

# 用 P507 从硫酸浸出液中萃取分离锌<sup>①</sup>

冯伟<sup>1</sup>, 梁小龙<sup>1</sup>, 马升峰<sup>1</sup>, 张力<sup>2</sup>

(1.包头稀土研究院白云鄂博稀土资源研究与综合利用全国重点实验室, 内蒙古 包头 014030; 2.东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**以 P507 为萃取剂、磺化煤油为稀释剂组成萃取体系, 从含钴锰锌的硫酸浸出液中分离锌, 考察了有机相中 P507 体积分数、皂化度、料液 pH 值、水乳体积比、反应时间和反应温度对萃取分离锌效果的影响。结果表明, 优化工艺条件为: P507 体积分数 20%、皂化度 80%、料液 pH 值为 5、水乳体积比 1:1、反应时间 10 min、反应温度 25 °C, 在此条件下, 锌萃取率 99.92%, 锰萃取率 17.41%, 钴萃取率 3.69%, 分离效果良好。

**关键词:** 硫酸浸出液; 萃取; 分离; 锌; 钴; 锰; P507; 磺化煤油

中图分类号: TF803

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2025.05.023

文章编号: 0253-6099(2025)05-0131-05

## Separation of Zinc from Sulfuric Acid Leachate by Extraction with P507

FENG Wei<sup>1</sup>, LIANG Xiaolong<sup>1</sup>, MA Shengfeng<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Baiyunobo Rare Earth Resource Researches and Comprehensive Utilization, Baotou Research Institute of Rare Earths, Baotou 014030, Inner Mongolia, China; 2. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China)

**Abstract:** An extraction system composed of P507 as the extractant and sulfonated kerosene as the diluent was used to separate zinc from a sulfuric acid leachate containing cobalt, manganese and zinc. The effects of key parameters on zinc separation efficiency were investigated, including the volume fraction of P507 in organic phase, saponification degree, pH value of feed, O/W ratio, reaction time, and reaction temperature. The results show that under the following optimal process conditions, including P507 at 20% by volume, saponification degree of 80%, feed pH of 5, O/W ratio of 1:1, reaction time of 10 min and reaction temperature of 25 °C, the extraction rate of Zn reaches 99.92%, while the extraction rates of Mn and Co are just 17.41% and 3.69%, respectively, presenting an excellent separation effect.

**Key words:** sulfuric acid leachate; extraction; separation; zinc; cobalt; manganese; P507; sulfonated kerosene

钴和锰是十分重要的金属元素, 主要用于钢铁行业、航天航空领域和电池行业等<sup>[1-3]</sup>。从矿物中提取钴、锰, 常采用硫酸浸出法, 所得硫酸钴锰溶液中往往存在杂质, 如钙、镁、锌及有机物等。这些杂质的存在会影响生产工序运行及产品性能, 因此, 对硫酸钴锰浸出液进行净化研究十分必要<sup>[4-7]</sup>。

从硫酸溶液中分离锌的方法主要分为化学沉淀法和溶剂萃取法两大类<sup>[8-10]</sup>。化学沉淀法是指在硫酸浸出液中加入某种金属将溶液中的锌离子置换出来, 通过过滤操作从而达到分离锌的目的, 但该方法存在试剂

消耗量大、分离不彻底等问题<sup>[11-13]</sup>。溶剂萃取法是比较成熟的方法, 是指用萃取剂与稀释剂组成的萃取体系与硫酸钴锰溶液在一定条件下混合均匀后静置分层的方法, 该方法具有成本低、流程短和可实现循环利用等优点<sup>[14-17]</sup>。

文献[18]采用钠皂化的 P507 萃取剂针对去除铁、砷、钙、镁后的硫酸镍溶液, 萃取分离其中铜、锌、钴, 经 3 级逆流萃取后, 铜、锌、钴萃取率均达到 90% 以上, 取得较好的萃取效果。本文以 P507 为萃取剂, 研究萃取因素对锌、锰、钴的影响, 获得较优实验条件, 为

① 收稿日期: 2025-03-25

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2021MS02027)

作者简介: 冯伟(1994—), 男, 内蒙古包头人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为湿法冶金。E-mail: 756160194@qq.com

通信作者: 张力(1965—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 教授, 主要研究方向为二次资源综合利用。E-mail: fantai320@163.com

从硫酸浸出液中分离锌提供技术依据。

## 1 实验

### 1.1 实验原料、试剂与设备

实验原料为国内某钢铁企业提供的硫酸浸出液,其中 Co、Mn、Zn 质量浓度分别为 50.03、44.02、11.51 g/L。

实验试剂萃取剂 P507、稀释剂磺化煤油、氢氧化钠均为分析纯试剂。

实验设备包括恒温磁力搅拌器、pH 计、电子分析天平、分液漏斗、试管等。

### 1.2 实验原理

萃取剂 P507,又名 2-乙基己基膦酸单(2-乙基己基)酯,是一种酸性萃取剂。P507 萃取锌、锰、钴的顺序为:  $Zn^{2+} > Mn^{2+} > Co^{2+}$ , P507 会优先萃取锌,故用 P507 从硫酸浸出液中萃取分离锌是可行的。在 P507 与  $Zn^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Co^{2+}$  的萃取反应中, P507 分子中—POOH 上的  $H^+$  被  $Zn^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Co^{2+}$  所取代,萃取方程式为:



### 1.3 实验方法

用量筒分别量取一定体积的萃取剂 P507 和稀释剂磺化煤油,分别倒入烧杯中,搅拌均匀后得到有机相,并对其进行皂化。量取适量的硫酸浸出液倒入皂化后的有机相中,将烧杯放入搅拌器中振荡一定时间。振荡完毕后,将溶液倒入分液漏斗中,待有机相和水相静置分层后,取萃余液进行分析。

锌、锰、钴萃取率和分配比计算方法如下:

$$E = \frac{(P_0 - P_1)}{P_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$D = \frac{RE}{1 - E} \quad (3)$$

式中:  $E$  为萃取率,%;  $D$  为萃取分配比;  $P_0$  为初始锌、锰、钴元素质量浓度, g/L;  $P_1$  为萃余液中锌、锰、钴元素质量浓度, g/L;  $R$  为水乳体积比。

## 2 实验结果与讨论

以 P507 为萃取剂,考察有机相中 P507 体积分数、皂化度、料液 pH 值、水乳体积比、反应时间和反应温度对萃取分离锌、钴、锰的影响。

### 2.1 有机相中 P507 体积分数对锌分离效果的影响

用 P507 和磺化煤油组成萃取体系,皂化度 80%,调节料液 pH 值至 5,水乳体积比 1:1,常温下在搅拌器中振荡 10 min, P507 体积分数对锌、锰、钴萃取率和分配比的影响分别如图 1 和表 1 所示。P507 对料液中的杂质锌离子具有选择性萃取性能,随着有机相中

P507 体积分数增大,锌、钴和锰萃取率和分配比都呈现增大趋势,且 P507 对锌的萃取更明显。P507 体积分数小于 20% 时,锌萃取率和分配比急剧增大,而钴、锰萃取率和分配比略有增大。P507 体积分数 20% 时,锌萃取率为 99.86%,锰萃取率为 7.35%,钴萃取率为 2.90%。P507 体积分数 20%~40% 时,锌萃取率基本不变,锰萃取率开始大幅上升,表明 P507 对锌的萃取已接近饱和,剩余的 P507 开始萃取钴、锰。P507 体积分数大于 40% 后,混合液黏度增大,有机相与水相的分相变得越来越困难。考虑到 P507 体积分数过大会造成萃取剂消耗增加、成本增大,钴和锰损失增大,确定有机相中较优的 P507 体积分数为 20%。

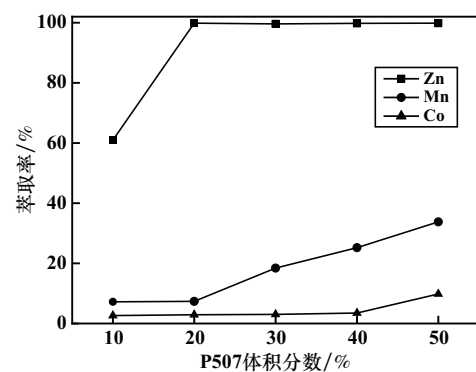


图 1 P507 体积分数对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig. 1 Effect of volume fraction of P507 on extraction rates of Zn, Mn and Co

表 1 P507 体积分数对锌、锰、钴分配比的影响

Table 1 Effect of volume fraction of P507 on distribution ratios of Zn, Mn and Co

P507 体积分数 / %	萃取分配比		
	Zn	Mn	Co
10	1.56	0.078	0.027
20	400.00	0.079	0.030
30	450.00	0.226	0.031
40	499.00	0.337	0.036
50	713.29	0.511	0.109

### 2.2 皂化度对锌分离效果的影响

有机相中 P507 体积分数 20%,其他条件不变,皂化度对锌、锰、钴萃取率和分配比的影响分别如图 2 和表 2 所示。随着皂化度增大, P507 对杂质锌的萃取率和分配比增大,而锰、钴萃取率和分配比变化不明显。皂化度 80% 时,锌、锰、钴萃取率分别为 99.69%、16.73%、5.42%。皂化度大于 80% 后,锌萃取率不再发生变化,分配比增大幅度不明显,锰萃取率增大,此时在分液漏斗中有机相和水相发生了乳化现象,混合液黏度增大,分液困难,使有机相的损耗增加,导致成本

增大。如果 P507 和磺化煤油组成的萃取体系未经皂化或皂化度很低,杂质锌萃取率低,这是因为未经皂化或皂化度很低的有机相在与锌离子反应时,P507 羟基上的 H—会与锌离子交换,释放出的 H<sup>+</sup> 会抑制萃取反应的进行,从而导致萃取率低。综合考虑,确定皂化度为 80%。

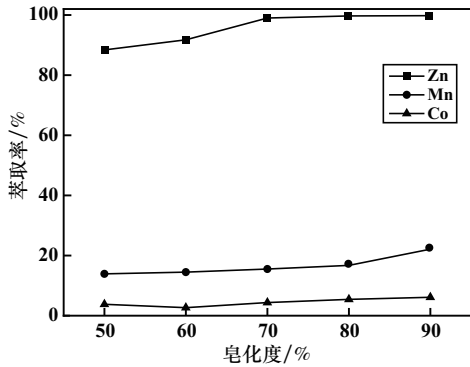


图2 皂化度对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig.2 Effect of saponification degree on extraction rates of Zn, Mn and Co

表2 皂化度对锌、锰、钴分配比的影响

Table 2 Effect of saponification degree on distribution ratios of Zn, Mn and Co

皂化度/%	萃取分配比		
	Zn	Mn	Co
50	7.61	0.161	0.039
60	11.14	0.169	0.027
70	99.00	0.184	0.046
80	321.58	0.200	0.057
90	375.19	0.284	0.065

2.3 料液 pH 值对锌分离效果的影响

萃取体系皂化度 80%,其他条件不变,料液 pH 值对锌、锰、钴萃取率和分配比的影响分别如图 3 和表 3 所示。随着料液 pH 值升高,锌萃取率基本保持在 99% 以上,而锌分配比随之增加。料液 pH 值为 5 时,

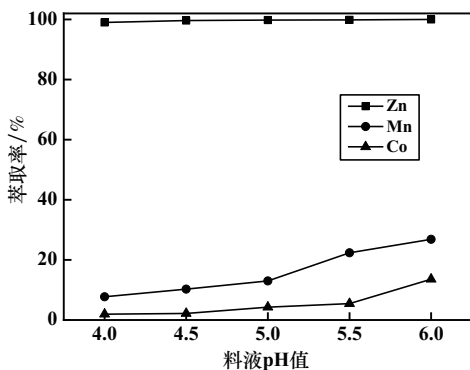


图3 料液 pH 值对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig.3 Effect of feed pH on extraction rates of Zn, Mn and Co

表3 料液 pH 值对锌、锰、钴分配比的影响

Table 3 Effect of feed pH on distribution ratios of Zn, Mn and Co

pH 值	萃取分配比		
	Zn	Mn	Co
4.0	177.57	0.084	0.020
4.5	293.12	0.114	0.022
5.0	475.19	0.149	0.045
5.5	908.09	0.288	0.057
6.0	1 000.00	0.367	0.157

锌、锰、钴萃取率分别为 99.79%、13.00%、4.26%。料液 pH 值大于 5 后,锰和钴萃取率显著增大,同时在萃取过程中会产生乳化现象,造成两相分液困难和有机相的大量损耗。为避免锰、钴损失,确定适宜的料液 pH 值为 5。

2.4 水乳体积比对锌分离效果的影响

料液 pH 值为 5,其他条件不变,水乳体积比对锌、锰、钴萃取率和分配比的影响分别如图 4 和表 4 所示。随着水乳体积比增大,锌萃取率先增大后趋于稳定,锰和钴萃取率逐渐增大;不同水乳体积比下锌的分配比差别较大,表明水乳体积比对金属离子的萃取率影响显著。综合考虑,确定水乳体积比为 1:1。

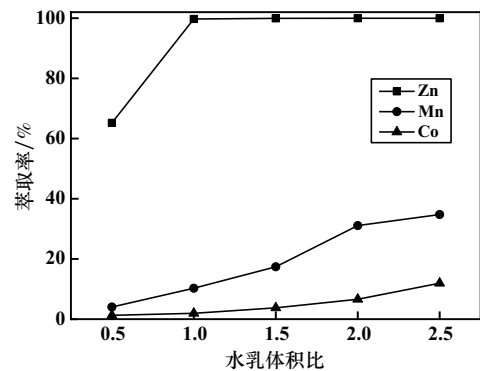


图4 水乳体积比对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig.4 Effect of O/W ratio on extraction rates of Zn, Mn and Co

表4 水乳体积比对锌、锰、钴分配比的影响

Table 4 Effect of O/W ratio on distribution ratios of Zn, Mn and Co

水乳体积比	萃取分配比		
	Zn	Mn	Co
0.5	0.94	0.021	0.006
1.0	383.62	0.114	0.020
1.5	2 998.50	0.316	0.059
2.0	4 998.00	0.903	0.141
2.5	12 497.50	1.332	0.339

2.5 反应时间对锌分离效果的影响

水乳体积比为 1:1,其他条件不变,反应时间对锌、锰、钴的萃取率的影响见图 5。随着反应时间增加,锌、锰和钴萃取率变化甚微,表明实验范围内反应

时间对锌、锰和钴的萃取率影响不大。反应时间 10 min 时, 锌、锰、钴萃取率分别为 99.95%、17.39%、3.75%。综合考虑, 确定反应时间为 10 min。

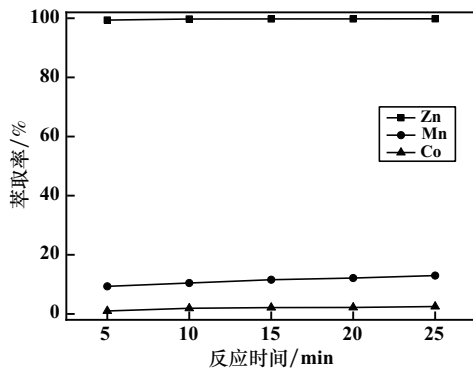


图5 反应时间对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig.5 Effect of reaction time on extraction rates of Zn, Mn and Co

## 2.6 反应温度对锌分离效果的影响

反应时间 10 min, 其他条件不变, 反应温度对锌、锰、钴萃取率的影响见图 6。在实验范围内, 随着反应温度提高, 锌、锰、钴萃取率变化不大。反应温度 25 °C 时, 锌、锰、钴萃取率分别为 99.95%、17.30%、3.72%。确定反应温度为 25 °C, 即室温。

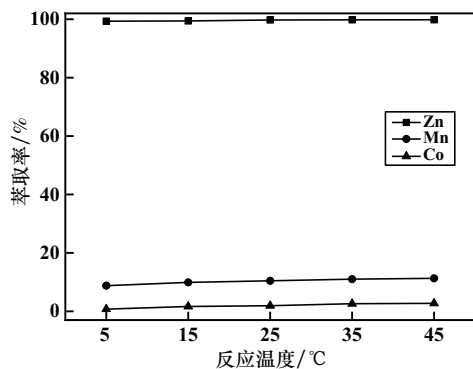


图6 反应温度对锌、锰、钴萃取率的影响

Fig.6 Effect of reaction temperature on extraction rates of Zn, Mn and Co

## 2.7 综合条件实验

通过单因素实验, 得到较优工艺参数为: P507 体积分数 20%, 皂化度 80%, 料液 pH 值 5, 水乳体积比 1:1, 反应时间 10 min, 反应温度 25 °C。在该较优实验条件下进行 3 组综合实验, 结果见表 5。此条件下锌平均萃取率为 99.92%, 锰平均萃取率为 17.41%, 钴平均萃取率为 3.69%。

## 3 结论

在硫酸浸出液中萃取分离锌, 选择 P507 为萃取

表5 萃取分离锌综合条件实验结果

Table 5 Experimental results of comprehensive conditions for extraction and separation of Zn

序号	锌萃取率/%	锰萃取率/%	钴萃取率/%
1	99.95	17.30	3.72
2	99.89	17.45	3.69
3	99.93	17.48	3.65
平均	99.92	17.41	3.69

剂、磺化煤油为稀释剂组成萃取体系, 用氢氧化钠对萃取体系进行皂化, 得到较优的工艺参数为: P507 体积分数 20%, 皂化度 80%, 料液 pH 值 5, 水乳体积比 1:1, 反应时间 10 min, 反应温度 25 °C, 在此工艺条件下锌、锰、钴萃取率分别为 99.92%、17.41%、3.69%。

## 参考文献 (References):

- [1] 韩桂洪, 王静雯, 刘兵兵, 等. 湿法炼锌净化钴渣回收钴技术进展及展望[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2022, 39(2): 1-6.  
HAN Guihong, WANG Jingwen, LIU Bingbing, et al. Progress and prospect of cobalt recovery from cobalt slag produced by zinc hydrometallurgy[J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2022, 39(2): 1-6.
- [2] 熊甲成. 湿法炼锌有机物净化钴渣逐级分离与富集钴研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.  
XIONG Jiacheng. Study on step-by-step separation and enrichment of cobalt from cobalt residue purified by organic matter in zinc hydrometallurgy[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.
- [3] 卢宜冠, 郝波, 孙凯, 等. 钴金属资源概况与资源利用情况分析[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(1): 72-80.  
LU Yiguan, HAO Bo, SUN Kai, et al. General situation of cobalt resource and its utilization analysis[J]. Geological Survey and Research, 2020, 43(1): 72-80.
- [4] 楚立军, 苏秋琼, 罗远辉, 等. N235 萃取脱除锌溶液中氟氯[J]. 有色金属(冶炼部分), 2020(4): 8-11.  
CHU Lijun, SU Qiuqiong, LUO Yuanhui, et al. Removal of fluorine and chlorine from zinc leaching solution by N235 extraction[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2020(4): 8-11.
- [5] 刘士祥, 魏栋, 董广刚, 等. 用 P204 从粗硫酸镍溶液中萃取分离铁锌杂质[J]. 中国有色冶金, 2022, 51(2): 44-49.  
LIU Shixiang, WEI Dong, DONG Guanggang, et al. Extraction and separation of Fe and Zn impurities from crude nickel sulfate solution with P204[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2022, 51(2): 44-49.
- [6] 陈武超, 张荣荣, 李伟鑫, 等. 用氨化 P507 从三元锂电池电极材料硫酸浸出液中提纯浓缩镍钴锰[J]. 广东化工, 2020, 47(2): 49-51.  
CHEN Wuchao, ZHANG Rongrong, LI Weixin, et al. Recovery of nickel cobalt manganese from sulfuric acid leach solution of electrode material of ternary lithium battery by ammoniated P507[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(2): 49-51.
- [7] 刘磊, 路殿坤, 谢锋, 等. 硫酸锌中性浸出液净化除钴[J]. 有色金

- 属(冶炼部分), 2023(8):9-16.
- LIU Lei, LU Diankun, XIE Feng, et al. Purification and removal of cobalt from neutral zinc sulfate leaching solution[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2023(8):9-16.
- [8] 蒋震清,郑春到. 硫酸体系镍盐溶液中锌的深度脱除[J]. *铜业工程*, 2018(5):48-51.
- JIANG Zhenqing, ZHENG Chundao. Deeply remove small amount of Zinc from Sulfuric acid system Nickel Salt Solution[J]. *Copper Engineering*, 2018(5):48-51.
- [9] 李强,杨皓迪,李奇勇,等. 湿法炼锌净化钴渣酸浸液萃取除杂试验研究[J]. *湿法冶金*, 2020,39(2):151-155.
- LI Qiang, YANG Haodi, LI Qiyong, et al. Purification of acidic leaching solution of cobalt residue in zinc hydrometallurgy by solvent extraction[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2020,39(2):151-155.
- [10] 邓学文. 氧压酸浸法从富锗湿法炼锌渣中浸出锌和锗[J]. *世界有色金属*, 2022(14):22-25.
- DENG Xuewen. Recovery of Zn and Ge from Ge-rich zinc metallurgy residue by oxygen pressure acid leaching[J]. *World Nonferrous Metals*, 2022(14):22-25.
- [11] 彭安然. TBP 萃取法去除酸洗废液中锌的应用研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2022.
- PENG Anran. Application of TBP extraction to remove zinc from pickling wastewater[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022.
- [12] 马福宝,陈晨,雷占昌,等. 湿法炼锌净化渣碱浸提锌试验研究[J]. *矿冶工程*, 2022,42(3):112-114.
- MA Fubao, CHEN Chen, LEI Zhanchang, et al. Experimental study on alkali leaching of zinc from residue left after purification process of zinc hydrometallurgy [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2022,42(3):112-114.
- [13] 高立刚,徐靖宸,李中林,等. P204+P507 从钴浸出液中协同萃取除钙锰铜锌[J]. *有色金属(冶炼部分)*, 2022(12):34-41.
- GAO Ligang, XU Jingchen, LI Zhonglin, et al. Synergistic extraction of calcium, manganese, copper, and zinc ions from cobalt leachate by P204+P507[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2022(12):34-41.
- [14] 李衍林,世仙果,李兴彬,等. 从湿法炼锌浸出液中选择性萃取分离回收铜[J]. *有色金属工程*, 2021,11(6):43-48.
- LI Yanlin, SHI Xianguo, LI Xingbin, et al. Selective separation and recovery of copper from zinc hydrometallurgy leaching solution by solvent extraction[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 2021,11(6):43-48.
- [15] 王俊杰,谈定生,丁家杰,等. 湿法炼锌渣柠檬酸浸出回收钴、锌和镍[J]. *矿产保护与利用*, 2021,41(2):137-143.
- WANG Junjie, TAN Dingsheng, DING Jiajie, et al. Experimental study on leaching of valuable metals from purification residue of zinc hydrometallurgy [J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021,41(2):137-143.
- [16] 王振银,高文成,温建康,等. 锌浸出渣有价金属回收及全质化利用研究进展[J]. *工程科学学报*, 2020,42(11):1400-1410.
- WANG Zhenyin, GAO Wencheng, WEN Jiankang, et al. Research progress in the recovery of valuable metals from zinc leaching residue and its total material utilization[J]. *Chinese Journal of Engineering*, 2020,42(11):1400-1410.
- [17] 冯伟. 粗硫酸钴锰溶液的深度净化研究[D]. 沈阳:东北大学,2020.
- FENG Wei. Deep purification of crude cobalt manganese sulfate solution[D]. Shenyang: Northeastern University, 2020.
- [18] 邹建辉,董波,张献鹏,等. 用 P507 从硫酸镍溶液中萃取分离铜、锌、钴[J]. *有色金属科学与工程*, 2018,9(2):19-24.
- WU Jianhui, DONG Bo, ZHANG Xianpeng, et al. Solvent extraction of Cu, Zn, Co from nickel sulphate solution applying P507 [J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2018,9(2):19-24.
- 引用本文:冯伟,梁小龙,马升峰,等. 用 P507 从硫酸浸出液中萃取分离锌[J]. *矿冶工程*, 2025,45(5):131-135.
- FENG Wei, LIANG Xiaolong, MA Shengfeng, et al. Separation of zinc from sulfuric acid leachate by extraction with P507[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2025,45(5):131-135.

(上接第 130 页)

- [45] 方正. 煤烟尘中镓的酸浸及一种泡沫海绵的提取[J]. *中南矿冶学院学报*, 1994(6):762-766.
- FANG Zheng. Acid leaching and oepufs extraction of gallium from coal fly ash[J]. *Journal of Central South University of Mining and Metallurgy*, 1994(6):762-766.
- [46] 李婷,辛志峰,徐梦,等. 烧结-碱溶法从高铝粉煤灰中浸出镓的研究[J]. *矿冶工程*, 2016,36(5):84-86.
- LI Ting, XIN Zhifeng, XU Meng, et al. Alkaline leaching of gallium from fly ash activated by calcination[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2016,36(5):84-86.
- [47] FONT O, QUEROL X, JUAN R, et al. Recovery of gallium and vanadium from gasification fly ash[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007,139(3):413-423.
- 引用本文:房辉,王壮,徐良振. 镓资源现状及提炼工艺研究进展[J]. *矿冶工程*, 2025,45(5):124-130.
- FANG Hui, WANG Zhuang, XU Liangzhen. Current status of gallium resource and research progress in refining process [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2025,45(5):124-130.