

## 中国科学院大连化学物理研究所应聘人员登记表

申报岗位		催化基础国家重点实验 室副主任		岗位类别	管理( )	科研(√)																																																												
姓 名	李砚硕	出生日期	1978. 7. 18	民 族	回族																																																													
性 别	男	政治面貌	群众	户口所在地	大连																																																													
毕业学校及专业		中科院大连化物所		学历/学位	博士																																																													
工作单位及职务		中科院大连化学物理研究所 研究员																																																																
是否有亲属在所内 工作或学习，如有 请说明		无																																																																
联 系 方 式		电 话：0411-84379137 传 真：0411-84694447 电子邮箱：leeys@dicp.ac.cn																																																																
<p><b>学习及工作经历</b></p> <p>(从高中填起，内容包括时间、单位、学位、所学专业，担任行政职务、专业技术职务情况，时间段要连续，准确到月份，在职学习请注明)</p>																																																																		
<p><b>学习经历</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">高中</td> <td style="width: 15%;">1993/09</td> <td style="width: 5%;">-</td> <td style="width: 15%;">1996/07</td> <td style="width: 10%;">中国</td> <td style="width: 45%;">郑州铁路第一中学</td> </tr> <tr> <td>学士</td> <td>1996/07</td> <td>-</td> <td>2000/07</td> <td>中国</td> <td>南京大学</td> </tr> <tr> <td>博士</td> <td>2000/08</td> <td>-</td> <td>2006/06</td> <td>中国</td> <td>中科院大连化物所</td> </tr> </table> <p><b>工作经历</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">博士生导师</td> <td style="width: 10%;">2012/9</td> <td style="width: 5%;">-</td> <td style="width: 10%;">今</td> <td style="width: 10%;">中国</td> <td style="width: 50%;">中科院大连化物所</td> </tr> <tr> <td>研究员</td> <td>2011/10</td> <td>-</td> <td>今</td> <td>中国</td> <td>中科院大连化物所</td> </tr> <tr> <td>副组长</td> <td>2010/10</td> <td>-</td> <td>今</td> <td>中国</td> <td>中科院大连化物所</td> </tr> <tr> <td>洪堡访问学者</td> <td>2013/08</td> <td>-</td> <td>2013/10</td> <td>德国</td> <td>汉诺威大学</td> </tr> <tr> <td>副研究员</td> <td>2007/09</td> <td>-</td> <td>2011/09</td> <td>中国</td> <td>中科院大连化物所</td> </tr> <tr> <td>洪堡博士后</td> <td>2008/12</td> <td>-</td> <td>2009/12</td> <td>德国</td> <td>汉诺威大学</td> </tr> <tr> <td>助理研究员</td> <td>2006/07</td> <td>-</td> <td>2007/09</td> <td>中国</td> <td>中科院大连化物所</td> </tr> </table>							高中	1993/09	-	1996/07	中国	郑州铁路第一中学	学士	1996/07	-	2000/07	中国	南京大学	博士	2000/08	-	2006/06	中国	中科院大连化物所	博士生导师	2012/9	-	今	中国	中科院大连化物所	研究员	2011/10	-	今	中国	中科院大连化物所	副组长	2010/10	-	今	中国	中科院大连化物所	洪堡访问学者	2013/08	-	2013/10	德国	汉诺威大学	副研究员	2007/09	-	2011/09	中国	中科院大连化物所	洪堡博士后	2008/12	-	2009/12	德国	汉诺威大学	助理研究员	2006/07	-	2007/09	中国	中科院大连化物所
高中	1993/09	-	1996/07	中国	郑州铁路第一中学																																																													
学士	1996/07	-	2000/07	中国	南京大学																																																													
博士	2000/08	-	2006/06	中国	中科院大连化物所																																																													
博士生导师	2012/9	-	今	中国	中科院大连化物所																																																													
研究员	2011/10	-	今	中国	中科院大连化物所																																																													
副组长	2010/10	-	今	中国	中科院大连化物所																																																													
洪堡访问学者	2013/08	-	2013/10	德国	汉诺威大学																																																													
副研究员	2007/09	-	2011/09	中国	中科院大连化物所																																																													
洪堡博士后	2008/12	-	2009/12	德国	汉诺威大学																																																													
助理研究员	2006/07	-	2007/09	中国	中科院大连化物所																																																													

## 主要经验及业绩

(可根据个人情况分项填写)

分离能耗占到整个化工用能的~40%。利用新型分子筛膜分离技术对传统的高能耗分离过程进行强化对于解决当今的能源短缺问题和改善日益严峻的环境压力具有重要的实际意义。申请人在应用导向的分子筛膜设计合成及其分离应用领域开展了长期深入的研究。围绕新型分子筛材料(特别是金属有机骨架材料)的薄膜化制备、分子筛膜的择优取向调控以及混合基质分子筛膜的结构-组成设计等展开;针对可持续性、环境友好、安全性的新能源体系的应用需求,系统研究分子筛膜用于生物质平台化合物的分离、二氧化碳捕获以及醇水分离的工业应用等。

近年来,申请人在 *Science*; *Angew. Chem. Int. Ed.*; *J. Am. Chem. Soc.*; *Adv. Mater.*; *J. Membr. Sci.*; *Chem. Eng. Sci.*等期刊发表 SCI 论文 54 篇, SCI 引用 2158 次,篇均引用 46 次, H 因子 20; 相关研究成果得到了 *Nature Chem.*; *Chem. Rev.*; *Chem. Soc. Rev.*; *Angew. Chem. Int. Ed.*; *JACS*; *Chem. Eng. Sci.*等杂志的大篇幅引用和高度评价。撰写分子筛膜英文章节 1 章《Zeolite Membranes》,中文章节 1 章《煤基乙醇分子筛膜脱水技术》,参与英文膜百科全书《Encyclopedia of Membranes》的词条编写。申请中国专利 23 项, PCT 国际专利 2 项,已获得专利授权 9 项;其中 4 项专利进行了转移转化,设立大连海斯特科技有限公司;该公司和大连化物所正在牵头制定分子筛膜的相关行业标准。

申请人近年来获得国家自然科学奖二等奖(第二完成人)(2015),辽宁省百千万人才计划(千人层次)(2015), *J. Membr. Sci.*杂志杰出审稿人奖(2015),大连化物所“特殊贡献奖”(团体)(2015),大连化物所“科技创新奖”(2014),“林励吾优秀青年奖”(2013),中科院沈阳分院“优秀青年科技人才奖”(2012),大连化物所“青年优秀奖”(2011),大连市“青年岗位能手”(2011)和“洪堡学者”(2010)等。

5 篇代表性论文:

- [1] Y.J. Ban, Z.J. Li, **Y.S. Li\***, Y. Peng, H. Jin, W.M. Jiao, A. Guo, P. Wang, Q.Y. Yang\*, C.L. Zhong, W.S. Yang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015, 54: 15483-15487.
- [2] Y. Peng, **Y.S. Li\***, Y.J. Ban, H. Jin, W.M. Jiao, X.L. Liu, W.S. Yang\*, *Science*, 2014, 346: 1356-1359.
- [3] X.L. Liu, **Y.S. Li\***, G.Q. Zhu, Y.J. Ban, L.Y. Xu, W.S. Yang\*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2011, 50: 10636-10639.
- [4] **Y.S. Li\***, F.Y. Liang, H. Bux, A. Feldhoff, W.S. Yang, J. Caro\*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2010, 49: 548-551.
- [5] **Y.S. Li\***, H. Bux, A. Feldhoff\*, G.L. Li, W.S. Yang, J. Caro, *Adv. Mater.*, 2010, 22: 3322-3327.

(本表可扩充)

主要创新点及其科学意义阐述如下：

### (一) 新型分子筛材料的薄膜化制备

率先在国际上开展新型金属有机骨架材料 (MOFs) 的薄膜化制备研究；提出了从三维 MOFs 分子筛膜到二维 MOFs 纳米片分子筛膜的新概念；发展了多晶 MOFs 分子筛膜的合成方法；实现了层状 MOFs 材料的开层和二维 MOFs 分子筛膜的组装；研究成果发表在 Science、Angew. Chem. Int. Ed. 等期刊，得到国际同行的大量引用，带动了 MOFs 功能薄膜的继发性研究热潮。

**研究背景：**氢气和二氧化碳的分离是清洁能源和二氧化碳捕获中的关键步骤，利用选择性膜材料，实现二者分子水平的分离，是工业界长期以来的梦想。对于常规高聚物膜材料，存在渗透通量和分离选择性之间此消彼长的关系。因此，发展新型膜材料以同时提高分离膜的渗透通量和分离选择性是学术界的重要挑战。

沸石咪唑酯骨架 (Zeolitic Imidazolate Frameworks, ZIFs) 具有和传统沸石分子筛相似的拓扑结构，同时具有较常规 MOFs 材料更高的水热稳定性，因此申请人选取该类材料为研究对象开展 MOFs 多晶分子筛膜的研究。针对晶种层和支撑体的相容性难题，创造性地在 ZIFs 晶种制备过程中引入具有配位功能的高分子 (如聚乙烯亚胺)，通过微波二次生长，合成得到 ZIF-7 分子筛膜 [Angew. Chem. Int. Ed. 49 (2010) 548, VIP, inside cover]，该膜具有优异的  $H_2/CO_2$  分离性能 [J. Membr. Sci. 354 (2010) 48]，突破了文献报道的上限 (如图 1.1 所示)。

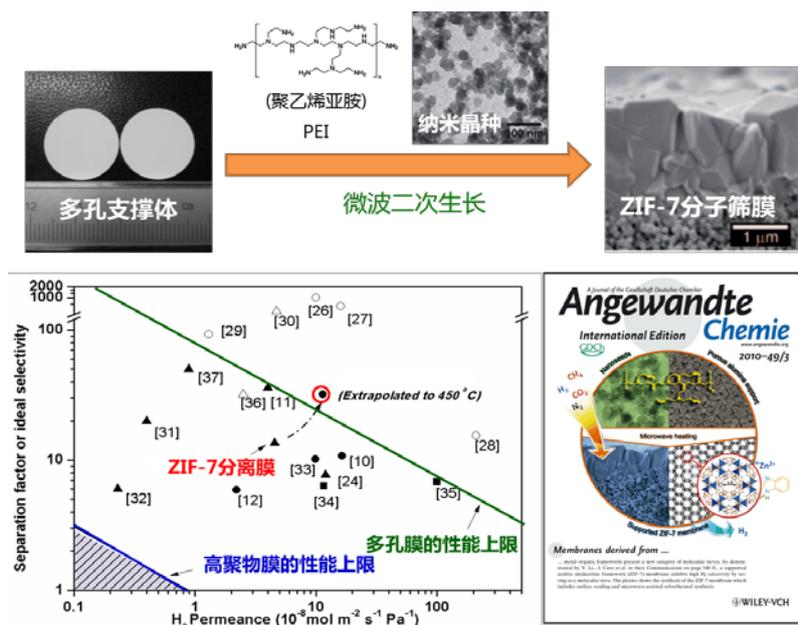


图 1.1 MOFs 多晶分子筛膜

以上成果得到了国际同行的广泛关注和大量引用。微波合成 ZIF-7 分子筛膜的工作被 Angew. Chem. Int. Ed. 当期的 Highlight 栏目予以亮点报道，迄今 SCI 他引 216 次，入选 Wiley 化学类期刊 (2009-2012 年) 中国学者优秀论文 (见附件 6)。ZIF-7 分子筛膜气体分离特性的工作发表在 J. Membr. Sci. 上，连续两季度成为 Top 25 文章，是该杂志 2010 年以来发表论文中引用排名第 9 的文章 (SCI 他引 163 次)。

上述工作发表后被许多的综述性文章大段引用和正面评价，如：德国卡斯鲁尔理工学院的 C. Wöll 教授评价 ZIF-7 膜具有多项优势 (...MOF membranes made from ZIF-7 exhibit several advantages, ...) [Chem. Soc. Rev. 40 (2011) 1081]；美国德克萨斯农工大学的 H.C. Dai

教授评价 ZIF-7 膜有望在实际氢气分离领域取得应用 (...very promising in practical H<sub>2</sub> purification...) [Chem. Rev. 112 (2012) 869]; 美国加州大学伯克利分校的 J. R. Long 教授评价 ZIF-7 膜代表迄今最薄的 MOF 膜之一 (...representing one of the thinnest metal-organic framework based membranes reported to date) [Chem. Rev. 112 (2012) 724]。上述研究带动了 MOFs 分离膜和功能薄膜的继发性研究热潮。

设计与利用分子筛纳米片是膜材料领域科学家们长久以来追求的目标,但至今尚未找到可控合成薄层分子筛晶体的有效方法。如何获得大面积且高结晶度的分子筛纳米片,是纳米片分子筛膜概念得以实现的关键。申请人以二维层状 MOFs 材料[Zn<sub>2</sub>(benzimidazole)<sub>4</sub>, Zn<sub>2</sub>(bim)<sub>4</sub>]为前躯体,通过超低功率湿法球磨与超声分散技术,开层获得了单分子层厚度的 MOFs 纳米片。在此基础上,通过热组装方法得到厚度小于 5 纳米的超薄分子筛膜,获得了远高于迄今报道分离膜的 H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分离性能,有望在 CO<sub>2</sub> 燃烧前捕获中发挥实际作用(见图 1.2)。该工作首次展示了二维层状 MOFs 材料在超薄分子筛膜领域的重要应用。

以上研究成果发表在 Science. 346 (2014) 1356,被《化学工程新闻》(C&EN, 15 Dec. 2014)做了题为“Gentle Exfoliation Yields MOF Membranes”的报道。《膜科学》杂志副主编,美国著名无机膜科学家 Y. Lin 教授评价该项研究成果是膜科学领域的一个重要进展(A major advance in membrane science);德国著名分子筛膜和膜催化科学家 J. Caro 教授评价该研究是分子筛膜领域的一个开创性工作(A ground-breaking work);日本膜协会主席,著名微孔膜科学 T. Tsuru 教授评价该项研究发展了新一代(A new generation)分子筛膜。《Nature Chemistry》发表了题为“Hydrogen purification: MOF membranes put to the test”的专题评述(Nat. Chem., 2015, 7, 377),评价该研究最激动人心的方面是将膜材料基础研究优雅地推广到了真实工况的测试“The most existing aspect of this research is the elegant extension from fundamental materials membranes studies to real-work application testing”;认为该研究成功地将金属有机骨架分离膜推向了工业应用领域“Li, Yang and co-workers have succeeded in bringing MOF membranes into the realm of industrial applications”。

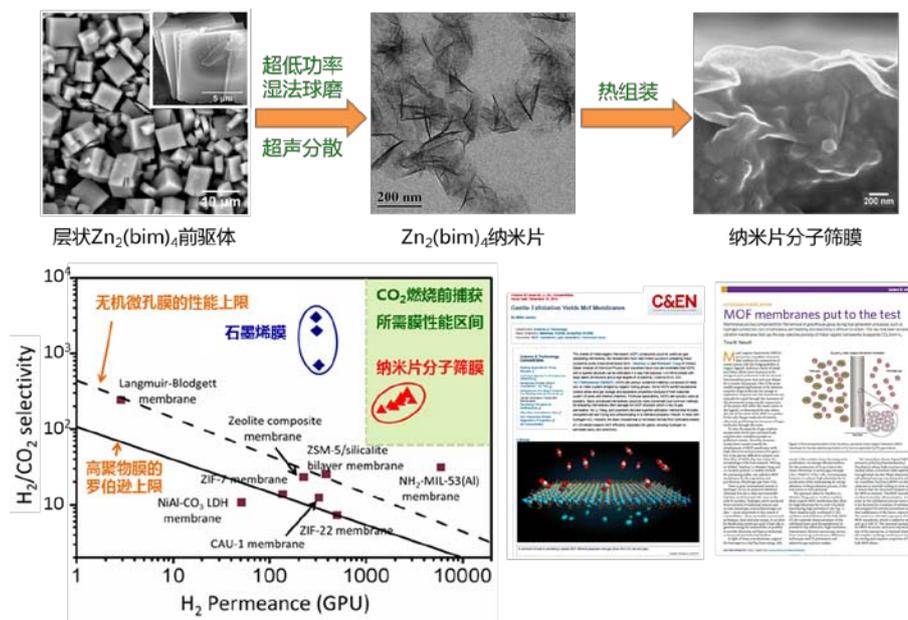


图 1.2 MOFs 纳米片分子筛膜

## (二) 分子筛混合基质膜的设计合成

将MOFs材料应用于混合基质膜的设计合成，解决了无机组份和有机组份之间的相容性问题。基于疏水性ZIF-8构建了高性能渗透汽化膜，在生物燃料和化学品的高效富集方面取得了重要成果；首次提出“笼占据”概念调变MOFs材料的有效孔径，构建出高性能CO<sub>2</sub>捕获混合基质膜。论文发表在*Angew. Chem. Int. Ed.*、*J. Membr. Sci.*等期刊；国际同行评价该研究首次将MOFs材料应用到渗透汽化膜领域，取得了令人印象深刻的分离性能（impressive performance），具有光明前景（bright future）。

**研究背景：**一般来讲，无机分子筛膜材料具有较传统有机高聚物膜材料更高的分离性能。但无机膜材料的加工性能，制备重复性，以及生产成本等方面仍需进一步优化。混合基质膜通过将无机填充相和高聚物基质相复合，结合了二者的优势，有望以较低的成本显著提高现有高聚物膜的分离性能。但是，作为一类有机-无机复合材料，无机组分和有机组分间的相容性问题却凸显出来。近年来取得蓬勃发展的有机无机杂化 MOFs 材料有望解决上述问题。

申请人实验观测和理论模拟到异丁醇分子在 ZIF-8 纳米粒子上吸附过程中的“开孔”效应。基于该效应以及 ZIF-8 纳米粒子和硅橡胶材料良好的相容性，制备出可以优先透过醇类大分子而阻止尺寸更小的水分子的高性能 ZIF-8 混合基质膜。该膜可高效地从低浓度发酵液中富集异丁醇（第二代生物燃料），分离性能超出了文献报道的丁醇富集膜的上限，展现出良好的应用前景 [*Angew. Chem. Int. Ed.* 50 (2011) 10636, Back cover]（如图 1.3 所示）。此外，利用多级孔不锈钢网作为载体，利用其空间限制作用，得到高稳定性 ZIF-8-PMPS 混合基质膜，用于从生物精炼液中富集糠醛[J. Membr. Sci. 428 (2013) 498]，并在此基础上构建了膜反应器用于木糖制糠醛的反应过程强化[*Chem. Eng. J.* DOI: 10.1016/j.cej.2015.10.115]。

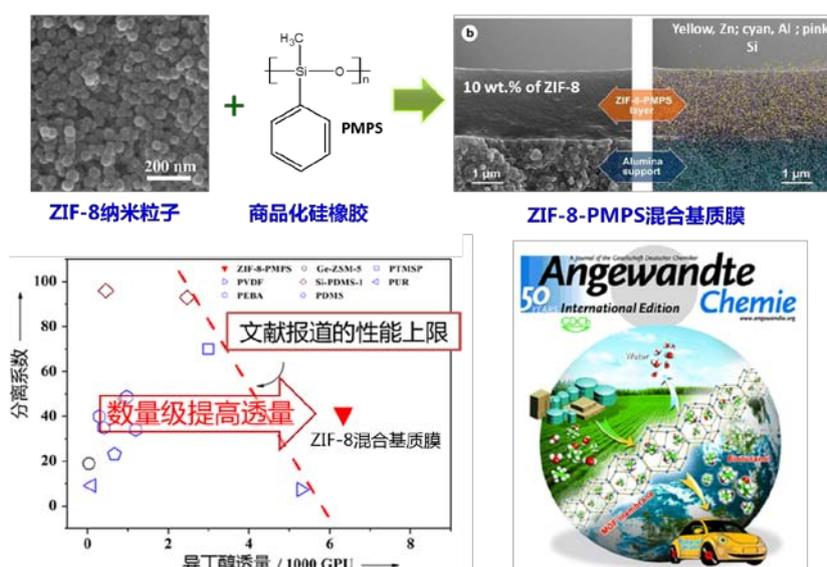


图 1.3 基于 MOFs 材料的混合基质渗透汽化膜

ZIF-8 混合基质膜的工作以 Back Cover 形式发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 上 (SCI 他引 97 次)，并与英国石油公司共同申请了 PCT 国际专利 (PCT/CN 2011/000896)，有望在燃料丁醇生产中取得应用。该成果被 *Chemistry & Industry* (Jan. 2012, 54) 进行了亮点报道，并得到了国际同行的高度评价：如英国帝国理工的 A. Livingston 教授（皇家工程学会院士），英国南安普顿大学的 D. Bradshaw 教授，荷兰代尔夫特大学的 F. Kapteijn 教授等评价此项工作首次（first）将 MOFs 材料应用到了渗透汽化膜分离领域 [*J. Am. Chem. Soc.* 135 (2013) 15201]，取得了令人印象深刻的分离性能（impressive performance） [*Chem. Soc. Rev.* 41 (2012) 2344]，具有光明前景（bright future） [*Micropor. Mesopor. Mater.* 166 (2013) 67]；德国亚深工大的 M.

Wessling 教授 (J. Membr. Sci. 副主编) 对我们的工作进行了大段引述, 认为对于生物炼制, 采用膜分离技术对发酵抑制剂同时也是有用化学品的富集具有重要意义[J. Membr. Sci. 444 (2013) 285]。

如何实现对 MOFs 材料孔道的精细调变, 特别是孔径的有效调节, 是 MOFs 材料在气体分子筛分领域取得突破的关键。申请人于近期提出 “笼占据” 概念来调变 MOFs 材料的有效孔径, 即将空间位阻显著的离子液体 (IL) 限域负载到 ZIF-8 笼中 (IL@ZIF-8), 使分子截留关口由常规孔窗转变为空间受阻孔笼, 从而实现对 MOFs 材料分子筛分性能的精确调变 (如图 1.4 所示)。并将 IL@ZIF-8 纳米基元与聚合物复合成混合基质膜, 其对  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  混合气体的分离性能显著提高, 突破了聚合物膜的分离性能上限。研究成果以通讯形式发表在 Angew. Chem. Int. Ed. 2015, 54, 15483-15487。该项研究不仅在天然气纯化和  $\text{CO}_2$  燃烧后捕获领域展现出良好的应用前景, 而且有望拓展到其他基于 MOFs 材料的选择性吸附和膜分离研究中。

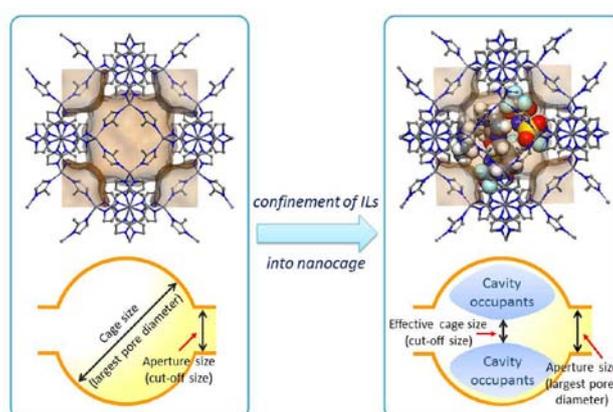


图 1.4 精细调变 MOFs 材料的分子筛分能力

### (三) 分子筛膜的择优取向调控

发展了气-液界面辅助的晶种取向组装方法; 在对晶种层二次生长过程中孪晶生成机制的深刻认知基础上, 通过对二次成核的抑制, 获得了高度取向且无孪生的MFI型分子筛膜; 在国际上率先开展金属有机骨架分子筛膜的取向调控研究, 发展了晶种层竞争生长策略, 实现了MOFs分子筛膜的取向合成; 研究成果发表在JACS、Adv. Mater.等期刊, 得到了国际同行的借鉴和高度评价。

**研究背景:** 分子筛薄膜的微观结构对其宏观性能具有非常显著的影响。对于孔道各向异性的分子筛来讲, 具有择优孔道取向结构的分子筛膜在光学、电化学及气体分离方面的优势更加突出。因此, 分子筛膜取向调控的相关研究是获取高性能分子筛膜的关键, 也是分子筛膜可控合成领域的重要挑战之一。

理想的 MFI 分子筛膜应当是 b-轴取向的, 但通常 MFI 分子筛膜在生长过程中, 容易产生 a-轴孪晶, 从而严重影响其性能。因此, 取向调控和孪晶抑制是能否获取高性能 MFI 分子筛膜的关键。申请人发展了一种气-液界面辅助晶种取向组装技术 [Chem. Commun. 12 (2009) 1520], 得到了高度 b-轴取向 MFI 晶种层。利用示差扫描量热技术, 发现晶种层在二次生长过程中孪晶生成主要是由于二次成核的发生。针对此问题发展了合成液水热预处理 [J. Am. Chem. Soc. 132 (2010) 1768] 和微波直接合成两种方法 [Chem. Commun. 48 (2012) 6782], 有效抑制了二次成核, 得到了高度取向且无孪晶的 MFI 分子筛膜 (如图 1.5 所示)。

上述研究成果为其他类型分子筛薄膜的取向合成研究提供了重要借鉴,申请人在国际上率先开展 MOFs 分子筛膜的取向调控研究:提出了无水体系中 ZIF-7 晶体形貌调控的方法,实现了 ZIF-7 纳米棒和微米棒 的长径比调变。在此基础上,利用竞争生长策略合成得到取向可控的 ZIF-7 分子筛膜[Adv. Mater. 22 (2010) 3322] (如图 1.6 所示)。同样的方法也被推广到 ZIF-8 分子筛膜的取向合成[Chem. Mater. 23 (2011) 2262]。

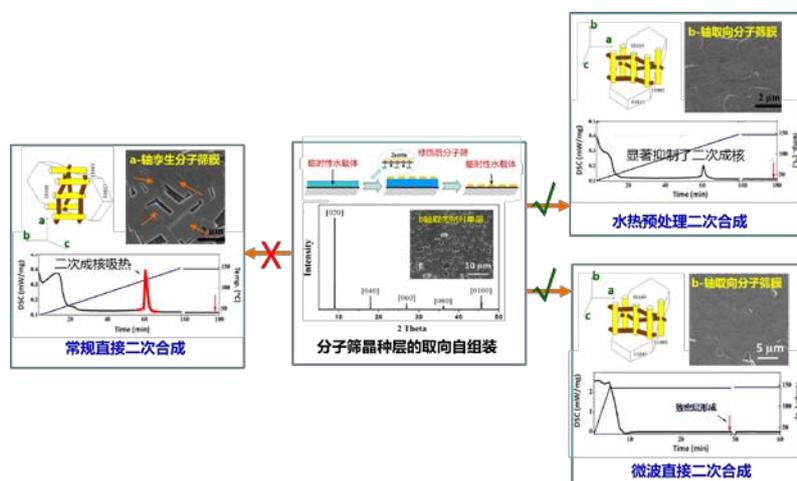


图 1.5 MFI 分子筛膜的择优取向调控

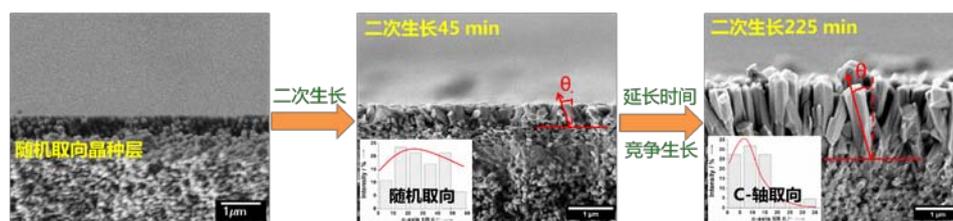


图 1.6 金属有机骨架分子筛膜的择优取向调控

以上研究成果得到了国际同行的高度认可:韩国西江大学纳米材料中心主任 K.B. Yoon 教授引用和重复了上述 MFI 分子筛膜取向调控的实验方法 [Science 334 (2012) 1533]。微波法取向调控的文章受到审稿人的高度评价,被选为 Chem. Commun. 当期的 Back Cover 文章。关于 ZIF-7 和 ZIF-8 分子筛膜的取向合成是 MOFs 分子筛膜取向调控研究领域最早发表的论文之一,迄今均已 SCI 他引上百次。关于 ZIF-7 晶体形貌调控和分离膜取向调控的工作得到许多综述性文章的大段引述和高度评价,如:德国马普固体研究所的 B.V. Lotsch 教授评价申请人的工作漂亮地展示了特定 MOFs 材料表的“形貌变色龙”特性 (...nicely demonstrates that particular MOF systems may act as a “morphological chameleon” ...) [J. Mater. Chem. A 22 (2012) 10119]; 德国波鸿大学的 R.A. Fischer 教授评价 ZIF-7 分子筛膜的取向合成是一项特别有趣的工作 (The study by Li et al. that involved fabrication of oriented ZIF-7 membrane is particularly interestin...) [Chem. Rev. 112 (2012) 1055]。

#### (四) 分子筛膜的工业规模应用

优化形成了包含分子筛膜合成装置、分子筛膜合成方法、分子筛膜组件以及分子筛膜工艺在内的系列自主知识产权;成功实现了分子筛膜的微波放大合成,分子筛膜性能达到国际领先水平;完成了从百吨年级实验室小试到万吨年级工业试验这一从实验室走向工厂的关键跨越,为我国节能减排事业的推进提供了重要技术支撑。

分子筛膜研究具有重大应用背景,取得工业应用并产生显著的节能减排效果是分子筛膜研究和开发的最终出口。除了上述基础研究成果,申请人在沸石分子筛膜的工业应用方面开展了持续多年的工作。依托申请人发明的微波合成分子筛膜技术[CN 200410087563.5, J. Membr. Sci. 316 (2008) 3, TOP 25], 申请人领导相关团队成功实现了 NaA, NaX, NaY 和 T 型分子筛膜的放大合成。经历了从实验室小试(2006), 到工业中试(2009), 再到万吨年级工业示范试验(2012-2015)的研发历程, 见图 1.7; 在此过程中优化形成了关于分子筛膜的合成方法(CN 200410087563.5, CN 200510063800.9, CN 200710010507.5, CN 200810012646.6), 合成装置(CN 200710012935.1), 分子筛膜膜组件(CN 200710012936.6), 膜分离工艺(CN 200810012862.0)在内的系列自主知识产权(见附件 2)。完成了多套分子筛膜渗透汽化脱水成套装备的设计和试制; 完成了 5 万吨/年异丙醇脱水工业试验和 3 万吨/年乙醇脱水工业试验。2.5 万吨/年混合醇脱水已经完成设备安装和调试, 将在今年上下半年开车运行。



图 1.7 沸石分子筛膜的工业规模应用