

同行专家业内评价意见书编号： 20250856109

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名： 毛芸晨

学号： 22260438

申报工程师职称专业类别（领域）： 材料与化工

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年05月21日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

专业实践项目为改性聚四氟乙烯（PTFE）微滤膜的开发，项目来源于校外实践单位，专业实践地点为利得膜（北京）新材料技术有限公司。本研究主要针对PTFE微滤膜疏水性较强的缺点，使用表面改性的方式对膜材料进行亲水化改性，以提高其纯水通量和抗污染性能。聚四氟乙烯是一种综合性能优异的军民两用工程塑料，其分子结构式为 $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$ ，是一种高度对称的非极性线性高分子材料。由于聚四氟乙烯的强非极性，其表面能很低（临界表面张力约为1.8

mN/m），水接触角超过 100° ，疏水性较强。由于PTFE的亲水性和可粘结性极差，其在水处理中的进一步应用受到限制。目前，国内外围绕聚四氟乙烯膜的亲水改性已经进行了大量研究，包括湿化学处理法、等离子体处理、辐射接枝、表面涂敷等。这些处理方法在不同程度上都能改善PTFE膜的亲水性，但同时也存在不足之处。根据实践单位和校内实验室条件，本研究通过亲水试剂对膜材料进行温和的表面涂敷亲水化改性，提高膜的水通量和抗污染性能，

2. 工程实践的经历(不少于200字)

在整个工程实习实践过程中，我全身心投入项目的研究中，严格遵守企业的规章制度和实验室的安全规范，以精益求精的精神追求技术突破。

在知识学习阶段，我首先对PTFE微滤膜的相关文献进行学习调研，掌握了微滤的基本原理、对微滤膜的本征特性，膜改性的不同方法，改性膜的构效关系等基本原理进行了学习；同时对国内外PTFE膜材料先进的新技术、新工艺进行了关注和调研；除此之外，通过工程实践，我了解到与实际工业生产相关的项目规划、产品研制、环境保护等环节中的工程知识。利得膜（北京）新材料技术有限公司是微滤PTFE膜领域的佼佼者，我也借此机会学到了许多其他过滤器材的生产过程，对于我自身知识体系的构建是一个重要的经历。

在实习研究阶段，面对PTFE疏水性强，易污染的技术难题，设计了表面涂敷的亲水化改性方案，利用水凝胶相关的知识，在膜表面和膜孔内构筑了亲水改性层。经过改性的PTFE中空纤维膜的水渗透通量显著增加，最高可达到4000

$\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ，且通量的衰减幅度较低，同时实现了对腐殖酸的优异的抗污染性能。在项目进行过程中，我协同研发、生产、质检多部门协作，力图实现新产品的中试。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例（不少于1000字）

1、项目背景：水资源短缺正日益成为制约社会经济发展的重大障碍，在众多的水处理方法中，膜技术作为一种绿色高效的解决方案脱颖而出，并在水循环利用方面得到了广泛应用，其中微滤（MF）膜在废水处理领域不可或缺。近年来，聚四氟乙烯（PTFE）中空纤维微滤膜因其相较于传统有机微滤膜更优异的物理化学稳定性而备受关注。然而，PTFE中空纤维膜固有的疏水性导致其对水渗透表现出显著的阻力。除此之外，PTFE膜因低表面能的特性，容易吸附废水中的油类、蛋白质和腐殖酸等有机物质，最终容易形成高阻力污垢层，阻碍水的渗透。因此，亟需开发策略在PTFE中空纤维膜表面及膜孔中构建亲水层，以提高水的渗透性能和抗污染性能。

2、研究内容：根据实践基地的需求和实验室的条件，本研究利用亲水试剂对公司提供的商品PTFE微滤膜进行了表面改性，通过优化改性时间与改性剂的浓度，成功筛选出最适的改性条件，最大程度增加PTFE微滤膜的亲水性，进而提高膜的水通量，实现生产效率的提升。综

合考虑不同表面改性方法的优缺点以及国内外的文献报道，我们考虑采用浸润法将亲水试剂粘附在PTFE膜上，制备具有较好亲水性的PTFE改性膜。

3、方案及技术路线：3.1

表面活性剂溶液配制：取一定量的表面活性剂月桂酸聚氧乙烯酯（LAE）溶于水中，在超声震荡仪中进行超声震荡，确保表面活性剂完全溶解。3.2

PTFE膜处理：将干燥的PTFE中空纤维微滤膜置于无水乙醇中进行超声清洗，5分钟后停止超声清洗，将膜取出充分清洗后，将膜置于LAE溶液中浸润形成亲水层，得到PTFE-LAE膜。3.3

亲水改性：将已经处理好的PTFE-

LAE膜截取合适的长度，浸没在亲水改性单体聚乙二醇二丙烯酸酯（PEGDA）水溶液中，在60℃条件下进行交联反应。改性完成后将改性膜取出，干燥保存。3.4

通量测试：在进行通量测试前，需要将膜置于测试液体中完全润湿，再开始进行通量测试。

在实际生产过程中，一般会在30-

60分钟对PTFE膜进行反洗，因此本实验采用的通量均为运行60分钟时的通量。3.5

抗污染性能测试：通过测试改性膜在纯水进料液中的通量和在腐殖酸进料液中的通量，计算通量下降率以评估改性膜的抗污染性能。

4、团队分工及本人承担任务及任务完成情况：

在实习实践中，本人完成了文献调研、装置搭建、实验设计、实验进行等工作，积极与校内外老师、工程师交流讨论，使项目更加科学，更加符合工业化应用的要求。首先，本人通过对国内外大量学术文献的学习，设计了实验操作方法，性能检测方法，仪器操作等方法，搭建了基本的实验装置。在具体实验过程中，成功采用了表面活性剂LAE与亲水性单体PEGDA对聚四氟乙烯中空纤维膜PTFE进行改性，改性膜具有显著增强的亲水性和出色的水渗透、抗污染性能。水接触角由PTFE原膜的121°下降至改性膜的55°，改性膜的水渗透通量约4000

L·m⁻²·h⁻¹，提升近四倍，且通量维持率较高，此外，改性膜具有出色的抗污染性能，

污染后的膜通量衰减率降低，经清洗后的通量恢复率较高，整体的性能相较于原膜有较大提升，有望应用于实际废水处理。后续的工作则主要由实践单位工程师进行后续中试测试。总之，我们的工作为增强聚四氟乙烯中空纤维膜的亲水性提供了一种实用有效的策略，为其在废水处理中的广泛应用打开了大门。基于对膜进行亲水化改性的策略，本人以第一作者完成学术科研论文一篇（中科院一区），圆满完成了承担的工作。

5、问题与建议：(1)在整体的实验过程中会出现实验结果不稳定的现象，考虑是由于改性过程中的操作不够严谨导致，后续的结果消除了部分操作误差。(2)PTFE中空纤维膜在长时间运行过程中由于受压会发生水通量的衰减，这是PTFE材料蠕变所导致。本研究虽然通过膜过滤前后的状态间接证实了PTFE

膜的蠕变，但并没有找到合适的表征方法和直接证据反映膜蠕变的过程，需要后续展开深入研究。

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 84 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 83 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名：毛芸晨	

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

考核评价：_____

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

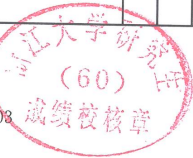
学号：22260438	姓名：毛芸晨	性别：男	学院：工程师学院	专业：材料与化工	学制：2.5年						
毕业时最低应获：29.0学分		已获得：32.0学分		入学年月：2022-09	毕业年月：						
学位证书号：			毕业证书号：		授予学位：						
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	研究生英语		2.0	免修	公共学位课	2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	90	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	创新设计方法		2.0	通过	专业选修课	2022-2023学年冬季学期	聚合物加工原理与分析方法		2.0	86	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	85	专业学位课	2022-2023学年春季学期	绿色化工与生物催化前沿		2.0	89	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	工程数值分析		2.0	85	专业选修课	2022-2023学年春季学期	材料加工技术		2.0	89	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语能力提升		1.0	免修	跨专业课	2022-2023学年春季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	78	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	免修	公共学位课	2022-2023学年春季学期	研究生论文写作指导		1.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	工程伦理		2.0	84	公共学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	89	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	膜技术与工程		2.0	75	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	80	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	智慧能源系统工程		2.0	91	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：五分制、

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章
成绩校核人：张梦依
打印日期：2025-06-03





Improving the antifouling properties of anion exchange membrane by reducing the adhesion force between membrane and foulants via construction of zwitterionic surface nanolayer

Yunchen Mao^{a,b}, Yukun Qian^a, Hongyu Jin^a, Manman Wang^a, Bing Yang^a, Dan Lu^c, Ying Li^d, Zhikan Yao^{a,c,*}, Lin Zhang^{a,c}

^a Engineering Research Center of Membrane and Water Treatment of MOE, College of Chemical and Biological Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, PR China

^b Ningbo Innovation Center, Zhejiang University, Ningbo, 315100, PR China

^c Future Environment Laboratory, Innovation Center of Yangtze River Delta, Zhejiang University, Jiaxing, 314100, PR China

^d School of Environmental and Natural Resources, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, 310023, PR China

ARTICLE INFO

Keywords:

Anion exchange membrane
Antifouling properties
Zwitterion
Adhesion force
Fouling analysis

ABSTRACT

Membrane fouling is a critical challenge that must be addressed for the effective application of electrodialysis in wastewater treatment. In this study, zwitterionic surface nanolayer was constructed on anion exchange membrane (AEM), which significantly reduced the adhesion force between the membrane surface and foulants, thereby improving the antifouling properties of the membrane. Among the modified membranes, the best-performing AEM-PDA-SBMA and AEM-PDA-MPC exhibited low adhesion forces to the model foulant of only 0.465 nN and 0.499 nN as measured by AFM, respectively. This was primarily attributed to the reduction in hydrophobic interactions, with a decrease in electrostatic interactions also contributing to the overall effect. In the electrodialysis desalination fouling experiments, the membrane energy consumption of the zwitterionic modified membranes was only 7.76 % and 9.35 % of that of the unmodified membrane. Additionally, the total energy consumption was reduced to 44.22 % and 45.57 %, respectively, while maintaining high current efficiency (>91 %). The long-term stability of the membrane was verified through cyclic electrodialysis experiments. Fouling analysis demonstrated that most of the fouling on the modified membrane was reversible, but a small amount of irreversible fouling was a potential threat. This study quantified the antifouling properties of membranes by measuring the adhesion force between the membrane surface and foulants, providing valuable insights into the interaction mechanisms involved in membrane fouling and offering guidance for the development of effective antifouling strategies.

1. Introduction

With the rapid development of the membrane industry, membrane separation technology has played a significant role in various water treatment processes such as separation and purification, desalination, and wastewater treatment [1,2]. Electrodialysis (ED) employs the electric field as the driving force to accomplish ion transport through ion exchange membranes [3]. Under fouling-free conditions, this unique mechanism confers advantages over pressure-driven membrane processes, including low energy consumption [4,5], high ion selectivity [6,7] and wide availability [8,9] in wastewater treatment. However,

relatively “expensive” ion exchange membranes frequently suffer from the “cheap” foulants in the wastewater, resulting in high energy consumption, poor separation effect, and shortened membrane lifetime in ED process [10]. In other words, membrane fouling is the main challenge for more efficient treatment of wastewater.

Previous studies have demonstrated that anion exchange membranes (AEM) were susceptible to fouling by organic substances in solution due to the high adhesion between membranes and foulants [11], (e.g., surfactants [12], proteins [13], humic acids [14], polymers [15], etc.) compared with cation exchange membranes (CEM). Membrane surface properties, including hydrophilicity [16,17], surface charge [18,19],

* Corresponding author. Engineering Research Center of Membrane and Water Treatment of MOE, College of Chemical and Biological Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, PR China

E-mail address: yaozhikan@zju.edu.cn (Z. Yao).

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2025.124011>

Received 3 March 2025; Accepted 20 March 2025

Available online 20 March 2025

0376-7388/© 2025 Elsevier B.V. All rights reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

《SCI-EXPANDED》收录、《JCR》期刊影响因子、分区及中科院期刊分区证明

经检索《Web of Science》、《Journal Citation Reports (JCR)》及《中国科学院文献情报中心期刊分区表》数据库,《Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)》收录论文及其期刊影响因子、分区情况如下。(检索时间:2025年5月19日)

第1条,共1条

标题:Improving the antifouling properties of anion exchange membrane by reducing the adhesion force between membrane and foulants via construction of zwitterionic surface nanolayer

作者:Mao, YC(Mao, Yunchen);Qian, YK(Qian, Yukun);Jin, HY(Jin, Hongyu);Wang, MM(Wang, Manman);Yang, B(Yang, Bing);Lu, D(Lu, Dan);Li, Y(Li, Ying);Yao, ZK(Yao, Zhikan);Zhang, L(Zhang, Lin);

来源出版物:JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE 卷:724 文献号:124011 提前访问日期:MAR 2025

DOI:10.1016/j.memsci.2025.124011 出版年:MAY 2025

入藏号:WOS:001458190900001

文献类型:Article

地址:

[Mao, Yunchen; Qian, Yukun; Jin, Hongyu; Wang, Manman; Yang, Bing; Yao, Zhikan; Zhang, Lin] Zhejiang Univ, Coll Chem & Biol Engn, Engn Res Ctr Membrane & Water Treatment MOE, Hangzhou 310027, Peoples R China.

[Mao, Yunchen] Zhejiang Univ, Ningbo Innovat Ctr, Ningbo 315100, Peoples R China.

[Lu, Dan; Yao, Zhikan; Zhang, Lin] Zhejiang Univ, Innovat Ctr Yangtze River Delta, Future Environm Lab, Jiaxing 314100, Peoples R China.

[Li, Ying] Zhejiang Univ Sci & Technol, Sch Environm & Nat Resources, Hangzhou 310023, Peoples R China.

通讯作者地址:

Yao, ZK (corresponding author), Zhejiang Univ, Coll Chem & Biol Engn, Engn Res Ctr Membrane & Water Treatment MOE, Hangzhou 310027, Peoples R China.

电子邮件地址:yaozhikan@zju.edu.cn

IDS号:0XG1N

ISSN:0376-7388

eISSN:1873-3123

期刊《JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE》2023年的影响因子为8.4,五年影响因子为8.1。

期刊《JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE》2023年的JCR分区情况为:

Edition	JCR® 类别	类别中的排序	JCR 分区
SCIE	ENGINEERING, CHEMICAL	13/170	Q1
SCIE	POLYMER SCIENCE	5/95	Q1

期刊《JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE》2025年升级版的中科院期刊分区情况为:

刊名	JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE		
年份	2025		
ISSN	0376-7388		
	学科	分区	Top 期刊
大类	工程技术	1	是
小类	ENGINEERING, CHEMICAL 工程: 化工	1	-
小类	POLYMER SCIENCE 高分子科学	1	-

注:1. 期刊影响因子及分区情况最新数据以JCR数据库、《中国科学院文献情报中心期刊分区表》最新数据为准。

2. 以上检索结果来自CALIS查收查引系统。

3. 以上检索结果均得到委托人及被检索作者的确认。

教育部科技查新工作站(Z09)
检索人(签章): 应湘艺
2025年5月19日