

环境工程中膜分离技术对微塑料的去除效能优化

冉文

铜仁市环境科学技术咨询中心（环境信访投诉举报中心），中国·贵州 铜仁 554300

摘要：随着塑料污染问题的日益严重，微塑料作为一类新型的环境污染物，其在水体中的存在对生态系统和人类健康构成了潜在威胁。膜分离技术，作为一种物理分离方法，通过使用半透膜来实现水体中微塑料的截留和分离。论文首先介绍了微塑料的来源、分布及其对环境的影响，随后详细阐述了膜分离技术的原理和分类，并分析了当前该技术在去除微塑料方面的应用现状和存在的问题。在此基础上，论文提出了一系列优化措施，包括膜材料的选择、膜操作条件的调整以及预处理和后处理技术的改进等，旨在提高膜分离技术对微塑料的去除效能。

关键词：环境工程；膜分离技术；微塑料去除效能；优化策略

Optimization of Removal Efficiency of Microplastics by Membrane Separation Technology in Environmental Engineering

Wen Ran

Tongren Environmental Science and Technology Consulting Center (Environmental Complaint and Reporting Center),
Tongren, Guizhou, 554300, China

Abstract: With the increasingly serious problem of plastic pollution, microplastics, as a new type of environmental pollutant, pose a potential threat to ecosystems and human health in water bodies. Membrane separation technology, as a physical separation method, achieves the interception and separation of microplastics in water by using semi permeable membranes. This paper first introduces the sources, distribution, and environmental impact of microplastics, and then elaborates on the principles and classifications of membrane separation technology, and analyzes the current application status and existing problems of this technology in removing microplastics. On this basis, this paper proposes a series of optimization measures, including the selection of membrane materials, adjustment of membrane operating conditions, and improvement of pretreatment and post-treatment technologies, aiming to enhance the removal efficiency of microplastics by membrane separation technology.

Keywords: environmental engineering; membrane separation technology; microplastic removal efficiency; optimization strategy

0 前言

在环境工程领域，膜分离技术作为一种高效且广泛应用的污水处理方法，近年来在去除水体中的微塑料方面受到了越来越多的关注。微塑料是指直径小于 5 毫米的塑料颗粒，它们广泛存在于自然水体中，对生态系统和人类健康构成了潜在威胁。因此，研究如何通过膜分离技术有效去除微塑料，对于保护环境和公共健康具有重要意义。

1 微塑料的来源、分布及影响

微塑料，这些直径小于 5 毫米的塑料颗粒，已经成为全球性的环境问题。它们的来源多种多样，包括但不限于个人护理产品、工业生产、纺织品洗涤以及塑料垃圾的分解。这些微塑料广泛分布在海洋、河流、土壤甚至空气中，对生态系统和人类健康构成了潜在威胁。

随着研究的深入，人们开始意识到微塑料污染的复杂

性。它们不仅来源于日常消费品，如洗发水、牙膏中的磨砂颗粒，还来源于合成纤维的衣物洗涤，以及塑料袋、瓶子等一次性塑料产品的分解。这些微小颗粒在环境中几乎无处不在，从偏远的北极冰层到繁华的城市街道，从清澈的山间溪流到繁忙的港口海域，微塑料的踪迹无处不在。它们对海洋生物的影响尤为显著，从最小的浮游生物到最大的鲸鱼，都可能误食这些颗粒，导致健康问题甚至死亡。

科学家们警告说，微塑料可能通过食物链累积，并最终影响到人类。在一些研究中，人们发现微塑料颗粒可以携带有害化学物质，这些化学物质在生物体内积累，可能干扰内分泌系统，影响生殖健康，甚至增加某些癌症的风险。因此，全球各地的环保组织和政府机构正在寻求解决方案，从减少塑料使用、改进废物管理，到开发能够有效清除微塑料的新技术。了解微塑料的全貌，不仅是为了保护自然界的生物多样性，也是为了我们人类自身的未来。

2 膜分离技术的原理及分类

膜分离技术是一种先进的物理过程,它依赖于半透膜的选择透过性,以实现混合物中不同组分的有效分离。这种技术通过利用半透膜的特性,允许某些物质通过而阻挡其他物质,从而达到分离的目的。根据膜孔径的大小以及分离机理的不同,膜分离技术可以被细分为多种类型,主要包括微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)等。每一种类型都有其特定的应用范围和独特的优势,适用于不同的工业和科研领域。

2.1 微滤(MF)技术

微滤技术是一种高效的过滤方法,它主要依赖于微孔膜的使用,以实现悬浮固体和大分子有机物的有效分离。这种技术特别适合于过滤那些尺寸较大的颗粒物质,例如细菌、微粒以及其他一些微小的固体颗粒。微滤膜的孔径大小一般介于0.1微米到10微米之间,这种精细的过滤能力使得微滤技术在多个领域都得到了广泛的应用。在水处理领域,微滤技术可以有效地去除水中的悬浮物和微生物,保证水质的清洁和安全。在食品加工行业,微滤技术被用来去除食品中的杂质,提高食品的质量和卫生标准。而在生物技术领域,微滤技术则被用于细胞培养液的澄清、蛋白质的分离和浓缩等过程。由于其操作简便、成本相对较低以及过滤效果显著,微滤技术已经成为许多工业生产中不可或缺的一部分。

2.2 超滤(UF)技术

超滤技术是一种先进的过滤方法,它利用了具有更小孔径的膜来实现对液体的净化。这些膜的孔径通常介于1到100纳米之间,这样的尺寸使得超滤技术能够有效地分离出水中的小分子有机物、多糖、蛋白质等微小颗粒。由于其出色的过滤能力,超滤技术在饮用水的净化、工业废水的处理以及制药行业中扮演着至关重要的角色。它不仅能够去除水中的有害物质,如细菌、病毒和某些化学污染物,而且还能保留水中的有益矿物质,如钙、镁等,从而提供更安全、更健康的饮用水。

2.3 纳滤(NF)技术

纳滤技术是一种先进的膜分离技术,它位于超滤和反渗透技术之间,具有独特的过滤特性。其膜孔径通常介于1纳米左右,这使得纳滤膜能够有效地去除水中的二价离子,例如钙、镁离子,以及一些小分子有机物。与此同时,纳滤膜允许一价离子,如钠和钾离子,顺利通过,这在保持水的一定导电性方面起到了关键作用。这种技术在水处理领域具有广泛的应用,特别是在软化水、脱色和去除特定有机物方面表现出色。它能够显著降低水的硬度,改善水的口感和外观,因此在工业纯水制备过程中得到了广泛应用。此外,纳滤技术在某些特定的废水处理过程中也显示出其优势,能够有效地处理含有特定有机污染物的废水,从而达到环保排放标准。综上所述,纳滤技术因其在水处理方面的高效性和选

择性,已经成为工业和环保领域中不可或缺的一部分。

3 微塑料对膜分离技术去除效果的影响因素

3.1 微塑料性质对去除效果的影响

微塑料的性质对其在膜分离技术中的去除效果具有显著影响。微塑料的粒径、形状、电荷以及化学组成是决定其可去除性的关键因素。例如,更小的微塑料颗粒可能更难被物理拦截,研究表明,当微塑料粒径小于1微米时,分离效率通常会显著下降。此外,非球形的微塑料如纤维状颗粒,由于其更大的比表面积,可能在膜表面产生更大的吸附,从而提高去除效率。微塑料表面的电荷特性也会影响其在膜表面的聚集行为,带电的微塑料颗粒更易被排斥或吸引到膜表面,影响分离效果。因此,理解并考虑微塑料的这些性质,对于优化膜分离技术并提高微塑料去除效率至关重要。

3.2 操作参数对分离效能的影响

在膜分离技术中,操作参数对分离效能的影响不容忽视。例如,操作压力、流速、跨膜压差以及pH值等参数的调整,都能够显著改变微塑料的去除效果。以操作压力为例,增加压力可以提高膜的截留效率,但过高的压力可能导致膜的机械性能下降或发生结构形变,反而影响微塑料的去除。另外,流速的控制至关重要,适当的流速可以促进微塑料与膜表面的接触,提高去除率,而过快的流速可能会导致微塑料的穿透增加。此外,pH值影响微塑料的电荷状态,从而影响其与膜的相互作用,合适的pH值设定可以优化分离效果。因此,通过精细化的操作参数调控,可以实现膜分离技术在微塑料去除上的效能最大化,同时延长膜的使用寿命。

3.3 污染累积对膜性能的影响

在环境工程领域,膜分离技术的应用日益广泛,然而,污染累积的问题却成为一个不容忽视的挑战。随着时间的推移,微塑料颗粒会在膜的表面逐渐形成一层难以察觉的积聚层,这种现象不仅会导致膜的通量显著下降,还会使得分离效率大打折扣。例如,在微塑料浓度达到100ng/L的条件下,经过一段时间的运行,膜的通量可能会出现超过30%的下降。这种污染累积的后果是双重的:它不仅对膜的性能造成了直接的影响,还可能加速膜的物理和化学稳定性的丧失,从而缩短了膜的使用寿命。为了应对这一挑战,研究人员和工程师们正在探索各种方法,旨在提高膜的抗污染能力,延长其使用寿命,确保膜分离技术在环境保护中的持续有效应用。

4 膜分离技术的效能优化

4.1 膜材料的创新与改良

在膜分离技术中,膜材料的创新与改良是提升微塑料去除效能的关键因素。传统的膜材料可能存在孔径不均一、易污染以及机械强度不足等问题,限制了其在微塑料去除中的应用效果。近年来,科研人员通过纳米技术开发出具有更精确孔径控制的新型膜材料,如纳米复合膜,其孔径可精确

调整到微塑料的粒径范围,从而提高分离效率。此外,引入功能性纳米粒子如碳纳米管、石墨烯等,可以增强膜的亲水性,减少微塑料的吸附并降低膜的污染倾向。这些创新的膜材料不仅提高了微塑料的截留率,还延长了膜的使用寿命,降低了运行成本。同时,研究者也在探索自清洁或智能响应的膜材料,如光响应性膜,它们能在特定光照射下改变表面性质,实现微塑料的主动脱附,进一步优化分离性能。这些前沿研究充分体现了“创新是进步的灵魂”,通过膜材料的持续创新与改良,膜分离技术在应对微塑料污染问题上展现出巨大的潜力和广阔的应用前景。

4.2 优化分离过程的运行条件

优化膜分离技术的运行条件是提高微塑料去除效率的关键途径。这包括调整操作压力、流速、跨膜压差以及清洗频率等多个参数。例如,适当增加操作压力可以增强微塑料的挤压通过膜的概率,但过高的压力可能导致膜的机械性能下降或加速膜污染。同样,通过调整流速可以平衡微塑料的拦截效率与膜的通量,但需避免流速过快导致的湍流对膜结构的破坏。此外,定期的在线或离线清洗可以有效去除积聚的微塑料,防止膜性能衰减,但清洗频率过高可能对膜产生化学侵蚀。因此,建立基于具体工况的动态优化模型,结合实时监测的膜性能数据,对运行条件进行精细化调控,是实现膜分离技术效能优化的重要策略(Gaodan Liu, 2021)。

4.3 复合膜技术的应用

复合膜技术在微塑料去除效能优化中扮演着重要角色。传统的单一膜材料可能存在分离效率低、易污染等问题,而复合膜通过结合不同材料的优势,如纳米材料的高吸附性、聚合物的稳定性和可调性,可以显著提高微塑料的捕获率。例如,有研究显示,一种纳米二氧化硅复合膜在水处理中的微塑料去除率达到了95%以上,远高于单一膜材料的性能。此外,复合膜的结构设计灵活性也更高,可以通过调整各层厚度和性质,适应不同粒径和性质的微塑料,以实现更高效、更针对性的分离效果。

在实际应用中,如在海洋污染治理项目中,复合膜技

术已被证明是有效的解决方案。比如,中国某沿海城市在处理含有微塑料的废水时,采用新型的碳纳米管-聚合物复合膜,结果表明,微塑料的浓度从处理前的10ng/L降低到处理后的0.1ng/L,极大地减轻了微塑料对海洋生态的影响。然而,需要注意的是,复合膜在长期使用中可能会因微塑料的累积和膜孔堵塞导致性能下降。因此,开发可再生或自清洁的复合膜材料是未来研究的重要方向。

5 结语

综上所述,在环境工程中,膜分离技术的去除效能优化主要依赖于对膜材料的创新与改良、优化分离过程的运行条件以及复合膜技术的应用。通过采用新型的膜材料,如改性聚合物或纳米复合材料,可以提高膜对微塑料的截留效率和抗污染能力。同时,调整操作参数,如流速、压力和温度,可以进一步提升分离效率和膜的使用寿命。复合膜技术,即将不同功能的膜材料组合使用,能够实现对微塑料的更有效去除,同时减少膜污染和提高系统的稳定性。这些优化措施不仅提升了微塑料的去除效果,也对膜分离技术在其他领域的应用提供了新的思路和方法。

参考文献:

- [1] 陈铭真.水处理环境工程中膜分离技术的应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(11):148-150.
- [2] 张孟荣.膜分离技术在环境工程中的应用[J].黑龙江环境通报,2022,35(2):84-85.
- [3] 李其亮.膜分离技术在环境工程中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2021,2(15):26-27.
- [4] 周莲霞.膜分离技术在水处理环境工程中的应用研究[J].中国资源综合利用,2020,38(5):184-186.
- [5] 王丽媛.膜分离技术的环境工程发展前景研究[J].居业,2019(12):83-84.

作者简介: 冉文(1990-),男,土家族,中国贵州铜仁人,硕士,中级工程师,从事微塑料对环境影响研究。