

新疆某锂辉石矿重-浮联合工艺实验

万丽¹, 崔宝^{2,3}, 孙志健¹, 田祎兰¹, 王立刚¹

(1. 矿冶科技集团有限公司, 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628;
2. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 3. 新疆昆仑蓝钻矿业开发
有限责任公司, 新疆 和田 848000)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。新疆某伟晶岩型锂辉石矿中主要目的矿物为锂辉石, 伴生有少量的铌钽铁矿, 脉石矿物主要为长石、石英和云母等。本文针对该锂辉石矿首先进行了重介质旋流器实验, 将重介质选矿的中矿及-0.6 mm的细粒级合并作为浮选给矿, 将浮选给矿磨细后进行了系统的浮选实验。采用“重介质选矿-浮选”工艺, 针对含Li₂O 1.68%的原矿, 最终全流程实验可获得重介质精矿含Li₂O 6.5%, 回收率51.58%; 浮选精矿含Li₂O 5.37%, 回收率31.94%, 两个精矿合并后总精矿含Li₂O 6.02%, 回收率83.52%。重介质旋流器可以直接产出回收率约50%的高品位精矿, 可以抛掉产率约43%的尾矿, 可大大节省破碎成本和磨矿成本。

关键词: 矿物加工工程; 锂辉石; 重介质选矿; 浮选; 联合工艺

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.008

中图分类号: TD953;TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)04-0057-05

引用格式: 万丽, 崔宝, 孙志健, 等. 新疆某锂辉石矿重-浮联合工艺实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 57-61+75.

WAN Li, CUI Bao, SUN Zhijian, et al. Experimental study on dms-flotation technology of a spodumene mine from xinjiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 57-61+75.

锂是一种重要的战略资源, 由于金属锂及其化合物优良的物化性质, 已在军工、橡胶、焊接、医药等许多行业广泛应用^[1-4]。特别是近几年随着新能源产业的兴起, 锂的生产规模和产量发展迅速。由于锂电池的能量很高且对环境无污染, 因此锂被称为“绿色能源金属”。目前世界各国都十分重视锂电池的研发, 一时间有“锂”走遍天下。

目前最重要的锂矿物资源是锂辉石, 我国锂矿产资源的总体特征是分布集中、以共伴生矿床为主、品位较低。锂辉石的主要选矿工艺为浮选

法^[5-8]。近几年, 随着重介质旋流器设备的改进及在有色金属选矿领域的推广, 重介质选矿-浮选联合选矿工艺也在锂辉石的选矿中被研究和应用。

本实验主要是针对新疆某锂辉石矿进行重介质选矿-浮选联合工艺的实验研究, 明确联合工艺所能达到的选矿指标, 并简要分析该工艺的优劣。

1 矿石性质

原矿样的主要化学成分分析结果见表1。

表1 原矿的主要化学成分分析结果/%
Table 1 Analysis results of main chemical elements

Li ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	BeO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MnO	MgO	TFe	S
1.68	0.007 0	0.011 6	0.045	0.22	74.39	15.83	2.49	3.49	0.28	0.091	0.04	0.94	0.082

收稿日期: 2023-07-17

基金项目: 国家重点研发计划项目-特殊环境下硬岩型锂矿开发与高质化利用关键技术集成示范(2021YFC2903200)

作者简介: 万丽(1987-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事选矿工艺研究。

原矿中的锂矿物主要为锂辉石，少量锂绿泥石，以及微量磷锂铝石、磷铁锂矿；铌钽矿物为铌钽铁矿。其他金属矿物还有褐铁矿、黄铁矿、锡石、赤铁矿、含钛磁铁矿、硬锰矿等。非金属矿物主要为钠长石、石英，其次为钾长石、白云母，微量黑电气石、方解石、磷灰石、绿泥石、黑云母、钙长石、铁铝榴石、透辉石、角闪石等。

2 选矿实验研究

2.1 重介质实验

因为原矿中锂矿物主要为锂辉石，其比重为 3.1~3.2，主要脉石矿物为长石和石英，长石的比重为 2.55~2.75，石英的比重为 2.3~2.6，且锂辉石成矿粒度较粗，细碎后即可部分解离，因此可考虑重介质旋流器获取精矿和抛掉部分尾矿。

实验首先将原矿碎至-8 mm，筛分出-0.6 mm

留存后续进行浮选实验，针对-8+0.6 mm 粒级进行重介质选矿实验，实验流程见图 1，结果见表 2。

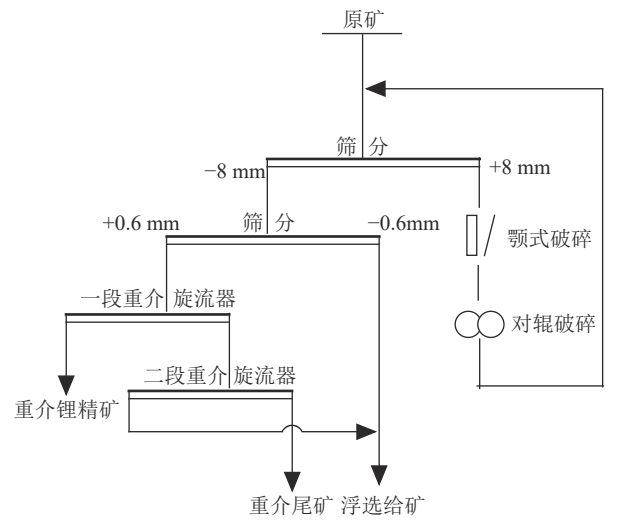


图 1 重介选矿实验流程
Fig.1 Flowsheet of DMS test

表 2 重介选矿实验结果
Table 2 Results of DMS test

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Li ₂ O	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Li ₂ O	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
重介锂精矿	13.30	6.50	0.011 0	0.020 1	51.60	12.65	38.28
重介尾矿	42.78	0.13	0.015 2	0.007 2	3.32	56.22	44.11
浮选给矿	43.92	1.72	0.008 2	0.002 8	45.09	31.14	17.61
原矿	100.00	1.68	0.011 6	0.007 0	100.00	100.00	100.00

一段重介旋流器可获得含 Li₂O 6.50% 的重介锂精矿，Li₂O 回收率为 51.60%，二段重介旋流器可抛掉产率为 42.78% 的尾矿，尾矿含 Li₂O 0.13%。二段重介旋流器的重矿物产品与原矿筛分的-0.6 mm 合并作为浮选给矿。

2.2 磨矿细度实验

捕收剂 BK452A 和 BK452B 为矿冶科技集团有限公司自主研发的低碱锂辉石捕收剂，可在常温下直接配制成一定浓度的水溶液添加。本实验主要考查磨矿细度对浮选指标的影响，实验流程见图 2，实验结果见图 3。

实验结果表明，细度-0.074 mm 在 60%~70% 之间较为适宜。暂定磨矿细度为-0.074 mm 65%。

2.3 碳酸钠用量实验

碳酸钠可以抑制脉石并能分散矿浆，本实验考查碳酸钠用量对粗精矿浮选指标的影响。磨矿时加入不同用量的碳酸钠，磨矿细度为-0.074 mm 65%，浮选机中加入 NaOH 200 g/t、搅拌 5 min，

加入 CaCl₂ 300 g/t、搅拌 10 min，加入 BK452A 和 BK452B (1 500+800)g/t、搅拌 10 min，浮选时间为 3 min。实验结果见图 4。

随着碳酸钠用量的增大，精矿品位逐渐增加，回收率逐渐下降。综合考虑粗精矿品位和回

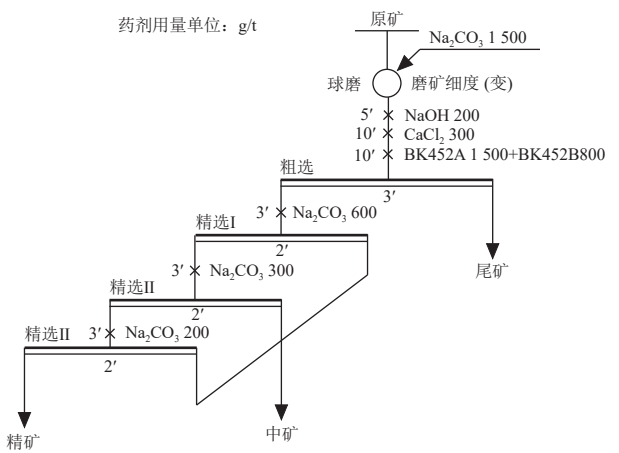


图 2 磨矿细度实验流程
Fig.2 Flowsheet of grinding fineness test

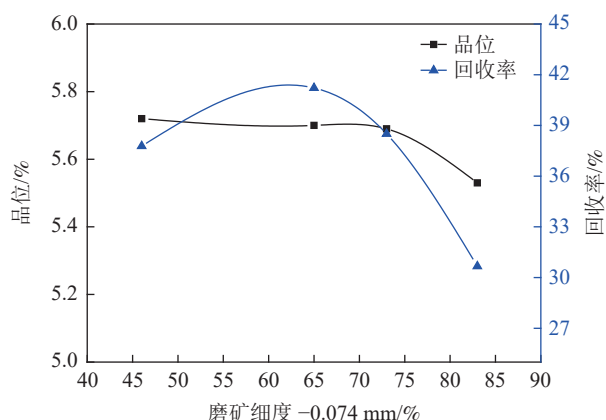


图3 磨矿细度实验结果
Fig.3 Test results of grinding fineness

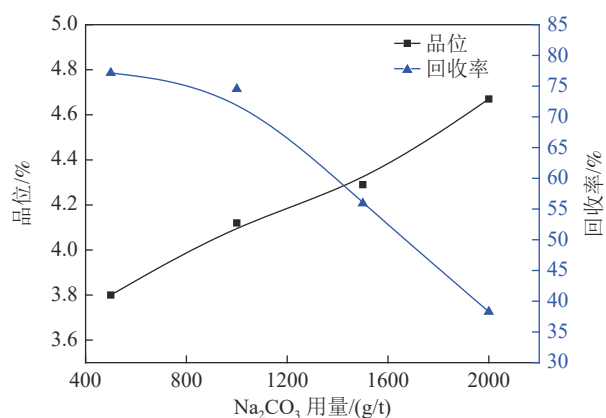


图4 Na₂CO₃ 用量实验结果
Fig.4 Test results of Na₂CO₃ dosage

收率，暂定碳酸钠用量 1 500 g/t。

2.4 氯化钙用量实验

本实验考查氯化钙用量对粗精矿浮选指标的影响。磨矿时加入碳酸钠 1 500 g/t，磨矿细度为 -0.074 mm 65%，浮选机中加入 NaOH 200 g/t、搅拌 5 min，加入不同用量的 CaCl₂、搅拌 10 min，加入 BK452A 和 BK452B(1 500+800)g/t、搅拌 10 min，浮选时间为 3 min。实验结果见图 5。

随着氯化钙用量的增大，精矿品位逐渐降低，回收率逐渐升高后趋于平稳。综合考虑粗精矿品位和回收率，暂定氯化钙用量 400 g/t。

2.5 捕收剂用量实验

本实验考查捕收剂用量对粗精矿浮选指标的影响。磨矿时加入碳酸钠 1 500 g/t，磨矿细度为 -0.074 mm 65%，浮选机中加入 NaOH 200 g/t、搅拌 5 min，加入 CaCl₂ 400 g/t、搅拌 10 min，加入不同用量的 BK452A 和 BK452B、搅拌 10 min，浮选时间为 3 min。实验结果见图 6。

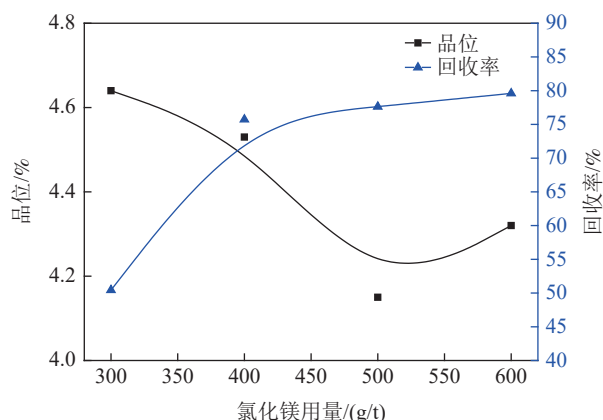


图5 氯化钙用量实验结果
Fig.5 Test results of CaCl₂ dosage

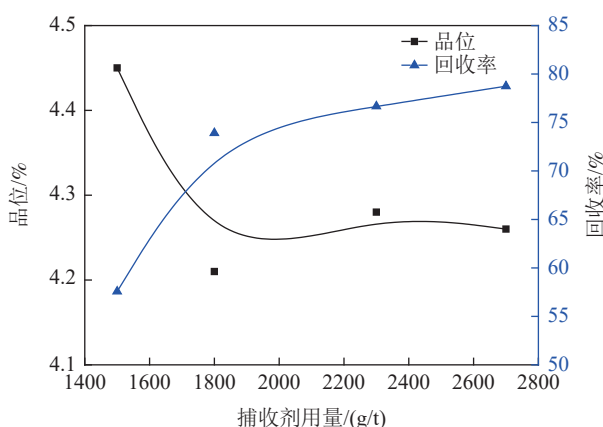


图6 捕收剂用量实验结果
Fig.6 Test results of collector dosage

随着氯化钙用量的增大，精矿品位逐渐降低，回收率逐渐升高后趋于平稳。综合考虑粗精矿品位和回收率，暂定捕收剂用量 2 300 g/t (BK452A+ BK452B 1 500+800 g/t)。

2.6 闭路实验

根据前述实验条件，进行了闭路实验，闭路循环中调节了各药剂用量，实验流程见图 7，结果见表 3。闭路实验可获得浮选锂辉石精矿含氧化锂 5.37%，作业回收率 70.81%。

表3 闭路实验结果

产品名称	产率/%	Li ₂ O品位/%	Li ₂ O作业回收率/%
精矿	22.70	5.37	70.81
尾矿	77.30	0.65	29.19
原矿	100.00	1.72	100.00

2.7 全流程实验

针对含 Li₂O 1.68 的原矿进行全流程实验，实验流程见图 8，闭路实验结果见表 4。全流程可获

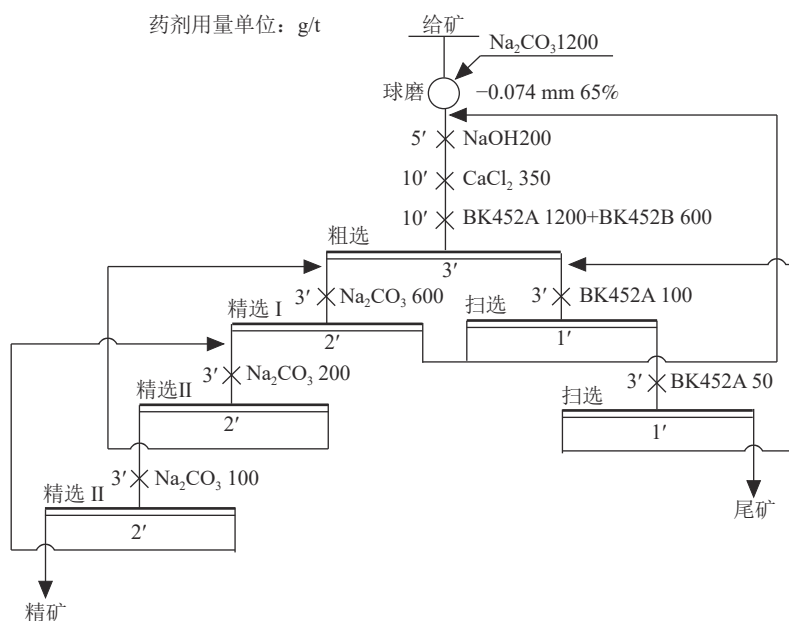


图 7 闭路实验流程

Fig.7 Flowsheet of closed-circuit test

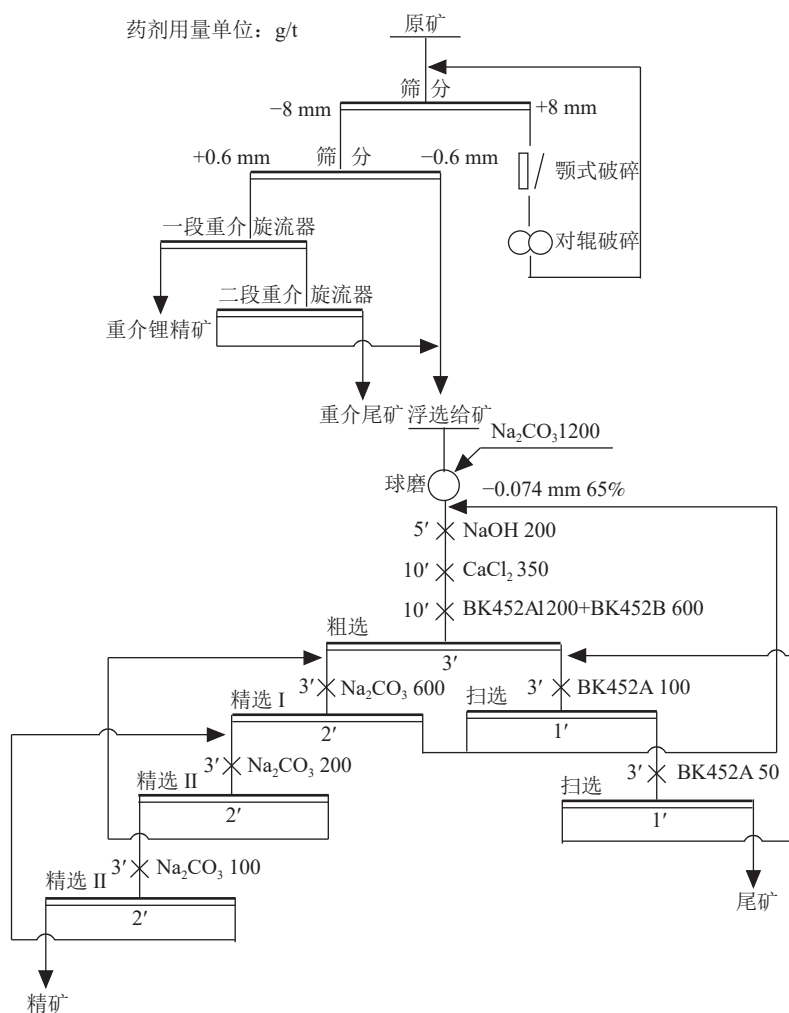


图 8 全流程实验流程

Fig.8 Flowsheet of full test

表4 全流程实验结果
Table 4 Results of full test

产品名称	产率/%	Li ₂ O品位/%	Li ₂ O回收率/%
重介精矿	13.30	6.50	51.58
浮选精矿	9.97	5.37	31.94
合并精矿	23.27	6.02	83.52
浮选尾矿	33.95	0.65	13.17
重介尾矿	42.78	0.13	3.31
原矿	100.00	1.68	100.00

得重介质精矿含 Li₂O 6.5%，回收率 51.58%；浮选精矿含 Li₂O 5.37%，回收率 31.94%，两个精矿合并后总精矿含 Li₂O 6.02%，回收率 83.52%。

3 结 论

(1) 针对新疆某锂辉石矿采用重介质选矿-浮选联合工艺，全流程可获得重介质精矿含 Li₂O 6.5%，回收率 51.58%；浮选精矿含 Li₂O 5.37%，回收率 31.94%，两个精矿合并后总精矿含 Li₂O 6.02%，回收率 83.52%。

(2) 重介质旋流器可以直接产出回收率约 50% 的高品位精矿，可以抛掉产率约 43% 的尾矿，可大大节省破碎成本和磨矿成本。此外，重介分选作业不受水质和温度影响，生产相对稳定。

(3) 但由于增加了重介质选矿设备，管理成本也有所增加。且钽铌会损失一部分在重介尾矿中。

参考文献：

[1] 程仁举, 李成秀, 刘星, 等. 川西某伟晶岩型锂辉石矿浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):153-157.
CHEN R J, LI C X, LIU X, et al. Experimental research on the flotation of a pegmatite type spodumene ore in western Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,

2020(6):153-157.
[2] 于福顺, 蒋曼, 王建磊, 等. 澳大利亚某锂辉石矿预先脱泥-浮选试验研究[J]. 有色金属 (选矿部分), 2019(6):69-72.
YU F S, JIANG M, WANG J L, et al. Study on pre-desliming-flotation tests of spodumene ore in Australia[J]. Nonferrous Metal (Mineral Processing Section), 2019(6):69-72.
[3] 曾宪勤. 澳大利亚锂矿资源现状浅析[J]. 世界有色金属, 2018(11): 87-88.
ZENG X Q. Current situation of lithium ore resources in Australia[J]. World Nonferrous Metals. 2018 (11): 87-88.
[4] BOGALE T, FIDELE M, BORIS A. The beneficiation of lithium minerals from hard rock ores: Areview[J]. Minerals Engineering, 2019(3):170-184.
[5] 陈家灵, 谢海云, 柳彦昊, 等. 锂辉石的选矿研究进展[J]. 矿冶, 2022(3):1-7.
CHEN J L, XIE H Y, LIU Y H, et al. The summary of the research status of spodumene beneficiation[J]. Mining and Metallurgy, 2022(3):1-7.
[6] 陈超, 张裕书, 张少翔, 等. 川西九龙地区低品位锂辉石浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(4):55-58.
CHEN C, ZHANG Y S, ZHANG S X, et al. Flotation test of low-grade spodumene in the Jiulong area of west Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):55-58.
[7] 徐龙华, 田佳, 巫侯琴, 等. 川西伟晶岩型锂辉石矿选择性磨矿-强化浮选试验研究[J]. 有色金属 (选矿部分), 2017(4):52-57.
XU L H, TIAN J, WU H Q, et al. Experimental study on the selective grinding-strengthening flotation of the western Sichuan pegmatite spodumene ore[J]. Nonferrous metal (Mineral Processing Section), 2017(4):52-57.
[8] 温胜来, 王玲珑, 范林青. 江西某低品位锂辉石矿选矿试验[J]. 金属矿山, 2017(6):109-112.
WEN S L, WANG L L, FAN L Q, et al. Beneficiation experiment on a a low grade spodumene ore from Jiangxi[J]. Metal Mine, 2017(6):109-112.

(下转第 75 页)

Development and Utilization Status and the Future Demand Forecast of Molybdenum Resources in China

WANG Xiu, LIU Chonghao, WANG Anjian, LIU Jing, JIA Xiangying

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

Abstract: This is an article in the field of mining engineering. This article analyzes the present situation of molybdenum resource exploitation and utilization in China, and predicts the future demand formolybdenum resource in China. Molybdenum is a strategic mineral resource in China, widely used in the field of the steel, and in the strategic emerging industries and high-tech fields of broad prospects for development. The present situation of molybdenum resource exploitation and utilization in China is analyzed from the aspects of molybdenum resource reserves, production, consumption, import and export trade, secondary recovery, etc., and the future demand of molybdenum resource in China is forecasted by department analysis method. The conclusion is that molybdenum resources are abundant in China, but the resource advantage is gradually weakening. The consumption structure of molybdenum resources needs to be optimized in China, the import and export trade is more concentrated, and the secondary recovery is relatively backward. The department forecast method predicts that China's molybdenum resource demand in 2025, 2030 and 2035 will be 99 thousand t, 83 thousand t and 69 thousand t respectively. Therefore, molybdenum resource reserve system is proposed to ensure orderly development of resources. By increasing investment in scientific and technological research, the international market of molybdenum products will be expanded. A good job in the global molybdenum resource layout will be done to ensure the future of China's countermeasures and suggestions, and provide reference for the sustainable development of molybdenum resource industry in China.

Keywords: Mining engineering; Molybdenum resources; Situation analysis; Demand forecasting; China

//////////
(上接第 61 页)

Experimental Study on DMS-flotation Technology of a Spodumene Mine from Xinjiang

WAN Li¹, CUI Bao^{2,3}, SUN Zhijian¹, TIAN Huilan¹, WANG Ligang¹

(1.BGRIMM Technology Group, National Key Laboratory of Science and Technology of Mineral Processing, Beijing 102628, China; 2.Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 3.Xinjiang Kunlun Lanzuan Mining Development Co., Ltd., Hetian 848000, Xinjiang, China)

Abstract: This is an article in the field of mineral processing engineering. A pegmatitic lithium polymetallic mine in Xinjiang Province, in which the main target mineral is spodumene, accompanied by a small amount of niobium-tantalite, and the gangue minerals are mainly feldspar, quartz and mica. In this article, the DMS test is carried out for the spodumene ore firstly. The middling of DMS and the fine sample of -0.6 mm are combined as feed for flotation test. After grinding the feed, the systematic flotation tests were carried out. Finally, as to the raw ore containing Li₂O 1.68%, by adopting the combined technology of DMS-Flotation, the dense medium concentrate obtained contains Li₂O 6.5% and 51.58% of recovery, the flotation concentrate obtained contains Li₂O 5.37%, and 31.94% of recovery. The total concentrate contains Li₂O 6.02%, and the recovery is 83.52%. DMS for this spodumene ore can directly produce high-grade concentrate with a recovery of 50%, and discard tailings with a yield of 43%, which can greatly save the cost of crushing grinding.

Keywords: Mineral processing engineering; Spodumene; DMS; Flotation; Combined technology