

双功能离子液体[A336][P507]在盐酸和硝酸介质中对Sc(Ⅲ)的萃取

沈璐^{a,b} 陈继^{a*} 邓岳锋^a

(^a中国科学院长春应用化学研究所稀土资源利用国家重点实验室 长春 130022; ^b中国科学院大学 北京 100049)

摘 要 利用双功能离子液体萃取剂三辛基甲基氯化铵 2-乙基己基磷酸 2-乙基己基酯盐([A336][P507])在HCl和HNO₃介质中对Sc(Ⅲ)的萃取和分离。研究表明,萃取剂在低酸度条件下,对Sc(Ⅲ)有较好的萃取能力;但是当水相酸度从0.5 mol/L增加到4 mol/L,Sc(Ⅲ)的萃取率有较大幅度的下降。并且讨论了在HCl介质和HNO₃介质中,[A336][P507]萃取Sc(Ⅲ)的机理,由于Sc(Ⅲ)的半径最小,而且在萃取过程中存在P=O与P—O的竞争作用,使得其萃合物结构与轻稀土不同。水相中加入盐析剂NaCl或NaNO₃对Sc(Ⅲ)的萃取有一定的促进作用;萃取过程的热力学参数的结果表明,萃取反应是放热反应。还研究了混合稀土中Sc(Ⅲ)和其它稀土离子的分离,在较低酸度的条件下萃取剂[A336][P507]对其它稀土离子的萃取可以忽略不计,因此该萃取体系对Sc(Ⅲ)和其它稀土离子有较好的分离效果,显示了本研究潜在的应用价值。

关键词 [A336][P507];萃取;Sc(Ⅲ);盐酸和硝酸介质

中图分类号:O616

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2016)03-0330-06

DOI:10.11944/j.issn.1000-0518.2016.03.150305

钪与镧系元素性质相似,属于17种稀土元素之一。由于钪及其化合物具有许多优异的性能,如熔点高、比重低,因此被广泛应用于航空航天、点光源、电子工业、核技术、超导技术等重要领域。钪在自然界中极其分散,但并不稀少,地壳中钪的丰度为 $5 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$ 。目前全世界的钪储量约为2000 kt,其中90%~95%赋存在铝土矿、磷块岩及铁硅矿中,少数分布在铀、钍、钨、稀土(RE)矿石中^[1]。我国钪资源储量居世界第一,已知的含钪矿物种类多达800多种^[2]。我国含钪的矿床有铝土矿和磷块岩矿床、华南稀土矿、内蒙古白云鄂博稀土铁矿床、四川攀枝花钒钛磁铁矿床等^[3-5]。由于钪原料组成复杂和品位低的特点,导致钪的分离和提取工艺过程复杂,钪的产量低,价格昂贵,因此深入研究钪的提取意义重大。

溶剂萃取法具有操作简便、成本低、分离效果好等优点,广泛地应用于稀土和稀有金属分离。钪与镧系元素性质相似,所以钪的萃取机理与其它稀土离子类似。但其离子半径在稀土元素中最小(0.068 nm),电子结构最为简单,使得其萃合物与其它半径较大的轻稀土又有些不同。一系列的萃取剂已应用于钪的萃取。二(2-乙基己基)磷酸(D2EHPA,P204)是萃取钪最常用的试剂之一,在盐酸介质中可将钪与大量共存离子分离^[6]。磷酸三丁脂(TBP)可以从盐酸或硝酸溶液中萃取钪,使其与其它稀土元素、铝、锆和钍等分离。100%的TBP在6 mol/L的盐酸介质中对钪的萃取率可达99%以上^[7]。甲基膦酸二甲庚酯(P350)的萃取能力比TBP大,选择性高,对于许多杂质元素来说,分离效果优于TBP。Cyanex 923和Cyanex 925也被用于从H₂SO₄和HCl介质中萃取和分离Sc(Ⅲ)、Zr(Ⅳ)、Ti(Ⅳ)、Th(Ⅳ)、Fe(Ⅲ)和Lu(Ⅲ)。并且与Cyanex 925相比,Cyanex 923有更好的萃取和分离Sc(Ⅲ)的能力^[8]。

离子液体也称室温离子液体(RTIL)或低温熔融盐,通常是指熔点低于100℃,全部由阴、阳两种离子组成的有机类离子化合物。离子液体已广泛应用于稀土元素的萃取分离^[9-10]。孙晓琦等^[11]以季铵盐

2015-08-24 收稿,2015-10-21 修回,2015-11-20 接受

国家自然科学基金(51174184)

通讯联系人:陈继,研究员;Tel/Fax:0431-85262646;E-mail:jchen@ciac.ac.cn;研究方向:离子液体在稀土绿色冶金过程中的基础及应用

Aliquat 336 为阳离子合成了一类双功能离子液体,如[A336][P507]、[A336][P204]、[A336][C272]、[A336][C302]、[A336][CA-12]、[A336][CA-100],并对这类离子液体萃取金属的性质进行研究,发现它们萃取金属的机理属于中性络合机理。在萃取稀土离子的过程中,表现出了较高的萃取能力和选择性,并且界面现象良好,酸碱消耗少^[12-14]。本文研究了离子液体[A336][P507]分别在 HCl 和 HNO₃ 介质中对 Sc(Ⅲ)的萃取,考察了水相酸度、萃取剂和盐析剂浓度等因素对 Sc(Ⅲ)萃取性能的影响,进一步完善了[A336][P507]萃取稀土的机理,并为发展从混合稀土中分离 Sc(Ⅲ)的研究提供了理论基础。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

iCAP 6000 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES,美国 Thermo 公司);三辛基甲基氯化铵(Aliquat 336,分析纯,美国 Aldrich 公司);萃取剂 2-乙基己基磷酸 2-乙基己基酯(P507)(洛阳奥达有限公司);实验用水为去离子水;RE(Ⅲ)储备液的配制:将 RE₂O₃(纯度 > 99.9%)溶于浓 HCl 或浓 HNO₃ 中,赶酸,再经去离子水稀释后定容。

1.2 离子液体[A336][P507]的制备

按照文献[11]方法制备离子液体[A336][P507]:取 112.36 g Aliquat 336 溶于 500 mL 经蒸馏过的异丙醇,使其完全溶解。圆底烧瓶中加入 6.39 g 金属钠,再加入 125 mL 经蒸馏过的异丙醇,在 50 ℃ 反应 3 h 制备醇钠。将上述溶液混合,于 50 ℃ 搅拌 4 h,制备[A336][OR](OR:(CH₃)₂CHO⁻)。将所得溶液在 4000 r/min 的条件下离心 10 min,除掉氯化钠沉淀。在滤液中加入 500 mL 去离子水,振荡 30 min,进行水解制备[A336][OH]。在[A336][OH]中加入 62.48 g P507(其中 $n([A336][OH]):n(P507) = 1.1:1$),将溶液在 50 ℃ 下回流搅拌 12 h,将所得溶液静置分相后,舍去下相,将上相于 80 ℃, 2000 Pa 下旋出所含异丙醇及水,得到[A336][P507]。

1.3 实验方法

Sc(Ⅲ)的萃取:分别取 1 mL 溶于正庚烷的[A336][P507]与 4 mL 的含有 Sc(Ⅲ)的水相于平衡管中,将平衡管放入恒温振荡器中预热 20 min,然后振荡 30 min,离心 3 min,使其充分分相,取一定体积的水相分析其浓度,再用差减法计算得到有机相中稀土离子的浓度。分配比(*D*)和萃取率(*E*/%)的计算公式如下:

$$D = \frac{V_a}{V_o} \times \frac{c_i - c_e}{c_e} \quad (1)$$

$$E/\% = \frac{c_i - c_e}{c_i} \times 100 \quad (2)$$

式中,*c_i*表示萃取前溶液中稀土离子的起始浓度(mol/L),*c_e*表示萃取后溶液中稀土离子的平衡浓度(mol/L),*V_a*表示水相体积,*V_o*表示有机相体积。

2 结果与讨论

2.1 水相 HCl 浓度或 HNO₃ 浓度对萃取的影响

在萃取实验中,探讨了 HCl 和 HNO₃ 浓度对 Sc(Ⅲ)的萃取率的影响,从图 1 可以看出,在[A336][P507]萃取体系中,随着 HCl 或 HNO₃ 浓度的增加,Sc(Ⅲ)的萃取率都有显著下降,产生这一结果的原因可能是在[A336][P507]萃取体系存在着 Sc(Ⅲ)与 HCl 或 HNO₃ 的萃取竞争^[14]。随着 HCl 或 HNO₃ 浓度的增加,有更多的酸被萃到有机相中,而 Sc(Ⅲ)仍然被留到水中,导致 Sc(Ⅲ)的分配比随着酸度的增加而下降。从图 1 可以观察到,在[H⁺] > 1 mol/L 时,Sc(Ⅲ)在 HNO₃ 介质中的萃取率要略高于在 HCl 介质中的萃取率,Cl⁻ 和 NO₃⁻ 参加萃取反应,它们的水化能对萃取有影响。Cl⁻ 的水化能(-363 kJ/mol)大于 NO₃⁻ 的水化能(-314 kJ/mol)可能是导致这一结果的主要原因。从红外谱图(图 2)中得到,1194 cm⁻¹ 归属为离子液体[A336][P507]的 P=O 双键的伸缩振动峰,在盐酸介质中,由

于P=O与Sc(Ⅲ)相络合,萃合物中的P=O的伸缩振动峰由 1194 cm^{-1} 移动到了 1132 cm^{-1} ;而在硝酸介质中,由于P=O与Sc(Ⅲ)相络合,萃合物中的P=O的伸缩振动峰由 1194 cm^{-1} 移动到了 1135 cm^{-1} 。

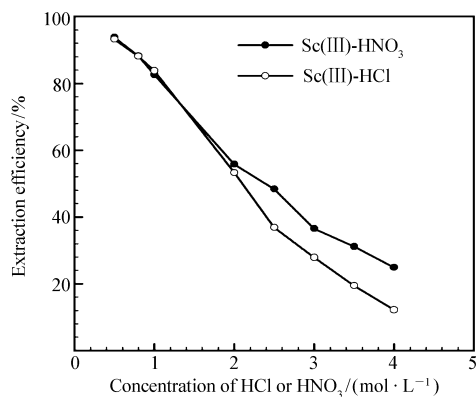


图1 HCl和 HNO_3 浓度对萃取Sc(Ⅲ)的影响

Fig. 1 Effect of the HCl or HNO_3 concentration on the extraction of Sc(Ⅲ)

$c([\text{A336}][\text{P507}]) = 0.02\text{ mol/L}$ $c_i(\text{Sc(Ⅲ)}) = 5.08 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$

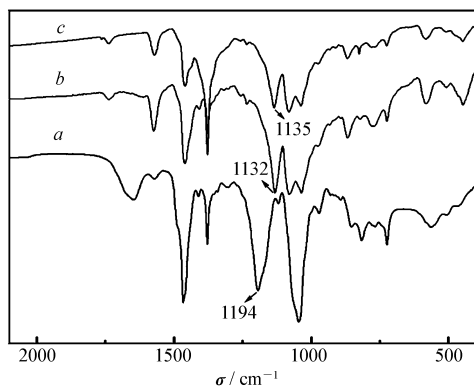


图2 红外谱图

Fig. 2 IR transmittance spectra of different systems
a. $[\text{A336}][\text{P507}]$; b. $[\text{A336}][\text{P507}]\text{-Sc(Ⅲ)}$ in HCl medium; c. $[\text{A336}][\text{P507}]\text{-Sc(Ⅲ)}$ in HNO_3 medium

2.2 萃取剂浓度的影响

为了更好的解释 $[\text{A336}][\text{P507}]$ 萃取体系的机理,用传统的斜率分析方法进行分析。图3中显示了Sc(Ⅲ)的分配比与萃取剂浓度的关系。随着萃取剂浓度的增大,Sc(Ⅲ)的分配比也增大。在HCl和 HNO_3 体系中,Sc(Ⅲ)的 $\lg D$ 对 $\lg c([\text{A336}][\text{P507}])$ 的直线的斜率均为2.8。说明在两个萃取体系中, $[\text{A336}][\text{P507}]$ 和Sc(Ⅲ)的化学计量比约为3:1。这与孙晓琦^[15]研究的用离子液体 $[\text{A336}][\text{P204}]$ 在 HNO_3 介质中萃取Eu(Ⅲ)的化学计量比是一致的。虽然孙晓琦的文章中已经提出 $[\text{A336}][\text{P204}]$ 萃取Eu(Ⅲ)的过程主要是萃取剂的P=O与 $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ 发生络合作用,并且得出水相 HNO_3 的浓度为 0.006 mol/L 时,萃合物中的Eu(Ⅲ)就可以被完全反萃下来。但是从本实验中可以观察到有机相中的Sc(Ⅲ)很难用高浓度的HCl或 HNO_3 完全反萃下来。这可能是因为Sc(Ⅲ)在所有稀土元素中离子半径最小,更容易与 $[\text{A336}][\text{P507}]$ 中的配位基团相结合,使得其萃合物结构与半径较大的轻稀土有所不同,在萃取过程中可能会形成新的配合物 $\text{Sc}(\text{Cl})_{3-n}[\text{P507}]_n \cdot (3-n)[\text{A336}][\text{P507}]$ ($n=1,2$ 或3),与Guo等^[12]提出的重稀土的萃合物结构一致。在萃取过程中, $[\text{A336}][\text{P507}]$ 中的P=O与P—O相互竞争与Sc(Ⅲ)发生作用,既存在P=O与Sc(Ⅲ)的作用($\text{P}=\text{O}=\text{Sc}$),也存在P—O与Sc(Ⅲ)相互作用($\text{P}-\text{O}\cdots\text{Sc}$),与 $\text{P}=\text{O}\cdots\text{Sc}$ 相比,P—O $\cdots\text{Sc}$ 的作用使得形成的萃合物更加稳定,这是导致Sc(Ⅲ)很难被反萃下来的主要原因。

2.3 盐析剂浓度对萃取的影响

在萃取过程中,盐析剂对萃取有重要的影响,因此,本文还分别研究了在HCl介质中加入不同浓度的NaCl以及在 HNO_3 介质中加入不同浓度的 NaNO_3 对 $[\text{A336}][\text{P507}]$ 萃取Sc(Ⅲ)的影响,结果如图4所示。在HCl介质中未加入NaCl时, $c(\text{HCl}) = 2.4\text{ mol/L}$,Sc(Ⅲ)的萃取率约为40%,从图4可以看出,加入NaCl以后,Sc(Ⅲ)的萃取率都大于40%;在 HNO_3 介质中未加入 NaNO_3 时, $c(\text{HNO}_3) = 3.2\text{ mol/L}$,

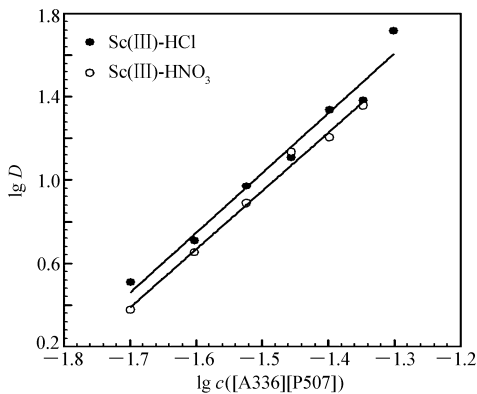


图3 萃取剂浓度对萃取Sc(Ⅲ)的影响

Fig. 3 Effect of the extractant concentration on the extraction of Sc(Ⅲ)

$c([\text{A336}][\text{P507}]) = 0.02\text{ mol/L}$, $c(\text{HCl}) = 2.4\text{ mol/L}$,
 $c(\text{HNO}_3) = 2.7\text{ mol/L}$, $c_i(\text{Sc(Ⅲ)}) = 5.08 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$

Sc(Ⅲ) 的萃取率约为 33%, 加入 NaNO₃ 以后, Sc(Ⅲ) 的萃取率均大于 33%。当盐析剂的浓度增大时, 两种介质中 Sc(Ⅲ) 的萃取率都略有增大, 这说明盐析剂在本实验中对萃取过程有一定的促进作用。随着盐析剂浓度的增加, 它对 Sc(Ⅲ) 萃取的影响与 Zhang 等^[13] 提出的盐析剂对其它稀土离子的影响是一致的。

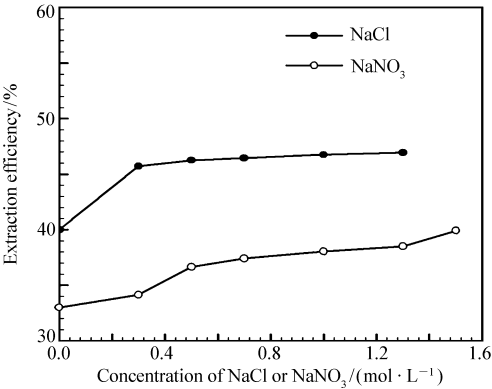


图 4 NaCl 和 NaNO₃ 对萃取的影响

Fig. 4 Effect of NaCl or NaNO₃ on the extraction of Sc(Ⅲ)
 $c([A336][P507]) = 0.02 \text{ mol/L}$, $c_i(\text{Sc(Ⅲ)}) = 5.08 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, $c(\text{HCl}) = 2.4 \text{ mol/L}$, $c(\text{HNO}_3) = 3.2 \text{ mol/L}$

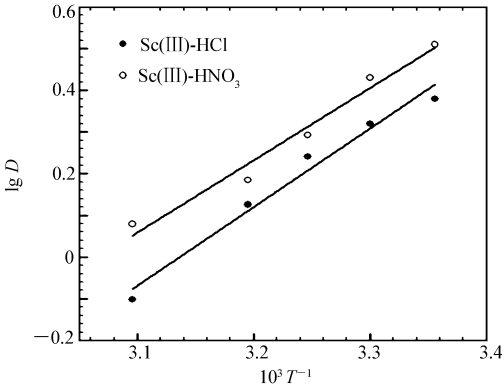


图 5 温度对萃取 Sc 的影响

Fig. 5 Effect of temperature on the extraction of Sc(Ⅲ)
 $c([A336][P507]) = 0.02 \text{ mol/L}$, $c(\text{HNO}_3) = 2.52 \text{ mol/L}$, $c_i(\text{Sc(Ⅲ)}) = 5.08 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, $c(\text{HCl}) = 2.45 \text{ mol/L}$

2.4 温度的影响

在固定的水相酸度, 萃取剂浓度的条件下, 研究了温度对萃取的影响, 测定了不同温度 (298 ~ 323 K) 下的 D 值, 以 $\lg D$ 对 $1000/T$ 作图, 结果如图 5 所示。随着温度的增加, Sc(Ⅲ) 的分配比降低。萃取过程中的焓变 ΔH 可由 van't Hoff 方程求得, 反应过程的吉布斯自由能 ΔG 和熵变 ΔS 可由方程(4)和(5)计算而得:

$$\lg D = \frac{-\Delta H}{2.303RT} + C \tag{3}$$

式中, R 为气体常数 ($\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$), C 为常数, 自由能 (ΔG) 与 (ΔS) 分别定义为:

$$\Delta = -RT \ln K \tag{4}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \tag{5}$$

求得的热力学常数列于表 1 中, [A336][P507] 在对 Sc(Ⅲ) 的萃取过程中 $\Delta H < 0$, 这说明整个萃取过程属于放热反应, 表明在低温下更适合萃取反应的进行。

表 1 萃取 Sc(Ⅲ) 的热力学参数
Table 1 Thermodynamic functions of Sc(Ⅲ)

Different media	$\Delta H/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$\Delta G/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$\Delta S/(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
HCl	-33.2	-0.55	-109.5
HNO ₃	-36.1	-0.41	-119.8

2.5 [A336][P507] 对 Sc(Ⅲ) 和其它稀土离子的选择性

本文研究了离子液体 [A336][P507] 在 HCl 和 HNO₃ 介质中对 Sc(Ⅲ) 和其它稀土离子的选择性。萃取有机相是 0.02 mol/L 的 [A336][P507], 水相是 $5.08 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 的 Sc(Ⅲ)、La(Ⅲ)、Nd(Ⅲ)、Eu(Ⅲ)、Y(Ⅲ)、Yb(Ⅲ) 和 Lu(Ⅲ) 的混合物, 相比 $O/A = 1:4$ 。从图 6 可以得出, 对于 [A336][P507], 随着 HNO₃ 浓度从 0.2 mol/L 增大到 1 mol/L, Sc(Ⅲ) 的萃取率从 99.5% 下降到 79.9%, 而在这个酸度范围内, 萃取剂对其它稀土离子的萃取率均为 0; 随着 HCl 浓度从 0.2 mol/L 增大到 1 mol/L, Sc(Ⅲ) 的萃取率从 96.8% 降低到 78.5%, 而对其它稀土离子的萃取基本可以忽略不计。从图 6 可以得出, 酸度

越低, Sc(Ⅲ)与其它稀土的分离效果越好,所以在 Sc(Ⅲ)与其它稀土的分离过程中,酸的消耗比较少。

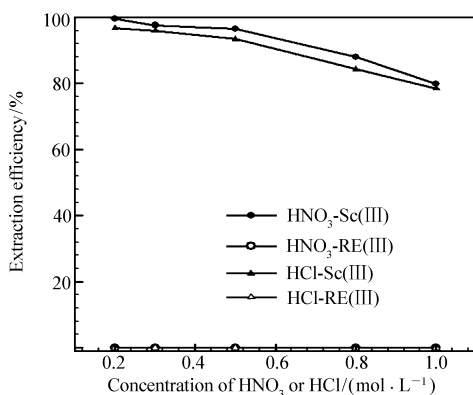


图6 分别在 HNO₃ 介质或 HCl 介质中对 Sc(Ⅲ) 和其它稀土混合物的萃取

Fig. 6 Extraction of the mixture of Sc(Ⅲ) and other REs(Ⅲ) in HCl medium or HNO₃ medium

RE represents La(Ⅲ), Nd(Ⅲ), Eu(Ⅲ), Y(Ⅲ), Yb(Ⅲ) or Lu(Ⅲ), $c([A336][P507]) = 0.02 \text{ mol/L}$, $[RE]_i = 5.08 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$

4 结 论

本文系统地研究了在 HCl 或 HNO₃ 介质中离子液体萃取剂 [A336][P507] 对 Sc(Ⅲ) 的萃取。在低酸度条件下, 对 Sc(Ⅲ) 的萃取能力比较高, 酸的消耗少。酸度对萃取的影响表明, 随着水相酸度的增大, 对 Sc(Ⅲ) 的萃取能力降低。由于 Sc(Ⅲ) 在所有稀土元素中的特殊性, 进一步讨论了 [A336][P507] 在 HCl 或 HNO₃ 介质中的萃取 Sc(Ⅲ) 的机理, 得到其萃合物结构与其它轻稀土有所不同。计算了萃取反应的热力学参数, 得出萃取反应是放热反应。盐析剂浓度对萃取的影响表明, 在 [A336][P507] 萃取体系中, 盐析剂 NaCl 和 NaNO₃ 的加入对 Sc(Ⅲ) 的萃取有一定的促进作用。在分离 Sc(Ⅲ) 和其它稀土离子的实验结果表明, 在低酸度条件下, 萃取剂对 Sc(Ⅲ) 和其它稀土离子有较好的分离效果。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Yuxue. Types of Sc Deposits and Research Prospects[J]. *Geol-Geochem*, 1997, **77**(60):116-119(in Chinese). 张玉学. 分散元素钪的矿床类型与研究前景[J]. *地质地球化学*, 1997, **77**(60):116-119.
- [2] CHI Ru'an, WANG Dianzuo. Rare Earth Dressing and Extraction Technology [M]. Beijing: Science Press, 1996:293 (in Chinese). 池汝安, 王淀佐. 稀土选矿与提取技术[M]. 北京: 科学出版社, 1996:293.
- [3] XIAO Jinkai. Distribution Characteristics of Industrial Waste Red Mud [J]. *Geol-Geochem*, 1996, (2): 82-86 (in Chinese). 肖金凯. 工业废渣赤泥中钪的分布特征[J]. *地质地球化学*, 1996, (2):82-86.
- [4] XIAO Jinkai, LEI Jianquan, XIA Xiang. Some Characteristics of Scandium in Bauxite from Central Guizhou as well as in Red Mud[J]. *Acta Miner Sin*, 1994, **14**(4):388-393 (in Chinese). 肖金凯, 雷剑泉, 夏祥. 黔中铝土矿及赤泥中钪的某些特征[J]. *矿物学报*, 1994, **14**(4):388-393.
- [5] LIAO Chunsheng, Xu Gang, JIA Jiangtao. Recovery and Application of Scandium-A Strategic Resource of New Century[J]. *J Chinese Rare Earth Soc*, 2001, **19**(1):289-297 (in Chinese). 廖春生, 徐刚, 贾江涛. 新世纪的战略资源-钪的提取与应用[J]. *中国稀土学报*, 2001, **19**(4):289-297.
- [6] WANG Xiquan. The Separation and Enrichment of Sc by P204 Solvent Extraction[J]. *Liaoning Chem Ind*, 1998, **27**(6):320-322 (in Chinese). 王喜全. 用 P204 作萃取剂分离富集钪[J]. *辽宁化工*, 1998, **27**(6):320-322.
- [7] Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences. Rare Earth Chemical Proceedings [M]. Beijing: Science Press, 1982 (in Chinese). 中国科学院长春应用化学研究所. 稀土化学论文集 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [8] Li D Q, Wang C. Solvent Extraction of Scandium(Ⅲ) by Cyanex 923 and Cyanex 925 [J]. *Hydrometallurgy*, 1998, **48**(3):301-312.

- [9] Whitehead J A, Lawrance G A, McCluskey A. 'Green' Leaching: Recyclable and Selective Leaching of Gold-Bearing Ore in An Ionic Liquid[J]. *Green Chem*, 2004, **6**(7):313-315.
- [10] Nakashima K, Kubota F, Maruyama T, *et al.* Ionic liquids as a Novel Solvent for Lanthanide Extraction[J]. *Anal Sci*, 2003, **19**(8):1097-1098.
- [11] Sun X Q, Ji Y, Liu Y, *et al.* An Engineering-Purpose Preparation Strategy for Ammonium-Type Ionic Liquid with High Purity[J]. *AIChE J*, 2010, **56**(4):989-996.
- [12] Guo L, Chen J, Shen L, *et al.* Highly Selective Extraction and Separation of Rare Earths(Ⅲ) Using Bifunctional Ionic Liquid Extractant[J]. *ACS Sustain Chem Eng*, 2014, **2**(8):1968-1975.
- [13] Zhang D L, Wang W, Deng Y F, *et al.* Extraction and Recovery of Cerium(Ⅳ) and Fluorine(Ⅰ) from Sulfuric Solutions Using Bifunctional Ionic Liquid Extractants[J]. *Chem Eng J*, 2012, **179**(1):19-25.
- [14] Wang W, Yang H L, Cui H M, *et al.* Application of Bifunctional Ionic Liquid Extractants [A336][CA-12] and [A336][CA-100] to the Lanthanum Extraction and Separation from Rare Earths in the Chloride Medium[J]. *Ind Eng Chem Res*, 2011, **50**(12):7534-7541.
- [15] Sun X Q, Ji Y, Hu F C, *et al.* The Inner Synergistic Effect of Bifunctional Ionic Liquid Extractant for Solvent Extraction[J]. *Talanta*, 2010, **81**(4/5):1877-1883.

Extraction of Sc(Ⅲ) Using a Bifunctional Ionic Liquid [A336][P507]

SHEN Lu^{a,b}, CHEN Ji^{a*}, DENG Yuefeng^a

(^aState Key Laboratory of Rare Earth Resources Utilization, Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

^bGraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Extraction of Sc(Ⅲ) from HNO₃ medium and HCl medium using a bifunctional ionic liquid extractant [A336][P507] was investigated. The results show that the extractability of Sc(Ⅲ) by [A336][P507] is high at low acidity. The extraction efficiency of Sc(Ⅲ) decreases when the aqueous phase acidity increases from 0.5 mol/L to 4 mol/L. The extraction mechanism was investigated. The extracted complex of Sc(Ⅲ) is different from light REs due to the smaller radius of Sc(Ⅲ) and the competitive effect of P—O and P=O. The extraction efficiency of Sc(Ⅲ) is enhanced with the increase concentration of NaCl or NaNO₃ in the aqueous phase. Thermodynamic functions of the extraction reaction demonstrate that the extraction of Sc(Ⅲ) is an exothermic process. Extraction of other rare earth ions at low acidity by the extractant is negligible suggesting that [A336][P507] has potential in industrial applications of Sc(Ⅲ) extraction and separation over other rare earth ions.

Keywords [A336][P507]; extraction; Sc(Ⅲ); hydrochloric acid medium and nitric acid medium

Received 2015-08-24; Revised 2015-10-21; Accepted 2015-11-20

Supported by National Basic Research Program of China (No. 2012CBA01202), the Natural Science Foundation of China (No. Grant 51174184)

Corresponding author: CHEN Ji, professor; Tel/Fax: 0431-85262646; E-mail: jchen@ciac.ac.cn; Research interests: green separation chemistry and technology