

膜分离技术的应用案例分析

杨展鹏¹, 屈珂凌¹, 鞏富江¹, 卢港中¹, 魏佳庆¹, 黎志梅¹, 练诗萌^{2*}

¹桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

²桂林学院人文学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年7月9日; 录用日期: 2024年8月28日; 发布日期: 2024年9月25日

摘要

膜分离技术作为一种先进的分离和过滤技术, 已经在水处理、废水处理、污水回收等领域得到广泛应用。将膜分离技术引入土木水利工程中, 可以有效提升工程的处理效率、净化水质, 并节约资源。然而, 也面临着一些挑战和限制。在案例分析的过程中, 结合相关理论知识对膜分离技术进行了深入地解读和评估, 更好地理解土木水利工程设计和施工中可能面临的挑战, 并学习到解决问题的实际方法和经验。因此, 在实际工程应用中, 需要综合考虑各方面因素, 科学合理地选择膜分离技术在土木水利工程中的应用方式, 以最大程度发挥其优势, 同时规避其缺点, 实现工程的高效、可持续运行。

关键词

膜分离技术, 工程应用, 污水处理, 分离纯化

Application Case Study of Membrane Separation Technology

Zhanpeng Yang¹, Keling Qu¹, Fujiang Hui¹, Gangzhong Lu¹, Jiaqing Wei¹, Zhimei Li¹, Shimeng Lian^{2*}

¹School of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²College of Humanities, Guilin University, Guilin Guangxi

Received: Jul. 9th, 2024; accepted: Aug. 28th, 2024; published: Sep. 25th, 2024

Abstract

Membrane separation technology, as an advanced separation and filtration technology, has been widely used in the fields of water treatment, wastewater treatment, sewage recycling and so on. Introducing membrane separation technology into civil engineering and water conservancy projects can effectively improve the treatment efficiency of the projects, purify water quality, and save

*通讯作者。

文章引用: 杨展鹏, 屈珂凌, 鞏富江, 卢港中, 魏佳庆, 黎志梅, 练诗萌. 膜分离技术的应用案例分析[J]. 仪器与设备, 2024, 12(3): 469-475. DOI: 10.12677/iae.2024.123060

resources. However, it also faces some challenges and limitations. In the process of the case study, the membrane separation technology is thoroughly interpreted and evaluated in combination with relevant theoretical knowledge to better understand the challenges that may be faced in the design and construction of civil engineering and water conservancy projects, and to learn practical methods and experiences to solve the problems. Therefore, in the actual engineering application, it is necessary to comprehensively consider various factors and scientifically and reasonably select the application mode of membrane separation technology in civil engineering water conservancy projects, in order to maximize its advantages and at the same time avoid its shortcomings, and realize the efficient and sustainable operation of the project.

Keywords

Membrane Separation Technology, Engineering Application, Sewage Treatment, Separation and Purification

Copyright © 2024 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

膜分离技术是一种利用半透膜对不同颗粒大小、分子量或离子大小的物质进行筛选和分离的技术。通过膜分离技术，可以实现液体或气体混合物中组分的分离和纯化，达到去除杂质、浓缩溶液或回收有用成分的目的。膜分离技术包括超滤、纳滤、微滤和反渗透等不同类型的膜过滤方法，其选择取决于待处理液体的性质和所需的分离效果[1] [2]。

其工作原理涵盖渗透、分离和截留等基本原理，不同类型膜具有各自特点和适用范围，广泛应用于水处理、生物医药、食品与饮料、化工等领域[3]。相比传统分离技术，膜分离技术具有能耗低、操作简便、占地面积小、可连续化生产等优势，被广泛认可。在水处理领域，膜分离技术可以有效去除水中杂质、微生物和重金属，提供清洁安全的饮用水；在生物医药领域，可用于生物药品的分离纯化，确保产品的质量 and 纯度；在食品与饮料行业，可以用于浓缩果汁、乳制品等，提高生产效率和产品质量；在化工领域，应用于气体分离、溶剂回收等过程，降低生产成本[4]。

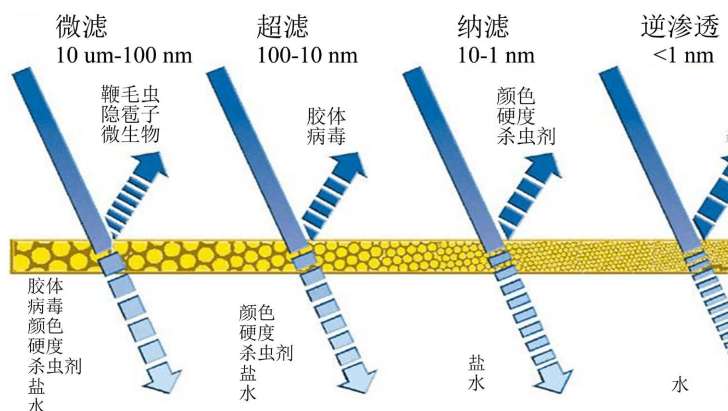


Figure 1. Overview of membrane separation technology

图 1. 膜分离技术概述

膜分离技术未来发展趋势包括新材料的应用、工艺改进和智能化设备的发展。随着纳米技术、生物技术等不断进步,新型膜材料的研发将推动膜分离技术的性能提升和应用领域拓展。同时,工艺改进和设备智能化将进一步提高生产效率和产品质量,促进膜分离技术在各领域的广泛应用[5]。项目案例中,膜分离技术在工业废水处理、生物药品纯化、乳品生产中的浓缩与分离等方面取得了成功应用,为相关行业带来了显著的经济效益和环保效益(图 1)。

2. 膜分离技术应用场景

膜分离技术作为一种高效的水处理技术,在水处理工程领域具有广泛的应用场景,包括海水淡化、污水处理、饮用水处理、工业废水处理等领域。

2.1. 反渗透膜在海水淡化

首先,反渗透膜作为膜分离技术的一种,在海水淡化过程中能够高效地去除海水中的盐分和杂质,将海水转化为淡水[5]。其次,许多地区正面临着日益加剧的淡水短缺问题,而海水淡化技术通过反渗透膜可以提供可持续的淡水资源[6]。另外,相较于传统的海水淡化方法,反渗透膜技术具有更低的能耗和更高的产水率,可以减少能源消耗和污染排放,有助于降低环境压力,保护生态环境。最后,随着科技的不断进步和技术的持续创新,反渗透膜技术在海水淡化领域的应用前景广阔(图 2)。反渗透膜的使用寿命、除盐效率和稳定性不断提高,成本不断降低,使得海水淡化成为更为可行和可持续的选择[7]。



Figure 2. Successful operation of reverse osmosis unit of seawater desalination and utilization system on Lantau Island, Pingtan, Fujian, China
图 2. 福建平潭大屿岛海水淡化利用系统反渗透装置成功运行

2.2. 超滤膜在污水处理



Figure 3. Organic ultrafiltration membrane process for wastewater treatment
图 3. 有机超滤膜处理废水工艺

首先,通过超滤膜,可以高效去除污水中的悬浮物、生物颗粒和有机物等,提高出水水质[8]。这种技术能够有效净化水质,使得处理后的水更适合回用或者排放到自然环境中[9]。另外,在工业废水处理方面,超滤膜技术可以应用于工业废水处理,帮助实现废水的高效净化和资源化利用,达到环保排放标准[10](图3)。此外,除去有害物质之余,超滤膜还可以帮助回收废水中的部分有用物质,例如有机物的回收利用,进一步促进资源的循环利用[11]。

2.3. 微滤膜在饮用水处理

首先,微滤膜被广泛应用于饮用水处理领域,其主要功能是有效去除水中的细菌、病毒和微生物等有害物质,从而提供清洁、安全的饮用水[12]。其次,特别是在一些地区水源受到污染或者水质较差的情况下,微滤膜技术可以发挥重要作用[13]。另外,微滤膜的应用还可以在自然灾害或紧急情况下提供紧急饮用水支持,防止因为灾难而导致的饮水危机[14]。

2.4. 纳滤膜在工业废水处理

通过使用纳滤膜,工业废水中的溶解性有机物和重金属离子等污染物能够被高效去除,从而实现废水的回收再利用或达标排放[15]。与传统的废水处理方法相比,纳滤膜技术具有更高的过滤精度和处理效率,能够有效地净化废水,使之符合相关的排放标准。此外,纳滤膜还具有操作简便、占地面积小、投资成本较低等优势[16],使其在工业废水处理行业中备受青睐(图4)。



Figure 4. Nanofiltration membrane separation technology for industrial wastewater treatment
图4. 纳滤膜分离技术处理工业废水

2.5. 膜生物反应器在生物处理

膜生物反应器是一种结合了膜分离技术和生物处理技术的先进设备,广泛应用于污水处理和废水处理领域[17]。与传统的生物处理方法相比,膜生物反应器不仅能够提高处理效率,还能显著减少污泥的产生量,降低处理成本[18]。此外,膜生物反应器还具有运行稳定、操作简便等优点,逐渐成为污水处理行业的热门选择[19]。

3. 膜分离技术应用优势

3.1. 高效能耗

与传统的分离方法相比,如蒸馏和萃取,膜分离技术通常能够以更低的能耗进行高效分离操作[20]。这种效果尤其突出在处理稀溶液或轻组分时,能够显著降低能源消耗。通过薄膜的选择和设计,可以实现对特定物质的高效分离,减少了能源浪费,提高了生产过程的效率。

3.2. 过程简单化

膜分离技术的简单化过程体现在无需加热或添加大量化学药剂，这不仅有利于节约能源和资源，还有助于保持原始物质的特性和质量。同时，这一技术实现了连续操作，极大地减少了操作步骤和设备复杂度，提高了生产效率。简化过程不仅降低了生产成本，还减少了对环境的负面影响，符合可持续发展的理念[20]。

3.3. 分离效果好

膜分离技术在实现高效分离方面表现出色。通过选择不同孔径和材质的膜，可以精准地分离不同分子大小、极性和非极性物质，实现高度选择性。这种灵活性使得膜分离技术在各种领域都有广泛应用，比如水处理、生物制药和化工等[21]。由于其分离效果好，可以有效去除杂质，提高产品纯度，因此备受青睐。

3.4. 占地空间小

由于膜分离技术可以高效地利用空间，大幅减小设备所需的占地面积，这对于场地有限的工业生产来说尤为重要。在诸如化工、食品加工等领域，空间利用率的提高意味着生产效率的提升和资源的更加合理利用[22]。因此，采用膜分离技术不仅可以节约宝贵的生产场地，还可以降低生产成本，提高生产效率，是一种高效、环保的生产方式。

3.5. 可持续发展

相较于传统工艺，该技术在生产过程中减少了化学试剂的使用量，从而降低了对环境的污染。此外，膜分离技术能够实现资源的高效回收利用，例如在水处理领域中，可以将废水中的有用物质提取出来再利用，不仅减少了资源浪费，还降低了对自然资源的开采压力[23]。

4. 膜分离技术局限性及解决方案

然而，膜分离技术在水处理工程中也存在一些局限性，对此可以采取一系列解决方案来提高其效率和经济性。

4.1. 膜污染问题

定期进行膜清洗和维护是确保膜分离系统高效运行的关键步骤。膜清洗可以有效地去除膜表面的污垢和沉积物，防止膜堵塞和降低通量。定期清洗膜面有助于减少膜污染风险，提高系统的处理效率和稳定性[24]。

在进行膜清洗时，选择合适的清洗剂和清洗方法也至关重要。不同类型的污染物可能需要不同的清洗剂来有效去除，而且清洗方法应该能够彻底清洁膜表面而不损坏膜结构。同时，温和的清洗条件和适当的清洗时间也是确保清洗效果的关键因素。

另外，配合适当的预处理设备也可以有效降低膜污染风险。例如，超滤、反渗透等预处理设备可以在进入膜分离系统之前对水质进行初步处理，去除大部分悬浮物、颗粒和有机物质，减轻膜的处理负担，从而延长膜的使用寿命。通过合理配置预处理设备，可以有效提高膜分离系统的效率和稳定性。

4.2. 成本问题

为了降低膜分离系统的投资和运营成本，企业可以采取一系列有效的措施。首先，通过优化设计和选择高效节能设备，可以有效地降低系统的购买和能耗成本。选用适当的膜材料和设备配置至关重要，

不仅可以提高系统的处理效率,还可以降低运行成本。例如,选择具有较高通量和抗污染性能的膜材料,可以减少清洗频率,降低维护成本。

其次,调整操作参数也是降低系统运营成本的有效途径。通过合理设置操作参数,如通量、回收率等,可以提高系统的效率,降低能耗和化学品消耗。定期监测和调整这些参数,使系统始终处于最佳运行状态,有助于降低运营成本并延长设备寿命。

此外,实施有效的能源管理策略也是降低膜分离系统成本的关键。采用节能措施,如利用余热、优化泵站布局、采用高效电机等,可以有效减少能耗并降低运营成本。定期进行能源消耗分析,找出能耗高峰和浪费点,制定相应的改进方案,有助于持续降低系统的能耗成本[25]。

4.3. 系统管理问题

针对多级膜分离系统所带来的管理难度,引入智能化监控系统是一种有效的解决方案[26]。通过采用先进的监控技术和自动化控制系统,可以实现对整个多级系统的集中监控、数据分析和运行优化,从而极大地简化管理流程并提高系统的整体性能和稳定性。

智能化监控系统能够实时监测各个环节的运行状态和参数变化,及时发现异常情况并进行预警,帮助操作人员快速作出反应和调整。通过数据分析,系统可以生成历史数据报告、趋势分析和故障诊断,为管理者提供决策支持和优化建议,有助于提高系统的效率和可靠性。

自动化控制系统可以根据监控数据和预设参数实现系统的自动调节和优化,减少人为干预的可能性,降低人为错误的发生率。智能化监控系统还可以实现远程监控和操作,使管理人员可以随时随地对系统进行监控和管理,提高管理的便捷性和灵活性。

引入智能化监控系统不仅可以提高多级膜分离系统的运行效率和稳定性,还可以降低系统的维护成本和管理成本。通过智能化监控系统,管理人员可以更加全面地了解系统的运行情况,及时发现和解决问题,延长设备的使用寿命,降低系统的维护成本。

参考文献

- [1] 苏醒. 现代化膜分离技术在环境工程中的应用策略[J]. 山西化工, 2023, 43(12): 132-133+136.
- [2] 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.
- [3] 李新红, 李忠. 微生物检验过程中微滤膜分离技术的应用价值[J]. 中国卫生标准管理, 2024, 15(2): 92-95.
- [4] 张成意. 膜分离技术在绿色产业发展方面的应用[J]. 天津化工, 2024, 38(1): 29-31.
- [5] Diepenbroek, E., Mehta, S., Borneman, Z., *et al.* (2024) Advances in Membrane Separation for Biomaterial Dewatering. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, **40**, 4545-4566. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c03439>
- [6] 何雁鸣, 尹柱良. 海水淡化超滤及反渗透膜运行寿命优化研究[J]. 云南化工, 2023, 50(9): 47-50.
- [7] 丁旭东. 反渗透海水淡化技术的现状与发展[J]. 自动化应用, 2023, 64(S1): 29-31+47.
- [8] 戚滢滢, 苏洋舟, 程晓英, 等. 化工废水双膜法处理过程中的反渗透膜污染机制研究[J/OL]. 工业水处理, 2024: 1-11. <https://doi.org/10.19965/j.cnki.iwt.2023-1089>, 2024-03-25.
- [9] 韩阳阳. 超滤膜技术在环保工程污水处理中的应用[J]. 石材, 2024(1): 142-144.
- [10] 姜维涛. 环保工程水处理过程中超滤膜技术运用研究[J]. 清洗世界, 2024, 40(2): 19-21.
- [11] 张会东. 超滤膜技术在环境工程水处理中的应用[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(8): 183-185.
- [12] 郭彩荣, 王为民, 张岩岗, 等. 膜分离技术在饮用水处理的应用[J]. 广东化工, 2024, 51(2): 84-86.
- [13] 彭晓旭, 陈寿彬. 饮用水深度处理工程中的膜工艺设计要点[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 96-101.
- [14] 贺鑫, 王少华, 施立宪, 等. 纳滤饮用水厂的膜工艺处理效能与系统运行[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2023, 51(10): 1509-1517.

-
- [15] 吴军霞. 工业废水处理中膜分离技术的研究现状[J]. 石油化工应用, 2023, 42(10): 1-4+13.
- [16] Wanjiya, M., Zhang, C.J., Wu, B., *et al.* (2024) Nanofiltration Membranes for Sustainable Removal of Heavy Metal Ions from Polluted Water: A Review and Future Perspective. *Desalination*, **578**, Article ID: 117441. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117441>
- [17] 李社锋, 张家琛, 冯巍, 等. 膜生物反应器研究新进展与应用[J]. 环境工程, 2024, 42(1): 37-46.
- [18] 苏俊. 浅谈膜分离技术在生物化工方面的应用[J]. 四川化工, 2024, 27(1): 16-19.
- [19] 李彦泉, 韩超, 吴阳, 等. 污水处理中膜生物反应器污染的形成及其影响因素研究进展[J]. 化工设计通讯, 2023, 49(7): 174-176.
- [20] 林茜茜. 膜分离技术在城镇污水处理中的应用[J]. 广东化工, 2023, 50(23): 92-94.
- [21] 邹彦荣, 张瑾, 孙启邦, 等. 膜分离与变压吸附耦合工艺提氮试验研究[J/OL]. 膜科学与技术, 2024, 44(2): 150-156. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1049.TB.20240311.1258.008.html>, 2024-03-25.
- [22] 尹非凡, 刘金瑞, 石建军, 等. 膜分离技术中膜污染现象及防控技术研究[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会 2023 年科学技术年会论文集(二), 2023: 4.
- [23] 祖挥程. 现代化膜分离技术在环境工程中的应用研究[J]. 环境工程, 2023, 41(3): 324.
- [24] 钟鑫莲, 曹楚琦, 王俊东, 等. 浅析反渗透膜技术中防治膜污染的主要方法[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2019(9): 156-157.
- [25] 王荣. 化工企业污水处理技术方法研究与应用[J]. 山西化工, 2024, 44(1): 274-276.
- [26] 杨诚. 水利工程质量管理中的智能化监控系统研究[J]. 陕西水利, 2018(3): 250-252.