

# 河南某花岗岩尾矿综合利用试验研究<sup>①</sup>

黄业豪<sup>1,2,3,4</sup>, 梁康宁<sup>1,2,3,4</sup>, 王晓瑜<sup>1,2,3,4</sup>, 田晓敏<sup>1,2,3,4</sup>, 赵大鹏<sup>1,2,3,4</sup>, 孙泽宇<sup>1,2,3,4</sup>

(1.河南省地质研究院,河南 郑州 450016; 2.超纯矿物新材料产业技术研究院,河南 郑州 450016; 3.河南省超纯矿物新材料中试基地,河南 三门峡 472000; 4.河南省超纯矿物新材料产业研究院有限公司,河南 三门峡 472000)

**摘要:**为实现河南某花岗岩尾矿中非金属矿物资源综合回收,并探讨其制备高纯石英的可行性,对其进行了详细试验研究。结果表明,该花岗岩尾矿主要矿物为斜长石、石英、钾长石和云母,具有综合利用潜力,采用擦洗磁选-脱泥预处理-云母长石石英依次优先浮选的工艺流程,可获得  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量分别为 33.84%、8.13%、0.32%、56.78%、0.121% 的云母精矿,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量分别为 15.89%、2.16%、10.68%、71.06%、0.124% 的长石精矿,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量分别为 1.05%、0.17%、0.56%、97.76%、0.106% 的石英精矿;石英精矿经进一步深度提纯后,可获得  $\text{SiO}_2$  含量 99.994% 的高纯石英砂。

**关键词:** 花岗岩尾矿; 云母; 长石; 石英; 综合利用; 高纯石英

中图分类号: TD985

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.03.012

文章编号: 0253-6099(2024)03-0057-05

## Comprehensive Recovery of Nonmetallic Minerals from Granite Tailings in Henan Province

HUANG Yehao<sup>1,2,3,4</sup>, LIANG Kangning<sup>1,2,3,4</sup>, WANG Xiaoyu<sup>1,2,3,4</sup>, TIAN Xiaomin<sup>1,2,3,4</sup>,  
ZHAO Dapeng<sup>1,2,3,4</sup>, SUN Zeyu<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Henan Academy of Geology, Zhengzhou 450016, Henan, China; 2. Henan Institute of Ultrapure Mineral Material, Zhengzhou 450016, Henan, China; 3. Henan Pilot Base of Ultrapure Mineral Material, Sanmenxia 472000, Henan, China; 4. Henan Ultra-pure Mineral New Material Industry Research Institute Co Ltd, Sanmenxia 472000, Henan, China)

**Abstract:** Experimental study was carried out to realize comprehensive recovery of non-metallic mineral resources from granite tailings in Henan Province, and explore the feasibility of preparing high-purity quartz. The results show that the granite tailings, mainly containing minerals of plagioclase feldspar, quartz, potassium feldspar and mica, have potential to be comprehensively utilized. With a flowsheet consisting sequentially of scrubbing-magnetic separation, pre-treatment of desliming, and mica-feldspar-quartz preferential flotation, a mica concentrate with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contents of 33.84%, 8.13%, 0.32%, 56.78% and 0.121%, a feldspar concentrate with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contents of 15.89%, 2.16%, 10.68%, 71.06% and 0.124%, and a quartz concentrate with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  contents of 1.05%, 0.17%, 0.56%, 97.76% and 0.106%, respectively, can be collected. The quartz concentrate can be further purified to obtain a high-purity quartz sand with  $\text{SiO}_2$  content of 99.994%.

**Key words:** granite tailings; mica; feldspar; quartz; comprehensive utilization; high purity quartz

花岗岩多含有稀有稀散元素,从其中回收稀有稀散元素后的尾矿中多含有长石、石英、云母等非金属矿物,这些尾矿多被泵送至尾矿库,不仅占用了尾矿库库容,而且造成了资源浪费,也给企业带来了严重经济负

担<sup>[1-3]</sup>。对花岗岩尾矿进行综合利用的方法主要包括两种:一是综合回收非金属矿物<sup>[4-8]</sup>,二是制备建筑材料<sup>[9-11]</sup>,其中对花岗岩尾矿中长石、石英、云母等非金属矿物进行综合回收是实现花岗岩尾矿高值化的有效

① 收稿日期: 2023-12-30

基金项目: 河南省地质研究院 2023 年度地质科技攻关“揭榜挂帅”项目(2023-331-XM021)

作者简介: 黄业豪(1990—),男,河南郑州人,博士研究生,工程师,主要从事矿物材料与资源综合利用方面的研究工作。E-mail: huangyehao1688@163.com

方法<sup>[12-14]</sup>。近年来,有花岗岩尤其是花岗伟晶岩可作为制备高纯石英原料的相关报道,这进一步提升了花岗岩的综合利用潜在价值<sup>[15]</sup>。河南某花岗岩尾矿主要成分为钠长石、石英、钾长石和白云母,且石英颗粒晶型较好,镜下鉴定较为纯净。为实现花岗岩尾矿中非金属矿产资源的综合回收,并探讨其制备高纯石英的潜力,本文对其进行了详细的实验室研究。

## 1 试样性质

试样取自河南某花岗岩尾矿,其化学成分分析结果见表1。试样中主要化学成分为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ ,其他化学成分含量相对较少。

表1 试样化学成分分析结果(质量分数) %

$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
2.48	5.28	13.87	76.43	0.89
$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$
0.054	0.36	0.082	0.45	0.087

镜下鉴定结果显示,试样主要组成矿物为斜长石、石英、钾长石和白云母,含量分别为45%、37%、8%和8%,还含有少量磁铁矿、绿泥石、方解石等,可进行综合回收利用的矿物主要为长石和石英,其次为云母。本文将云母、长石和石英作为综合回收的研究重点,并探讨利用此样品制备高纯石英的潜力。

对试样进行湿式筛分,筛析数据见表2。

表2 试样粒度筛析结果

粒度/mm	产率/%
+0.15	12.52
-0.15+0.074	18.14
-0.074+0.038	45.51
-0.038	23.83
合计	100.00

由表2可知,试样中-0.074 mm 粒度占69.34%,其中-0.038 mm 粒度占23.83%,需要考虑脱泥工艺。对试样进行镜下分析,发现长石、石英、云母大部分已单体解离,偶见少量连生体,无需考虑再磨工艺。

## 2 试验仪器、试剂及研究方法

### 2.1 试验仪器及试剂

试验过程所用试验仪器及试剂见表3。

### 2.2 试验方法

由于试样目的矿物单体解离较好,无需磨矿处理,

表3 试验仪器及试剂一览表

名称	型号	生产厂家
单槽浮选机	XFD-1.5/1.0/0.5	吉林探矿
高梯度磁选机	SL-100	赣州金环
擦洗机		自制
电子天平	LT3002E	常熟市天量仪器
真空过滤机	XTLZ-260	四川地矿局
三头制样机	$\Phi 120 \times 3$	武汉探矿
硫酸	分析纯	扬州市华富化工
氢氟酸	电子级	多氟多
盐酸	分析纯	扬州市华富化工
KL-3	工业纯	自主研发
十二胺	分析纯	阿拉丁

但为使洁净的矿物表面裸露,需进行擦洗处理;试样中-0.038 mm 粒度占23.83%,且含有少量绿泥石等泥质矿物,需要进一步脱泥处理;为进一步获得品质较好的长石、石英产品,需磁选除铁。具体试验方法为:准确称取试样500 g,于自制擦洗机中进行擦洗,然后用SL-100型高梯度磁选机进行磁选除铁,非磁性产品进行沉降虹吸脱泥,最后将脱泥后的产品进行云母、长石依次优先浮选(酸法),浮选尾矿即为石英产品。试验原则流程见图1。

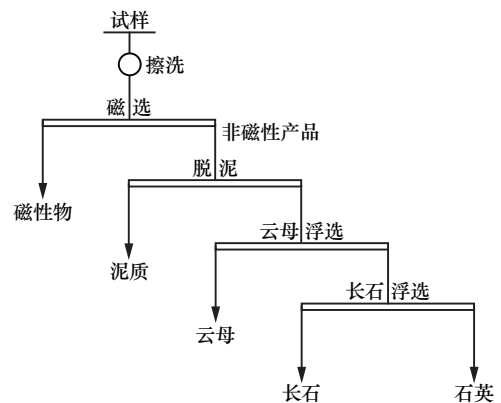


图1 试验原则流程

## 3 试验结果与分析

### 3.1 磁选试验

磁选介质为细钢网,固定转环速度300 r/min、给矿量500 g/次、磁选次数2次,进行了磁场强度条件试验,结果见图2。

由图2可知,磁场强度由0.4 T增至0.8 T时,非磁性产品中 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量降幅较大,由0.22%降至0.13%;磁场强度由0.8 T增至1.0 T时,非磁性产品中 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量降幅变缓,由0.13%降至0.12%;再增加磁场强度, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量基本不再变化,稳定在0.12%,说

明磁性物已基本去除。为有效控制产品中  $Fe_2O_3$  含量,优选磁选强度 1.0 T 进行后续试验。

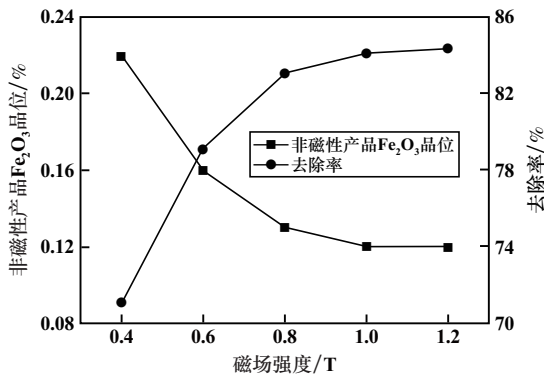


图2 磁场强度试验结果

### 3.2 脱泥试验

试样粒度较细,并含有绿泥石、次生矿泥等泥质矿物,导致浮选泡沫发黏,进而对产品指标产生不利影响,需进行脱泥试验。以高梯度磁选的非磁性产品为给矿,采用虹吸法进行脱泥试验,结果见表4。

表4 脱泥试验结果

-0.038 mm 粒级含量/%	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			$K_2O+Na_2O$	$Fe_2O_3$	$K_2O+Na_2O$	$Fe_2O_3$
18.55	泥质	5.62	7.66	0.15	5.44	7.03
	沉砂	94.38	7.94	0.12	94.56	92.98
	给矿	100.00	7.92	0.12	100.00	100.00
13.83	泥质	10.43	7.71	0.16	10.15	13.91
	沉砂	89.57	7.94	0.12	89.85	86.09
	给矿	100.00	7.92	0.12	100.00	100.00
9.67	泥质	14.81	7.81	0.16	14.60	19.75
	沉砂	85.19	7.94	0.11	85.40	80.25
	给矿	100.00	7.92	0.12	100.00	100.00

由表4可知,泥质中  $K_2O+Na_2O$  含量略低于给矿,  $Fe_2O_3$  在泥质中略有富集,随着脱泥细度降低,泥质产率增加,  $K_2O+Na_2O$  损失率也增加。从浮选试验现象判断,脱泥细度-0.038 mm 粒级占 13.83%时,浮选泡沫无发黏现象,暂定脱泥细度为-0.038 mm 粒级含量 13.83%。

### 3.3 浮选试验

#### 3.3.1 云母浮选捕收剂用量试验

为获得品质较好的长石精矿和石英精矿,需采用优先浮选法将云母浮出。云母浮选方法分为酸法和碱法两种,本文采用酸法工艺并选用常规阳离子捕收剂十二胺进行云母优先浮选。固定矿浆 pH 值为 3,浮选流程为一粗一扫,粗选捕收剂用量试验结果见表5。

由表5可知,随着十二胺用量增加,云母精矿  $Al_2O_3$  品位呈逐渐降低趋势,  $Al_2O_3$  回收率逐渐增加,

十二胺用量超过 125 g/t 后,再增加十二胺用量,回收率变化不大;  $K_2O$  和  $Na_2O$  品位和回收率均变化不大。综合考虑  $Al_2O_3$ 、 $K_2O$  和  $Na_2O$  品位和回收率,确定云母粗选十二胺用量为 125 g/t。

表5 云母粗选捕收剂用量试验结果

十二胺用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	品位/%			作业回收率/%		
			$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$	$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$
100	云母精矿	20.67	28.80	6.65	2.62	43.07	55.87	10.27
	云母尾矿	79.33	9.92	1.37	5.96	56.93	44.13	89.73
	给矿	100.00	13.82	2.46	5.27	100.00	100.00	100.00
125	云母精矿	25.81	26.50	6.28	2.42	49.32	63.32	11.99
	云母尾矿	74.19	9.48	1.27	6.18	50.68	36.68	88.01
	给矿	100.00	13.87	2.56	5.21	100.00	100.00	100.00
150	云母精矿	27.30	25.87	5.98	2.12	51.07	63.77	11.05
	云母尾矿	72.70	9.31	1.28	6.41	48.93	36.23	88.95
	给矿	100.00	13.83	2.56	5.24	100.00	100.00	100.00
175	云母精矿	28.00	25.44	5.98	2.12	51.28	64.89	11.37
	云母尾矿	72.00	9.40	1.26	6.43	48.72	35.11	88.63
	给矿	100.00	13.89	2.58	5.22	100.00	100.00	100.00

#### 3.3.2 长石浮选活化剂用量试验

虽然国内外对无氟无酸长石石英分离工艺研究较多,但该工艺工业应用相对较少。本文采用传统的有氟有酸法进行试验研究,固定矿浆 pH 值为 2,捕收剂十二胺+KL-3 用量(120+30) g/t,浮选流程为一粗一扫(扫选药剂用量减半),活化剂氟化钠用量试验结果见表6。

表6 长石粗选活化剂用量试验结果

氟化钠用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	品位/%			作业回收率/%		
			$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$	$Al_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$
500	长石精矿	46.69	13.88	1.79	9.55	68.36	65.80	72.15
	石英精矿	53.31	5.63	0.81	3.23	31.64	34.20	27.85
	给矿	100.00	9.48	1.27	6.18	100.00	100.00	100.00
1000	长石精矿	54.96	13.25	1.72	8.86	76.97	75.62	79.17
	石英精矿	45.04	4.84	0.68	2.84	23.03	24.38	20.83
	给矿	100.00	9.46	1.25	6.15	100.00	100.00	100.00
1500	长石精矿	60.49	13.11	1.69	8.72	83.56	79.86	84.93
	石英精矿	39.51	3.95	0.65	2.37	16.44	20.14	15.07
	给矿	100.00	9.49	1.28	6.21	100.00	100.00	100.00
2000	长石精矿	63.65	12.55	1.64	8.43	84.53	82.85	86.69
	石英精矿	36.35	4.02	0.59	2.27	15.47	17.15	13.31
	给矿	100.00	9.45	1.26	6.19	100.00	100.00	100.00

由表6可知,随着氟化钠用量增加,长石精矿  $Al_2O_3$ 、 $K_2O$  和  $Na_2O$  品位逐渐降低,回收率逐渐提高,氟化钠用量超过 1500 g/t 后,再增加氟化钠用量,回收率增幅较小。为获得纯度较高的石英砂产品,选择氟化钠用量 1500 g/t 为宜,此时,  $Al_2O_3$ 、 $K_2O$  和  $Na_2O$  品位分别为 13.11%、1.69% 和 8.72%,回收率分别为 83.56%、79.86% 和 84.93%。

#### 3.3.3 长石浮选捕收剂用量试验

固定长石浮选矿浆 pH 值为 2,活化剂氟化钠用量

1 500 g/t、捕收剂十二胺与 KL-3 比例为 4:1, 浮选流程为一粗一扫(扫选药剂用量减半), 长石捕收剂用量试验结果见表 7。

表 7 长石粗选捕收剂用量试验结果

十二胺+KL-3 用量/ (g·t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	品位/%			作业回收率/%		
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
80+20	长石精矿	53.79	14.25	1.82	9.46	81.02	77.69	82.73
	石英精矿	46.21	3.89	0.61	2.30	18.98	22.31	17.27
	给矿	100.00	9.46	1.26	6.15	100.00	100.00	100.00
120+30	长石精矿	60.49	13.11	1.69	8.72	83.56	79.86	84.93
	石英精矿	39.51	3.95	0.65	2.37	16.44	20.14	15.07
	给矿	100.00	9.49	1.28	6.21	100.00	100.00	100.00
160+40	长石精矿	63.67	12.92	1.65	8.52	87.06	83.38	87.64
	石英精矿	36.33	3.37	0.58	2.11	12.94	16.62	12.36
	给矿	100.00	9.45	1.26	6.19	100.00	100.00	100.00
200+50	长石精矿	64.99	12.85	1.64	8.42	88.37	84.59	88.40
	石英精矿	35.01	3.14	0.55	2.05	11.63	15.41	11.60
	给矿	100.00	9.45	1.26	6.19	100.00	100.00	100.00

由表 7 可知, 随着捕收剂用量增加, 长石精矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 品位逐渐降低, 而回收率逐渐提高, 即夹杂率逐渐提高; 捕收剂用量超过 (160+40) g/t 后, 再增加捕收剂用量, 回收率增加幅度较小。本研究期望获得纯度较高的石英砂产品, 长石浮选时需尽量提高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 回收率, 故十二胺+KL-3 用量 (160+40) g/t 为宜。为进一步提高石英砂品质, 需增加长石扫选次数。

### 3.4 闭路试验

在条件试验基础上进行了开路试验, 最终确定闭路试验流程为: 擦洗磁选-脱泥预处理-云母长石石英依次优先浮选, 云母浮选流程为一粗一扫一精, 长石浮选流程为一粗三扫二精, 闭路试验流程见图 3, 试验结果见表 8。闭路试验可获得产率 12.58%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别为 33.84%、8.13%、0.32%、56.78%、0.121% 的云母精矿; 产率 42.31%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别为 15.89%、2.16%、10.68%、71.06%、0.124% 的长石精矿; 产率 25.35%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别为 1.05%、0.17%、0.56%、97.76%、0.106% 的石英精矿。

表 8 闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
磁性物	10.44	12.97	2.52	3.59	71.67	5.560	9.76	10.61	7.10	9.79	84.13
泥质	9.32	13.61	2.55	2.19	74.66	0.160	9.15	9.58	3.87	9.10	2.16
云母精矿	12.58	33.84	8.13	0.32	56.78	0.121	30.69	41.24	0.76	9.35	2.21
长石精矿	42.31	15.89	2.16	10.68	71.06	0.124	48.47	36.85	85.58	39.34	7.60
石英精矿	25.35	1.05	0.17	0.56	97.76	0.106	1.93	1.72	2.69	32.42	3.90
给矿	100.00	13.87	2.48	5.28	76.43	0.690	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

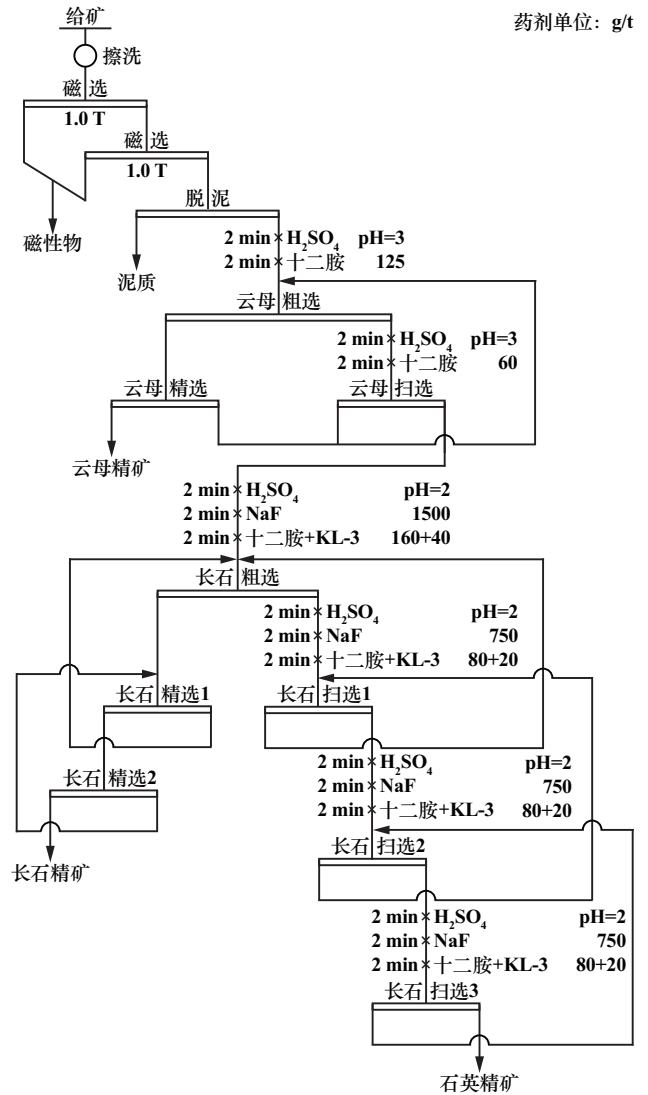


图 3 闭路试验流程

### 3.5 石英精矿深度提纯试验

浮选所得石英精矿颗粒较为纯净, 气液包裹体较少, 可尝试制备高纯石英砂。但闭路试验所获得的石英精矿依旧含有少量长石等矿物, 因此对其进行了深度选矿提纯试验, 原则流程为: 擦洗脱泥-筛分分级-强磁选除铁-石英长石浮选分离强化-煅烧水淬-酸洗溶蚀-纯水清洗, 可获得 SiO<sub>2</sub> 含量 99.994% 的高纯石英砂, 其他杂质含量分析结果详见表 9。

表9 高纯石英砂杂质含量分析结果 g/t

Al	K	Na	Ca	Cu	Fe	Li	Mg
24.72	3.75	9.54	12.54	0.33	1.54	1.32	0.86
Ni	Cr	Mn	Pb	B	Ti	P	
0.13	0.02	0.45	0.03	0.32	0.43	0.14	

## 4 结 论

1) 河南某花岗岩尾矿主要矿物为斜长石、石英、钾长石和云母,含量分别为45%、37%、8%和8%, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量分别为76.43%、13.87%、5.28%、2.48%,具有综合利用潜力。

2) 采用擦洗磁选-脱泥预处理-云母长石石英依次优先浮选工艺流程,云母浮选流程为一粗一扫一精,长石浮选流程为一粗三扫二精,可获得产率12.58%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量分别为33.84%、8.13%、0.32%、56.78%、0.121%的云母精矿;产率42.31%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量分别为15.89%、2.16%、10.68%、71.06%、0.124%的长石精矿;产率25.35%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量分别为1.05%、0.17%、0.56%、97.76%、0.106%的石英精矿。

3) 闭路试验所得石英产品经擦洗脱泥-筛分分级-强磁选除铁-石英长石浮选分离强化-煅烧水淬-溶蚀酸洗-纯水清洗深度提纯后,可获得 $\text{SiO}_2$ 含量99.994%的高纯石英砂。

4) 本研究不仅为花岗岩尾矿的综合利用提供了借鉴,而且提出了花岗岩尾矿制备高附加值高纯石英砂的技术思路。

### 参考文献:

[1] 郝胜涛,黄业豪,孙景敏,等. 内蒙古某钼铌稀有多金属矿综合利

用试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(4):29-37.

- [2] 肖志,何桂春,汪劲刚,等. 钼铌矿综合利用研究进展与展望[J]. 金属矿山, 2023(6):127-133.
- [3] 李荣改,李彦令,孙景敏,等. 河南某钼铌钽稀有多金属矿综合利用研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(3):67-72.
- [4] 张继普,王新宇,黄传计,等. 河南鲁山风化花岗岩型长石矿地质特征、矿床成因及其应用方向[J]. 化工矿物与加工, 2023,52(3):53-59.
- [5] 赵家林,王大明. 内蒙古某多金属矿尾矿综合利用选矿工艺设计研究[J]. 有色矿冶, 2022,38(4):17-20.
- [6] 李健,刘爽,黄鹏,等. 某钼铌矿尾矿中长石石英的浮选分离回收试验[J]. 现代矿业, 2022,38(6):178-180.
- [7] 王建磊,彭少伟,王前,等. 花岗岩型钼铌尾料综合利用选矿试验研究[J]. 陶瓷, 2021(11):22-27.
- [8] 刘庭忠,吴师金,卢一,等. “花岗岩型”矿全尾资源化综合利用[J]. 矿产综合利用, 2020(4):42-47.
- [9] 杨文寿. 某含铜金银多金属硫化矿尾矿资源综合利用试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):84-87.
- [10] 王鑫,孙磊,何斌全,等. 多金属尾矿宏量分质分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(6):66-69.
- [11] 徐晓衣,孟庆波,李双棵,等. 高硅型有色金属尾矿资源清洁高效综合利用研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(4):69-72.
- [12] 钟志刚,李宗蔚,罗良飞,等. 新疆白云母花岗伟晶岩矿综合回收工艺研究[J]. 非金属矿, 2023,46(3):67-69.
- [13] 李健,刘爽,黄鹏,等. 某钼铌矿尾矿中长石石英的浮选分离回收试验[J]. 现代矿业, 2022,38(6):178-180.
- [14] 王全亮,赵建湘,周虎强,等. 湖南某伟晶岩型钼铌矿资源综合利用研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022,53(4):1309-1319.
- [15] 赵金洲,张驰,张森森,等. 东秦岭花岗伟晶岩中高纯石英矿物的可利用性研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2022,41(6):1305-1308.

引用本文:黄业豪,梁康宁,王晓瑜,等. 河南某花岗岩尾矿综合利用试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(3):57-61.