Mass spectrometry, GC-MS)技术是一种高效、灵敏的分离和鉴定方法，适用于挥发性或半挥发性 EDCs 的分析。通过 GC 的分离作用和 MS 的定性、定量功能，可以实现对 EDCs 的准确检测。GC-MS 技术具有分辨率高、检测限低、重现性好等优点，是环境内分泌干扰物监测中的主流技术之一<sup>[17]</sup>。

### 2.3.2 酶联免疫技术

酶联免疫技术(Enzyme-Linked Immunosorbent Assay, ELISA)是一种基于抗原-抗体特异性结合原理的生化分析方法(如图 1 所示)，适用于大批量样本中 EDCs 的快速筛选和定量分析。ELISA 技术具有操作简便、成本低廉、检测速度快等优点，但在准确性和灵敏度方面可能不如 GC-MS 和 HPLC-MS/MS 等技术。因此，ELISA 通常用于初步筛选或大规模监测项目中。

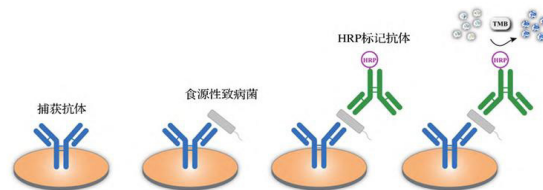


图 1 夹心 ELISA 原理图<sup>[18]</sup>

Fig.1 Sandwich ELISA schematic diagram

## 2.4 其他

环境科学正逐步揭开一系列新型污染物的神秘面纱，例如药品与个人护理产品(Pharmaceutical and Personal Care Products, PPCPs)和全氟及多氟化合物(Perfluorinated Compounds, PFCs)等，这些过去可能未得到充分关注的化学物质，正通过废水排放、垃圾处理等多种途径悄然渗透进我们的环境系统<sup>[19]</sup>。为应对这些新威胁，科学家们正不断革新监测技术，如采用高效液相色谱-质谱联用(HPLC-MS/MS)和气相色谱-质谱联用(GC-MS)等高级分析方法，实现对痕量污染物的精准识别与定量<sup>[20]</sup>。随

着纳米科技、生物传感器等前沿领域的飞速发展,一系列创新性的检测工具应运而生,为环境监测工作注入了新的活力与效率<sup>[21]</sup>。这些新型技术不仅提高了检测速度,还降低了检测成本,为全面、深入地了解环境污染状况提供了强有力的支持。面对新型污染物的挑战,加强跨学科合作、推动技术创新、完善环境法规与标准,以及提升公众环保意识,已成为新时代环境工作者的使命。

### 3 新型环境污染物监测面临的挑战与对策

随着工业化与城镇化的快速发展,新型环境污染物如微塑料、抗生素及环境内分泌干扰物等日益凸显,对生态及人类健康构成长期威胁。这些污染物具有低浓度、高毒性、生物累积性和持久性等特点,监测工作面临多重挑战。技术层面,现有监测技术在灵敏度、特异性和成本上难以满足全面、准确监测新型污染物的需求。如微塑料颗粒微小且难以分离,传统方法效率低下;抗生素和环境内分泌干扰物浓度极低,易受基质干扰,精准识别和定量分析难度大。新型环境污染物的监测工作虽面临挑战,但通过加强技术研发、完善监测标准体系和加强国际合作,我们有望实现有效应对,为环境保护和可持续发展贡献力量。

### 4 结束语

新型环境污染物的出现给环境治理带来了前所未有的挑战,这些污染物以其低浓度、高毒性、生物累积性和环境持久性等特点,对生态环境和人类健康构成了长期而复杂的威胁。加强新型环境污染物的监测技术研究,提升其监测精度与效率,是保障环境安全和人类健康的重要因素。加快监测标准的制定与完善,加强国际合作与数据共享,以及提升公众环保意识,也是应对新型环境污染物挑战的重要措施。通过不懈努力,有望构建更加全面、科学、高效的监测体系,为环境保护和可持续发展贡献重要力量。

### 参考文献

- [1] 阮挺,江桂斌.发现新型环境有机污染物的基本理论与方法[J].中国科学院院刊,2020,35(11):1328-1336.
- [2] 郑巨浩,钱佳丽,方瑾.新型环境污染物监测技术及其在源解析中的应用研究[J].大众标准化,2024,(11):140-142.
- [3] 汤庆峰,李琴梅,魏晓晓,等.环境样品中微塑料分析技术研究进展[J].分析测试学报,2019,38(08):1009-1019.
- [4] 费婷.污水处理过程中新型污染物的监测与分析[J].黑龙江环境通报,2024,37(05):60-62.
- [5] 钟宇翔,张惊宇,燕亚平.气候变化对新型污染物扩散传输的影响及环境政策建议[J].皮革制作与环保科技,2024,5(12):164-166.
- [6] 张杨.我国新污染物防治现状及治理技术展望[J].当代化工,2024,53(11):2764-2768.
- [7] 张鑫,赵保卫,刘辉,等.土壤中微塑料分析、环境行为及风险研究进展[J].环境科学与技术,2024,47(05):143-159.
- [8] 李睿,卢杰.微塑料与重金属复合污染研究概述[J].现代农业研究,2024,30(06):1-6.
- [9] 李宗超,陆峥,孙景博,等.微塑料污染监测现状与研究进展[J].中国环境监测,2022,38(04):1-12.
- [10] 张淑磊,崔瑞及,闫灵均,等.微塑料在肥胖领域的研究进展[J].实用医学杂志,2024,40(14):1908-1914.
- [11] 李盼,杨玉菲,薛振,等.微纳米塑料对陆生哺乳动物毒性效应的研究进展[J].生态毒理学报,2023,18(06):168-176.
- [12] 孙凡晰,齐鑫,王靖,等.微塑料和纳米塑料对胃肠道及肝脏的毒性效应机制研究进展[J].生态毒理学报,2023,18(04):131-147.
- [13] 吕振娥.土壤中抗生素类物质的分析研究进展[J].农业与技术,2021,41(06):52-55.
- [14] 葛秋.污水处理中抗生素抗性基因产生和去除分析[J].水利技术监督,2024,(07):144-148.
- [15] 赵博雨,郝鹏,张佳奇,等.环境中抗生素抗性基因的传播及抗生素的降解[J].家畜生态学报,2024,45(06):82-87.
- [16] 杨廷政,桑宇驰,吕禾源,等.环境中典型内分泌干扰物(EDCs)去除技术研究进展[J].当代化工研究,2024,(03):6-8.
- [17] 王斌,李文嘉,王涛,等.河湖水体新污染物赋存特征、去除技术及防控对策[J].科技导报,2024,42(11):6-17.
- [18] 苏娜,明亮,何静,等.免疫检测技术在食源性致病菌中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2024,50(12):343-352.
- [19] 李昂,吕梦冉,庞长沈,等.水中全氟/多氟化合物微生物去除技术研究进展[J].给水排水,2023,59(S2):821-829.
- [20] 刘贺婕,阎妮.全氟和多氟化合物与其他污染物共存时在地下环境中迁移行为研究进展[J].环境污染与防治,2023,45(10):1447-1455.
- [21] 刘云,高晓花,周原,等.中国全氟和多氟化合物的污染特征及其去除技术评述[J].青海环境,2023,33(04):196-203.

### 作者简介



杨越, 硕士, 中级工程师, 研究方向为环境监测和环境保护。