

## 贵州某钡渣酸浸渣浮选实验

李德伟, 代文治, 李杰, 李嘉欣, 聂光华

(贵州大学矿业学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** 这是一篇矿物加工工程领域的论文。钡渣为有毒固废, 大量钡渣堆存严重危害环境且对国土资源造成巨大浪费。酸性浸出钡渣中酸溶钡是钡渣无害处理及回收钡最佳途径之一。论文采用浮选工艺回收富集钡渣酸浸尾渣中硫酸钡, 以期实现综合回收钡渣中钡资源。浮选回收钡渣酸浸渣实验研究, 在碳酸钠用量 2000 g/t, 硅酸钠用量 500 g/t 以及油酸钠用量 3000 g/t 的条件下, 通过一次粗选、四次精选、两次扫选的浮选闭路流程, 获得重晶石精矿品位 85.38%、回收率 69.35% 的浮选指标, 精矿产品达到工业生产碳酸钡用料重晶石标准。

**关键词:** 矿物加工工程; 钡渣; 酸浸渣; 浮选; 重晶石

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.01.028

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 01-0207-04

**引用格式:** 李德伟, 代文治, 李杰, 等. 贵州某钡渣酸浸渣浮选实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(1): 207-210.

LI Dewei, DAI Wenzhi, LI Jie, et al. Flotation test of acid leaching tailings of barium slag in Guizhou[J].

Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(1): 207-210.

钡渣是工业生产碳酸钡所产生的废渣<sup>[1-2]</sup>。我国每年钡渣产生量高达数百万吨, 其中大部分钡渣产自贵州<sup>[3]</sup>。大量钡渣堆积, 造成国土资源浪费, 企业发展严重受阻<sup>[4]</sup>。钡渣中大量有毒离子, 经雨水冲刷而浸出, 使土地中钡离子含量超标, 造成环境污染<sup>[5-6]</sup>。

钡渣处理的研究较多, 主要集中在制备建材与酸溶法回收可溶性钡盐等领域<sup>[7-9]</sup>。由于毒性等原因, 钡渣在用于建材制备时限制性较大, 且未回收其中钡资源, 造成资源浪费<sup>[10]</sup>。酸浸回收可溶性钡盐制备钡盐研究较多, 钡渣酸浸产生酸浸渣, 酸浸渣产率大, 且钡含量不小, 但酸浸渣的处理研究鲜有报道<sup>[11-12]</sup>。贵州某企业目前大量钡渣堆存严重滞碍了该企业发展。针对该情况, 论文以该化工厂钡渣为研究对象, 采用盐酸浸出-浸渣浮选联合工艺回收钡渣中的钡资源。前期盐酸浸出实验获得产率 52.14%、硫酸钡含量 47.81% 的酸浸渣。为充分回收钡资源, 降低尾矿量, 对酸浸渣进行了浮选实验研究。研究可解决钡渣对环境污染的同时, 回收其中的钡资源, 也可为贵州钡化工企业提供钡渣处理新途径。

## 1 试样与方法

### 1.1 试样与药剂

酸浸渣是在前期研究较佳浸出条件下, 即磨矿细度-0.074 mm 80%、盐酸浓度 3 mol/L、浸出固液比 1:7、浸出时间 2 h、浸出温度 40 ℃ 以及浸出搅拌速度 480 r/min 的条件下, 通过实验室浸出贵州某碳酸钡生产企业产钡渣获得的酸浸尾矿。该酸浸渣产率 52.14%, 硫酸钡含量 47.81%。对酸浸渣试样进行了多元素分析、化学分析及筛分等研究。多元素分析结果见表 1。

表 1 酸浸渣多元素分析结果/%

| Table 1 Chemical compositions of acid leaching residue |       |                 |                                |                  |                                |                   |      |      |
|--------------------------------------------------------|-------|-----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|------|------|
| SiO <sub>2</sub>                                       | BaO   | SO <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | CaO  | 其他   |
| 36.23                                                  | 31.14 | 16.26           | 6.95                           | 2.04             | 1.34                           | 1.21              | 1.15 | 3.67 |

化学分析与元素分析可见, 钡渣酸浸渣中钡含量较多, BaO 含量达 31.14%。钡渣酸浸渣中钡主要以硫酸钡形式存在, 硫酸钡质量占比为 47.81%。脉石组分以 SiO<sub>2</sub> 为主, 含量达 36.23%。酸浸渣-0.074 mm 77.94%。

收稿日期: 2021-05-13

作者简介: 李德伟 (1995-), 男, 主要从事重晶石分选, 钡渣回收利用。

## 1.2 实验方法

钡渣酸浸渣浮选实验采用 XFG-II 系列挂槽浮选机。常温下浮选,用水为自来水。调整剂碳酸钠、抑制剂硅酸钠、捕收剂油酸钠均为工业纯。实验时,矿浆置于浮选槽中,调节矿浆液面,加入调整剂碳酸钠后调浆 2 min,加入抑制剂硅酸钠调浆 2 min,加入油酸钠调浆两分钟,充气刮泡 5 min。将浮物与沉物分别过滤、烘干、称重,最后缩分、制样,化学分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 钡渣酸浸渣粗选条件实验

钡渣酸浸渣粗选条件实验采用一次一因素实验法,依次考查了调整剂碳酸钠用量,抑制剂硅酸钠用量,捕收剂油酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响。由于浸渣粒度细,实验没有考查磨矿细度对浮选的影响。实验流程见图 1。

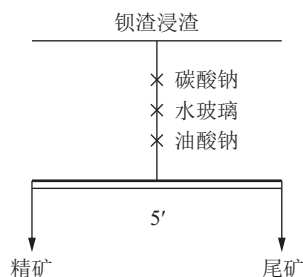


图 1 酸浸渣粗选条件实验流程

Fig.1 Test procedure for rough selection of acid leaching residue

#### 2.1.1 碳酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响

在硅酸钠用量为 500 g/t, 油酸钠用量为 3000 g/t 的条件下,考查了不同  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  用量对酸浸渣浮选指标的影响。实验流程见图 1,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  用量对酸浸渣浮选指标的影响实验结果见图 2。

由图 2 可知,随着碳酸钠用量的增加,精矿品位逐渐降低,而精矿回收率逐渐升高。当碳酸钠用量小于 2000 g/t 时,精矿品位下降较为明显,精矿回收率也提高较为明显。当碳酸钠用量大于 2000 g/t 时,精矿品位下降逐渐缓慢,精矿回收率提高也变缓慢。

#### 2.1.2 硅酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响

在碳酸钠用量为 2000 g/t, 油酸钠用量为 3000 g/t 的条件下,考查了不同硅酸钠用量对钡渣浸渣浮选指标的影响。实验流程见图 1, 硅酸钠用量对钡渣浸渣浮选指标的影响结果见图 3。

由图 3 可知,随着硅酸钠用量的增加,钡渣浸渣浮选精矿的品位逐渐升高,而回收率逐渐降

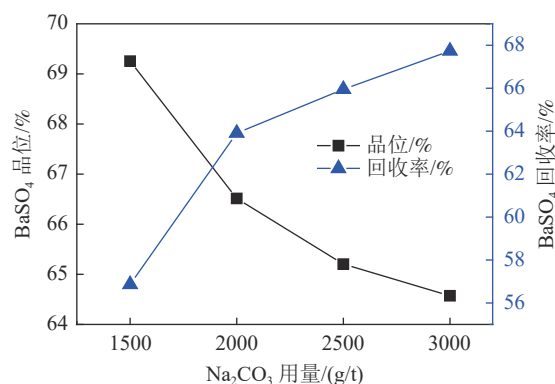


图 2  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  用量对酸浸渣浮选指标的影响

Fig.2 Effect of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dosage on the flotation index of acid leaching residue

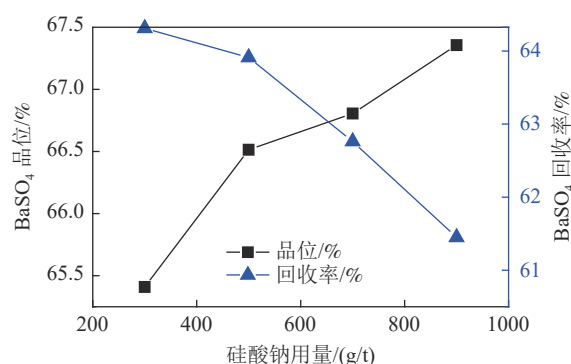


图 3 硅酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响

Fig.3 Effect of the amount of sodium silicate on the flotation index of acid leaching residue

低。当硅酸钠用量小于 500 g/t 时,硅酸钠用量增加对精矿品位提高较为明显,而精矿回收率下降较低。当硅酸钠用量大于 500 g/t 时,精矿品位提高较低,而精矿回收率下降较为明显。这是因为当硅酸钠用量较低时,硅酸钠主要对脉石矿物产生抑制,随着抑制剂用量的增加,对脉石矿物的抑制效果愈发明显,因此精矿品位逐渐升高。但当抑制剂用量过多时,抑制剂对重晶石的抑制也在同步提高了,因此精矿重晶石的回收率逐渐下降。综合考虑,最佳的抑制剂硅酸钠用量为 500 g/t。

#### 2.1.3 油酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响

在碳酸钠用量为 2000 g/t, 硅酸钠用量为 500 g/t 的条件下,考查了不同油酸钠用量对钡渣浸渣浮选指标的影响。实验流程见图 1, 油酸钠用量对钡渣浸渣浮选指标的影响实验结果见图 4。

由图 4 可知,随着捕收剂油酸钠用量的增加,精矿品位逐渐降低,而精矿回收率大幅度升高。当油酸钠用量小于 3000 g/t 时,随着油酸钠用量的增加,精矿回收率提高较为明显。当油酸钠用量大于 3000 g/t 后,精矿回收率不再大幅增加。

而随着油酸钠用量增加，精矿品位稳步下降。这是因为随着油酸钠用量增加，矿浆中油酸根浓度上升，油酸根对重晶石捕收性逐渐增强，精矿回收率逐渐升高。过量油酸钠的加入，导致油酸钠对脉石矿物的捕收作用随之增加，脉石矿物不断上浮，导致精矿品位逐渐下降。且由图4可知，当油酸钠用量由2500 g/t增加至3000 g/t时，精矿品位下降了1.24%，而回收率却增加了11.86%。而当油酸钠用量由3000 g/t增加至3500 g/t时，精矿品位下降了1.16%，而回收率增幅不大。综合考虑，最终选择3000 g/t为较佳油酸钠用量。

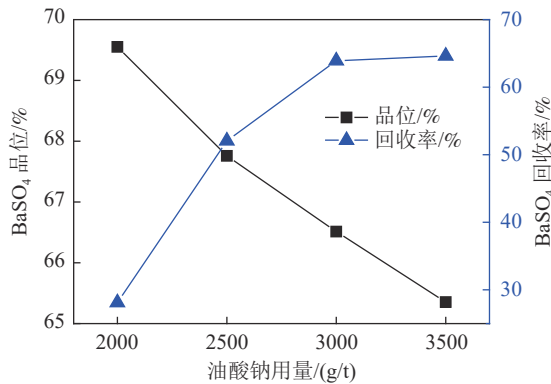


图4 油酸钠用量对酸浸渣浮选指标的影响

Fig.4 Effect of the amount of sodium oleate on the flotation index of acid leaching residue

2.2 酸浸渣浮选开路及闭路流程实验

在浮选粗选条件实验基础上，进行钡渣浸渣浮选开路实验，实验采用一粗四精两扫的浮选实验流程，实验流程见图5。实验结果见表2。

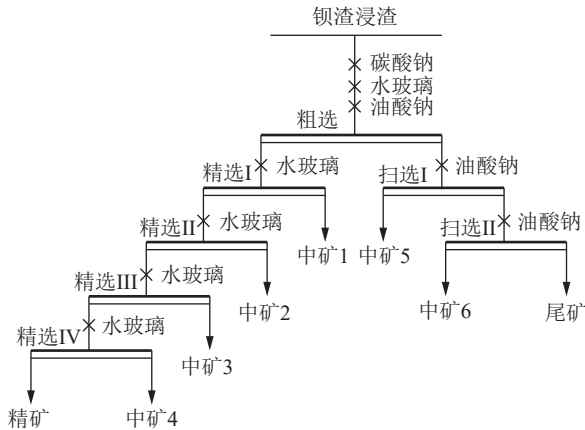


图5 钡渣浸渣浮选开路实验流程

Fig.5 Open-circuit test flow of barium slag leaching slag flotation

由表2可知，通过四次精选，重晶石精矿品位达到了87.18%。达到工业生产碳酸钡用料重晶石标准。

表2 酸浸渣浮选开路实验结果

Table 2 Open circuit test results of acid leaching residue flotation

| 产品名称            | 产率/%   | BaSO <sub>4</sub> 品位/% | BaSO <sub>4</sub> 回收率/% |
|-----------------|--------|------------------------|-------------------------|
| 精矿              | 16.84  | 87.18                  | 30.70                   |
| 中矿 <sup>1</sup> | 10.02  | 40.79                  | 8.55                    |
| 中矿 <sup>2</sup> | 6.14   | 53.50                  | 6.87                    |
| 中矿 <sup>3</sup> | 5.79   | 60.38                  | 7.31                    |
| 中矿 <sup>4</sup> | 7.13   | 70.95                  | 10.58                   |
| 中矿 <sup>5</sup> | 24.41  | 44.65                  | 22.79                   |
| 中矿 <sup>6</sup> | 15.35  | 20.18                  | 6.48                    |
| 尾矿              | 14.33  | 22.42                  | 6.72                    |
| 原矿              | 100.00 | 47.81                  | 100.00                  |

在开路流程实验的基础上，采用一粗四精两扫，中矿顺序返回的浮选闭路流程进行钡渣浸渣浮选闭路实验。实验流程参见图5，实验结果见表3。

表3 酸浸渣浮选闭路实验结果

Table 3 Flotation test results of acid leaching residue

| 产品名称 | 产率/%   | BaSO <sub>4</sub> 品位/% | BaSO <sub>4</sub> 回收率/% |
|------|--------|------------------------|-------------------------|
| 精矿   | 38.84  | 85.38                  | 69.35                   |
| 尾矿   | 61.16  | 23.96                  | 30.65                   |
| 原矿   | 100.00 | 47.81                  | 100.00                  |

由表3可知，通过一次粗选、四次精选、两次扫选，获得了精矿BaSO<sub>4</sub>品位85.38%，回收率69.35%的浮选指标。计算总钡回收率为38.67%。浮选精矿产品达到了碳酸钡生产用原料重晶石品位85%的指标。浮选精矿可就地作为碳酸钡生产企业生产用矿<sup>[13]</sup>。最终尾矿产率为31.89%，实现钡渣减量68.11%。同时浮选尾矿中可溶解钡等有毒物基本去除，尾矿更适用于作为建材材料及道路建材原料使用。

3 结 论

(1) 钡渣酸浸渣性质研究表明，钡渣酸浸渣中BaO含量为31.14%。其中钡主要以硫酸钡形式存在，硫酸钡质量占比为47.52%。脉石组分以SiO<sub>2</sub>为主，达36.23%。浸渣细度为-0.074 mm 77.94%。

(2) 酸浸渣粗选条件实验研究获得钡渣浸渣浮选较佳条件，即碳酸钠用量2000 g/t、硅酸钠用量500 g/t以及油酸钠用量3000 g/t。

(3) 酸浸渣开闭路实验最终获得闭路实验重晶石精矿品位85.38%，回收率69.35%的浮选指标，钡渣总钡回收率为38.67%。精矿产品达到工业生产碳酸钡用重晶石标准，可以就地用于碳酸钡生产。钡渣酸浸-浮选最终尾矿产率31.89%，钡渣减量达68.11%。同时浮选尾矿中可溶解钡等有毒物基本去除，尾矿更适用于作为建材材料及道路建材原料使用。

## 参考文献:

- [1] Yang T, Wang N, Gu H, et al. Froth flotation separation of carbon from barium slag: Recycling of carbon and minimize the slag[J]. Waste Management, 2021, 120.
- [2] 李祖荣. 钡渣淋溶实验研究及钡渣填埋场淋溶液处理工艺探讨[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- LI Z R. Experimental study on barium slag leaching and discussion on the treatment process of barium slag landfill leaching solution [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2017.
- [3] 王海峰, 陈雁冰, 龙召凤, 等. 硫酸钠对钡渣的无害化效果研究[J]. 广州化工, 2020, 48(4):27-29,32.
- WANG H F, CHEN Y B, LONG Z F, et al. Research on the harmless effect of sodium sulfate on barium slag[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(4):27-29,32.
- [4] 袁志宇, 李祖荣, 夏静. 钡渣入场填埋前的预处理工艺条件研究[J]. 武汉理工大学学报, 2016, 38(9):67-71.
- YUAN Z Y, LI Z R, XIA J. Research on pretreatment process conditions of barium slag admission before landfill[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2016, 38(9):67-71.
- [5] 郭斌, 任爱玲, 吴根, 等. 钡渣中钡离子的淋溶释放规律[J]. 环境污染与防治, 2001, 23(3):98-100,104.
- GUO B, REN A L, WU G, et al. Release pattern of barium ions from barium slag by leaching[J]. Environmental Pollution and Prevention, 2001, 23(3):98-100,104.
- [6] Chen P, Ma B, Tan H, et al. Utilization of barium slag to improve chloride-binding ability of cement-based material[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 283.
- [7] 甘四洋, 陈彦翠, 贾韶辉, 等. 工业固体废弃物钡渣的资源化综合利用研究[J]. 建材发展导向, 2015, 13(4):36-38.
- GAN S Y, CHEN Y C, JIA S H, et al. Research on resource utilization of industrial solid waste barium slag[J]. Building Materials Development Orientation, 2015, 13(4):36-38.
- [8] 刘一思. 钡渣的性能测试及应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- LIU Y S. Research on the performance test and application of barium slag [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [9] 王湘徽, 颜湘华, 栗歆. 钡渣的污染特性与资源化利用风险研究[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(2):170-174.
- WANG X H, YAN X H, LI X. Research on the pollution characteristics and risk of resource utilization of barium slag[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2016, 6(2):170-174.
- [10] 刘立柱, 贾韶辉, 王勇, 等. 钡渣在建材产品中的应用及其重金属固化效果研究[J]. 砖瓦, 2017(5):25-27.
- LIU L Z, JIA S H, WANG Y, et al. Research on the application of barium slag in building material products and its heavy metal curing effect[J]. Brick and Tile, 2017(5):25-27.
- [11] 陈英军. 含钡废渣制氯化钡的研究[J]. 无机盐工业, 2001(5):35-36.
- CHEN Y J. Study on the production of barium chloride from barium-containing waste slag[J]. Inorganic Salt Industry, 2001(5):35-36.
- [12] 刘攀, 张煜, 王艳书, 等. 盐酸浸取钡渣中钡离子工艺路线研究[J]. 广东化工, 2014, 41(22):12-13.
- LIU P, ZHANG Y, WANG Y S, et al. Research on the process route of barium ion extraction from barium slag by hydrochloric acid leaching[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41(22):12-13.
- [13] 董义隆, 付金涛, 舒超, 等. 贵州重晶石与方解石常温浮选分离试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(1):54-58.
- TONG Y L, FU J T, SHU C, et al. Research on flotation test of separation of barite and calcite from Guizhou at normal temperature[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):54-58.

## Flotation Test of Acid Leaching Tailings of Barium Slag in Guizhou

LI Dewei, DAI Wenzhi, LI Jie, LI Jiaxin, NIE Guanghua  
(Guizhou University, Mining College, Guiyang 550025, Guizhou, China)

**Abstract:** This is an article in the field of mineral processing engineering. Barium slag is toxic solid waste, and a large amount of barium slag is piled up to seriously harm the environment and cause huge waste of national land resources. Acid-dissolving barium in acid leaching barium residue is one of the best ways to dispose of barium residue and recover barium. The paper adopts the flotation process to recover the barium sulfate in the acid leaching tailings of the enriched barium slag, in order to realize the comprehensive recovery of barium resources in the barium slag. The experimental research of the flotation recovery of barium residue acid leaching residue shows that. Under the condition that the amount of sodium carbonate is 2000 g/t, the amount of sodium silicate is 500 g/t and the amount of sodium oleate is 3000 g/t, through the flotation closed-circuit process of one roughing, four beneficiation, and two sweeping. Obtained the flotation index of 85.38% barite concentrate grade and 69.35% recovery rate. Concentrate products meet the barite standards used in the industrial production of barium carbonate.

**Keywords:** Mineral processing engineering; Barium residue; Acid leaching residue; Flotation; Barite