

Research Progress on Treatment Technology of New Pollutants in Water

Yongyao Yan¹ Ke Sun² Wei Wang¹

1. Wuhan Hydrogeology Engineering Geology Group, Hubei Geological Bureau, Wuhan, Hubei, 430050, China

2. Hubei Yihe Tiancheng Project Management Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430050, China

Abstract

With the frequent occurrence of new pollutants in water, new pollutants have become a hot topic in the field of water pollution control. Deeply understanding and mastering the latest research progress in the treatment technology of new pollutants in water bodies is of great significance for promoting further in-depth research, effective management, and engineering control of new pollutants in water. The paper first provides a brief description of new pollutants in water, analyzes their types, sources, and hazards, and further discusses the treatment technologies for new pollutants in water, including physical treatment technology, chemical treatment technology, biological treatment technology, combined treatment technology, and some new treatment technologies. Various technologies have achieved certain research and application results in the treatment of new pollutants in water, but each technology has its inherent limitations and needs further exploration and research.

Keywords

new pollutants in water; pollutants; processing technology

水中新污染物的处理技术研究进展

鄢永耀¹ 孙轲² 王威¹

1. 湖北省地质局武汉水文地质工程地质大队, 中国·湖北 武汉 430050

2. 湖北亿和天诚项目管理有限公司, 中国·湖北 武汉 430050

摘要

随着水体中新污染物的频繁出现, 新污染物已经成为水污染控制领域的一大热点话题。深入了解并掌握当前水体中新污染物处理技术的最新研究进展, 对于推动水中新污染物的进一步深入研究、有效管理及工程化控制具有重要意义。论文首先就水中新污染物进行了简单描述, 对其种类、来源与危害进行分析, 进一步讨论水中新污染物的处理技术, 包括物理处理技术、化学处理技术、生物处理技术、组合处理技术以及一些新型处理技术等。各种技术在水中新污染物的处理领域均已取得了一定的研究与应用成果, 然而每种技术均存在其固有的局限性, 并有待进一步深入探索与研究。

关键词

水中新污染物; 污染物; 处理技术

1 引言

新污染物 (Emerging Contaminants) 是目前国际社会广泛关注的环保问题, 普遍包括国际公约管控的内分泌干扰物、持久性有机污染物、抗生素和微塑料。有别于传统污染物, 新污染物随着新型工业、消费品与现代医疗活动出现, 一些新污染物的生物效应和毒性了解还不够完全, 环境行为比起传统污染物也更加复杂, 在处理技术方面也面临着更高的要求。目前, 中国已经出台了一系列相关法律法规以规范新污染物的治理, 如《新污染物治理行动方案》《中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》等。常见的水

中新兴污染物主要有微塑料、药品和个人护理用品 (PPCPs)、全氟化合物 (PFCs)、纳米材料、抗生素抗性基因 (ARGs) 等, 这些物质在进入水环境后对公共健康和环境产生巨大危害。

2 水中新污染物概述

2.1 水中新污染物种类

2.1.1 微塑料

微塑料是指直径小于 5mm 的塑料碎片, 其既可能由较大塑料废弃物分解形成, 也有可能是直接排放的初级微塑料。微塑料在环境中会进行迁移、转化、沉积等环境行为, 会对底栖生态系统造成影响, 由于可以被水生生物摄食, 对环境生态会造成一定负面影响, 微塑料本身或吸附的有毒化学物质也可能对生物体产生毒性效应。

【作者简介】鄢永耀 (1991-), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 助理工程师, 从事水工环工程管理研究。

2.1.2 药品和个人护理用品 (PPCPs)

PPCPs 物质主要包括药品、个人护理产品、化妆品等,医疗机构和生活污水都可能将这些物质排放到水环境中,这类物质带来的药物残留可能导致细菌等微生物产生抗药性,其生态毒性会对水生生态系统造成慢性影响。

2.1.3 全氟化合物 (PFCs)

PFCs 物质具有疏油疏水特性,一般被用于制造不粘锅、防水服、家具、地毯等。工业废水和废弃物的不当处置会导致 PFCs 进入环境,其在环境中非常稳定,不易降解,能够留存数十年之久,且具有高亲脂性,会在生物体内累积,并通过食物链放大生物累积,也能够进行长距离迁移这一环境行为。对生态、人体健康具有较大危险。在《重点管控新污染物清单》中,对全氟辛基磺酸及其盐类和全氟辛基磺酰氟 (PFOS 类) 管控十分严格。

2.1.4 纳米材料

纳米材料是指至少在一个维度上尺寸在 1~100nm 之间的材料,目前有金属纳米材料、金属氧化物纳米材料、碳基纳米材料等多种纳米材料。纳米材料也在医学、材料科学、电子学、环境领域等被广泛应用。纳米材料在环境中可以进行释放、迁移、转化、降解、积累等多种环境行为。具有生态毒性,对人体容易造成炎症、遗传毒性、氧化应激等影响。

2.1.5 抗生素抗性基因 (ARGs)

抗生素抗性基因是一类能够使细菌等微生物对一种或多种抗生素产生抗性的基因。一些微生物能够进化出抗性基因,但其传播主要是因为医疗中抗生素的使用与滥用,加速了抗性基因在微生物群体中的传播,以及畜牧业中也会广泛使用抗生素。在环境中 ARGs 可以进行水平、垂直基因转移,对生态系统健康造成影响,环境中 ARGs 的存在还会导致抗生素逐渐失效,增加疾病治疗难度。

2.2 水中新污染物来源

水中新污染物的来源主要有以下几个方面:首先,工业排放,工业生产过程中产生的废水是水中新污染物的重要来源,这些污染物有重金属、有机溶剂、表面活性剂等等,其特点是污染物浓度极高、毒性较大,对水环境造成的影响较为严重。其次,生活污水,生活污水中含有大量有机物、病原体以及日常消费品中的洗涤剂、化妆品、药品、个人护理用品等物质。城市化进程的加快使得生活污水排放量不断增加,成为水中新污染物的重要来源。再次,农业生产,化肥、农药等物质可以通过雨水径流或者灌溉水进入水环境,其特点为量大、分布广,对水环境的影响较为慢性持续。最后,水中新污染物在环境中的迁移与转化,这些环境行为可能会导致新污染物形态与毒性发生变化,造成新影响。

2.3 水中新污染物危害

水中新污染物对生态环境会造成多重负面影响,主要表现为生物多样性下降、生态系统功能退化、物种灭绝等。且能够通过饮用水与食物链对人体健康造成威胁,如导致急

性、慢性中毒,损坏人体免疫系统,造成生殖系统障碍以及癌症等疾病。此外,水中新污染物还会对水处理工艺造成一定影响,常规处理方法与技术无法处理新污染物。

3 水中新污染物处理技术

3.1 物理处理技术

物理处理技术主要分为膜分离技术、吸附技术、磁分离技术、离心分离技术、沉淀技术等。膜分离技术是利用半透膜的选择透过性,根据分子大小与电荷等特性将水中污染物与水分离,在处理微塑料这一水中新污染物时效果较为显著,也可以处理重金属离子等污染物,在饮用水的生产和废水的深度处理中应用较为普遍。吸附技术是利用吸附剂的表面吸附能力来将污染物吸附到吸附剂表面,常见的吸附剂有活性炭、沸石、离子交换树脂等。在去除水中有机物、色素等污染物中表现良好,特别适用于处理难降解的有机污染物。目前研究中,已经有中孔活性炭、木质素-多孔生物炭石墨炭、玉米芯基活性炭、椰壳活性炭等多种吸附剂,在诸多水中污染物处理方向表现良好,如椰壳活性炭能够实现全氟烷基醚磺酸盐 (F-53B)、全氟壬烯氧基苯磺酸钠 (OBS) 和全氟辛烷磺酸 (PFOS) 的协同高效去除。磁分离技术是通过向水中加入磁性物质,使污染物与磁性物质相结合,再利用磁场将污染物从水中分离。主要用于去除水中悬浮物、藻类等,在处理含铁、含锰水质时效果较为显著。离心分离技术原理是利用离心力将水中固体颗粒与水进行分离,常被用于污泥浓缩和固液分离,适用于处理含有较高浓度悬浮物的废水。物理技术目前的发展趋势主要有新型膜材料研发、创新吸附剂、能源成本优化以及组合工艺应用。

3.2 化学处理技术

化学处理技术是利用化学反应来转化或去除水中的污染物。主要有高级氧化、化学絮凝、化学还原、离子交换等技术。高级氧化技术是利用臭氧、过氧化氢、高铁酸钾等强氧化剂产生高活性的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 来对有机污染物进行降解,在处理难降解有机物、染料、农药等时发挥着重要作用,适用于饮用水深度处理以及工业废水预处理。这类技术包括电化学氧化技术、臭氧氧化技术等,以光-Fenton 氧化技术为例,在处理难降解有机污染物特别是新污染物方面效果显著。常见的光-Fenton 氧化体系有铁氧化物催化剂光-Fenton 氧化体系、MOFs-Fe 催化剂光-Fenton 氧化体系、Feg-C₃N₄ 催化剂光-Fenton 氧化体系等^[1]。

化学絮凝技术是通过加入絮凝剂来实现悬浮颗粒和胶体物质的聚集,后续再对其进行沉淀或浮选去除,是一种水处理中的常规工艺。化学还原技术是利用硫酸亚铁、亚硫酸钠等还原剂来将水中重金属离子等有毒物质还原成无毒或低毒的技术,主要用于处理含重金属的废水,如电镀废水、矿业废水等。离子交换技术利用离子交换树脂中的功能基团与水中离子进行交换,从而去除特定离子。常用于软化水、

去除水中的重金属离子、放射性物质等。其优点在于效果显著,且能够实现污染物的资源化,但容易产生二次污染,目前发展趋势以绿色化学、高效催化剂与组合工艺为主。

3.3 生物处理技术

生物处理技术是指利用微生物的代谢活动来降解或转化水中的污染物。这些技术依赖于微生物的新陈代谢过程,包括氧化、还原、同化等,通过微生物的作用将污染物转化为无害物质或降解为水、二氧化碳等简单物质。微生物降解技术是利用特定微生物或菌群将有机物分解为水等简单物质,主要用于处理水体中的有机物、营养盐等物质。以活性污泥法为例,将微生物在混合液中培养,通过其代谢活动来去除水中的有机污染物,能够有效去除一些难降解有机物。生物膜法是通过在固定的生物膜载体上培养微生物,利用微生物的代谢活动去除污染物,在处理营养盐、有机物等物质上效果良好,常被用于废水处理。生物转盘技术利用转动的生物转盘提供微生物附着生长的载体,通过微生物的代谢活动去除污染物。以啤酒厂废水处理为例,啤酒厂会排放包含酵母、糖类、氨基酸等物质的有机废水,废水在生物转盘表面流动,微生物与肺水肿的有机污染物充分接触,从而去除其中污染物。

生物处理技术的优点在于对难降解有机污染物的去除效果显著,运行成本相对较低,且环境友好度高,副产物是水及二氧化碳等无害物质,但不适用于紧急处理情况,对一些重金属离子等污染物处理效果有限,在处理过程中需要严格控制温度、pH值等条件。生物处理技术的未来发展趋势一是开发高效微生物菌种,提高其处理效率;二是加强智能控制,实现生物处理过程的精准控制;三是与其他技术相结合实现协同处理。

3.4 组合处理技术

组合处理技术能够更加有效地处理难降解有机物以及重金属离子等物质,其原理是将两种及以上水处理技术相结合,以提高污染物的去除效率和处理效果,协同实现对污染物的综合处理。物理化学组合技术主要是将膜分离技术、高级氧化技术等相结合提高对有机污染物和重金属离子的去除效率,在工业废水预处理中较为常用。物理生物组合技术通过将膜分离法、活性污泥法等方法相结合,能够有效提高对有机污染物和营养盐的去除效率,在城市污水处理和工业废水处理中效果良好。化学生物组合技术一般是将化学絮凝

与活性污泥法结合,以提高对有机污染物和重金属离子的去除效率。适用于处理有机物、营养盐、部分重金属离子等,常用于城市污水处理和工业废水处理。其优点在于能够利用技术之间的互补性,提高处理效果,但缺点是工艺流程较为复杂,并且需要精准控制,且容易造成二次污染。未来组合技术发展会向着优化工艺流程、智能化控制以及节能减排方向发展^[2]。

3.5 新型处理技术

新型处理技术是指近些年来随着科技发展而出现的水处理技术,一般拥有新材料、新工艺与新理念,能够有效处理传统水处理技术无法应对的污染物。包括但不限于光催化技术、超声波技术、等离子体技术、纳米材料技术等。超声波技术是利用超声波的空化作用和机械作用破坏污染物结构以促进其发生降解,在处理水中悬浮物、胶体时效果显著,废水的与处理和深度处理都可以使用超声波技术。等离子体技术是用等离子体产生的高能电子和自由基来分解污染物,能够有效处理难降解有机物、水体富营养化、抗生素抗性基因等。纳米材料技术则是利用纳米材料的催化活性、高比表面积等性质来处理污染物,在微塑料和有机污染物处理方面效果显著。这类技术优势在于处理新兴污染物效果较好,处理效率也相对较高,但光催化技术存在光照限制,超声波技术设备较为复杂,等离子体技术则能量消耗较高。还需要进一步对其技术进行完善与优化,提高处理效率并降低能耗。

4 结语

综上所述,当前水中新污染物处理技术的相关研究与发展呈现出多元化的趋势,各种物理、化学、生物及其组合处理技术不断被研发和应用。然而这些技术面临着一些挑战如污染物检测难度大、处理成本高、技术适应性不强等。基于此,水中新污染物处理技术的发展势必更加注重绿色、高效和可持续性。中国在政策层面已提出了一系列针对水中新污染物处理的技术指南和建议,旨在推动技术创新和产业升级。但为实现水资源的可持续发展和水环境安全,还需要社会各界共同努力。

参考文献

- [1] 张家鑫,马宁,张辉,等.光-Fenton氧化技术研究进展及其处理水中典型新污染物的应用[J].中国渔业质量与标准,2024,14(1):41-51.
- [2] 朱广举,朱志良.基于生物炭的高级氧化技术去除水中化学品类新污染物研究进展[J].化学通报,2023,86(7):807-814.