

【项目名称】高性能分离膜分子作用优化设计及其增效机制研究

【提单位】哈尔滨工业大学

【项目简介】该项目属于化学工程中的膜分离领域。

膜分离涉及化工、新材料、环保等行业重大需求，是创新驱动发展战略下的可持续发展共性关键技术。作为膜分离基础的高性能分离膜材料是国家推进节能减排和环境保护的重要保障。本发现立足分子作用调控分离膜物化微结构从而获得面向环保能源应用的高性能分离膜，着力突破传统分离膜材料通量与选择性相互制约的“Trade-off 效应”，并解决分离膜易污染关键问题。开创性地结合材料分子设计与结构设计有效调控分离膜性能并揭示性能提升机制；在高渗透性膜材料、高分离效率膜材料与高耐污染性膜材料构筑研究领域达到国际先进水平，合成的高效分离膜在二氧化碳捕集、水处理、溶剂提纯等领域展现出广阔的应用前景，获得了国内外著名研究学者的广泛关注与高度评价，取得了良好的社会效益。

主要发现如下：

发现点 1：通过气体分离膜分子作用设计同时建立膜材料与 CO₂ 分子间增强偶极-电四极相互作用和高自由体积结构，有效抑制聚环氧乙烷（PEO）膜结晶、大幅度提高 CO₂ 在 PEO 膜中的溶解和扩散，从而突破“Trade-off 效应”、获得兼具高通量和高选择性的 CO₂ 亲和性气体分离膜，其渗透通量达到 2980 Barrer，为非传质促进类气体分离膜国际报道的最高值。

发现点 2：建立分子分离膜纳米孔径选择层增效传质技术，通过水处理纳滤膜选择层结构、孔径、表面电荷协同增效及耐溶剂纳滤膜纳米促进增效传质，实现染料等分子级环境污染物质的高效去除，显著增加水处理纳滤膜分离性能。

发现点 3：提出多孔分离膜表面基于多酚类涂敷的微纳结构构筑新方法，实现多孔膜表面超浸润调控从而赋予多孔膜独特的液体传输性能，解决传统多孔分离膜易污染与分离能力差的瓶颈问题。该超浸润微纳涂层技术环境友好、普适性强和规模化制备容易等优势，在分离膜表面改性领域展现出广阔应用前景。

项目成果在 Energy Environ. Sci.、Chem. Eng. J.、J. Membr. Sci.、J. Mater. Chem. A、Mater. Horizons 研究领域高影响力期刊发表的 5 篇代表作 SCI 他引 404 次，单篇论文最高他引 108 次，代表作全部入选 ESI 高被引论文。中国、英国、美国、新加坡、澳大利亚、韩国等院士和 46 个国家/地区权威学者在 Chem. Rev.、Energy Environ. Sci.、Adv. Mater.、Adv. Funct. Mater.、Chem. Soc. Rev.、Joule（Cell 姊妹刊）、Prog. Mater. Sci.、Chem. Eng. Sci.、AIChE J. 等权威期刊发表的高水平论文大篇幅引用并充分肯定项目研究成果。获国家授权发明专利 6 项，第一完成人担任 Springer-Nature 出版社期刊 Advanced Composites & Hybrid Materials 副主编、Wiley-Hindawi 出版社期刊 Advances in Polymer Technology 副主编，并入选英国皇家化学会会士。

代表性论文（专著）目录（不超过 5 篇）

序号	论文（专著） 名称/刊名/作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 (出 版) 时 间 (年 月日)	通讯作 者 (含 共同)	第一作 者 (含 共同)	国内作 者	他引总 次数	检索数 据库	论文署名单 位是否包含 国外单位
1	Pushing CO ₂ -philic membrane performance to the limit by designing semi-interpenetrating networks for sustainable CO ₂ separations/ Energy & Environmental Science/ Xu Jiang, Songwei Li, Lu Shao	2017; 10: 1339-1344.	2017 年 6 月 1 日	邵路	姜旭	姜旭, 李松伟, 邵路	59	SCI (Web of Science 核心集)	否
2	Positively charged nanofiltration membranes via economically mussel-substance-simulated co-deposition for textile wastewater treatment/ Chemical Engineering Journal/ Yanchao Xu, Zhenxing Wang, Xiquan Cheng, Youchang Xiao, Lu Shao	2016, 303: 555-564.	2016 年 11 月 1 日	邵路	徐艳超	徐艳超, 王振兴, 程喜全, 肖有昌, 邵路	108	SCI (Web of Science 核心集)	否
3	Tuning the performance of polypyrrole-based solvent-resistant composite nanofiltration	2014, 452: 82-89.	2014 年 2 月 15 日	邵路	邵路	邵路, 程喜全, 王振兴, 马军	81	SCI (Web of Science 核心集)	是

	membranes by optimizing polymerization conditions and incorporating graphene oxide/ Journal of Membrane Science /Lu Shao, Xiquan Cheng, Zhenxing Wang, Ju Ma, Zhanhu Guo,								
4	Mussel-inspired tailoring of membrane wettability for harsh water treatment/ Journal of Materials Chemistry A/ Zhenxing Wang, Cherhon Lau, Naiqing Zhang, Yongping Bai, Lu Shao	2015, 3: 2650-2657	2015 年 2 月 14 日	邵路, Cher-Hon Lau	王振兴	王振兴, 张乃庆, 白永平, 邵路	86	SCI (Web of Science 核心集)	是
5	Simply Realizing "Water Diode" Janus Membranes for Multifunctional Smart Applications/ Materials Horizons/ Zhenxing Wang, Xiaobin Yang, Zhongjun Cheng, Yuyan Liu, Lu Shao, Lei Jiang,	2017, 4: 701-708.	2017 年 7 月 1 日	邵路, 成中军	王振兴 杨晓彬	王振兴, 杨晓彬, 成中军, 刘宇艳, 邵路, 江雷	70	SCI (Web of Science 核心集)	否

完成单位: 哈尔滨工业大学

主要完成人情况表

姓 名	邵路	性 别	男	排 名	1	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	教授						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	哈尔滨市西大直街 92 号					邮政编码	150001
工作单位	哈尔滨工业大学					行政职务	无
二级单位	化工与化学学院					党 派	中国共产党
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	黑龙江
						单位性质	高等院校
参加本项目起止时间		自 2012 年 1 月 至 2017 年 07 月					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字）</p> <p>本项目负责人，对重要科学发现一至三均做出创造性贡献。提出并发展了 CO₂、染料、离子及大分子有机物等微纳米污染物分离膜分子结构设计理论，阐明了高效分离膜与目标分离分子作用机制，研究了高效分离膜增效方法，大幅提升了微纳米污染物分离膜分离效率与渗透性能，突破了微纳米污染物分离过程中 trade-off 效应，是代表性论文 1-5 的通讯作者。</p>							
<p>曾获省部级以上科技奖励情况：</p> <p>2010 年获黑龙江省自然科学一等奖，能源和环保用高性能化工新材料的基础研究，排名第 2，证书号：2010-003-02；2013 年获教育部科学技术进步奖二等奖，BOPET 薄膜表面功能化关键技术及应用，排名第 5，证书号：2013-283；2013 年获黑龙江省技术发明一等奖，新型有机硅树脂制备方法及应用，排名第 7，证书号：2013-027-07；2015 年获黑龙江省技术发明一等奖，双向拉伸聚酯薄膜表面改性技术及应用，排名第 7，证书号：2015-014-07</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">2020 年 6 月 10 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。</p> <p>工作单位声明：该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		

主要完成人情况表

姓 名	程喜全	性 别	男	排 名	2	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	讲师						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	威海市高区文化西路 2 号					邮政编码	264209
工作单位	哈尔滨工业大学（威海）					行政职务	无
二级单位	海洋与科学技术学院					党 派	中国共产党
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	黑龙江
						单位性质	高等院校
参加本项目起止时间		自 2012 年 1 月 至 2017 年 07 月					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字）</p> <p>对重要科学发现二至三做出重要贡献。发现纳滤膜选择层分子结构、孔径结构对污染物去除性能影响规律，提出纳米增效聚合物纳滤膜传质机制，是代表性论文 2,3 的重要完成人。</p>							
<p>曾获省部级以上科技奖励情况：</p> <p>无</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">2020 年 6 月 10 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。</p> <p>工作单位声明：该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: right;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		

主要完成人情况表

姓 名	成中军	性 别	男	排 名	3	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	副研究员						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	哈尔滨市西大直街 92 号					邮政编码	150001
工作单位	哈尔滨工业大学					行政职务	无
二级单位	化工与化学学院					党 派	群众
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	黑龙江
						单位性质	高等学校
参加本项目起止时间		自 2016 年 1 月 至 2017 年 07 月					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字）</p> <p>本人对重要科学发现三做出了重要贡献。发现具有超浸润微纳米膜表面对乳液污染物的超快速分离及分离膜污染减缓的作用机制，是代表性论文 5 的共同通讯作者。</p>							
<p>曾获省部级以上科技奖励情况：</p> <p>2017 年获黑龙江省科学技术一等奖，新型柔性高分子材料功能结构构筑技术及应用，排名第 4，证书号 2017-013-04。</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: center;">本人签名：</p> <p style="text-align: center;">2020 年 6 月 10 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。</p> <p>工作单位声明：该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: center;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>			

主要完成人情况表

姓 名	王振兴	性 别	男	排 名	4	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	讲师						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	江西省南昌市红谷滩新区学府大道 999 号					邮政编码	330031
工作单位	南昌大学					行政职务	无
二级单位	化学学院					党 派	中国共产党
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	黑龙江
						单位性质	高等院校
参加本项目起止时间		自 2013 年 3 月 至 2017 年 01 月					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字）</p> <p>本项目骨干成员，对重要科学发现三做出重要贡献。提出开发了基于多酚类物质和硅烷类物质共涂敷改性微孔膜和利用剥离方法制备 Janus 膜的新方法，实现多孔膜表面超浸润调控，并赋予多孔膜独特的液体传输性能，解决传统多孔分离膜易污染与分离能力差的瓶颈问题，是代表性文章 2-5 的重要完成人。</p>							
<p>曾获省部级以上科技奖励情况：</p> <p>无</p>							
<p>声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">2020 年 6 月 10 日</p>					<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。</p> <p>工作单位声明：该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p style="text-align: center;">单位（盖章）</p> <p style="text-align: center;">年 月 日</p>		

主要完成人情况表

姓 名	徐艳超	性 别	男	排 名	5	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	讲师						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	金华市迎宾大道 688 号					邮政编码	321004
工作单位	浙江师范大学					行政职务	无
二级单位	地理与环境科学学院					党 派	群众
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	黑龙江
						单位性质	高等院校
参加本项目起止时间		自 2014 年 3 月 至 2017 年 07 月					
对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字） 发现一种了基于多酚涂覆的纳滤膜表面电荷构筑新方法，提出了电荷调控机制，实现了对染料和无机盐的高效去除。为代表作 2 的第一完成人。							
曾获省部级以上科技奖励情况： 无							
声明： 本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。 该项目是本人本年度被提名的唯一项目。 本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。					完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。 工作单位声明： 该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。		
本人签名：					单位（盖章）		
年 月 日					年 月 日		

主要完成人情况表

姓 名	杨晓彬	性别	男	排 名	6	国 籍	中国
出生年月							
身份证号							
技术职称	无 （博士生）						
毕业学校							
电子邮箱							
通讯地址	黑龙江省哈尔滨市西大直街 92 号					邮政编码	150001
工作单位	哈尔滨工业大学					行政职务	
二级单位	化工与化学学院					党 派	中共党员
完成单位	哈尔滨工业大学					所 在 地	哈尔滨
						单位性质	
参加本项目起止时间		自 2015 年 09 月 至 2017 年 07 月					
对本项目重要科学发现的贡献：（限 300 字）本项目成员，对重要科学发现三做出重要贡献，提出仿生涂覆-剥离方法构筑 Janus 分离膜，发现了水/油滴单向传输机制，是代表性论文 5 的共同第一作者。							
曾获省部级以上科技奖励情况：无							
<p>声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）奖励办法》及有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>				<p>完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规、违背科学伦理道德及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。</p> <p>工作单位声明：该完成人热爱祖国、遵纪守法、诚实守信、学风严谨，本单位对该完成人被提名无异议。</p> <p>单位（盖章）</p> <p>年 月 日</p>			