

分散支撑液膜体系中 Pb^{2+} 离子的传输

吴小宁^{a,b*} 姚秉华^b 冯晋阳^{a,b}

(^a 西安工业大学材料与化工学院 西安 710032; ^b 西安理工大学理学院 西安 710054)

摘要 在现有支撑液膜分离技术的理论研究基础上,探索合适的液膜分离体系,研究了 $\text{Pb}(\text{II})$ 在 PC-88A-煤油-HCl 分散支撑液膜体系中的传输行为;考察了料液 pH 值、膜溶液与解析剂体积比、解析相中 HCl 浓度以及 $\text{Pb}(\text{II})$ 的起始浓度对 $\text{Pb}(\text{II})$ 传输的影响。结果表明,以 HCl 为解析剂,料液相 pH = 5.25、膜溶液与解析剂体积比为 160:40、解析相中 HCl 浓度为 5.00 mol/L 时,该分散支撑液膜体系对金属 $\text{Pb}(\text{II})$ 具有良好的传输作用。在选取的最佳传输条件下,料液相中 $\text{Pb}(\text{II})$ 的初始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L 时,传输 190 min,传输率可达 88.9%,而传统支撑液膜只有 72.3%。分散支撑液膜不仅具有较高的传输效率,而且膜体系稳定,膜的使用寿命长。

关键词 液膜,分散支撑液膜,乙基己基膦酸-单乙基己基酯,铅(II)

中图分类号:O614

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2011)02-0234-06

DOI:10.3724/SP.J.1095.2011.00233

铅污染主要来自矿山开采、冶炼、橡胶生产、染料、印刷、陶瓷、铅玻璃、焊锡、电缆及铅管等生产废水和废弃物。铅在制造使用等过程中会向环境排放,直接或间接进入人体,会引起胃疼、头痛、颤抖和神经性烦躁等中毒现象,在低浓度下,铅的慢性中毒主要影响大脑和神经系统^[14]。含铅废水处理方法主要有化学沉淀法、离子交换法、液膜法、生物吸附法及电解法等^[3-9]。支撑液膜(SLM)分离技术由于耗能少、成本低、选择性好以及无二次污染等优点而备受关注。然而 SLM 技术一直未能获得工业化应用,主要是因为随着传输进行,膜相会逐渐流失,导致分离性能下降,使用寿命降低^[10-13]。本文提出的分散支撑液膜(Dispersion Supported Liquid Membrane, DSLM)技术是在 SLM 基础上发展起来的一种新技术,在解析相中加入液膜构成分散体系,有效解决 SLM 中的膜相流失问题,特别适用于低浓度金属离子的富集与分离。 $\text{Pb}(\text{II})$ 的液膜分离已有研究^[14-20],但采用 DSLM 技术进行 $\text{Pb}(\text{II})$ 的传输研究尚无报道。2-乙基己基膦酸-单-2-乙基己基酯(PC-88A)是萃取性能优良、水溶性小和无毒的金属离子萃取剂^[21]。本文以 PC-88A 为分散支撑液膜流动载体,选择 PVDF 为支撑体,煤油为膜溶剂,研究了 $\text{Pb}(\text{II})$ 在 PC-88A-煤油-HCl 的分散支撑液膜体系中的传输过程,探讨影响其传输的各种因素及机理,为有效治理含 $\text{Pb}(\text{II})$ 废水提供理论基础。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

TAS-986 型原子吸收分光光度计(北京通用仪器有限公司);JJ-1 型精密定时电动搅拌器(金坛市丹阳门石英玻璃厂); P_{507} :商品名 PC-88A,由日本大八化学工业公司提供;硝酸铅 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、HAc、NaAc 等均为分析纯;实验用水全部为去离子水。

分散支撑液膜迁移装置(自制)由料液池、分散池和支撑膜组成。料液池和分散池的容积均为 200 mL,并配有可调速电动搅拌器;支撑膜为聚偏氟乙烯膜(PVDF,上海亚东核级树脂有限公司提供),孔径 0.22 μm ,膜厚 50 μm ,孔隙率 70% ~ 80%,有效面积为 18 cm^2 。

2010-04-20 收稿,2010-06-15 修回

教育部博士学科点专项基金(20096118110008)、陕西省教育厅专项科研基金(09JK672)、西安市科技创新支撑计划(CXY09025(1))资助项目

通讯联系人:吴小宁,讲师;Tel:029-83208078;E-mail:wxning888@126.com;研究方向:液膜分离技术

1.2 实验原理

铅(Ⅱ)在分散支撑液膜体系中的反应和传输过程,大致分以下几个过程:

料液相中的 Pb(Ⅱ)离子通过料液相和膜相之间的水扩散层。在水相-膜相界面,金属离子(Pb²⁺)与载体 PC-88A(简称为 HR)发生如下的配合反应:

$$\text{Pb(Ⅱ)}_f^{2+} + \frac{m+n}{2}(\text{HR})_{2,\text{org}} = \text{PbR}_n \cdot m\text{HR}_{\text{org}} + n\text{H}_f^+ \tag{1}$$

式中,下标 f 表示水相,下标 org 表示膜相。(HR)₂为在非极性油中主要以二聚体形式存在的萃取剂^[21]。
n 为金属离子的配位数,m 为膜相配合物中载体 PC-88A 的缔合数。

反应生成的金属离子-载体配合物从原料相-膜相界面向膜内侧扩散,然后在膜相中扩散,在膜相-分散相界面,与解析剂发生如下解析反应:

$$\text{PbR}_n \cdot m\text{HR}_{\text{org}} + n\text{H}_s^+ = \text{Pb(Ⅱ)}_s^{2+} + \frac{m+n}{2}(\text{HR})_{2,\text{org}} \tag{2}$$

式中,右下标 S 表示解析相。由于搅拌作用提供了金属离子-载体配合物和解析剂充分接触的机会,保证了萃取和反萃取过程的持续进行,有效的提高了金属离子的传输速率和液膜体系的稳定性。通过改变解析剂液和液膜溶液的体积比,就能得到含有较高浓度金属离子的解析液。停止搅拌,静置,含有高浓度金属离子的解析液和膜相自动分层,便于进行浓缩处理。

由参考文献^[22]可知:

$$\ln \frac{c_t}{c_0} = \frac{A}{V_f} P_c t \tag{3}$$

式中,c_t和 c₀分别为 t 时刻及起始料液相中金属离子浓度(mol/L),A 为膜的有效面积(cm²),V_f为料液相体积(mL);P_c为金属离子的渗透系数(cm/s);t 为传输时间(s)。-ln(c_t/c₀)~t 呈线性,直线斜率大小反映金属离子在膜内的传输性能。通过测定不同条件下金属离子的浓度,以 -ln(c_t/c₀)-t 作图,从直线斜率的大小分析各种因素对迁移速率的影响程度。

1.3 实验方法

先将 PVDF 置于膜溶液中浸泡吸附一定时间,然后将其固定在迁移池中(如图 1 所示)。分别将事先配好的试样料液和膜溶液加到料液池和分散池中,开动料液池和分散池中的搅拌器,再将适量解析剂加到分散池中构成解析分散相,并开始计时,间隔一定时间取样分析。采用原子吸收光谱法对 Pb(Ⅱ)浓度进行测定。

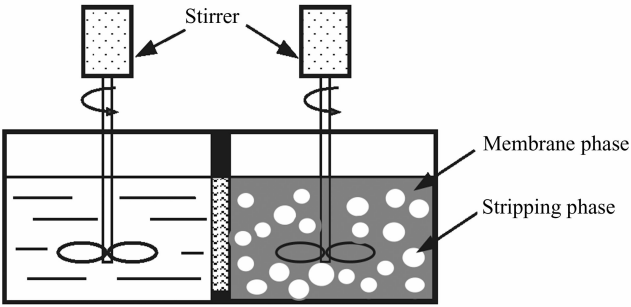


图1 分散支撑液膜装置示意图
Fig. 1 Schematic description of DSLM apparatus

2 结果与讨论

2.1 料液相 pH 值对 Pb(Ⅱ)传输的影响

取料液相 Pb(Ⅱ)初始浓度为 3.00 × 10⁻⁴ mol/L,解析相中膜溶液(0.081 mol/L PC-88A 煤油)与 HCl 溶液体积比为 160:40,解析相中 HCl 浓度为 4.00 mol/L,考察了料液相 pH 值分别为 4.75、5.00、5.25、5.50、5.75 时 Pb(Ⅱ)的传输情况。实验结果如图 2 所示。

实验结果表明,Pb(Ⅱ)在该分散支撑液膜内迁移时,当 pH 值一定时,-ln(c_t/c₀)~t 线性关系良好。pH 值在 4.75~5.25 范围内,其直线斜率随料液相 pH 值的增大而增大,当 pH 值继续增大,直线斜率反而下降。这是因为,H⁺在料液相与解析相中的浓度差是 Pb(Ⅱ)在分散支撑液膜体系的传质动力,料液相酸度越低,越有利于 Pb(Ⅱ)的迁移。然而,由于解析相使用的解析剂为强酸,当料液相 pH 值较高时,两相间高强度的 H⁺浓度差,加快了 H⁺透过膜相的渗透作用。不仅严重影响液膜的稳定性,而且

也会影响 Pb(II) 在分散支撑液膜中的传输速率。因此,料液相与解析相的酸度差是影响 Pb(II) 传质速率的重要因素之一。当料液相 pH = 5.25 时, Pb(II) 得到了很好的迁移。

2.2 膜溶液与 HCl 溶液体积比对 Pb(II) 传输的影响

选择料液相 pH = 5.25, Pb(II) 初始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L, HCl 浓度为 4.00 mol/L, 膜溶液与 HCl 解析液体积比分别取 180:20、160:40、140:60、120:80 和 100:100 时对 Pb(II) 传输的影响, 实验结果如图 3 所示。

结果表明, $-\ln(c_t/c_0) \sim t$ 呈良好的线性关系, 其直线斜率随体积比的变化而变化。这是因为, 在分散支撑液膜体系中解析剂 HCl 能均匀的分散在膜溶液中, 它们的体积比直接影响 Pb(II) 的迁移和解析速率。HCl 在分散相中的比例过大或过小均不利于 Pb(II) 的传输, 存在最佳传输比例。在体积比为 160:40 时, Pb(II) 得到了最佳传输。

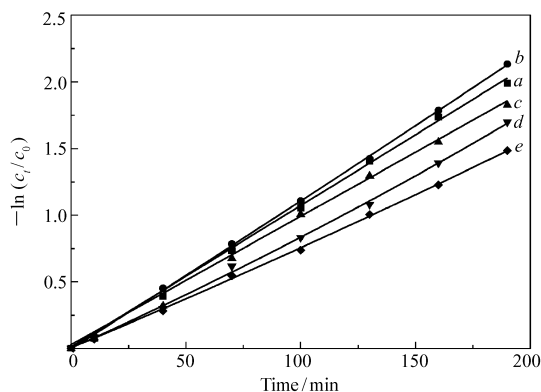


图 3 膜溶液与 HCl 体积比对 Pb(II) 传输的影响

Fig.3 Effect of volume ratio of membrane solution to HCl solution on transport of Pb(II)

$V(\text{membrane solution}):V(\text{HCl})$: a. 180:20; b. 160:40; c. 140:60; d. 120:80; e. 100:100

2.3 解析剂 HCl 浓度对 Pb(II) 传输的影响

选择料液相 pH = 5.25, Pb(II) 初始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L, 解析相中膜溶液与 HCl 体积比为 160:40, 考察了解析相中 HCl 浓度分别为 2.00、3.00、4.00、5.00 和 6.00 mol/L 时对 Pb(II) 传输的影响, 实验结果如图 4 所示。

实验结果表明, $-\ln(c_t/c_0)$ 与 t 呈良好的线性关系, 其直线斜率随 HCl 浓度的变化而变化。在 $c(\text{HCl})$ 为 2.00 ~ 5.00 mol/L 范围内, 其直线斜率随解析相 HCl 浓度的增大而增大, 当 HCl 浓度继续增大, 直线斜率下降。这是因为, 解析相中 HCl 浓度过大, 在解析相中形成的分散液不稳定, 反萃取过程不能持续有效地进行, 不利于 Pb(II) 的传输; 解析相 HCl 浓度过小, 对金属离子的反萃取性能下降, 也不利于 Pb(II) 的传输。解析相中 HCl 浓度为 5.00 mol/L 时, Pb(II) 得到了很好的传输。

2.4 Pb(II) 初始浓度对 Pb(II) 传输的影响

在上述已选取的实验条件下, Pb(II) 初始浓度分别为 1.00×10^{-4} 、 2.00×10^{-4} 、 3.00×10^{-4} 、 4.00×10^{-4} 和 5.00×10^{-4} mol/L 时, 考察了 Pb(II) 的传输情况, 实验结果见图 5。

结果表明, 在一定的传输时间内, $-\ln(c_t/c_0) \sim t$ 呈良好的线性关系, 随着料液相 Pb(II) 初始浓度

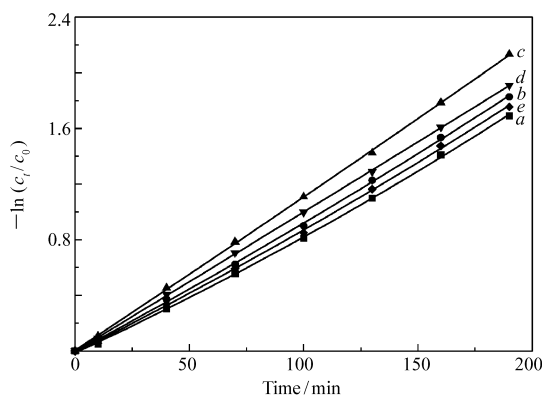


图 2 料液相 pH 值对 Pb(II) 传输的影响

Fig.2 Effect of pH in feed phase on transport of Pb(II)

pH: a. 4.75; b. 5.00; c. 5.25; d. 5.50; e. 5.75

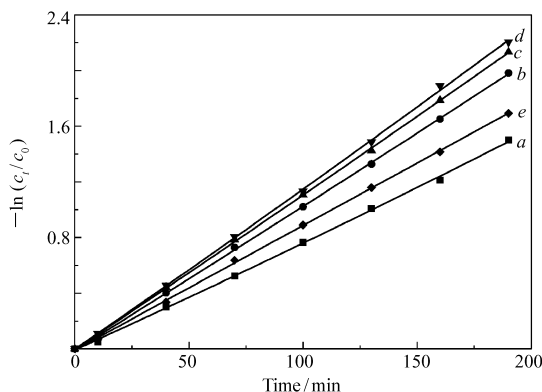


图 4 HCl 浓度对 Pb(II) 传输的影响

Fig.4 Effect of concentration of HCl in stripping phase on transport of Pb(II)

$c(\text{HCl})/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$: a. 2.00; b. 3.00; c. 4.00; d. 5.00; e. 6.00

的增大,直线斜率先增大,随后逐渐变小。这是因为,Pb(Ⅱ)离子的液膜传输过程是一个非平衡传输过程,其传输效果除受料液相酸度、解析剂及其浓度的影响外,还与载体浓度及膜面积有关。当载体浓度及膜面积一定时,在单位时间里传输的 Pb(Ⅱ)的量是一定的。所以当 Pb(Ⅱ)初始浓度超过某一稳定值后,其传输率不再增加。在最佳实验条件下,Pb(Ⅱ)初始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L 时,190 min 传输率达到 88.9%。

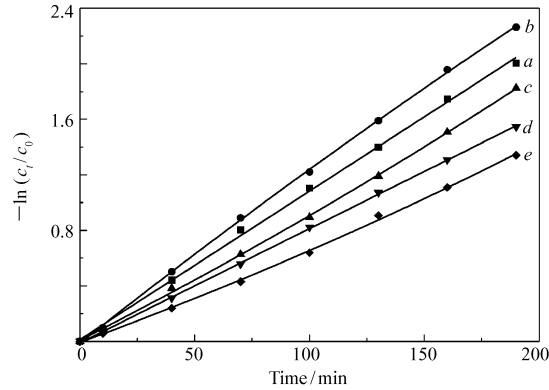


图5 Pb(Ⅱ)的初始浓度对 Pb(Ⅱ)传输的影响
Fig.5 Effect of initial concentration on transport of Pb(Ⅱ)
 $c_0(\text{Pb(Ⅱ)})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$: a. 1.00×10^{-4} ; b. 2.00×10^{-4} ;
c. 3.00×10^{-4} ; d. 4.00×10^{-4} ; e. 5.00×10^{-4}

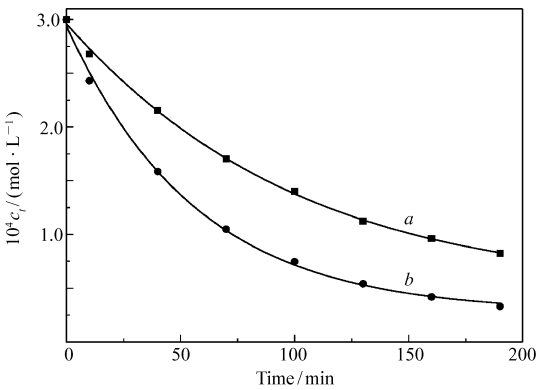


图6 分散支撑液膜与传统支撑液膜对比实验
Fig.6 Comparison of DSLM with traditional SLM
a. SLM; b. DSLM

2.5 分散支撑液膜体系的有效性

在最佳传输条件下,选择 Pb(Ⅱ)起始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L,与传统支撑液膜分离(实验条件为:料液相 pH = 5.5,解析相 HCl 浓度为 4.5 mol/L)进行了对比,结果如图 6 所示。从图 6 可看出,分散支撑液膜具有较高的传输效率,190 min,Pb(Ⅱ)的传输率可以达到 88.9%,而传统支撑液膜只有 72.3%,传输率提高了 22.9%。

3 结 论

PC-88A-煤油-HCl 分散支撑液膜体系对 Pb(Ⅱ)有明显的传输作用。在该体系中,料液相 pH 值、Pb(Ⅱ)初始浓度、解析相中膜溶液与解析剂体积比及解析相中 HCl 浓度均会影响 Pb(Ⅱ)的传输;结果表明,当料液 pH = 5.25、Pb(Ⅱ)起始浓度为 3.00×10^{-4} mol/L、解析相中 HCl 浓度为 5.00 mol/L、解析相中膜溶液与解析剂体积比为 160:40 时,Pb(Ⅱ)得到了最佳的传输,190 min 传输时间传输率达到 88.9%,而传统支撑液膜只有 72.3%,传输率提高 22.9%。

参 考 文 献

[1] LIU Huajie, WU Qingsheng, DING Yaping, *et al.* Biomimetic Synthesis of Metastable PbCrO₄ Nanoparticles by Emulsion Liquid Membrane System with Carrier and Coupled Treatment of Pb(Ⅱ) and Cr(VI) Wastewaters[J]. *Acta Chim Sin*, 2004, **62**(10):946-950,925 (in Chinese).
柳华杰,吴庆生,丁亚平,等. 载体乳化液膜法同步进行亚稳相 PbCrO₄ 纳米粒子的仿生合成与铅铬废水的处理[J]. *化学学报*, 2004, **62**(10):946-950,925.
[2] Carolina M, Manuel G V, Carlos M. Screening of Dissolved Heavy Metals (Cu, Zn, Mn, Al, Cd, Ni, Pb) in Seawater by a Liquid-membrane-ICP-MS Approach[J]. *Anal Bioanal Chem*, 2008, **391**(3):773-778.
[3] Andrzej O, Janusz W, Romuald W. Selective Lead(Ⅱ) Transport in a Liquid Membrane System with Octylsulfanylacetic Acid Ionophore[J]. *Desalination*, 2010, **252**(1/3):40-45.
[4] Parham H, Shamsipur M. Selective Membrane Transport of Pb²⁺ Ion by a Cooperative Carrier Composed of 18-crown-6, Tetrabutylammonium Iodide and Palmitic Acid[J]. *J Membr Sci*, 1994, **95**(1):21-27.
[5] ZHANG Yuan, LUO Wenhong, LI Hui. Determination of Trace Lead in Water Samples and Salt Samples by Graphite

- Furnace Atomic Absorption Spectrometry after Cloud Point Extraction[J]. *Spectrosc Spectr Anal*,2006,**26**(7):1349-1351 (in Chinese).
- 张源,罗文鸿,李慧. 浊点萃取-石墨炉原子吸收法测定高盐样品中的痕量铅[J]. *光谱学与光谱分析*,2006,**26**(7):1349-1351.
- [6] XU Ying,LUO Yulan,WEI Guangyan. Treatment of Lead Contained Wastewater by Heavy Metal Capturing Agent[J]. *Environ Sci Technol*,2006,**29**(5):75-76(in Chinese).
- 徐颖,罗玉兰,魏广艳. 重金属捕集剂处理含铅废水的试验研究[J]. *环境科学与技术*,2006,**29**(5):75-76.
- [7] SHAN Haixia,LI Zaijun. Novel Ionic Liquid as Solvent for Preconcentration of Trace Lead in Dialysis Fluids and Its Determination by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry[J]. *Spectrosc Spectr Anal*,2008,**28**(1):214-217(in Chinese).
- 单海霞,李在均. 新型离子液体预富集-石墨炉原子吸收法测定透析液中超痕量铅[J]. *光谱学与光谱分析*,2008,**28**(1):214-217.
- [8] ZHANG Dong,SU Huidong,GAO Hong,*et al.* Adsorption Behavior of Barium – Strontium Titanate Powder Coated by Dithizone for Lead Ion in Water[J]. *Acta Chim Sin*,2007,**65**(22):2549-2554(in Chinese).
- 张东,苏会东,高虹,等. 双硫脲包覆钛酸锶钡粉体对水中铅的吸附行为[J]. *化学学报*,2007,**65**(22):2549-2554.
- [9] XIAO Shanmei,CHEN Jianrong,SHEN Yuqin. Determination of Lead in Water Samples by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry after Cloud Point Extraction with Dithizone[J]. *Spectrosc Spectr Anal*,2006,**26**(5):955-958(in Chinese).
- 肖珊美,陈建荣,沈玉勤. 双硫脲浊点萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定环境水样中痕量铅的研究[J]. *光谱学与光谱分析*,2006,**26**(5):955-958.
- [10] Fakhari A R,Khorrami A R,Shamsipur M. Selective Uphill Zn^{2+} Transport *via* a Bulk Liquid Membrane using an Azacrown Ether Carrier[J]. *Sep Purif Technol*,2006,**50**:77.
- [11] Miguel E R de S,Liu J F,Mayer P,*et al.* Multivariate Analysis of Selected Metal Ion Transport through a Hollow-Fiber Supported Liquid Membrane Device used for Passive Sampling Monitoring[J]. *Solvent Extr Ion Exch*,2008,**26**(5):602-623.
- [12] LIU Xinfang,HE Dingsheng,MA Ming,*et al.* Study on Separation of Binary Cd(Ⅱ) and Zinc(Ⅱ) by a Tri-*n*-octyl-amine-Secondaryoctyl Alcohol-Kerosene Hybrid Liquid Membrane[J]. *Chinese J Inorg Chem*,2003,**19**(12):1295-1300 (in Chinese).
- 刘新芳,何鼎胜,马铭,等. 三正辛胺-仲辛醇-煤油组合液膜分离镉锌的研究[J]. *无机化学学报*,2003,**19**(12):1295-1300.
- [13] Belkhouche N E,Didi M A,Romero R,*et al.* Study of New Organophosphorus Derivates Carriers on the Selective Recovery of M(Ⅱ) and M(Ⅲ) Metals, using Supported Liquid Membrane Extraction[J]. *J Membr Sci*,2006,**284**(1/2):398-405.
- [14] Jeong T,Lee H K,Jeong D C,*et al.* A Lead(Ⅱ)-selective PVC Membrane Based on a Schiff Base Complex of *N,N'*-Bis(salicylidene)-2,6-pyridinediamine[J]. *Talanta*,2005,**65**(2):543-548.
- [15] Akhond M,Shamsipur M. Highly Efficient Cooperative Membrane Transport of Lead(Ⅱ) Ions by Aza-18-crown-6 and Palmitic Acid[J]. *Sep Sci Technol*,1997,**32**(7):1223-1232.
- [16] German S A,Ana N B F,Eduardo R de S M,*et al.* Transport Characterisation of a PIM System Used for the Extraction of Pb(Ⅱ) using d-ehpa as Carrier[J]. *J Membr Sci*,2005,**250**:247-257.
- [17] Gürel L,Altas L,Büyükgüng H. Removal of Lead from Wastewater Using Emulsion Liquid Membrane Technique[J]. *Environ Eng Sci*,2005,**22**(4):411.
- [18] XIAO Xinfeng,ZHANG Xinshen,GONG Zhengjun,*et al.* On-line Supported Liquid Membrane Enrichment-Flow Injection Spectrophotometric Determination of Trace Lead(Ⅱ) in Water[J]. *Chinese J Anal Chem*() [J],2006,**34**(6):855-858 (in Chinese).
- 肖新峰,张新申,龚正君,等. 支撑液膜在线萃取富集流动注射分光光度法测定水中的痕量铅[J]. *分析化学*,2006,**34**(6):855-858.
- [19] German S A,Bautista-Flores Ana Nelly,de San Miguel Eduardo Rodríguez,*et al.* Transport Characterization of a Pim System Used for the Extraction of Pb(Ⅱ) using D-HEHPA as Carrier[J]. *J Membr Sci*,2005,**250**(1/2):247.

[20] JIANG Guihua, LIU Chunming, WANG Xiaoju. Quasi Liquid Membrane Enrichment Separation and Determination of Trace Magnesium and Lead by Flame Atomic Absorption Spectrometry[J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 1999, **19**(5):732-733 (in Chinese).
蒋桂华,刘春明,王晓菊. 准液膜分离富集-火焰原子吸收法测定痕量镁、铅[J]. 光谱学与光谱分析, 1999, **19**(5): 732-733.

[21] YAO Binghua. Solvent Extraction of Metal Ions using Organic Phosphorous Compound as Wxtractant[D]. Fukui Japan: Fukui University, 1997.

[22] WU Xiaoning, YAO Binghua, FU Xinglong, *et al.* Study on Transport of Co(II) by Dispersion Supported Liquid Membrane System of PC-88A-Kerosene-HCl[J]. *J Xi'an Univ Technol*, 2008, **24**(2):187-191 (in Chinese).
吴小宁,姚秉华,付兴隆,等. PC-88A-煤油-HCl 分散支撑液膜中 Co(II) 的传输研究[J]. 西安理工大学学报, 2008, **24**(2):187-191.

Study on Transportation of Pb(II) by Dispersion Supported Liquid Membrane System

WU Xiaoning^{a,b*}, YAO Binghua^b, FENG Jinyang^{a,b}

(^a*School of Materials and Chemical Engineerings, Xi'an Technological University, Xi'an 710032;*

^b*School of Sciences, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054)*

Abstract Supported liquid membrane separation processes have recently received considerable attention due to characteristics such as fast mass transfer, high selectivity and separation efficiency, lower operation costs and no secondary pollution. They are particularly suitable for the separation and enrichment of heavy metal ions. However, supported liquid membrane separation processes are limited in large-scale industrial applications due to membrane instability and short membrane life. The transportation and separation of Pb(II) through a PC-88A-kerosene-HCl dispersion supported liquid membrane (DSLM), based on the theoretical study of the existing supported liquid membrane (SLM) separation technology, is reported. The effects of pH value in the feed phase, volume ratio of liquid membrane phase and hydrochloric acid, concentrations of HCl in the strip phase and initial concentration of Pb(II) in the feed phase are also studied. The results show that lead ion can be transported effectively when pH = 5. 25 in the feed phase, the volume ratio is 160:40, concentrations of HCl in the strip phase is 5. 00 mol/L. The transport rate of Pb(II) can reach to 88. 9% through DSLM, and 72. 3% through traditional SLM, respectively, under the optimum condition, and the transport time is 190 min for initial concentration of $3. 00 \times 10^{-4}$ mol/L Pb(II). It shows that DSLM has a high transmission efficiency in comparison with conventional SLM. At the same time, the system can improve the stability of the membrane and extend the life of the membrane.

Keywords liquid membrane, dispersion supported liquid membrane, organic phosphonic acid, lead(II)