



庆贺《膜科学与技术》创刊 40 周年



# 膜科学与技术

中国蓝星(集团)股份有限公司主办  
全国中文核心期刊  
中国科技核心期刊  
中国北方优秀期刊  
RCCSE中国核心学术期刊  
全国石化行业优秀期刊一等奖

2021年12月 第41卷 第6期(总第211期) Vol. 41 No. 6

## Membrane Science and Technology

青岛董家口海水淡化项目  
100,000吨/天,1482支8英寸膜外壳

ROPV 乐普®

中国膜外壳制造龙头企业



更多信息请访问乐普网站  
ROPV.COM.CN

赢在技术 胜在品质 乐普是世界领先的玻璃钢压力容器制造商和解决方案提供商

# 膜科学与技术

MOKEXUE YU JISHU

(1981年3月创刊,双月刊)

2021年第41卷第6期(总第211期)

Vol. 41 No. 6 2021年12月25日出版(卷终)

## 目次

### 研究报告

- 荷负电中空纤维膜的制备、微结构调控及渗透性能研究  
..... 武志国, 杨敬葵, 秦舒浩, 崔振宇(1)
- 天然水背景下残余铝组分分析及其对纳滤膜污染的贡献  
..... 袁梓屹, 李芸妃, 李天玉, 张建锋, 王小侗(10)
- 改进 Hummers 法制备氧化石墨烯的机理研究 .....  
... 徐 博, 李春丽, 张浩月, 弓 哲, 于 颖, 邱广明(18)
- 聚合物支撑柔性有机二氧化硅杂化膜的制备与异丙醇脱水  
应用研究 ..... 李亚楠, 廖明佳, 龚耿浩(27)
- 基于低品位天然凹凸棒石黏土的低成本蜂窝陶瓷  
... 薛爱莲, 范兆如, 毛恒洋, 周守勇, 李梅生, 赵宜江(35)
- 纳米 SiO<sub>2</sub> 修饰陶瓷中空纤维制备 MCM-48 分子筛膜  
..... 谢继贤, 任生缘, 周诗健, 王学瑞, 顾学红(43)
- 两性离子纳滤膜的制备及抗污染性能研究 ..... 王新乐,  
刘铭辉, 于海军, 康国栋, 曹义鸣, 李 霞, 付晓燕(51)
- 具有褶皱结构抗污染分离膜的制备与性能探索  
..... 郑甜甜, 杨 景, 李昕阳,  
马文松, 程 琦, 邓雪松, 辛清萍, 林立刚(60)
- 高性能聚酰亚胺氧/氮气分离膜的设计与制备  
..... 于道明, 李凯华,  
董 昊, 李玳璇, 吉文慧, 宋 俊, 马小华(67)
- 新型聚芳醚砜锂离子电池隔膜的制备及性能  
..... 储 健, 王丽华, 虞鑫海(75)
- 基于多巴薄壁微囊制备无缺陷有机溶剂纳滤膜  
..... 时 飞, 李红英, 李奕帆(85)
- 膜孔径对陶瓷膜净化生物发酵液性能的影响研究  
..... 孟子怡, 叶亚晗,  
余浩卫, 闻娟娟, 陈献富, 邱鸣慧, 范益群(95)
- 亲水超滤膜 PVDF/CS-HDH-Cl 的制备及其抗菌性能研究  
..... 徐佳峰, 王 函, 陈 艳, 郎万中(103)
- 平板陶瓷载体上 SiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> 膜的制备及其纳滤性能研究  
..... 任秀秀, 夏凌云, 钟 璟(110)
- 基于羟丙基-β-环糊精的界面聚合纳滤膜及其性能研究  
..... 李 春, 贾萌萌,  
张梦蕾, 秦振平, 马语晨, 梁玉仓, 郭红霞(118)

## 第十一届《膜科学与技术》编委会 (编委按姓氏笔画排序)

- 主 编: 尤金德  
副 主 编: 许振良 王保国 范益群 吕晓龙  
曹义鸣  
委 员: 万印华 王同华 王 志 王建友  
王 艳 王晓琳 王 磊 田 瑞 冯 威  
邢卫红 朱宝库 朱孟府 仲兆祥 任吉中  
刘庆林 刘 烽 刘 富 安全福 纪淑兰  
苏保卫 杨建华 李建新 李砚硕 李保安  
吴 亮 何 涛 张卫东 张玉忠 张永明  
张亚涛 张守海 张 林 张所波 张贵清  
张慧峰 林红军 罗建泉 郑 祥 孟 洪  
赵之平 赵孔双 胡云霞 俞三传 姜忠义  
贺高红 袁黎明 顾学红 徐 平 徐 至  
徐志康 徐铜文 高学理 郭立玮 唐 娜  
黄 霞 梁松苗 董应超 蒋兰英 谢 锐  
靳 健 褚良银 潘献辉 薛立新  
高级顾问: 高从增 徐南平 邓麦村 侯立安  
蹇锡高 杨万泰 王世昌 柴立元  
马 军 金万勤

国外高级顾问(以姓氏的英文字母顺序排列)

In the alpherbetical order of the family name):

E. Drioli(恩瑞克·德利奥里,意大利)

A. G. Fane(安东尼·菲恩,澳大利亚)

W. S. Ho(何文寿,美国)

W. J. Koros(威廉·卡洛斯,美国)

N. N. Li(黎念之,美国)

S. H. Moon(文昇铉,韩国)

主管单位: 中国蓝星(集团)股份有限公司

主办单位: 中国蓝星(集团)股份有限公司

地 址: 北京市朝阳区北三环东路19号

邮 编: 100029

电话/传真: (010)64426130/64433465

E-mail: mkxyjs@163.com

http://www.mkxyjs.com

编辑出版: 《膜科学与技术》编辑部

常务副主编: 洪玉梅

特邀编辑: 武春瑞 谢 锐 罗建泉 刘公平

责任编辑: 舒 伊

责任编辑: 马润宇

微机排版: 北京亿湘粤图文制作中心

印 刷: 甘肃新华印刷厂

出版日期: 2021年12月25日

国际标准连续出版物号: ISSN 1007-8924

国内统一连续出版物号: CN 62-1049/TB

发行范围: 公开发行

邮发代号: 54-40

国内订阅: 全国各地邮局(所)

国内定价: 每册 30.00 元

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司

国外发行代号: 1401BM

广告经营许可证号: 西市管广登字(2019)02号

刊名商标注册号: 912242

期刊基本参数: CN62-1049/TB \* 1981 \* b \* A4 \* 310 \* zh \* P \* ¥30.00 \* 1800 \* 36 \* 2021-12



## 应用研究

应用光学相干断层成像技术分析膜蒸馏过程中的蛋白质膜污染行为 ..... 刘 杰, 王业威, 刘 鑫, 李炜怡(126)

新型卷式膜组件的静态混合隔网研制及其强化传质研究 ..... 刘久清, 曾凡立, 白立顺, 洪梓坤, 宋飞飞(133)

电场强化煤基炭膜处理含酚废水过程中的失活与再生性能研究

..... 辛 红, 潘宗林, 徐 爽, 严晓青, 范新飞, 宋成文, 王同华(138)

高压纳滤膜在浓盐水资源化利用中的应用研究 ..... 张兆钢, 梁松苗, 田长周, 胡利杰(146)

改性氧化石墨烯-PEBA 混合基质膜对苯酚/水的渗透汽化分离性能 ..... 吴 昊, 李治康, 伍艳辉(153)

## 专题综述

面向燃料电池和液流电池的高性能离子交换膜 ..... 杨正金, 左培培, 李圆圆, 徐铜文(162)

新型二维分离膜材料石墨炔分离膜的研究进展 ..... 项 楠, 李 琳, 刘晓玮, 王同华(172)

聚合物分离膜交联改性研究进展 ..... 薛腾远, 冯世超, 汪称意, 庄永兵(182)

有机溶剂纳滤膜的研究现状与展望 ..... 水雪荣, 李佳骐, 冯炜林, 方传杰, 朱利平(192)

乙酸脱水膜研究进展 ..... 王晓燕, 阎雪茹, 刘新磊(202)

离子单体界面聚合制备纳滤膜的研究进展 ..... 彭华文, 赵 强(213)

中间层调控聚酰胺复合膜的研究进展 ..... 赵岩雨, 张 瑜, 宋向菊, 江河清(226)

基于增材制造技术的分离膜结构精细调控研究进展 ..... 沈 心, 王 晶, 赵海洋, 姚之侃, 张 林(236)

有机溶剂纳滤在石油化工中的应用进展 ..... 王文奇, 陈义浩, 李文鹏, 王景涛(243)

气体分离用多孔两相混合基质膜的界面设计 ..... 苏鹏程, 李万斌(251)

双疏膜制备技术研究进展 ..... 卢 鑫, 周 勇, 高从增(261)

## 研究简报

层层自组装“三明治”结构纳滤膜实现高效镁锂分离 ..... 何荣荣, 董晨俊, 白冰洋, 孙 楠, 宋健峰, 张春耀, 何 涛(269)

## 北京膜学会纪念专栏

北京膜学会大事记(1991—2021) ..... (271)

清华大学 TIPS 法制膜技术发展历程

..... 林亚凯, 周 波, 唐元晖, 田 野, 马文中, 汪 林, 杨 健, 马恒宇, 庞 博, 李 倩, 毕秋艳, 王晓琳(276)

从海水淡化到能源技术的开拓创新——天津大学海水淡化与膜技术研究中心发展历程 ..... 王 志, 王宇新, 王世昌(288)

电化学能源转化过程的离子膜研究进展

..... 万 磊, 徐子昂, 王培灿, 许 琴, 范春阳, 吴 洪, 刘 凯, 王新宇, 王保国(298)

## 动态信息

简讯(66, 125, 201, 212)征订信息(225, 260)广告目次(181)总目次(311)

# MEMBRANE SCIENCE AND TECHNOLOGY

(Bimonthly)

Vol. 41 No. 6 (Sum No. 211)

Dec. 2021

## CONTENTS

### Research report

- Preparation, microstructure regulation and permeability investigation of negative-charged hollow fiber membrane  
..... WU Zhiguo, YANG Jingkui, QIN Shuhao, CUI Zhenyu(1)
- Residual aluminum components and their contribution to nanofiltration membrane fouling in natural water ..... YUAN Ziyi,  
LI Yunfei, LI Tianyu, ZHANG Jianfeng, WANG Xiaomao(10)
- Study on the mechanism of preparation of graphene oxide by improved Hummers method ..... XU Bo, LI Chunli,  
ZHANG Haoyue, GONG Zhe, YU Ying, QIU Guangming(18)
- Study of fabricating flexible organosilica membranes with high performance via flow-induced deposition method  
..... LI Yanan, LIAO Mingjia, GONG Genghao(27)
- Low cost honeycomb ceramic from natural low grade attapulgite clay  
..... XUE Ailian, FAN Zhaoru,  
MAO Hengyang, ZHOU Shouyong, LI Meisheng, ZHAO Yijiang(35)
- MCM-48 membranes synthesized on ceramic hollow fibers with nano-sized SiO<sub>2</sub> modification ..... XIE Jixian, REN Shengyuan,  
ZHOU Shijian, WANG Xuerui, GU Xuehong(43)
- Preparation of zwitterion nanofiltration membrane and its anti-fouling performance ..... WANG Xinle, LIU Minghui,  
YU Haijun, KANG Guodong, CAO Yiming, LI Xia, FU Xiaoyan(51)
- Preparation and performance exploration of anti-pollution separation membranes with fold structure  
..... ZHENG Tiantian, YANG Jing, LI Xinyang, MA Wensong,  
CHENG Qi, DENG Xuesong, XIN Qingping, LIN Ligang(60)
- Design and synthesis of high performance O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> separation membranes based on novel polyimide ..... YU Daomin, LI Kaihua,  
DONG Hao, LI Qixuan, JI Wenhui, SONG Jun, MA Xiaohua(67)
- Preparation and performance of a novel polyarylethersulfone separator for lithium-ion batteries ..... CHU Jian, WANG Lihua, YU Xinhai(75)
- Fabricating defect-free organic solvent nanofiltration membrane based on dopa thin-walled microcapsules ..... SHI Fei, LI Hongying, LI Yifan(85)
- Study on the effect of pore size of ceramic membrane on the separation performance of biological fermentation broth  
..... MENG Ziyi, YE Yahan, YU Haowei,  
WEN Juanjuan, CHEN Xianfu, QIU Minghui, FAN Yiqun(95)
- Preparation and antibacterial performance of high permeability PVDF/CS-HDH-Cl ultrafiltration membrane  
..... XU Jiafeng, WANG Han, CHEN Yan, LANG Wanzhong(103)
- Nanofiltration performance of SiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> membrane prepared on flat ceramic support ..... REN Xiuxiu, XIA Lingyun, ZHONG Jing(110)

## MEMBRANE SCIENCE AND TECHNOLOGY

(A Bimonthly Publication of the Membrane Industry Association of China)

Started in 1981

Vol. 41 No. 6 Dec. 2021

Sponsored by China National Blue Star (Group) Corp.

E-mail: mkxyjs@163.com

http://www.mkxyjs.com

Edited by Editorial Department of Membrane Science and Technology

General Editor You Jinde

Printed by Xinhua Printing House, Gansu

Distributed by Local Post Offices (Domestic)

China National Publications Import & Export Corporation

Distribution Number Abroad 1401BM

### 《膜科学与技术》第一届理事会常务理事 (排名不分先后)

- 邢卫红 南京工业大学  
万印华 中国科学院过程工程研究所  
朱宝库 浙江大学  
毕飞 利得膜(北京)新材料技术有限公司  
陈清 海南立昇净水科技实业有限公司  
陈亦力 北京碧水源膜科技有限公司  
冯威 山东东岳高分子材料有限公司  
郭嘉 蓝星工程有限公司  
金焱 时代沃顿科技有限公司  
蒋林煜 厦门嘉戎技术股份有限公司  
徐徜徉 天邦膜技术国家工程研究中心有限责任公司  
王乐译 山东招金膜天股份有限公司

### 《膜科学与技术》第一届通讯编委会委员 (按姓氏笔画排序)

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马小华 | 马晓华 | 王乃鑫 | 王小侗 | 王丽华 |
| 王建强 | 王景涛 | 邓橙  | 申利国 | 朱利平 |
| 伊春海 | 庄永兵 | 刘久清 | 刘公平 | 刘立芬 |
| 刘壮  | 刘凯  | 刘新磊 | 江河清 | 阮雪花 |
| 孙世鹏 | 杨正金 | 李炜怡 | 李春丽 | 李胜海 |
| 李奕帆 | 李祥村 | 李培  | 李琳  | 肖康  |
| 邱鸣慧 | 沈江南 | 宋成文 | 张小亮 | 张忠国 |
| 张秋根 | 邵路  | 武春瑞 | 林立刚 | 周守勇 |
| 周勇  | 郎万中 | 赵颂  | 赵强  | 胡利杰 |
| 祝振洲 | 姚之侃 | 贾志谦 | 夏建中 | 徐徜徉 |
| 郭红霞 | 樊耿浩 | 崔振宇 | 康国栋 | 盖庆春 |
| 梁帅  | 韩乐  | 潘福生 |     |     |

The interface polymerized nanofiltration membrane with hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin as aqueous monomer  
..... LI Chun, JIA Mengmeng, ZHANG Menglei, QIN Zhenping, MA Yuchen, LIANG Yucang, GUO Hongxia(118)

### Application research

Analyzing protein-fouling behavior in membrane distillation via optical coherence tomography  
..... LIU Jie, WANG Yewei, LIU Xin, LI Weiyi(126)

Development of a new static mixing spacer for spiral-wound membrane module and its study on enhanced mass transfer  
..... LIU Jiuqing, ZENG Fanli, BAI Lishun, HONG Zikun, SONG Feifei(133)

Deactivation and regeneration performance of electric field enhanced coal-based carbon membrane during treatment of phenolic wastewater  
..... XIN Hong, PAN Zonglin, XU Shuang, YAN Xiaoqing, FAN Xinfei, SONG Chengwen, WANG Tonghua(138)

Application of ultra high pressure nanofiltration membrane in resource utilization of concentrated brine  
..... ZHANG Zhaogang, LIANG Songmiao, TIAN Zhangzhou, HU Lijie(146)

Pervaporation separation of phenol/water by modified graphene oxide-PEBA mixed matrix membrane  
..... WU Hao, LI Zhikang, WU Yanhui(153)

### Monographic summary

Advanced ion exchange membranes for fuel cells and aqueous flow batteries  
..... YANG Zhengjin, ZUO Peipei, LI Yuanyuan, XU Tongwen(162)

Development of a novel 2D separation membrane: Graphdiyne membrane ..... XIANG Nan, LI Lin, LIU Xiaowei, WANG Tonghua(172)

Research progress of crosslinking modification for polymeric separation membranes  
..... XUE Tengyao, FENG Shichao, WANG Chenyi, ZHUANG Yongbing(182)

Advance in organic solvent nanofiltration membranes ..... SHUI Xuerong, LI Jiaqi, FENG Weiling, FANG Chuanjie, ZHU Liping(192)

Acetic acid dehydration membranes ..... WANG Xiaoyan, YAN Xueru, LIU Xinlei(202)

Recent progress in ionic monomers for the preparation of nanofiltration membranes by interfacial polymerization  
..... PENG Huawen, ZHAO Qiang(213)

Research progress on interlayer mediated polyamide composite membrane  
..... ZHAO Yanyu, ZHANG Yu, SONG Xiangju, JIANG Heqing(226)

Research progress on membrane preparation and structure control by additive manufacturing  
..... SHEN Xin, WANG Jing, ZHAO Haiyang, YAO Zhikan, ZHANG Lin(236)

Application progress of organic solvent nanofiltration in petrochemical industry  
..... WANG Wenqi, CHEN Yihao, LI Wenpeng, WANG Jingtao(243)

Interfacial design and gas separation of porous two-phase mixed matrix membranes ..... SU Pengcheng, LI Wanbin(251)

Research progress on preparation technology of amphiphobic membrane ..... LU Xin, ZHOU Yong, GAO Congjie(261)

### Research note

Layer-by-Layer self-assembled nanofiltration membrane with 'sandwiched' structure for highly efficient separation of Magnesium and Lithium ..... HE Rongrong, DONG Chenjun, BAI Bingyang, SUN Nan, SONG Jianfeng, ZHANG Chunyao, HE Tao(269)

### Memorial Column for Beijing Membrane Society

Great event of Beijing Membrane Society (1991-2021) ..... (271)

Development of membrane preparation technology of TIPS in Tsinghua University ..... LIN Yakai, ZHOU Bo, TANG Yuanhui, TIAN Ye, MA Wenzhong, WANG Lin, YANG Jian, MA Hengyu, PANG Bo, LI Qian, BI Qiuyan, WANG Xiaolin(276)

Innovation from Seawater Desalination to Energy Technology — Development history of seawater desalination and membrane technology research center in Tianjin University ..... WANG Zhi, WANG Yuxin, WANG Shichang(288)

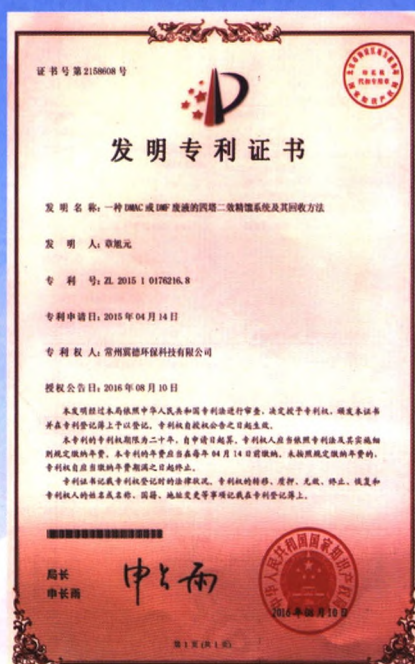
A critical review of ion conduction membranes for electrochemical energy conversion processes  
..... WAN Lei, XU Ziang, WANG Peican, XU Qin, FAN Chunyang, WU Hong, LIU Kai, WANG Yuxin, WANG Baoguo(298)



# 凝聚科技力量

# 合力节能赢利

——DMF、DMAC 溶剂精馏回收设备专家



**环保特佳**  
**能耗特低**  
**品质特优**

ZL 2015 1 0176201.1

ZL 2015 1 0176216.8

ZL 2015 1 0174887.0

**信誉为重**  
**科技为本**  
**服务为诚**



常州冀德环保科技有限公司

传真/电话: 0519-85606671

地址: 江苏省常州市新北区龙锦路1590号  
现代传媒中心1号楼2407—2408室

联系人: 章旭元 15851922333 13388529333

公司网站: [www.changzhoujide.com](http://www.changzhoujide.com)  
[www.czjide.com](http://www.czjide.com)

国内统一连续出版物号: CN62-1049/TB

邮发代号: 54-40

ISSN 1007-8924



12>

9 771007 892219