

分会场十二：分离纯化材料分会

低能耗压力驱动膜的设计与可控制备

林亚凯^{*1}、唐元晖²、吴欢欢³、田野¹、余立新¹、王晓琳¹

1. 清华大学化学工程系化学工程与低碳技术全国重点实验室，北京100084

2. 中国矿业大学（北京）化学与环境工程学院，北京100083

3. 北京交通大学环境学院北京市典型水污染物控制与水质保障北京市重点实验室，北京，100044

本文聚焦低能耗压力驱动膜的设计与可控制备，针对水处理及资源回收领域的关键需求，开展新型膜材料开发与应用研究。首先，采用热致相分离（TIPS）法制备高强度、大通量、高抗污染的聚偏氟乙烯（PVDF）中空纤维超滤膜，重点解决热致液-液相分离（L-LTIPS）稀释剂体系筛选机制的关键科学问题以及连续稳定可控制备的关键技术问题，所制备的PVDF中空纤维超滤膜在水处理应用中表现出高效除浊和除菌性能。进一步，针对饮用水中抗生素污染和盐湖锂资源回收难题，本文采用界面聚合法设计并制备了荷负电和荷正电纳滤膜。其中荷负电纳滤膜表现出较高的四环素的截留率（>99%）和Ca²⁺/四环素选择性（46.22），可应用于去除饮用水中的抗生素等有害物质，而保留适量的矿物质，而荷正电纳滤膜则表现出较高的纯水通量（12.47L/(m²·h·bar)）和锂镁分离因子（69.46），且两种纳滤膜均展现出优异的抗污染性能和长期稳定性。本研究为低能耗压力驱动膜的规模化制备提供了理论依据和技术支撑，对推动水资源高效利用和环境保护具有重要意义。

关键词 压力驱动；超滤膜；纳滤膜；热致相分离；界面聚合

基于组装和打印二维纳米材料的薄层复合分离膜

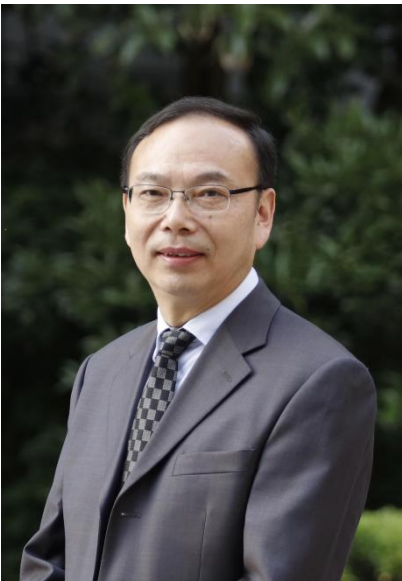
徐志康*

浙江大学

近二十年来，石墨烯、MoS₂、MXene等二维纳米片被持续尝试用于构筑薄层复合膜的选择性分离层，以探索纳米材料在分离纯化领域应用的可能性。此类二维纳米片可被用作添加剂来改善传统聚酰胺分离层的热稳定性和抗菌性等，也可直接利用二维纳米片堆叠时的层间距来作为选择性分离的通道。以石墨烯为例，可通过真空抽滤、p-p作用自组装、阳离子-p作用自组装等来构筑石墨烯选择性分离层，并基于相互作用的强弱来调节石墨烯片和石墨烯片之间的层间距(图1)，从而在一定层度上调控薄层复合膜的渗透选择性。本报告旨在系统回顾近十年来的相关工作，探讨真空抽滤、自组装等方法的优缺点，重点介绍基于组装和打印石墨烯的薄层复合分离膜的宏量制备与应用前景。

关键词 二维纳米片，薄层复合膜，自组装，选择性分离层，宏量制备

报告人简介：



徐志康，理学博士，浙江大学求是特聘教授。1981年9月至1991年5月就读于浙江大学化学系高分子化学和物理专业，1991年8月留校任教至今。2006年起相继获国家自然科学基金委杰出青年基金、全国优秀科技工作者、国务院特殊津贴等荣誉，并获国家科技进步二等奖、浙江省自然科学一等奖、教育部自然科学二等奖等5项成果奖励。迄今发表SCI收录学术论文450余篇，他引21000余次，个人H因子82，连续8年入选Elsevier中国高被引学者，全球10名顶尖科学家名列第4139位。应邀出版《高分子膜材料》和《Surface Engineering of Polymer Membranes》，英文专著获邀赠送给美国国会图书馆；应邀为中国材料研究学会组织的“中国战略性新兴产业-新材料”编著《高性能分离膜材料》。获授权发明专利80余项，3种分离膜材料实现产业化。

纳米多孔石墨烯薄膜的高效制备

侯丹丹*、庞世华、吴宁然、张东旭、王姗姗、王路达

北京石墨烯研究院

膜分离技术因其节能、易操作等优点而受到工业界和学术界的广泛关注。在诸多应用前景广阔的膜材料中，晶圆级单晶石墨烯薄膜因其超平整的表面、优异的机械性能和化学稳定性，成为自上而下制备纳米多孔石墨烯分离膜的理想材料。尽管表现出多种潜在优良性能，但铜的刻蚀速率缓慢致使晶圆级石墨烯膜的转移效率低，对其大规模应用提出了挑战。在本研究中，我们提出了一种利用晶圆级石墨烯快速制备纳米多孔原子厚度薄膜（NATMs）的新方法。我们利用氩等离子体处理石墨烯晶圆，继而采用非溶剂诱导相转化法制备PVDF多孔支撑层，通过在刻蚀铜之前用乙醇润湿PVDF，促进了铜刻蚀过程中刻蚀剂的快速扩散，提高了铜刻蚀与石墨烯转移效率。与传统转移方法相比，我们的方法将铜的刻蚀速率提高了115倍，同时保持了NATMs的优良选择性。这种新的方法在克服石墨烯高效转移挑战的同时，不牺牲石墨烯的分离选择性能，从而促进了石墨烯薄膜在分离纯化领域的产业化应用。

关键词 纳米多孔原子薄膜（NATMs）；CVD石墨烯；晶圆级石墨烯

聚电解质离子分离膜

赵强*

华中科技大学

盐湖提锂是保障我国锂供应链安全的重大需求，高性能镁锂分离膜是关键材料，需要同时兼具可控电荷与孔径。强电解质具有正电性质稳等制备提锂膜的特性，但是其低的扩散系数导致界面聚合成膜难。本文设计强电解质单体，通过简易的表面改性策略调节分离层的自由体积微结构与强亲水性，制备高性能镁锂分离纳滤膜。设计了N,N-二胺乙基哌嗪溴盐, 1,3-二胺乙基咪唑溴盐，四羟甲基氯化磷等四种含有多氨基/羟基的单体制备表面改性纳滤膜。采用扫描电镜、正电子湮灭寿命谱等方法表征了改性膜的化学组成与微结构，研究了其镁锂分离纳滤性能。强电解质单体表面改性可提高膜分离层自由体积，实现传质强化，改性膜的水通量提高4-6倍，对一/二价离子（ Mg^{2+} , Li^{+} ）的选择性达到50，还表现出优异的抗菌性能，实现了镁锂分离膜放大与卷式组件制备。本文设计的强电解质单体结构简单、易于合成、界面聚合活性高，为制备镁锂分离纳滤膜提供了新的思路。

关键词 聚电解质；界面聚合；纳滤膜；离子分离

报告人简介：



赵强，华中科技大学化学与化工学院教授，博士生导师，国家级青年人才，研究方向为功能高分子和分离吸附材料。针对我国盐湖提锂和生物医药领域中的分子、离子混合物分离展开研究，在Nat. Mater. 等期刊上发表论文100余篇，授权专利12项。承担国家重点研发计划课题，国家自然科学基金项目，湖北省重点研发计划等。担任中国化工学会智能制造专委会委员。

用于电化学提锂的高容量和高稳定性的三维碳纳米管海绵负载 LiMn₂O₄复合材料

蒋之凡¹、孔晓冰²、叶子明²、王琪²、陈坤²、李梦²、孙建坤³、曹安源^{*1,2}

1. 北京大学，前沿交叉学科研究院，中国北京，100871

2. 北京大学，材料科学与工程学院，中国北京，100871

3. 青岛大学，化学化工学院，山东省氢能关键材料与技术协同创新中心，中国青岛，266071

LiMn₂O₄ (LMO) 作为一种绿色且成本效益高的电化学活性材料，已被广泛研究用于从卤水中提取锂。尽管该材料具有应用潜力，但它仍面临低导电性和稳定性等问题，这将导致该材料在实际使用中能耗高且性能衰减迅速，限制了其使用。在本研究中，通过原位电化学阳极氧化生长和水热锂化方法合成了自支撑碳纳米管海绵负载的锰酸锂 (LMO@CS) 复合材料。三维、导电且亲水的碳管海绵基底能够有效分散锰酸锂纳米颗粒并将其连接，使得复合材料具有更低的电荷转移电阻并缩短了反应中锂离子的扩散路径，使其获得了更高的分离能力和结构稳定性。当该材料被作为锂提取电极时，优化锰酸锂质量比的LMO@CS复合材料展现出高达4.12 mmol g⁻¹的锂容量，并且在100个循环后仍能保持87.8%的原始容量。在合成卤水中使用LMO@CS//Ag系统后，经过10个循环，Li⁺/Na⁺、Li⁺/K⁺和Li⁺/Mg²⁺的分离因子可分别达到259、73和76。此外，碳管海绵可通过环境友好的后处理过程回收并重复使用，以便在LMO@CS电极长期循环、性能下降后有效延长其使用寿命。本研究强调了3D、无粘结剂的LMO@CS复合材料在尽可能利用锰酸锂性能方面的有效性，并期望为开发新型高性能电化学锂提取电极提供了一条有前景的途径。

关键词 LiMn₂O₄；选择性提锂；碳纳米管海绵；亲水性；再生

用于燃料电池无醚支化聚芳烃质子交换膜制备及性能研究

沈江南*、李业洋

浙江工业大学

随着工业化、人口增长和技术发展使人类对能源的需求日益增加。多年来用来满足人类能源需求的化石燃料储量正在逐渐减少，能源短缺与化石燃料使用带来的环境污染问题日益加重。因此，全世界的研究都集中在使用可再生能源和提高能源效率上。在替代能源中，燃料电池，特别是质子交换膜燃料电池(PEMFCs)，由于其高效、零排放、燃料灵活性和模块化等优点，近年来已成为内燃机的替代能源。然而，PEMFCs对其核心组件质子交换膜(PEMs)的离子传导能力和稳定性提出了苛刻的要求。尤其是使用寿命问题，如不可逆的材料磨损和长期运行条件下的结构形态变化，限制了PEMFCs的商业化应用推广。因此迫切需要制备在恶劣的燃料电池工作条件下拥有出色的质子传导能力、尺寸稳定性、机械性能和化学稳定性的PEMs。针对上述PEMs在实现PEMFCs多领域商业化推广应用中的性能需要，本人团队从聚合物材料分子结构设计角度出发，合成了一系列无醚键支化结构的聚芳烃类高性能聚合物材料，并通过化学功能化改性接枝或纳米质子导体材料物理掺杂等方法制备了多种新型PEMs，旨在获得拥有优异燃料电池性能同时具有良好稳定性的高性能PEMs，为制备满足PEMFCs商业化应用需求的PEMs提高新的有益见解。

关键词 无醚键；支化结构；聚芳烃类主链；质子交换膜；燃料电池

COF均孔树脂产业化进展及分离纯化应用

毛天晖¹、张振杰^{*2}

1. 耀科新材料（苏州）有限公司

2. 南开大学

共价有机框架树脂（均孔COF树脂）与传统吸附分离材料相比，主要拥有孔径大小均一、孔径大小可设计、孔道功能可定制、比表面积大等优势；因此，在分离纯化领域COF树脂具有更优异的选择性、更高的吸附容量和吸附速率、更高的热稳定性和化学稳定性；在有机酸/无机酸、酚类、废盐的资源化、气体净化、电池材料等领域均有广泛应用。报告围绕耀科在均孔COF树脂产业化的实践经验，介绍新一代的分离纯化技术，为化工、环保、生物医药、新能源等领域提供了新思路。

关键词 共价有机框架材料；均孔树脂；分离纯化；

仿人工肺MABR膜的低碳治污减排与负碳捕集高值资源化关键技术示范

黄小军*

浙江大学

面对全球气候变化挑战与“双碳”目标需求，仿人工肺透气中空纤维膜MABR技术凭借其低碳与负碳潜力，为生态治理降碳及碳捕集资源化提供了突破性解决方案。在污水治理领域，MABR技术通过独特的氧传递机制和高效生物膜结构，显著提升污水处理与河湖修复效能：其曝气能耗较传统活性污泥工艺降低70%以上；同时依托优异的污染物去除效率和高生物量持留能力，最终实现整体降碳幅度超30%，成为市政污水、工业废水及污染水体节能降碳的优选技术。在负碳资源化领域，基于MABR原理构建的创新装置——“光树”CO₂捕集资源化催化反应器，通过附着于膜表面的功能微生物（如自养菌、微藻）高效捕集大气或烟气中的CO₂，并利用优化的生物催化过程将捕获的碳源直接转化为高附加值生物质蛋白等生物质产品，开创了“捕碳为粮”的负碳资源化新模式。该技术不仅实现了永久碳封存（负碳效应），更打通了CO₂向高值资源转化的路径，推动碳从环境负担转变为生产资料。综上，MABR技术通过生态治理端30%以上的降碳效能与负碳端CO₂到生物蛋白的高效转化，形成了“智能降碳-负碳增值”的双轮驱动体系，其集成化的高效节能、紧凑运维及资源产出优势，为构建碳中和循环经济提供了兼具环境效益与经济价值的创新支撑，对实现国家双碳战略具有重大应用前景与战略意义。

关键词 仿人工肺MABR膜；低碳负碳；污水治理；光树

