

教育部工程研究中心年度报告

(2022年1月——2022年12月)

工程中心名称：膜与水处理技术

所属技术领域：化工、冶金与材料

工程中心主任：朱利平

工程中心联系人/联系电话：郭毅/18257164669

依托单位名称：浙江大学

2025 年 3 月 17 日填报

一、技术攻关与创新情况

中心总体定位为面向饮用水安全、环境保护、节能减排、海洋资源利用、医疗健康、能源、工业分离等国计民生行业重大需求，围绕“膜与水处理”共性科学、技术、工程问题，以解决行业实际问题为导向，开展了反渗透、纳滤、超滤、微滤、渗透汽化等膜原料、膜材料、膜装备、膜法水处理技术及膜过程应用等全链条的研发工作。中心成立以来主要围绕三大方向开展工作：净水及环境膜材料与应用技术；医用及制药膜材料及应用技术；脱盐及工业分离膜材料及应用技术三大方向。2022年度在此基础上面向国家环保、健康、工业技术升级、“双碳”愿景、生态文明建设和国防能力提升等战略目标和新增需求，根据膜科学技术和水处理学科的关键共性科学、技术和工程内涵，将研究方向内涵提升为：反渗透膜材料及水处理应用、纳滤膜材料及水处理应用、超微滤膜材料与水应用、专用功能膜材料与应用四个方向，开展一系列科学、技术和工程化的研究。通过多学科交叉、产学研融合，利用依托单位内外基地条件和企业的深度参与合作，获得了一系列的成果。

重点创新成果

1. 海水淡化膜技术突破

？ 界面聚合技术优化：采用长链异构烷烃溶剂，制备出厚度仅20-50nm的聚酰胺反渗透膜，截留率提升至99.8%，综合性能优于国际同类产品

？ 光热蒸发器创新：研发自除垢两面神光热膜蒸发器，蒸发效率达 $3.2\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，较传统设备提升40%，有效解决结垢难题

2. 微塑料治理仿生技术

模拟蝠鲼鳃耙结构，通过双向冷冻与热致相分离联用技术，制备贯通斜孔膜（倾斜角15-60°可调），实现98.7%的微塑料截留率，通量达 $800\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ ，突破传统膜孔径限制

3. 医用高分子材料

？ 三重改性聚氨酯：阳离子/阴离子/疏水基团协同改性，抗菌率 $>99.99\%$ ，溶血率 $<0.5\%$ ，细胞存活率 $>95\%$

？ 超支化聚合物共混技术：改性剂添加量仅0.5wt%即可实现抗菌抗粘附双重功能，生产成本降低30%

4. 新能源材料创新

？ 锂硫电池双功能粘结剂：亲锂亲硫基团设计，循环500次容量保持率83%，倍率性能提升3倍

？ 分子筛膜制备：开发晶种层转移法，制备b轴取向MFI分子筛膜，乙醇/水分离因子达68，透醇通量 $4.2\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

5. 智能检测技术

非对称润湿性导电膜传感器：实现0.15 μL微量汗液检测，葡萄糖检测限0.1 μM，响应时间<5s，已应用于运动监测装备

工业分离技术突破

1. 耐溶剂复合膜

？ PIMs/COFs多级微孔膜：正己烷通量25L/(m²·h·bar)，染料截留率>99.9%，耐溶剂性提升5倍

？ TiO₂ 纳米改性技术：物理老化速率降低80%，连续运行2000小时性能衰减<5%

2. 气体分离膜

Zn-EG前驱体转化法制备ZIF-8/GO复合膜：H₂/CO₂分离因子达56，厚度仅0.9 μm，突破传统MOF膜制备瓶颈

3. 高性能纳滤膜

反应活性支撑层技术：硫酸钠截留率99.1%，水通量103L/(m²·h)，分离因子86.7，较传统膜提升40%

基础研究进展

1. 膜污染机理

揭示藻类胞外多聚物在正渗透过程的膜污染规律，建立“水征”评价体系，为工艺优化提供理论支撑

2. 表面改性技术

？ 铁离子-植酸动态涂层：PVDF膜接触角由125° 降至0°，油水分离效率>97%

？ 镍金属化海绵：吸油量达自重50倍，循环使用20次性能保持率90%

产业化应用

已形成8类32种膜产品体系，在海水淡化、医药分离、工业废水处理等领域实现规模化应用，近三年技术转化收益超2亿元，支撑相关行业减排CO₂ 150万吨/年。中心将继续深化“材料-装备-工艺”集成创新，助力国家双碳战略与水安全体系建设。

二、成果转化与行业贡献

1. 总体情况

2022年度中心在产业化应用有所发展与突破，新增技术开发项目10余项，经费超过600余万元。在重大项目承担、纳滤膜材料、电厂膜法水处理技术、抗菌空气净化膜及产品、PTFE膜的亲水化等方面取得显著的成果，形成了良好的经济效益和社会效益。各项成果，都是与企业合作、以中心教授技术为主体、合作企业为载体实施的，充分体现了“产学研用”相结合，充分发挥中心优势的特点。

2. 工程化案例

(1) 承担重大科技攻关项目“物料分离用纳滤膜材料与膜元件制造关键技术及其应用示范”

徐志康教授团队与合作企业宁波水艺膜科技发展有限公司、浙江迪萧科技有限公司、浙江天草生物科技股份有限公司共同申报了宁波市重大科技任务攻关项目《物料分离用纳滤膜材料与膜元件制造关键技术及其应用示范》，总经费500万元。该项目旨在建立国产纳滤膜在千吨级物料分离领域的应用示范，实现高价值物料的分离提纯。本团队正在进行适用于醇类体系的薄层复合有机纳滤膜的研发，产品目前能够从乙醇中高效分离染料、药物、均相催化剂。

(2) 参与国家重点研发计划项目“聚醚醚酮和聚四氟乙烯基制膜材料及其耐溶剂复合膜制备关键技术”

徐志康教授团队参与了中国科学院长春应用化学研究所、浙江大学、吉林大学等高校与杭州易膜环保科技有限公司、宁波水艺膜科技发展有限公司、浙江巨化技术中心有限公司等多家企业联合申报的国家重点研发计划项目《聚醚醚酮和聚四氟乙烯基制膜材料及其耐溶剂复合膜制备关键技术》，总经费3300万元。该项目旨在建立具有我国自主知识产权的低成本、高性能的聚醚醚酮和聚四氟乙烯基制膜原料及膜制品体系，开发低成本规模化的耐溶剂纳滤膜生产技术，助力实现“碳达峰、碳中和”远景目标。本团队预期将表界面工程技术与可控界面聚合技术耦合，应用于薄层复合有机纳滤膜的制备，实现纳滤膜长期服役稳定性的提升和渗透选择性的突破。

(3) 承担浙江省“领雁”项目“绿色包装与塑料污染治理技术研发、装备及示范-聚合物膜材料减量与高质量循环利用技术及应用示范”

张林教授团队与合作单位浙江理工大学、浙江易膜新材料科技有限公司、浙江浙能研究院有限公司、浙江浙能嘉华发电有限公司共同申报了浙江省“领雁”项目“绿色包装与塑料污染治理技术研发、装备及示范-聚合物膜材料减量与高质量循环利用技术及应用示范”，总经费1000万元。该项目旨在实现反渗透/纳滤膜等聚合物分离膜材料的循环利用、减少其造成的塑料污染。

(4) 建立高产能纳滤膜生产线

徐志康教授团队与宁波水艺膜科技发展有限公司签订项目《高性能薄层复合纳滤/反渗透膜制备技术》，共同建成全自动高产能复合纳滤膜生产线。生产线具有全封闭漂洗槽，可以实现全自动超声焊放和极低张力热处理，最高车速达15 m/min，是全球少数几条车速超过10 m/min的生产线之一，纳滤膜产品生产能力达300万平米/年。

(5) 热法制备大通量聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜

朱利平教授等采用Tips技术实现了大通量聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜的稳定生产，显著提高了PVDF中空纤维膜的水透过通量和拉伸强度，打破了日本旭化成、美国陶氏等企业

对该技术和产品的垄断，当前在阿克菲姆膜材（嘉兴）有限公司实现了技术转化，该产品已在嘉化园区废水处理等工程中进行试用。

（6）工业水处理长效分离膜制备关键技术及其工程应用

以浙江大学为第一完成单位，姚之侃副研究员为第一完成人，联合浙江浙能技术研究院有限公司，浙江浙能绍兴滨海热电有限责任公司，杭州永洁达净化科技有限公司，杭州天创环境科技股份有限公司，沧州绿源水处理有限公司，利得膜（北京）新材料技术有限公司，完成“工业水处理长效分离膜制备关键技术及其工程应用”项目，并获中国科技产业化促进会科技创新一等奖。该工作针对水处理过程中普遍存在的反渗透/纳滤膜因膜污染、频繁化学清洗引起的膜材料氧化或酸化水解，导致的水处理效率快速下降的共性问题，发明了温和膜表面改性技术，实现了膜表面荷电平衡与亲水作用协同抗污染层及可逆牺牲耐氧化层的构建；针对超滤膜在工业废水预处理过程中易污堵，导致性能下降的问题，发展了基于两亲聚合物的膜结构调控机理，发明了原位共混成膜与表面两性离子化反应协同调控超滤膜表面结构的新技术；针对传统膜法水处理工艺路线长、运行方案优化缺失的问题，发明了全膜法短流程水处理工艺与“原位检测-故障诊断-运行优化”集成式诊断系统。研究成果应用于高性能反渗透/纳滤膜样品的生产，形成新产品3类；应用于浙能绍兴滨海热电有限责任公司、杭州永洁达净化科技有限公司等冷却水、除盐水生产等水处理工程，近2年累计经济效益近10亿，减少废弃膜组件3000只，减少膜清洗污水排放近1万吨，有效缓解了固废与废水对环境造成的影响。

3. 行业服务情况

（1）徐志康教授团队与万华化学合作，开展“界面聚合合成聚酰胺膜的分子模拟研究及模拟程序开发”研究项目，旨在通过分子模拟指导界面聚合过程，实现反渗透膜制备条件的优化，为企业解决相关技术难题。

（2）万灵书教授团队与江苏景宏新材料科技有限公司合作研发聚乳酸及其纳米纤维多孔膜材料。

（3）西宁盐湖提锂研讨会

2022年7月22日-24日，由中科院盐湖所和山西省化工学会共同举办的“电驱动膜分离技术在盐湖资源开发领域的应用研讨会”在青海省西宁市成功举办。朱利平教授受邀并出席该次会议，并做了题为“基于自聚微孔聚合物的复合膜结构与制备”大会报告

（4）全国膜与水处理大讲堂

朱利平教授受邀出席全国膜与水处理大讲堂并在线主讲《面向工业分离的高分子膜材料结构与制备》，该讲堂是由《水处理技术》、海水淡化与水再利用学会、全国膜技术信息站等专业机构共同打造，主要聚焦科技前沿，服务创新发展，围绕技术研究、工艺设计、工程应用、装备制造及方案解决等核心共性问题，汇集行业专家，为业界人士推出技术直播专家讲座系列。

三、学科发展与人才培养

1. 支撑学科发展情况

本年度中心的工作显著推动了依托学科承接国家重大研究任务和重大项目的能力。在开展科学研究的基础上，促进了膜科学技术与健康、能源等学科的交叉和融合，取得了系列研究成果，充分发挥科研项目经费对学科建设的支撑作用。中心的固定成员，积极承担相应学科的教学任务，主讲《分离功能高分子》、《高分子化学》、《聚合物结构表征原理》、《高分子膜材料》等课程。在内部各学科、各研究方向之间、与境外著名机构（埃及国家研究院、香港大学、丹麦理工，神户大学等）等开展交叉合作，同时注重大学科之间的交叉合作，通过开展科学研究、共同培养学生、共同发表研究论文、共同申报科学技术成果奖励，取得了丰硕的科研成果，促进膜材料与其他学科相结合和共同发展。在依托单位的指导和固定人员的共同努力下，实验室的科研工作遵循依托单位部署，紧密结合国际前沿和国家科技发展趋势，科研规模持续稳定发展，国际交流与影响力不断扩大。

2. 人才培养情况

程丽华副教授授国家留学基金委青年骨干项目资助，赴美国耶鲁大学化工与环境工程系Menachem Elimelech课题组访学1年。

本年度中心培养在读研究生X名，其中硕士研究生35名，博士研究生28名，毕业硕士生6名，博士生2名，共发表学术论文20篇。万灵书教授培养硕士生钟贻满、朱干斐，其中朱干斐获得浙江大学优秀毕业生荣誉称号。

3. 研究队伍建设情况

中心2022年度引进优质青年人才3名，其中2名浙江大学百人计划研究员，1名专职科研人员是德国“洪堡学者”获得者。3位老师年龄均不超过40岁。

四、开放与运行管理

1. 主管部门、依托单位支持情况

2022年度，浙江大学高分子科学与工程学系、化学工程与生物工程学院、材料科学与工程学院、环境与资源学院等二级机构，为中心提供相对集中的科研场所5500M²，新增2500M²，学校为中心专项费用50万元，提供研究生招生名额15名。中心新引进优质青年人才3人。

2. 仪器设备开放共享情况

中心现有大型仪器设备总产总值5700 万，30 万以上大型仪器设备15台。对仪器设备实行专人负责制，进行科学管理，严格按操作规程进行，保证设备的高效、正常运行，为科研和教学提供便利条件。为每台仪器聘请了责任教授，参与仪器的管理、维护和功能开发，提高了大型仪器的使用效率，更好地为科研服务。仪器面向全社会开放，使用开放机时数达5000小时/年，测试样数6000个/年，培训人数约150人次/年。其中约80%面向中心内部，约20%面向校内外。

3. 学风建设情况

中心建有由国内专家组成的技术委员会，本年度通过多种形式召开年度会议或远程咨询，为中心的现状、问题及发展规划提出了合理和切实的建议。

4. 技术委员会工作情况

中心建有由国内专家组成的技术委员会，本年度通过多种形式召开年度会议或远程咨询，为中心的现状、问题及发展规划提出了合理和切实的建议。

本中心的师生按照国家各级部门政策、学校制度等加强师风、学风建设，通过学习、讲座、以老带新等方式进行强化学风，中心所有成员没有出现弄虚作假、剽窃等违规行为。

五、下一年度工作计划

（1）技术开发

依托国家自然科学基金、重点研发计划、浙江省科技计划、企业横向等项目，持续推进面向应用的创新性科学与技术相结合的产学研用研究，重点开发高性能纳滤膜、超滤膜、医用分离膜、降解高分子纳米纤维膜等材料及其应用技术。

（2）成果转化

推进抗菌膜、微滤膜、纳滤膜、电池隔膜等成果的技术转化，推动ECMO人工肺氧合膜的成果的转化。

（3）团队建设及制度优化

在团队建设方面，开展团队内外的多学科交叉和融合，加强对青年学者的培养，同时联合企业、行业，引进校外团队加入中心，促进中心材料及工程应用的发展。在制度方面，根据国家新形势对科研的要求、国家及学校新政策，建立适合于新时代的中心管理与运行制度。

六、问题与建议

（1）受制于编制限制，中心人员规模较小、新生固定人员数量与比例较小。在建议和争

取依托单位给予人才引进的同时，加强人才的培养与引进，聘用外部人员深度参与中心的工作。

（2）过去一段时间内，主管部门与依托单位对中心的管理和运行、场地、人员等支持仍需进一步加强，建议形成政策和制度，加强对中心发展的支持。

七、审核意见

（工程中心负责人、依托单位、主管单位审核并签章）

<p>工程中心负责人审核意见：</p> <p>如实呈现了2022年度工程中心工作的内容</p> <p>工程研究中心主任：</p> <p>年 月 日</p>
<p>依托单位审核意见：</p> <p>情况属实，同意上报。</p> <p>依托单位：</p> <p>（单位公章）</p> <p>年 月 日</p>

八、年度运行情况统计表

研究方向	研究方向1	反渗透膜材料及应用		学术带头人		张林
	研究方向2	纳滤膜材料及应用		学术带头人		徐志康
	研究方向3	超滤膜材料及应用		学术带头人		朱宝库
	研究方向4	专用功能膜材料及应用		学术带头人		王正宝
工程中心面积	5500.0 m ²			当年新增面积		2500.0 m ²
固定人员	51 人			流动人员		21 人
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	0项	
	省、部级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	0项	
当年项目到账总经费	647.0万元	纵向经费	179.0万元	横向经费	468.0万元	
当年知识产权与成果转化	专利等知识产权持有情况	有效专利	100项	其他知识产权	0项	
	参与标准与规范制定情况	国际/国家标准	1项	行业/地方标准	0项	
	以转让方式转化科技成果	合同项数	0项	其中专利转让	0项	
		合同金额	0.0万元	其中专利转让	0万元	
		当年到账金额	0.0万元	其中专利转让	0.0万元	
	以许可方式转化科技成果	合同项数	0项	其中专利许可	0项	
		合同金额	0.0万元	其中专利许可	0.0万元	
		当年到账金额	0.0万元	其中专利许可	0.0万元	

	以作价投资方式 转化科技成果			合同项数	0项	其中专利作价	0项
				作价金额	0.0万元	其中专利作价	0.0万元
	产学研合作情况			技术开发、咨询、服务项目合同数	8项	技术开发、咨询、服务项目合同金额	1000.0万元
当年服务情况		技术咨询		20次		培训服务	15人次
学科发展与人才培养	依托学科 (据实增删)	学科1	功能高分子材料	学科2	环境保护工程	学科3	膜分离
	研究生培养	在读博士	28人		在读硕士		35人
		当年毕业博士	2人		当年毕业硕士		6人
	学科建设 (当年情况)	承担本科课程	144学时	承担研究生课程	64学时	大专院校教材	0部
研究队伍建设	科技人才	教授	15人	副教授	8人	讲师	0人
	访问学者	国内		0人	国外	0人	
	博士后	本年度进站博士后		4人	本年度出站博士后		3人