

水环境中新污染物赋存特征、 处理技术与管控对策 探究

应有成, 屈建飞, 洪盼盼

江西溯华检测技术有限公司, 江西 南昌

收稿日期: 2026年8月14日; 录用日期: 2026年9月28日; 发布日期: 2026年10月16日

摘 要

随着化工产业快速发展, 药品及个人护理品、全氟多氟烷基物质、内分泌干扰物、抗生素、微塑料等新污染物在各类水体中频繁检出。新污染物具有环境持久性、生物累积性、低浓度高毒性特征, 常规污水处理工艺难以完全去除, 对水生生态系统与人体健康构成潜在威胁。本文综述水中典型新污染物的主要类别、来源途径、环境赋存与迁移转化特征, 讨论污泥介质中新污染物赋存、次生风险与资源化处置瓶颈, 汇总不同水处理工艺的定量去除效率, 梳理我国新污染物治理政策体系, 剖析政策-技术-市场三者之间的协同与脱节矛盾, 分析当前监测、处理、管控环节存在的瓶颈, 提出更加具体、可落地的未来研究方向, 为流域水环境新污染物风险防控、污染治理提供理论参考。

关键词

新污染物, 污泥介质, 政策-技术-市场协同, 赋存特征, 水处理技术, 风险管控

Study on Occurrence Characteristics, Treatment Technologies and Control Countermeasures of Emerging Contaminants in Aquatic Environment

Youcheng Ying, Jianfei Qu, Panpan Hong

Jiangxi Suhua Testing Technology Co., Ltd., Nanchang Jiangxi

文章引用: 应有成, 屈建飞, 洪盼盼. 水环境中新污染物赋存特征、处理技术与管控对策探究[J]. 世界生态学, 2026, 15(4): 598-604. DOI: 10.12677/ije.2026.154065

Received: August 14, 2026; accepted: September 28, 2026; published: October 16, 2026

Abstract

With the rapid development of chemical industry, emerging contaminants, including pharmaceuticals and personal care products, per- and poly-fluoroalkyl substances, endocrine-disrupting chemicals, antibiotics and microplastics, are frequently detected in various water bodies. Characterized by environmental persistence, bioaccumulation and high toxicity at low concentrations, emerging contaminants cannot be completely removed by conventional wastewater treatment processes, posing potential threats to aquatic ecosystem and human health. This paper reviews the main categories, source pathways, environmental occurrence and migration-transformation characteristics of typical aquatic emerging contaminants, discusses the occurrence, secondary risks and bottlenecks of resource utilization of emerging contaminants in sludge medium, summarizes the quantitative removal efficiencies of different water treatment technologies, sorts out China's policy system for emerging pollutant control, analyzes the synergy and disconnection among policy-technology-market, identifies the bottlenecks in monitoring, treatment and management, and puts forward targeted and practical future research directions. It can provide theoretical references for risk prevention and pollution control of emerging contaminants in watershed water environment.

Keywords

Emerging Contaminants, Sludge Medium, Policy-Technology-Market Synergy, Occurrence Characteristics, Water Treatment Technology, Risk Control

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统水污染治理重点关注化学需氧量、氨氮、总磷、总氮等常规指标，而大量人工合成化学物质未被纳入常规监测体系，这类物质被称为新污染物。新污染物一般指新近发现或被关注，具备生物毒性、环境持久性、生物累积性，对生态环境、人体健康存在风险，现有管理措施不足以实现风险防控的化学物质。

城镇污水厂出水、工业废水、农田径流、医院排水、大气沉降等途径持续向水环境输入各类新污染物。即使是 $\text{ng/L} \sim \mu\text{g/L}$ 的低浓度水平，长期暴露依旧会造成水生生物生殖异常、诱导抗生素耐药基因传播、干扰人体内分泌系统等负面效应。《新污染物治理行动方案》[1]确立对“高关注、高产(用)量的化学物质环境风险筛查”，“化学物质环境风险评估；动态发布重点管控新污染物清单”；《重点管控新污染物清单（2023 版）》提出“结合监管实际，经过技术可行性和经济社会影响评估后确定”[2]。相关规定确立了“筛、评、控”全链条治理思路，水环境新污染物已经成为水环境保护领域的研究热点。现有综述多聚焦水相介质，较少关注污泥固-液界面的迁移转化，且缺少对国内治理体系中政策、技术、市场三方联动矛盾的剖析。本文围绕水中新污染物开展综述，梳理类别来源、环境行为，污泥介质和处理技术与管控对策相关内容，汇总工艺定量去除效果，剖析政策-技术-市场协同现状，提出针对性研究展望。

2. 水中典型新污染物主要类别与来源

2.1. 主要类别

- 水环境中关注度较高的新污染物分为五大类[3]，如下表 1：
- (1) 药品与个人护理品(PPCPs)：包含各类抗生素、解热镇痛药、防晒霜组分、洗护添加剂，来源于医疗废水、生活污水、畜禽养殖排水；
 - (2) 全氟及多氟烷基物质(PFAS)：全氟辛烷磺酸 PFOS、全氟辛酸 PFOA，具备极强持久性，被称为“永久化学品”，来自电镀、消防泡沫、纺织、涂料工业排放；
 - (3) 内分泌干扰物(EDCs)：环境激素，如双酚 A、壬基酚、邻苯二甲酸酯增塑剂，可干扰生物内分泌，主要来自塑料加工、日化、工业废水；
 - (4) 微塑料：粒径小于 5 mm 塑料颗粒、纤维碎片，来源于塑料降解、纺织洗衣排水、地表径流；
 - (5) 新型消毒副产物、有机阻燃剂、兽药等其他管控类物质。

Table 1. Typical emerging contaminants in water and their main sources
表 1. 水中典型新污染物及主要来源

污染物类别	代表物质	主要排放来源
PPCPs	磺胺类抗生素、布洛芬、三氯生	生活污水、医院废水、畜禽养殖
PFAS	PFOS、PFOA、短链 PFBA/PFBS	消防、电镀、纺织、化工生产
内分泌干扰物	双酚 A、壬基酚、邻苯二甲酸酯	塑料、日化、工业废水
微塑料	PET、PE 微小颗粒纤维	洗衣废水、塑料老化、地表径流
其他新污染物	有机磷酸酯阻燃剂、兽药	电子工业、农业面源

2.2. 输入水环境的主要途径

新污染物进入水体包含点源与非点源两类途径，新污染物进入水环境迁移转化示意图见图 1。

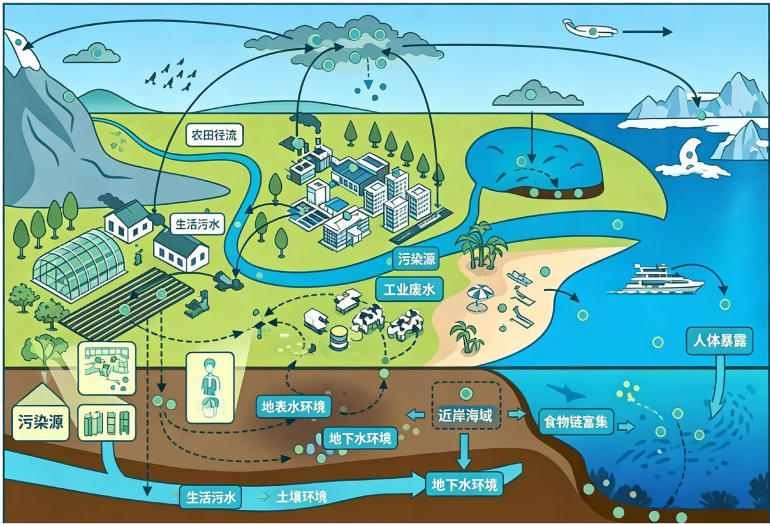


Figure 1. Schematic diagram of migration and transformation of emerging contaminants entering aquatic environment [3]
图 1. 新污染物进入水环境迁移转化示意图[3]

(1) 点源污染：城镇污水处理厂尾水是最重要来源，传统活性污泥工艺无法彻底降解全部新污染物，残余部分随尾水排入河流；化工、电镀、制药企业生产废水；医院、规模化畜禽养殖场废水直排或处理后排放，大量水相中新污染物会通过吸附作用转移进入污泥相，污泥处置不当会再次释放形成二次污染。

(2) 非点源污染：农田雨水径流，携带农药、兽药；城市雨水冲刷地面，带入微塑料、日化残留物；大气干湿沉降，部分持久性新污染物通过大气沉降进入地表水与地下水。

3. 水环境中新污染物赋存特征与环境风险

3.1. 赋存特征

国内大量流域调查显示，地表水、地下水、饮用水水源中均可检出多种新污染物，浓度大多处于 ng/L~几百 ng/L，局部受污染区域可达 $\mu\text{g/L}$ 级别[4]。珠江口流域枯水期针对八大入海口及近海海域 46 个点位开展非靶向筛查，共识别出 179 种新污染物，涵盖 60 种药物、70 种农药、35 种工业化学品、7 种个人护理品及 7 种兽药，药物、农药、工业化学品占比最高；阿特拉津、敌草隆、地西泮、金刚烷胺、HMMM (轮胎交联剂)等物质检出率超过 80%，反映出农业面源、城市雨水径流、城镇污水处理厂尾水是该区域新污染物的主要输入源[5]。广西漓江岩溶流域的监测表明，地表水、地下水中均可检出 PFAS 类物质，部分地下水点位总全氟化合物浓度高于地表河水，体现出新污染物在岩溶含水层具有迁移下渗、污染地下水的风险。长江、黄河、淮河等国内主要流域水源地同样普遍检出抗生素、内分泌干扰物、阻燃剂等各类新污染物，不同流域受区域产业结构、农业生产与人口密度影响，污染组分与浓度水平存在明显差异。新污染物有 3 个显著特点[6]：

- (1) 低浓度、广分布，虽然单种物质浓度不高，但多种新污染物共存，形成复合污染；
- (2) 部分物质持久性极强，PFAS 很难自然降解，可以长距离迁移，地下水一旦被污染修复难度极大；
- (3) 易发生生物富集，沿食物链逐级放大，在水生生物体内积累。

3.2. 污泥相中新污染物赋存、风险与资源化处置

污水处理过程中疏水性新污染物会通过吸附沉降大量富集于污泥，污泥成为新污染物重要“汇”，若处置不当又会转变为二次污染源。PPCPs、EDCs、PFAS、微塑料均可在城镇污水厂污泥中高频检出，其中氟喹诺酮类、四环素类抗生素、邻苯二甲酸酯在污泥中富集效应显著，约 90%部分抗生素组分从水相转移至污泥固相。

污泥不同稳定化工艺对新污染物削减效果差异明显：好氧堆肥对部分内分泌干扰物可实现 20%~84% 去除；厌氧消化对多数 PFAS 几乎无降解效果，部分前体物甚至会转化生成 PFAS，造成含量不降反升现象。污泥土地资源化利用是国内重要处置路径，但污泥中残留新污染物可随雨水淋溶渗入地下水，或被农作物吸收，带来土壤-地下水-食物链链式风险。目前我国污泥相关标准尚未系统纳入 PFAS、部分 PPCPs 等新污染物限值，污泥土地利用的新污染物风险评估体系尚不健全，制约污泥安全资源化推广。污泥焚烧虽可降解大部分有机新污染物，但 PFAS 高温条件下存在不完全分解、烟气二次释放风险，灰渣也存在残留风险。

3.3. 生态与健康风险

(1) 生态风险：抗生素持续释放诱导环境中抗生素耐药基因(ARGs)增殖传播，造成微生物耐药；内分泌干扰物会造成鱼类雌雄同体、繁殖能力下降；微塑料会被浮游生物、鱼类摄食，造成物理损伤，同时吸附其他有毒有机污染物，产生复合毒性[7]。污泥土地利用带入环境的新污染物同样会造成土壤微生物群落扰动，进一步扩散耐药基因。

(2) 人体健康风险：饮用水长期低剂量暴露是人体重要暴露途径。PFAS 与人体肝脏损伤、血脂异常存在相关性；内分泌干扰物会干扰激素分泌，影响生殖发育；多种污染物联合暴露的复合毒性，目前毒理数据库尚不完整，存在大量未知风险[8]。污泥资源化带来的农作物富集、地下水污染也是潜在人体暴露途径。

4. 水处理工艺对水中新污染物的去除效果

4.1. 传统污水处理工艺

常规活性污泥、混凝沉淀、过滤工艺对新污染物的去除效果差异很大[9]。对于易吸附的疏水性物质，通过污泥吸附可以实现部分去除；对于亲水性抗生素、PFAS，传统工艺去除率很低，大多只能达到10%~40%，大量残留随尾水进入自然水体。污泥会富集大量新污染物，污泥处置不当会造成二次污染[10]。

4.2. 深度处理技术[11]

(1) 高级氧化技术(AOPs)：臭氧氧化、芬顿、紫外-过氧化氢，依靠羟基自由基氧化破坏有机污染物分子结构。对 PPCPs、内分泌干扰物去除效果较好，但对 PFAS 去除效果有限，同时氧化过程有可能生成毒性更强的中间产物。

(2) 吸附技术：活性炭、改性吸附材料。活性炭对微塑料、多数有机新污染物吸附效果良好，缺点是对短链 PFAS 去除有限，吸附饱和后需要再生，运行成本偏高，新型高选择性离子交换树脂对短链 PFAS 表现出优于活性炭的吸附性能。

(3) 膜处理技术：纳滤、反渗透。可以截留绝大多数 PFAS、PPCPs、微塑料，去除效率高；但会产生高浓度浓水，浓水处理是难点，设备投资与运行成本高。

(4) 生物强化处理：筛选功能微生物、好氧颗粒污泥，提升对部分抗生素的降解能力，但受水温、基质条件限制大，对“永久化学品”PFAS 几乎无法降解。

典型工艺对新污染物去除大致效果比较见表 2。

Table 2. Approximate removal efficiencies of emerging contaminants by typical processes (%)
表 2. 典型工艺对新污染物去除大致效果(%)

处理工艺	PPCPs	PFAS	内分泌干扰物	微塑料
传统活性污泥	10~40	0~20	20~50	20~45
臭氧高级氧化	50~85	0~15	55~80	—
活性炭吸附	60~90	15~50	65~92	70~95
纳滤/反渗透	85~98	80~97	88~99	90~99

注：数据综合多篇国内污水处理实际监测与综述文献，受进水基质、污染物链长、运行参数影响，实际工程存在波动；“—”代表几乎无去除甚至出现负去除效应。

综合来看，没有单一工艺可以去除全部类型新污染物，工程上需要采用多级组合工艺；针对 PFAS 这类难降解物质，现有水处理技术成本仍然偏高。同时需要关注污泥富集新污染物带来固废处置环节风险。

5. 我国水环境新污染物管控现状

5.1. 相关政策体系逐步完善

相关政策提出“筛-评-控”全链条治理思路；《重点管控新污染物清单（2023 版）》[2]确定 14 类

重点管控物质, 落实禁止、限制、限排措施。排污许可制度逐步纳入重点新污染物管控要求, 要求重点企业落实源头替代、末端治理措施。同时我国参与《斯德哥尔摩公约》, 对持久性有机污染物实施国际协同管控[12]。

5.2. 水环境新污染物管控难点

当前我国已经建立自上而下的政策框架, 但政策落地过程中政策、技术、市场三者存在明显脱节, 成为治理的核心瓶颈。

(1) 政策层面: 经济激励、市场化工具供给不足。部分新污染物尚未完善污水排放限值与水环境质量标准, 污泥资源化利用缺少新污染物管控指标。监管缺少硬约束; 跨部门协同机制仍待打通。

(2) 技术层面: 部分关键治理技术(尤其短链 PFAS 处理)实验室效果好, 但工程化成本高、大规模工程应用受限[13]; 污泥中新污染物消减技术储备不足, 技术供给与政策管控需求不匹配。

监测能力不足: 新污染物种类繁多, 仪器依赖高分辨质谱, 检测成本高, 缺少大批量常规监测方法; 很多地表水、地下水站点尚未开展常态化新污染物监测, 污泥介质中新污染物监测较为薄弱。

(3) 市场层面: 新污染物治理外部性强, “污染者付费”落地机制尚不健全; 企业主动治理动力不足; 社会资本参与渠道有限, 高效新技术商业化推广受阻。

(4) 溯源难度大, 非点源污染分散, 管控难度大; 复合污染的联合毒性风险评估体系尚不完善, 政策 - 技术 - 市场协同机制有待完善。

6. 研究展望

结合前述赋存特征及管控难点, 未来水环境新污染物可重点开展以下研究方向:

(1) 完善多介质监测技术体系: 发展非靶向筛查技术, 识别水体 - 污泥介质中未知新污染物, 建立低成本筛查方法, 构建流域水 - 泥耦合新污染物数据库; 建立基于环境 DNA (eDNA) 技术的新污染物生态风险早期预警体系, 实现痕量复合污染下生态效应快速预警。

(2) 开发低成本高效靶向处理技术: 研发新型吸附、催化降解材料, 重点开发针对短链 PFAS 的高选择性吸附树脂与功能化吸附材料, 解决传统活性炭对短链 PFAS 去除效能不足的痛点; 开发适合污水处理厂改造的水 - 污泥协同处置组合工艺, 兼顾水相处理与污泥固相中污染物消减, 降低工程成本。

(3) 强化源头管控与污泥全过程风险防控: 推进有毒有害化学品源头替代, 警惕“替代物质带来新污染”现象; 完善污泥土地利用、焚烧处置场景下新污染物风险评估方法, 补齐污泥资源化利用风险管控短板, 从生产使用环节减少新污染物向水环境输入; 加强畜禽养殖、农业面源新污染物管控。

(4) 完善风险评估与市场化治理机制: 加强多种新污染物复合暴露毒理研究, 建立适合我国本土的生态与健康风险评价方法; 完善水质标准、排污许可配套制度; 研究基于“污染者付费”原则的新污染物治理市场化机制, 探索排污收费、环境责任、第三方治理等工具, 打通政策、技术、市场之间的衔接堵点, 激发企业主动治理动力。

(5) 开展流域协同防控, 将新污染物纳入流域综合管理, 实现常规污染物 - 水相新污染物 - 污泥介质新污染物协同治理。

参考文献

- [1] 国务院办公厅关于印发新污染物治理行动方案的通知[EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202205/t20220524_983032.shtml, 2022-05-24.
- [2] 重点管控新污染物清单 (2023 年版) [EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk02/202212/t20221230_1009167.html, 2022-12-30.

- [3] 李宁, 梁澜, 王天昊, 等. 2025 年新污染物在水-固环境介质中交互作用规律研究热点回眸[J]. 科技导报, 2026, 44(2): 69-78.
- [4] 潘雄, 林莉, 杨玉义. 我国流域水环境污染对共存抗生素抗性基因赋存与传播的影响[J]. 湖泊科学, 2026, 38(2): 448-464.
- [5] 韦正峥, 向月皎, 郭云, 等. 国内外新污染物环境管理政策分析与建议[J]. 环境科学研究, 2022, 35(2): 443-451.
- [6] 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.
- [7] 李则婵, 庞燕, 陈书琴, 等. 典型污水处理工艺各工序全氟化合物赋存及去除效果[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(4): 1311-1318.
- [8] 罗曼琳, 印成燕, 封民巧, 等. 废水中全氟和多氟烷基物质处理技术研究进展[J]. 岩矿测试, 2025, 44(4): 576-597.
- [9] 苗令占, 邓肖雅, 杨铮, 等. 微塑料的老化过程、产物及其环境效应研究进展[J]. 中国环境科学, 2023, 43(11): 6156-6171.
- [10] 宋池, 邹树斌, 苑一凡, 等. 湿地净化水体新污染物的机制及影响因素[J]. 湿地科学, 2026, 24(2): 453-464.
- [11] 张子辰, 王玉, 谢宇煊, 等. 供水系统中典型新污染物污染状况及水处理去除特性综述[J]. 环境卫生学杂志, 2025, 15(1): 1-11.
- [12] Hodges, B.C., Cates, E.L. and Kim, J. (2018) Challenges and Prospects of Advanced Oxidation Water Treatment Processes Using Catalytic Nanomaterials. *Nature Nanotechnology*, **13**, 642-650. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0216-x>
- [13] 解码新污染物：为何它难“捉”更难“治”？[EB/OL]. https://thdhjg.mee.gov.cn/xwdt/thyw/202604/t20260422_1149898.html, 2026-04-22.