文章编号：1005-2712(2006)01-0028-05

# 液膜分离技术及其在金属离子分离富集中的应用研究进展

沈江南[1]，裘俊红[1]，黄万抚[2]
（1.浙江工业大学化材学院，浙江 杭州 310014；2.江西理工大学科技产业处，江西 赣州 341000）

摘 要：介绍了液膜的基本概念、分类和分离机理。与传统分离提纯技术相比，液膜分离技术具有简便、高效且成本低的特点。综述了液膜分离技术在金属离子分离和富集中的应用进展，并指出其发展前景。

关键词：液膜；分离；富集；金属离子
中图分类号：TQ028　　文献标识码：A

液膜分离是 60 年代中期诞生的一种新型的膜分离技术。它具有膜分离的一般特点，主要是依据膜对不同物质具有选择性渗透的性质来进行组分的分离。自 20 世纪 60 年代美国林登埃克森研究与工程公司黎念之博士（N.N,Li）发明后[1]，各国学者相继开展了大量的研究。该技术在湿法冶金、金属离子回收、废水处理、生物制品分离与生物医药分离、化工分离等方面已显示出广泛的应用前景。目前液膜技术处理农药厂废水已实现工业化，在含锌废水处理中已进行了工业试验，液膜技术分离宇宙飞船中 $CO_2$ 也已成功得到应用，液膜分离技术正在得到迅速的发展。

## 1 液膜分离技术介绍

液膜通常由膜溶剂、表面活性剂、流动载体和膜增强添加剂组成[2]。膜溶剂是液膜的主体，它对液膜体系的性能有一定的影响，一般选用煤油作膜溶剂，选择的依据是液膜的稳定性和对溶质的溶解性。表面活性剂是液膜的主要成分之一，它不仅对液膜的稳定性起决定作用，而且对组分通过液膜的传质速率和破乳、油相回用等都有显著影响。流动载体的作用是它能够快速、高效、选择性地传输指定的物质。膜增强添加剂用于进一步提高膜的稳定性。

按构型和操作方式的不同，液膜分为乳状液膜、支撑液膜、包容液膜、静电式准液膜。乳状液膜是利用表面活性剂的乳化作用将两种互不相溶的液相制成乳液，然后将乳液分散在第三相（连续相）中而得到的。根据成膜材料即水膜和油膜的不同，将上述多重乳液分为 O/W/O 型和 W/O/W 型。支撑液膜是利用界面张力和毛细管力作用，将膜相附着在多孔支撑体的微孔中制成。静电式准液膜是 80 年代中期发展起来的新型液膜技术，该技术将静电相分散技术与液膜原理相结合，实现了萃取和反萃取在同一反应槽内的耦合，具备液膜过程所特有的非平衡传质特性。

## 2 液膜分离的分离机理

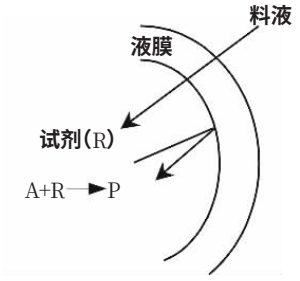
乳状液膜根据膜相中是否含有载体可分为非流动载体液膜和流动载体液膜[3]。其促进传递机理如图 1 所示。

### 2.1 非流动载体的液膜传质机理

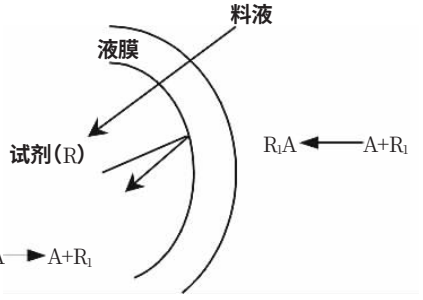
当液膜中不含流动载体时，其分离的选择性主要取决于溶质在液膜中的溶解度。溶解度相差大，才能产生选择性，即混合物中的一种溶质的渗透速度要高。渗透速度是扩散系数和分配系数的乘积，由于扩散系数很接近（在一定的膜溶剂中），所以分配系数的差别就成为设计非流动载体液膜选择性的关键。分配系数乃是溶质在膜相和料液相中的溶解度

收稿日期：2005-12-28
基金项目：国家自然科学基金项目（20276014）
作者简介：沈江南（1976-），男，浙江上虞人，博士，讲师，主要从事膜分离技术和资源利用方面的研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net




(a)




(b)

图 1　液膜分离机理

(a)非流动载体的液膜(b)含流动载体的液膜

比值，所以溶质在膜中溶解度不同就成了液膜选择性的决定因素。使用非流动载体液膜进行分离时，当膜两侧被迁移的溶质浓度相等时，传质便自行停止。因此，它不能产生浓缩效应。为了实现高效分离，可以采取在接受相内发生化学反应的办法来促进迁移，它的机理是通过在乳状液形成液膜的封闭相中引起一个选择性不可逆反应，使特定的迁移溶质或离子与封闭相中的另一部分相互作用，变成一种不能逆扩散穿过膜的新产物，从而使封闭相中的渗透物的浓度实质上为 0，保持渗透物在液膜两侧有最大的浓度梯度，此即促进输送，也叫 I 型促进迁移。利用这一办法，可以把强酸或碱的水溶液封闭在乳状液油膜中，以达到从废水中除去弱酸或弱碱组分的目的。

### 2.2　含流动载体液膜的分离机理

使用含流动载体的液膜，其选择性分离主要取决于所添加的流动载体，因此提高液膜的选择性的关键在于找到合适的流动载体。载体可以是萃取剂、络合剂、载体在膜内外两个界面之间来回穿梭地传递被迁移的物质。通过流动载体和被迁移物质之间液体离子交换剂等。流动载体除了能提高选择性之外，还能增大溶质通量，它实质上是流动选择性可逆反应，极大的提高了渗透溶质在液膜中的溶解度，而且增大了膜内浓度梯度，提高了输送效果。这种机理叫载体输送，又叫 II 型促进迁移。液膜所以能够进行化学仿生，就在于含流动载体的液膜在选择性、渗透性和定向性等三个方面类似于生物细胞膜的功能。因而液膜分离能使浓缩和分离两步合二为一同时进行，这是分离科学中的一个重要突破。

## 3　液膜分离技术在金属回收中的应用

### 3.1　液膜分离技术分离回收稀土

在我国蕴藏着丰富的低品位稀土矿，与其他稀土矿床相比，具有规模大、中重稀土配分高，易采选、提取工艺简单、回收率高等优点，有较高的经济价值。在低品位稀土矿山，目前主要采用电解质溶液浸出处理矿石，最近也有用电解质溶液原地浸出提取稀土元素。无论堆浸还是原地浸出，对浸出液处理都是采用草酸或碳铵沉淀稀土。但是，目前我国在稀土的深加工、新材料的开发和应用等方面，和国外先进国家相比还有一定的差距。为此，为了生产出纯度高、成本低的单一稀土，必须寻求高效低成本的分离技术。

液膜提取稀土离子的特点是流程短、速度快、富集比大、试剂少、成本低，具有广阔的工业应用前景。工藤彻一 [4] 首先报道了用液膜法分离铕（Eu）和镨（Pr），从此，用液膜法浓缩分离稀土的研究日渐增多。我国在这方面的研究始于 20 世纪 80 年代初 [5-9]，液膜提取稀土的情况见表 1。提取稀土的液膜体系组成为：一般有机溶剂采用煤油或磺化煤油，载体采用 LA，$P_{204}$、$P_{507}$ 等，内相采用 HCl、$HNO_3$ 等。对稀土浸出母液可根据需要进行分组、提纯、分离等操作。

在稀土矿的开发和有关稀土分离过程中，往往会排放出大量的稀土废水，严重地污染水源，危害人民的身体健康。因此，开展应用液膜技术处理稀土废水的研究具有重要的实际意义，一方面能保护环境，另一方面又能回收废水中的稀土离子。黄炳辉等 [22] 用 span80+$P_{204}$+煤油组成的液膜体系对江西某稀土分离厂所排放的稀土废水进行处理，经液膜处理后，废水中 $Re^{3+}$ 的浓度从 100~300 mg/L 降至 1 mg/L 以下，达到国家排放标准。同时经浓缩提取后稀土可作为原料，返回稀土分离厂进行重新利用[22]。车丽萍等[23]对用乳状液膜技术从含钍稀土废水中回收富集钍进行了研究，考察了由四氯化碳+N205+$P_{204}$+TBP+$HNO_3$ 组成的液膜体系的制乳条件、油内比、水乳比、pH 值和提取时间等因素的影响。

### 3.2　液膜分离技术分离回收铜离子

铜是重要的有色金属，2000 年全世界精铜的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 液膜提取稀土离子

| 有机相 | 内水相 | 外水相 | 提取效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 5%TBP+2%LMS-2+磺化煤油 | 0.1mol/L $NaHCO_3$ | $NH_4NO_3$ 100 mg/L Y(III) | 回收率 98%以上 | [9] |
| 3%Cyanex272+3%LMA-1+磺化煤油 | 2 mol/L HCl | 1 g/L 稀土矿浸矿液 | 提取率>90% | [10] |
| 3%$P_{204}$+2%LMA-1+95%磺化煤油 | 3 mol/L HCl | 500 mg/L La | 回收纯 La 84% | [11] |
| 3%LMS-2+2.5%$P_{507}$+磺化煤油 | 1 mol/L HCl | 稀土溶液 | 得纯度 97.4%铒和 99.8%钬 | [12] |
| 2%span80+12%$P_{507}$+86%煤油 | 6 mol/L HCl | 0.56 g/L 稀土母液 | 提取率 98%左右 | [13] |
| 0.04mol/LTBP+3%span80+二甲苯 | 0.15 mol/L $Na_2S_2O_3$ | 0.25 mol/L $HNO_3$ 钕(III) | 回收率 94%以上 | [14] |
| 9%TBP+3%L113B+磺化煤油 | 4%$NH_4NO_3$ | 1 g/L $Re^{3+}$ | 提取率 99.4%以上 | [15] |
| HNMBP+CHCl3 大块液膜 | 0.5 mol/L HCl | $Eu^{3+}$ $CH_3COONa$ | $Eu^{3+}$有显著的富集作用 | [16] |
| 5%$P_{204}$+5%L113B+90%磺化煤油 | HCl | 1.45 g/L $Re^{3+}$ | 回收率 99.9% | [17] |
| N205+$P_{507}$ 煤油+石蜡 | 8 mol/L HCl | 2.3 g/L $Re^{3+}$ | 提取率 94% | [18] |
| 12%$P_{507}$+3% span80+1%石蜡+84%磺化煤油 | 4 mol/L HCl | 0.287 g/L $Th^{3+}$ | 提取率 98% | [19] |
| 2% LMS-2+5%TRPO +93 %磺化煤油 | 15%$K_4$[ Fe (CN)$_6$] | 0.045 g/L $Ga^{3+}$ | 迁移率 98.5% | [20] |
| 1. 5% $P_{204}$+1. 0%LM S-2+磺化煤油 | 3 mol/L HCl | 稀土溶液 | $Tb^{3+}$迁移率达 90% | [21] |

产量达到 1 200 万 t/a，但随着铜矿石开采品位的逐渐下降，难处理矿石的增加，以及对 $SO_2$ 所造成的环境污染的普遍关注，人们必须开发利用新技术、新方法 [24]。

矿山浸出液的富集是铜湿法冶金的一个重要环节，传统的沉淀法、离子交换法以及溶剂萃取法虽然在此担当着重要角色，但并非是最好的工艺选择，因为各类矿山浸出液的溶质浓度往往较低，对于这类稀溶液的提取，沉淀法成本高，选择性差；离子交换法既需要吸附-解析的循环操作，又需要较严格的料液预处理工序；溶剂萃取法虽然选择性高，料液状态适应性强，但是以萃取平衡为特征的传质机理限制了萃取级传质效率的进一步提高，使分离过程所需要的级数较多，试剂的耗量较大。乳状液膜法以非平衡萃取为传质特征，实现了萃取过程与反萃取过程的合二为一，工艺步骤和有机试剂消耗少，矿渣可以利用，避免了环境污染，是一项既经济高效又环保的富集矿山浸出液的新工艺[25]。表 2 列出了一些乳

表 2 液膜法提取矿山浸出液铜离子

| 有机相 | 内水相 | 外水相 | 提取效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 6%Lix984+5%ECA4360J+磺化煤油 | 3mol/L HCl | pH=3~6 的蓝铜矿浸出液 | 提取率约 100% | [26] |
| Lix984+L113B+煤油 | 3mol/L $H_2SO_4$ | 0.406 g/L 铜矿堆浸溶液 | 提取率 99.1% | [27-28] |
| 3%DIPSA+3%正辛醇+3%TIBPS+3%LMS-2+煤油 | 1mol/L $H_2SO_4$ | 湿法冶锌的硫酸浸出液 | 提取率 99.9%以上 | [29] |
| 3%N235+3%蓝 113A+磺化煤油 | 0.5mol/L $H_2SO_4$ | 100 mg/L 金矿浸出液除金后液 | 提取率 99% | [30] |
| 6%Acorga M5640+2%(LMS-2+LMA-1)+磺化煤油 | 2~3mol/L $H_2SO_4$ | 低品位铜矿浸出液 | 提取率 100% | [31] |

状液膜提取矿山浸出液中铜的研究概况。

目前我国在采用乳化液膜技术处理铜矿山含铜废水的试验研究方面还是空白，但美国在这方面已有相关的报道。美国矿山局(USBM)[32]在亚利桑那州铜矿山用乳化液膜法，从矿山废水中进行了回收铜的试验。铜的回收率>90%，膜的溶胀率< 8%。乳状液在电聚结器中以温和条件破乳后，萃取剂用羟胺盐溶液再生，使活性浓度保持 85%后循环使用；铜溶液在标准条件下电积阴极铜，电流效率为 92. 6 %~93.1%。

### 3.3 液膜分离技术分离回收贵金属离子

贵金属的分离富集方法主要有火试金法、溶剂萃取法、吸附法、离子交换法、离子浮选等。在湿法冶金中，溶剂萃取是最常用的方法，但此法成本较高[33]。液膜法吸收有溶剂萃取的优点，特别适合稀贵金属的分离和富集。表 3 示出了液膜法分离富集贵金属的概况。

## 4 液膜的破乳

液膜分离技术作为一种新型的分离技术，正引起世界各国广大学者的极大兴趣和高度重视，其中有关乳状液的破乳再利用是此项技术实用化的关键之一。用于乳状液破乳的方法很多 如电破乳、研磨破乳、化学破乳、膜法破乳等。由于静电破乳与其它破乳方法相比具有操作简单，费用低，不污染回收内水相等优点，在乳状液膜分离技术处理金属矿山废水中一般采用静电破乳法[44]。破乳器的形状主要有箱式，平板式及圆柱式几种。破乳电压一般采用交流

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　液膜法分离富集贵金属

| 有机相 | 内水相 | 外水相 | 提取效果 | 参考文献 |
|---|---|---|---|---|
| 2%TOA+4%OLOA1200+72%煤油+液体石蜡 | 8%硫脲+2%HCl | 金矿氰化液 $Au(CN)^-_2$ | 提取率 99.8% | [34] |
| DOSO+蓝 113A+煤油+1,2- 二氯乙烷 | $Na_2SO_3$+NaOH | AuCl- 4, HCl, NaCl | 提取率>90% | [34] |
| 煤油+石油醚+D2EADTPA+TOA | $H_2C_2O_4$ | 0.025 mg/L $Au^{3+}$ | 提取率>99% | [35] |
| 5%TBP+2%- 2+93%磺化煤油 | 0.4mol/L 硫酸肼 | $AuCl^-_4$ | 一级回收率为 99. 9% | [36] |
| PSO+兰 113A+煤油+液体石蜡 | 8%硫脲+1%HCl | $AuCl^-_4$ | 一次提金>98% | [37] |
| N503+polyamineE644+煤油 | $Na_2SO_3$ | $AuCl^-_4$, HCl | 提取率 100% | [38] |
| 18%N816+7%L113B+67%磺化煤油 | 3.5% 氨水 | $Ag^+$ | 银回收率>99.2% | [39] |
| 3%N503+3%蓝 113A +煤油 | EDTA | Pd (II) | 钯提取率>98% | [40] |
| 0.1%TNOA+6%span80+煤油+EDTA 二钠盐 | 0.1 mol/L HCl | Pd (II) | 钯回收率>97% | [41] |
| 1%N7301+4% span80+煤油 | EDTA | Pd (II) | 钯提取率>96% | [42] |
| 6%N7301+4%蓝 113A+90%煤油 | 盐酸羟胺 | $PtCl^{2-}_6$ | 铂提取率 100% | [43] |

电，文献[45- 46]指出破乳电压为方波时破乳效果最好(与三角波和正弦波相比)。笔者研制了乳状液旋流、脉冲高压静电综合力场对连续破乳的影响，考察了影响乳状液破乳的主要因素；并对破乳机理进行了探讨[47]。结果表明，乳状液在高压静电场中产生旋流运动，从而使乳状液既受到静电场的静电作用而极化，又受到旋流剪切力的作用，在离心力和静电力的综合作用下实现连续破乳。黄万抚[48]分析了乳状液膜分离技术中静电破乳的主要影响因素，研究了乳状液在高压直流静电场和交流静电场中不同的破乳机理，结果表明，在高压直流静电场中需采用裸电极才能有效破乳，在交流静电场中使用裸电极或绝缘电极均可有效破乳。

## 5 结　语

液膜分离技术较传统工艺具有一定的优点，但该技术目前得到大规模应用的例子尚少，一方面是对液膜分离机理的研究尚不充分，还缺少足够的数据、资料来评价液膜技术在商业上应用的可能性和经济性；另一方面尚存在液膜的稳定性、乳状液膜的溶胀、破乳等技术问题。但液膜分离的高效、快速、高选择性、应用面广等优点使它多年来一直受到关注和研究，其有关理论和应用技术正在得到进一步完善和发展。随着液膜技术的进一步完善，液膜分离技术将会得到大规模的应用，特别是在湿法冶金、处理金属矿山废水等方面将会得到广泛的应用。

## 参考文献：


[1] Li N N. Separation hydrocarbons with liquid membrane : US, 3410794 [P]. 1968- 11- 12.

[2] 张瑞华. 液膜分离技术[M]. 南昌：江西人民出版社,1984: 10- 12.

[3] 严忠，孙文东. 乳液液膜分离原理及应用[M]. 北京：化学工业出版社,2004:6- 9.

[4] 工藤彻一，大场洋一. 液体薄膜による物质分离方法: JPA,137080 [P]. 1978- 11- 30.

[5] 张瑞华，江德先. 用乳状液膜从水溶液中提取混合稀土[J]. 膜科学与技术,1985, 5(4):70- 75.

[6] 张仲甫，张瑞华，汪德先. 用液膜技术浓缩和分离稀土溶液[J]. 膜科学与技术,1986, 6(1):41- 47.

[7] 郁建涵，王士柱，姜长印，等. 乳状液型液膜法提取稀土[J]. 稀土,1987, 48(1):1- 7.

[8] 刘振芳，张兴泰，范凉嘉. 液膜法从离子吸附型稀土矿提取稀土[J]. 稀土,1988, 55(2):3- 8.

[9] 莫启武，王向德，万印华，等. 磷酸三丁酯为载体的乳状液膜体系迁移钇(III) 的研究[J]. 现代化工,1999，19(5)：24- 26.

[10] 秦庆伟，赵恒勤，赖延清，等. Cyanex272 作载体的乳状液膜提取稀土的研究[J]. 矿冶工程,2002，22(3)：74- 78.

[11] 方建章，王向德，万印华，等. 乳状液膜法从轻稀土中分离镧的研究[J]. 膜科学与技术，1997，17(3)：36- 41.

[12] 刘雷，王向德，万印华，等. 乳状液膜法分离钬、铒的研究[J]. 膜科学与技术,1998，18(3)：23- 31.

[13] 黄万抚，王淀佐. 液膜技术提取稀土的试验研究[J]. 膜科学与技术,1998，18(6)：19- 21.

[14] 李全民，杨新立，刘奇，等. 用以磷酸三丁酯为载体的乳状液膜提取钕的研究[J]. 稀土,1995，16(6)：15- 18.

[15] 李玉萍，李莉芬，王献科. 液膜法提取高纯铽[J]. 中国钼业, 2001，25(6)：23- 26.

[16] 马铭，何鼎胜，刘燕. 铕离子(III) 在 HPMBP 为载体的大块液膜中的传输[J]. 湖南师范大学自然科学学报,1998，21(1)：40- 43.

[17] 文献，喻庆华，马荣骏. 用液膜萃取从稀土浸出液中提取稀土的研究[J]. 矿冶工程,1997，17(3)：47- 50.

[18] 张瑞华. 用乳状液膜从氯化钠型浸出液中浓缩稀土[J]. 江西有色金属,1999，13(4)：22- 25.

[19] 车丽萍，余永富，袁继，等. 乳状液膜技术提取钍的研究


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[J]. 过滤与分离,2005,15(3):12-15.
[20] 石太宏,汤兵,张秀娟. 液膜法从湿法炼锌系统中提取镓的研究[J]. 稀有金属,1998,22(1):1-4.
[21] 路淑斌,王向德,万印华,等. 无污染、快速液膜法分离稀土的系统研究——钆和铽、镝的分离[J]. 水处理技术,1997,23(1):7-11.
[22] 黄炳辉,黄培刚,汪德先,等. 用液膜技术处理稀土废水[J]. 膜科学与技术, 2004,24(5):74-76.
[23] 车丽萍,余永富,袁继祖,等. 混合载体乳状液膜技术处理含钍工业废水的试验研究[J]. 铀矿冶, 2005,24(2):82-85.
[24] 刘大星,蒋开喜,王成彦. 铜湿法冶金技术的现状及发展趋势[J]. 有色冶炼, 2000,29(4):1-5.
[25] 王文才,蔡嗣经,黄万抚. 乳化液膜技术分离提取 $Cu^{2+}$的应用研究进展[J]. 膜科学与技术,2004,24(6):57-60.
[26] 舒万艮,梁刚. 乳状液膜法分离提取 $Cu^{2+}$[J]. 膜科学与技术,1998,18(4):14-17.
[27] 黄万抚,王淀佐,胡永平. 乳状液膜技术自铜矿堆浸液回收 $Cu^{2+}$ 的研究[J]. 金属矿山,2002,312(6):17-19.
[28] 黄万抚. 乳状液膜提取堆浸液中 $Cu^{2+}$的理论分析与试验研究[J]. 膜科学技术,2003,23(3):28-31.
[29] 王向德,王军波. 乳状液膜用于湿法冶锌中除铜的研究[J]. 水处理技术, 1998,24(4):210-214.
[30] 聂仲文. 液膜法从金矿浸出液除金后液中提取铜[J]. 湿法冶金, 2000,19(2):18-21.
[31] 倪海勇,邓佐国,林衍洲,等. 以 Acorga M5640 为载体的乳状液膜分离富集铜[J]. 膜科学与技术,2004,24(2):40-44.
[32] Wright J B , Nilsen D N, Hundley G, et al . Field test of liquid emulsion membrane technique for copper recovery from mine solutions[J]. Minerals Engineering, 1995, 8 ( 4/5) : 549-556.
[33] 莫启武. 液膜法在贵金属分离富集中的应用[J]. 贵金属, 1996,17(2):46-49.
[34] 张瑞华. 乳状液膜提取黄金的研究[J]. 黄金,1990,11(7):22-26.
[35] 刘芙燕. 液膜法提金工艺[J]. 应用化学, 1998,15(10):83-86.
[36] 朱斌,王向德,张秀娟. 膜法提取单质金的迁移机理及其应用[J]. 水处理技术,1997,23(4):210-216.
[37] 罗喜清. 液膜技术提取黄金的试验研究[J]. 黄金,1992,13(3):35-39.
[38] 林国梁,王玉坤,刘飞. 采用液膜法从氰化浸出矿浆中提金的可行性研究探讨[J]. 黄金,2004,25(1):30-32.
[39] 李玉萍,王献科. 液膜分离富集银[J]. 中国钼业,2001,25(1):47-49.
[40] 王靖芳,冯彦琳,殷肖华,等. 乳状液膜法迁移及分离钯(Ⅱ)的研究[J]. 无机化学学报,1998,14(2):157-161.
[41] 张瑞华,全水清. 乳状液膜提取钯的研究[J]. 稀有金属 , 1994,18(1):14-17.
[42] 王靖芳,冯彦琳,窦丽珠,等. N 503 为载体的乳状液膜提取钯(Ⅱ)的研究[J]. 稀有金属, 2001,25(1):52-56.
[43] 刘璐,陈莆华. 乳状液膜法提取铂的动力学研究[J]. 南开大学学报, 2001,34(4):108-111.
[44] Lu Gang, Lu Qionghua, Li Pansheng. Break-down of liquid membrane emulsion under high electric field[J]. Journal of Membrane Science, 1997,128:1-6.
[45] 朱宪,蒋楚生. 乳状液膜分离技术中的交流高电压破乳器[J]. 化工学报,1995,56(5):625-630.
[46] 李思芽. 高压方波脉冲破乳电源的研制[J]. 膜科学与技术, 1988,8(4):40-44.
[47] 沈江南,黄万抚. 乳状液膜旋流静电综合力场连续破乳器研究[J]. 水处理技术,2005,4:36-41.
[48] 黄万抚. 乳状液膜静电破乳机理研究[J]. 化学工程, 2003,31(3):58-61.

# Application and Research Progresses of Liquid Membrane Technique on Separation and Concentration of Metal Ions

SHEN Jiang-nan[1], QIU Jun-hong[1], HUANG Wan-fu[2]
(1.College of Chem. Eng. & Materials Sci., Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310027, Zhejiang, China;
2.College of Environ. & Civil Eng., Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, 340012, Jiangxi, China)

Abstract: The concept, classification and process principle of liquid membrane are introduced. Liquid membrane technique is a simple, efficient and cost-saving method compared with conventional separation and purification techniques. The application process of liquid membrane technique on separation and concentration of metal ions are reviewed and its further developing potential is pointed out.

Key words: liquid membrane; separation; concentration; mental ions

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net