

## 新疆某低品位萤石矿浮选实验研究

李伦, 曾小波, 严伟平, 李维斯

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 自然资源部战略性矿产综合利用工程技术创新中心, 四川 成都 610041)

**摘要:** 这是一篇矿物加工工程领域的论文。新疆某低品位萤石矿主要由萤石 (28.85%)、方解石 (43.26%)、石英 (12.01%) 和长石 (10.28%) 四种矿物组成。通过详细的选矿实验研究, 在磨矿细度为  $-0.074$  mm 65% 时, 以酸化水玻璃和改性碳水化合物 EM-318 为方解石抑制剂, 植物基脂肪酸皂 EM-OL3 为萤石捕收剂, 采用“两次粗选一次扫选八次精选”的工艺流程, 浮选闭路实验获得了  $\text{CaF}_2$  品位 97.59%,  $\text{CaF}_2$  回收率 90.98% 的萤石精矿。该实验研究表明, 改性碳水化合物 EM-318 为方解石抑制剂, 与植物基脂肪酸皂 EM-OL3 为萤石捕收剂配合使用, 能够高效地实现萤石与方解石的分离。

**关键词:** 矿物加工工程; 萤石; 方解石; 捕收剂; 回收率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.04.019

中图分类号: TD97;TD923 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 04-0127-06

萤石是自然界主要的含氟矿物, 是一种应用广泛的非金属矿产资源<sup>[1]</sup>。随着国防、新能源和半导体产业的飞速发展, 萤石作为氟化工产业中氢氟酸生产的最主要的原料, 其消耗量将迅速增加<sup>[2-4]</sup>。我国萤石资源以共伴生萤石矿为主, 特点是矿石性质复杂, 品位低, 脉石矿物和有用矿物萤石的物理化学性质相近, 因此需要加入高效的抑制剂和捕收剂, 经过多次精选才能使萤石和脉石矿物有效分离<sup>[5]</sup>。由此可见, 研发高效的浮选药剂开发利用低品位共伴生萤石矿至关重要。

### 1 原矿性质

原矿主要化学多元素分析结果见表1, 矿物成分及含量见表2。原矿中矿物以萤石和方解石为主, 加上石英、长石, 四种矿物的含量约占矿物总量的94%; 另外还含有少量的重晶石、云母、绿泥石、磁铁矿和磷灰石等矿物。原矿最主要的构造是块状构造, 表现为萤石或方解石紧密镶嵌, 矿物颗粒比较大, 最大超过2 cm。萤石和方解石的排列无一定次序, 均匀分布。原矿中萤石粒度较粗大, 主要集中在粒径0.1 mm以上范围内。

表1 矿样主要化学多元素分析结果/%

Table 1 Main chemical multi-element analysis results of ore samples

$\text{CaF}_2$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	S	$\text{CO}_2$	BaO
28.25	43.26	14.82	1.82	1.18	0.32	0.47	1.16	0.18	0.18	19.32	0.3

表2 矿样的矿物含量测定结果/%

Table 2 Mineral content determination results of ore samples

萤石	方解石	石英	长石	云母	黄铁矿	磷灰石	重晶石	其他	合计
28.25	43.26	12.01	10.28	2.43	0.02	0.75	0.54	2.46	100.00

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (DD20230039)

作者简介: 李伦 (1989-), 男, 助理工程师, 主要从事矿产综合利用研究工作。

通信作者: 曾小波 (1980-), 男, 正高级工程师, 主要从事矿产综合利用研究工作。

## 2 选矿实验研究

### 2.1 捕收剂种类实验

萤石捕收剂种类多种多样，常用的萤石捕收剂有油酸、脂肪酸等，其中油酸捕收性能受温度影响较大，选用适用于低温浮选的脂肪酸皂类捕收剂 EM-OL 系列（原料的碘值、皂化值、酸值以及选择的活化剂种类不同）与油酸进行捕收剂对比实验<sup>[6]</sup>。捕收剂种类实验固定磨矿细度为-0.074 mm 70%、抑制剂酸化水玻璃、EM-318 和 EM-326 用量同为 400 g/t、400 g/t 和 200g /t，捕收剂用量同为 400 g/t 时，实验结果见图 1。

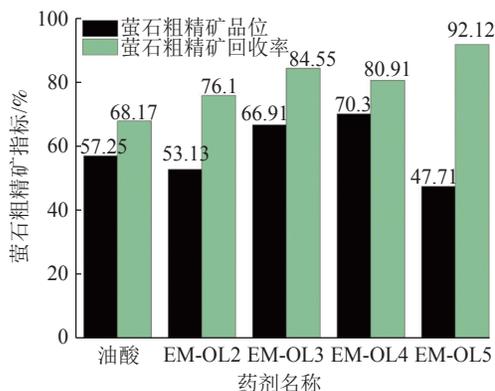


图 1 捕收剂种类实验结果/%  
Fig.1 Test results of collector type

由图 1 可知，五种捕收剂中使用 EM-OL5 时，CaF<sub>2</sub> 回收率较高，达到了 92.12%，但 CaF<sub>2</sub> 品位仅为 47.71%。虽然 EM-OL4 获得了较高 CaF<sub>2</sub> 品位 70.30%，但回收率仅为 80.91%。综合考虑粗精矿品位和回收率，捕收剂选择 EM-OL3。

### 2.2 抑制剂种类实验

选择常用的方解石抑制剂淀粉、单宁与 EM-318 和 EM-326 进行抑制剂对比实验。抑制剂种类实验固定磨矿细度为-0.074 mm70%、酸化水玻璃用量 400 g/t、捕收剂 EMOL3 用量 400 g/t，抑制剂用量同为 400 g/t 时，实验结果见图 2。

由图 2 可知，EM-318 获得的 CaF<sub>2</sub> 品位和回收率均较高，说明 EM-318 对方解石具有良好的选择性抑制作用，因此选定抑制剂为 EM-318。

### 2.3 磨矿细度实验

萤石浮选时粒度过粗，萤石未单体解离，粒度过细将会造成回收困难。因此通过实验确定合适的磨矿细度，让萤石单体解离十分重要<sup>[7]</sup>。固定 SSB、EM-318 和 EM-OL3 用量均为 400 g/t，改变

磨矿细度进行磨矿细度实验，实验结果见图 3。

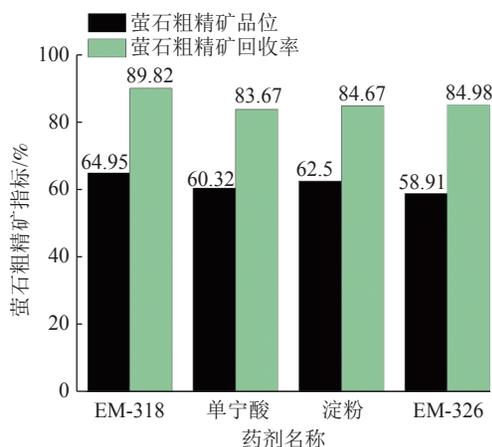


图 2 抑制剂种类实验结果  
Fig.2 Test results of inhibitor type

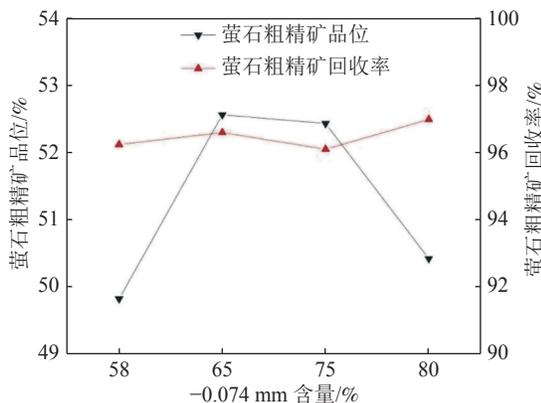


图 3 磨矿细度条件实验  
Fig.3 Grinding fineness condition test

由图 3 可知，当磨矿细度为-0.074 mm 65% 左右时，CaF<sub>2</sub> 品位较高，此时继续增加磨矿细度，回收率一致保持在 96%~97% 左右，变化不大，因此确定磨矿细度为-0.074 mm 65%。

### 2.4 粗选酸化水玻璃用量实验

酸化水玻璃对碳酸盐型萤石矿中的方解石抑制效果非常显著，同时还能起到分散矿泥的作用，调节矿浆 pH 值为弱酸性，有利于回收 CaF<sub>2</sub><sup>[8-9]</sup>。固定磨矿细度-0.074 mm 65%，EM-318 和 EM-OL3 用量 400 g/t，改变酸化水玻璃用量进行实验，实验结果见图 4。

由图 4 可知，随着酸化水玻璃用量的增加，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 品位和回收率先上升，当酸化水玻璃用量升至 600 g/t 时，CaF<sub>2</sub> 品位和回收率分别升至 65.68% 和 87.00%。继续增加酸化水玻璃用量，粗精矿品位变化不大，但 CaF<sub>2</sub> 回收率显著下降。因

此选择酸化水玻璃用量为 600 g/t。

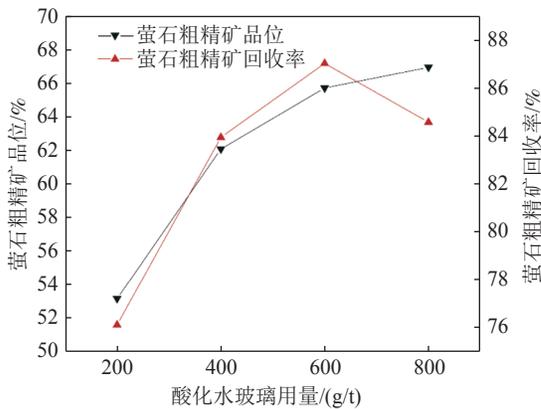


图4 酸化水玻璃用量实验结果

Fig.4 Test results of acidized water glass dosage

### 2.5 粗选 EM-318 用量实验

固定磨矿细度-0.074 mm 65%，酸化水玻璃、EM-OL3 用量 600 g/t、400 g/t，改变 EM-318 用量进行实验，实验结果见图 5。

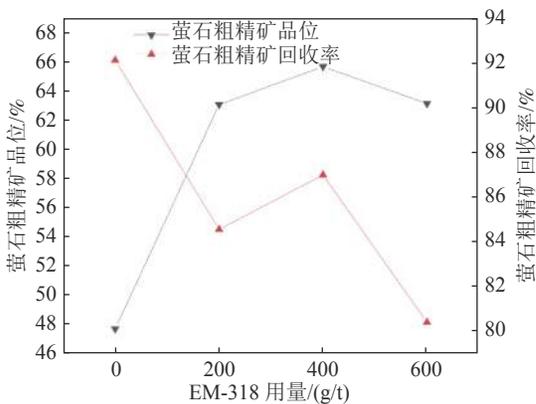


图5 EM-318 用量实验结果

Fig.5 Test results of EM-318 dosage

由图 5 可知，随着 EM-318 用量的增加，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 品位显著升高，当 EM-318 用量到达 400 g/t 时，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 品位升至 65.68%，继续增加抑制剂 EM-318 用量，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 品位开始降低且回收率明显降低。综合考虑粗精矿品位和回收率，选择 EM-318 用量 400 g/t。

### 2.6 粗选 EM-OL3 用量实验

固定磨矿细度-0.074 mm 65%，酸化水玻璃和 EM-318 用量 600 g/t 和 400 g/t，改变捕收剂 EM-OL3 用量进行实验，实验结果见图 6。

由图 6 可知，随着捕收剂 EM-OL3 用量的增加，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 回收率逐渐升高，当 EM-OL3 用量到达 450 g/t 时，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 回收率升至

92.67%，继续增加捕收剂 EM-OL3 用量，粗精矿 CaF<sub>2</sub> 回收率变化幅度不大，但品位明显降低。综合考虑粗精矿品位和回收率，选择 EM-OL3 用量 450 g/t。

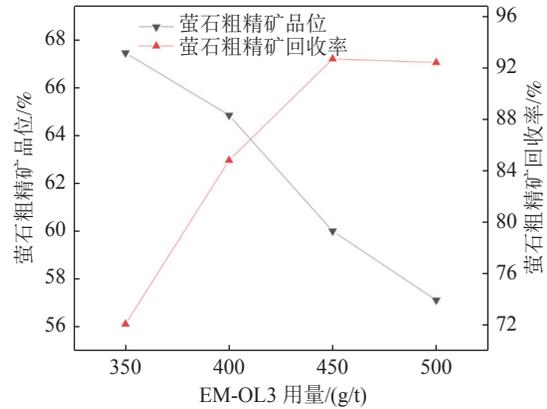


图6 EM-OL3 用量实验结果

Fig.6 Test results of EM-OL3 dosage

### 2.7 精选实验

由于萤石精选流程较长，所用药剂均为酸化水玻璃和 EM-318，只需微幅调整药剂用量。较好的药剂用量配比见图 7，实验结果见表 3。

由表 3 结果可知，经过 6 次精选萤石精矿品位达到了 CaF<sub>2</sub>98.45%，回收率为 69.15%。

### 2.8 闭路实验

为提升精矿品位和回收率，闭路实验在开路实验流程基础上增加了一次粗选和两次精选，实验流程见图 8，结果见表 4。

由图 8、表 4 可知，在磨矿细度为-0.074 mm 65% 时，采用“两次粗选一次扫选八次精选，中矿顺序返回”的浮选闭路流程获得了良好的实验指标：萤石精矿品位 CaF<sub>2</sub>97.59%，回收率为 90.98%。对精矿进行了化学多项分析，结果见表 5，由表 5 可知，精矿中 S、P、As 等杂质含量很低。

## 3 结 论

(1) 矿石以萤石和方解石为主，品位分别为 28.25% 和 43.26%，石英、长石品位分别为 12.01% 和 10.28%。

(2) 酸化水玻璃、改性碳水化合物 EM-318 与植物基脂肪酸皂 EM-OL3 配合使用，能够高效地实现萤石与方解石的分离。

(3) 当磨矿细度为-0.074 mm 65% 时，通过

药剂用量单位: g/t

矿浆温度: 18℃

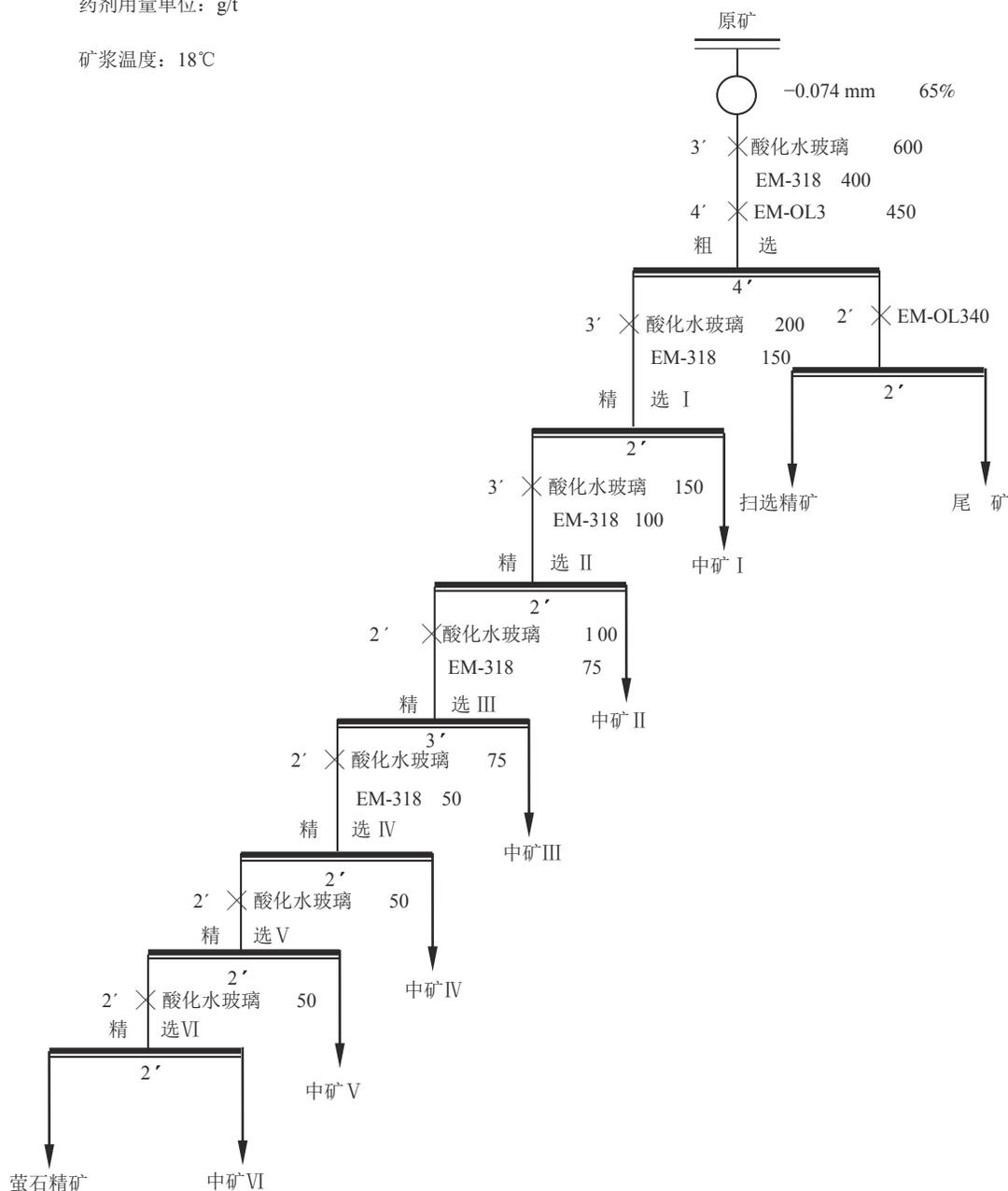


图 7 开路实验流程

Fig.7 Test process of open circuit

表 3 开路实验结果

Table 3 Test results of open circuit

产品名称	产率/%	CaF <sub>2</sub> 品位/%	CaF <sub>2</sub> 回收率/%
萤石精矿	20.65	98.45	69.15
中矿 VI	1.29	93.93	4.11
中矿 V	1.65	88.19	4.94
中矿 IV	2.01	65.83	4.49
中矿 III	2.50	29.45	2.50
中矿 II	4.23	14.31	2.06
中矿 I	10.11	7.64	2.63
扫选精矿	2.97	27.61	2.79
尾矿	54.59	3.95	7.33
原矿	100.00	29.41	100.00

“两次粗选一次扫选八次精选”的浮选闭路流程，可以得到产率为 26.9%、CaF<sub>2</sub> 品位为 97.59%，CaF<sub>2</sub> 回收率为 90.98% 的萤石精矿产品。

(4) 萤石精矿产品质量检查显示，有害杂质含量分别为 CaCO<sub>3</sub> 0.82%、SiO<sub>2</sub> 0.38%、S 0.01%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.032%、P 0.01%、As 4.50 g/t，萤石精矿质量达到萤石行业标准 (YB/T5217-2005) FC-97A 品质要求，为优质酸级萤石精矿，非常适合作为高端氟化工行业的原料。

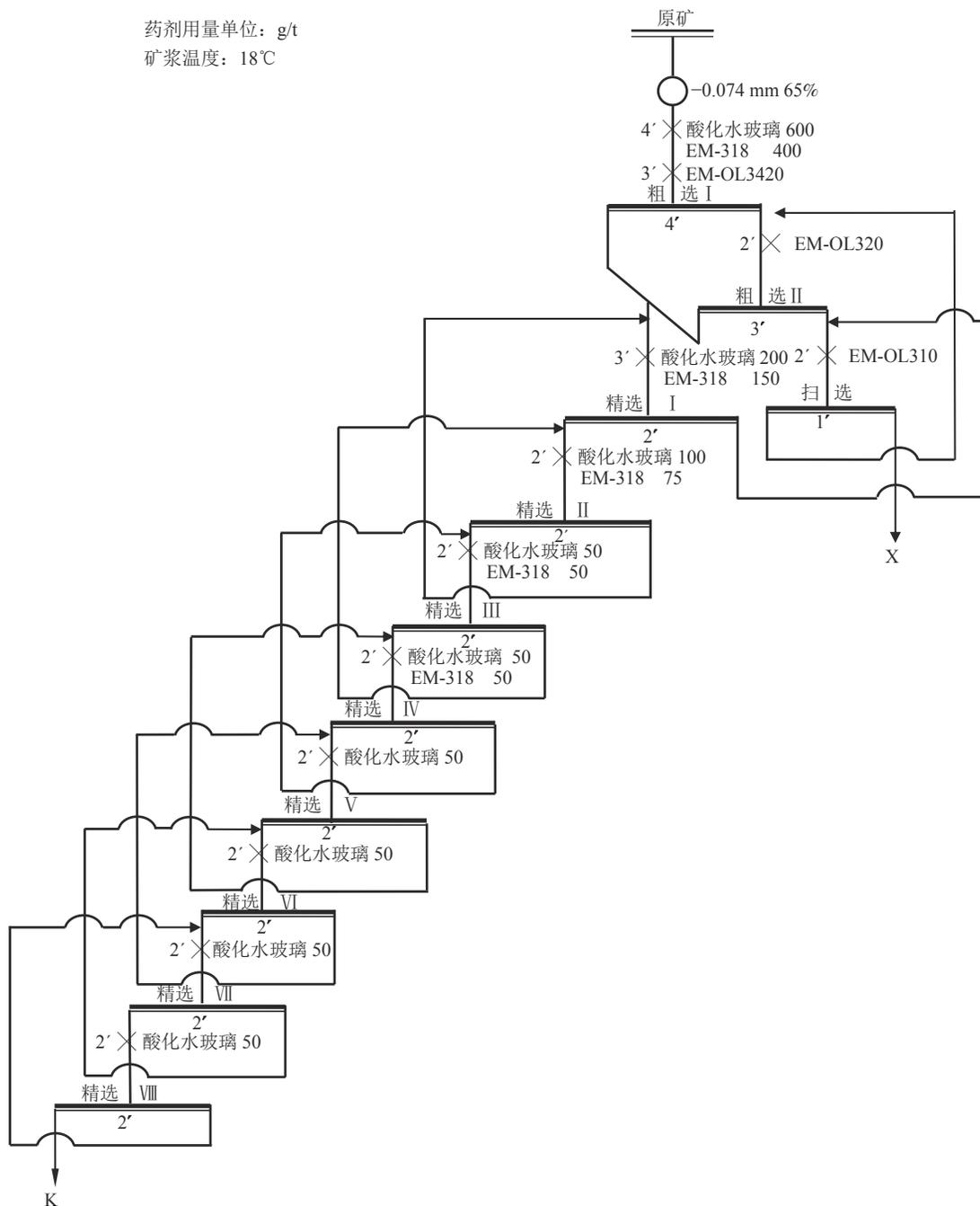


图8 闭路实验流程  
Fig.8 Test process of closed circuit

表4 闭路实验结果  
Table 4 Test results of closed-circuit

产品名称	产率/%	CaF <sub>2</sub> 品位/%	CaF <sub>2</sub> 回收率/%
萤石精矿	26.90	97.59	90.98
尾矿	73.10	3.56	9.02
原矿	100.00	28.85	100.00

表5 萤石精矿化学多项分析结果/%  
Table 5 Chemical multiple analysis results of fluorite concentrate

CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	As*
97.59	0.82	0.38	0.01	0.032	0.01	4.50

\*单位为g/t

参考文献：

[1] 邵厥年, 陶维屏. 矿产资源工业要求手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2014.

出版社, 2014.

SHAO J N, TAO W P. Handbook of industrial requirements for

- mineral resources[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [2] 陈韵冰, 王星星, 周凤英. 萤石典型产品国际贸易竞争格局演变[J]. *地球学报*, 2023, 44(2):395-403.
- CHEN Y B, WANG X X, ZHOU F Y. The evolution of international trade competition pattern of fluorite typical products[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(2):395-403.
- [3] 白林宝, 贺巧玲. 萤石的开发利用及发展动向[J]. *内蒙古石油化工*, 2008(14):38-40.
- BAI L B, HE Q L. Development, utilization and development trend of fluorite[J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2008(14):38-40.
- [4] 王文利, 白志民. 中国萤石资源及产业发展现状[J]. *金属矿山*, 2014(3):19-22.
- WANG W L, BAI Z M. Fluorite resources in China and its industrial development status[J]. *Metal Mine*, 2014(3):19-22.
- [5] 曾小波, 印万忠. 共伴生萤石矿浮选研究进展与展望[J]. *矿产综合利用*, 2021(1):1-2.
- ZENG X B, YIN W Z. Research progress and prospect of flotation of associated fluorite minerals[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(1):1-2.
- [6] 朱一民. 2021 年浮选药剂的进展[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2022(2):1-15.
- ZHU Y M. Progress of flotation reagents in 2021[J]. *Nonferrous Metals(Mineral Processing Section)*, 2022(2):1-15.
- [7] 马隆飞, 廖寅飞, 贺玉程, 等. 赣州某萤石尾矿浮选柱分选实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2019(2):89-93.
- MA L F, LIAO Y F, HE Y C, et al. Experimental study on flotation column separation of a fluorite tailings in Ganzhou[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(2):89-93.
- [8] 崔瑞, 王旭, 魏骞, 等. 湖北某重晶石-萤石型矿综合利用研究[J]. *矿产综合利用*, 2019(2):70-74.
- CUI R, WANG X, WEI Q, et al. Study on comprehensive utilization of a barite-fluorite ore in Hubei province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(2):70-74.
- [9] 许道刚, 陈占发, 吕清纯, 等. 湖南某萤石矿抑钙提质优化实验[J]. *矿冶*, 2021, 30(6):48-53.
- XU D G, CHEN Z F, LV Q C, et al. Optimization test of calcium inhibition of a fluorite ore in Hunan Province[J]. *Mining and Metallurgy*, 2021, 30(6):48-53.

## Flotation of a Low Grade Fluorite Ore in Xinjiang

Li Lun, Zeng Xiaobo, Yan Weiping, Li Weisi

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Technology Innovation Center for Comprehensive Utilization of Strategic Minerals Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** This is an essay in the field of mineral processing engineering. A low-grade fluorite ore is mainly composed of fluorite (28.85%), calcite (43.26%), quartz (12.01%) and feldspar (10.28%). Through detailed beneficiation test research, using acidized water glass and modified carbohydrate EM-318 as calcite inhibitors and using plant-based fatty acid soap EM-OL3 as fluorite collector, the fluorite concentrate with a grade of 97.59% and recovery of 90.98% was obtained by the flowsheet of "-0.074 mm accounting for 65%, two roughings, one scavenging, and eight cleanings". This experimental study shows that the combination of modified carbohydrate EM-318 and plant based fatty acid soap EM-OL3 as fluorite collector can efficiently separate fluorite from calcite,

**Keywords:** Mineral processing engineering; Fluorite ore; Carbonate; Collector; Recovery rate