

Y 型微通道反应器强化反萃 P507-煤油溶液中 稀土铈的研究

刘 杰¹, 赵振敏², 黄 焜^{2,3}, 侯晓航¹, 申志豪¹, 刘文乾², 夏文香¹, 李金成¹

(1. 青岛理工大学, 山东 青岛 266520)

(2. 中国科学院青岛生物能源与过程研究所 中国科学院生物基材料重点实验室, 山东 青岛 266100)

(3. 北京科技大学, 北京 100083)

摘 要: 采用微通道反萃取模型装置, 以负载稀土铈离子的 P507-煤油溶液为研究对象, 系统考察了微通道反应器尺寸、盐酸浓度、进料流速和有机相中铈离子预负载量等因素对反萃取的影响。结果表明, 当微通道直径为 0.6 mm, 长度为 200 cm, 停留时间为 8.48 s 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率可达 88.41%; 盐酸浓度为 6 mol/L 时反萃率最高。与传统萃取方式相比, 微通道反萃取具有较高的反萃取效率, 总传质系数为传统萃取方式的 8~10 倍。

关键词: 微通道; 反萃取; P507; 铈; 传质

中图分类号: TF845⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)08-2869-06

溶剂萃取是稀土分离提纯的重要方法。现行工艺一般采用盐酸等反萃剂从酸性磷类萃取剂(如 P507, P204 等)的负载有机相中反萃和分离稀土。通常采用的反萃设备主要有槽式反应器(混合-澄清槽)、塔式反应器(筛板塔、填料塔、脉冲塔)、以及离心式反应器等^[1]。已有研究表明, 反萃工艺所使用的设备结构类型对反萃分离效率具有重要影响。但是, 迄今为止, 研究反萃装置对稀土反萃影响的报道很少。传统的设备在稀土反萃过程中普遍存在单级效率低、反应时间较长、容易乳化夹带损失等问题^[2-4]。因此, 开发经济、快速、高效的稀土反萃分离提纯技术和装备已成亟待解决的瓶颈难题。

微流体技术是基于微反应器和微通道的一种新型技术^[5-7]。已有大量研究表明, 将微流体技术与溶剂萃取技术相结合, 不仅可大大增加水油两相的接触面积, 还可以极大地缩短扩散距离, 提高两相间分子传递效率, 使得萃取效率显著提高^[8-10]。近年来, 也有研究将微流体技术应用于反萃取过程中。杨立秋等^[11]采用微通道反应器考察了有机相中铜离子的负载浓度、硫酸浓度、两相体积比和温度等因素对反萃取过程的影响。结果表明, 与传统设备相比, 微通道反应器体积小, 油水两相混合效果好, 反萃取时间短, 且景观总

传质系数高。李传华等^[12]研究了盐酸浓度、通道尺寸、停留时间等因素对有机相中负载 In^{3+} 反萃过程的影响。结果表明, 当接触时间为 25.2 s 时, In^{3+} 的反萃率即可达 99.76%。Jiang^[13]等采用 Y-Y 型微通道反应器考察了有机相中铜的负载浓度、硫酸浓度及两相比等因素对铜反萃取过程的影响。研究结果表明, 接触时间仅为 3.9 s 时, 铜的反萃取效率即可达 88.63%。由以上研究结果可知, 将微流体与反萃取技术相结合可快速、高效反萃取目标金属离子。但是, 截止目前将微流体技术应用于稀土反萃过程的研究还较少, 对微流体反萃取稀土的规律还缺乏深入的认识。

本研究采用 Y 型微通道反萃取模型装置, 以负载一定浓度稀土铈的 P507-煤油溶液为研究对象, 采用盐酸为反萃剂, 详细考察了微通道反萃取器的尺寸、盐酸浓度、进料流速、有机相预负载量等因素对有机相中稀土铈离子反萃取过程的影响, 为发展微通道反萃取稀土新方法提供理论依据与技术支持。

1 实 验

1.1 试剂与材料

有机萃取剂 P507 (2-乙基己基磷酸单 2-乙基己基酯) 为化学纯 (纯度 >95%), 购自于洛阳奥达化工有

收稿日期: 2019-12-30

基金项目: 国家自然科学基金 (51574213, 21606248); 山东省重点研发计划 (2018GSF117028); 省级大学生创新创业训练计划项目 (S201910429015)

作者简介: 刘 杰, 女, 1980 年生, 博士, 副教授, 青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东 青岛 266520, 电话: 0532-80662607, E-mail: liujie19801208@163.com

限公司。稀释剂为磺化煤油，购自于济南中国石化公司。氧化铈 (Er_2O_3 ; 分析纯) 购自于赣州顺源稀土材料有限公司。HCl (分析纯)、NaOH (分析纯) 和无水乙醇均购自于国药集团化学试剂有限公司。偶氮胂 III (分析纯, >95%) 购自于上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 实验设备和方法

图 1 为 Y 型微通道反萃取模型装置图。将配制好的有机相和盐酸装入储存瓶中，开启微型计量泵并调节其流速，将有机相与盐酸分别通过 Y 型接口泵入微通道反萃取器中，反应一定时间后流出。待混合液流出稳定后，用油水分离装置接取样品，并立即取下层水样进行测量。每个实验取 3 个平行样，每个样 1 mL。根据测定结果，计算铈离子的反萃率。

1.3 计算与分析方法

1.3.1 反萃率计算

反萃率的计算方法见下式：

$$\alpha = \frac{C_1 V_1}{C_2 V_2} \times 100\% \quad (1)$$

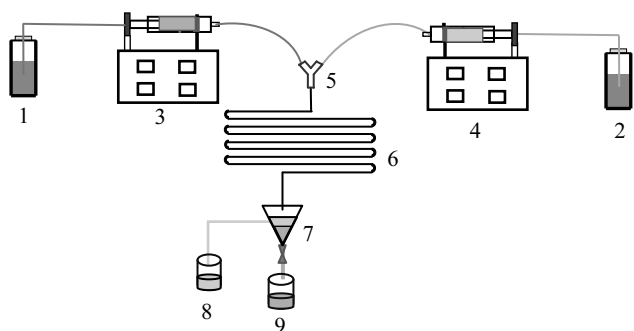
式中， α 为反萃率，%； C_1 为反萃后水相中稀土浓度，g/L； V_1 为反萃后水相体积，L； C_2 为负载有机相中稀土铈浓度，g/L； V_2 为参加反应的有机相体积，L。

1.3.2 总传质系数

总传质系数的计算方法为^[14]：

$$K_L a = \frac{1}{t} \ln \frac{(C_{\text{org,eq}} - C_{\text{org,in}})}{(C_{\text{org,eq}} - C_{\text{org,out}})} \quad (2)$$

式中， $C_{\text{org,eq}}$ 表示反萃取达到平衡时，有机相中 Er^{3+} 的浓度，g/L； $C_{\text{org,in}}$ 表示反应前有机相中 Er^{3+} 的浓度，g/L； $C_{\text{org,out}}$ 表示反应结束后有机相中 Er^{3+} 的浓度，g/L。 $K_L a$ 表示总传质系数， s^{-1} ； t 表示萃取时间。



1-stripping agent; 2-organic phase; 3, 4-micro-metering pump; 5-Y-type connector; 6-microchannel reactor; 7-oil-water separating unit; 8-organic phase after stripping; 9-aqueous phase after stripping

图 1 Y 型微通道反萃取模型装置

Fig.1 Model setup of Y-type microchannel for stripping

1.3.3 分析方法

水相中稀土铈离子的质量浓度采用美国安捷伦 ICP-MS7500 测定；pH 值采用梅特勒台式酸度计 S20 测定。

2 结果与讨论

2.1 微通道反萃取器长度对反萃率的影响

本研究中采用的有机相为 1.5 mol/L 的 P507-煤油溶液，有机相中稀土铈离子的预负载量为 2 g/L，反萃取剂盐酸的浓度为 6 mol/L，微通道反应器的内径为 0.6 mm，有机相和盐酸泵入微通道反萃取器的流速均为 2 mL/min。改变微通道反应器长度，考察其对有机相中稀土铈离子反萃率的影响，结果如图 2 所示。

从图 2 可知，随着微通道长度的增加，有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率不断升高。当微通道长度为 25 cm 时， Er^{3+} 的反萃率仅为 4.51%；反应器长度由 25 cm 增长 200 cm 时，稀土 Er^{3+} 的反萃率快速增加到 88.41%。随后随着长度增加，反萃率缓慢增加，当微通道长度为 400 cm 时， Er^{3+} 的反萃率可高达 99.56%。

反萃率与水油两相在反应器中的停留时间密切相关。停留时间可由微通道反应器长度直接进行计算。有机相与水相在微通道内的停留时间可通过公式 (3) 计算：

$$t = \frac{SL}{V} \quad (3)$$

式中， t 为停留时间，s； S 为微通道横截面积， cm^2 ； V 为微通道入口处盐酸和有机相在通道内体积流量的总和，mL/s； L 为微通道反应器的长度，cm。

本实验中当微通道长度为 25 cm 时，水油两相的停留时间为 1.06 s，反萃取率为 4.51%；当通道长度为 200 cm 时，停留时间为 8.48 s，反萃取率为 88.41%；而当通道长度为 400 cm 时，两相停留时间为 16.96 s，

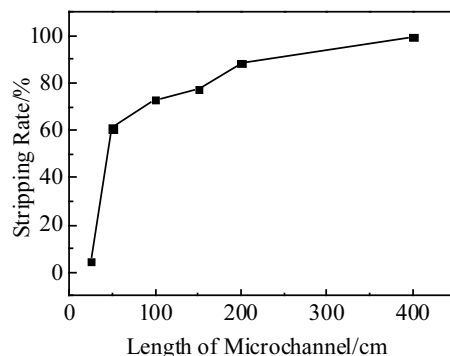


图 2 微通道长度对反萃率的影响

Fig.2 Effect of the microchannel length on stripping rate

反萃率达 99.56%。由此可知, 延长有机相与反萃取剂盐酸的接触时间可增加反萃率, 这也与 Jiang 等的研究结果相似^[13]。

而在实际操作中, 微通道长度越长, 反应体系压力越大, 而微通道反应器长度为 200 cm 时, 有机相中稀土铈的反萃率已达 88.41%。因此, 优选长度为 200 cm 的微通道反应器开展后续实验。

2.2 微通道反萃取器直径对反萃率的影响

本节中的有机相、盐酸浓度和进料流速与 2.1 节中的条件相同, 通过改变微通道反萃取器的直径, 考察其对有机相中稀土铈反萃率的影响, 实验结果如图 3 所示。

从图 3 可知, 随着微通道反萃取器直径的增加, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率不断降低。当微通道反萃取器的直径为 0.3 mm 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率为 92.08%; 当微通道直径增加至 0.6 mm 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率为 88.41%。与反应器直径为 0.3 mm 时相比, 反萃率略有降低。随着微通道反萃取器直径继续增大, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率快速降低。当微通道直径为 1.2 mm 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 反萃率仅为 46.81%; 当微通道直径再增加至 3.0 mm 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率降低至 41.79%。

反萃取效果与水油两相的传质接触面积密切相关。当微通道反应器长度一定, 进料速度一定时, 减小微通道反应器的直径, 在反应器中形成的有机相微乳液滴直径随之变小, 进而间接增大了有机相和盐酸在通道内的相接触面积, 有效传质面积相应增加; 与此同时, 减小微通道反应器的直径, 还可进一步缩短扩散距离, 强化液液传质过程。这一结论与李传华^[12]的研究结果相符, 李传华等在研究铈离子的萃取分离时发现铈离子的萃取率也会随着微通道直径的增加而显著降低。但是当微通道管径过小时, 反应器内压力

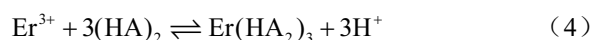
梯度的增加可能会打断其中一相形成分散相^[15], 易引起乳化, 不但会造成反萃取效率降低, 还会带来有机相损失。因此, 优选直径为 0.6 mm 的微通道反萃取器开展后续试验。

2.3 盐酸浓度对反萃率的影响

本节有机相为 1.5 mol/L 的 P507-煤油溶液, 有机相中稀土铈离子的预负载量为 2 g/L, 微通道反萃取器的长度分别为 100 和 200 cm, 微通道反萃取器的直径为 0.6 mm, 有机相和盐酸泵入微通道反萃取器的流速均为 2 mL/min。改变反萃取剂盐酸的浓度, 考察其对有机相中稀土铈离子反萃率的影响, 结果如图 4 所示。

由图 4 可看出, 采用微通道长度分别为 100 和 200 cm 的反萃取模型装置进行反萃取时, 随着盐酸浓度增加, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率均呈现先增加后降低的趋势, 盐酸浓度为 6 mol/L 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率均达到最大值, 分别为 73.22% 与 88.41%。盐酸浓度为 9 mol/L 时, 反萃率反而分别下降至 42.45% 与 33.55%。

P507 萃取稀土 Er^{3+} 和盐酸反萃有机相中稀土铈的反应方程式如式 (4) 所示^[1]:



从方程式 (4) 可知, 水溶液中 H^+ 的活度对 Er^{3+} 的反萃效率有着显著的影响。增加反萃酸浓度, 水溶液中 H^+ 的活度增大, 反应方程式向左移动, 有利于有机相中稀土铈的反萃取。因此, 当反萃取盐酸浓度从 1 mol/L 增加到 6 mol/L 时, 反萃率逐渐增加, 这与刘溢等^[16]的研究结论相同。但当盐酸浓度再增加至 9 mol/L 时, 其反萃率反而降低。黄焜^[17]等在研究钪的微乳萃取行为时曾提出: 当有机相与高浓度盐酸平衡时, 有机相中有序聚集的微乳水团内将形成“超浓盐酸”介质。由于萃入有机相的盐酸大多以未电离的 HCl 分子形式存在于微乳水团内, 导致参与反应的 H^+ 活度

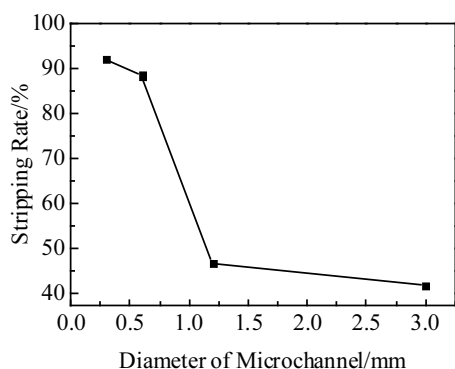


图3 微通道直径对反萃率的影响

Fig.3 Effect of the microchannel diameter on stripping rate

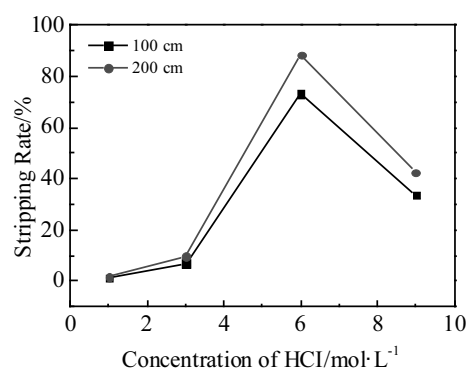


图4 盐酸浓度对反萃率的影响

Fig.4 Effect of HCl concentration on stripping rate

下降。而李剑虹^[18]等在研究酸度对 P204-HCl-H₃AOH 体系萃取 La 的机理影响中提出：当 pH>1 时，萃取过程遵循阳离子交换机制；当 0<pH≤1 时，萃取过程为阳离子交换机制和溶剂化配合双重机制；当 pH≤0 时，萃取反应为溶剂化过程。因此，采用高浓度盐酸反萃取 P507 有机相中负载稀土铈时反萃率的下降有可能是由于微乳水团内 H⁺活度下降或反萃取机理发生变化导致反萃取受到抑制。

为确定具体的影响机制，我们采用微通道长度为 200 cm 的反应器，测定反萃前后 H⁺的浓度变化，结果如图 5 所示。

由图 5 可看出，随着盐酸浓度升高，反萃前后 H⁺浓度差逐渐增加，即反萃过程中消耗的 H⁺逐渐增多，盐酸浓度为 9 mol/L 时，消耗的 H⁺的量最多，但反萃率却降低，这说明高酸条件下，反萃率降低的主要原因在于反萃取已经不是阳离子交换机制，而是以 HCl 分子的形式进行溶剂化反应。因此，盐酸浓度为 6 mol/L 时具有最好的反萃效果，故后续试验优选反萃剂盐酸浓度为 6 mol/L。

2.4 铈预负载量对反萃率的影响

本节固定微通道反萃取器长度为 200 cm，直径为 0.6 mm，有机相和盐酸泵入反萃取器的流速为 2 mL/min，分别改变有机相中 Er³⁺的预负载量和盐酸浓度，考察其对反萃率的影响，结果如图 6 所示。

从图 6 可知，随着盐酸浓度增加，Er³⁺的反萃率逐渐增加，但超过 6 mol/L 后，反萃率又降低。相同盐酸浓度条件下，有机相中铈负载量为 2 g/L 的反萃取率均高于负载量为 20 g/L 的反萃率。

由反应方程式 (4) 可知，有机相中负载稀土铈浓度增加，有利于反应向左移动，即有利于反萃取。Jiang 等^[13]研究微通道反萃取铜时，也得出随着有机相中负载铜浓度的增加，反萃取率增加。而本实验得到的结

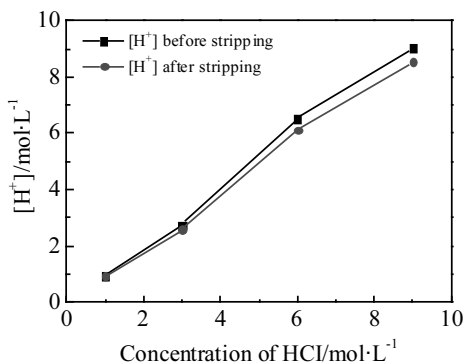


图 5 反萃前后 H⁺浓度变化图

Fig.5 H⁺ concentration variation before and after stripping

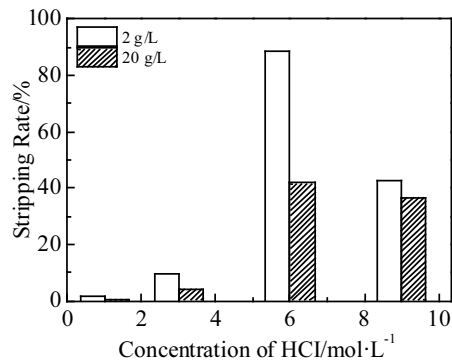


图 6 不同盐酸浓度条件下铈预负载量对反萃率的影响

Fig.6 Effect of loaded Er³⁺ concentration on the stripping rate with different HCl concentration

论却与上述理论和研究结果相反。究其原因，主要是因为本实验中有有机相中负载铈的浓度过高，当通道尺寸与盐酸的量一定时，一旦接触，大量铈离子被瞬间反萃进入水相形成氯化铈，水相中 H⁺的浓度急速下降，从而反萃率降低。对于高浓度负载稀土的有机相反萃取，可通过适当增加通道长度或减小通道直径来提高其反萃率。

2.5 流速对反萃率的影响

本节有机相为 1.5 mol/L 的 P507-煤油溶液，有机相中铈的预负载量为 2 g/L，盐酸浓度为 6 mol/L，微通道反应器长度分别为 100 和 200 cm，内径为 0.6 mm。改变有机相和盐酸泵入反萃取器的流速（有机相的流速等于水相的流速），考察其对反萃率的影响，结果如图 7 所示。

由图 7 可看出，随着两相流动速率增大，有机相中 Er³⁺的反萃率呈现下降趋势。有机相和水相流速从 0.1 mL/min 增加至 0.5 mL/min 时，Er³⁺的反萃率均快

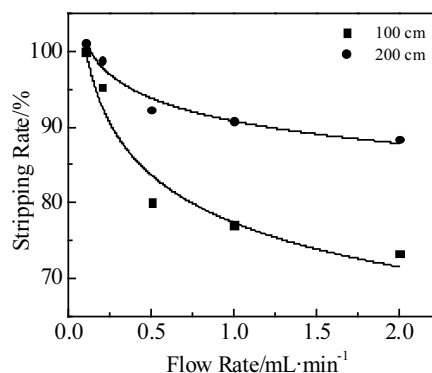


图 7 流速对反萃率的影响

Fig.7 Effect of the flow rate on stripping rate

表 1 微通道反应器与摇瓶、搅拌反萃取的实验结果对比

Method	Parameter	Reaction time/s	Stripping rate/%	$K_1 a/s^{-1}$
Microchannel reactor	Length: 400 cm	16.96	99.56	0.254
	Diameter: 0.6 mm			
Extraction by shaking	Frequency: 250 r/min	16.96	41.31	0.035
Extraction by stirring	Frequency: 100 r/min	16.96	28.06	0.021

Note: in the experiments, the concentration of HCl is 6 mol/L; the concentration of Er pre-loaded in the organic phase is 2 g/L; the ratio of organic and aqueous phases is 1:1

速下降; 有机相和水相流速从 0.5 mL/min 增加至 2.0 mL/min 时, Er^{3+} 的反萃率均缓慢下降。相同流速下, 当两相流速均为 0.1 mL/min 时, Er^{3+} 的反萃率均可达 100%; 其它流速下, 微通道长度为 200 cm 的反萃取效率均高于微通道长度为 100 cm 的反萃取率。这主要是因为当两相的流动速率较小时, 在反应器中形成稳定的层流流动, 油水两相接触时间长, 混合均匀, 传质更加充分, 反萃取效率高。当流速增大后, 一方面是两相接触时间变短, 另一方面高流速破坏了层流流动状态, 形成涡流, 混合不均匀, 降低了接触面积, 还易引起乳化, 从而使稀土反萃率降低。

2.6 与传统混合-澄清反萃方式的比较

为了进一步证实微通道反萃取的快速高效性, 采用摇瓶和搅拌的方式反萃取有机相中的稀土铈, 并分别计算了微通道、摇瓶与搅拌 3 种反萃取方式的总表观传质系数, 实验与计算结果如表 1 所示。

由表 1 可看出, 在反应时间均为 16.96 s, 相比均为 1:1 的条件下, 采用微通道反应取时, 有机相中铈的反萃率可达 99.56%, 总传质系数为 $0.254 s^{-1}$; 采用摇瓶和搅拌反萃时, 频率分别为 250 与 100 r/min 的条件下, 有机相中铈的反萃率也仅为 41.31% 和 28.06%, 总传质系数分别为 0.035 与 $0.021 s^{-1}$ 。微通道反萃取稀土铈的效率明显高于传统萃取方式, 总传质系数为传统萃取方式的 8~10 倍。

分析其原因, 传统的摇瓶或搅拌反萃取在外加能量混合的过程中, 局部区域盐酸被大量有机相包裹或者少量的有机相被大量盐酸包裹, 油水两相在反应器中混合不够均匀充分, 相接触面积小, 传质距离大, 传质系数小。而在微通道反应器中两相可被精准均匀分散, 相接触面积大, 传质距离小, 传质系数大, 反应可稳定发生^[15]。因此, 微通道反应器比传统的摇瓶和搅拌反萃取具有更好的反萃取效果。

3 结 论

1) 微通道尺寸对有机相中铈的反萃率有重要影响, 当微通道直径为 0.6 mm, 长度为 200 cm, 停留时

间为 8.48 s 时, 有机相中稀土 Er^{3+} 的反萃率可达 88.41%; 微通道长度延长至 400 cm 时, 反萃率可高达 99.56%。

2) 采用微通道反萃取器反萃取有机相中稀土铈离子时, 随着盐酸浓度增加, 反萃率先升高再降低, 盐酸浓度为 6 mol/L 时反萃率最高。这是因为在高酸度下, 阳离子交换萃取机理受到抑制, 导致反萃效率下降。

3) 采用微通道反萃取器反萃取有机相中稀土铈离子时, 随着两相流动速率的增加, 传质效果变差, 铈离子的反萃率呈下降趋势。

4) 在相同的实验条件下, 微通道、摇瓶与搅拌 3 种方式的反萃率分别为 99.56%、41.31% 和 28.06%, 总表观传质系数分别为 0.254 、 0.035 与 $0.021 s^{-1}$ 。微通道反萃取稀土铈的效率明显高于传统萃取方式, 总传质系数为传统萃取方式的 8~10 倍。

参考文献 References

- [1] Xu Guangxian(徐光宪). *Rare Earth(稀土)*[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1978
- [2] Wang Jiading(汪家鼎), Chen Jiayong(陈家镛). *Rare Earth Extraction Handbook(稀土萃取手册)*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001
- [3] Gong Xitai(公锡泰), Bao Weimin(鲍卫民), He Peijiong(何培炯). *Chinese Rare Earths(稀土)*[J], 1995, 16(2): 65
- [4] Li Zhong(李 中), Yuan Huixin(袁惠新). *Journal of Filtration and Separation(过滤与分离)*[J], 2007, 17(4): 42
- [5] Chen Guangwen(陈光文), Yuan Quan(袁 权). *Journal of Chemical Industry and Engineering(化工学报)*[J], 2003, 54(4): 427
- [6] Feng Ying(冯 颖), Wang Min(王 敏). *Progress in Chemistry(化学进展)*[J], 2006, 18(7): 966
- [7] Wang Lefu(王乐夫), Zhang Meiyong(张美英), Li Xuehui(李雪辉) et al. *Chemical Reaction Engineering and Technology(化学反应工程与工艺)*[J], 2001, 17(2): 174
- [8] Tu S T, Yu X, Luan W et al. *Chem Eng J*[J], 2010, 163(3): 165

- [9] Chen Zhuo, Wang Wenting, Sang Funing *et al. Sep Purif Technol*[J], 2017, 174: 352
Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017
- [10] Darekar M, Singh K K, Mukhopadhyay S *et al. Sep Purif Technol*[J], 2014, 128: 96
[15] Dessimoz A L, Cavin L, Renken A *et al. Chem Eng Sci*[J], 2008, 63(16): 4035
- [11] Yang Liqiu(杨立秋), Zhao Yuchao(赵玉潮), Chen Guangwen(陈光文). *Chemical Reaction Engineering and Technology* (化学反应工程与工艺)[J], 2012, 28(4): 306
[16] Liu Yi(刘 溢), Zhang Kuifang(张魁芳), LIU Zhiqiang(刘志强) *et al. Nonferrous Metals Engineering*(有色金属工程)[J], 2019, 9(11): 32
- [12] Li Chuanhua(李传华). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016
[17] Huang Kun(黄 焜), Xu Yizhuang(徐怡庄), Li Weihong(李维红) *et al. Chemical Journal of Chinese Universities*(高等学校化学学报)[J], 2008, 29(7): 1400
- [13] Jiang Feng, Pei Jiannan, Yin Shaohua *et al. Miner Eng*[J], 2018, 127: 296
[18] Li Jianhong(李剑虹), Chang Hongtao(常宏涛), Wu Wenyuan(吴文远). *Journal of Liaoning Shihua University*(辽宁石油化工大学学报)[J], 2010, 30(1): 15
- [14] Xiao Biquan(肖毕权). *Thesis for Master*(硕士论文)[D].

Study on Enhancing Stripping Loaded Erbium in P507-Kerosene Organic Solution by Y-Type Microchannel Reactor

Liu Jie¹, Zhao Zhenmin², Huang Kun^{2,3}, Hou Xiaohang¹, Shen Zhihao¹, Liu Wenqian², Xia Wenxiang¹, Li Jincheng¹

(1. Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

(2. CAS Key Laboratory of Bio-based Materials, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266100, China)

(3. University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: A novel method for stripping erbium from the pre-loaded P507-kerosene organic solution by a Y-type microchannel reactor was investigated. The effects of the microchannel size (length and diameter), the concentration of HCl, the flow rate and the concentration of loaded erbium in organic phase on the erbium stripping performance were focused on. The results show that when the diameter and length of the microchannel are 0.6 mm and 200 cm, respectively, and the residence time of the organic phase in the microchannel reactor is 8.48 s, the stripping rate of erbium from the pre-loaded organic phase could reach 88.41%. When the concentration of HCl increases, the stripping rate increases first and then drops; when its concentration is 6 mol/L, the stripping rate is the highest. Compared to the traditional mixer-settler extractor, the microchannel reactor exhibits a higher striping rate under the same condition, and the total mass transfer coefficient is 8 to 10 times higher than that of the traditional extraction methods.

Key words: microchannel; stripping; P507; Er; mass transfer

Corresponding author: Huang Kun, Ph. D., Professor, School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China, Tel: 0086-10-62332926, E-mail: huangkun@ustb.edu.cn