花岗伟晶岩型锂矿中含锂云母矿物学特征及浮选试验研究①

汪泰[1,2,3,4]，刘伟[5]，李永[5]，王威[2,6]，何名飞[1,3,4]，杜晓飞[2]，汤优优[1,3,4]，李波[1,3]
（1.广东省科学院资源利用与稀土开发研究所，广东 广州 510650；2.新疆自然资源与生态环境研究中心，新疆 乌鲁木齐 830000；3.稀有金属分离与综合利用国家重点实验室，广东 广州 510650；4.广东省矿产资源开发与综合利用重点实验室，广东 广州 510650；5.新疆维吾尔自治区地质研究院，新疆 乌鲁木齐 830000；6.新疆大学 新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测自治区重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830047）

摘　要：以新疆某花岗伟晶岩型锂矿中含锂云母为研究对象，系统开展矿物学特性表征与浮选试验研究。结果表明，含锂云母矿物不仅与钠长石、石英等矿物的表面性质类似，而且嵌布关系较为密切。基于此，采用自主研发的高选择性捕收剂 GYMR，在不脱泥情况下，通过一粗二精二扫闭路浮选（磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75.20%），实现了含锂云母的高效分选；闭路浮选试验获得了 Li_2O 品位 2.65%、回收率 15.22%的含锂云母精矿，证实 GYMR 捕收剂在微细粒锂云母-脉石矿物选择性吸附方面具有显著优势。

关键词：含锂云母；嵌布特征；浮选；捕收剂；花岗伟晶岩锂矿
中图分类号：TD954　　**文献标志码**：A　　doi：10.3969/j.issn.0253-6099.2026.02.014
文章编号：0253-6099（2026）02-0095-06

Mineralogical Characteristics and Flotation Test of Lithium-Bearing Mica in Granitic Pegmatite-Type Lithium Ore

WANG Tai[1,2,3,4], LIU Wei[5], LI Yong[5], WANG Wei[2,6], HE Mingfei[1,3,4], DU Xiaofei[2], TANG Youyou[1,3,4], LI Bo[1,3]
(1.*Institute of Resource Utilization and Rare Earth Development, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou* 510650, *Guangdong, China*; 2.*Xinjiang Natural Resources and Ecological Environment Research Center, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*; 3.*State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, Guangzhou* 510650, *Guangdong, China*; 4.*Guangdong Provincial Key Laboratory of Development and Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Guangzhou* 510650, *Guangdong, China*; 5.*Xinjiang Geological Research Institute, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*; 6.*Xinjiang Key Laboratory of Continental Dynamics and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi* 830047, *Xinjiang, China*)

Abstract: Mineralogical characterization and flotation tests were carried out for the lithium-bearing mica in a granitic pegmatite-type lithium ore from Xinjiang. It is found that lithium-bearing mica is similar to gangue minerals of albite and quartz in terms of surface properties, and also presents close mineral dissemination characteristics. On this basis, a self-developed high-selectivity collector GYMR was adopted in a closed-circuit flotation process, consisting of one stage of roughing, two cleaning and two scavenging, to achieve efficient separation of lithium-bearing mica with grinding fineness of -0.074 mm 75.20%. Finally, a lithium-bearing mica concentrate grading Li_2O 2.65% at 15.22% recovery was obtained from the closed-circuit flotation test. It is confirmed that the GYMR collector has remarkable advantages in selective adsorption of fine-grained lepidolite and gangue minerals.

Key words: lithium-bearing mica; dissemination characteristics; flotation; collector; granitic pegmatite-type lithium ore

在新能源产业蓬勃发展的当下，锂作为国家战略金属，其重要性愈发凸显[1]。锂云母作为关键锂资源，对其高效提锂的研究关乎产业发展，而浮选技术则是其中的核心环节。锂云母是铝硅酸盐矿物，与钠长石、钾长石同属于铝硅酸盐矿物，并且多以共生形式存在。依据锂含量，锂云母可分为不同类型，其中高品位锂

① **收稿日期**：2025-10-15
基金项目：新疆维吾尔自治区重大科技专项（2023A03003-1，2023A03002-4）；国家重点研发计划（2021YFC2903201）；新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务经费项目（KY2025177）
作者简介：汪泰（1986—），男，湖南桃江人，博士，正高级工程师，主要从事稀有金属浮选机理与工艺研究。E-mail：wangtaigz@126.com
通信作者：汤优优（1986—），男，湖南浏阳人，高级工程师，主要研究方向为浮选工艺与产业化应用。E-mail：350397583@qq.com

云母(Li_2O 品位 3.2%~6.5%)具有更高的经济价值。然而,锂云母与锂辉石、长石等硅酸盐矿物表面性质相似、活化质点相同,使得浮选分离工作面临巨大挑战[2-5]。

在锂云母浮选过程中,捕收剂起着关键作用。目前常用的捕收剂主要有阳离子型、阴离子型以及两者复配的组合捕收剂[6-7]。为了实现更高效的浮选,浮选药剂表界面调控技术[8-12]成为研究焦点,它通过改变溶液表面张力和捕收剂临界胶束浓度,增强药剂活性、选择性、耐低温和矿泥性能等,不仅能提高锂云母浮选效率,还能克服当前矿物特性复杂、分离难度大的问题,同时在一定程度上缓解环保压力,减少药剂浪费与污染[13]。

本文以新疆某花岗伟晶岩型锂多金属矿为研究对象,通过系统的矿物学测试,精准剖析矿石中锂的赋存状态,深入探究含锂矿物与脉石矿物的嵌布关系特征,同时开展含锂云母浮选可选性试验,为锂云母综合回收的可行性提供科学依据,对推动新疆地区锂资源的高效开发利用具有重要意义。

1 矿石性质

新疆某花岗伟晶岩型锂多金属矿原矿化学多元素分析结果见表 1,采用矿物自动分析系统(MLA)获得的原矿主要矿物组成分析结果见表 2,原矿中锂的赋存状态分析结果见表 3。由表 1 可知,矿石中 Li_2O 品位达到 1.23%,具有较高的回收价值,并伴生稀有金属铷(Rb_2O 品位 0.11%)和铍(BeO 品位 0.021%),铷具备综合回收价值;主要脉石矿物成分为 SiO_2。由表 2~3 可知,矿石中含锂矿物包括锂云母、锂白云母、锂辉石和磷锂铝石等,其中含锂云母矿物累计含量为6.97%,

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数)

Table 1 Multi-elemental analysis of raw ore %

Li_2O	Rb_2O	BeO	Cs	K_2O	Na_2O
1.23	0.11	0.021	0.010	3.18	3.33
P_2O_5	Fe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3
0.43	0.42	73.59	0.22	0.061	15.92

表 2 原矿矿物组成(质量分数)

Table 2 Mineral composition of raw ore %

锂辉石	磷锂铝石	锂云母	锂白云母	锂绿泥石	透锂长石
12.20	0.62	2.46	4.51	0.10	0.01
绿柱石	石英	钠长石	微斜长石	中长石	高岭石
0.45	33.50	26.14	16.33	0.41	0.398
黑云母	角闪石	磷灰石	磁褐铁矿	锡石	钽铌铁矿
0.040	0.15	0.203	0.24	0.031	0.036

表 3 原矿中锂的赋存状态分析结果

Table 3 Occurrence of lithium in raw ore

矿物名称	矿物含量/%	Li_2O 品位/%	Li_2O 分布率/%
锂辉石	12.20	7.50	74.02
磷锂铝石	0.62	9.05	4.54
锂云母	2.46	3.61	7.18
锂白云母	4.51	2.10	7.66
锂绿泥石	0.10	1.00	0.08
透锂长石	0.01	4.52	0.03
其他	80.10	0.10	6.49
合计	100.00	1.23	100.00

Li_2O 分布率 14.84%,这即为含锂云母中 Li_2O 的理论回收率;主要脉石矿物为长石类和石英。在选矿过程中,需要密切关注云母类矿物与锂辉石、长石类等铝硅酸盐矿物之间的有效分离。

锂白云母作为云母族矿物的重要一员,其化学式为 $K(Li,Al)_{2\sim3}AlSi_3O_{10}$。该矿物外观多呈无色、白色至浅粉色,表面散发柔和的珍珠光泽;物理特性上,其莫氏硬度为 2~3,密度 2.8~2.9 g/cm^3,完全契合云母族矿物的典型特征。作为一种富含锂元素的层状硅酸盐矿物,锂白云母的锂含量最高可达 3.5%,显著高于普通云母,具备重要的提锂价值。此外,从晶体结构来看,它由硅氧四面体层与铝(锂)氧八面体层交替堆叠形成主体架构,层间通过钾离子实现稳定连接;这种独特的层状结构赋予其极完全解理,受力后可轻松剥离成薄片,为后续选矿与深加工提供了结构基础。锂白云母化学成分能谱分析平均结果见表 4。由表 4 可知,该锂白云母中 Rb_2O 品位为 0.87%,具有良好的综合回收价值;此外,该锂白云母中还有少量铁、锰和氟等元素。

表 4 锂白云母化学成分能谱分析平均结果(质量分数)

Table 4 Average EDS analysis results of trilithionite %

F	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	MnO	FeO	Rb_2O	Cs_2O	Na_2O	ZnO
0.45	38.53	47.85	10.79	0.09	0.82	0.87	0.15	0.46	0.01

通过 MLA 分析发现,矿石中锂白云母嵌布粒度粗细不均,以细粒级为主,仅少部分呈粗粒叶片状;矿物共生关系上,多数锂白云母与石英、锂辉石及长石紧密共生,另有少数锂白云母被锂云母交代,形成富锂区域。因此,在分选过程中需重点考虑磨矿细度对锂白云母浮选指标的影响。

锂云母化学式为 $K\{Li_{2-x}Al_{1+x}[Al_{2x}Si_{4-2x}O_{10}][F,OH]_2\}$,$x=0\sim0.5$,$Li_2O$ 含量通常在 3.5%~7.0%之间。锂云母晶体呈假六方片状,多呈柔软片状集合体,颜色为灰白色、褐灰色,含锂高者呈玫瑰色、浅紫色,少量呈褐紫

色,含锰者呈桃红色。锂云母化学成分能谱分析结果见表 5。该样品中锂云母矿物平均含铷、铯较高,含少量铁、钠和锌。锂云母中类质同象替代现象普遍存在,具体表现为:其晶格中的钾(K)易被钠(Na)、铷(Rb)、铯(Cs)等碱金属离子取代;锂(Li)与铝(Al)则可被亚铁离子(Fe^{2+})、锰(Mn)、钙(Ca)、镁(Mg)及钛(Ti)等金属离子置换;而氟(F)常被羟基(OH^-)替代,这些广泛的类质同象替代是锂云母中稀有金属(如 Rb、Cs)伴生及成分复杂的主要原因。

表 5　锂云母能谱分析平均结果(质量分数)

Table 5　Average EDS analysis results of lepidolite　%

F	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	MnO	FeO	Rb_2O	Cs_2O	Na_2O	ZnO
3.03	28.88	54.14	10.66	0.34	0.41	1.64	0.60	0.26	0.05

MLA 分析结果显示,矿石中锂云母整体粒度相对较粗,主要以粗粒叶片状形态赋存;从矿物共生特征来看,绝大多数锂云母与石英、羟磷锂铝石、锂辉石及钠长石呈紧密共生关系;仅少量锂云母以叶片状形态对锂白云母产生交代作用,交代占比相对有限。

2　试验方法

该矿石矿物组成种类丰富,锂辉石作为主要含锂矿物,与含锂云母、磷锂铝石等多种含锂矿物共存。然而,含锂云母矿物与锂辉石等其他矿物紧密嵌布,这使得有效解离成为选矿的一大难题,合适的磨矿细度是解决这一问题的关键。含锂云母具备良好的可浮性,这一特性为选矿流程的设计提供了突破口。在对主金属矿物锂辉石进行选别之前,利用高选择性捕收剂优先浮出含锂云母,此方法具有双重优势:① 能够实现含锂云母的综合回收,避免资源浪费,可提高矿石中锂资源的利用率;② 能够减少后续锂辉石浮选过程中的干扰因素,可为锂辉石的高效浮选创造有利条件。值得关注的是,锂白云母与锂云母在物理化学性质和表面性质上极为相似,在浮选过程中,可将它们一并富集到云母精矿中。基于矿石中矿物的特性以及含锂矿物的相互关系,确定“先选含锂云母、后选锂辉石”的浮选技术路线。本文主要研究含锂云母的选别,试验原则流程见图 1。

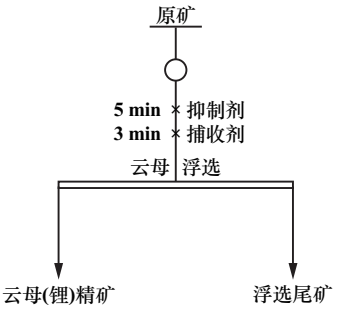


图 1　试验原则流程

Fig. 1　Basic flowchart for test

3　试验结果及讨论

3.1　浮选条件试验

3.1.1　磨矿细度试验

由于含锂云母与锂辉石、钠长石等矿物嵌布关系密切,有效解离是实现矿物高效富集的关键。碳酸钠用量 300 g/t 加至球磨机中,磨矿后进行浮选,新型木质素磺酸盐类抑制剂 GYMN[5]用量 100 g/t、新型改性胺类捕收剂 GYMR 用量 120 g/t,磨矿细度对浮选效果的影响见图 2。其中 GYMN 的主要官能团是羟基—OH和羧基—COOH 等亲水基团,GYMR 主要官能团为 RNH_2,均为自主研发的药剂。由图 2 可知,适当提高磨矿细度可以降低云母精矿中锂含量,主要是因为锂云母与锂辉石、磷锂铝石等含锂矿物解离完全,连生体上浮减少;磨矿细度 −0.074 mm 粒级占比超过 75.20%后,部分细粒锂辉石矿物随云母进入浮选泡沫中,导致云母精矿中锂含量上升。适宜的磨矿细度为 −0.074 mm 粒级占 75.20%。

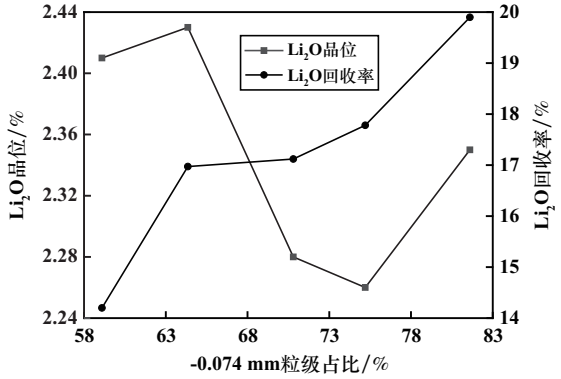


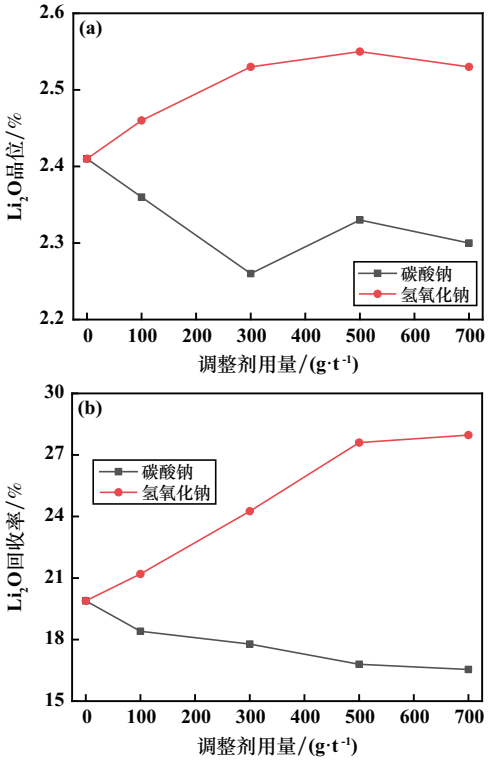
图 2　磨矿细度对浮选效果的影响

Fig. 2　Effect of grinding fineness on flotation

3.1.2　调整剂种类对比试验

碳酸钠和氢氧化钠是锂矿物浮选工艺中的矿浆 pH 值调整剂,它们既可消除 Fe^{3+}、Al^{3+}等有害离子对锂矿物表面的污染,又能通过选择性解离作用增强锂矿物表面羟基化特征(如生成 Li—OH 活性位点),在锂辉石/锂云母浮选体系中展现出显著的矿浆活化效能。磨矿细度 −0.074 mm 粒级占 75.20%,抑制剂 GYMN 用量 100 g/t,捕收剂 GYMR 用量 120 g/t 条件下,调整剂种类及用量对浮选效果的影响见图 3。由图 3 可知,添加适量的碳酸钠可以稳定云母精矿中锂

含量,但过量碳酸钠会对云母产生一定抑制作用;氢氧化钠在云母浮选过程中会活化锂辉石,导致浮选精矿中锂含量上升。最终确定采用碳酸钠作为云母浮选的调整剂,其适宜用量为 300 g/t。



(a) Li_2O 品位;(b) Li_2O 回收率

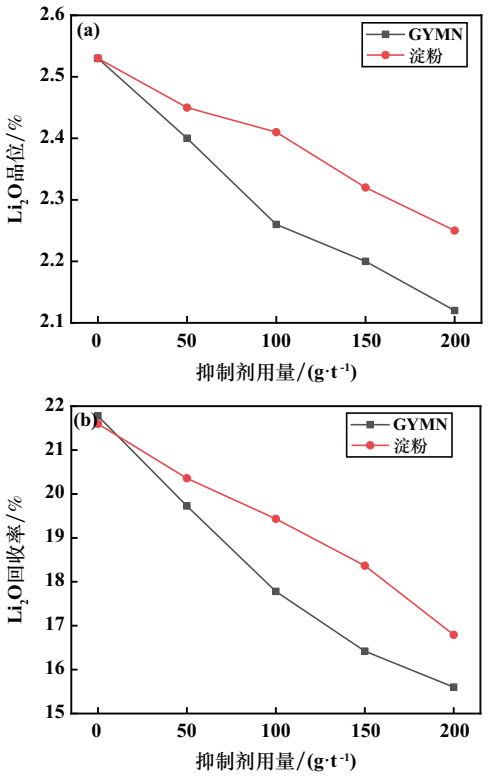
图 3 调整剂种类及用量对浮选效果的影响

Fig. 3 Effect of regulator type and dosage on flotation

3.1.3 抑制剂种类对比试验

由于本矿石中主金属矿物为锂辉石,在云母浮选过程中有必要对锂辉石进行抑制,减少其在云母浮选中的损失。糊精和淀粉等有机抑制剂通过氢键、化学吸附等方式作用于锂辉石矿物表面,使其表面亲水性增强,实现对锂辉石的抑制;虽然其抑制效果较好,但后续锂辉石活化困难。新型抑制剂 GYMN 以木质素类高分子化合物为主,通过静电吸附等方式作用于锂辉石矿物表面,其长链官能团形成空间位阻,可以减少捕收剂在锂辉石矿物表面的吸附,后续锂辉石解抑活化也相对容易。

磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75.20%,调整剂碳酸钠用量 300 g/t,捕收剂 GYMR 用量 120 g/t,抑制剂种类及用量对浮选效果的影响见图 4。由图 4 可知,随着抑制剂用量增大,云母精矿中 Li_2O 品位和回收率均下降,且 GYMN 的抑制效果优于淀粉。确定选用 GYMN 作为云母浮选的抑制剂,其适宜用量为 100 g/t。GYMN 通过静电吸附等作用,优先吸附在锂辉石、长石和石英等矿物表面,亲水端朝向矿浆,形成亲水膜和水化膜,使矿物表面强亲水,比传统的淀粉等抑制剂具有更好的选择性抑制效果。



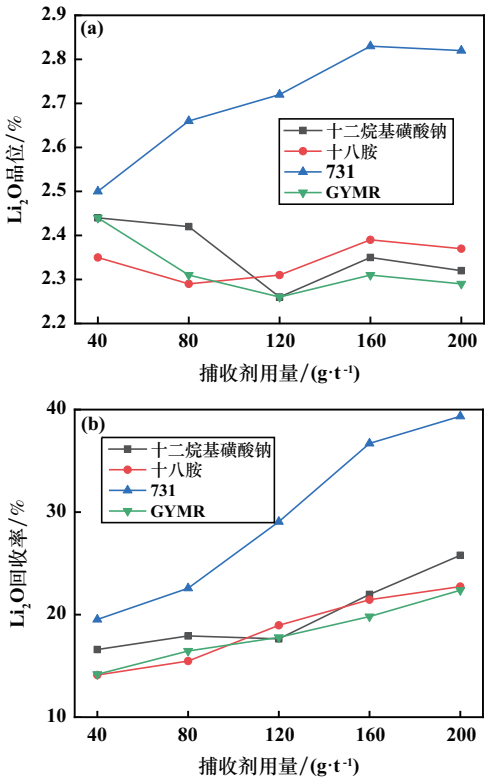
(a) Li_2O 品位;(b) Li_2O 回收率

图 4 抑制剂种类及用量对浮选效果的影响

Fig. 4 Effect of inhibitor type and dosage on flotation

3.1.4 捕收剂种类对比试验

云母浮选捕收剂体系历经技术迭代,目前主要分为传统型(油酸类、氧化皂类)与新型高效型(胺类)两大类。广州粤有研矿物资源科技有限公司成功研发了新型云母浮选捕收剂 GYMR,该药剂突破性整合了耐泥性、低温适应性、定向吸附选择性等核心优势,且吨矿药剂成本较传统胺类捕收剂降低 20%。磨矿细度-0.074 mm粒级占 75.20%,碳酸钠用量 300 g/t,GYMN 用量 100 g/t 条件下,捕收剂种类及用量对浮选效果的影响见图 5。由图 5 可知,捕收剂 731 对锂云母和锂辉石均有良好的捕收效果,导致部分锂辉石进入云母精矿中,Li_2O 回收率超过 20%,不适于锂云母浮选;对比捕收剂 GYMR、十二烷基磺酸钠以及十八胺的浮选效果发现,十八胺捕收能力较强,但选择性较差;十二烷基磺酸钠浮选泡沫量大、难以控制,GYMR 对含锂云母具有良好的选择性和捕收能力。最终选用 GYMR 作为含锂云母浮选的捕收剂,其适宜用量为 120 g/t。



(a) Li_2O 品位;(b) Li_2O 回收率

图 5　捕收剂种类及用量对比试验结果

Fig. 5　Effect of collector type and dosage on flotation

3.1.5　矿泥含量对含锂云母浮选的影响

锂辉石矿床在表生作用或热液蚀变过程中,高岭石、绿泥石等黏土矿物通过次生蚀变作用形成细粒矿泥,需要密切关注矿泥对浮选指标的影响。磨矿细度 -0.074 mm 粒级占 75.20%,抑制剂 GYMN 用量 100 g/t、捕收剂 GYMR 用量 120 g/t 条件下,考察了矿泥含量对锂云母浮选的影响,结果见图 6。由图 6 可知,脱除矿泥对控制云母精矿中 Li_2O 品位具有一定效果,但是增设矿泥脱除流程会增大云母精矿中锂金属占有率。在合适的药剂制度下,矿泥对云母浮选精矿的影响不大,考虑工艺简便和易操控性,云母浮选前不设脱泥作业。

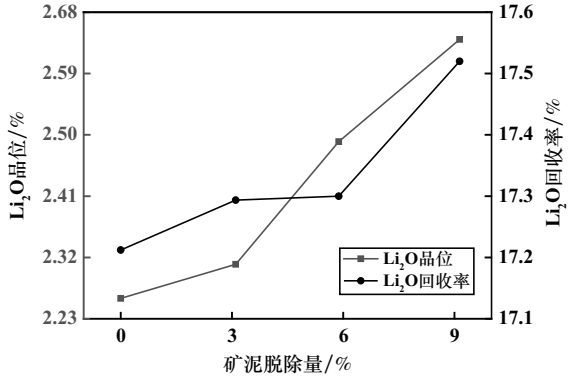


图 6　矿泥含量对锂云母浮选的影响

Fig. 6　Effect of slime content on lepidolite flotation

3.2　浮选闭路试验

在条件试验和开路试验基础上开展了含锂云母浮选闭路试验研究,闭路试验流程见图 7,结果见表 6,云母精矿矿物组成如表 7 所示。在磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75.20%条件下,采用一粗二精二扫闭路浮选流程,获得了 Li_2O 品位 2.65%、回收率 15.22%的含锂云母精矿;伴生有价元素铷在浮选云母精矿得到有效富集,云母精矿中 Rb_2O 品位为 0.85%、回收率为 50.86%。云母精矿中锂云母和锂白云母得到了富集,云母精矿锂品位符合 GB/T 23853—2022 云母精矿四级品标准;云母精矿产率为 7.18%,这与原矿中锂云母和锂白云母矿物含量 6.97%基本吻合。锂辉石在浮选尾矿中富集,为后续浮选回收锂辉石创造了良好条件。

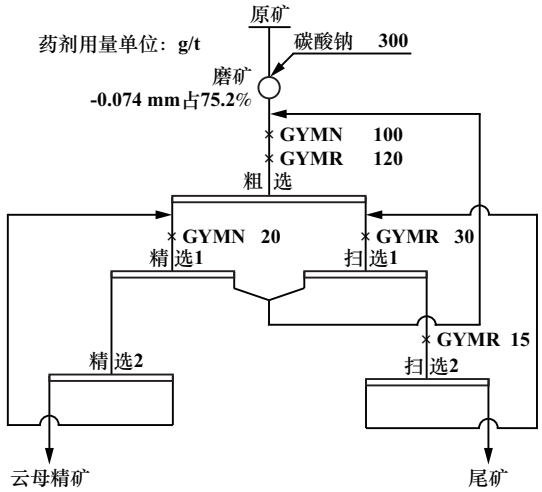


图 7　闭路试验流程

Fig. 7　Closed-circuit test flowchart

表 6　闭路试验结果

Table 6　Closed-circuit test results

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Li_2O	Rb_2O	Li_2O	Rb_2O
云母精矿	7.18	2.65	0.85	15.22	50.86
尾矿	92.82	1.14	0.06	84.78	49.14
原矿	100.00	1.23	0.11	100.00	100.00

表 7　云母精矿矿物组成(质量分数)

Table 7　Mineral composition of mica concentrate　%

锂辉石	磷锂铝石	锂云母	锂白云母	锂绿泥石	透锂长石
5.51	0.12	32.65	48.85	0.02	0.008
绿柱石	石英	钠长石	微斜长石	中长石	高岭石
0.08	3.15	7.21	1.01	0.055	0.41
黑云母	角闪石	磷灰石	磁褐铁矿	锡石	其他
0.032	0.06	0.053	0.043	0.008	0.73

4 结论

1）该矿石含锂矿物除锂辉石外，主要以锂云母和锂白云母等矿物形式存在，具有综合回收价值，其他矿物以长石类、石英为主，由于含锂云母矿物与锂辉石、长石等可浮性相近，其浮选分离存在一定难度，需要解决矿物之间有效解离、含锂矿物选择性捕收等影响因素。

2）通过选择性抑制锂辉石、长石类及石英等矿物，在弱碱性矿浆体系中采用高效云母浮选捕收剂GYMR，获得了Li_2O品位2.65%、回收率15.22%的含锂云母精矿。该工艺实现了锂云母的富集，并同步将铷等伴生有价金属富集至云母精矿中，为锂、铷资源协同开发提供了技术路径。

参考文献（References）：

[1] 崔振坤，汪泰，李汉文，等. 新型高效浮选捕收剂在伟晶岩锂矿浮选中的应用[J]. 矿冶工程，2024，44(2)：47-51.
CUI Zhenkun，WANG Tai，LI Hanwen，et al. Application of new high-efficient collector in flotation of pegmatite lithium ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2024，44(2)：47-51.

[2] 荆正强，金凯，张政军. 阴阳离子捕收剂高效浮选锂辉石的选矿试验研究[J]. 矿冶工程，2025，45(1)：80-85.
JING Zhengqiang，JIN Kai，ZHANG Zhengjun，et al. High-efficiency flotation of spodumene with anionic-cationiccollectors[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2025，45(1)：80-85.

[3] 吕子虎，卫敏，吴东印，等. 某锂多金属矿浮选工艺研究[J]. 矿冶工程，2020，40(3)：58-61.
LYU Zihu，WEI Min，WU Dongyin，et al. Flotation technology for lithium polymetallic ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2020，40(3)：58-61.

[4] United States Geological Survey. Mineral commodity summaries 2025[M]. Reston：United States Geological Survey，2025.

[5] 杨成梅，刘伟，李波，等. 某花岗伟晶岩锂矿石中铷矿物的性质及含铷云母的回收[J]. 金属矿山，2024(12)：211-216.
YANG Chengmei，LIU Wei，LI Bo，et al. The properties of rubidium minerals in a granite pegmatite lithium ore and the recovery of rubidium-bearing mica[J]. Metal Mine，2024(12)：211-216.

[6] 杨刚，车小奎，郑其，等. 弱酸条件下含铷云母浮选研究[J]. 稀有金属，2024，48(2)：296-304.
YANG Gang，CHE Xiaokui，ZHENG Qi，et al. Flotation of mica-containing rubidium under weak acidity medium[J]. Chinese Journal of Rare Metals，2024，48(2)：296-304.

[7] 陈杜娟，郭海宁，王志丰. 某铷矿中含铷黑云母的选矿试验研究[J]. 矿冶工程，2018，38(5)：61-64.
CHEN Dujuan，GUO Haining，WANG Zhifeng. Beneficiation test of rubidium-containing biotite in some rubidium ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2018，38(5)：61-64.

[8] 欧阳黎明，李欢，周剑琪，等. 云南腾冲高分异花岗岩锂、铷的工艺矿物学特征[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2024，55(3)：982-993.
OUYANG Liming，LI Huan，ZHOU Jianqi，et al. Process mineralogical characteristics of Li and Rb in highly differentiated granites in Tengchong，Yunnan Province[J]. Journal of Central South University (Science and Technology)，2024，55(3)：982-993.

[9] 汪泰，邹坚坚，王威，等. 伟晶岩型锂辉石矿碱溶蚀-浮选试验研究[J]. 矿冶工程，2022，42(1)：57-60.
WANG Tai，ZOU Jianjian，WANG Wei，et al. Test on pegmatite spodumene ore with alkali dissolution and flotation process[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2022，42(1)：57-60.

[10] 于保强，何荣权，邓朝安，等. 新疆某锂辉石矿粗粒浮选探索试验研究[J]. 金属矿山，2023(12)：111-116.
YU Baoqiang，HE Rongquan，DENG Chaoan，et al. Flotation exploring experimental research on coarse spodumene from Xinjiang[J]. Metal Mine，2023(12)：111-116.

[11] 杨沁红，蒋昊，纪婉颖，等. 季铵盐与辛醇组合捕收剂浮选云母的机理[J]. 中国有色金属学报，2018，28(9)：1900-1907.
YANG Qinhong，JIANG Hao，JI Wanying，et al. Mechanism of flotation of muscovite using mixed quaternary ammonium salt/octanol collectors[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals，2018，28(9)：1900-1907.

[12] 刘文宝，甘琦强，刘文刚，等. 新型组合捕收剂对锂云母、钠长石和石英的浮选性能研究[J]. 矿产保护与利用，2023，43(3)：34-42.
LIU Wenbao，GAN Qiqiang，LIU Wengang，et al. Study on the flotation performance of a new combined collector for lepidolite，albite and quartz[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources，2023，43(3)：34-42.

[13] 韩嘉琦，尉江，刘广义. 组合捕收剂协同增效机制及其在浮选中的应用进展[J]. 有色金属(选矿部分)，2024(7)：1-11.
HAN Jiaqi，WEI Jiang，LIU Guangyi. Synergistic mechanism of mixed collectors and its application in flotation[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)，2024(7)：1-11.

引用本文：汪泰，刘伟，李永，等. 花岗伟晶岩型锂矿中含锂云母矿物学特征及浮选试验研究[J]. 矿冶工程，2026，46(2)：95-100.
WANG Tai，LIU Wei，LI Yong，et al. Mineralogical characteristics and flotation test of lithium-bearing mica in granitic pegmatite-type lithium ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering，2026，46(2)：95-100.