

## 四川某地石英长石矿高效利用选矿试验研究

余新文<sup>1,2</sup>, 喻福涛<sup>2</sup>, 杨晓军<sup>1,2</sup>, 文伟<sup>2</sup>, 钟乐乐<sup>2</sup>

- (1. 四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心, 四川 成都 610081;
2. 稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室, 四川 成都 610081)

**摘要:** 以四川某地石英长石共伴生矿为研究对象, 采用“磨矿-擦洗-脱泥-磁选”除铁工艺可获得 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含量大于 8%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 0.14% 的石英长石混合精矿。对混合精矿采用无酸浮选工艺进行石英和长石的分离试验, 可分别获得 SiO<sub>2</sub> 含量为 98.85% 的石英精矿产品和 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 含量为 12.89% 的长石类精矿产品。采用该工艺, 不仅使石英长石得到了较大的回收, 还为同类型矿石的高效利用提供借鉴。

**关键词:** 石英; 长石; 除铁; 浮选; 分离

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.010

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 05-0077-05

非金属矿和岩石是人类利用最早的地球矿产资源, 非金属矿深加工及其非金属材料产业已被视为 21 世纪的朝阳产业之一<sup>[1]</sup>。其中, 长石和石英是两种在地壳分布最多的造岩矿物, 由于二者同属架状硅酸盐矿物, 均具有玻璃光泽、硬度较高、比重较轻、无磁性、具亲水性等极为相似的晶体结构、物理、化学及表面性质, 分离难度大, 浮选成为它们分离的主要方法<sup>[2-3]</sup>。石英的浮选有两种方法, 一是用胺类捕收剂直接浮选, 二是经多价金属离子活化后, 再用阴离子捕收剂浮选<sup>[4]</sup>。长石浮选则一般采用脂肪二胺和石油磺酸盐等作为捕收剂的浮选工艺。近年来, 随着建筑和玻璃业的快速发展, 市场对长石、石英的需求量也日益增长, 对二者精矿品质要求也越来越高, 由于高品位长石资源被优先开采造成优质长石资源的枯竭, 高品质的陶瓷石英与长石浮选分离是提高石英长石矿产资源利用率及产品质量最关键的技术之一<sup>[5]</sup>。

本课题以四川某混合难选石英长石共伴生矿

为研究对象。通过“擦洗-脱泥-磁选”工艺去除原矿中的有害杂质元素, 然后通过浮选工艺对石英和长石进行分离, 分别获得合格的石英和长石精矿产品。

### 1 试验原矿

#### 1.1 原矿多元素分析

原矿化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Multi-element analysis results of the run-of-mine ore

K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	其他
4.69	2.72	3.46	71.67	0.03	12.49	0.73	0.49	3.75

从表 1 可以看出, 原矿中主要化学成分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等, 需通过选矿回收的组分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O, 需去除的主要杂质组分为 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

#### 1.2 矿石类型及特征

试验样品矿石为强风化斑状黑云母花岗岩型长石矿, 风化作用强烈, 主要表现为碎裂及蚀变(粘

收稿日期: 2020-01-09

作者简介: 余新文 (1978-), 男, 高级工程师, 主要从事矿物加工和资源二次利用等技术研究及管理工作。

土化、水云母化等)。

矿石由斑晶及充填于斑晶间的基质组成, 具似斑状结构、花岗结构及碎裂结构, 疏松块状构造。

斑晶为钾长石粗大晶体, 一般  $11 \times 17 \text{ mm} \sim 24 \times 37 \text{ mm}$ , 少量小者约  $9 \times 15 \text{ mm}$ 。基质中主要矿物为: ①钾长石: 普遍发生不同程度的粘土化, 一般  $2 \sim 8 \text{ mm}$ , 少量小者  $1 \text{ mm}$  左右; ②斜长石: 普遍发生强的粘土化蚀变, 一般  $1.1 \times 1.8 \text{ mm} \sim 5 \times 6 \text{ mm}$ , 少量小者约  $0.5 \times 1 \text{ mm}$  左右; ③石英: 粒状, 一般  $1 \sim 4.5 \text{ mm}$ , 少量  $0.4 \sim 1 \text{ mm}$  及  $4.5 \sim 7 \text{ mm}$  者, 集合体粒度一般  $\leq 5 \text{ mm}$ ; ④黑云母: 普遍发生水黑云母化, 板状、片状者一般  $0.6 \times 1.5 \text{ mm} \sim 1.5 \times 2.8 \text{ mm}$ , 似粒状者一般  $0.5 \sim 2.3 \text{ mm}$ , 集合体粒度有所增大, 但幅度有限, 均小于  $5 \text{ mm}$ 。

### 1.3 矿物组成及含量

为了解矿石中各主要成分的含量及矿物特性, 进行了矿物组分研究, 各矿物组成及含量见表 2。

表 2 矿物组成及含量分析结果

Table 2 Analysis results of mineral composition and content

矿物名称	含量 /%	矿物名称	含量 /%
钾长石 (主要)	25 ~ 30	绿泥石	微量
粘土矿物 (次要)		褐铁矿	微量 - 少量
斜长石 (主要)	20 ~ 25	黄铁矿	微量
粘土矿物 (次要)		磁铁矿	微量
黑云母 (主要)	15 ~ 20	钛铁矿	微量
水黑云母 (次要)			
石英	30 ~ 35		
磷龙石	微量 - 少量		
白云母	微量		

原矿中主要矿物由钾长石、斜长石、黑云母、石英以及前三者的蚀变产物组成。

### 1.4 原矿粒度组成分析

为考查原矿中目的矿物在各粒级中的组成及含量分布情况, 对  $-5 \text{ mm}$  原矿进行了粒度组成分析, 结果见表 3。

表 3 原矿粒度组成分析结果

Table 3 Analysis of grain size composition of the ore

粒级 /mm	产率 /%	品位 /%				分布率 /%			
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
-5+3.2	19.92	5.47	2.99	0.93	75.41	23.20	21.69	5.49	20.97
-3.2+2.0	29.38	4.81	2.79	1.65	75.46	30.11	29.84	14.39	30.95
-2.0+1.0	20.13	4.54	2.50	3.85	72.67	19.48	18.30	22.99	20.42
+1.0 小计	69.43	4.92	2.76	2.08	74.64	72.79	69.83	42.87	72.34
-1.0+0.5	12.49	4.57	2.60	5.64	68.39	12.17	11.83	20.88	11.92
-0.5+0.25	8.26	4.49	2.82	6.30	66.88	7.90	8.48	15.43	7.71
-0.25+0.074	5.38	3.66	2.82	6.35	60.12	4.20	5.52	10.13	4.52
-0.074	4.44	3.10	2.69	8.11	56.65	2.94	4.34	10.69	3.51
-1.0 小计	30.57	4.18	2.71	6.30	64.82	27.21	30.17	57.13	27.66
原矿	100.00	4.69	2.75	3.37	71.64	100.00	100.00	100.00	100.00

从表中数据可以看出, 随着粒度的变细产率越低, 其有用矿物的含量也变低, 而有害成分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量逐渐升高, 这是因为有害元素铁的载体矿物粒度比较细, 在细粒级富集。-5+1 mm 粒级中的 K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 及 SiO<sub>2</sub> 含量均比原矿试样要高, 同时其中的有害成分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量却比原矿低, 有利于产品质量的提高。因此, 可通过控制适当的磨矿细度达到有用矿物单体解离来提高有用矿物的产率, 而后采用磁选的方式除去该矿石中的有害元素铁。

## 2 结果与讨论

### 2.1 一段磁选除铁试验

试料中的有害杂质元素主要为铁, 本试验采用弱磁选和强磁选结合工艺进行除铁试验。通过前期入选粒度、强磁选磁场强度和选别次数等一系列条件试验, 最终推荐的除铁工艺流程及参数见图 1。入选粒度  $-0.8 \text{ mm}$ , 弱磁选磁场强度  $0.3 \text{ T}$ , 强磁选磁场强度  $1.4 \text{ T}$ , 强磁选分选两次。试验结果见表 4。

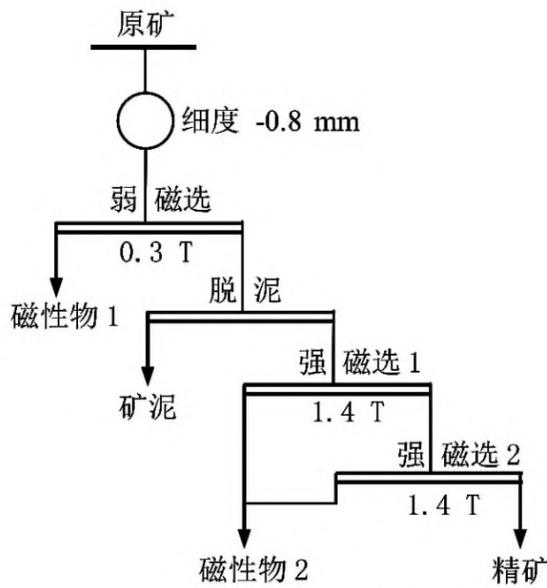


图 1 磁选除铁试验流程  
Fig. 1 Flowsheet of magnetic separation iron

表 4 磁选除铁试验结果

Table 4 Results of magnetic separation iron tests

产品名称	产率 /%	品位 /%				分布率 /%			
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
精矿	85.54	5.24	2.84	0.21	77.82	91.21	89.30	8.17	90.27
磁性物	8.16	2.85	1.25	21.22	39.12	4.74	3.75	78.66	4.33
矿泥	6.30	3.16	3.00	4.60	63.18	4.05	6.95	13.17	5.40
原矿	100.00	4.91	2.72	2.20	73.74	100.00	100.00	100.00	100.00

表 5 擦洗脱泥除铁试验结果

Table 5 Results of scrub iron removal tests

产品名称	产率 /%	品位 /%				分布率 /%			
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
精矿	95.48	5.36	2.80	0.12	78.10	97.21	94.71	54.57	96.00
矿泥	4.52	3.25	3.20	2.11	66.74	2.79	5.29	45.43	4.00
给矿	100.00	5.27	2.82	0.21	77.57	100.00	100.00	100.00	100.00

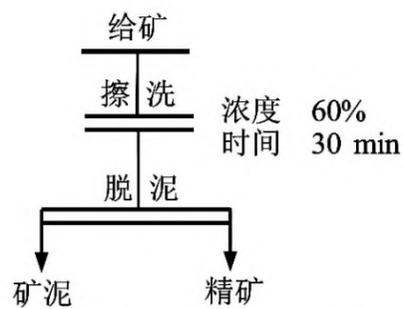


图 2 擦洗除铁试验流程  
Fig. 2 Flowsheet of Scrub iron removal

表 5 表明，磁选后的长石粗精矿经过擦洗脱泥除铁效果非常理想，经擦洗脱泥除铁后，可获

从表 4 中数据可以看出：原矿采用“磨矿 - 弱磁选 - 脱泥 - 两段强磁选”工艺，在原矿粒度以 -0.8mm 入选时，可以获得产率 85.54% 的长石石英混合精矿产品，混合精矿中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 0.21%。从试验结果可以看出，要想获得更高品质的石英长石精矿产品，还必须降低其中的有害元素铁含量。

### 2.2 二段擦洗除铁试验

研究表明，长石类及硅质类原料的含铁杂质中，有很大部分是由氢氧化铁组成的矿粒表面上的薄膜，可通过搅拌擦洗让颗粒互相摩擦，使氢氧化铁薄膜从矿粒表面被擦洗掉<sup>[6]</sup>。为进一步降低粗精矿中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量，以提高石英长石产品质量，在上述“磨矿 - 弱磁选 - 脱泥 - 两段强磁选”工艺的基础上增加“擦洗脱泥”除铁工艺。擦洗脱泥除铁试验最终推荐工艺参数为：擦洗浓度 60%，擦洗时间 30 min，擦洗转速 1300 r/min，工艺流程见图 2，试验结果见表 5。

得含 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O>8%，含 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 0.12% 的长石石英混合精矿，其中石英含量为 78.10%。

### 2.3 除铁优化试验

从磁选除铁试验和擦洗脱泥除铁试验可以看出，两种工艺均可以获得较好的除铁指标。为了使工艺更具操作性及实用性，推荐“弱磁 - 脱泥 - 搅拌擦洗 - 脱泥 - 强磁”除铁工艺进行验证试验，工艺及流程参数见图 3，试验结果见表 6。

表 6 除铁优化试验结果

Table 6 Results of iron removal tests

产品名称	产率 /%	品位 /%				分布率 /%			
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
精矿	83.67	5.47	2.94	0.14	79.64	93.03	90.78	5.30	90.35
矿泥	16.33	2.10	1.53	12.82	43.57	6.97	9.22	94.70	9.65
给矿	100.00	4.92	2.71	2.21	73.75	100.00	100.00	100.00	100.00

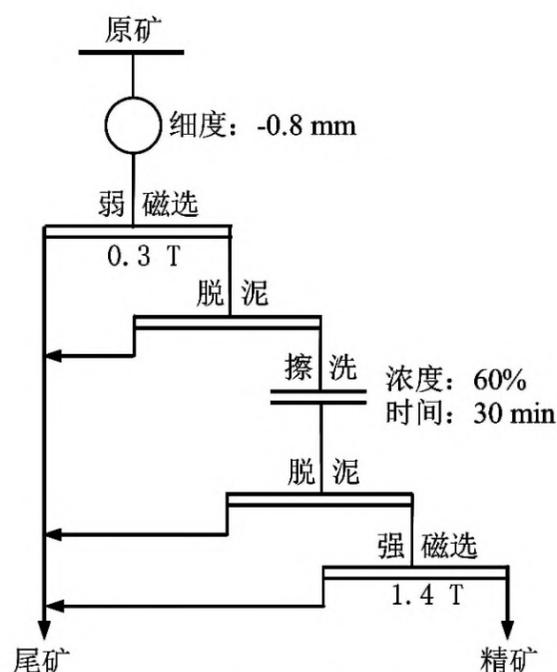


图 3 除铁试验流程

Fig. 3 Flowsheet of iron removal

试验结果表明,原矿采用“擦洗-脱泥-磁选”联合除铁工艺,同时减少一段强磁选作业,仍可以获得含  $K_2O+Na_2O>8\%$ ,  $Fe_2O_3$  含量为 0.14% 的长石石英混合精矿,石英含量为 79.64%。

### 2.4 石英长石分离试验

“擦洗-脱泥-磁选”获得的长石石英混合精矿,仅可作为陶瓷坯料,应用范围窄,产品价格低,利润小。为达到石英长石精矿高值化,需进行长石石英分离。

浮选是将长石与石英分离的最有效方法,常用的浮选分离方法主要包括有氟有酸法、无氟有酸法、无氟无酸法<sup>[7]</sup>。同时浮选过程中调整剂的添加顺序对浮选指标影响较大,研究表明六偏磷酸钠、淀粉先添加较后添加,对石英浮选抑制效果更好;对于长石,六偏磷酸钠先添加抑制效果更好,淀粉后添加比先添加抑制作用更强<sup>[8]</sup>。

本试验采用无酸浮选工艺分离石英和长石。浮选使用的药剂为氟硅酸钠、二胺、石油磺酸钠和松醇油。浮选分离试验流程及参数见图 4,试验指标见表 7。

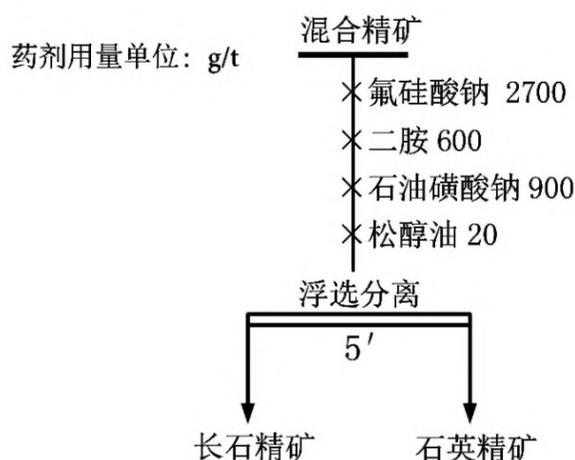


图 4 石英长石分离试验流程

Fig. 4 Flowsheet of quartz-feldspar separation

表 7 石英长石浮选分离试验结果

Table 7 Results of flotation separation tests with feldspar and quartz

产品名称	产率 /%	品位 /%					分布率 /%			
		$K_2O$	$Na_2O$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$Na_2O$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$
长石	63.11	8.38	4.51	68.47	0.19	96.89	96.86	54.23	89.53	82.02
石英	36.89	0.46	0.25	98.85	0.038	3.11	3.14	45.77	10.47	17.98
给矿	100.00	5.46	2.94	79.68	0.14	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

从表 7 可知,通过无酸浮选工艺可以分别获得优质石英和长石精矿产品,长石精矿中  $K_2O+Na_2O$  含量为 12.89%,含  $Fe_2O_3$  0.19%。石英精矿中含  $SiO_2$  为 98.85%,含  $Fe_2O_3$  0.038%。分离效果非常理想。

## 3 结论

(1) 原矿为强风化斑状黑云母花岗岩型长石矿,其中主要有用矿物为钾钠长石,  $K_2O+Na_2O$  合

量为 7.41%,有害成分为铁,可综合回收利用矿物为石英。

(2) 采用湿磨至 -0.8 mm 入选,经“弱磁选-擦洗-脱泥-湿式强磁选”工艺,可获得产率为 83.67% 的长石石英混合精矿,精矿中含  $K_2O+Na_2O$  为 8.41%,  $Fe_2O_3$  0.14%,产品满足陶瓷工业坯料要求。

(3) 混合精矿采用无酸浮选工艺可有效分离石英长石,获得  $K_2O+Na_2O>12\%$ ,  $Fe_2O_3 <0.2\%$  的长石精矿和  $SiO_2$  含量  $>98\%$ ,  $Fe_2O_3$  含量  $<0.05\%$  的

石英精矿，为同类型矿石的高值化综合利用提供了技术参考。

### 参考文献：

[1] 郑水林. 非金属矿加工与应用 [M]. 北京：化学工业出版社, 2013.

Zheng S L. Nonmetallic ore processing and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013.

[2] 张文军, 王鞍山, 马志军, 等. 氨基酯类阳离子捕收剂对钾长石石英浮选效果研究 [J]. 硅酸盐通报, 2014(1):181-185.

Zhang W J, Wang A S, Ma Z J, et al. Effect of amino ester cationic collector on flotation of potassium feldspar quartz [J]. China Silicate Bulletin, 2014(1):181-185.

[3] 张志雄. 矿石学 [M]. 北京：冶金工业出版社, 1979.

Zhang Z X. Ore science [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1979.

[4] 石云良, 邱冠周, 胡岳华, 等. 石英浮选中的表面化学反应 [J]. 矿冶工程, 2001(9):43-45, 48.

Shi Y L, Qiu G Z, Hu Y H, et al. Surface chemical reaction in quartz flotation [J]. Mining and Metallurgy

Engineering, 2001(9):43-45, 48.

[5] 董伟霞, 顾幸勇, 包启富. 长石矿物及其应用 [M]. 北京：化学工业出版社, 2010.

Dong W X, Gu X Y, Bao Q F. Feldspar minerals and their applications [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.

[6] 王勇, 夏亮, 胡劲松, 等. 某平板玻璃用石英岩矿除铁试验研究 [J]. 非金属矿, 2010(3):21-26.

Wang Y, Xia L, Hu J S, et al. Experimental study on iron removal from a quartzite mine for plate glass [J]. Nonmetallic Ore, 2010(3):21-26.

[7] 艾晶, 刘崇峻, 吴桂叶, 等. 阴阳离子捕收剂在长石浮选分离中的研究进展 [J]. 中国矿业, 2019(10):314-321.

Ai J, Liu Chongjun, Wu Guiye, et al. Research progress of Anion and anion collectors in feldspar flotation separation [J]. China Mining, 2019(10):314-321.

[8] 刘淑杰, 代淑娟. 调整剂添加顺序对石英、长石浮选的影响 [J]. 矿产保护与利用, 2019(2):44-47.

Liu S J, Dai S J, et al. Effect of addition order of adjusting agent on flotation of quartz and feldspar [J]. Mineral Protection and Utilization, 2019(2):44-47.

## Experimental Study on the Efficient Utilization of Quartz-feldspar Ore in Sichuan

Yu Xinwen<sup>1,2</sup>, Yu Futao<sup>2</sup>, Yang Xiaojun<sup>1,2</sup>, Wen Wei<sup>2</sup>, Zhong lele<sup>2</sup>

(1.Chengdu Analytical and Testing Center for Rocks and Ores of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan, China; 2.Evaluation and Utilization of Strategic Rare Metals and Rare Resource Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan, China )

**Abstract:** According to the characteristics of quartz and feldspar co-associated ore in Sichuan province, the iron removal process of " grinding-scrubbing-desliming-magnetic separation" can be used to obtain feldspar concentrate with a potassium sodium content of more than 8% and the iron content in the concentrate is only 0.14%. The separation test of quartz and feldspar by acid-free flotation technique can obtain the quartzite mineral with grade of 98.85% and the feldspar mineral with sodium potassium of 12.89% respectively. Through the study, the high quality quartz and feldspar mineral products can be obtained by using this technology, which not only improves the resource utilization rate and product value, but also provides technical support for the comprehensive utilization of the same type of ore.

**Keywords:** Quartz; Feldspar; Iron removal; Flotation; Separation