

doi: 10. 20239/j. issn. 1671-9492. 2025. 05. 008

川西某复杂难选锂辉石矿浮选工艺试验研究

蒋 朋^{1,2,3}, 李成秀^{1,2,3}, 程仁举^{1,2,3}, 刘 星^{1,2,3}

(1. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所, 成都 610000;

2. 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 成都 610000;

3. 中国地质调查局稀土资源应用技术创新中心, 成都 610000)

摘 要: 锂是重要的稀有金属, 锂及其化合物具有优良物理和化学性质, 广泛应用于锂电池、航天、医疗、陶瓷和玻璃建材等领域, 成为新材料的重要部分, 同时被誉为21世纪的“能源金属”。川西地区是我国锂辉石资源重要富集区, 针对川西某锂辉石矿原矿, 开展了详细的浮选工艺试验研究。矿石主要组分为SiO₂ 71.97%、Al₂O₃ 13.20%、Na₂O 2.92%、K₂O 2.42%、Li₂O 1.07%、Nb₂O₅ 77.55 g/t、Ta₂O₅ 38.7 g/t等; 主要矿物为长石、石英、锂辉石, 次要矿物为白云母, 少量黑云母, 微量绿泥石、铁锂云母、辉石、锡石、铌钽铁矿等; 矿石具有矿泥含量高、云母含量高、围岩含量高等复杂难选特点。浮选工艺研究结果表明, 采用预浮—浮锂工艺, 一段预浮抛尾, 浮锂采用一粗三精一扫流程, 实现锂辉石高效富集。采用LA-3作预浮捕收剂, 将含锂云母等易浮矿物优先浮选, 进一步采用碳酸钠-氢氧化钠作联合调整剂, PN60作锂辉石捕收剂, 得到Li₂O品位5.24%、回收率80.26%的锂辉石精矿。锂辉石精矿含TFe 2.46%、Nb₂O₅ 0.034%、Ta₂O₅ 0.014%, 实现铌钽在锂精矿中高效富集, 为锂精矿提质降杂, 分离回收铌钽创造有利条件, 为该类锂资源清洁高效开发利用提供技术保障。

关键词: 锂辉石; 预浮—浮锂工艺; 直接浮锂工艺; 铌钽; 捕收剂

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1671-9492(2025)05-0072-07

Experimental Study on Flotation Process of a Complex and Refractory Spodumene Ore in West Sichuan

JIANG Peng^{1,2,3}, LI Chengxiu^{1,2,3}, CHENG Renju^{1,2,3}, LIU Xing^{1,2,3}

(1. Institute of Comprehensive Utilization of Minerals, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610000, China;

2. Technology Research Center for Comprehensive Utilization of Metal and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610000, China;

3. Technology Innovation Center for Rare Earth Resources Application of China Geological Survey, Chengdu 610000, China)

Abstract: Lithium is a crucial rare metal, and both lithium and its compounds exhibit excellent physical and chemical properties. They are widely applied in lithium batteries, aerospace, medical fields, ceramics, glass construction materials, and other areas, making them essential components of new materials. Additionally, lithium is hailed as the “Energy Metal of the 21st Century”. The Western Sichuan region is an important enrichment area of spodumene resources in China. This paper conducted detailed flotation process experiments on a spodumene ore from Western Sichuan. The main chemical components of the ore include SiO₂ 71.97%, Al₂O₃ 13.20%, Na₂O 2.92%, K₂O 2.42%, Li₂O 1.07%, Nb₂O₅ 77.55 g/t, Ta₂O₅ 38.7 g/t, etc. The main minerals are feldspar, quartz, and spodumene. Secondary minerals include muscovite, with minor biotite, and trace amounts of chlorite, zinnwaldite, pyroxene, cassiterite, columbite-tantalite, etc. The ore complex and refractory characteristics for beneficiation, including high content of slime, mica, and country wall rock. The research results on flotation

收稿日期: 2024-08-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC2908200); 四川省自然资源厅科研项目(KJ-2023-003); 四川省科技计划项目(2022YFS0509, 2022YFS0454, 2023YFG0095); 中国地质大调查项目(DD20242002)

作者简介: 蒋 朋(1993—), 男, 重庆人, 硕士, 工程师, 主要从事矿产资源综合利用研究。

technology indicate that the pre-flotation-lithium flotation process, involving pre-flotation tailings discarding followed by a one roughing-three cleaning-one scavenging flotation circuit for lithium recovery, achieves efficient enrichment of spodumene. Using LA-3 as a pre-flotation collector to preferentially float readily floatable minerals such as lithium-containing mica, and further employing sodium carbonate-sodium hydroxide as pulp modifiers and PN60 as a spodumene collector, a spodumene concentrate with 5.24% Li₂O grade and 80.26% recovery is obtained. The concentrate contains 2.46% TFe, 0.034% Nb₂O₅, and 0.014% Ta₂O₅, with achieve efficient enrichment of niobium-tantalum in lithium concentrate. This creates favorable conditions for improving lithium concentrate quality, reducing impurities, and recovering associated niobium-tantalum resources, while providing technical assurance for the clean and efficient utilization of such lithium resources.

Key words: spodumene; pre-flotation - lithium flotation process; direct lithium flotation process; niobium and tantalum; collector

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,主要分布在四川、新疆、江西、湖南等地,是伟晶岩期交代作用下形成的矿物,是提炼金属锂的重要原料之一,锂辉石的主要选矿工艺为浮选法^[1-6]。

锂辉石与铝硅酸盐矿物间的物理化学性质相近,浮选分离难度较大,此外,矿石风化严重,含泥量大,在成矿、磨矿和浮选过程中存在Ca²⁺、Fe³⁺等金属离子污染^[7-8]。在浮选过程中,通过调节NaOH、Na₂CO₃的用量与比例,可消除金属阳离子(主要为Ca²⁺、Fe³⁺)的干扰、抑制硅酸盐脉石矿物、选择性活化锂辉石^[9-10];采用松醇油、甲基异丁基甲醇(MIBC)或十二烷基硫酸钠(SDS)作预浮捕收剂脱泥或者采用沉降法脱泥后浮锂均可有效提升粗精矿品质^[11]。

本研究以川西某伟晶岩型锂辉石为研究对象,原

矿具有风化严重、含泥量大、云母含量高等特点,仅通过调整剂难以达到理想浮选指标;且在开采过程中无法避免围岩的混入,部分易浮矿物在浮选过程中进入锂精矿,严重影响精矿品质。为此,本研究开展了预浮—浮锂、直接浮锂工艺对比试验,进一步开展了磨矿细度、药剂用量等系统的浮选条件试验研究,并在浮选条件试验研究基础上,依次开展开路 and 闭路试验研究等,最终实现复杂难选锂辉石矿中锂辉石的高效回收。

1 试验部分

1.1 试验原料

试验原料为川西某伟晶岩型锂辉石矿开采原矿,将原矿破碎至-3 mm混匀作为试验用样。原矿X荧光光谱分析和化学多元素分析结果见表1、2。

表1 原矿X荧光光谱分析结果

Table 1 XRF analysis results of raw ore

/%

组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	ZnO	SrO	Nb ₂ O ₅
含量	71.177	15.788	3.999	2.639	1.376	0.383	0.016	0.007	0.008
组分	P ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO	Rb ₂ O	SO ₃	Ga ₂ O ₃	ZrO ₂	SnO ₂
含量	0.256	0.651	0.155	0.132	0.094	0.070	0.005	0.009	0.061

表2 原矿化学多元素分析结果

Table 2 Chemical multi-element analysis results of the raw ore

/%

组分	Li ₂ O	Nb ₂ O ₅ ¹⁾	Ta ₂ O ₅ ¹⁾	Rb ₂ O ¹⁾	BeO ¹⁾	TFe	Sn ¹⁾	Al ₂ O ₃
含量	1.07	77.55	38.7	942	623	0.83	461	13.20
组分	SiO ₂	P ₂ O ₅	S	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	MnO
含量	71.97	0.27	0.037	2.92	2.42	0.31	0.56	0.099

注:1)单位为g/t。

由表1、2可知,该锂辉石矿原矿中主要组分为SiO₂和Al₂O₃,其次为Na₂O、K₂O、TFe、Li₂O、CaO、MgO,微量元素有Zn、Sr、Nb、P、Ti、Mn、Rb、S、Ga等。主要矿物为长石、石英、锂辉石,次要为白云母,少量

黑云母,微量绿泥石、铁锂云母、磷铁锰矿、辉石、钨石、铌钽铁矿、磷锰矿、磷锂铝石等。

1.2 试剂和试验仪器

试验主要设备有磁力搅拌器(JB50-D)、电子天平

(JY2002)、锥形球磨机(XMQ- Φ 240 \times 90)、XFD浮选机(1.5、0.75、0.5 L)、多用真空过滤机(XTLZ 260 \times 200)、电热鼓风干燥箱(SC101-3E)、三头研磨机(XPM)等。试验试剂主要有 Na_2CO_3 、 NaOH 等,这些均为分析纯,还包括中国地质科学院矿产综合利用研究所自主研发的脂肪酸类捕收剂LA-3以及锂辉石捕收剂PN60。

2 结果与讨论

2.1 浮锂工艺对比试验

试验开展了预浮—浮锂、直接浮锂工艺两种工艺的对比试验。预浮—浮锂工艺可有效减少矿浆含泥量,同时还可提前将混入的易浮围岩分离出来,以此保障浮选锂精矿产品品质。两种工艺流程见图1、2,试验结果见表3。

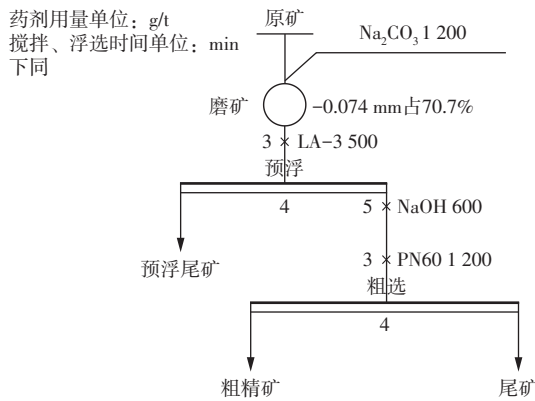


图1 预浮—浮锂工艺试验流程

Fig. 1 Flowsheet of pre-flotation and lithium flotation tests

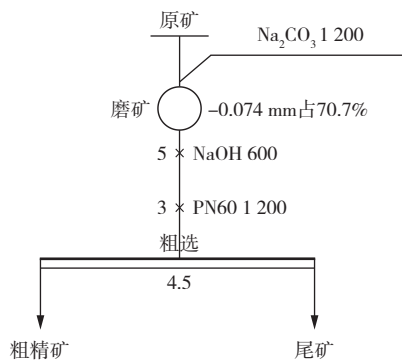


图2 直接浮锂工艺试验流程

Fig. 2 Flowsheet of direct lithium flotation tests

由表3可知,预浮—浮锂和直接浮选两种工艺的粗精矿 Li_2O 品位分别为4.06%和3.36%, Li_2O 回收率分别为80.79%和82.59%。相较于直接浮选工艺,预浮—浮锂工艺粗精矿品位较高,而且可以预先脱除

细泥部分,减少细泥对选别指标的干扰。经过综合考虑,推荐采用预浮—浮锂工艺。

表3 两种工艺对比试验结果

Table 3 Comparative test results of the two processes

选矿工艺	产品名称	产率	Li_2O 品位	Li_2O 回收率
预浮—浮锂	粗精矿	22.24	4.06	80.79
	尾矿	65.93	0.19	11.37
	预浮尾矿	11.83	0.74	7.84
直接浮锂	粗精矿	27.58	3.36	82.59
	尾矿	72.42	0.27	17.41
	原矿	100.0	1.12	100.0

2.2 浮选条件试验

2.2.1 磨矿细度试验

磨矿可有效促进目的矿物的单体解离,合适的磨矿细度是目的矿物在分选过程中高效分离的前提。固定 Na_2CO_3 用量为1 200 g/t, LA-3 500 g/t, NaOH 600 g/t, PN60 1 200 g/t,考察磨矿细度对选别指标的影响。磨矿细度选择-0.074 mm含量分别占53.6%、60.0%、66.3%、70.7%、77.5%、82.2%进行。试验流程见图3,试验结果见图4。

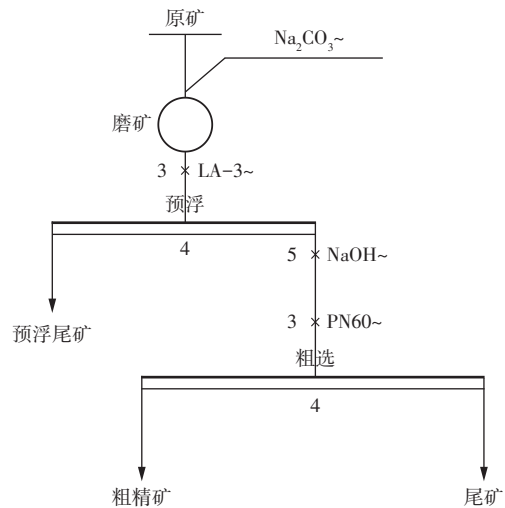


图3 浮选条件试验流程

Fig. 3 Flowsheet of flotation condition tests

由图4可知,随着磨矿细度增加,粗精矿 Li_2O 品位先小幅增加后逐渐降低, Li_2O 回收率逐渐增加。当磨矿细度达到-0.074 mm占60.0%后,继续增加磨矿细度,粗精矿 Li_2O 品位逐渐降低, Li_2O 回收率变化不大。因此,后续试验选择合适的磨矿细度为-0.074 mm占60.0%。

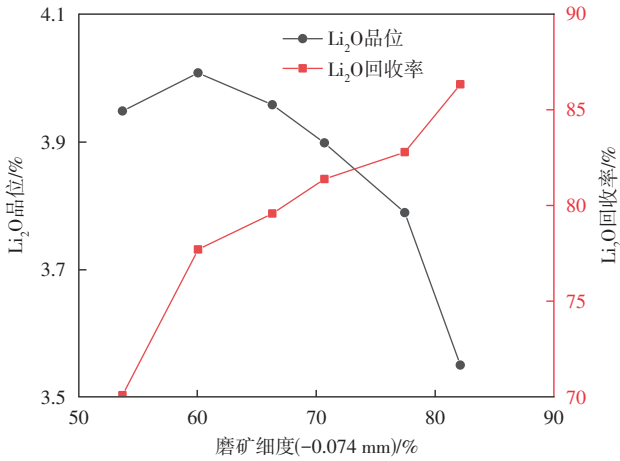


图4 磨矿细度试验结果

Fig. 4 Results of grinding fineness tests

2.2.2 Na₂CO₃用量试验

Na₂CO₃作为锂辉石浮选矿浆调整剂之一,主要起到分散和抑制脉石的作用^[11].固定磨矿细度为-0.074 mm占60.0%,LA-3用量为500 g/t,NaOH用量600 g/t,PN60用量1 200 g/t,考察Na₂CO₃用量对选别指标的影响.Na₂CO₃用量分别选择900、1 200、1 500、1 800 g/t四个条件进行.试验流程同图3,试验结果见图5.

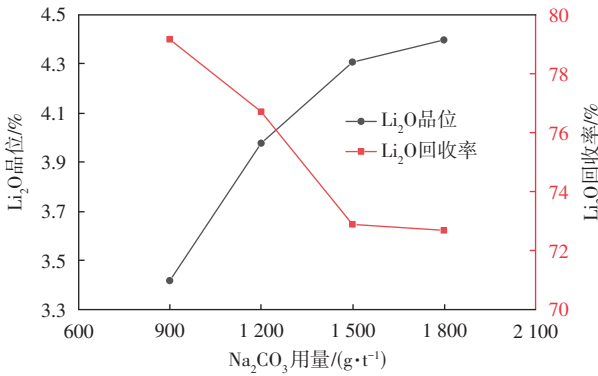


图5 Na₂CO₃用量试验结果

Fig. 5 Results of Na₂CO₃ dosage tests

由图5可知,随着Na₂CO₃用量增加,粗精矿Li₂O品位逐渐增加, Li₂O回收率逐渐降低.当Na₂CO₃用量为1 500 g/t时,继续增加Na₂CO₃用量,粗精矿Li₂O含量增加幅度不大, Li₂O回收率降低也不明显.因此,后续试验选择Na₂CO₃的合适用量为1 500 g/t.

2.2.3 LA-3用量试验

LA-3捕收剂是中国地质科学院矿产综合利用研究所自主研发的脂肪酸类预浮捕收剂,主要应用于锂辉石浮选工艺中作预浮捕收剂,针对锂辉石原矿含锂云母等易浮矿物优先浮选,从而使锂精矿品位

得到保障.固定磨矿细度为-0.074 mm占60.0%, Na₂CO₃用量为1 500 g/t, NaOH用量600 g/t, PN60用量为1 200 g/t,考察LA-3用量对选别指标的影响.LA-3用量分别选择200、350、500、650、800 g/t五个条件进行.试验流程同图3,试验结果见图6.

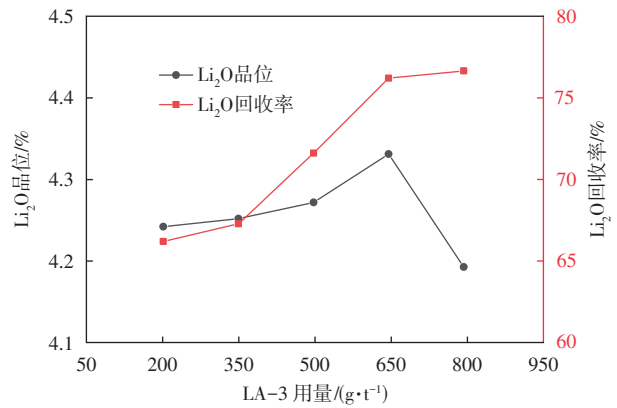


图6 LA-3用量试验结果

Fig. 6 Results of LA-3 dosage tests

由图6可知,随着LA-3用量增加,粗精矿Li₂O品位呈先增加后降低趋势, Li₂O回收率逐渐增加.当LA-3用量为650 g/t时,继续增加LA-3用量,粗精矿Li₂O品位降低, Li₂O回收率增加幅度不大.因此,后续试验确定LA-3的合适用量为650 g/t.

2.2.4 NaOH用量试验

NaOH作为锂辉石浮选矿浆调整剂之一,主要作用为擦洗矿物表面,将锂辉石表面溶蚀,增大接触角,有利于捕收剂对锂辉石的吸附^[11].固定磨矿细度为-0.074 mm占60.0%, Na₂CO₃用量1 500 g/t, LA-3用量650 g/t, PN60用量1 200 g/t,考察NaOH用量对选别指标的影响.NaOH用量分别选择0、200、400、600、800 g/t五个条件进行.试验流程同图3,试验结果见图7.

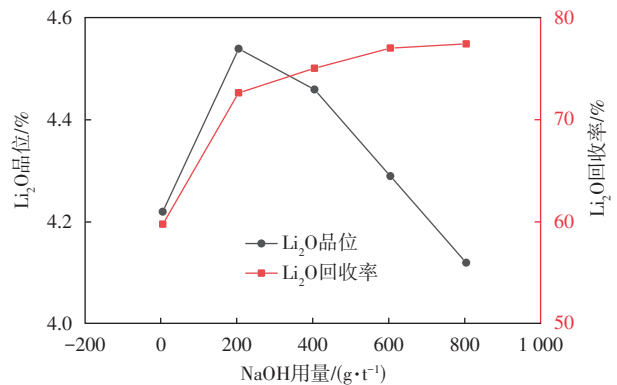


图7 NaOH用量试验结果

Fig. 7 Results of NaOH dosage tests

由图7可知,随着NaOH用量增加,粗精矿Li₂O品位呈先增加后降低趋势, Li₂O回收率逐渐增加。当NaOH用量为400 g/t时,继续增加NaOH用量,粗精矿Li₂O品位降低非常明显, Li₂O回收率增幅不大。因此,后续试验选择NaOH的合适用量为400 g/t。

2.2.5 PN60用量试验

PN60是中国地质科学院矿产综合利用研究所自主研发的脂肪酸类锂辉石捕收剂,主要用于锂辉石浮选,对锂辉石矿物具有较强的捕收能力和较好的选择性。固定磨矿细度为-0.074 mm占60.0%, Na₂CO₃用量1 500 g/t, LA-3用量650 g/t, NaOH用量400 g/t,考察PN60用量对选别指标的影响。PN60用量分别选择900、1 200、1 500、1 800 g/t四个条件进行。试验流程同图3,试验结果见图8。

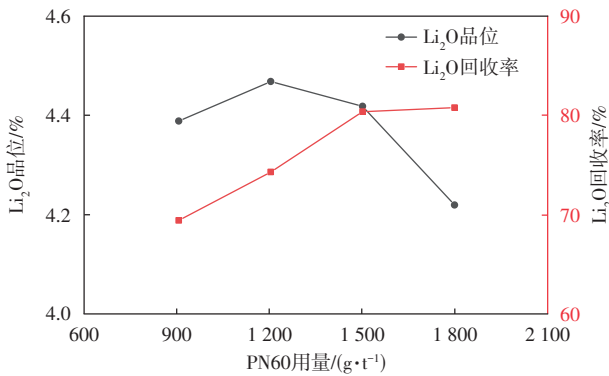


图8 PN60用量试验结果

Fig. 8 Results of PN60 dosage tests

由图8可知,随着PN60用量增加,粗精矿Li₂O品位呈先增加后降低趋势, Li₂O回收率逐渐增加。当PN60用量为1 500 g/t时,继续增加PN60用量,粗精矿Li₂O品位降低幅度较大, Li₂O回收率增幅不大。因此,后续试验确定PN60的合适用量为1 500 g/t。

2.3 浮选开路试验

根据上述药剂筛选及条件试验确定最佳药剂制度,并结合实际情况及以往经验,针对川西某伟晶岩型锂辉石原矿,预浮后采用“一粗一扫三精”的工艺流程开展开路浮选试验。试验流程见图9,试验结果见表4。

由表4可知,在原矿磨矿细度为-0.074 mm占60.0%的条件下,预浮后通过一段粗选、一段扫选、三段精选的开路流程试验,获得了Li₂O品位5.62%、Li₂O回收率70.86%的锂精矿。

2.4 浮选闭路试验

2.4.1 浮选闭路试验

根据上述开路试验及药剂制度,并结合实际情况

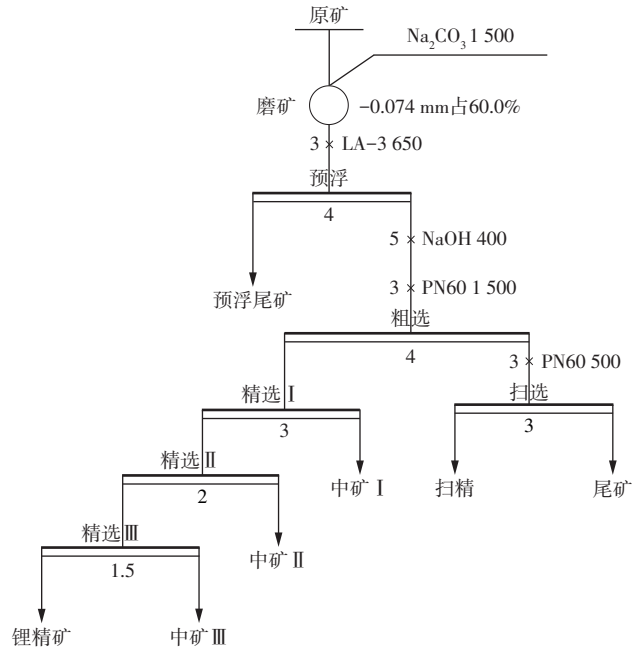


图9 浮选开路试验流程

Fig. 9 Flowsheet of the open-circuit flotation tests

表4 浮选开路试验结果

Table 4 Results of the open-circuit flotation tests /%

产品名称	产率	Li ₂ O品位	Li ₂ O回收率
锂精矿	14.15	5.62	70.86
中矿Ⅲ	0.91	5.22	4.23
中矿Ⅱ	2.32	2.04	4.22
中矿Ⅰ	3.15	0.41	1.15
扫精	1.71	0.70	1.07
预浮尾矿	21.25	0.71	13.44
浮锂尾矿	56.51	0.10	5.03
原矿	100.0	1.12	100.0

及以往经验,针对川西某伟晶岩型锂辉石原矿,采用“预浮—浮锂”工艺,浮锂工艺采用“一粗一扫三精”的工艺流程,开展了川西某伟晶岩型锂辉石矿全流程的闭路试验,并对药剂制度进行了适当调整,闭路试验流程见图10,试验结果见表5。

由表5可知,针对Li₂O品位为1.12%的川西某伟晶岩型锂辉石原矿,配以自主开发的高效预浮捕收剂LA-3与浮锂捕收剂PN60,预浮后经一粗一扫三精的浮选闭路试验流程,最终获得Li₂O品位为5.24%的锂辉石精矿, Li₂O回收率为80.26%,实现了锂辉石的高效分离。

2.4.2 产品分析

对闭路试验的锂精矿产品进行了化学多元素分析,分析结果见表6。

由表6可知,锂辉石精矿中Li₂O品位5.26%,含TFe 2.46%(含Fe₂O₃约3.51%)、MnO 0.43%、

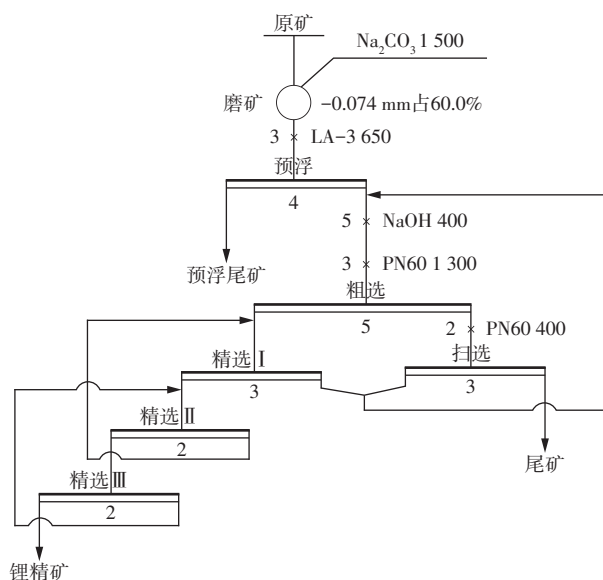


图10 浮选闭路试验流程

Fig. 10 Flowsheet of the locked-cycle flotation tests

表5 浮选闭路试验结果

Table 5 Results of the locked-cycle

flotation tests				/%
产品名称	产率	Li ₂ O品位	Li ₂ O回收率	
锂精矿	17.23	5.24	80.26	
尾矿	61.97	0.12	6.61	
预浮尾矿	20.80	0.71	13.13	
原矿	100.0	1.12	100.0	

表6 锂精矿化学多元素分析结果

Table 6 Results of chemical multi-element analysis of lithium concentrate

of lithium concentrate							/%
组分	Li ₂ O	TFe	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Rb ₂ O	MnO	
含量	5.26	2.46	0.014	0.034	0.013	0.43	
组分	P ₂ O ₅	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
含量	0.42	0.25	0.42	1.08	62.24	22.07	

MgO 0.25%、K₂O 0.42%、Na₂O 1.08%、P₂O₅ 0.42%、Nb₂O₅ 0.034%、Ta₂O₅ 0.014%。可见, 锂精矿中铁含量超标, 同时还含有铌钽。因此, 该锂精矿还可通过进一步磁选除铁提锂, 同时回收铌钽。

3 结论

1) 川西某伟晶岩型锂辉石原矿主要组分为SiO₂和Al₂O₃, 其次为Na₂O、K₂O、TFe、Li₂O、CaO、MgO等。主要矿物为长石、石英、锂辉石, 次要为白云母, 少量黑云母, 微量绿泥石、铁锂云母、磷铁锰矿、辉石、锡石、铌钽铁矿、磷锰矿、磷锂铝石等。

2) 采用“预浮—浮锂”工艺, 浮锂采用“一粗一扫三精”的浮选闭路试验流程, 以Na₂CO₃、NaOH作

联合调整剂, 配以中国地质科学院矿产综合利用研究所自主研发的脂肪酸类预浮捕收剂LA-3和锂辉石捕收剂PN60, 最终获得的锂辉石精矿产品Li₂O品位为5.26%, 含TFe 2.46%(含Fe₂O₃约3.51%)、MnO 0.43%、MgO 0.25%、K₂O 0.42%、Na₂O 1.08%、P₂O₅ 0.42%、Nb₂O₅ 0.034%、Ta₂O₅ 0.014%。锂精矿中铁含量超标, 同时还含有铌钽, 因此, 锂精矿产品可通过进一步磁选除铁提锂, 同时回收铌钽。

参考文献

- [1] 孟庆波, 吴迪, 王洪岭, 等. 某锂多金属矿锂钽铌短流程同步富集与分离试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(6): 128-133.
MENG Qingbo, WU Di, WANG Hongling, et al. Experimental study on short process synchronous enrichment and separation of lithium, tantalum and niobium from a lithium polymetallic ore[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2021(6): 128-133.
- [2] 程仁举, 李成秀, 刘星, 等. 川西某低品位锂辉石矿分选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(5): 42-45, 50.
CHENG Renju, LI Chengxiu, LIU Xing, et al. Experimental research on beneficiation for a low-grade spodumene ore in Western Sichuan[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2017(5): 42-45, 50.
- [3] 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, 156.
CHEN Chao, ZHANG Yushu, ZHANG Shaoxiang, 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, 156.
- [4] 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 Longhua, TIAN Jia, WU Houqin, et al. Experimental study on the selective grinding-strengthening flotation of the Western Sichuan pegmatite spodumene ore[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2017(4): 52-57.
- [5] 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, 46(6): 109-112.
WEN Shenglai, WANG Linglong, FAN Linqing. Beneficiation experiment on a low grade spodumene ore from Jiangxi[J]. Metal Mine, 2017, 46(6): 109-112.
- [6] 梁远琴, 刘全军, 赵刘闯, 等. 锂辉石选择性破碎预先富集研究[J]. 非金属矿, 2018, 41(2): 64-66.
LIANG Yuanqin, LIU Quanjun, ZHAO Liuchuang, et al.

- Study on pre-enrichment by selective comminution of pegmatite spodumene ore[J]. *Non-Metallic Mines*, 2018, 41(2): 64-66.
- [7] 吕永信, 幸伟中, 李金荣. 概论锂辉石和绿柱石矿石浮选理论与实践[J]. *有色金属(冶炼部分)*, 1965(6): 14-19, 25.
LYU Yongxin, XING Weizhong, LI Jinrong. Introduction to the theory and practice of flotation of spodumene and beryl ores[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 1965(6): 14-19, 25.
- [8] 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 Lei, WANG Yuhua, YU Fushun, et al. Research on mineral processing technology for a low grade spodumene ore in Sichuan[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2015(6): 50-53.
- [9] 吕永信. 锂辉石-绿柱石浮选分离新方法: 污染离子 Ca^{2+} 选择性解吸分离法[J]. *矿产综合利用*, 1980(1): 8-16.
LYU Yongxin. A new method for spodumene-beryl flotation separation: selective dissociation-adsorption separation method for polluting ions Ca^{2+} [J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 1980(1): 8-16.
- [10] 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, 110.
YU Fushun, JIANG Man, WANG Jianlei, et al. Study on pre-desliming-flotation tests of spodumene ore in Australia[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2019(6): 69-72, 110.
- [11] 邓星星, 殷志刚. 非洲某含透锂长石伟晶岩锂辉石矿综合回收锂的选矿试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2023(5): 87-92.
DENG Xingxing, YIN Zhigang. Experimental study on comprehensive recovery of lithium from spodumene ore containing petalite pegmatite in Africa[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2023(5): 87-92.

(本文编辑 刘水红)