

# $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜对单组分无机盐溶液的截留性能

漆虹, 韩静, 江晓骆, 柳永新, 范益群, 邢卫红

(材料化学工程国家重点实验室, 南京工业大学膜科学技术研究所, 南京 210009)

**摘要:**采用孔径约为3 nm的 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中孔膜,在pH 4~10,压力0.4~1.0 MPa,对浓度范围为0.005~0.1 mol/L的四种单组份无机盐溶液(NaCl、CaCl<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和MgCl<sub>2</sub>)进行截留性能考察. 研究表明:膜对离子截留率的大小取决于离子所带的电荷大小. 按从大到小的顺序: MgCl<sub>2</sub>>CaCl<sub>2</sub>>NaCl>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,膜的截留率逐渐降低. 膜对离子的截留率随盐溶液浓度的增大而降低,随操作压力的升高而增大. 在pH=5,压力为0.5 MPa,浓度为0.003 mol/L时,膜对Mg<sup>2+</sup>和Ca<sup>2+</sup>的截留率分别达到85%和87.4%. 有希望用于水的软化过程.

**关键词:**多孔陶瓷膜;  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中孔膜; 无机盐溶液; 离子截留

**中图分类号:** TQ028.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-8924(2010)05-0028-05

膜分离技术由于具有分离过程无相变、能耗低、过程简单等优势,成为目前化工分离领域研究的热点之一<sup>[1-3]</sup>. 纳滤膜是介于超滤膜和反渗透膜之间的一种重要的分离膜,它的截留相对分子质量通常在200~1 000<sup>[4]</sup>. 纳滤膜的一个重要特征是对离子具有一定的截留效应,对单价无机盐的截留率低,对高价无机盐有很高的截留率<sup>[5]</sup>. 这一特性使得它在水的软化和工业废水(如造纸废水、重金属离子废水和印染废水)处理方面有着广泛的应用.

目前商品化的纳滤膜大部分是有机纳滤膜<sup>[6]</sup>,并已在许多领域得到了广泛的应用. 但是有机纳滤膜存在的机械、化学和热稳定性低的劣势使得其在苛刻体系中的应用受到限制. 而无机陶瓷纳滤膜所具有的材料特性使其具有更广泛的应用. 但是,目前国内关于陶瓷纳滤膜的研究报道很少. 本文采用本课题组制备出的 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中孔膜,考察其对四种单组分无机盐溶液的截留性能;研究不同过程参数(如:溶液浓度、操作压力和溶液pH)条件下, $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中孔膜对不同盐溶液的截留性能,为陶瓷纳滤膜在水处理中的应用奠定基础.

## 1 实验部分

### 1.1 片状 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜的制备和表征

采用悬浮液真空抽吸法<sup>[7]</sup>制备出片状 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>支撑体(直径42 mm,厚度2.5 mm),其孔隙率约为30%,平均孔径约为70 nm. 以仲丁醇铝为前体,通过颗粒溶胶路线制备出稳定的Boehmite溶胶<sup>[7]</sup>. 采用Dip-coating方法在上述片状支撑体表面涂膜一次. 经过500℃烧成后的 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜的微观结构和对聚乙二醇(PEG)的截留性能分别如图1和图2所示. 从图1和图2中可以看出,本文采用的 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜厚度为2~3  $\mu$ m,对PEG的截留相对分子质量为3 400(对应的膜孔径约为3 nm)<sup>[8]</sup>.

### 1.2 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜对单组分无机盐溶液的截留性能测定

采用片状陶瓷膜终端过滤装置测定 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜对单组分无机盐溶液的截留性能. 具体测定方法如下:将NaCl、CaCl<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和MgCl<sub>2</sub>四种盐分别配制成浓度范围为0.005~0.1 mol/L的溶液,采用HNO<sub>3</sub>和NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O调节上述4种盐溶液的

收稿日期:2009-08-31;修改稿收到日期:2009-10-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB623400);国家自然科学基金青年基金(20906047);化学工程联合国家重点实验室开放课题资助项目(SKI-ChE-09A01)

作者简介:漆虹(1974-),男,甘肃渭源人,工学博士,副研究员,主要从事多孔陶瓷支撑体和微孔陶瓷膜的制备及应用研究,E-mail: hqinjut@yahoo.com.cn

pH(采用 pH S-3C 型 pH 计测定). 控制原料液侧压力为 0.4~1.0 MPa, 在 200 r/min 的搅拌转速下进行过滤实验. 待过滤过程稳定 1 h 后, 取一定量的原料液和渗透液, 采用电导率仪(DDS-307 型, 上海雷磁仪器厂)测定原料液和渗透液中的离子浓度, 采用式(1)的计算方法, 从而确定在不同条件(盐溶液浓度、pH 和压力)下  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对上述 4 种盐溶液的截留性能.

$$R_i = (1 - \frac{C_p}{C_f}) \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $R_i$  为膜的截留率;  $C_p$  为渗透液中盐的浓度;  $C_f$  为原料液中盐的浓度.

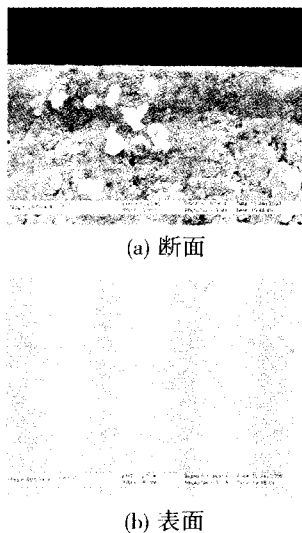


图 1  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜的断面和表面 SEM 照片

Fig. 1 SEM photos of the cross-section and surface of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  membrane

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 膜对不同浓度的 4 种无机盐溶液的截留性能

图 3 是  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对不同浓度单组分盐溶液的截留性能. 从图 3 中可以看出, 对于  $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{CaCl}_2$  和  $\text{NaCl}$  溶液来说, 随着溶液浓度的增大,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对其截留率逐渐降低<sup>[9]</sup>. 这是因为溶液中与膜带相同电荷的离子(称为同离子)被排斥而不能透过膜, 而与膜带相反电荷的离子(称为反离子)则能透过膜, 由此在膜与主体溶液之间形成浓度差, 为了平衡浓度差, 在膜与主体溶液之间就形成了道南电势. 随着盐溶液浓度的增加, 溶液中与膜带相反电荷的离子浓度也在增大, 使膜的电荷效应减弱, 降

低了膜与离子间的道南排斥力<sup>[10,11]</sup>, 从而表现出截留率下降的趋势. 但是  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对于浓度范围为 0.005~0.1 mol/L 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液的截留率变化不大, 都在一个很低的水平上(5%左右). 值得注意的是, 图 3 中膜对二价离子( $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$ )的截留率远远高于一价离子( $\text{Na}^+$ )的截留率. 这是因为二价离子与一价离子相比, 溶液中的正电荷密度大, 电荷强度高, 膜与主体溶液中离子的道南排斥力强; 又因为在 pH=5.96 时,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜表面荷正电( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜的等电点为 pH=7.5<sup>[10,12]</sup>, 溶液 pH 小于 7.5 时  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜荷正电), 所以膜对二价阳离子的排斥力要强于一价离子的排斥作用, 因而膜对二价离子( $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$ )的截留率远远高于一价离子( $\text{Na}^+$ )的截留率.

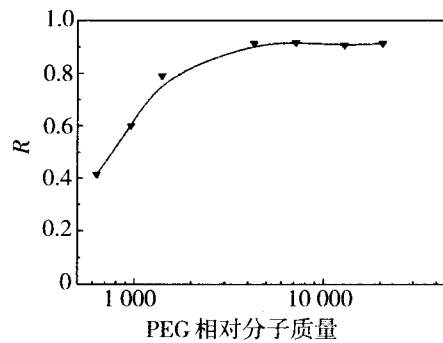


图 2  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对 PEG 的截留性能

Fig. 2 Retention property of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  membrane for PEG

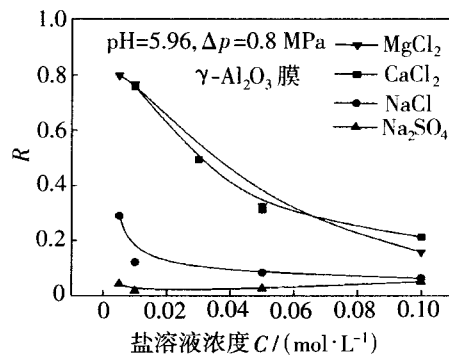


图 3  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜对不同浓度盐溶液的截留性能

Fig. 3 The concentration dependence of retention properties for  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  membrane

从图 3 中还可以看出, 膜对  $\text{NaCl}$  溶液的截留率要高于  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液. 这是因为对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液来说,  $\text{SO}_4^{2-}$  是二价阴离子, 较一价阴离子  $\text{Cl}^-$  来说, 单位离子所带的电荷大; 又由于  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  膜表面荷正电, 富集在膜表面起中和作用的所需阴离子浓度

就小,道南排斥力减弱,所以膜对 NaCl 溶液中 Na<sup>+</sup> 的截留率要高于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中 Na<sup>+</sup> 的截留率.

图 4 是不同浓度的单组分盐溶液透过  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的渗透通量. 从图 4 中可以看出,随着溶液浓度的增大,渗透通量有逐渐下降的趋势,但是通量降低幅度不大. 这是由浓度与渗透压之间的关系决定的,浓度增大,渗透压升高,从而使有效推动力下降,导致通量略有降低<sup>[12]</sup>.

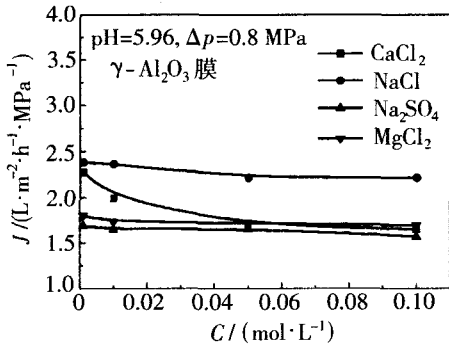


图 4 不同浓度的盐溶液透过  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的通量  $J$

Fig. 4 Influence of the salt concentration on the permeability of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membrane

### 2.2 不同 pH 条件下 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的截留性能

图 5 是在不同 pH 值条件下,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 0.003 mol/L 的溶液的截留率. 从图中可以看出,在 pH 为 5~6 的范围内,膜对二价离子(Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)的截留率最高(分别达到 85 % 和 87.4 %),远高于对一价离子(Na<sup>+</sup>)的截留率,这一结果比与文献<sup>[13]</sup>中报道的截留率高. 从图中 5 还可以看出,在 pH=7.6 时,膜对 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的截留率相同;在 pH<7.6 时,NaCl 的截留率高于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的截留率;而 pH>7.6 时,NaCl 的截留率低于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的截留率. 这是因为  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的等电点在 pH=7.5,溶液 pH 小于该值时, $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜荷正电,大于该值时,膜带负电荷. 当膜带正电荷(pH<7.6)时,根据道南效应,膜对同离子排斥,而允许反离子透过,由于 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 两种溶液的阳离子相同(Na<sup>+</sup>),阴离子 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子所带的负电荷要大于 Cl<sup>-</sup> 离子,所以富集在膜表面起中和作用的阴离子浓度就小,道南排斥力减弱,所以 NaCl 的截留率高于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的截留率;当膜带负电荷(pH>7.6)时,膜对阴离子排斥,让阳离子通过,膜对溶液的截留率取决于对阴离子的截留,阴离子 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子所带的负电荷要大于 Cl<sup>-</sup> 离子,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液与膜之间的道南排斥力更强,所以 NaCl 的截留率低

于 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的截留率. 从图 5 中膜对 MgCl<sub>2</sub> 溶液的截留曲线可以看到,当溶液的 pH 为 4 和 10 时, $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 MgCl<sub>2</sub> 溶液的截留率分别为 41.6 % 和 11.7 %. 这说明  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜在 pH 为 4~10 的范围内对离子都具有截留性能,这一结果比文献<sup>[10]</sup>(pH=4~8)中报道的  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜的 pH 耐受范围略宽.

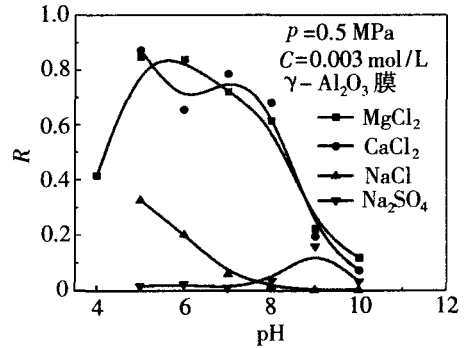
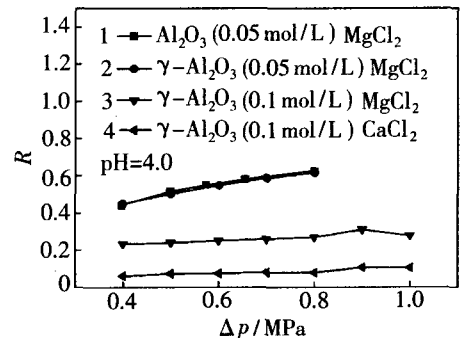


图 5 不同 pH 下  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对溶液的截留性能

Fig. 5 Retention properties of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membrane as a function of pH value of salt solutions

### 2.3 不同压力下 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对盐溶液的截留性能

图 6 是在不同压力下,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 MgCl<sub>2</sub> 和 CaCl<sub>2</sub> 溶液的截留性能以及与文献值的对比. 从图 6 中可以看出,对浓度为 0.05 mol/L 的 MgCl<sub>2</sub> 溶液而言,压力对膜截留率的影响非常显著,随着压力的升高,膜对其截留率增大;而对 0.1 mol/L 的 MgCl<sub>2</sub> 和 CaCl<sub>2</sub> 溶液来说,压力对膜的截留率的影响不明显. 这与有机膜截留性能的变化趋势是一致



1. TiO<sub>2</sub> 膜对 0.1 mol/L 的 MgCl<sub>2</sub> 溶液的截留数据<sup>[13]</sup>;
2.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 0.05 mol/L 的 MgCl<sub>2</sub> 溶液的截留数据;
3.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 0.1 mol/L 的 MgCl<sub>2</sub> 溶液的截留数据.;
4.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 0.1 mol/L 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液的截留数据

图 6 不同压力下  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜对 MgCl<sub>2</sub> 和 CaCl<sub>2</sub> 溶液的截留性能以及与文献值的对比

Fig. 6 Pressure dependence of the retention of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membrane with respect to MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> solutions

的。同时,相同压力下,膜对 0.05 mol/L 的  $\text{MgCl}_2$  溶液截留率明显高于 0.1 mol/L 的  $\text{MgCl}_2$  溶液,证明了 2.1 中的结论,说明盐溶液浓度越大,膜对其截留率越低。

从图中 6 还可以看出,  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜对  $\text{MgCl}_2$  溶液的截留率大于  $\text{CaCl}_2$  溶液。由于  $\text{MgCl}_2$  溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液中的阴离子相同,阳离子所带电荷也相同,道南排斥力相当。因此,此时离子的扩散传递过程对截留率具有决定性影响<sup>[14]</sup>。因为  $\text{Mg}^{2+}$  的扩散系数为  $0.71 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  的扩散系数为  $9.2 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , 因此,  $\text{Mg}^{2+}$  在溶液中的扩散速度小于  $\text{Ca}^{2+}$ <sup>[2]</sup>, 从而导致膜对  $\text{Mg}^{2+}$  的截留率高于  $\text{Ca}^{2+}$ 。在本文实验条件下,  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜对 0.05 mol/L 和 0.1 mol/L 两种浓度的  $\text{MgCl}_2$  溶液的最大截留率分别为 61.4 % 和 31.1 %。而在压力和 pH 相同的条件下,文献<sup>[13]</sup>中的  $\text{TiO}_2$  纳滤膜对 0.1 mol/L 的  $\text{MgCl}_2$  溶液的截留率可以达到 90 % 以上,这是由于  $\text{TiO}_2$  纳滤膜和  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜两种材料性能之间的差异。 $\text{TiO}_2$  膜和  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜在相同的 pH 下膜表面的荷电情况是不同的。对  $\text{TiO}_2$  纳滤膜而言<sup>[13]</sup>, 当  $\text{pH} < 7$  时,随着 pH 减小, Zeta 电位增大,道南电势也相应增大;在  $\text{pH} = 4$  时, Zeta 电位值最大,所以  $\text{TiO}_2$  纳滤膜在  $\text{pH} = 4$  时的截留率最高。而对  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜而言,由于其在  $\text{pH} = 4$  时膜表面的电势较低,导致其在  $\text{pH} = 4$  时对  $\text{MgCl}_2$  溶液的截留率较低(如图 5 所示)。

### 3 结论

本文采用孔径约为 3 nm 的  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  中孔膜,在  $\text{pH} 4 \sim 10$ , 压力 0.4~1.0 MPa 的条件下,对浓度范围为 0.005~0.1 mol/L 的 4 种单组份无机盐溶液( $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和  $\text{MgCl}_2$ )进行截留性能考察,得到如下结论。

1) 在压力为 0.5 MPa, 浓度为 0.003 mol/L,  $\text{pH} = 5$  的条件下,膜对  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  的截留率分别达到 85 % 和 87.4 %, 对  $\text{NaCl}$  溶液中  $\text{Na}^+$  的截留率为 32 %。

2)  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜的截留性能随着盐溶液浓度的增加而下降,随压力的增大而增大。并且随着溶液浓度的增大,压力对膜截留性能的影响程度减小。

3) 不同浓度的单组分盐溶液透过  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜的渗透通量范围在 1.5~2.5  $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$ 。

### 参 考 文 献

- [1] 俞三传,金可勇,高从塔.膜软化及其应用[J].工业水处理,2000,20(11):10-13.
- [2] 张显球,侯小刚,张林生,等.面向软化水处理的纳滤膜分离技术[J].膜科学与技术,2006,26(2):64-67.
- [3] 张显球,王力友,张玉清.纳滤软化锅炉用水的试验研究[J].南京师范大学学报(工程技术版),2004,4(2):19-21.
- [4] 汪伟宁,王大新,王晓琳,等.无机盐水溶液体系的纳滤膜分离实验研究[J].高校化学工程学报,2002,16(3):257-262.
- [5] 何丽,周从直.纳滤膜及其在水处理中的应用[J].能源研究与信息,2007,23(2):63-66.
- [6] Tsuru T, Sudoh T, Yoshioka T, et al. Nanofiltration in non-aqueous solutions by porous silica-zirconia membranes[J]. J Membr Sci, 2001, 185:253-261.
- [7] Nijmeijer A. Hydrogen-selective silica membranes for use in membrane steam reforming [D]. the Netherlands; University of Twente, Enschede, 1999:54, 71-72.
- [8] 漆虹,邢卫红,范益群. $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 中孔陶瓷膜的制备及表征[J].化工学报,2009,60(10):2628-2632.
- [9] Peeters J M M, Boom J P, Mulder M H V, et al. Retention measurements of nanofiltration membranes with electrolyte solutions [J]. J Membr Sci, 1998, 145:199-209.
- [10] Schaep J, Vandecasteele C, Peeters B, et al. Characteristics and retention properties of a mesoporous  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  membrane for nanofiltration[J]. J Membr Sci, 1999, 163:229-237.
- [11] Peeters J M M, Mulder M H V, Strathmann H. Streaming potential measurements as a characterization method for nanofiltration membranes [J]. Colloids Surf, A: Physico Eng Asp, 1999, 150:247-259.
- [12] 梁希,李建明,陈志,等. $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 多孔膜的分离性能[J].膜科学与技术,2008,28(3):45-49.
- [13] Tsuru T, Hironaka D, Yoshioka T, et al. Titania membranes for liquid phase separation; effect of surface charge on flux [J]. Sep Purif Technol, 2001, 25:307-314.
- [14] Gestel T V, Vandecasteele C, Buekenhoudt A, et al. Salt retention in nanofiltration with multilayer ceramic  $\text{TiO}_2$  membranes[J]. J Membr Sci, 2002, 209:379-389.

## Performance of theophylline molecularly imprinted membrane chromatography

WANG Jingyu<sup>1,2</sup>, XU Zhenliang<sup>1,2</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology (ECUST), Shanghai 200237, China;

2. Membrane Science and Engineering R & D Laboratory, Chemical Engineering Research Center, ECUST, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** Theophylline molecularly imprinted membrane (MIM) was prepared by thermal initiated free radical polymerization on the surface of PVDF hollow fiber membrane. SEM was used to analyze the surface morphology of the membranes before and after polymerization. The polymeric layer in the MIM was proved by SEM and methanol flux experiments. The modules were assembled to detect the MIM's separation performance for THO and TB. Meanwhile, the effect of concentration and acetic acid content in extraction solution on the filtration results was discussed. And it showed that the selectivity of the MIMs decreased with the increase of the concentration of the initial solution and the acetic acid content in extraction solution.

**Key words:** theophylline; theobromine; PVDF hollow fiber membrane; membrane chromatography

(上接第 31 页)

## Retention of single component inorganic salt solution with mesoporous $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membrane

QI Hong, HAN Jing, JIANG Xiaoluo, LIU Yongxin,  
FAN Yiqun, XING Weihong

(State Key Laboratory of Materials-Oriented Chemical Engineering, Membrane Science and Technology Research Center, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** The retention properties of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mesoporous membrane (with a pore size of around 3 nm) with respect to the salt solutions, namely NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and MgCl<sub>2</sub>, were investigated under the pH value 4~10, pressure 0.4~1.0 MPa and concentration 0.005~0.1 mol/L. The results show that the retention properties of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> membrane with respect to the salt solutions depend on the charges of the ion. The membrane exhibits a decreasing retention rate in the sequence as follows: MgCl<sub>2</sub>>CaCl<sub>2</sub>>NaCl>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The concentration dependence of the retention of the membrane shows that the retention rate decreases with increasing of the salt concentration and increases with the pressure-enhancing. Under the condition of pH value of 5 and a pressure 0.5 MPa, the retention rates for the MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> are 85% and 87.4%, respectively.

**Key words:** porous ceramic membrane;  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mesoporous membrane; inorganic salt solution; ion retention