

文章编号:1674-9669(2021)02-0066-06 DOI:10.13264/j.cnki.ysjskx.2021.02.009

引文格式:童佳琪,廖紫鑫,朱玉华,等.艾砂磨机在锂云母浮选分离的应用[J].有色金属科学与工程,2021,12(2):66-71.

艾砂磨机在锂云母浮选分离的应用

童佳琪¹, 廖紫鑫¹, 朱玉华¹, 吴季¹, 袁程方¹, 吴彩斌^{1,2}

(1. 江西理工大学资源与环境工程学院,江西 赣州 341000; 2. 江西省矿业工程重点实验室,江西 赣州 341000)

摘要:艾砂磨机流程简单、占地面积小、基建投资少、操作方便、维修简捷。江西宜春某锂云母选别原料为钽铌矿尾渣,该锂云母矿石大多属于细粒嵌布型,通常与石英、长石等脉石矿物连生或共生且易产生泥化影响后续浮选,为此开展了以新型细磨设备艾砂磨机代替球磨机进行锂云母磨矿来提升选别指标的浮选试验。研究表明,采用艾砂磨作为开路磨矿设备,磨至磨矿产品粒径 ≤ 0.074 mm 占 60%,简单、高效实现了锂云母浮选矿物颗粒解离度要求,实验室采用 CY205 作捕收剂, WST 作抑制剂,采用“一粗三精三扫”的选别工艺流程,可以获得含 Li_2O 品位为 5.15%、回收率为 77.80% 的锂云母精矿产品。研究结果对艾砂磨机在锂云母选厂中的实际应用具有一定的推广借鉴意义。

关键词:锂云母;艾砂磨机;浮选;球磨机

中图分类号:TD921⁺.4;TD923⁺.7 **文献标志码:**A

Application of Isa mill to lepidolite flotation separation

TONG Jiaqi¹, LIAO Zixin¹, ZHU Yuhua¹, WU Ji¹, YUAN Chengfang¹, WU Caibin^{1,2}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. Key Laboratory of Mining Engineering in Jiangxi, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: The Isa mill has simple process, covering a small area, with less capital investment, convenient operation and easy to maintenance. The raw material for a lepidolite beneficiation in Yichun, Jiangxi Province, is tantalum niobium tailings. Most of the lepidolite ores belongs to fine-grained embedded type, which is usually associated or coexisted with gangue minerals such as quartz and feldspar and easy to produce sliming, which will affect the subsequent flotation. To this end, a new type of fine grinding equipment, Isa mill, instead of ball mill was carried out to improve the flotation index of lepidolite. The results show that Isa mill is used as the open-circuit grin equipment, the fineness of the product is less than or equal to ≤ 0.074 mm, accounting for 60%, which simply and efficiently meets the requirements of the dissociation degree of lepidolite flotation mineral particles. Using CY205 as collector, WST as inhibitor and adopting the separation process of “one roughing, three cleaning and three scavenging”, lepidolite concentrate product with Li_2O grade of 5.15% and recovery rate of 77.80% can be obtained in the laboratory. The results would have a certain promotion and reference significance for the practical application of Isa mill in dressing plant.

Keywords: lepidolite; Isa-mill; flotation; ball mill

锂是一种重要的能源型金属,锂云母是一种常见的含锂矿物,是提炼金属锂的主要原料之一^[1-3]。其工业上有 3 大传统用途:铝电解槽熔盐、玻璃陶瓷工业添加剂和生产润滑脂,随着工业化进程的加快,锂的应用领域不断扩展,现已广泛应用于电池、冶金、橡胶、医学、纺织工业、电器、航天和原子能等行业。锂也是制造氢弹的重要材料^[4-6]。

随着我国选锂技术的不断发展,品位较高和易选的锂矿越来越少,低品位锂云母的选别技术得到高度关注^[7-8]。现在很多锂矿选厂是以钽铌矿的尾渣为原料进行选锂^[9-10],目前锂矿氧化锂品位一般只选到 3% 左右,又因为锂云母产品价格下降,导致企业亏损,说明当前的工艺流程已经满足不了企业需求。如今需要突破锂云母品位瓶颈,提高锂选厂的经济效益^[11-12]。从磨矿方面改善选矿指标^[13-15],黑龙江某铜矿选厂使用艾砂磨机有效提高了铜精矿质量,降低了精矿运输成本,增加了产品附加值,经济效益显著^[16]。遂昌金矿采用艾砂磨机开路磨矿替代原二段球磨闭路磨矿,其磨矿产品<0.074 mm 从 75% 提高到 95%,氰化尾渣金品位从 0.35 g/t 降低到 0.12 g/t,银品位从 13.17 g/t 降低到 7.4 g/t,指标较好,经济效益显著^[17]。多宝山铜矿采用艾砂磨机有效提升了铜钼混合精矿质量,降低了硅、铝质量分数,增加了产品经济附加值,为后续铜钼分离创造了有利条件^[18]。艾砂磨机作为一种新型再磨设备具有高效节能的特点,磨矿产品粒度分布窄、避免过磨和欠磨,可有效提高有价金属回收率,其开路磨矿可达到闭路磨矿效果,简化了设备配置,设备占地面积小可减少建设投资,改造更加方便,有效提高选厂运转率^[19-20]。本文从磨矿工艺出发,将艾砂磨机与球磨机进行对比试验并观察磨矿产品粒度特性及浮选结果,确定磨矿设备后再通过捕收剂和抑制剂的优选提高锂云母浮选精矿的品位和回收率,最后进行了闭路试验验证。

1 试 验

1.1 矿石性质

锂云母样品来自江西宜春某选厂,粒度均在 2 mm 以下。该样品原矿含 Li₂O 品位为 0.52%。其粒度分布及其金属率分布如表 1 所列。

试样多元素化学分析结果如表 2 所列,XRD 分析结果如图 1 所示。

从表 1 和表 2 可以看出,原矿样中主要有用矿物为锂云母,大部分分布在 0.15 mm 以上,需要进一步磨矿使其充分单体解离,主要脉石矿物为 SiO₂ 和

Al₂O₃。又因为大量的 Na₂O 和 K₂O 存在,使得锂云母矿在磨矿时易产生次生矿泥,而矿泥会对锂云母矿的分选有较大的影响。生产实践也表明,当浮选物料中细泥含量较多时,会严重恶化浮选过程,导致浮选效果显著降低。此外,图 1 显示原料中有不含锂或锂品位较低的白云母、金云母的存在,这也是锂云母精矿 Li₂O 品位难提高的重要原因。

表 1 锂云母原矿金属率分布组成
Table 1 Distribution composition of metallicity of lepidolite ore

粒级/mm	产率/%	Li ₂ O 品位/%	Li ₂ O 金属占有率/%
>0.15	53.93	0.60	62.29
>0.074~0.15	18.91	0.46	16.75
0.038~0.76	16.69	0.42	13.50
<0.038	10.47	0.37	7.46
原矿	100.00	0.52	100.00

表 2 多元素化学分析结果
Table 2 The results of multi element chemical analysis

成分	Li ₂ O	Rb ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO
质量分数/%	0.52	0.17	3.78	4.89	70.70	22.34	0.16	0.10

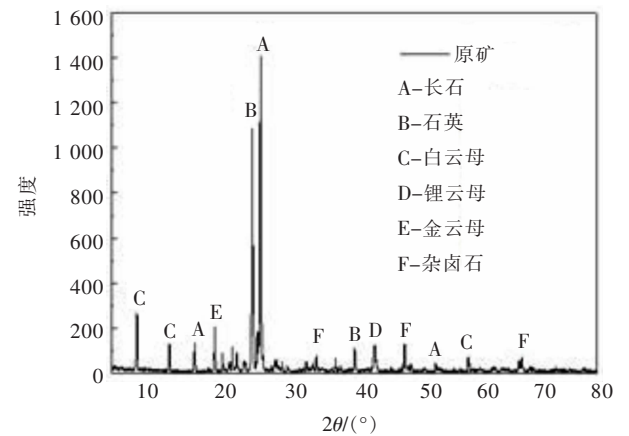


图 1 锂云母矿 XRD 谱
Fig. 1 XRD pattern of lepidolite

1.2 试验方法

艾砂磨机是浙江艾领创矿业科技有限公司研发的大型卧式砂磨机 ALC-1.5L 艾砂磨。采用艾砂磨机作为开路磨矿设备,将锂云母样品磨至<0.074 mm 占 60%,该锂云母矿含大量的细泥会吸附药剂从而会影响

后续浮选,故先进行脱泥再进行“一粗三精三扫”工艺流程进行浮选。抑制剂采用自主研发的 WST,捕收剂为 CY205。选别工艺流程如图 2 所示。

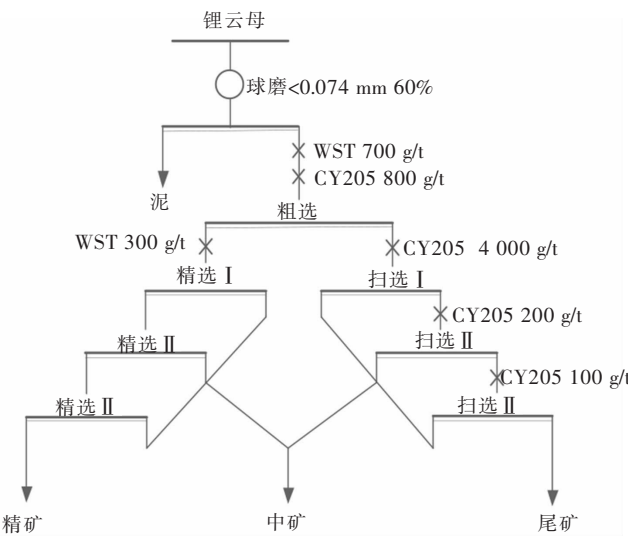


图 2 浮选流程
Fig. 2 Flotation flow chart

2 结果与讨论

2.1 艾砂磨与球磨对比试验

宜春大部分锂云母是依托宜春钽铌矿生产尾渣作为原料,已经经过磨矿分离作业,因此可使用再磨设备艾砂磨作为主要磨矿设备,在实验室进行了锥型球磨机和艾砂磨机磨矿对比实验,其磨矿细度对比结果如图 3 所示,并将磨矿产品分别进行相同的浮选流程,球磨与艾砂磨磨矿产品浮选对比实验结果表 3 所列。

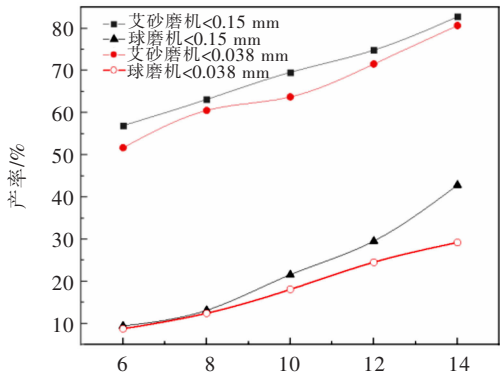


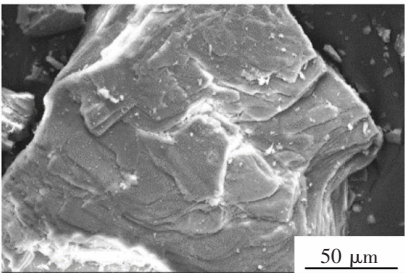
图 3 球磨、艾砂磨磨矿细度对比结果
Fig. 3 Comparison results of grinding fineness of ball mill and Aisha mill

艾砂磨与球磨磨矿产品 $>0.15\text{ mm}$ 粒级呈现相同的变化趋势,产率随磨矿时间的增加而增加,说明球磨和艾砂磨对粗粒级的研磨效果相近。球磨机磨矿产品中随磨矿时间增加, $<0.038\text{ mm}$ 产率增加趋势明显高于艾砂磨机,说明球磨机相对于艾砂磨机更容易产生过磨现象。这是因为艾砂磨机在高速旋转产生的离心力作用下,矿物和磨矿介质都按照粒径从小到大由磨机轴向筒体内壁径向分布,实现“大磨大、小磨小”的选择性磨矿,而更不易造成过磨。

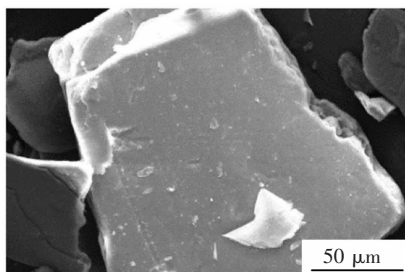
表 3 球磨、艾砂磨产品浮选实验结果对比
Table 3 Comparison of flotation test results of ball mill and moxa mill products

产品	球磨			艾砂磨		
	产率 / %	Li_2O 品位/ %	Li_2O 回收率/ %	产率 / %	Li_2O 品位/ %	Li_2O 回收率/ %
精矿	6.73	3.06	40.65	7.06	3.250	44.74
中矿	12.06	1.04	24.75	15.20	0.940	27.86
尾矿	56.65	0.11	12.30	58.09	0.093	10.54
泥	24.57	0.46	22.30	19.65	0.440	16.86
原矿	100.00	0.51	100.00	100.00	0.510	100.00

从表 3 可以看出,经艾砂磨磨矿后浮选精矿含 Li_2O 品位为 3.25%,回收率为 44.74%。而球磨机磨矿后浮选精矿含 Li_2O 品位为 3.06%,回收率为 40.65%。球磨磨矿后脱泥产品中金属损失率为 24.57%,尾矿中金属量损失为 12.30%。艾砂磨磨矿后脱泥产品中金属损失率减少至 16.86%,尾矿中金属量损失减少至 10.54%。非常明显,艾砂磨磨矿产品浮选后的精矿各指标均优于球磨磨矿产品。艾砂磨磨矿产品中新生成的细泥量少,捕收剂可以更好的在云母表面作用吸附,精矿品位大幅度提升,浮选现象更为直观,这是由于艾砂磨磨矿产品粒度分布窄,有效地避免过磨和欠磨从而提高有价金属回收效果。图 4 为球磨和艾砂磨后浮选精矿产品的扫描电镜图。



(a) 球磨



(b) 艾砂磨

图 4 球磨机和艾砂磨磨矿后的的浮选精矿表面形貌

Fig. 4 Surface morphology of flotation concentrate after grinding by ball mill and Aisha mill

从图 4 中可以明显看出,使用艾砂磨的锂云母精矿表面较为平整光滑;而使用球磨的锂云母精矿表面产生很多裂纹及细小颗粒。从磨机工作原理来看,使用艾砂磨机时,矿浆通过筛网除去杂质后再通过变频泵稳定给入磨机,艾砂磨筒体内的搅拌盘在主轴的带动下实现高速旋转,使磨矿介质做绕轴向运动和自转运动,矿物颗粒在高速运动的磨矿介质擦洗力及研磨力作用下实现细磨。球磨机内钢球作抛落运动状态时,在钢球上升过程中存在着钢球与衬板及钢球与钢球之间的研磨作用,并对矿石进行研磨。当钢球上升到上方时向下作抛落运动,在抛落过程中,球与球之间及与矿粒之间下落速度均相同,不存在相对运动,也就不产生磨矿作用。但当钢球落到球荷底脚时,钢球会对下面的衬板及球荷形成强烈的冲击,并对矿粒产生强烈的冲击破碎作用。底脚区的钢球运动很活跃,磨矿作用很强。钢球作抛落运动时磨矿作用以冲击为主,研磨为辅,故对矿物表面产生的破坏力更大。

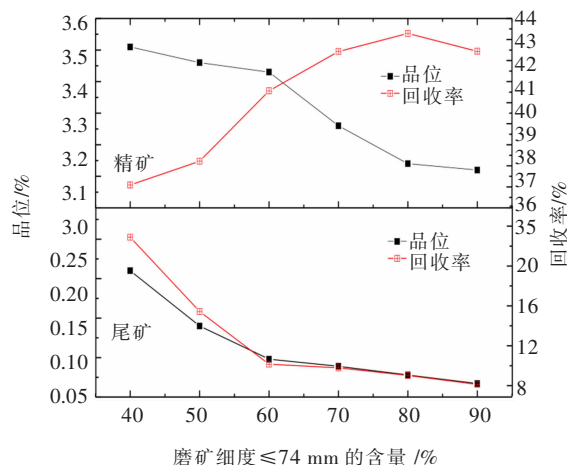
2.2 磨矿细度试验

以 ALC-1.5L 艾砂磨为磨矿设备进行了磨矿细度 $\leq 74\mu\text{m}$ 占 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% 的磨矿细度试验,其试验结果如图 5 所示。

随着研磨产品粒度越来越小,精矿品位越低,而回收率则呈升高趋势。当矿物粒度较大时,由于云母呈薄片状,石英和长石均为颗粒状,因此云母与石英和长石的可浮性差异大,精矿品位较高而回收率低;当粒度较小时云母与石英和长石的可浮性差异小,故粒度越小,精矿 Li_2O 品位越低而回收率越高。从而随着磨矿细度越来越细尾矿品位和回收率越来越低。这主要是由于粒度较大时在粗选时已将大部分易浮矿浮选出,粗选尾矿粒度较大难以在扫选时回收,导致粒度越大尾矿回收率也越来越高。

综上考虑,当粒度 $\leq 0.074\text{ mm}$ 占 60% 时综合指标最好,精矿指标达到要求且尾矿损失也较低,此时

精矿含 Li_2O 品位为 3.43%、回收率为 40.56%,尾矿含 Li_2O 品位为 0.098%、回收率为 10.15%。

图 5 尾矿和精矿的 Li_2O 品位及回收率

磨矿细度关系曲线

Fig. 5 Relationship between grade and recovery of tailings and concentrate and grinding fineness

2.3 捕收剂试验

在不同的磨矿细度下,矿物有着不同的比表面积,通常情况下磨矿细度越细,矿物单体解离度越充分,矿物在浮选时对药剂吸量也越大,所以我们对捕收剂用量进行探索试验。固定磨矿细度 $\leq 0.074\text{ mm}$ 占 60%,硅酸钠用量为 200 g/t,考察捕收剂 CY205 在粗选时较优药剂用量。实验中发现 CY205 由于含有大量的胺类药剂,起泡性能良好,故取消使用起泡剂松醇油。实验中粗选 CY205 药剂用量分别为: 400, 600, 800, 1 000 g/t 和 1 200 g/t。实验结果如图 6 所示。

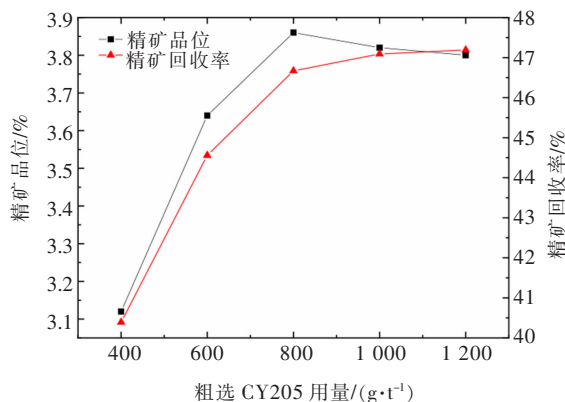


图 6 粗选捕收剂用量条件实验工艺指标对比

Fig. 6 Comparison diagram of experimental process indexes of collector dosage condition in roughing

随着捕收剂用量的增加,锂云母精矿的品位呈先增大后减小的趋势。当 CY205 用量为 800 g/t 时精矿品位最高达 3.86%。精矿回收率随着捕收剂用量的增加而增大。当用量超过 800 g/t 时,精矿回收率增加趋势更加缓慢。综合精矿品位、回收率及经济成本,以 CY205 用量 800 g/t 作为较优用量。

2.4 抑制剂对比试验

每种抑制剂均按照硅酸盐类矿物相适宜用量添加,碳酸钠、六偏磷酸钠、水玻璃均为 200 g/t,CMC 和淀粉为 50 g/t。实验结果如图 7 所示。

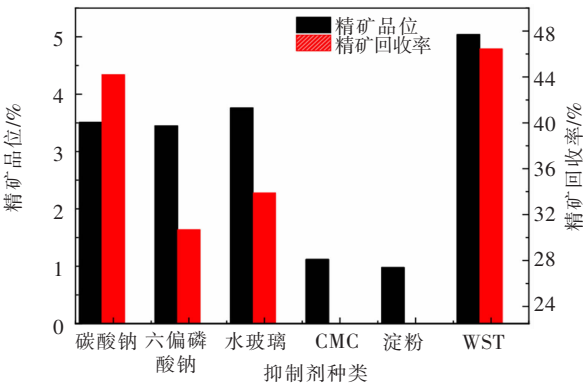


图 7 抑制剂种类实验结果

Fig. 7 Experimental results of inhibitor types

从图 7 可以看出,水玻璃起抑制效果的同时对矿浆有分散作用,CMC 和淀粉属于大分子会产生絮凝现象,(CMC 和淀粉的回收率过低无法在柱状图中表示)锂云母精矿无法富集,当用 CMC、淀粉做抑制剂时精矿 Li_2O 品位在 1% 左右,使用碳酸钠时泡沫较为黏稠,夹带现象严重,六偏磷酸钠的抑制效果优于碳

酸钠;水玻璃的效果也优于六偏磷酸钠,但精矿 Li_2O 品位较低,同样达不到富集的目的;WST 抑制效果最为出色,精矿 Li_2O 品位最高达 5.04%, Li_2O 回收率为 46.45%。WST 用量试验如图 8 所示。

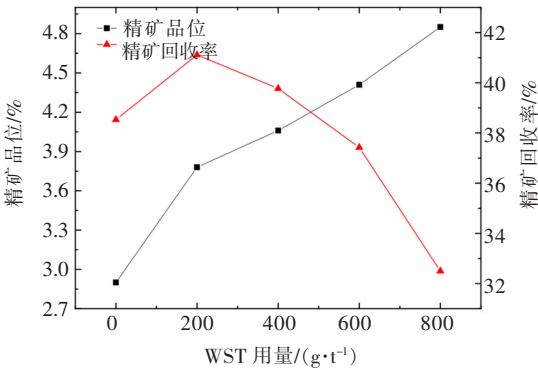


图 8 WST 用量条件实验精矿指标

Fig. 8 Concentrate index diagram of WST consumption condition experiment

从图 8 可以看出,WST 作用效果显著。当不加 WST 时,精矿含 Li_2O 品位 2.9%,从实验室作业观察得泡沫较黏稠,精选作业较难操作;随着 WST 的用量增大,矿化泡沫层逐渐变薄,精矿品位先上升后下降,回收率一直呈上升趋势,但过多的 WST 对云母也会有抑制作用。综合精矿 Li_2O 品位、回收率变化趋势及药剂成本考虑,确定粗选 WST 用量为 700 g/t 为较优用量。

2.5 闭路试验

根据条件试验确定的磨矿细度、药剂用量,进行全流程闭路试验。实验流程如图 9 所示,闭路实验结果如表 4 所列。

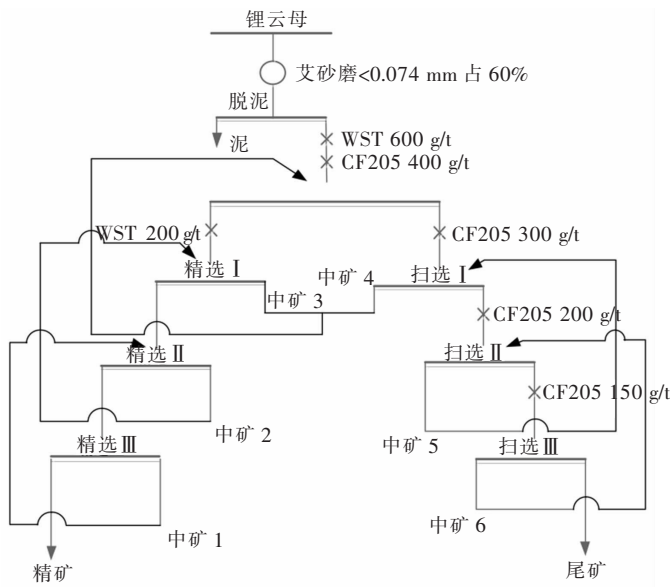


图 9 锂云母闭路浮选工艺流程

Fig. 9 Closed circuit flotation process flow chart of lepidolite

表 4 锂云母闭路试验结果

Table 4 Closed circuit test results of lepidolite

闭路产品	产率/%	Li ₂ O 品位/%	Li ₂ O 回收率/%
精矿	7.86	5.15	77.80
尾矿	80.67	0.08	12.41
泥	11.48	0.44	9.78
原矿	100.00	0.52	100.00

从表 4 可以看出,闭路试验可以获得产率为 7.86%、含 Li₂O 品位为 5.15%、回收率为 77.80%的锂云母精矿产品,实现了精矿 Li₂O 品位和回收率的大幅提升。

3 结 论

1)对于细粒级矿物磨矿,其中艾砂磨比球磨磨矿产品粒度更加均匀,过磨量少,矿物表面更加平整光滑,且在相同工艺流程和浮选药剂条件下,艾砂磨磨矿产品的试验中精矿品位及回收率明显优于球磨磨矿产品,泥含量及尾矿损失率均低于球磨磨矿产品。艾砂磨作为一种新型再磨设备,可实现开路磨矿,在减少次生细泥产生的同时可以更加简单高效的达到锂云母浮选矿物颗粒解离度要求。

2)以某钽铌矿尾渣为锂云母矿原料,该锂云母矿原料经过一次磨矿分离作业且经检测出含有大量的钾钠长石,故易在磨矿中产生大量细泥。通过采用艾砂磨实现高效单体解离锂云母矿在磨矿细度≤0.074 mm 占 60%,抑制剂 WST 700g/t,捕收剂 CY205 800 g/t,通过 1 次粗选三次精选三次扫选闭路浮选工艺流程,最终可以获得 Li₂O 品位 5.15%、回收率 77.80%的锂云母精矿产品。

参考文献:

[1] 丰丽琴,王云帆,覃文庆,等. 江西某低品位锂云母矿浮选试验研

究[J]. 非金属矿,2019,42(1):60–62.

[2] LEE K H , BAEK S H , CHOI H K , et al. Development of separation process for utilization of low grade ilmenite ore [J]. Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 2014, 51(4):503–512.

[3] CHOI J , KIM W , CHAE W , et al. Electrostatically controlled enrichment of lepidolite via flotation[J]. Materials Transactions, 2012, 53(12):2191–2194.

[4] 吴西顺,王登红,黄文斌,等. 全球锂矿及伴生铍铌钽的采选冶技术发展趋势[J]. 矿产综合利用,2020(1):1–9.

[5] 王登红,吴西顺. 21 世纪的能源金属——锂的奥秘[J].国土资源科普与文化,2017(4):22–27.

[6] 吴西顺,孙艳,王登红,等.国际锂矿开发的技术现状、革新及展望[J]. 矿产综合利用,2020(6):110–120.

[7] 王林林,朱灵燕,刘跃龙,等.阴阳离子混合捕收剂用于中低品位锂云母的浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2019(3):86–92.

[8] LIU Y L , LIU J. The Flotation process of lepidolite in Jiangxi province in China[J]. Advanced Materials Research, 2014: 1033–1034.

[9] 李利娟,张凡.某钽铌重选尾矿中的锂云母浮选试验研究[J].矿业研究与开发,2013,33(2):57–59.

[10] 艾光华,严华山,吴艺鹏,等. 综合回收某含钽铌锂云母矿的选矿试验研究[J].非金属矿,2014,37(4):4–6.

[11] 周贺鹏,张永兵,雷梅芬,等.江西宜春高铁锂云母矿浮选分离试验研究[J].非金属矿,2019,42(4):64–67.

[12] 秦伍,李同其,王念峰,等. 提高锂云母精矿品位及回收率的浮选工艺研究[J].佛山陶瓷,2018,28(8):27–31.

[13] 叶景胜,廖宁宁,吴志强,等. 钢锻作细磨介质下的磨矿能耗与粒度分布特征[J].有色金属科学与工程,2018,9(6):65–71.

[14] 吴志强,方鑫,童佳琪,等. 纳米陶瓷球作细磨介质下的磨矿能耗与粒度分布特征[J].有色金属科学与工程,2019,10(5):91–96.

[15] 章恒兴,邱廷省,江领培,等. 艾砂磨在某铜矿选厂再磨中的应用[J]. 金属矿山,2020(3):90–94.

[16] 吴双桥.艾砂磨机在黑龙江某铜矿选厂的应用试验[J].金属矿山, 2019(8):78–82.

[17] 高明炜,童伟,叶跃威,等. 艾砂磨机在遂昌金矿的试验应用[J].黄金, 2017,38(3):63–67.

[18] 范富荣,赖桂华.艾砂磨机在多宝山铜矿选矿厂的应用[J].黄金, 2019,40(10):52–56.

[19] 许新跃,童伟,黄东福,等. 艾砂磨机在细磨中的优势及其在有色金属选矿厂的应用[J].有色金属(选矿部分),2020(5):86–90.

[20] 杨旭升,林明国,章恒兴,等. 艾砂磨机在某冶炼厂的试验应用[J].黄金,2018,39(4):44–47.