

从某钨重选尾矿中浮选分离石英和长石的试验研究

孙宁^{1,3}, 李爱民², 孙伟^{1,3}, 王丽^{1,3}

1. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083;
2. 宁化行洛坑钨矿有限公司, 福建 三明 353000;
3. 中南大学 战略含钙矿物资源清洁高效利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410083

中图分类号: TD973^{+.3}; TD973^{+.5} 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)02-0112-05
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.02.017

摘要 某钨重选尾矿中含有丰富的石英(含量 52.69%)、长石(含量 31.84%)和云母(含量 10.00%)等非金属矿产资源, 其中 K_2O 、 Na_2O 和 SiO_2 含量分别为 5.22%、1.45% 和 75.41%。为充分、高效回收利用该尾矿中的长石和石英资源, 进行了矿物浮选分离的试验研究。采用无氟无酸法浮选分离钨重选尾矿中的云母、长石和石英。结果表明, 采用阴阳离子组合捕收剂 TB-1 和 TB-2, 预先浮选脱除云母; 再以 TY-1 为抑制剂、TH-1 为活化剂、TB-1 为捕收剂进行石英和长石的浮选分离, 获得了产率为 25.43%、 K_2O 品位 10.51%、 Na_2O 品位 3.11%、 Al_2O_3 品位 17.02%、 Fe_2O_3 品位 0.14% 的长石产品以及产率为 27.74%、 SiO_2 品位 98.51%、 Fe_2O_3 品位 0.09% 的石英产品。

关键词 钨重选尾矿; 长石; 石英; 浮选

引言

钨具有高硬度、高熔点、化学性质稳定等特性, 广泛应用于电子器件、军工穿甲弹和钻头等领域, 常被称为“工业食盐”^[1-2]。随着钨矿的持续开发利用, 其尾矿堆积量逐年增多。然而钨尾矿中含有大量的非金属矿产资源, 若对尾矿进行综合利用, 不仅可以“变废为宝”, 提高资源的综合利用效率, 减少尾矿排放, 还可以将因尾矿堆积带来的生产压力转化为企业的新经济效益增长点^[3]。

某钨矿的选钨工艺以重选为主, 其中钨重选尾矿中含较多的长石、石英等非金属矿产资源, 长石和石英同属架状硅酸盐矿物, 其物化性质相似^[4]。石英和长石浮选分离的传统方式是有氟有酸法和无氟有酸法, 但它们对环境与人体危害极大, 无氟无酸法一般是在中性条件下加入阴阳离子混合捕收剂分选石英和长石^[4-5]。本研究采用绿色高效的无氟无酸法工艺流程来浮选分离钨重选尾矿中的云母、石英和长石, 实现了钨重选尾矿的综合利用。

1 矿石性质

钨重选尾矿 XRD 分析结果见图 1, 由图可知该尾

矿主要由石英、长石和云母三种非金属矿物组成。

钨重选尾矿多元素分析结果见表 1。由表 1 可知: 矿样中钾、钠元素含量较高, 该钨重选尾矿中非金属矿物具有较高的回收利用价值, 但 W、Pb 等有色金属元素含量低, 无回收价值。

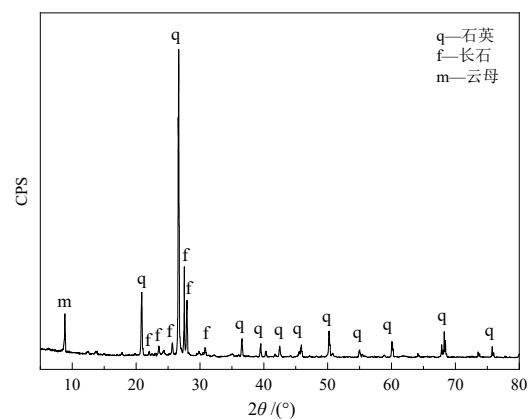


图 1 钨重选尾矿 XRD 分析图谱

Fig. 1 XRD pattern of tungsten gravity tailings

钨重选尾矿的矿物组成分析结果见表 2。由表 2 可知: 尾矿中石英含量 52.69%, 长石含量 31.84%, 云母含量 10.00%, 合计含量为 94.53%。

收稿日期: 2022-10-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC1908802, 2020YFC1908804)

作者简介: 孙宁(1995—), 男, 河南商丘人, 博士研究生, 主要从事非金属选矿、有色金属矿山尾矿的综合处理, Email: sun_ning1995@163.com。

通信作者: 李爱民(1965—), 男, 湖南岳阳人, 本科, 高级工程师, 主要从事有色金属选矿、矿山尾矿的综合处理、矿山生产技术管理与研究,

Email: lam6508@163.com。

表 1 钨重选尾矿多元素分析结果 /%

Table 1 The multielement analysis of tungsten gravity tailings

元素	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
含量	5.22	1.45	11.24	75.41	1.54	1.73	0.54
元素	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	TiO ₂	Rb ₂ O	WO ₃	PbO
含量	0.06	0.02	0.12	0.25	0.03	0.03	0.01

表 2 钨重选尾矿矿物组成分析结果 /%

Table 2 Mineral composition analysis of tungsten gravity tailings

矿物	含量	矿物	含量	矿物	含量
石英	52.69	白云石	1.15	独居石	0.10
钠长石	7.16	高岭石	0.58	磷灰石	0.09
钾长石	21.14	绿泥石	0.59	铁白云石	0.06
斜长石	3.54	萤石	0.28	赤褐铁矿	0.04
白云母	8.19	方解石	0.26	电气石	0.04
黑云母	1.81	菱铁矿	0.19	硅灰石	0.03
蒙脱石	1.78	金红石	0.12	其他	0.16
合计			100.00		

钨重选尾矿在磨矿细度为-0.074 mm 约占 70% 的情况下,对矿样中长石和石英进行单体解离度测定,结果如表 3 所示。

表 3 矿样中石英和长石的解离度分析结果 /%

Table 3 Results of dissociation analysis of quartz and feldspar in the ore samples

矿物	单体	连生体				单体+富连生体 (>3/4)
		>3/4	3/4~1/2	1/2~1/4	<1/4	
石英	81.18	16.36	1.36	0.73	0.37	97.54
长石	75.52	20.58	1.82	0.97	1.11	96.10

由表 3 可知:该细度下矿样中石英和长石的单体解离度分别为 81.18% 和 75.52%,两者均实现了较为充分的解离,由此确定本研究中浮选试验的磨矿细度为-0.074 mm 占约 70%。

2 试验流程

准备 1 kg 磨矿细度为-0.074 mm 约占 70% 的矿样,使用磁场磁感应强度约 0.5 T 的磁选机进行除铁;在 XFD 型-3.0L 单槽浮选机充分搅拌,然后静置、虹吸脱泥,脱泥后的产品在 XFD 型-1.5L 单槽浮选机中预先浮选脱除云母,再进行石英和长石的浮选分离。

2.1 云母浮选

若云母脱除得不彻底,矿浆中残余的云母会对长石和石英的品质造成较大的影响。研究表明:阴阳离子组合捕收剂能够较好地浮选分离云母^[6-8]。矿样经磁选、脱泥处理后,搅拌调浆进入云母浮选作业,以碳酸钠为矿浆 pH 值调整剂,捕收剂为阴阳离子组合捕收剂 TB-1 和 TB-2,其中 TB-1 由两种脂肪酸类阴离

子捕收剂复配制得,其主要成分为油酸钠;TB-2 为两种胺类阳离子捕收剂复配制得,主要成分为十二胺醋酸盐。本次云母浮选矿浆浓度约 36%,浮选流程、浮选产品多元素分析及产品 XRD 分析图谱分别见图 2、表 4 和图 3。

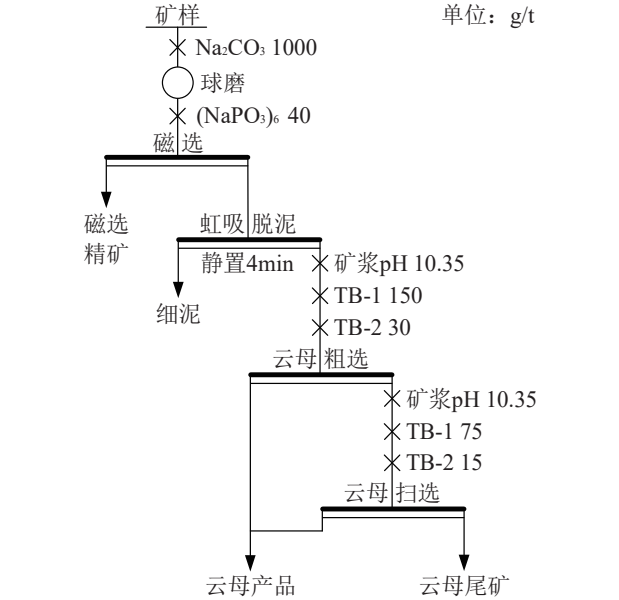


图 2 云母浮选试验流程
Fig. 2 Flotation flowchart of mica

表 4 云母浮选试验各产品分析结果 /%

Table 4 Analysis results of each product in mica flotation tests

产品	产率	K ₂ O		Na ₂ O	
		品位	回收率	品位	回收率
磁选精矿	9.83	4.36	8.08	1.16	7.64
细泥	19.87	5.11	19.14	1.46	19.44
云母产品	10.62	7.31	14.63	2.04	14.52
云母尾矿	59.68	5.17	58.15	1.46	58.40
给矿	100.00	5.31	100.00	1.49	100.00

由表 4 及图 3 可知,云母产品中云母含量约 80%;云母尾矿主要由长石和石英组成,其产率为 59.68%、K₂O 和 Na₂O 含量分别为 5.17% 和 1.46%。

2.2 长石和石英浮选分离

长石和石英碱性浮选分离以氢氧化钠为矿浆 pH 值调整剂, TY-1(长链有机捕收剂, 淀粉)为抑制剂, TH-1(金属离子)为活化剂, TB-1 为捕收剂。试验以云母浮选尾矿为给矿,分别考察了长石和石英浮选分离的 pH 值、抑制剂用量、活化剂用量、捕收剂用量的影响因素,石英浮选流程见图 4。云母浮选尾矿中长石有其特有的 K、Na 元素,因此,本小节使用 K₂O+Na₂O 的品位和作业回收率来表征长石和石英浮选分离的效果。

2.2.1 pH 值条件试验

固定 TY-1 用量为 150 g/t、活化剂 TH-1 用量为

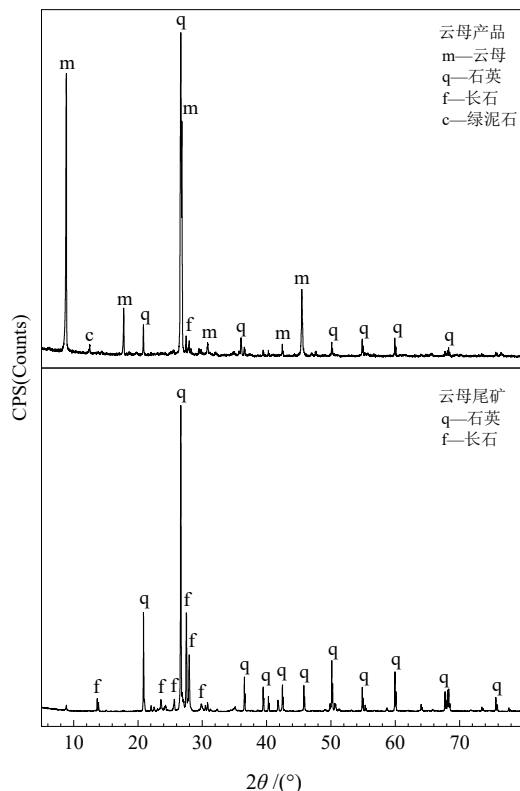


图3 云母产品和云母尾矿的XRD图谱

Fig. 3 XRD patterns of mica products and mica tailings

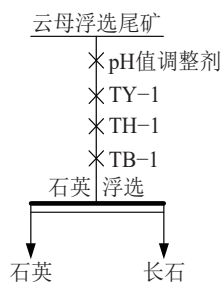


图4 石英浮选条件试验流程

Fig. 4 Flowchart of quartz flotation condition experiments

100 g/t、捕收剂 TB-1 用量为 250 g/t, 石英和长石浮选分离的 pH 值条件试验流程如图 4 所示, 石英产品分析见图 5。

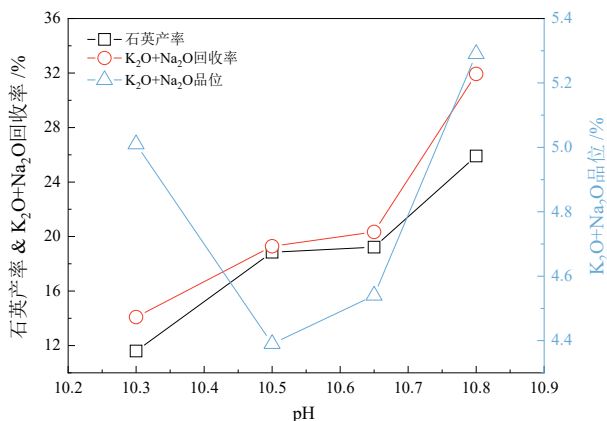


图5 pH值对石英和长石浮选分离的影响

Fig. 5 Effect of pH on the flotation separation of quartz and feldspar

由图 5 可知, 当 pH 值低于 10.50 时, 石英产品产率较低; 当 pH 值高于 10.65 时, 石英产品中 K_2O 、 Na_2O 含量较高, 药剂选择性较差。因此长石和石英浮选分离的最佳 pH 值为 10.50 左右, 后续试验固定浮选 pH 值为 10.5。

2.2.2 抑制剂条件试验

固定 pH 值为 10.5、活化剂 TH-1 用量为 100 g/t、捕收剂 TB-1 用量为 250 g/t, 石英和长石浮选分离的抑制剂用量条件试验流程如图 4 所示, 石英产品分析见图 6。

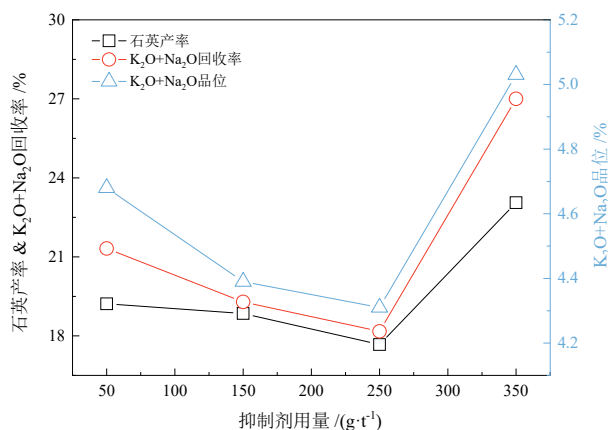


图6 抑制剂用量对石英和长石浮选分离的影响

Fig. 6 Effect of depressant dosage on the flotation separation of quartz and feldspar

由图 6 可知, 随着抑制剂用量的增加, 石英产品产率及 K_2O+Na_2O 的品位和回收率均呈先降低后升高的趋势。抑制剂 TY-1 具有较强的碱性, 过量使用会明显增大矿浆 pH 值。因此, 当抑制剂 TY-1 用量 250 g/t 时, 对长石的抑制效果最好, 石英和长石浮选分离选择性较好。

2.2.3 活化剂条件试验

固定 pH 值为 10.5、抑制剂 TY-1 用量为 250 g/t、捕收剂 TB-1 用量为 250 g/t, 石英和长石浮选分离的活化剂用量条件试验流程如图 4 所示, 石英产品分析见图 7。

由图 7 可知, 随着活化剂 TH-1 用量的增大, 石英产品产率及 K_2O+Na_2O 回收率均呈上升的趋势, 而 K_2O+Na_2O 品位先升高继而稳定后再继续升高, 所以当活化剂 TH-1 用量为 150 g/t 时, 石英和长石浮选分离的效果最好。

2.2.4 捕收剂条件试验

固定 pH 值为 10.5, 抑制剂 TY-1 用量为 250 g/t, 活化剂 TH-1 用量为 150 g/t, 石英和长石浮选分离的捕收剂用量条件试验流程如图 4 所示, 石英产品分析见图 8。

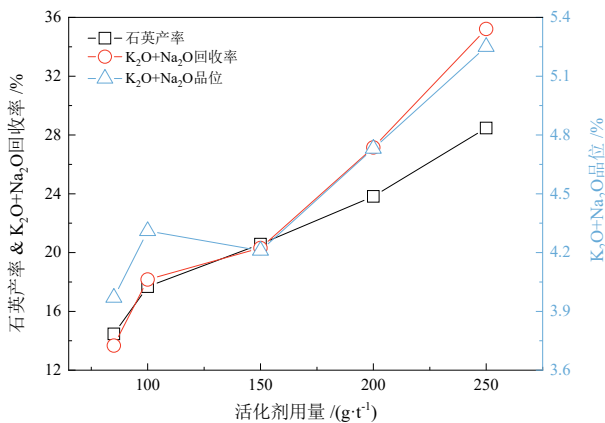


图 7 活化剂用量对石英和长石浮选分离的影响
Fig. 7 Effect of activator dosage on the flotation separation of quartz and feldspar

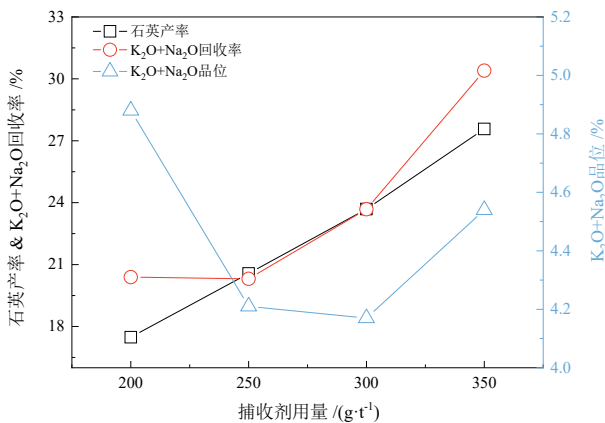


图 8 捕收剂用量对石英和长石浮选分离的影响
Fig. 8 Effect of collector dosage on the flotation separation of quartz and feldspar

由图 8 可知,捕收剂 TB-1 用量过高,石英产品中 K_2O+Na_2O 品位偏高;用量过低,石英产品产率较低。综合石英产率和 K_2O+Na_2O 品位分析,当捕收剂 TB-1 用量为 300 g/t 时,石英和长石浮选分离的效果最好。

表 5 钨重选尾矿闭路试验各产品指标

Table 5 Indexes of each product in closed circuit test of tungsten gravity tailings

产品	产率	品位					回收率				
		K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
磁性矿物	8.97	4.27	1.15	9.13	14.23	62.67	6.95	6.32	7.60	54.76	7.32
细泥	19.38	5.32	1.46	14.68	2.35	72.45	18.70	17.34	26.39	19.54	18.27
云母产品	10.19	7.29	2.23	16.40	4.93	59.62	13.47	13.93	15.50	21.55	7.91
长石产品 I	18.58	10.57	3.12	17.03	0.15	68.09	35.61	35.53	29.35	1.20	16.47
长石产品 II	6.85	10.35	3.09	16.99	0.12	67.93	12.86	12.97	10.80	0.35	6.06
长石副产品	8.29	7.02	2.17	11.42	0.43	77.96	10.55	11.02	8.78	1.53	8.41
石英产品	27.74	0.37	0.17	0.61	0.09	98.51	1.86	2.89	1.57	1.07	35.57
原矿	100.00	5.51	1.63	10.78	2.33	76.83	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

闭路试验可获得:长石产品的产率为 25.43%,其中 K_2O 和 Na_2O 含量分别为 10.51%、3.11%、 Al_2O_3 含量 17.02%、 Fe_2O_3 含量 0.14%;石英产品的产率为 27.74%,其中 SiO_2 含量 98.51%、 Fe_2O_3 含量 0.09%。

2.3 全流程闭路试验

浮选闭路试验流程如图 9 所示,各浮选产品指标见表 5。

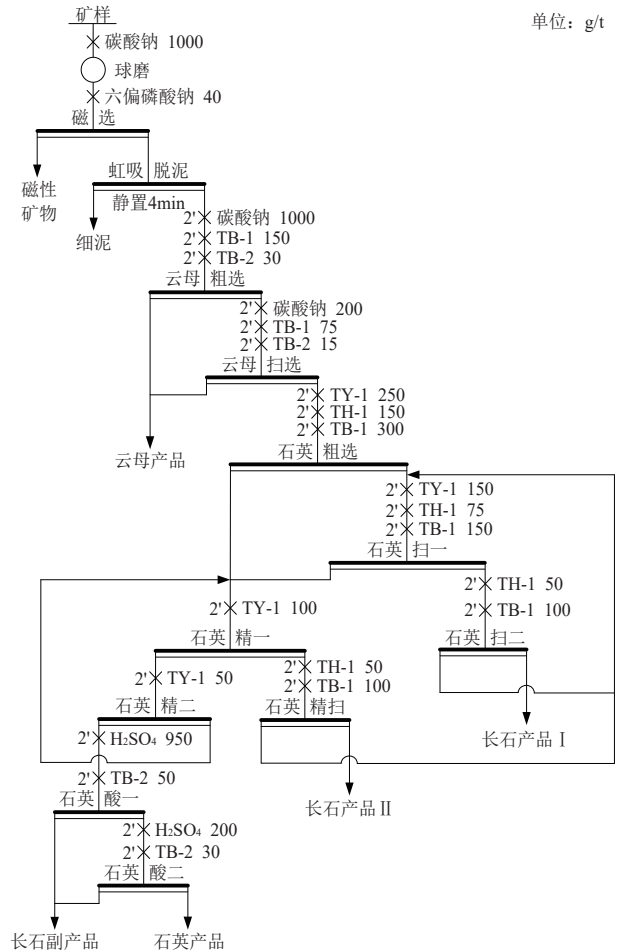


图 9 钨重选尾矿闭路试验流程
Fig. 9 Closed circuit test flowchart of tungsten gravity tailings

3 结论

该钨重选尾矿中含有丰富的非金属矿产资源,其中石英和长石含量分别为 52.69% 和 31.84%,具有较

大的回收价值。本研究对钨重选尾矿进行了浮选试验研究,结果表明:通过浮选可从钨重选尾矿中获得产率为 25.43%, K_2O 和 Na_2O 含量分别为 10.51% 和 3.11%, Al_2O_3 含量 17.02%, Fe_2O_3 含量 0.14% 的长石产品;产率为 27.74%, SiO_2 含量 98.51%, Fe_2O_3 含量 0.09% 的石英产品。该工艺实现了钨重选尾矿的综合利用,减轻了矿山生产压力,为矿山企业尾矿综合处理提供了新方案,有望在未来为矿山企业进一步提高企业效益。

参考文献:

- [1] 曾加成. 从钨重选尾矿中回收有价金属的选矿实践[J]. 福建冶金, 2011, 40(2): 1-3.
ZENG J C. Concentrating practice of reclaiming valuable metal from tungsten tailing[J]. Fujian Metallurgy, 2011, 40(2): 1-3.
- [2] 路永森, 李点根. 从某钨选厂尾矿中回收钨的试验研究[J]. 有色金属科学与工程, 2012, 3(6): 69-74.
LU Y S, LI D G. Experimental research on recovering tungsten from tailings of a tungsten dressing plant[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2012, 3(6): 69-74.
- [3] 兰志强, 蓝卓越, 张镜翠. 钨尾矿资源综合利用研究进展[J]. 中国钨业, 2016, 31(2): 37-42.
LAN Z Q, LAN Z Y, ZHANG J C. Research progress on the comprehensive utilization of tungsten tailings[J]. China Tungsten Industry, 2016, 31(2): 37-42.
- [4] 李爱民. 我国石英与长石浮选分离的研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(6): 27-34.
LI A M. Research progress in flotation separation of quartz and feldspar in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(6): 27-34.
- [5] 段树桐, 周新军, 李佩悦, 等. 辽宁某地金矿尾矿长石石英浮选分离的试验研究[J]. 建材世界, 2021, 41(6): 27-34.
DUAN S T, ZHOU X J, LI P Y, et al. Experimental study on floatation separation of feldspar-quartz of gold ore tailings in a place in Liaoning[J]. The World of Building Materials, 2021, 41(6): 27-34.
- [6] 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.
WANG L L, ZHU L Y, LIU Y L, et al. Flotation of low grade lepidolite using mixed cationic/anionic collectors[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2019(3): 86-92.
- [7] 吕子虎, 赵登魁, 沙惠雨, 等. 阴阳离子组合捕收剂浮选锂云母的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2017, 37(2): 81-84.
LV Z H, ZHAO D K, SHA H Y, et al. Experimental study on lepidolite flotation with anion-cation combined collectors[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017, 37(2): 81-84.
- [8] WANG L, SUN W, HU Y H, et al. Adsorption mechanism of mixed anionic/cationic collectors in muscovite - quartz flotation system[J]. Minerals Engineering, 2014, 64: 44-50.

Flotation Separation of Quartz and Feldspar from a Tungsten Gravity Tailings

SUN Ning^{1,3}, LI Aimin², SUN Wei^{1,3}, WANG Li^{1,3}

1. School of Mineral Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2. NinghuaXingluokeng Tungsten Mine Co. Ltd, Sanming 353000, Fujian, China;

3. Hunan Provincial Key Laboratory of Clean and Efficient Utilization of Strategic Calcium-bearing Mineral Resources, Changsha 410083, Hunan, China

Abstract: The tungsten gravity tailings are rich in non-metallic mineral resources such as quartz (content: 52.69%), feldspar (content: 31.84%) and mica (content: 10.00%), with K_2O , Na_2O and SiO_2 contents of 5.22%, 1.45% and 75.41%, respectively. In order to fully and efficiently recover the feldspar and quartz resources from the tungsten gravity tailings, an experimental study of flotation separation was conducted. A fluoride-free and acid-free flotation method was used, and the mica was removed by pre-flotation with the combined anionic and cationic collectors TB-1 and TB-2, quartz and feldspar were further separated by flotation using TY-1 as depressant, TH-1 as activator and TB-1 as collector. As a result, the yield of feldspar products was 25.43%, of which the grades of K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 were 10.51%, 3.11%, 17.02%, 0.14%, respectively, and the yield of quartz products was 27.74%, of which the grade of SiO_2 , Fe_2O_3 was 98.51% and 0.09% respectively.

Keywords: tungsten gravity tailings; feldspar; quartz; flotation

引用格式: 孙宁, 李爱民, 孙伟, 王丽. 从某钨重选尾矿中浮选分离石英和长石的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(2): 112-116.

SUN Ning, LI Aimin, SUN Wei, WANG Li. Flotation separation of quartz and feldspar from a tungsten gravity tailings[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(2): 112-116.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn