

文章编号:1000-5862(2019)06-0576-06

AlPO-18 分子筛膜在 N_2/CH_4 体系中的分离性能研究

占天琪, 吴 婷*, 石玉银, 李玉琴, 桂 田, 陈祥树*

(江西师范大学化学化工学院, 先进材料研究院, 分子筛膜材料国家地方联合工程实验室, 江西 南昌 330022)

摘要:采用廉价的 N,N -二异丙基乙胺(DIPEA)为结构导向剂,通过 2 次水热合成法,在大孔管状莫来石支撑体上成功制备出具有 N_2/CH_4 分离性能且重复性良好的 AlPO-18 分子筛膜。对合成的 AlPO-18 分子筛膜进行了不同单气体的渗透性能测试;考察了测试压力及温度对 N_2/CH_4 在 AlPO-18 分子筛膜上的气体渗透行为影响。在 303 K 及 0.1 MPa 压差测试条件下,性能最佳的 AlPO-18 分子筛膜对 N_2 的渗透速率及 N_2/CH_4 的理想选择性分别为 $0.91 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 和 7.9。

关键词:AlPO-18 分子筛膜; DIPEA; N_2/CH_4 分离; 气体渗透行为

中图分类号:TQ 028.8 文献标志码:A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.06.04

0 引言

面对能源短缺及环境污染等问题,在高效利用化石能源如汽油、煤的同时,绿色低碳能源的开发必不可少^[1-2]。天然气(以 CH_4 为主)作为一种高效的清洁能源引起了社会广泛的关注。常规天然气已广泛应用于人们的日常生活中,如烹饪、燃料方面;非常规天然气(煤层气)的开采、加工及利用近年来受到越来越多的重视^[3-4]。煤层气的主要成分为氮气、甲烷,其中甲烷含量达 80% 以上的煤层气才能作为清洁能源,而井下抽采得到的煤层气中甲烷含量在 30% 左右,较高浓度的氮气会降低煤层气的能量密度和使用效率,对管道运输造成困难^[5-7]。因此,甲烷-氮气的分离对于高效利用煤层气能源具有重大意义。相比于低温液化精馏、溶剂吸附等技术,膜分离技术是一种高效节能、操作便捷、对环境友好、具有发展前景的分离技术^[8-9]。目前常见的聚合物膜材料存在耐化学腐蚀性差、不耐高温且渗透性和选择性的 trade-off 限制等。无机分子筛膜具有良好的热、水热稳定性及耐腐蚀性,并且具有大小均一的刚性孔道结构,可实现分子水平的分离^[10-11]。因此,应

用分子筛膜实现氮气-甲烷的高效分离具有潜在的应用前景。

微孔磷酸铝(AlPOs)是由 AlO_4^- 和 PO_4^+ 四面体通过氧原子相连而成的一类具有电中性和无阳离子骨架的结晶材料,这一骨架特性有利于 AlPOs 孔内的质量传输^[12-13]。AlPO-18 分子筛是具有 AEI 构型的磷铝分子筛,在 x 、 y 、 z 轴方向上具有直行相通的八元环孔道结构,孔径大小为 0.380 nm^[14],这与 N_2 (0.364 nm)、 CH_4 (0.380 nm) 的动力学直径相当,通过分子筛分作用可以实现高 N_2/CH_4 分离选择性。M. L. Carreon 等^[15-16]首次采用价格较昂贵的四乙基氢氧化铵(TEAOH)为结构导向剂在多孔管状不锈钢支撑体上制备 AlPO-18 分子筛膜,该分子筛膜表现出强 CO_2/CH_4 分离性能,并进一步在多孔管状 $\alpha-Al_2O_3$ 支撑体上制备 AlPO-18 分子筛膜并将其运用于 N_2/CH_4 的分离体系中,该膜同样表现出 N_2/CH_4 的分离特性,其中 N_2 的渗透速率高达 $10 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ (3 076 GPU), N_2/CH_4 的分离选择性最高达到 4.6。

低成本的膜材料制备技术以及高效分离的气体分离膜材料仍是目前研究的热点。本文采用价格相对低廉的 N,N -二异丙基乙胺(DIPEA)为结构导向

收稿日期:2019-07-20

基金项目:国家国际合作重大专项(2015DFA50190),国家自然科学基金(21968009)和江西省科技厅科技课题(20192ACB80003,20192BBH80024)资助项目。

通信作者:陈祥树(1966-)男,江西玉山人,教授,博士,博士生导师,主要从事膜分离与非均相催化的研究。E-mail: cxs66@jxnu.edu.cn

吴 婷(1989-)女,江西高安人,助理研究员,博士,主要从事膜制备与膜分离应用的研究。E-mail: tingwu@jxnu.edu.cn

剂在大孔莫来石支撑体上通过一步水热合成法制备出纯相且具有高 N_2/CH_4 分离性能的 AIPO-48 分子筛膜,并探究了温度、压力对 N_2 和 CH_4 在 AIPO-48 分子筛膜中的气体渗透行为影响。

1 实验部分

1.1 AIPO-48 分子筛的制备

按照 Y. Hasegawa 等^[17]的方法在溶胶摩尔配比为 $1Al_2O_3:1P_2O_5:2DIPEA:60H_2O$ 的体系中对 AIPO-48 分子筛进行合成。将铝源异丙醇铝 (Sigma-Aldrich 98%) 和磷源磷酸 (天津福晨 85%) 溶解在去离子水中,混合搅拌均匀,得到均一溶液后,逐滴加入结构导向剂 N,N -二异丙基乙胺 (DIPEA, Sigma-Aldrich 99%),继续搅拌 6 h 后得到最终溶胶。将上述溶胶倒入含聚四氟乙烯内衬的不锈钢反应釜中,密封后,在 433 K 下水热合成 15 h 得到产物,将其洗净烘干研磨得 AIPO-48 分子筛。

1.2 AIPO-48 分子筛膜的制备

将长 1 m 的莫来石支撑体 (外径为 12 mm,内径为 8 mm,平均孔径为 $1.3\ \mu m$,Nikkato 公司)切割成长 6.5 cm 的短管,超声清洗 3 遍后,放入 100 °C 烘箱中烘干备用,其过程与本课题组报道的一致^[18]。将制备好的 AIPO-48 分子筛晶体涂覆在支撑体上得到晶种化支撑体备用。

将异丙醇铝、磷酸和去离子水按一定比例混合搅拌均匀后,再滴加 DIPEA 和异丙醇,搅拌老化 24 h 得到摩尔比为 $1Al_2O_3:1P_2O_5:4DIPEA:120H_2O:4IPA$ 的溶胶,将老化后的溶胶倒入已放置晶种化支撑体的不锈钢反应釜中,密封后放入提前预热至 433 K 的

烘箱中,水热合成 15 h 后即刻取出反应釜冷却。取出膜,在流动的水中冲洗并在去离子水中浸泡 2 d,放入 373 K 烘箱中干燥 12 h,在马弗炉中以 753 K 煅烧 8 h,升温 and 降温速率控制为 $0.5\ K \cdot min^{-1}$ 。将煅烧后的 AIPO-48 分子筛膜保存在干燥器中备用。

1.3 AIPO-48 分子筛及分子筛膜结构及性能表征

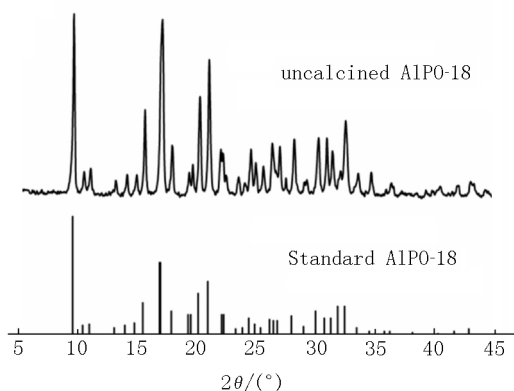
通过 X-射线衍射仪 (XRD, Rigaku Ultima IV) 表征合成的 AIPO-48 分子筛和分子筛膜的晶相结构及结晶度,测试采用 $Cu\ K_\alpha$ 辐射,管压 40 kV,管流 40 mA,角度扫描范围为 $2\theta = 5^\circ \sim 45^\circ$,步长为 0.05° 。分子筛的形貌大小及分子筛膜表面、断面形貌和膜层厚度可通过场发射扫描电镜 (FE-SEM, Hitachi SU8020) 表征,其加速电压为 5 kV。

N_2 和 CH_4 气体渗透行为测试在 303 K 及 0.1 MPa 的压差下进行。测试方法与本课题组之前报道的类似^[19]。膜的两端分别用 2 个硅胶 O 型圈密封于不锈钢组件中,膜的有效面积为 $16.2\ cm^2$ 。单组分 (i) 渗透速率 $P_i = N_i / (A \Delta P)$,其中 N_i 是组分 i 透过膜的通量,单位为 $mol \cdot s^{-1}$; A 是膜的有效面积,单位为 m^2 ; ΔP 是组分 i 在分子筛膜两侧的压差。膜的理想选择性 $S = P_{N_2} / P_{CH_4}$ 。

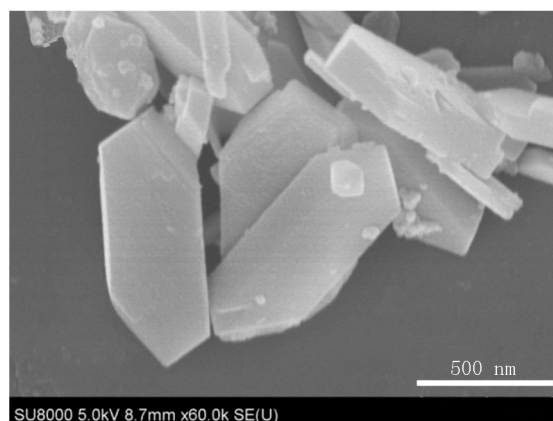
2 结果与讨论

2.1 AIPO-48 分子筛的表征

图 1 为制备的 AIPO-48 分子筛晶体的 XRD 谱图和 SEM 图。从图 1(a) 可看出合成的 AIPO-48 分子筛在 9.6° 、 12.7° 、 16.0° 和 21.0° 处出现的特征峰



(a) 标准 AIPO-48 型分子筛和未煅烧 AIPO-48 晶种 XRD 谱图



(b) AIPO-48 分子筛的 SEM 图

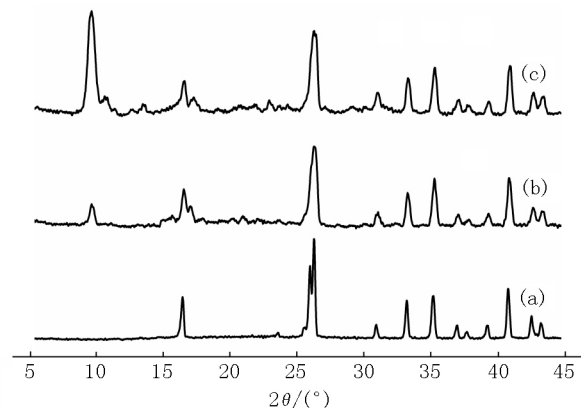
图 1 标准 AIPO-48 型分子筛和未煅烧 AIPO-48 晶种 XRD 谱图及 AIPO-48 分子筛的 SEM 图

与标准的 AlPO-18 相对应,无其它的杂峰出现,并且特征峰强度较高;从图 1(b) 可看出合成的 AlPO-18 分子筛大小均一,具有六边形形貌,晶体尺寸大小为 800 nm 左右,有较好的结晶度,这表明制备出了纯相且高结晶度的 AlPO-18 分子筛。

2.2 AlPO-18 分子筛膜的表征

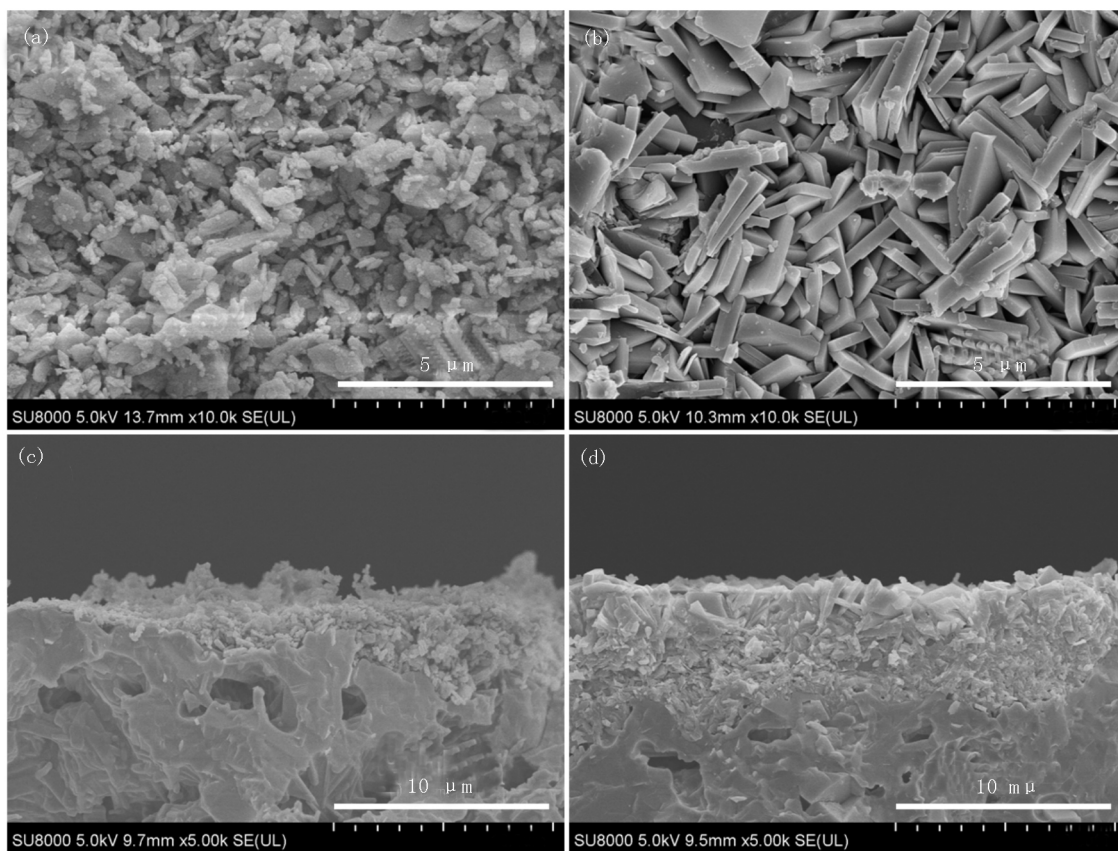
图 2 为莫来石支撑体(a)、晶种化支撑体(b)和 AlPO-18 分子筛膜(c)的 XRD 谱图。图 2(b) 中晶种化支撑体在 9.6° 处出现 AlPO-18 分子筛晶体的特征峰,这表明晶种已较好地涂覆至莫来石支撑体表面;图 2(c) 中 AlPO-18 分子筛特征峰峰值较强且未出现其它杂晶峰,这表明实验制备出纯相的 AlPO-18 分子筛膜。晶种化支撑体和 AlPO-18 分子筛晶体层形貌如图 3 所示。图 3(a) 和图 3(c) 分别为晶种化支撑体的表面和断面 SEM 图,从图 3 可看出:莫来石支撑体表面完全被大小 800 nm 左右的六边形

AlPO-18 晶体覆盖,晶种层厚度约为 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 。水热合成制备的 AlPO-18 分子筛膜的表面及断面形貌如图 3(b) 和图 3(d) 所示,立方体 AlPO-18 分子筛晶体在支撑体表面上交错生长,形成一层连续致密的膜层,膜层厚度约为 $8 \mu\text{m}$ 。



(a) 莫来石支撑体; (b) 晶种化支撑体; (c) AlPO-18 分子筛膜。

图 2 支撑体和 AlPO-18 分子筛膜的 XRD 谱图



晶种化支撑体: (a) 表面, (c) 断面; AlPO-18 分子筛膜: (b) 表面, (d) 断面。

图 3 晶种化支撑体和 AlPO-18 分子筛膜的 SEM 图

2.3 AlPO-18 分子筛膜单气体渗透行为

在 303 K 温度、0.1 MPa 压差下,对合成出的 AlPO-18 分子筛膜 M_1 和 M_2 进行了不同动力学直径分子 H_2 、 CO_2 、 N_2 、 CH_4 和 SF_6 的单气体渗透性能测

试,结果如图 4 所示。2 根膜都具有同样的单气体渗透行为,其趋势为 $\text{CO}_2 > \text{H}_2 > \text{N}_2 > \text{CH}_4 > \text{SF}_6$ 。除去 CO_2 分子,其它气体分子渗透速率随动力学直径增加而显著下降,而 CO_2 分子的渗透速率最高,这是因为 AlPO-18 分子筛晶体对 CO_2 具有优先吸附作

用,使得 CO₂ 分子的渗透速率最终高于 H₂ 分子的渗透速率.表 1 为 AIPO-48 分子筛膜 M₁ 和膜 M₂ 在 H₂/CH₄、CO₂/H₂、CO₂/N₂、CO₂/CH₄ 及 N₂/CH₄ 气体对中的理想分离性能,从表 1 可看出,其理想选择性均远远大于各气体对的努森扩散系数,均表现出较高的理想分离性能,与文献[20]报道的具有小孔八元环孔道结构的分子筛膜类似. M₁ 对 N₂/CH₄ 的理想选择性高达 7.9,这表明 AIPO-48 分子筛膜在 N₂/CH₄ 分离体系中有较好的分离性能,本文对其开展进一步地研究,考察测试压力及温度对 AIPO-48 分子筛膜单气体渗透行为的影响.

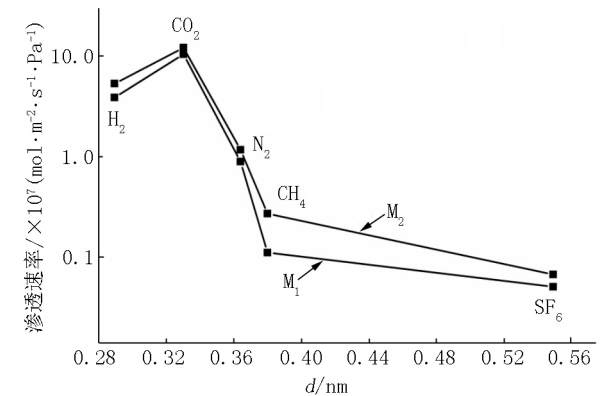


图 4 在 303 K 温度和 0.1 MPa 压差下, AIPO-48 分子筛膜对单气体的渗透行为

表 1 AIPO-48 分子筛膜对气体的理想分离性能

理想气体对	M ₁	M ₂	努森扩散系数
H ₂ /CH ₄	34.00	19.00	2.83
CO ₂ /H ₂	2.67	2.26	0.21
CO ₂ /N ₂	11.00	10.00	0.80
CO ₂ /CH ₄	90.00	43.00	0.60
N ₂ /CH ₄	7.89	4.24	0.76

注: 测试温度为 303 K; 测试压差为 0.1 MPa.

2.4 测试压差对 N₂/CH₄ 渗透行为的影响

图 5 为测试压力差对 N₂ 和 CH₄ 单气体渗透速率及理想选择性的影响,从图 5 可观察到:随着压差增大到 0.3 MPa, N₂ 渗透速率增加至 $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$,当压差继续增加时, N₂ 渗透速率基本不变; CH₄ 的渗透速率随压差增大而略微增加,当压差为 0.6 MPa 时,渗透速率达最大 ($0.17 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), N₂/CH₄ 的理想选择性从 7.9 降至 5.8. 在 N₂/CH₄ 体系中, Zong Zhaowang 等^[16]通过测试单气体吸附等温线及使用理想吸附溶液理论(IAST) 预测 N₂/CH₄ 混合物的选择性,

证明了 AIPO-48 分子筛对 CH₄ 分子吸附量大于 N₂ 分子,但 N₂ 的渗透速率大于 CH₄, 优先透过 AIPO-48 分子筛膜,这表明扩散及筛分作用主导了 N₂/CH₄ 的分离. 而对于有缺陷的膜, N₂ 动力学直径为 0.364 nm, 小于 AIPO-48 分子筛孔道直径, 比 CH₄ 分子更易进入孔道. 因此, N₂ 分子不仅从分子筛孔道通过,而且还从晶间缺陷通过, CH₄ 分子主要从晶间缺陷以粘性流为主的扩散透过 AIPO-48 分子筛膜.

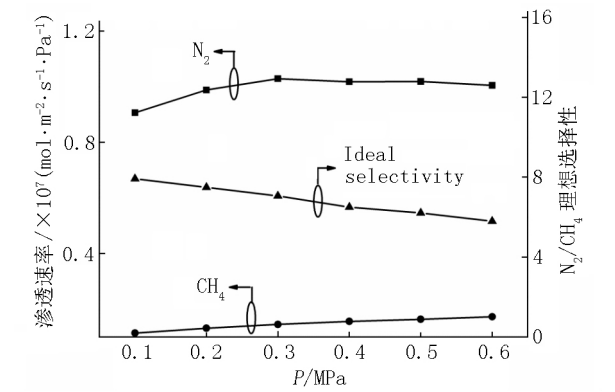


图 5 在 303 K 温度下测试压差对 N₂ 和 CH₄ 单气体通过 AIPO-48 分子筛膜(M-1) 渗透速率和 N₂/CH₄ 理想选择性的影响

2.5 测试温度对 N₂/CH₄ 渗透行为的影响

图 6 给出了测试温度对 N₂ 和 CH₄ 单气体渗透速率及理想选择性的影响. 在 303 K 温度下, N₂ 渗透速率及 N₂/CH₄ 分离理想选择性最大, 分别为 $1.2 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 和 4.24. 在本文考察的测试温度范围(303 ~ 373 K) 内, 随着温度升高, N₂ 渗透过膜的速率显著降低, 而 CH₄ 的渗透速率变化不大, 导致理想选择性呈现下降的趋势, 当温度达到 373 K 时, 其理想选择性降至最小(1.20), 仍大于 N₂/CH₄ 分离努森扩散系数(0.76). W. J. W. Bakker 等^[21]提出模型解释温度对分子筛膜单组分渗透的影响, 即单组分气体主要是以表面扩散和气体传质扩散的形式通过分子筛膜. 在低温时, 对于可吸附的气体, 其渗透速率随温度升高而降低; 当达到一定温度时, 气体传质扩散会主导单组分透过分子筛膜, 此时气体渗透速率随着温度升高而增加, 因此在温度继续增加的过程中会出现一个最小的渗透值, 该值通常在温度高于 423 K 时出现, 但该模型仍能解释本文中在低温(298 ~ 373 K) 时渗透下降的现象. 对于 SSZ-43 膜^[19] 和 SAPO-34 膜^[22], 也发现有类似现象.

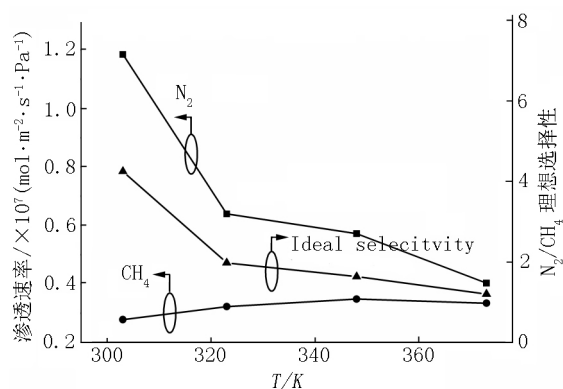


图6 在0.1 MPa压差下测试温度对 N_2 和 CH_4 单气体通过AIPO-48分子筛膜(M-2)渗透速率和 N_2/CH_4 理想选择性的影响

2.6 AIPO-48分子筛膜的重复性

在303 K测试温度及0.1 MPa压差下,对最优条件下合成的3根AIPO-48分子筛膜进行了 N_2 和 CH_4 的单气体渗透性能测试,结果如表2所示。从表2可看出: N_2 渗透速率最高可达 $1.18 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$,平均渗透速率为 $(0.99 \pm 0.16) \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$; N_2/CH_4 的理想选择性最大可达7.9,平均理想选择性为 5.57 ± 2.01 。这表明合成的AIPO-48分子筛膜既有高的 N_2/CH_4 分离性能,又具有良好的重复性。

表2 AIPO-48分子筛膜的单气体渗透性能

AIPO-48 分子筛膜	单气体渗透速率 / $\times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$		N_2/CH_4 理想选择性
	N_2	CH_4	
M-1	0.91	0.12	7.9
M-2	1.18	0.28	4.2
M-3	0.89	0.19	4.6
平均值	0.99 ± 0.16	0.20 ± 0.08	5.57 ± 2.01

注:合成凝胶摩尔配比组成为 $1\text{Al}_2\text{O}_3:1\text{P}_2\text{O}_5:4\text{DIPEA}:120\text{H}_2\text{O}:4\text{IPA}$;合成温度为433 K;合成时间和老化时间分别为15 h和24 h;测试温度为303 K;测试压差为0.1 MPa。

3 结论

使用单一结构导向剂 N,N -二异丙基乙胺(DIPEA)在大孔莫来石支撑体上通过2次水热合成法制备出纯相且高结晶度的AIPO-48分子筛膜。其在 N_2/CH_4 分离体系中,当测试温度及压差分别为303 K和0.1 MPa时,对 N_2 的平均渗透速率和理想选择性分别为 $(0.99 \pm 0.16) \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 和 5.57 ± 2.01 ,合成的膜具有良好的重复性;并且随着测试温度及压差增加, N_2/CH_4 理想选择性呈现降低的趋势。

$\text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 和 5.57 ± 2.01 ,合成的膜具有良好的重复性;并且随着测试温度及压差增加, N_2/CH_4 理想选择性呈现降低的趋势。

4 参考文献

- [1] 赵靖舟. 非常规油气有关概念、分类及资源潜力 [J]. 天然气地球科学 2012 23(3): 393-406.
- [2] Baker R W. Future directions of membrane gas separation technology [J]. Ind Eng Chem Res 2002 41(6): 1393-1411.
- [3] 徐凤银, 云箭, 孟复印. 低碳经济促进天然气与煤层气产业快速发展 [J]. 中国石油勘探 2011 16(2): 6-11.
- [4] 冯明, 陈力, 徐承科, 等. 中国煤层气资源与可持续发展战略 [J]. 资源科学 2007 29(3): 100-104.
- [5] 司光耀, 蔡武, 张强. 国内外煤层气利用现状及前景展望 [J]. 中国煤层气 2009 6(2): 44-46.
- [6] 辜敏, 鲜学福, 张代均, 等. 变压吸附技术分离 CH_4/N_2 气体混合物 [J]. 煤炭学报 2002 27(2): 197-200.
- [7] Zhou Li, Guo Wencai, Zhou Yaping. A feasibility study of separating CH_4/N_2 by adsorption [J]. Chinese J Chem Eng 2002 10(5): 568-561.
- [8] 陈祥树, 胡娜, 周荣飞, 等. NaA型分子筛膜的合成与渗透汽化性能研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2008 32(5): 534-538.
- [9] Giordano L, Gubis J, Kapteijn F, et al. Conceptual design of membrane-based pre-combustion CO_2 capture process: role of permeance and selectivity on performance and costs [J]. J Membr Sci 2019 575: 229-241.
- [10] Pham T D, Liu Qingling, Lobo R F. Carbon dioxide and nitrogen adsorption on cation-exchanged SSZ-43 zeolites [J]. Langmuir 2012 29(2): 832-839.
- [11] 周荣飞, 胡娜, 袁慧, 等. T型分子筛膜的合成、表征和渗透汽化性能研究 [J]. 无机化学学报 2009 25(8): 1439-1446.
- [12] Wilson S T, Lok B M, Messina C A, et al. Aluminophosphate molecular sieves: a new class of microporous crystalline inorganic solids [J]. J Am Chem Soc 1982 104(4): 1146-1147.
- [13] Yu Jihong, Xu Ruren. Insight into the construction of open-framework aluminophosphates [J]. Chem Soc Rev 2006 35(7): 593-604.
- [14] van Heyden H, Mintova S, Bein T. AIPO-48 nanocrystals synthesized under microwave irradiation [J]. J Mater Chem 2006 16(5): 514-518.
- [15] Carreon M L, Li Shiguang, Carreon M A. AIPO-48 mem-

- branes for CO_2/CH_4 separation [J]. Chem Commun, 2012, 48(17): 2310-2312.
- [16] Zong Zhaowang, Elsaidi S K, Thallapally P K, et al. Highly permeable AlPO-48 membranes for N_2/CH_4 separation [J]. Ind Eng Chem Res, 2017, 56(14): 4113-4118.
- [17] Hasegawa Y, Abe C, Ikeda T, et al. Influence of change in the unit cell parameters on permeation properties of AEI-type zeolite membrane [J]. J Membr Sci, 2016, 499: 538-543.
- [18] 张飞, 桂田, 柳波, 等. 高通量 T 型分子筛膜的制备 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 37(6): 589-593.
- [19] 郑艺鸿, 布娜, 袁晓蕾, 等. SSZ-43 分子筛膜在 CO_2/N_2 体系中的分离性能研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2015, 39(4): 411-414.
- [20] Kalipcilar H, Bowen T C, Noble R D, et al. Synthesis and separation performance of SSZ-43 zeolite membranes on tubular supports [J]. Chem Mater, 2002, 14(8): 3458-3464.
- [21] Bakker W J W, van Den Broeke L J P, Kapteijn F, et al. Temperature dependence of one-component permeation through a silicalite-1 membrane [J]. AIChE J, 1997, 43(9): 2203-2214.
- [22] Poshusta J C, Tuan V A, Pape E A, et al. Separation of light gas mixtures using SAPO-34 [J]. AIChE J, 2000, 46(4): 779-789.

The Studies on N_2/CH_4 Separation Performance of AlPO-48 Membranes

ZHAN Tianqi, WU Ting*, SHI Yuyin, LI Yuqin, GUI Tian, CHEN Xiangshu*

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Institute of Advanced Materials, State-Province Joint Engineering Laboratory of Zeolite Membrane Materials, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: High-performance and reproducible AlPO-48 membranes are successfully prepared on porous mullite support by secondary hydrothermal synthesis with a low-cost *N,N*-diisopropylethylamine (DIPEA) as template for N_2/CH_4 separation. The composed AlPO-48 membranes are measured by single-gas permeances for H_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 , SF_6 . The influence of temperature and pressure drop on the permeance performance of N_2/CH_4 are studied. The best membrane displays a N_2 single gas permeance of $0.91 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ with the ideal selectivity of 7.9 for N_2/CH_4 at 303 K and a 0.1 MPa pressure drop.

Key words: AlPO-48 membrane; DIPEA; N_2/CH_4 separation; gas permeation

(责任编辑: 刘显亮)