

Research on the Efficient Membrane Pollutant Removal Mechanism of Integrated Nanomembrane Process for Domestic Wastewater Treatment

Liting Nong

Guangxi Huachuang Environmental Protection Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract

Domestic sewage treatment is an important link of environmental protection and resource recovery. The purpose of this study is to explore the high-efficiency membrane pollutant removal mechanism in the integrated nano-membrane process of domestic wastewater. First, this paper reviews the definition and characteristics of nano-film process and its application in domestic sewage treatment. Then, the type, source, concentration and harm of membrane pollutants in domestic sewage are analyzed, emphasizing the importance of membrane technology in treating these pollutants. Next, the mechanisms of pollutant removal of the membrane process are discussed in detail, including physical interception, chemisorption, biodegradation and other removal mechanisms. Finally, the results are summarized to highlight the potential application of nano-film process in domestic sewage treatment.

Keywords

domestic sewage; nano-membrane process; membrane pollutants; removal mechanism; environmental protection

生活污水一体化纳膜工艺的高效膜污染物去除机理研究

农丽婷

广西华创环保集团有限公司，中国·广西南宁 530000

摘要

生活污水处理是环境保护和资源回收的重要环节。本研究旨在探讨生活污水一体化纳膜工艺中的高效膜污染物去除机理。首先，论文回顾了纳膜工艺的定义与特点以及其在生活污水处理中的应用。其次，分析了生活污水中膜污染物的种类、来源、浓度和危害，强调了膜技术在处理这些污染物中的重要性，详细讨论了纳膜工艺的污染物去除机理，包括物理拦截、化学吸附、生物降解和其他去除机制。最后，总结了研究结果，强调了纳膜工艺在生活污水处理中的潜在应用前景。

关键词

生活污水；纳膜工艺；膜污染物；去除机理；环境保护

1 引言

生活污水的高效处理和膜技术的应用已成为当前环境保护领域的重要研究方向。随着全球人口的不断增长和城市化进程的不断推进，生活污水的排放量急剧增加，给环境和公共健康带来了严峻挑战。传统的污水处理方法往往难以满足对水质的严格要求，以及对水资源的有效管理和回收的需求。纳膜技术作为一种膜分离技术，在生活污水处理中展现出了巨大的潜力。其独特的微孔结构和高选择性使其能够高效地去除各种污染物，包括有机物、无机盐、微生物和重金属等，从而有效改善水质。然而，尽管纳膜技术在生活污水

处理中具有广泛的应用前景，但其性能和效率仍面临一系列挑战，其中之一就是膜污染问题。膜污染物的积聚和附着会降低膜通透性，导致能耗增加，减少膜的使用寿命，最终降低了污水处理效率。因此，理解和掌握纳膜工艺中的膜污染物去除机理是提高生活污水处理效率和质量的关键。

2 纳膜工艺概述

2.1 纳膜的定义与特点

纳膜，又称纳滤膜，是一种膜分离技术，其最显著的特点是具有微孔大小的膜孔，通常在纳米级别，以纳米米特级别来衡量。这些微孔的尺寸使得纳膜能够实现高度选择性的分离，只允许特定大小或分子结构的物质通过，而拦截其他较大或不符合结构的物质^[1]。这种选择性是纳膜区别于传统膜分离技术的重要特征，因为传统膜通常具有更大的孔隙大小，无法达到如此高度的选择性。纳膜还具有高通透性，

【作者简介】农丽婷（1985—），女，壮族，中国广西省人，本科，工程师，从事生活污水一体化纳膜处理工艺研究。

使得流经膜的液体或气体在膜上形成均匀的通道，降低了质量传递的阻力，因此纳膜通常具有较高的通透率。这一特性在生活污水处理中具有巨大的潜力，因为它可以提高处理效率，减少能耗，并减小处理系统的占地面积（见图 1）。

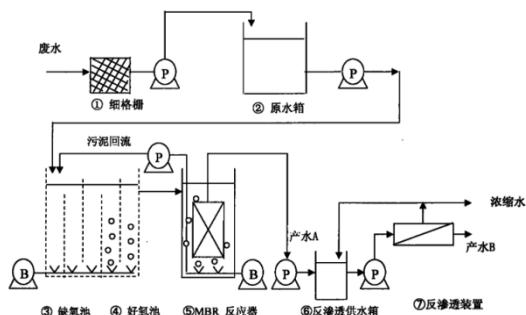


图 1 纳滤膜处理废水原理图

2.2 生活污水处理中的纳膜工艺

生活污水处理中的纳膜工艺是指将纳膜技术应用于从家庭、工业和农业等来源产生的污水的处理过程。这种工艺的核心在于利用纳膜膜片来过滤和去除污水中的各种污染物，以获得清洁的水资源，同时减少环境负担和提高水资源回收率。生活污水中的多种污染物类型对纳膜工艺提出了挑战，这包括有机物、无机盐、微生物、重金属等。纳膜技术的高度选择性和通透性使其能够处理这些不同类型的污染物，但需要针对不同种类的污染物采取相应的操作策略，以确保高效去除。生活污水的处理通常需要综合考虑水资源回收。纳膜工艺在这方面具有巨大潜力，因为它可以实现高度净化的水资源回收，用于灌溉、工业用水或甚至饮用水。这对于缓解淡水资源的稀缺性具有重要意义，同时有助于实现可持续的水资源管理（见图 2）。

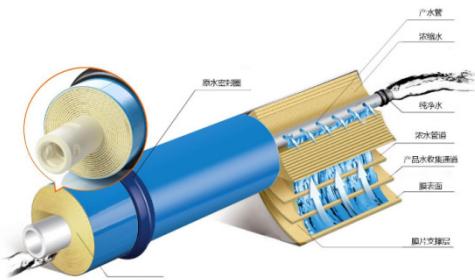


图 2 纳膜工艺装置图

3 膜污染物的种类与来源

3.1 主要污染物类别

生活污水中的主要污染物类别涵盖了广泛的有机和无机物质。首先，有机物包括生活污水中的有机废水，如生活污水中的有机废弃物、食品残渣、洗涤剂和有机废物。这些有机物质在生活污水中的含量和性质因不同地区和季节而异，但它们通常占据了生活污水中的大部分体积和污染负荷^[2]。其次，无机盐类污染物包括氨氮、硝酸盐、磷酸盐等，这些物质主要来源于人体排泄物和清洁剂，它们可能引起水体富营养化和水体质量问题。此外，微生物污染物也是生活污水中重要的类别，包括细菌、病毒、寄生虫和其他微生物，它们可能对人类健康造成危害，特别是在缺乏适当处理的情况下。最后，重金属如铅、汞、铬等，通常来自工业废水、医疗废物和家庭用品，它们具有毒性，对水体和生态系统产生长期的危害。

3.2 污染物在生活污水中的浓度和形态

污染物在生活污水中的浓度和形态因不同地区和来源而异。有机物浓度取决于生活污水的性质，如家庭、工业和农业废水的混合情况，以及当地的生活习惯。有机物的形态多种多样，包括溶解态、悬浮态和悬浮颗粒。其中，溶解态有机物往往包括有机酸、醇、脂肪酸和碳水化合物，这些物质在水中以溶解的形式存在，通常具有较高的生化需氧量（BOD）和化学需氧量（COD）。

无机盐类污染物如氨氮、硝酸盐和磷酸盐的浓度也因地区和季节而异。氨氮通常来自尿液和食品残渣，浓度较高，可能导致水体富营养化。硝酸盐和磷酸盐主要来自农业废水和清洁剂，它们可能对水体产生持续的富营养化问题。

3.3 污染物的影响及危害

生活污水中的污染物对环境和人类健康产生多方面的影响和危害。首先，有机物和无机盐类污染物可能导致水体富营养化，加速藻类生长，引发蓝藻水华和氧气耗尽，危害水生生态系统。高浓度的有机物可能导致水体呈现难闻的恶臭，降低水质。微生物污染物可能对人类健康构成直接威胁。病原微生物如细菌、病毒和寄生虫可能通过污染的水源传播传染病，如腹泻、痢疾和传染性肝炎等。这对于社区卫生和公共健康构成潜在威胁。重金属污染物具有毒性，可以积累在水体中，危害水生生物和整个生态系统。它们可能对人体健康造成长期危害，如中毒和慢性疾病。

4 纳膜工艺的污染物去除机理

4.1 物理拦截机制

纳膜工艺中的物理拦截机制是通过膜的微孔结构来实现污染物的分离和去除。这一机制主要应用于那些相对较大的污染物，如悬浮颗粒、微生物和大分子有机物。在这个机制下，污水经过纳膜，其中微孔大小精确控制，可以选择性地允许小于微孔尺寸的颗粒或分子通过，而将较大的颗粒和分子拦截在膜表面或孔隙中。

物理拦截机制的有效性取决于纳膜的孔径和分子大小。通常，孔径与被拦截污染物的大小成正比。这意味着通过调整纳膜孔径，可以实现对不同类型污染物的高度选择性去除。此外，膜的孔径尺寸通常在纳米级别，因此即使微生物也可以被有效拦截，从而减少了水中病原微生物的传播。这

一物理拦截机制对于去除悬浮物和固体颗粒尤为有效，因为这些颗粒的尺寸通常较大，易受纳膜孔径的控制。

4.2 化学吸附机制

在纳膜工艺中，化学吸附机制是通过膜表面的化学反应或吸附作用来去除污染物。这一机制广泛应用于去除一些有机物、重金属离子和微生物等污染物，特别是那些太小以至于无法通过物理拦截的污染物。

化学吸附的有效性依赖于纳膜表面的特性。通常纳膜的表面被修饰或功能化，以增加其化学吸附能力。例如，纳膜可以经过处理，使其表面带有亲合性基团，能够与目标污染物发生吸附反应。这些基团可以是氨基、羟基、羧基等，具体的选择取决于目标污染物的性质。化学吸附机制通常对一些有机物特别有效，因为它们具有特定的功能团，可以与纳膜表面的功能团发生化学吸附。

4.3 生物降解机制

生物降解机制是纳膜工艺中的重要去除机制之一。这种机制依赖于膜上或膜附近的微生物群落，它们能够降解有机物污染物，将其分解为水和二氧化碳等无害产物。这种生物降解机制特别适用于处理生活污水中的有机物，包括生活污水中的有机废弃物、食品残渣和洗涤剂残留。在纳膜工艺中，微生物附着在膜表面或膜附近的生物膜上，形成生物降解膜。这些微生物通过代谢活动，分解和去除有机物，减少其浓度。这一机制不仅能够高效降解有机物，还有助于减少化学需氧量（COD）和生化需氧量（BOD）等水质参数，改善水体的质量^[3]。

4.4 其他去除机制

除了物理拦截、化学吸附和生物降解机制外，还存在一些其他去除机制，可以在纳膜工艺中发挥作用。其中之一

是电化学去除机制，它通过应用电场来促进污染物的迁移和沉淀，特别适用于去除重金属离子。此外，化学沉淀是另一种机制，通过添加适当的沉淀剂来将溶解性污染物转化为固体沉淀，从而实现去除。这种机制通常用于处理含有大量金属离子或磷酸盐的水源。同时，超滤机制是一种利用纳膜的压力驱动水通过膜，将污染物截留在膜上的机制，通常用于去除胶体颗粒和大分子有机物。化学氧化是指通过添加氧化剂如臭氧或次氯酸钠来氧化有机物和氧化还原物质，将其降解为无害产物。

5 结论

在纳膜工艺中，物理拦截、化学吸附、生物降解以及其他去除机制相互协同，共同构成了高效的生活污水处理系统。这些机制使我们能够有效去除生活污水中的各种污染物，包括有机物、无机盐、微生物和重金属等，从而提高水体质量，减少对环境的负荷，并实现水资源的回收与再利用。纳膜工艺的不断研究和创新将为清洁水资源的提供和生态环境的保护提供更为可持续和高效的解决方案。通过更深入的了解和实践，我们可以不断提高这一技术的性能，推动其广泛应用，以满足不断增长的生活污水处理需求，促进可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 谌和平,邹逸凡,张露荷,等.人工湿地基质及其生物膜对生活污水中污染物去除效果的研究[J].广东化工,2021(3).
- [2] 谷维梁,程方琳,宋朝媛,等.A₂O-MBR工艺处理生活污水污染物去除及膜污染特性研究[J].水处理技术,2015(5):93-96.
- [3] 薛同站,李卫华,黄健,等.膜曝气生物膜技术(MABR)去除河水中污染物的研究[J].生态与农村环境学报,2022(7).