

文章编号: 1004-0609(2005)10-1648-07

用 N_{235} -TBP 混合体系从硫酸盐溶液中协同萃取除铁^①

刘 铭¹, 周雍茂²

(中南大学 冶金科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 研究了采用 N_{235} -TBP 协同萃取体系从硫酸盐溶液中萃取除铁, 考察了萃取体系、 N_{235} 浓度和料液初始 pH 值对 Fe(III) 萃取的影响以及相比(V_{org}/V_{aq})、 H_2SO_4 浓度和平衡 pH 值对 Fe(III) 反萃的影响。结果表明: N_{235} 和 TBP 对硫酸盐溶液中的 Fe(III) 具有协同萃取效应; 加入 TBP 能有效地抑制载铁有机相的分层, 提高 Fe(III) 的反萃率; 料液初始 pH 值及 N_{235} 浓度对 Fe(III) 的萃取率影响显著, 萃铁曲线的最高点随着 N_{235} 浓度的增大向低 pH 值方向移动; 以含 30% N_{235} 和 10% TBP (体积分数) 的有机相作萃取剂, 在相比(V_{org}/V_{aq}) 为 2:1 的条件下, 含铁 12.73 g/L 的合成料液经过 3 级错流萃取, 萃余液中含铁低于 0.15 g/L, 铁的总萃取率接近 99%; 以 0.4 mol/L 的 H_2SO_4 为反萃剂, 控制反萃液平衡 pH 小于 0.8, 铁的单级反萃率大于 96%; 含铁 7.05 g/L 的有机相在相比为 1:1 时, 经过 2 级错流反萃, 铁基本上被反萃完全, 贫有机相不经处理可以循环使用。

关键词: 硫酸盐溶液; 协同萃取; 反萃; 除铁; N_{235} ; TBP

中图分类号: TF 804.2

文献标识码: A

Removal of Fe(III) from sulphate solutions by synergistic extraction using N_{235} -TBP mixed solvent systems

LIU Ming, ZHOU Yong-mao

(School of Metallurgical Science and Engineering,
Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The removal of iron (III) from sulphate solutions was investigated by solvent extraction using a mixed solvent system consisting of tertiary amine (N_{235}) and tributyl phosphate (TBP). The effect of extraction systems, concentration of N_{235} and initial pH on the extraction of iron(III), as well as the effect of volume ratio of organic to aqueous(V_{org}/V_{aq}), concentration of sulfuric acid and equilibrium pH on the stripping of iron(III) in loaded organic phase were studied. The results demonstrate that the N_{235} -TBP system has a synergistic effect on the extraction of iron(III); By adding TBP in N_{235} , the demixing of loaded organic phase can be prevented and the stripping ratio of iron(III) increases. Initial pH and concentration of N_{235} have remarkable influences on iron(III) extraction, the maximum on the extraction curve moves towards the direction of low pH with increasing concentration of N_{235} . At $V_{org}:V_{aq}$ of 2:1, the concentration of iron(III) in raffinate is less than 0.15 g/L after a three-stage cross-flow extraction with a organic phase consisting of 30% N_{235} and 10% TBP and a total extraction ratio of nearly 99% is achieved for a feed solution containing 12.73 g/L Fe(III). Furthermore, the stripping results indicate that with a dilute sulphuric acid (0.4 mol/L), iron stripping ratio can reach 96% controlling equilibrium pH less than 0.8. At $V_{org}:V_{aq}$ of 1:1, iron(III) in loaded organic phase containing 7.05 g/L Fe(III) can be easily and completely stripped by a dilute sulphuric acid (0.4 mol/L) after a two-stage cross-flow stripping.

Key words: sulphate solutions; synergistic extraction; stripping; iron(III) removal; tertiary amine; tributyl phosphate

① 基金项目: 湖南省中青年科技基金资助项目(00JCY2139)

收稿日期: 2005-04-01; 修订日期: 2005-07-04

作者简介: 刘 铭(1979-), 男, 硕士研究生

通讯作者: 周雍茂, 教授, 博士; 电话: 0731-8830872; E-mail: drymzhou@163.com

湿法处理锌、锰等金属矿物时, 作为杂质元素的铁不同程度地进入溶液, 工业上主要采用沉淀法除去溶液中的铁, 如黄钾铁矾法、针铁矿法和赤铁矿法等。但这类方法普遍存在操作繁杂、有价金属损失大、以及沉铁渣回收困难且易造成二次污染等问题^[1]。溶剂萃取法除铁具有选择性高、能耗低和污染少等优点, 国内外冶金工作者已经对该方法进行了广泛的研究^[2]。

可用于从溶液中萃取除铁的萃取剂包括胺类^[3~6]、酸性磷(膦)类^[7~10]、羧酸类^[11]以及酰胺类^[12]等萃取剂, 其中胺类和酸性磷(膦)类是硫酸盐体系中萃取除铁的主要萃取剂。胺类萃取剂的萃铁能力与其结构有关, 其中伯胺的萃铁能力最强, 仲胺次之, 叔胺最弱, 但叔胺载铁有机相的反萃最容易。常用的酸性磷(膦)类萃取剂有二(2-乙基己基)磷酸(P_{204})、2-乙基己基磷酸单 2-乙基己基酯(P_{507})、二(2, 4, 4-三甲基戊基)膦酸(Cyanex 272)和磷酸烷基酯(P_{538})等, 它们对铁的萃取效果较好, 但选择性较差, 即在萃取铁的同时, 其它有价金属会同时被萃取; 羧酸类萃取剂能有效地从弱酸性溶液中萃取铁, 但它们在水溶液中的溶解损失较大, 不能满足工业生产的要求。在用上述几类萃取剂从硫酸盐体系萃取除铁时, 都存在一个共同的问题, 即萃入有机相中的 $Fe(III)$ 的反萃十分困难。例如, 用 N_{1923} 从硫酸盐溶液中萃取除铁时, 载铁有机相需要用 4~5 mol/L 的 H_2SO_4 才能有效地反萃。为解决这一问题, 一些研究者曾根据载铁有机相中 $Fe(II)$ 容易反萃的特点, 提出了还原反萃、水解反萃等方法^[13, 14], 但由于工艺复杂、操作条件苛刻, 其工业应用前景黯淡。近年来, 酰胺类萃取剂由于其优异的萃取性能受到广泛的关注, 但有关酰胺萃取除铁的研究未见详细报道。

据文献[15~17]报道, 采用协同萃取体系, 萃入有机相的铁可以在较低的酸度下被有效地反萃。如由仲碳伯胺(N_{1923} 、7101)与长链醇(仲辛醇)或中性磷(TBP)组成的协同萃取体系, 在水相初始酸度较高的情况下对铁有较高的萃取率; 同时, 当反萃液的平衡 pH 值小于 1.0 时, 萃入有机相的铁就能被有效地反萃。

虽然叔胺协萃体系的萃铁能力不如伯胺或仲胺协萃体系, 但采用叔胺协萃体系时, 载铁有机相中的铁更容易被反萃。因此, 本文采用 N_{235} -TBP 协同萃取体系从硫酸盐溶液中萃取除铁, 试图为解决“载铁有机相中铁反萃困难”的问题提供一条切实可行的途径。

1 实验

实验用萃取剂 N_{235} (叔胺 7301) 为工业试剂, 由株洲冶炼厂提供, 经过蒸馏提纯后, 纯度 $\geq 98\%$; 改性剂磷酸三丁酯(TBP)为分析纯试剂; 稀释剂为磺化煤油。合成料液用分析纯硫酸铁、硫酸锌和硫酸锰配制, 其中铁、锌和锰的浓度分别为 12.73、24.01 和 40.02 g/L。萃取实验有机相的基本组成为 30% N_{235} 、10% TBP 和 60% 磺化煤油(体积比)。反萃实验的有机相含铁 7.05 g/L, 其余成分与萃取实验的有机相相同。

所有实验均在室温下进行。按照一定相比将有机相和待萃水相置于分液漏斗中, 用浓硫酸或氢氧化钠调节水相的初始 pH 值, 振荡 5 min; 静置分相直至相界面清晰且有机相澄清后, 取萃余液, 用 PHS-25C 型酸度计测定平衡 pH 值, 用重铬酸钾容量法分析铁的含量, 通过差减法计算有机相中的铁浓度。反萃实验的操作步骤同上, 振荡时间为 4 min。

2 结果与讨论

2.1 N_{235} -TBP 体系对铁的协萃效应

考察了不同萃取体系对 $Fe(III)$ 萃取及反萃的影响, 结果如表 1 所示。在实验条件下, TBP 基本上不萃取硫酸盐溶液中的 $Fe(III)$, 相应的分配比小于 0.01。而 $Fe(III)$ 在 N_{235} -TBP 体系中的分配比达 5.88, 大于在 TBP 与 N_{235} 体系中分配比之和(4.95)。这说明, 在硫酸盐溶液中 N_{235} -TBP 对 $Fe(III)$ 具有协同萃取效应。这种效应是由中性膦类萃取剂中磷酰氧具有较强的给体能力决定的。通常条件下, N_{235} 与水相中的 SO_4^{2-} 与 HSO_4^- 作用生成相应的胺盐; 而这些胺盐在磺化煤油中的溶解度有限, 以致生成第三相。在有机相中添加 TBP 可以减少硫酸胺盐的生成, 从而有效地抑制有机相的分层。实验表明, TBP 的添加量达到 10% 时, 有机相的分层情况得到明显的改善。更为重要的是, 在相同条件下与简单的 N_{235} 体系相比, N_{235} -TBP 混合体系中 $Fe(III)$ 的反萃率、铁锌分离系数 $R_{Fe/Zn}$ 及铁锰分离系数 $R_{Fe/Mn}$ 均要高得多。表 1 还表明, N_{235} 的酸化处理对硫酸盐体系中 $Fe(III)$ 的萃取和反萃影响均很小。

2.2 料液初始 pH 值对铁萃取的影响

表 1 不同萃取体系对 Fe(Ⅲ) 萃取、反萃及分离的影响

Table 1 Extraction, stripping and separation of iron(Ⅲ) in different systems

System	Distribution coefficient (<i>D</i>)	Stripping ratio/ %	$\beta_{\text{Fe/Zn}}$	$\beta_{\text{Fe/Mn}}$
N ₂₃₅	4.94	80.02	154	2 660
TBP	< 0.01	—	—	—
N ₂₃₅ -TBP	5.88	97.19	231	3 297
N ₂₃₅ (acidified)-TBP	5.90	97.26	222	3 177

$V_{\text{org}} : V_{\text{aq}} = 1 : 1$, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ mol/L}$

图 1 显示了不同 N₂₃₅ 浓度下料液初始 pH 值对 Fe(Ⅲ) 萃取率的影响。由图可知, 在低酸度范围内, Fe(Ⅲ) 的萃取率随着料液初始 pH 值的降低而增大; 而在高酸度范围内, Fe(Ⅲ) 的萃取率则随着料液初始 pH 值的降低而减小, 即萃铁曲线上出现一个最高点。

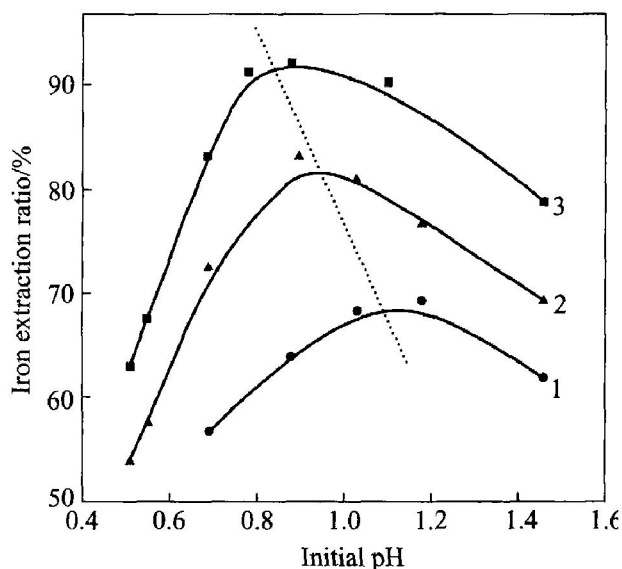
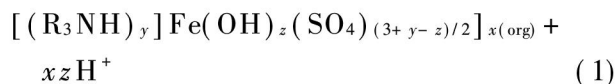
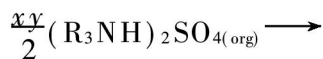
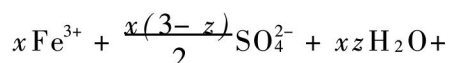


图 1 料液初始 pH 值对协萃铁的影响

Fig. 1 Effect of initial pH on synergistic extraction of iron

- 1—15% N₂₃₅ + 10% TBP + sulphonated kerosene;
2—20% N₂₃₅ + 10% TBP + sulphonated kerosene;
3—30% N₂₃₅ + 10% TBP + sulphonated kerosene

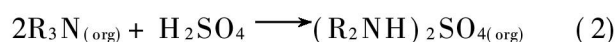
一般认为, 萃铁曲线的最高点是由于不同酸度下有机相中自由胺分子、胺的硫酸盐及酸式硫酸盐的比例不同引起的^[18]。叔胺从硫酸盐溶液中萃取 Fe(Ⅲ) 的总反应可表示为^[1]



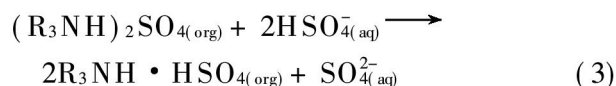
式中 x 为萃合物的聚合度; y 为叔胺的分子数; z 为萃合物中的羟基数。

由式(1)可知, 溶液中的 Fe(Ⅲ) 是以羟基铁的形式与胺的硫酸盐形成萃合物后被萃入有机相的。增大胺的硫酸盐的浓度促使反应(1)向右进行, 有利于 Fe(Ⅲ) 的萃取。

在低酸度范围内, 有机相中的游离胺分子 (R_3N) 能够与等量的硫酸络合, 即发生如下反应^[19]:



因此, 随着酸度的增加, 游离胺分子减少, 胺的硫酸盐增加, Fe(Ⅲ) 的萃取率逐渐升高。但在高酸度范围内, 胺的硫酸盐进一步与 HSO_4^- 结合成酸式硫酸盐, 即:



式(3)表明, 由于 HSO_4^- 的竞争萃取, 使得胺的硫酸盐量随着酸度增加而减少, 因而 Fe(Ⅲ) 的萃取率逐渐降低。由此可见, 在铁萃取率与初始 pH 值的关系曲线上会出现一个最高点。图 1 还表明, 随着 N₂₃₅ 浓度的增加, 萃铁曲线上的最高点向低 pH 值方向移动。

2.3 N₂₃₅ 浓度对铁萃取的影响

不同料液初始 pH 值下 N₂₃₅ 浓度对 Fe(Ⅲ) 萃取率的影响如图 2 所示。

由图可知, 不同初始 pH 值下萃铁曲线均为 S 型, 即在 N₂₃₅ 浓度较低的范围 Fe(Ⅲ) 的萃取率增加缓慢, 然后 Fe(Ⅲ) 的萃取率迅速增加, 最后在 N₂₃₅ 浓度较高的范围又趋于平缓。在相比(O/A)固定的条件下, 增大 N₂₃₅ 浓度, 相当于增加萃取剂物质的量, 因此有利于 Fe(Ⅲ) 的萃取, 当 N₂₃₅ 浓度大于 20% 后, 有机相趋于饱和, 因此铁的萃取率变化很小。在萃取实践中, 萃取剂浓度一般不宜超过 40%, 否则有机相的黏度急剧上升, 不利于相分离。综合考虑萃取率和相分离效果两个因素, 萃铁实验中 N₂₃₅ 的浓度取为 30%。

2.4 萃铁等温线

图 3 和图 4 所示为用相比方法测定的萃铁等温线。用 McCabe-Thiele 图解法, 在相比(O/A)为 2:

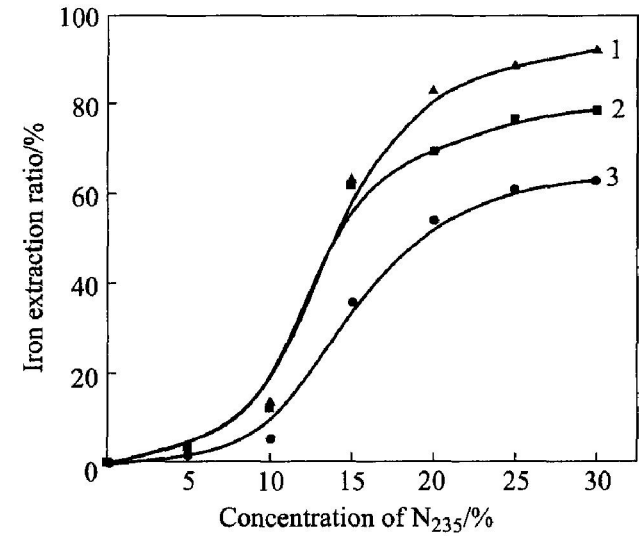


图 2 N_{235} 浓度对协萃铁的影响

Fig. 2 Effects of N_{235} concentration on synergistic extraction of iron

1—Initial pH 0.88; 2—Initial pH 1.46;
3—Initial pH 0.51

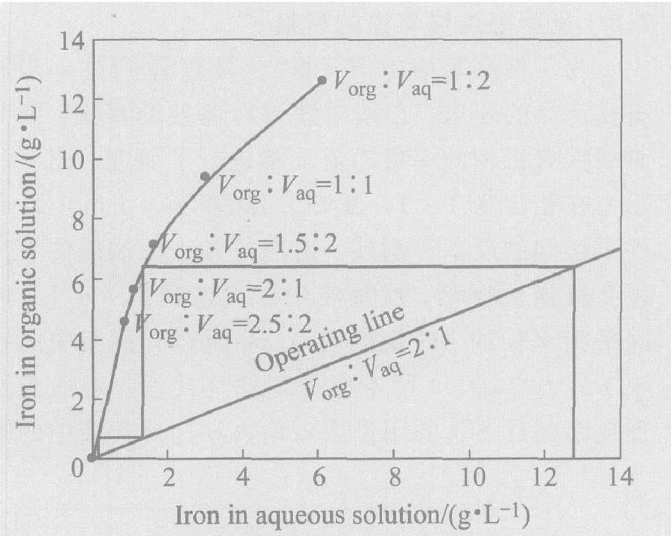


图 3 铁的萃取平衡等温线

Fig. 3 Extraction isotherm of iron

1 的条件下,求得逆流萃取的理论级数为 2。在工业生产中,实际操作的萃取级数往往在理论级数上增加 1 级,即 3 级逆流萃取。另外,从图 3 可知,在实验条件下,组成为 30% N_{235} + 10% TBP+ 磺化煤油的有机相萃取 $Fe(III)$ 的饱和容量为 12.6 g/L。合成料液的萃取实验结果表明,在相比为 2:1 的条件下,含铁 12.73 g/L 的料液经过 3 级错流萃取,萃余液含铁 0.15 g/L,铁的总萃取率接近 99%,基本达到除铁目的;由于料液中铁浓度低时萃取效率明显降低,因此若要达到深度除铁的目的,需要增加萃取级数。由图 4 可知,经过 4 级逆流萃取,萃余液铁含量可低于 0.02 g/L。

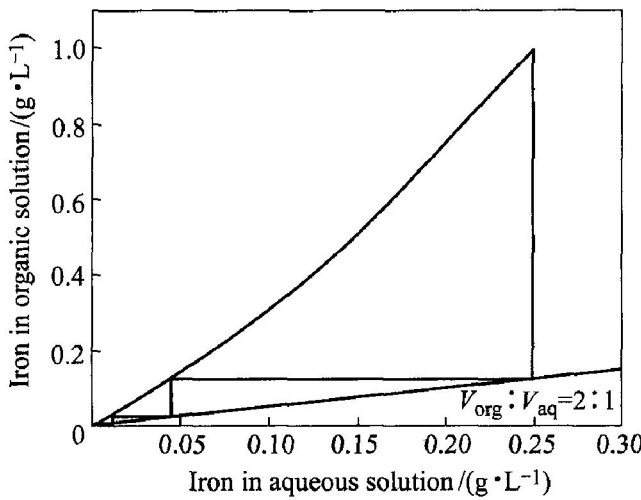


图 4 萃取平衡等温线低浓度区域放大图

Fig. 4 Enlarged extraction isotherm of iron in low concentration area

2.5 H_2SO_4 浓度对铁反萃的影响

图 5 所示为载铁有机相中 $Fe(III)$ 的反萃率与 H_2SO_4 浓度的关系。由图可见,当 H_2SO_4 浓度小于 0.4 mol/L 时,随着 H_2SO_4 浓度的增加, $Fe(III)$ 的反萃率迅速增大,而相应的平衡 pH 值则迅速减小;当采用去离子水作反萃剂时, $Fe(III)$ 的反萃率仅为 17.6%,平衡 pH 为 2.6;而用 0.4 mol/L 的 H_2SO_4 作反萃剂时, $Fe(III)$ 的反萃率超过 90%,平衡 pH 为 0.8;当 H_2SO_4 浓度大于 0.4 mol/L 时,随着 H_2SO_4 浓度的增大, $Fe(III)$ 的反萃率变化趋于平缓, $Fe(III)$ 的反萃率最高可达到 97%,因此反萃实验中 H_2SO_4 的浓度均选为 0.4 mol/L。

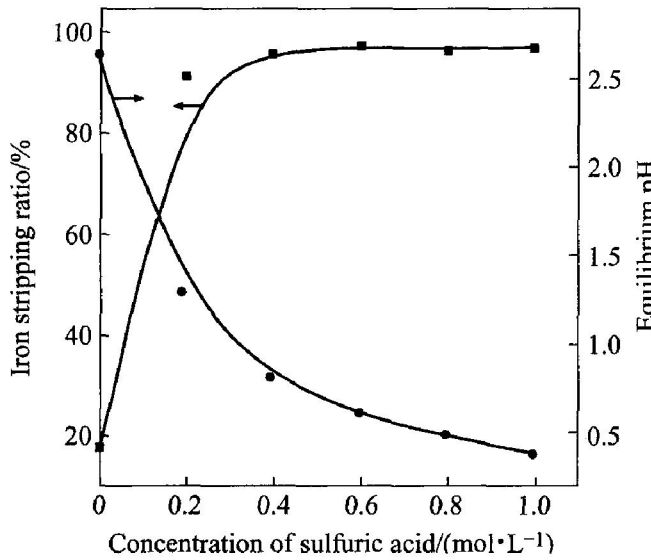


图 5 H_2SO_4 浓度对铁反萃的影响

Fig. 5 Effect of H_2SO_4 concentration on iron stripping

一般来说,载铁有机相反萃非常困难,通常需要用 4~5 mol/L 的 H_2SO_4 为反萃剂,铁才能被有效地反萃。而在 N_{235} -TBP 体系中,含铁 7.05 g/L 的有机相用 0.4 mol/L 的稀 H_2SO_4 就能有效地反萃,充分说明了叔胺协同体系具有容易反萃的特点。实际上,胺类萃取体系的载铁有机相是一个反相胶团体系,而有机相中生成的反相胶团体积越小越利于反萃,通常协萃体系有机相中的反相胶团的体积最小,因而载铁有机相反萃十分容易^[1]。

2.6 相比对铁反萃的影响

相比对铁反萃率的影响如图 6 所示。为了保证反萃酸用量相同,实验是在固定酸铁比的条件下进行的。随着相比的增大,Fe(III)的反萃率有所增加,但增加的幅度不明显。这是由于增大相比,提高了体系的酸度,使得 Fe(III)的反萃率升高。但减小相比对反萃液的处理有利,因为相比小时,反萃液的平衡 pH 值较高,在进一步利用反萃液制备铁产品时,可以减少中和碱的用量,降低生产成本。

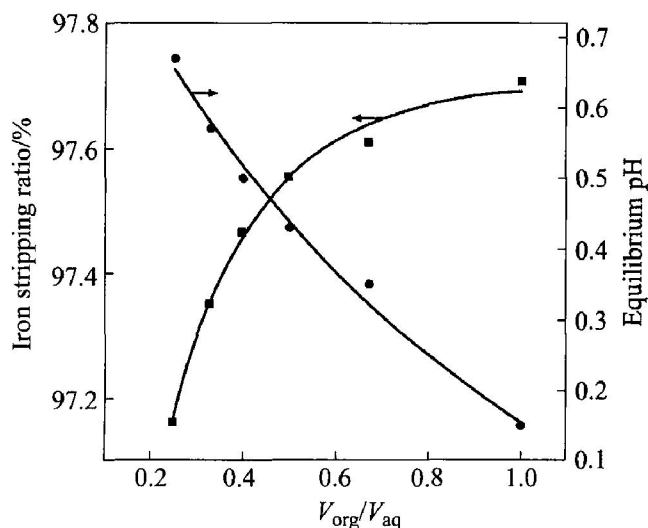


图 6 相比对铁反萃的影响

Fig. 6 Effect of ratio on iron stripping

2.7 平衡 pH 值对铁反萃率的影响

图 7 所示反映了反萃液平衡 pH 值对 Fe(III)反萃率的影响。当平衡 pH 小于 0.8 时,Fe(III)的反萃率随平衡 pH 增加下降缓慢,且均大于 96%;当平衡 pH 大于 0.8 时,Fe(III)的反萃率随平衡 pH 的增加迅速下降;当平衡 pH 达到 2.8 时,Fe(III)的反萃率只有 17.6%。因此,只要控制反萃液平衡 pH 小于 0.8,有机相中的 Fe(III)就可以有效地被反萃下来。

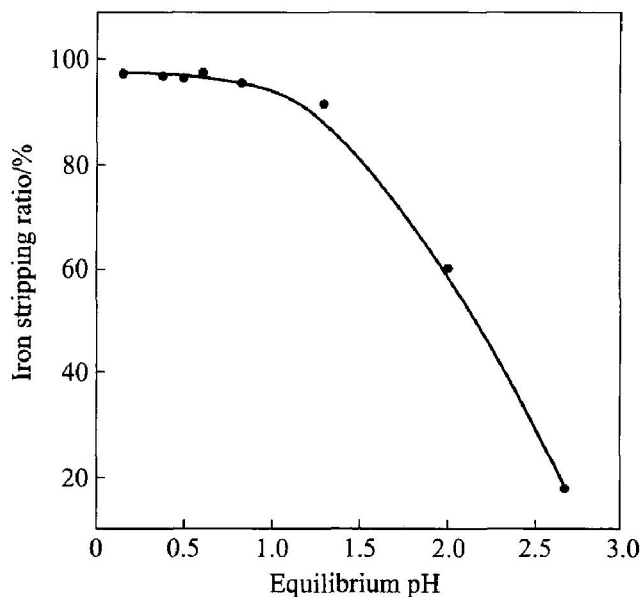


图 7 平衡 pH 值对铁反萃的影响

Fig. 7 Effect of equilibrium pH on iron stripping

2.8 反萃等温线与铁的富集

为了使反萃液中 Fe(III)的浓度达到进一步制备铁产品的要求,必须对铁进行有效的富集,因此对载铁有机相的多级逆流反萃进行了研究。图 8 所示为在相比为 1:1, H_2SO_4 浓度为 0.4 mol/L 条件下绘制的反萃等温线。由图可知,在该条件下经过 2 级逆流反萃,反萃液中铁可达到 7.5 g/L,此时平衡水相的 pH 值约为 0.8,而贫有机相中的铁小于 0.002 g/L,可不经处理循环使用。若适当增加反萃剂 H_2SO_4 的用量或者增大相比反萃液中的铁

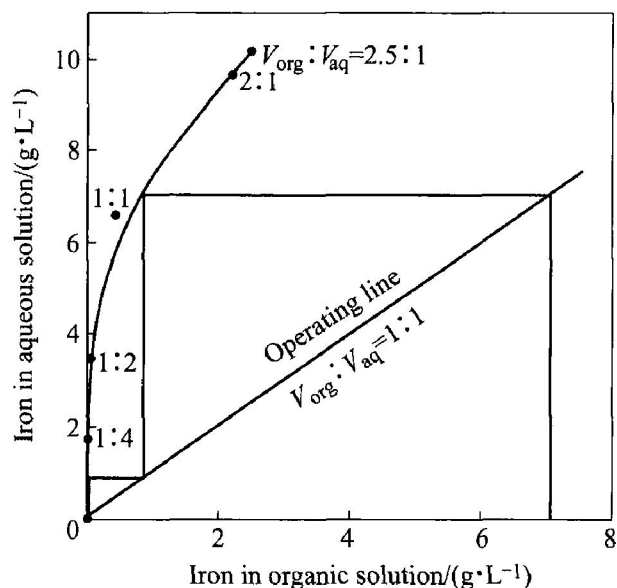


图 8 铁的反萃等温线

Fig. 8 Stripping isotherm of iron

可以进一步得到富集。

3 结论

1) N_{235} 和 TBP 对硫酸盐溶液中 $Fe(III)$ 的萃取具有协同效应; 添加 TBP 作为改性剂, 能够有效抑制载铁有机相的分层, 提高 $Fe(III)$ 的反萃率。

2) 料液初始 pH 值及 N_{235} 浓度对 $Fe(III)$ 的萃取率影响显著, 萃铁曲线的最高点随着 N_{235} 浓度的增加移向低 pH 方向值移动。

3) 以含 30% N_{235} 、10% TBP 的有机相作萃取剂, 在相比为 2:1 条件下, 含铁 12.73 g/L 的合成料液经过 3 级错流萃取, 萃余液含铁低于 0.15 g/L, 铁的总萃取率接近 99%。

4) 以 0.4 mol/L 的 H_2SO_4 作反萃剂, 控制反萃液平衡 pH 小于 0.8, 铁的单级反萃率大于 96%; 在相比为 1:1 的条件下, 含铁 7.05 g/L 的有机相经过 2 级错流反萃, 铁基本上被反萃完全, 贫有机相可以不经处理循环使用。

REFERENCES

[1] 陈家墉, 于淑秋, 伍志春. 湿法冶金中铁的分离与利用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991. 3, 229
CHEN Jiayong, YU Shuqiu, WU Zhichun. Separation and Utilization of Iron in Hydrometallurgy[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1991. 3, 229.

[2] Ismael M R C, Carvalho J M R. Iron recovery from sulphate leach liquors in zinc hydrometallurgy[J]. Minerals Engineering, 2003, 16: 31-39.

[3] 周学玺, 杜晓宁, 朱 屯. 叔胺萃取分离钴(II)、铁(II)[J]. 过程工程学报, 2001, 1(4): 360-364.
ZHOU Xuexi, DU Xiaoning, ZHU Tun. Solvent extractive separation of cobalt(II) and iron(II) with tertiary amine[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2001, 1(4): 360-364.

[4] 周学玺, 汪焕庆, 夏云龙, 等. 用季胺盐萃取分离钴铁锰[J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(5): 723-727.
ZHOU Xuexi, WANG Huangqing, XIA Yunlong, et al. Solvent extraction separation of cobalt, iron and manganese with quaternary ammonium chloride[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(5): 723-727.

[5] 何朝晖, 易文武, 刘一平. 伯胺萃取法生产无铁硫酸铝工艺研究[J]. 无机盐工业, 2001, 33(6): 29-30.
HE Zhao-hui, YI Wenwu, LIU Yiping. Study on manufacturing non-iron aluminium sulfate by primary amine extraction method[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2001, 33(6): 29-30.

[6] Saji A, Reddy M L P. Liquid-liquid extraction separation of iron(III) from titania wastes using TBP-MIBK mixed solvent system[J]. Hydrometallurgy, 2001, 61: 81-87.

[7] 沈 伟, 王 英, 傅 洵. 硫酸铝生产过程中的萃取法除铁[J]. 应用化学, 2002, 19(5): 464-467.
SHEN Wei, WANG Ying, FU Xun. Extraction separation of $Fe(III)$ from crude $Al_2(SO_4)_3$ by extractant P_{538} [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2002, 19(5): 464-467.

[8] Asano H, Itabashi H, Kawamoto H. Separation of iron(III) by di(2-ethylhexyl) phosphate/4-methyl-2-pentanone extraction[J]. Journal of the Iron and Steel Institute of Japan, 2001, 87(9): 623-625.

[9] 汤 兵, 朱又春, 白雪梅. 溶剂萃取法从镀锌酸洗废液中分离锌、铁的研究[J]. 矿冶工程, 2003, 23(5): 47-50.
TANG Bing, ZHU Youchun, BAI Xuemei. Study of separating of zinc from iron in waste sulfuric acid pickle liquor by solvent extraction[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2003, 23(5): 47-50.

[10] Suarez C, Ahumada E, Orellana F. Extraction of iron(III) from acidic sulfate solutions with bis(2-ethylhexyl) phosphoric acid in PENRECO 170 ES, a new friendly diluent[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2002, 77(2): 183-189.

[11] Preston J S. Solvent extraction of metals by carboxylic acids[J]. Hydrometallurgy, 1985, 14: 171-188.

[12] 陆国弟, 顾金英, 耿政松. 杯芳烃的配位化学(XII)——对叔丁基杯芳烃乙酸萃取铁(III)的研究[J]. 同济大学学报, 2000, 28(5): 587-592.
LU Guodi, GU Jinying, GENG Zhengsong. Coordination chemistry of calixarene(XII)—study on extraction of $Fe(III)$ using p-tertbutylcalix[n]arene carboxylic acids[J]. Journal of Tongji University, 2000, 28(5): 587-592.

[13] Lupi C, Pilone D. Reductive stripping in vacuum of $Fe(III)$ from D2EHPA[J]. Hydrometallurgy, 2000, 57: 201-207.

[14] Verbeken K, Verhaege M, Wettinck E. Separation of

- iron from a zinc sulphate electrolyte by combined liquid-liquid extraction and electro-reductive stripping [A]. Proceedings of the TMS Fall Extraction and Processing Conference[C]. Warrendale, Pennsylvania: Minerals, Metals & Materials Soc, 2000. 779 - 788.
- [15] Demopoulos G P, Gelfert D L. Iron (III) removal from base metals electrolyte solutions by solvent extraction[J]. Hydrometallurgy, 1984, 12: 299 - 315.
- [16] Chen J, Shuqiu Y, Huizhou L, et al. New mixed solvents systems for the extraction and separation of ferric iron in sulphate solutions[J]. Hydrometallurgy, 1992, 30: 401 - 416.
- [17] 陈家墉, 于淑秋. 叔胺从硫酸锌溶液中萃取除铁的研究[J]. 有色金属, 1988, 40 (2): 66 - 72.
- CHEN Jia-yong, YU Shu-qiu. Removal of Fe(III) from zinc sulfate solutions by extraction with tertiary amines as solvent[J]. Nonferrous Metals, 1988, 40 (2): 66 - 72.
- [18] 韩泳平. 叔胺从硫酸钾溶液中萃取硫酸机理的研究[J]. 四川化工, 1996(3): 9 - 11.
- HAN Yong-ping. Study on the extraction of sulfuric acid with tertiary amine from potassium bisulfate solution[J]. Chinese Journal of Sichuan Chemical, 1996 (3): 9 - 11.
- [19] 胡海南. 用叔胺萃取铀分离钍及稀土的研究[J]. 稀有金属与硬质合金, 1996(1): 4 - 7.
- HU Hai-nan. Study of extraction of uranium with tertiary amine for the separation from Th and rare earths[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 1996 (1): 4 - 7.

(编辑 龙怀中)