

# 某萤石-方解石共生矿浮选实验研究<sup>①</sup>

李维斯<sup>1,2</sup>, 严伟平<sup>1,2</sup>, 曾小波<sup>1,2</sup>, 喻福涛<sup>1,2</sup>, 邓建<sup>1,2</sup>, 李伦<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院矿产综合利用研究所,四川成都610041; 2.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:** 某萤石-方解石共生矿  $\text{CaF}_2$  含量 31.09%、 $\text{CaCO}_3$  含量 53.23%, 主要有用矿物为萤石, 主要脉石矿物为方解石、石英和长石等。浮选实验结果表明, 原矿磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75%, 以酸化水玻璃和 EM-318 作抑制剂、EM-OL-3 作捕收剂, 采用两粗一扫八精闭路浮选, 最终得到  $\text{CaF}_2$  品位 97.26%、回收率 86.55% 的萤石精矿, 质量达到萤石行业标准 (YB/T 5217—2005) 中 FC-97A 品质要求, 可作为高端氟化工行业的原料。

**关键词:** 萤石; 方解石; 浮选; 抑制剂; 捕收剂

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.01.015

文章编号: 0253-6099(2024)01-0068-04

## Experimental Study on Flotation of Fluorite-Calcite Symbiotic Ore

LI Weisi<sup>1,2</sup>, YAN Weiping<sup>1,2</sup>, ZENG Xiaobo<sup>1,2</sup>, YU Futao<sup>1,2</sup>, DENG Jian<sup>1,2</sup>, LI Lun<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. Technology Innovation Center for Comprehensive Utilization of Strategic Minerals Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** Flotation tests were carried out for a fluorite-calcite symbiosis ore containing 31.09%  $\text{CaF}_2$  and 53.23%  $\text{CaCO}_3$ , with the predominately valuable mineral of fluorite, and the dominantly gangue minerals of calcite, quartz and feldspar. After being milled to a fineness of -0.074 mm 75%, the ore was processed with acidized sodium silicate and EM-318 as depressants and EM-OL-3 as collector. Adopting a close-circuit flowsheet consisting of two stages of roughing, one stage of scavenging and eight stages of cleaning, a fluorite concentrate grading 97.26%  $\text{CaF}_2$  at 86.55% recovery can be obtained. Qualified as an acid-grade fluorite powder (with grade FC-97A) according to the Industry Standard for Ferrous Metallurgy (YB/T 5217—2005 (Fluorspar)), this fluorite concentrate can be used as the raw material in high-end fluorine chemical industry.

**Key words:** fluorite; calcite; flotation; depressant; collector

萤石又称为氟石,其主要成分为  $\text{CaF}_2$ ,是唯一可以在工业生产中提供大量氟元素的矿物,主要用于提取或制备氟元素及其化合物,在冶金、化工、建材、陶瓷、航空、制冷、医药、原子能工业、氟化工等传统产业和新兴产业中有着广泛应用。根据《全国矿产资源规划(2016—2020年)》,萤石被列入我国“战略性矿产目录”,是“与稀土类似的世界级稀缺资源”<sup>[1-4]</sup>。根据矿床类型的不同,我国萤石矿可分为单一型萤石矿床和共伴生萤石矿床两大类<sup>[5]</sup>。根据主要矿物组成,萤石矿可分为石英型萤石、方解石型萤石、重晶石型共生

萤石以及多金属伴生型萤石 4 种类型<sup>[6]</sup>。经多年发展,单一型萤石矿综合利用技术已日趋成熟,而共伴生萤石矿的浮选分离是业界难题。

共伴生萤石矿大多为贫矿,且矿石性质复杂,主要是因为萤石与除石英外的脉石如方解石( $\text{CaCO}_3$ )、天青石( $\text{SrSO}_4$ )、重晶石( $\text{BaSO}_4$ )等碱土金属盐类矿物具有相似的物理化学性质,其活性位点均为  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ ,可浮性相似,降低了捕收剂对萤石的可浮性<sup>[7-9]</sup>。研发高效的萤石捕收剂或脉石抑制剂是解决该问题的关键<sup>[10]</sup>。

① 收稿日期: 2023-08-14

基金项目: 贵州省科学技术厅科技重大专项项目(黔科合战略找矿[2022]ZD006); 中国地质调查局地质调查项目(DD20230039)

作者简介: 李维斯(1993—),男,四川成都人,硕士,助理工程师,主要从事战略性矿产综合利用研究工作。E-mail: 649702647@qq.com

通信作者: 严伟平(1984—),男,江西万载人,硕士,副研究员,主要从事战略性矿产资源的高效开发与利用研究。E-mail: yanweiping\_inumr@163.com

本文以某萤石-方解石共生矿为研究对象,采用自主研发的 EM-OL-3 为捕收剂、自主研发的 EM-318 为抑制剂,进行系统地浮选试验研究,旨在为高效开发共生萤石提供理论依据及理论指导。

### 1 原矿性质

实验所用原矿样品为某萤石-方解石共生矿,原矿化学多元素分析结果见表 1,矿物组成结果见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

CaO	F	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
50.29	14.77	8.26	23.04	0.18	0.76
S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sup>1)</sup>	其他	
0.01	0.67	0.45	12.00	1.58	

1) 单位为 g/t。

表 2 原矿主要矿物组成(质量分数) %

萤石	方解石	石英	长石	伊利石	磷灰石	云母	其他
32.90	53.63	7.43	1.49	1.47	0.98	0.81	1.29

由表 1 可知,CaO、F、SiO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 是矿石中的主要成分,四者含量之和超过了 98%。

从表 2 可以看出,矿石中矿物以萤石和方解石为主,石英次之,这三类矿物的含量约占矿物总量的 94%,该矿属于中低品位方解石型萤石;其他矿物还包括长石、伊利石、磷灰石、云母等,但含量很低。

矿样中钙化学物相分析结果见表 3。

表 3 矿样中钙化学物相分析结果

相别	含量/%	分布率/%
萤石中钙	15.94	41.82
方解石中钙	22.04	57.82
其他矿物中钙	0.14	0.36
合计	38.12	100.00

由表 3 可知,萤石和方解石中钙含量分别占到了总钙含量的 41.82%和 57.82%。

### 2 浮选实验

#### 2.1 粗选条件实验

实验以 EM-OL-3 为萤石捕收剂,EM318 及酸化水玻璃(SSB)为方解石抑制剂。为确定适宜的萤石粗选条件,按照图 1 所示流程开展了磨矿细度、EM318 用量、SSB 用量以及 EM-OL-3 用量实验。

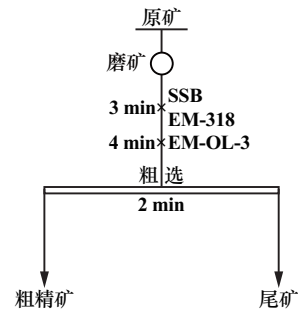


图 1 粗选条件实验流程

#### 2.1.1 磨矿细度实验

固定 EM-318、SSB 和 EM-OL-3 用量均为 400 g/t,进行了磨矿细度实验,结果见图 2。

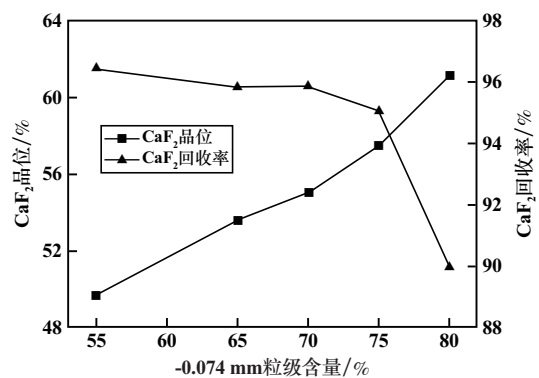


图 2 磨矿细度实验结果

由图 2 可知,随着磨矿细度增加,萤石粗精矿 CaF<sub>2</sub> 品位逐渐升高,CaF<sub>2</sub> 回收率逐渐下降。当磨矿细度达到-0.074 mm 粒级占 75%时,CaF<sub>2</sub> 品位升至 57.52%,继续增加磨矿细度,粗精矿 CaF<sub>2</sub> 回收率明显下降。综合考虑精矿品位和回收率,选择磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75%。

#### 2.1.2 EM-318 用量实验

磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75%,SSB、EM-OL-3 用量均为 400 g/t 时,进行了 EM-318 用量实验,结果见图 3。

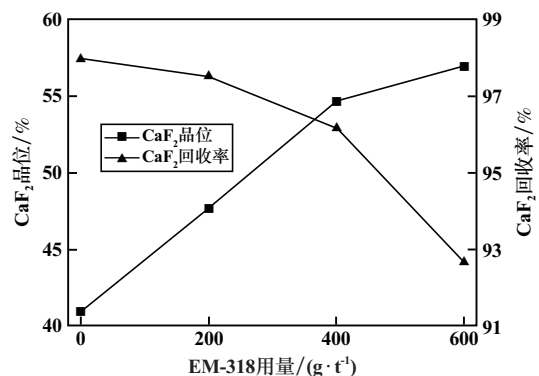


图 3 EM-318 用量实验结果

由图3可知,随着抑制剂EM-318用量增加,粗精矿CaF<sub>2</sub>品位显著提高,回收率略有下降,当EM-318用量升至400 g/t时,粗精矿CaF<sub>2</sub>品位达到了54.69%,继续增加EM-318用量,粗精矿回收率明显下降。综合考虑粗精矿指标和药剂成本,选择粗选抑制剂EM-318用量400 g/t。

2.1.3 SSB 用量实验

磨矿细度-0.074 mm 粒级占75%,EM-318、EM-OL-3用量均为400 g/t时,进行了SSB用量实验,结果见图4。

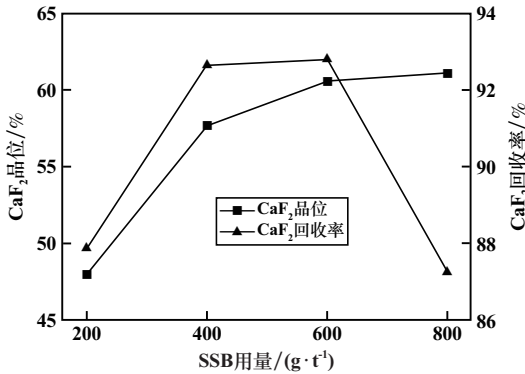


图4 SSB 用量实验结果

由图4可知,SSB用量200~600 g/t范围内,随着SSB用量增加,粗精矿CaF<sub>2</sub>品位明显提高,回收率略有提升;继续增加SSB用量,粗精矿CaF<sub>2</sub>品位略有增加,但回收率下降明显,即粗选SSB用量800 g/t时,其对萤石也产生了明显的抑制作用。综合考虑精矿品位、回收率及药剂成本,选择SSB用量600 g/t。

2.1.4 EM-OL-3 用量实验

磨矿细度-0.074 mm 粒级占75%,SSB和EM-318用量分别为600 g/t和400 g/t,进行了EM-OL-3用量实验,结果见图5。

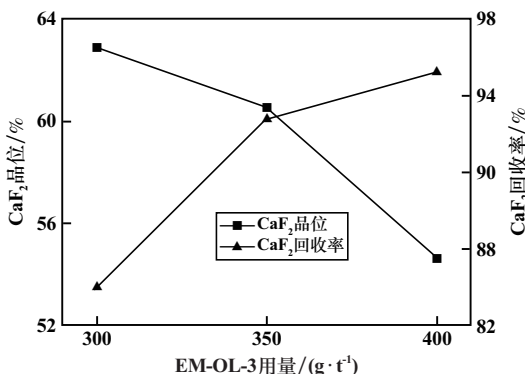


图5 EM-OL-3 用量实验结果

由图5可知,随着捕收剂EM-OL-3用量增加,粗精矿CaF<sub>2</sub>回收率逐渐升高,EM-OL-3用量350 g/t时,粗精矿回收率达到了92.80%,尾矿品位降至5%以下。

继续增加捕收剂用量,粗精矿品位显著降低。综合考虑粗精矿品位和回收率,选择EM-OL-3用量350 g/t。

2.2 闭路实验

在条件实验和开路实验基础上进行了浮选闭路实验,为了保证精矿品位和回收率,增加了一次粗选、一次扫选和两次精选,中矿2~8循序返回上一级作业,精选1尾矿返回至扫选,扫选精矿返回至粗选2。闭路实验流程如图6所示,结果见表4。

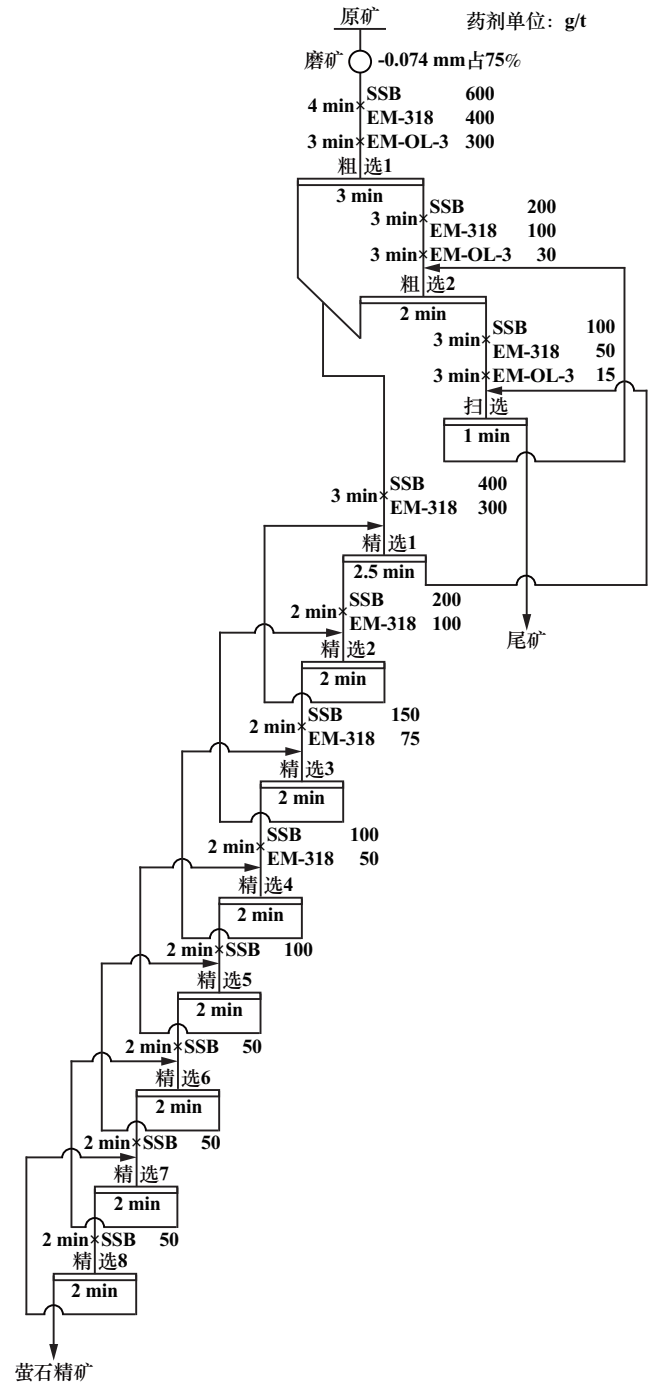


图6 闭路实验流程

由表4可知,对于CaF<sub>2</sub>品位31.09%的原矿,在常

温(20 ℃左右)时,以SSB和EM-318为抑制剂、EM-OL-3为捕收剂,闭路实验获得了产率27.67%、CaF<sub>2</sub>品位97.26%,CaF<sub>2</sub>回收率86.55%的萤石精矿。

表4 闭路实验结果

产品名称	产率/%	CaF <sub>2</sub> 品位/%	CaF <sub>2</sub> 回收率/%
萤石精矿	27.67	97.26	86.55
尾矿	72.33	5.78	13.65
原矿	100.00	31.09	100.00

### 2.3 精矿产品质量检查

为了充分了解精矿的化学成分,尤其是有害元素含量,以更准确地判定精矿产品用途,对萤石精矿进行了化学成分分析,结果见表5。

表5 萤石精矿化学成分分析结果(质量分数) %

类别	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	As <sup>1)</sup>
萤石精矿	97.26	0.55	0.60	0.05	0.02	0.03	2.86
行业标准 <sup>[11]</sup>	≥97.00	≤1.00	≤0.80	≤0.05	—	≤0.05	5.00

1) 单位为g/t。

由表5可知,闭路浮选实验获得的萤石精矿CaF<sub>2</sub>品位为97.26%,萤石精矿质量达到萤石行业标准(YB/T 5217—2005)<sup>[11]</sup>中FC-97A品质要求。

萤石精矿局部示意图见图7,矿物组成见表6。结果表明,萤石精矿萤石含量高达97.80%,仅含少量石英和方解石、微量磷灰石及铁氧化物等。

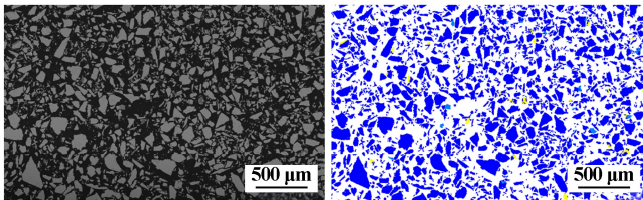


图7 萤石精矿局部示意图

表6 萤石精矿矿物组成(质量分数) %

萤石	石英	方解石	磷灰石	铁氧化物	其他
97.80	1.36	0.49	0.03	0.01	偶见

## 3 结 论

1) 为了克服方解石对浮选的负面影响,采用萤石

优先浮选工艺,SSB和EM-318的药剂组合实现了对方解石矿物的选择性抑制。捕收剂EM-OL-3具有良好的耐低温性能,在矿浆温度20 ℃条件下获得了CaF<sub>2</sub>品位大于97%的萤石精矿。

2) 通过系统的条件实验和开路流程实验,最终推荐的闭路实验主干流程为:两次粗选、一次扫选、八次精选。该工艺流程简单,实现对方解石的早丢、多丢,确保能获得CaF<sub>2</sub>品位大于97%的萤石精矿。

3) 对于CaF<sub>2</sub>品位31.09%的原矿,在常温(20 ℃左右)条件下,采用两次粗选、一次扫选、八次精选的浮选工艺流程,获得了产率27.67%、CaF<sub>2</sub>品位97.26%、CaF<sub>2</sub>回收率86.55%的萤石精矿。

4) 萤石精矿质量达到萤石行业标准YB/T 5217—2005中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。

### 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.
- [2] 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):1-9.
- [3] 秦圣博,王维维. 白云鄂博西矿萤石选矿工艺研究[J]. 内蒙古科技大学学报,2020,39(3):273-278.
- [4] 鲍荣华,刘伟. 我国萤石资源利用状况及对策研究[J]. 国土资源情报,2013(11):20-24.
- [5] 王吉平,高朋强,熊先孝,等. 中国萤石矿床成矿规律[J]. 中国地质,2015(1):18-32.
- [6] 何天渔,任子杰,高惠民. 方解石-重晶石-萤石型矿石分选研究进展[J]. 矿产综合利用,2017(6):1-4.
- [7] 汤家焰,何嘉宁,鲁向锦,等. 油酸钠体系中铈离子对方解石和方解石浮选的影响[J]. 矿冶工程,2023,43(2):48-51.
- [8] 冯青舒,陈文胜,王舰,等. 从湖南某钨多金属矿尾矿中回收伴生萤石试验研究[J]. 矿冶工程,2022,42(1):68-71.
- [9] 曾小波,印万忠. 共伴生型萤石矿浮选研究进展与展望[J]. 矿产综合利用,2021(1):1-7.
- [10] 宁江峰,李茂林,崔瑞,等. ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O与水玻璃组合抑制剂对方解石、方解石浮选分离的影响[J]. 矿产综合利用,2020(6):186-192.
- [11] 中华人民共和国发展和改革委员会. 萤石:YB/T 5217—2005[S]. 北京:冶金工业出版社,2006.

引用本文: 李维斯,严伟平,曾小波,等. 某萤石-方解石共生矿浮选实验研究[J]. 矿冶工程,2024,44(1):68-71.