

川西某伟晶岩型锂辉石矿浮选试验研究

程仁举, 李成秀, 刘星, 邓伟, 周雄

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 中国地质调查局稀土资源应用技术创新中心, 四川 成都 610041)

摘要: 川西某伟晶岩型锂多金属矿主要目的矿物为锂辉石, 伴生有少量的铌钽铁矿, 脉石矿物主要有长石, 石英和云母类矿物。在磨矿细度 -0.074 mm 72% 的条件下, 采用一粗一扫三精的浮选闭路流程, 最终获得了 Li₂O 品位 5.80%、Nb₂O₅ 含量 530 g/t、Ta₂O₅ 含量 215 g/t 的含铌钽锂精矿, Li₂O 回收率为 91.76%, Nb₂O₅ 回收率为 91.05%、Ta₂O₅ 回收率为 90.83%, 实现了锂铌钽的混合浮选。

关键词: 锂辉石; 铌钽铁矿; 浮选; 捕收剂

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.06.026

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 06-0153-05

锂及其化合物在国民经济和国防建设中具有重要的战略意义, 广泛用于各个行业, 被誉为二十一世纪的“能源金属”和“推动世界前进的元素”。此外, 锂及其化合物还用于核反应堆的冷却剂、化学工业催化剂、空调制冷剂、玻璃陶瓷工业的添加剂等, 因此锂及其化合物又有“工业味精”的美誉^[1-5]。

目前锂辉石矿主流回收方法有三种, 分别为重介质选矿法、浮选法和联合选矿法, 其中单一浮选工艺和联合工艺是目前现场采取的主流工艺,

也是国内外不同研究机构的主流研究方向^[6-10]。本研究采用浮选法进行川西某伟晶岩型锂辉石矿试验研究, 取得了比较理想的分选指标。

1 试验原料与方法

1.1 试验样品

试验矿石样品取自川西某锂矿矿区, 经破碎、筛分、混匀、缩分等制样处理, 将矿石制备成 -3 mm 试验样备用。

矿样化学多元素分析结果见表 1。

表 1 矿样化学多元素分析结果 /%

Table 1 Main chemical components analysis of the ore samples

Li ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	BeO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	TFe	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Rb ₂ O	CaO	SnO	Cs ₂ O
1.18	0.0106	0.0044	0.019	74.22	0.067	14.90	0.80	3.10	3.26	0.17	0.082	0.105	0.29	0.007	0.015

矿样化学多元素分析结果可知, 该矿为锂多金属矿, 其中 Li₂O 品位为 1.18%, 伴生有价元素主要为铌和钽, 其中 Nb₂O₅+Ta₂O₅ 品位为 0.015%, 可考虑综合回收; Rb₂O 的品位为 0.105%, 刚达到综合回收标准, 是否能有效综合利用还需通过进

一步的工艺矿物学和选矿试验研究确定。SnO 品位为 0.007%, BeO 品位为 0.019%, Cs₂O 品位为 0.015%, 均未达到综合回收利用标准。

工艺矿物学研究表明, 该矿石为伟晶岩型矿石, 含锂矿物主要为锂辉石, 含量为 14.84%。铌

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 中国地质大调查项目“四川九龙-可尔因大型锂资源基地综合调查评价”(DD20190185)

作者简介: 程仁举(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事锂矿综合利用研究及全球锂资源调查与评价工作。

钽矿物类型为钽钽铁矿，含量极微，仅为 0.01%。主要脉石矿物为长石，石英和云母类矿物。矿石中锂辉石、长石、石英、云母等矿物粒度普遍粗大，易解离。矿样 X 射线衍射分析结果见图 1。

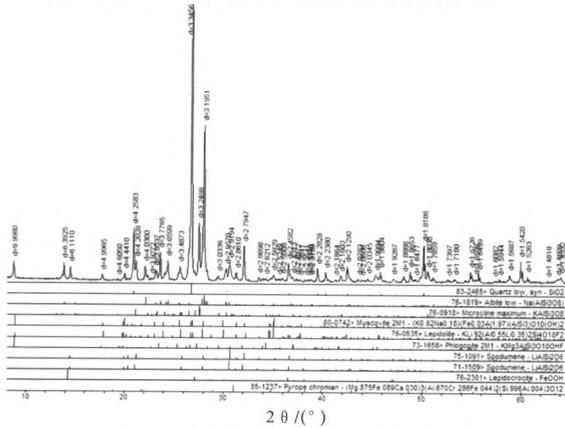


图 1 矿样 X 射线衍射分析图谱

Fig. 1 Results of X-ray diffraction analysis of ore samples

1.2 试验药剂与设备

试验使用的 NaOH 和 Na₂CO₃ 均为分析纯，捕收剂 EM-PN10 为成都综合所自主开发的新型高效锂辉石捕收剂。试验用浮选机为 XFD 型单槽式浮选机，规格为 3 L。磨机为 XMQ-Φ(240×90) mm 锥形球磨机。

2 试验结果与分析

2.1 磨矿细度试验

工艺矿物学研究可知，该矿石以回收锂辉石矿为主，锂辉石与脉石矿物之间易解离，因此，在磨矿细度选择时不宜过度细磨。磨矿细度试验流程及条件见图 2，试验结果见图 3。

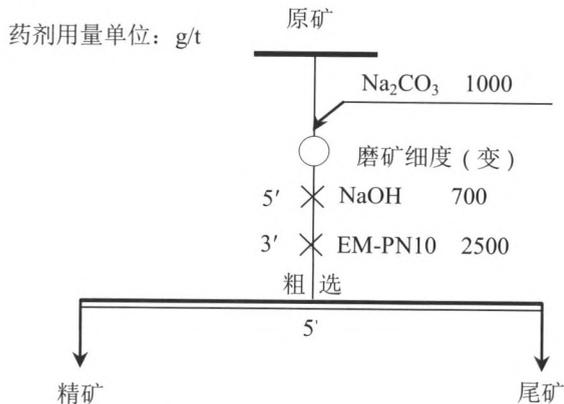


图 2 磨矿细度试验流程

Fig. 2 Flowsheet of grinding fineness test

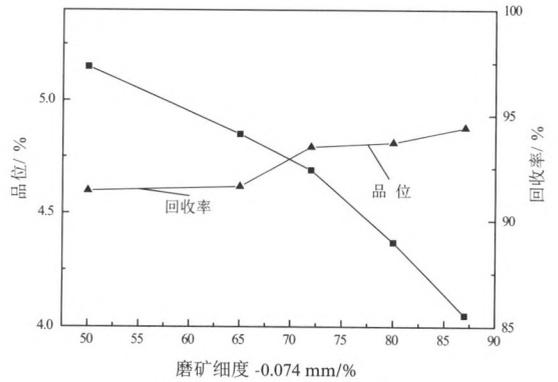


图 3 磨矿细度试验结果

Fig. 3 Results of grinding fineness test

由图 3 试验结果可知，随着磨矿细度的增加，精矿的产率和 Li₂O 回收率逐渐增加，而 Li₂O 品位却呈递减趋势。当磨矿细度 -0.074 mm 72% 时，精矿 Li₂O 的回收率为 93.49%，继续增加磨矿细度，精矿 Li₂O 的回收率增加幅度不大，Li₂O 品位却由 4.69% 降至 4.05%，且细磨导致矿浆泥化严重，浮选现象恶化。因此，确定适宜的磨矿细度为 -0.074 mm 72%，此时，粗精矿 Li₂O 品位为 4.69%，回收率为 93.49%。

2.2 粗选 Na₂CO₃ 用量试验

碳酸钠作为锂辉石浮选常用的调整剂，主要用于擦洗锂辉石表面的杂质污染及对石英、长石类矿物的选择性抑制。为了保证足够的擦洗强度和作用时间，将其加入磨机是一种常用的处理手段。相对于浮选过程中的长时间搅拌，将其加入磨机，往往可起到更好的试验效果。

粗选 Na₂CO₃ 用量试验流程见图 4，其中 NaOH 用量 700 g/t，EM-PN10 用量 1500 g/t。试验结果见图 4。

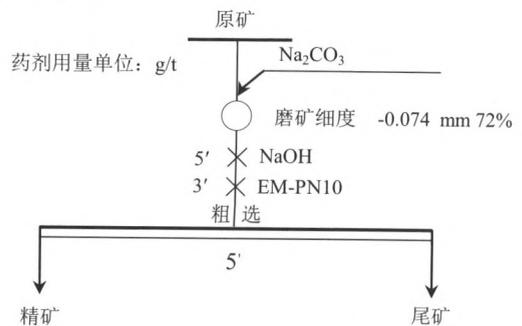


图 4 粗选条件试验流程

Fig. 4 Flowsheet for condition test of roughing

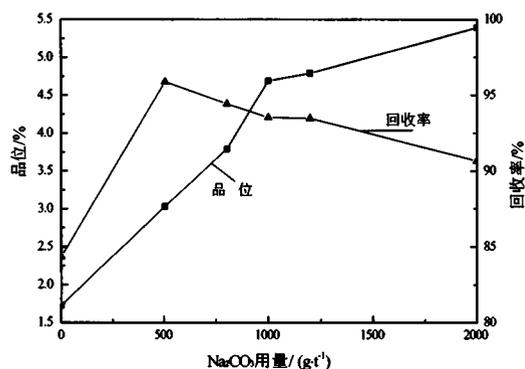


图5 Na₂CO₃用量试验结果
Fig. 5 Results of Na₂CO₃ dosage test

由图5试验结果可知，当Na₂CO₃用量从0 g/t增加到2000 g/t，粗精矿Li₂O品位从1.73%增加到了5.39%，Li₂O回收率由84.35%先增加至95.89%，然后逐渐降低至90.66%。综合考虑精矿Li₂O品位及回收率指标，确定适宜的Na₂CO₃用量为1000~1200 g/t，此时，精矿的Li₂O品位为4.79%，回收率为93.48%。

2.3 粗选NaOH用量试验

NaOH是锂辉石浮选常用的调整剂，除了调节矿浆的pH值作用外，还可以与矿浆中的硅酸盐矿泥生成一定量的“自生水玻璃”，这些自生水玻璃本身就是一种无机调整剂，可提高锂辉石的选择性^[11]。

固定Na₂CO₃用量1200 g/t，EM-PN10用量1500 g/t。粗选NaOH用量试验流程见图4，试验结果见图6。

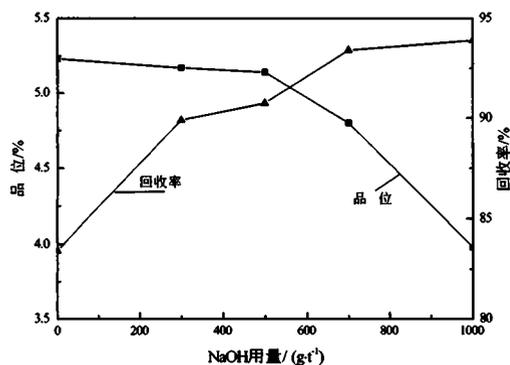


图6 NaOH用量试验结果
Fig. 6 Results of NaOH dosage test

由图6试验结果可知，NaOH用量由0 g/t增加到1000 g/t，精矿Li₂O的品位由5.23%逐渐降低至3.98%，Li₂O回收率由83.43%增加至93.89%。当NaOH用量为700 g/t时，精矿Li₂O品位为4.80%，回收率为93.41%，分选指标相对较理想，故选定粗选适宜的NaOH用量为700 g/t。

2.4 捕收剂EM-PN10用量试验

适当用量的捕收剂除了可以取得较优的分选指标，还可最大程度节约生产成本。为此，针对捕收剂EM-PN10进行了粗选用量条件试验。其中Na₂CO₃用量1200 g/t，NaOH用量700 g/t。试验结果见图7。

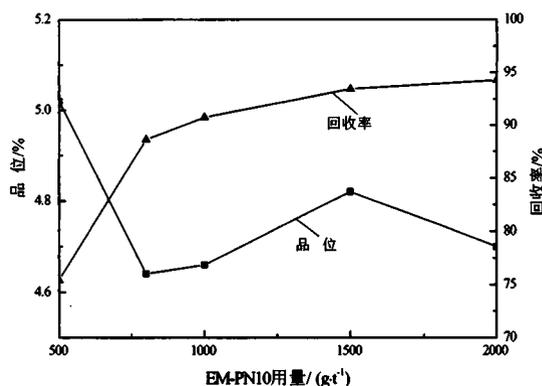


图7 EM-PN10用量试验结果
Fig. 7 Results of EM-PN10 dosage test

由图7可知，随着捕收剂的用量由500 g/t增加至2000 g/t，精矿Li₂O回收率由75.43%增加到94.28%。捕收剂用量由800 g/t增加到2000 g/t时，精矿Li₂O品位先增加后降低。综合考虑，确定适宜的粗选捕收剂EM-PN10用量为1500 g/t，此时，精矿Li₂O品位为4.82%，Li₂O回收率为93.45%。

2.5 闭路试验及指标

在条件试验和开路试验基础上，进行了试验样品的浮选闭路试验，闭路试验流程及条件见图8，试验结果见表2。

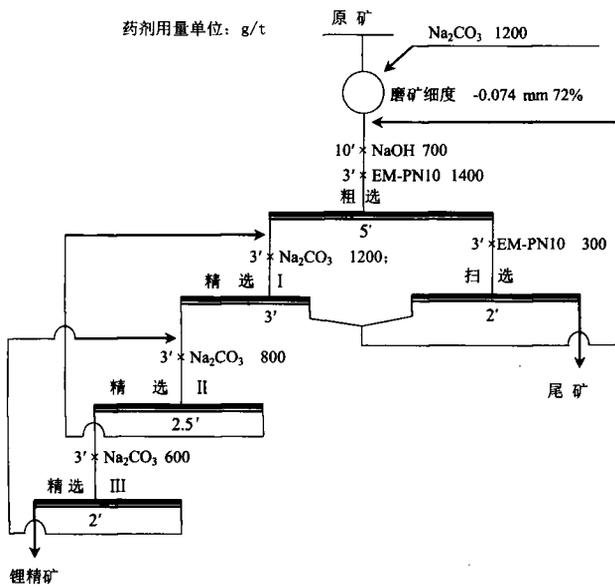


图 8 浮选闭路试验流程

Fig. 8 Flowsheet of closed-circuit flotation test

表 2 闭路试验结果

Table 2 Results of closed-circuit flotation test

产品名称	产率 /%	品位 /%			回收率 /%		
		Li ₂ O	Nb ₂ O ₅ *	Ta ₂ O ₅ *	Li ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
锂精矿	18.73	5.80	530	215	91.76	91.05	90.83
尾矿	81.27	0.12	12	5	8.24	8.95	9.17
原矿	100.00	1.18	109	44	100.00	100.00	100.00

* 单位为 g/t。

闭路试验结果表明, 针对原矿 Li₂O 品位 1.18%, 含 Nb₂O₅ 109 g/t, 含 Ta₂O₅ 44 g/t 的锂多金属矿, 在磨矿细度 -0.074 mm 72% 的条件下, 采用自主开发的锂辉石捕收剂 EM-PN10, 经一粗一扫三精的浮选闭路流程, 最终获得 Li₂O 品位 5.80%、Nb₂O₅ 含量 530 g/t、Ta₂O₅ 含量 215 g/t 的含铌钽锂精矿, Li₂O 回收率为 91.76%, Nb₂O₅ 回收率为 91.05%、Ta₂O₅ 回收率为 90.83%, 实现了锂铌钽的混合浮选。

3 结论

(1) 川西某伟晶岩型锂多金属矿主要含锂矿物为锂辉石, 铌钽矿物类型为铌钽铁矿, 含量极微。脉石矿物主要为长石、石英和云母类矿物。

(2) 在条件试验和开路试验的基础上, 将试验样品磨细至 -0.074 mm 72%, 采用一粗一扫三精的浮选闭路流程, 配以自主开发的锂辉石捕收剂

EM-PN10, 可获得 Li₂O 品位 5.80%、Nb₂O₅ 530 g/t、Ta₂O₅ 215 g/t 的含铌钽锂精矿, Li₂O 回收率为 91.76%, Nb₂O₅ 回收率为 91.05%、Ta₂O₅ 回收率为 90.83%, 分选效果较好, 实现了锂铌钽的混合浮选。

参考文献:

[1] 王登红, 王成辉, 孙艳, 等. 我国锂铌钽矿床调查研究进展及相关问题简述 [J]. 中国地质调查, 2017(5): 1-8.
Wang D H, Wang Ch H, Sun Y, et al. Research progress and related problems of lithium beryllium-tantalum deposits in China [J]. China Geological Survey, 2017 (5):1-8.

[2] 朱一民, 谢瑞琦, 张猛. 锂辉石浮选捕收剂及调整剂研究综述 [J]. 金属矿山, 2019(2): 15-21.
Zhu Y M, Xie R Q, Zhang M. Review of studies on flotation collectors and regulators of lithium pyroxene [J]. Metal Mines, 2019(2): 15-21.

[3] 谢贞付, 王毓华, 于福顺, 等. 伟晶岩型锂辉石矿浮选研究综述 [J]. 稀有金属, 2013(4): 641-649.
Xie Zh F, Wang Y H, Yu F Sh, et al. Overview of pegmatite type lithium pyroxene flotation research [J]. Rare Metals, 2013(4): 641-649.

[4] 钱志博, 周少珍. 某低品位锂辉石矿石浮选试验研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2019(6): 62-68.
Qian Zh B, Zhou Sh Zh. Experimental study on flotation of a low-grade lithium pyroxene ore [J]. Non-ferrous Metals: ore dressing part, 2019(6): 62-68.

[5] 杨卉芃, 柳林, 丁国峰. 全球锂矿资源现状及发展趋势 [J]. 矿产保护与利用, 2019(5): 26-40.
Yang H P, Liu L, Ding G F. Current status and development Trend of global lithium mineral resources [J]. Mineral Protection and Utilization, 2019(5): 26-40.

[6] 杨磊. 四川甲基卡地区锂辉石选矿工艺试验研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2014(1): 30-34.
Yang L. Experimental study on the mineral processing technology of Lithium pyroxene in Jiajika area, Sichuan [J]. Nonferrous Metals: Mineral processing, 2014 (1): 30-34.

[7] 邓伟, 王昌良, 廖祥文, 等. 川西某锂多金属矿梯级回收试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2016(6): 21-24.
Deng W, Wang Ch L, Liao X W, et al. Experimental study on cascade recovery of a lithium polymetallic ore deposit in Western Sichuan [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016(6): 21-24.

[8] 刘星,李成秀,程仁举,等. 国外某锂多金属矿选矿试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2019(2): 65-69.

Liu X, Li Ch X, Cheng R J, et al. Experimental study on mineral processing of a lithium polymetallic ore abroad [J]. Comprehensive Utilization, of Mineral Resources, 2019(2): 65-69.

[9] 刘广学,戴科伟,常学勇,等. 某低品位伟晶岩型锂辉石选矿试验 [J]. 现代矿业, 2018(11): 99-102.

Liu G X, Dai K W, Chang X Y, et al. Ore dressing test of a low-grade pegmatite type lithium pyroxene [J]. Modern Mining, 2018(11): 99-102.

[10] 张垒,王毓华,于福顺,等. 四川某低品位难选锂辉石矿选矿工艺研究 [J]. 有色金属:选矿部分, 2015(6): 50-53.

Zhang L, Wang Y H, Yu F Sh, et al. Study on the beneficiation technology of a low-grade refractory lithium pyroxene ore in Sichuan [J]. Nonferrous metals: Mineral processing, 2015(6): 50-53.

[11] 赵开乐,王昌良,邓伟,等. 四川某锂辉石矿选矿试验研究 [J]. 非金属矿, 2014(3): 48-51.

Zhao K L, Wang Ch L, Deng W, et al. Experimental study on mineral processing of a lithium pyroxene ore in Sichuan [J]. Nonmetallic ore, 2014(3): 48-51.

Experimental Research on the Flotation of a Pegmatite Type Spodumene Ore in Western Sichuan

Cheng Renju, Li Chengxiu, Liu Xing, Deng Wei, Zhou Xiong

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Technology Innovation Center of Rare Earth Resources Development and Utilization, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The main target mineral of a pegmatite type lithium polymetallic ore in western Sichuan is spodumene, accompanied by a small amount of niobium-tantalite. Gangue minerals mainly include feldspar, quartz and mica minerals. Under the condition of grinding fineness -0.074 mm 72%, the concentrate products with Li₂O grade 5.80%, Nb₂O₅ content 530 g/t, Ta₂O₅ content 215 g/t, Li₂O recovery rate 91.76%, Nb₂O₅ recovery rate 91.05%, Ta₂O₅ recovery rate 90.83% can be obtained by the closed-circuit flotation of one-roughing, one-scavenging, three-cleaning. The mixed flotation of spodumene and niobium-tantalite was realized.

Keywords: Spodumene; Niobium-tantalite; Flotation; Collector

////////////////////////////////////
(上接 134 页)

Study on Process Mineralogy of the Rhenium Ore of Black Shale Type in North Sichuan

Hui Bo, Mao Yilin, Yang Jinzhong

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy Geological Sciences, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The occurrence of rhenium in a black shale type rhenium ore in North Sichuan was studied by means of mineralogical microscope, scanning electron microscope, electron probe microanalysis and energy dispersive X-ray spectrometry. The sample is black shale with high organic carbon content. The total content of clay minerals is 14.6%, pyrite 16.2%, quartz 37.7%. The sample has typical clay structure and fine mineral size. Rhenium has two modes of occurrence, one is in the form of isomorphism in pyrite, the other is in the form of dispersion. The average rhenium content of typical pyrite is 0.024%. Pyrite is an important carrier mineral of rhenium. It is suggested that rhenium can be enriched by flotation separation of pyrite.

Keywords: Rhenium ore of black shale type; Occurrence state of rhenium; Process mineralogy