

## 新疆某含羟硅铍石矿分选实验

郑惠敏<sup>1</sup>, 李丽匣<sup>1</sup>, 马嘉<sup>2</sup>, 刘志超<sup>2</sup>

(1. 东北大学资源与土木学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

**摘要:** 这是一篇矿物加工工程领域的论文。以新疆某次火山岩型铍矿石为研究对象, 进行矿物组成、元素组成分析, 查明有用矿物的嵌布粒度及赋存状态, 并进行系统的浮选实验。在磨矿过程加入活化剂氟化钠, 对磨矿细度、浮选药剂制度进行了优化, 当磨矿细度为-0.074 mm 85%、pH 值调整剂碳酸钠、抑制剂硅酸钠、捕收剂油酸钠用量分别为 1 500、1 000、2 000 g/t 时, 可以获得粗选精矿 BeO 品位 6.03%、回收率 97.02% 的粗选指标。将粗选精矿再磨至-0.045 mm 90%, 通过两次精选实验, 精矿 BeO 品位达到 8.40%, 精矿 BeO 回收率为 78.09%, 粗选尾矿经过一次扫选实验, 尾矿 BeO 含量可降至 0.003%。“一粗一扫三精、中矿集中返回粗选”的浮选闭路实验, 获得了精矿 BeO 品位 8.12%、回收率 80.99% 的浮选指标, 可以实现羟硅铍石的较好富集, 满足我国当今铍冶炼工艺对原料 BeO 含量的要求。

**关键词:** 矿物加工工程; 羟硅铍石; 浮选药剂; 品位; 富集; 磨矿细度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.05.004

中图分类号: TD954 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 05-0024-07

**引用格式:** 郑惠敏, 李丽匣, 马嘉, 等. 新疆某含羟硅铍石矿分选实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(5): 24-30.

ZHENG Huimin, LI Lixia, MA Jia, et al. Beneficiation of bertrandite ores in xinjiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(5): 24-30.

铍是一种钢灰色的稀有轻金属, 具有密度低、熔点高等许多优异的性能, 是航空航天等领域不可或缺的材料<sup>[1-2]</sup>。目前世界上含铍矿石大约有 30 多种<sup>[3]</sup>, 在开采羟硅铍石之前, 绿柱石<sup>[4]</sup>是工业上炼铍的唯一原料, 1969 年美国开采犹他州羟硅铍石矿, 使世界铍原料的结构发生变化<sup>[5]</sup>。我国铍工业起步较晚, 开采技术落后、资源利用率低、铍产品种类较少, 且铍矿资源属于技术制约性矿产资源, 禀赋低、开发成本高、国际竞争力不强, 对外依存度达到 90%, 严重限制了我国铍工业的发展。近年来我国的铍工业逐渐崛起, 已经形成了比较完整的工业体系<sup>[6-7]</sup>, 成为世界上拥有从铍矿石分选、冶炼到加工完整工业体系的 3 个国家之一。近年来, 随着我国绿柱石资源日益

短缺, 对开发羟硅铍石的研究日趋广泛<sup>[8-10]</sup>。羟硅铍石属于斜方晶系, 常为薄板状、片状, 无色或淡黄色, 性脆, 常产于花岗伟晶岩和气成热液矿床中<sup>[11]</sup>。孙伟等<sup>[12]</sup>针对某含铍 0.45% 的羟硅铍石矿, 采用油酸钠和苯甲羟肟酸作捕收剂混合使用<sup>[13]</sup>, 经过四次精选, 浮选开路实验可以得到含 BeO 品位 10.22% 的优质铍精矿。郑元泽<sup>[14]</sup>将四种碱性药剂当成一项调整剂开展羟硅铍石的浮选实验, 最终精矿 BeO 品位 3.24%、回收率 75.29%。

新疆杨庄铍矿床是近年来发现的亚洲最大的次火山岩型铍矿床, 属于特大型铍矿。与华南、新疆可可托海铍矿床类型相比, 不含铍宝石类矿物(绿柱石、日光榴石)等。目前已探明的 BeO 资源量超过 5 万 t, 后期勘探的铍资源量将进

收稿日期: 2022-01-12

基金项目: 核技术创新联合基金项目资助(U2067201)

作者简介: 郑惠敏(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为矿物加工工程。

通信作者: 李丽匣(1980-), 女, 教授, 主要研究方向为破碎磨矿理论与技术、金属选矿理论与技术。

一步扩大，但 BeO 平均品位仅 0.40%，品位低、组成复杂、嵌布粒度细、铍综合回收难、开发成本高等问题，导致该类资源尚未实现经济开发利用<sup>[15-18]</sup>。本论文以该羟硅铍石矿样为研究对象，对其进行工艺矿物学特性研究，获得主要矿物种类、元素含量，有用矿物嵌布粒度，查明含铍矿物的解离及嵌布特征，然后进行系统的磨矿细度、浮选实验研究，以满足我国铍冶炼工艺对 BeO 含量 > 8% 的原料要求（有时要求 BeO 含量 > 6%），对此类矿石的开发具有借鉴意义。

表 1 原矿的矿物组成分析结果/%  
Table 1 Mineral composition of the raw samples

羟硅铍石	金红石	赤铁矿	方铅矿	独居石	黄铁矿	氟碳铍镧矿	锆石	萤石
2.78	0.24	0.14	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.40
石英	钠长石	钾长石	伊利石	绿泥石	方解石	闪石类	其他	—
38.34	29.22	15.19	8.64	2.85	0.10	0.21	0.84	—

由表 1 可见，样品中的含铍矿物主要为羟硅铍石，含量为 2.78%，样品中主要脉石矿物为石英、钠长石、钾长石，含量分别为 38.34%、29.22%、15.19%，其他脉石矿物伊利石、绿泥石含量分别为 8.64%、2.85%。

## 1 实验样品及研究方法

### 1.1 实验样品

矿样取自于新疆某次火山岩型铍矿床，样品经颚式破碎机、高压辊磨机破碎至 -2 mm，混匀、缩分、取样、制样，采用 Bruker Quantax 200 XFlash 能谱仪和 AMICS-Mining 矿物参数自动定量分析系统，进行矿物种类及含量鉴定，并取样进行化学多元素分析，结果分别见表 1、2。

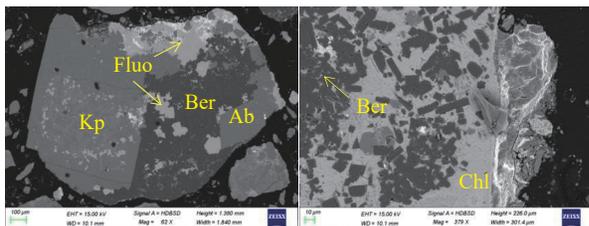
从表 2 可知，矿石中 Be 元素含量为 0.42%、折算为 BeO 含量为 1.18%；SiO<sub>2</sub> 含量为 63.80%，其他元素含量较低，实验选取的矿石属于高硅铍矿石，主要脉石矿物是硅质矿物盐，其他矿物含量较低，不具备回收价值。

表 2 原矿化学多元素分析结果/%  
Table 2 Multi-elemental composition of the raw samples

Be	SiO <sub>2</sub>	TFe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Mn	K	Na	F
0.42	63.80	2.72	14.68	0.35	3.05	0.19	2.81	2.69	1.5

### 1.2 羟硅铍石嵌布特征

图 1 为 -2 mm 矿样的背散射图像，可见羟硅铍石 (Be<sub>4</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(OH)<sub>2</sub>) 多呈细小板状或柱状及短柱状集合体形式分布，晶体粒径多为 0.01~0.02 mm，集合体直径在 0.15~0.8 mm 不等。



羟硅铍石 (Ber) 集合体与钾长石 (Kp)、钠长石 (Ab)、萤石 (Fluo) 共生，或被绿泥石 (Chl) 包裹 (右)

图 1 羟硅铍石背散射图像

Fig.1 Backscattering image of bertrandite

羟硅铍石共生情况见图 2，在 -2 mm 粒度下，羟硅铍石的单体解离度 < 2%，约 41% 的羟硅铍石

与钠长石共生或被包裹，其次与钾长石、伊利

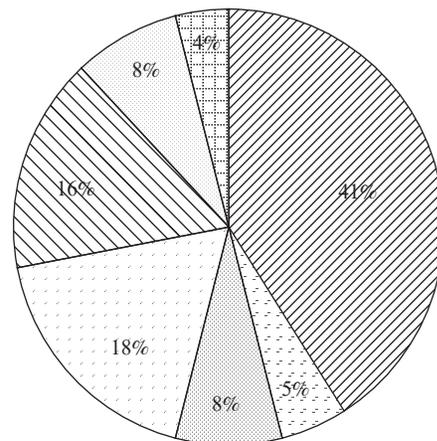


图 2 羟硅铍石与各矿物共生情况  
图例：与钠长石、与绿泥石、与萤石、与伊利石、与钾长石、与石英、与其他

图 2 羟硅铍石与各矿物共生情况  
Fig.2 Association and intergrowth of bertrandite with other minerals

石、石英、萤石及绿泥石等共生或包裹。

### 1.3 实验药剂及设备

实验过程中使用的主要药剂有：油酸钠、碳酸钠、氟化钠、硅酸钠，均为分析纯。在实验前，用电子天平分别称取 2 g 油酸钠、5 g 碳酸钠、2 g 氟化钠、2 g 硅酸钠置于 150 mL 烧杯中，加入 100 mL 去离子水，在超声波清洗机中超声分散 10 min，制备实验所需药剂溶液。

实验矿块经人工破碎至-120 mm，给入 XPC-150 mm×200 mm 颚式破碎机碎至-15 mm 后，采用 WGM3516 高压辊磨机破碎至-2 mm，在 XMQ-Φ240 mm×90 mm 球磨机中进行磨矿实验。浮选采用 XFD<sub>IV</sub> 1.5 L、XFD<sub>IV</sub> 0.5 L 实验室单槽浮选机。

### 1.4 实验流程

在 1.5 L 单槽浮选机中进行不同磨矿细度、pH 值条件、捕收剂用量、活化剂用量、抑制剂用量等粗选流程条件实验，转子转速为 1 992 r/min。每次取 500 g 的-2 mm 矿样置于球磨机中，并加入一定用量的活化剂氟化钠，磨矿浓度为 70%，磨矿结束后，加水配制成浓度为 33% 的矿浆，进行浮选实验。依次向矿浆溶液中加入浓度为 5% 的调整剂碳酸钠溶液，搅拌 3 min；随后加入浓度为 2% 的硅酸钠溶液，搅拌 3 min；最后加入浓度为 2% 的油酸钠溶液，搅拌 3 min，充气刮泡 5 min。浮选结束后，将浮选矿浆过滤、烘干、称重，取样化验 BeO 品位，计算各产品中 BeO 的回收率，确定适宜的粗选药剂制度。然后，另取样品进行一粗一扫两精的开路浮选实验，考查所获得的开路分选指标。根据开路浮选实验结果，进行闭路浮选实验，以获得适宜的闭路分选指标。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 磨矿细度对浮选指标的影响

将粒度为-2 mm 的矿样 500 g 给入球磨机，加水至质量浓度为 70%，并向球磨机中加入 800 g/t 的活化剂氟化钠，实验分别制备细度为-0.074 mm 80%、85%、90%、95% 的样品，按照 1.4 节的方法进行浮选实验。浮选药剂制度为：碳酸钠用量为 1 500 g/t、硅酸钠用量为 1 000 g/t、捕收剂油酸钠用量为 2 000 g/t，考查磨矿细度对浮选指标的影响，实验结果见图 3。

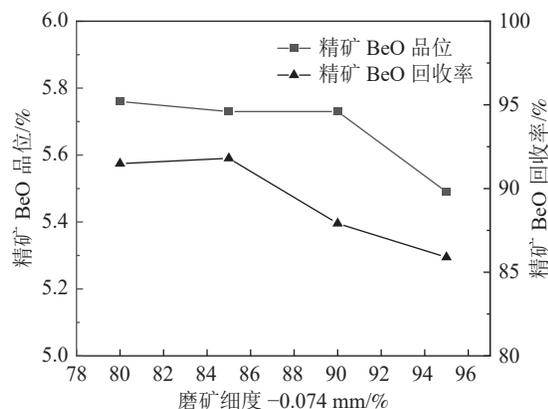


图 3 矿石不同磨矿细度对样品的浮选实验结果的影响  
Fig.3 Effect of grinding fineness on flotation performance

由图 3 可见，随着磨矿细度增加，浮选精矿 BeO 品位先增加后减小，当磨矿细度-0.074 mm 80% 时，精矿 BeO 品位较大，为 5.76%，继续增加磨矿细度至-0.074 mm 95% 时，精矿 BeO 品位下降至 5.50%。精矿 BeO 回收率在磨矿细度为-0.074 mm 85% 时达到较大，为 91.81%，随着磨矿细度进一步增加，回收率大幅度下降。综合考虑精矿 BeO 品位和回收率，该样品适宜的粗选磨矿细度为-0.074 mm 85%。

### 2.2 粗选 pH 值对浮选指标的影响

采用硫酸和碳酸钠作为矿浆 pH 值调整剂，在-0.074 mm 85% 时，考查矿浆 pH 值变化对浮选指标的影响，抑制剂硅酸钠用量 1 000 g/t、捕收剂油酸钠用量 2 000 g/t，实验结果见图 4。

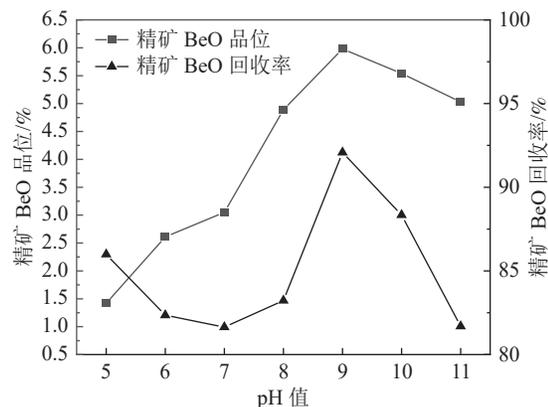


图 4 矿浆 pH 值对浮选实验结果的影响  
Fig.4 Effect of pulp pH value on flotation performance

由图 4 可见，酸性条件不利于该羟硅铍石矿浮选，精矿 BeO 品位较低。随着矿浆 pH 值升高，精矿 BeO 品位先增大后减小，在 pH 值为 9 时达到较大，此时精矿 BeO 回收率也较高。因

此，适宜的粗选条件为弱碱性，确定粗选 pH 值为 9 进行后续实验，此时碳酸钠用量为 1 500 g/t。

### 2.3 粗选捕收剂用量对浮选指标的影响

在磨矿过程中加入 800 g/t 氟化钠，获得细度为-0.074 mm 85% 的磨矿样品，采用油酸钠作捕收剂，考查其用量对浮选指标的影响，结果见图 5。

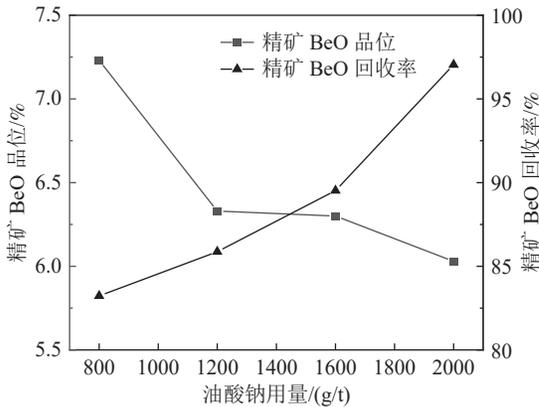


图 5 捕收剂用量对浮选实验结果的影响  
Fig.5 Effect of collector dosages on flotation performance

由图 5 可以看出，增加捕收剂用量可以提高精矿 BeO 回收率，但会降低浮选精矿 BeO 品位。当捕收剂用量为 1 600 g/t 时，精矿 BeO 品位 6.30%、回收率 89.52%，继续增加捕收剂用量到 2 000 g/t 时，精矿 BeO 品位为 6.03%，下降不明显，但精矿回收率增加至 97.02%。因此，确定适宜的捕收剂用量为 2 000 g/t。

### 2.4 活化剂用量对浮选指标的影响

将活化剂氟化钠加入到球磨机中，获得-0.074 mm 85% 的磨矿样品，考查其用量实验，随后按照上述确定的其他药剂制度进行浮选实验，结果见图 6。

图 6 结果表明，当活化剂氟化钠用量为 400 g/t 时，精矿 BeO 品位为 5.57%、回收率较低，为 88.11%。当用量增加至 800 g/t 时，精矿 BeO 品位为 6.03%、回收率为 97.02%，均达到较优指标。增加药剂用量至 1 200 g/t 时，精矿 BeO 品位和回收率均降低，随着氟化钠用量继续增加，精矿 BeO 品位持续下降，虽然回收率略有提高，但仍然小于氟化钠用量为 800 g/t 时的 BeO 回收率。因此，确定适宜的氟化钠用量为 800 g/t。

### 2.5 粗选抑制剂用量对浮选指标的影响

在确定的磨矿细度-0.074 mm 85%、捕收剂油酸钠 2 000 g/t、调整剂碳酸钠 1 500 g/t、活化剂氟化钠 800 g/t 用量条件下，采用硅酸钠作为抑制

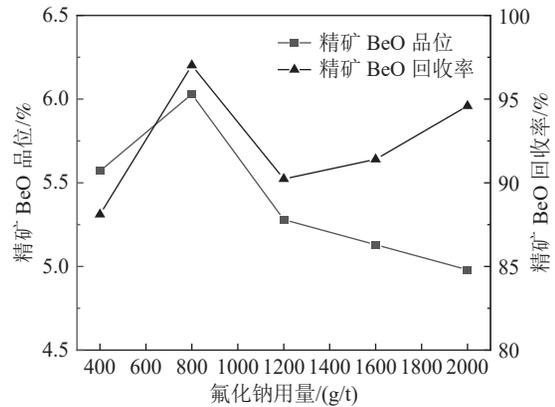


图 6 活化剂用量对浮选实验结果的影响  
Fig.6 Effect of activator dosages on flotation performance

剂，考查硅酸钠用量对浮选指标的影响，实验结果见图 7。

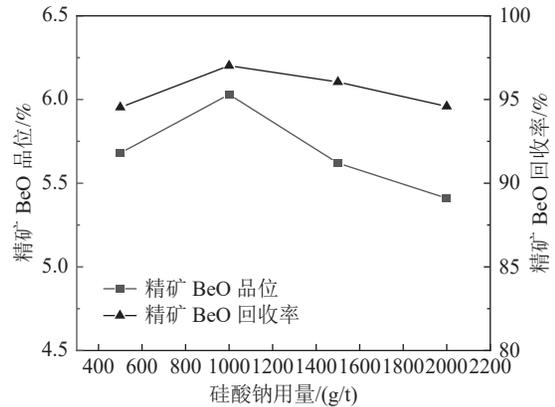


图 7 抑制剂用量对浮选实验结果的影响  
Fig.7 Effect of depressant dosages on flotation performance

由图 7 可见，添加硅酸钠可以提高精矿 BeO 品位，随着硅酸钠用量增加，精矿 BeO 品位和回收率先增加后减小。在硅酸钠用量为 1 000 g/t 时，精矿 BeO 品位及回收率较高，分别为 6.03% 和 97.02%，继续增加硅酸钠用量，精矿 BeO 品位和回收率都呈降低趋势。因此，确定适宜的抑制剂硅酸钠用量为 1 000 g/t。

### 2.6 浮选开路实验结果

在磨矿过程中加入活化剂氟化钠 800 g/t，磨矿细度为-0.074 mm 85%、pH 值调整剂碳酸钠、抑制剂硅酸钠、捕收剂油酸钠用量分别为 1 500、1 000、2 000 g/t，进行一粗二精一扫的浮选开路实验，浮选药剂制度和流程见图 8。由矿样的工艺矿物学特性研究结果可知，有用矿物羟硅铍石的主要嵌布粒度为 0.01~0.02 mm，因此，粗选精矿在进入精选前进行了再磨，再磨细度为-0.045 mm 90%，实验结果见表 3。

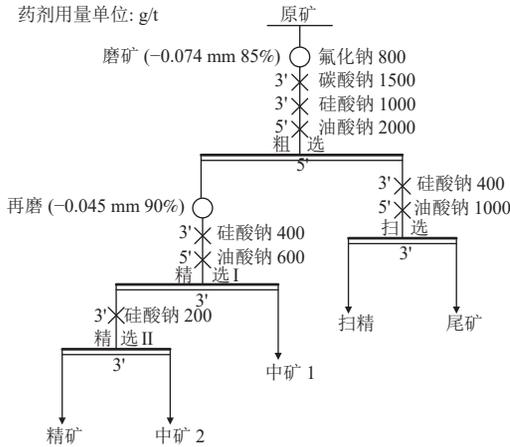


图 8 浮选开路实验流程及药剂制度条件

Fig.8 Open circuit flotation test flow and reagent system

表 3 结果表明, 当磨矿-0.074 mm 85%、粗精矿再磨细度为-0.045 mm 90%时, 采用一粗一扫两精选矿工艺, 可以获得 BeO 品位 8.40% 的浮选精矿、BeO 回收率为 78.09%; 最终尾矿 BeO 品位可

药剂用量单位:

图例:  $\frac{\text{产率}(\%); \text{BeO 品位}(\%)}{\text{BeO 回收率}(\%)}$

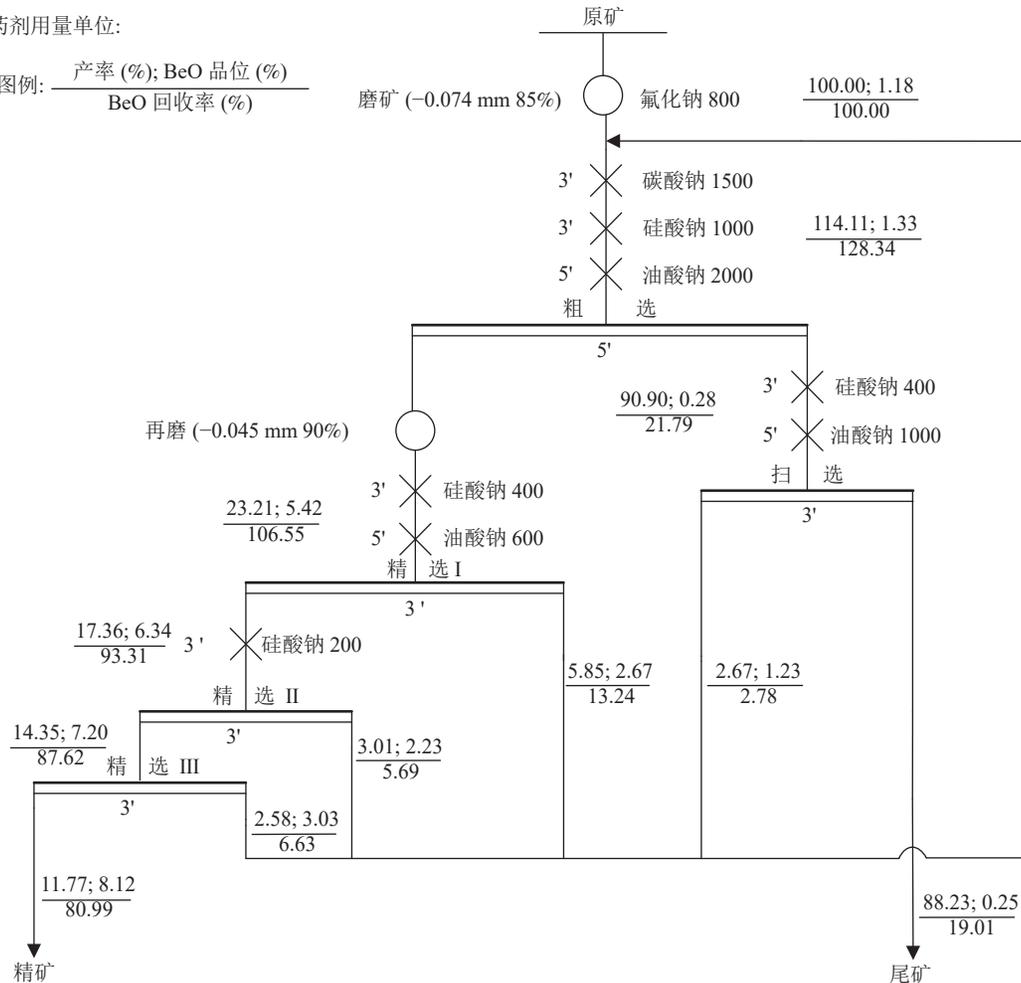


图 9 中矿集中返回粗选闭路流程数质量流程

Fig.9 Quantity-quality flowsheet of closed-circuit of integrated middling recirculated to coarse separation

表 3 浮选开路实验结果

Table 3 Flotation open-circuit test results

样品名称	产率/%	BeO品位/%	BeO回收率/%
精矿 <sup>+</sup>	10.97	8.40	78.09
中矿 <sup>2</sup>	3.01	2.23	5.69
中矿 <sup>1</sup>	5.85	2.67	13.24
扫精	2.67	1.23	2.78
尾矿	77.50	0.003	0.20
原矿 <sup>+</sup>	100.00	1.18	100.00

降至 0.003%, 可以实现对含铍矿物的有效富集。

### 2.7 浮选闭路实验结果

根据浮选条件实验结果、开路实验结果, 进行“一粗一扫三精、中矿集中返回粗选”的闭路实验, 闭路流程的药剂制度和实验结果见图 9。

由图 9 实验结果可知, “一粗一扫三精、中矿集中返回粗选”闭路实验中, 4 个中矿为扫选精矿、精 I 尾矿、精 II 尾矿、精 III 尾矿, BeO 含量

分别为 1.23%、2.67%、2.23%、3.03%，混合后 BeO 品位约 2.37%，集中返回到粗选阶段，部分有用矿物的连生体富集到粗选精矿中，经过再磨增加有用矿物颗粒的解离度，并经过三次精选，流程平衡后，获得 BeO 品位 8.12%、回收率 80.99% 的浮选精矿，最终浮选尾矿 BeO 品位为 0.25%。

### 3 结 论

(1) 样品中含铍矿物主要为羟硅铍石，矿物含量为 1.50%，主要脉石矿物为石英、钠长石、钾长石、伊利石、绿泥石等矿物。含铍矿物羟硅铍石晶体粒径多为 0.01~0.02 mm，集合体直径在 0.15~0.8 mm 不等，单体解离度 < 2%，多与钠长石共生或被包裹，其次与钾长石、伊利石、石英、萤石及绿泥石等矿物共生。

(2) 增加有用矿物解离度是实现有效分选的前提，为了避免过磨对粗选阶段 BeO 品位和回收率产生不良影响，采用阶段磨矿方式。确定的粗选前适宜磨矿细度为 -0.074 mm 85%，通过优化粗选药剂制度，在磨矿过程中加入活化剂氟化钠 800 g/t，pH 值调整剂碳酸钠、抑制剂硅酸钠、捕收剂油酸钠用量分别为 1 500、1 000、2 000 g/t 的条件下，获得了 BeO 品位 6.03%、回收率为 97.02% 的粗选指标。

(3) 以氟化钠为活化剂，油酸钠为捕收剂，硅酸钠为抑制剂，碳酸钠为 pH 值调整剂，粗选前、粗精矿再磨细度分别为 -0.074 mm 85%、-0.045 mm 90%，在适宜药剂制度条件下，通过一次粗选、两次精选及一次扫选的开路浮选实验，获得了 BeO 品位为 8.40%、BeO 回收率为 78.09% 的铍精矿。

(4) 在适宜药剂制度下，“一粗一扫三精、中矿集中返回粗选”的浮选闭路实验可以获得 BeO 品位 8.12%、回收率 80.99% 的浮选精矿，可满足铍冶炼工艺对原料的要求。

### 参考文献：

[1] 李爱民, 蒋进光, 王晖, 等. 含铍矿物浮选研究现状与展望[J]. *稀有金属与硬质合金*, 2008(3):58-61.  
LI A M, JIANG J G, WANG H, et al. The latest development and prospects of beryllium minerals flotation[J]. *Rare Metals*

and Cemented Carbides, 2008(3):58-61.

[2] 许秀婷, 教镇渤, 海国泉, 等. 铍矿产业发展现状[J]. *新疆有色金属*, 2021, 44(1):4-8.

XU X T, JIAO Z B, HAI G Q, et al. Development of beryllium ore industry[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 2021, 44(1):4-8.

[3] 张玲, 林德松. 我国稀有金属资源现状分析[J]. *地质与勘探*, 2004(1):26-30.

ZHANG L, LIN D S. Current situation of rare metal resources in China[J]. *Geology and Prospecting*, 2004(1):26-30.

[4] 罗丽萍, 胡军亮, 谭洪旗, 等. 川西上基拱伟晶岩型铍矿绿柱石矿物化学特征[J]. *矿产综合利用*, 2021(5):113-119.

LUO L P, HU J L, TAN H Q, et al. Mineralogical characteristics of the pegmatite type beryl in Shangjigong, Western Sichuan Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(5):113-119.

[5] 李娜, 高爱红, 王小宁. 全球铍资源供需形势及建议[J]. *中国矿业*, 2019, 28(4):69-73.

LI N, GAO A H, WANG X N. Global beryllium supply and demand trends and its enlightenment[J]. *China Mining Magazine*, 2019, 28(4):69-73.

[6] 王仁财, 邢佳韵, 彭浩. 美国铍资源战略启示[J]. *中国矿业*, 2014, 23(10):21-24.

WANG R C, XING J Y, PENG H. Enlightenment of United States' beryllium resources strategy[J]. *China Mining Magazine*, 2014, 23(10):21-24.

[7] 李卫. 高氟铍矿石的冶炼工艺研究[D]. 长沙: 中南大学, 2003.

LI W. Study on smelting technology of high-fluorine beryllium ore[D]. Changsha: Central South University, 2003.

[8] 郑元泽. 捕收剂预先混合对羟硅铍石浮选的影响探讨[J]. *世界有色金属*, 2020(10):271-272.

ZHENG Y Z. Effect of collector premixing on flotation of beryllium silicate[J]. *World Nonferrous Metals*, 2020(10):271-272.

[9] 耿志强, 孙伟. 碱性调整剂在某羟硅铍石浮选中的应用研究[J]. *有色金属工程*, 2018, 8(3):90-94.

GENG Z Q, SUN W. Application of alkaline regulator in bertrandite flotation[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 2018, 8(3):90-94.

[10] 耿志强, 黄红军, 孙伟. 某羟硅铍石矿中浮选富集含铍矿物的试验研究[J]. *矿冶工程*, 2018, 38(4):54-56+60.

GENG Z Q, HUANG H J, SUN W. Reclaiming of beryllium minerals from bertrandite ore by flotation[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2018, 38(4):54-56+60.

- [11] T Ito J, et al. The structure of bertrandite ( $H_2Be_4Si_2O_9$ )[J]. *Zeitschrift für Kristallographie -Crystalline Materials*, 1932, 83(1-6):384-393.
- [12] 耿志强, 孙伟. 捕收剂预先混合对新疆某羟硅铍石浮选的影响[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(2):10-13.
- GENG Z Q, SUN W. Experimental study on flotation Xinjiang bertrandite using combination collectors[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(2):10-13.
- [13] 朱一民. 2019年浮选药剂的进展[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):1-17.
- ZHU Y M. The development of flotation reagent in 2019[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):1-17.
- [14] 郑元泽. 简述碱性调整剂在羟硅铍石浮选中的运用[J]. *冶金管理*, 2020(9): 30+32.
- ZHENG Y Z. Application of alkaline regulator in flotation of bertrandite[J]. *Metallurgical Management*, 2020(9): 30+32.
- [15] 李月湘, 衣龙升, 田建吉. 新疆杨庄产铍岩体岩石地球化学特征及其成因探讨[C]. *高校地质学报*, 2013: 318-319.
- LI Y X, YI L S, TIAN J J. Petrogeochemical characteristics and genesis of beryllium-producing rock mass in Yangzhuang, Xinjiang[C]. *Editorial Office of Geological Journal of China Universities*, 2013: 318-319.
- [16] 肖艳东, 黄建华, 王哲, 等. 新疆和布克赛尔县白杨河铀、铍矿床空间分布特征[J]. *西部探矿工程*, 2011, 23(9):123-126.
- XIAO Y D, HUANG J H, WANG Z, et al. Spatial distribution characteristics of Baiyanghe uranium and beryllium deposits in Xinjiang and Buxail County[J]. *Western Prospecting Project*, 2011, 23(9):123-126.
- [17] 李光来, 陈光旭, 刘晓东, 等. 雪米斯坦成矿带杨庄岩体中含铀矿物特征及其对铀成矿的指示[J]. *地质学报*, 2020, 94(11):3404-3420.
- LI G L, CHEN G X, LIU X D, et al. Characteristics of uranium-bearing minerals in Yangzhuang granite porphyry in the Xuemistan metallogenic belt and its significance for uranium metallogenesis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(11):3404-3420.
- [18] 王谋, 李晓峰, 王果, 等. 新疆雪米斯坦火山岩带白杨河铍铀矿床地质特征[J]. *矿产勘查*, 2012, 3(1):34-40.
- WANG M, LI X F, WANG G, et al. Geological characteristics of Baiyanghe beryllium-uraniumdeposits in Xuemistan volcanic belt, Xinjiang[J]. *Mineral Exploration*, 2012, 3(1):34-40.

## Beneficiation of Bertrandite Ores in Xinjiang

ZHENG Huimin<sup>1</sup>, LI Lixia<sup>1</sup>, MA Jia<sup>2</sup>, LIU Zhichao<sup>2</sup>

(1.School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China;

2.Beijing Research Institute of Chemical Engineering Metallurgy, Beijing 101149, China)

**Abstract:** This is an article in the field of mineral processing engineering. The volcanic bertrandite ore used in this study was obtained from Xinjiang, China. Mineral and multi-elemental compositions were characterized to identify the disseminated grain size and occurrence of valuable minerals, and systematic flotation tests were carried out. In the presence of activator sodium fluoride in the grinding process, grinding fineness and reagents dosages were optimized. It was shown that with grinding fineness of -0.074 mm 85%, dosages of pH regulator sodium carbonate, inhibitor sodium silicate, and collector sodium oleate of 1 500 g/t, 1 000 g/t, and 2 000 g/t respectively, a coarse concentrate was generated with BeO grade of 6.03% and recovery of 97.02%. This coarse concentrate was reground to -0.045 mm 90% and enriched by two cleaning stages yielding a clean concentrate assaying 8.40% BeO with a BeO recovery of 78.09%, while BeO content of the coarse tailing was degraded to 0.003% after one scavenger flotation. The closed-circuit flotation test of "one-coarse, one-scavenger, three-cleaning separation, and integrated middling recirculated to coarse separation" has generated a concentrate with BeO grade of 8.12% and recovery of 80.99%, meeting the requirements of beryllium process for BeO content in raw materials .

**Keywords:** Mineral processing engineering; Bertrandite; Flotation reagents; Grade; Beneficiation; Grinding fineness