

# 广东某高岭土矿综合利用试验研究<sup>①</sup>

尚兴科<sup>1,2,3</sup>, 付广钦<sup>1,2,3</sup>, 关通<sup>1,2,3</sup>, 周晓彤<sup>1,2,3</sup>

(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.稀有金属分离与综合利用国家重点实验室,广东广州 510650; 3.广东省矿产资源开发与综合利用重点实验室,广东广州 510650)

**摘要:** 广东某高岭土矿中铁赋存状态较复杂,部分铁以类质同象方式存在于高岭石、伊利石等矿物晶格中无法去除,造成高岭土精矿烧成白度较自然白度低。为了高效开发利用该高岭土矿,开发了捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级工艺,可获得  $Al_2O_3$  品位 30.02%、回收率 61.70% 的高岭土精矿,其中杂质  $Fe_2O_3$  含量为 1.15%,达到陶瓷工业用高岭土三级品标准;分级尾砂经磨矿-磁选-旋流器分级工艺,可获得  $SiO_2$  含量 97.11%、 $Fe_2O_3$  含量 0.058% 的石英砂精矿和  $K_2O$  含量 7.07%、 $Al_2O_3$  含量 31.22%、 $SiO_2$  含量 48.32%、自然白度 65.53% 的绢云母精矿;石英砂精矿达到玻璃工业用低档石英砂质量标准;绢云母精矿可用于涂料行业;磁选尾矿产率 8.41%、 $SiO_2$  含量 76.33%,可用作建筑用砂辅料。该工艺实现了不同矿物的有效分离,达到高岭土矿综合利用的目的。

**关键词:** 高岭土; 绢云母; 石英砂; 分级; 白度; 综合利用

中图分类号: TD985

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.02.014

文章编号: 0253-6099(2024)02-0056-04

## Experimental Study on Comprehensive Utilization of Kaolin Ore in Guangdong

SHANG Xingke<sup>1,2,3</sup>, FU Guangqin<sup>1,2,3</sup>, GUAN Tong<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Xiaotong<sup>1,2,3</sup>

(1. Institute of Resources Utilization and Rare Earth Development, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, Guangdong, China; 2. State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, Guangzhou 510650, Guangdong, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Development and Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Guangzhou 510650, Guangdong, China)

**Abstract:** The occurrence state of iron minerals in a kind of kaolin ore in Guangdong is relatively complex. A portion of iron minerals is irremovable as they disseminate in the lattice of kaolinite, illite and other minerals in an isomorphic manner. For this reason, the calcined kaolin concentrate possesses a lower whiteness than the natural whiteness. In order to efficiently exploit and utilize the kaolin ore, a process consisting of slurry tamping, spiral classifier classification and hydrocyclone classification was adopted, resulting in a kaolin concentrate grading 30.02%  $Al_2O_3$  at 61.70% recovery with the content of impurity  $Fe_2O_3$  at 1.15%, which can reach grade III standard of kaolin for ceramic industry. The classification downflow was then subjected to a process consisting of grinding, magnetic separation and hydrocyclone classification, resulting in a quartz sand concentrate and a sericite concentrate. The quartz sand concentrate, containing 97.11%  $SiO_2$  and 0.058%  $Fe_2O_3$ , can satisfy the standard for low quality quartz for glass industry, and the sericite concentrate, containing 7.07%  $K_2O$ , 31.22%  $Al_2O_3$  and 48.32%  $SiO_2$ , with natural whiteness at 65.53%, can be used in the coating industry. The magnetic separation results in the tailings with a yield of 8.41% and  $SiO_2$  content of 76.33%, which can be used as auxiliary materials for building sand. Through this process, different minerals can be effectively separated to achieve the purpose of comprehensive utilization of kaolin ore.

**Key words:** kaolin; sericite; quartz sand; classification; whiteness; comprehensive utilization

高岭土矿是以高岭石及高岭石族矿物为主要成分的黏土矿物,是一种重要的非金属矿产资源,广泛应用

于陶瓷、橡胶、造纸、塑料和耐火材料等行业<sup>[1-5]</sup>。随着高岭土资源日渐枯竭以及绿色矿山建设的持续推进,

① 收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 广东省科学院发展专项资金项目(2021GDASYL-20210302004, 2022GDASZH-2022010104)

作者简介: 尚兴科(1989—),男,山东济宁人,硕士,工程师,主要从事浮选理论与工艺、资源利用研究工作。E-mail: sxk333@163.com

高效开发与综合利用现有高岭土矿、建设无尾矿绿色矿山,成为高岭土资源开发利用的发展方向<sup>[6-9]</sup>。

本文以广东某高岭土矿为研究对象,通过研究其物质组成及各元素赋存状态,并针对矿物在不同粒级的分布特征,确定采用捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级工艺得到高岭土精矿和分级尾砂,并对分级尾砂进行磨矿-磁选-旋流器分级得到石英砂精矿和绢云母精矿,达到高岭土矿综合利用的目的。

### 1 矿石性质

广东某高岭土原矿呈块状、土状,主要矿物成分为石英,其次为高岭石、伊利石、绢云母。铁、钛杂质矿物主要为褐铁矿、钛铁矿、金红石等。原矿化学多元素分析结果见表1,原矿筛分及各粒级矿物组成结果见表2。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
15.76	0.89	74.67	0.13	0.060	2.21
CaO	MgO	Mn	S	烧失量	
0.015	0.23	0.014	0.008	6.013	

表2 原矿筛分及各粒级矿物组成结果

粒级/mm	产率/%	矿物组成及含量/%				
		高岭石	伊利石	石英 <sup>1)</sup>	高温透长石	绢云母
+0.8	11.07	0.00	0.00	80.31	1.38	18.31
-0.8+0.5	7.65	0.00	0.00	78.86	1.23	19.91
-0.5+0.2	8.36	0.00	0.00	80.19	0.93	18.88
-0.2+0.075	11.08	0.00	0.00	80.85	0.88	18.27
-0.075+0.045	5.68	0.00	0.00	82.77	0.33	16.90
-0.045+0.020	12.27	2.16	22.30	75.39	0.15	0.00
-0.020+0.010	11.89	19.11	15.18	65.71	0.00	0.00
-0.010+0.005	6.29	29.90	18.12	51.98	0.00	0.00
-0.005	25.71	58.23	22.27	19.50	0.00	0.00
合计	100.00	19.51	11.41	60.51	0.46	8.11

1) 石英中包括石英及其他矿物。

由表2可知,高岭石和伊利石集中在-0.045 mm 粒级中,+0.045 mm 各粒级主要含石英、绢云母和少量高温透长石。矿石中石英晶粒粗细变化大,在-0.045 mm 各粒级中仍含大量石英,以至于这些粒级中游离二氧化硅含量高,影响高岭土产品的质量。

该高岭土矿中,氧化铝主要赋存于高岭石、伊利石和绢云母中。矿石中铁较分散,以 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 计,褐铁矿中赋存的铁占原矿总铁的 8.76%,绢云母中赋存的铁占原矿总铁 29.92%,高岭石中赋存的铁占原矿总铁 37.62%,

伊利石中赋存的铁占原矿总铁 15.95%,此外,因胶态褐铁矿渲染,石英、高温透长石中也含少量铁。钛矿物有钛铁矿和金红石,两矿物赋存的钛分别占原矿总钛 17.79%和 5.38%,分散于绢云母和伊利石中钛分别占原矿总钛 9.38%和 67.45%。

### 2 试验方法

该高岭石矿风化较好,高岭石和伊利石集中在-0.045 mm 粒级中,与其共生的矿物以石英为主,石英与高岭石不连成一体,经捣浆可使高岭石与石英分散,利用高岭土和石英密度以及颗粒直径的差异,通过重选法分级可分离矿物<sup>[10-12]</sup>。由于原矿含 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 较高,需对分级产品进行除铁<sup>[13]</sup>,以便获得高质量高岭土产品。因此,拟针对该高岭石进行捣浆-分级处理,分级精矿除铁、分级尾砂再选。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 捣浆-分级试验

捣浆-分级试验采用 TJT 实验室用调浆桶进行捣浆,采用沉浸式 150×1200 螺旋分级机进行分级,采用 Φ50 水力旋流器进行旋流器粗选和扫选,采用 Φ25 水力旋流器进行旋流器精选,旋流器压力 0.35 MPa,试验流程见图1,结果见表3。

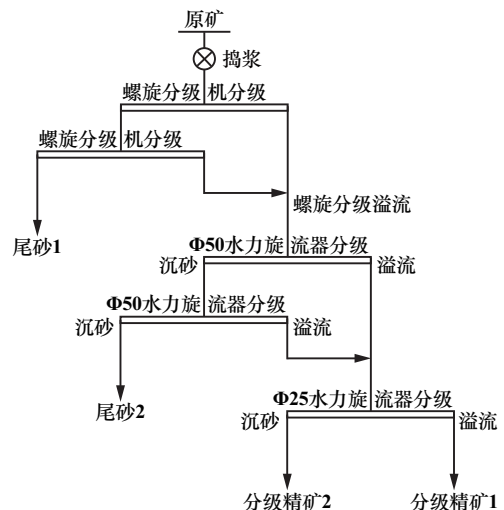


图1 捣浆-分级试验流程

由表3可知,采用捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级(一粗一扫一精)工艺,获得了 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位 33.75%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 1.32%的分级精矿1,该产品含铁较高,对其进行除铁,可得到高品质的高岭土精矿;同时,尾砂1和尾砂2的 SiO<sub>2</sub> 含量均在 83%以上,可以考虑对其进行进一步提纯以获得高品质石英砂原料。

表3 捣浆-分级试验结果

产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
分级精矿1	16.06	33.75	1.32	48.83	1.88	34.82	24.12	10.53	13.73
分级精矿2	15.94	26.26	0.98	58.68	1.71	26.88	17.77	12.56	12.40
尾砂1	43.23	9.15	0.87	83.08	2.42	25.40	42.59	48.22	47.55
尾砂2	24.77	8.11	0.55	86.28	2.34	12.90	15.52	28.69	26.32
原矿	100.00	15.57	0.88	74.48	2.20	100.00	100.00	100.00	100.00

### 3.2 分级精矿除铁试验

在给矿浓度 12%、PL 用量 1 000 g/t、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 用量 6 000 g/t、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 用量 30 kg/t、漂白时间 20 min 条件下,对分级精矿 1 进行了化学还原漂白除铁试验,结果见表 4。分级精矿 1 经化学还原漂白除铁,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量降至 1.05%,获得了产率 15.58%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位 33.57%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 回收率 33.59%的漂白精矿。分级精矿 1 自然白度 64.30%,1 200 °C 煅烧白度降至 59.30%,漂白精矿自然白度 81.40%,1 200 °C 煅烧白度降至 70.60%。

分级精矿经化学漂白获得的漂白精矿质量仅达到

陶瓷工业用高岭土二级标准,采用酸浸除铁方法只能除去褐铁矿铁染的铁,无法去除矿物晶格中的铁,造成高岭土精矿烧成白度较自然白度低,除铁效果未达预期,且化学还原漂白药剂用量较大,药剂成本较高,生产过程中存在一定安全环保隐患。因此,分级精矿 1 不宜进行化学还原漂白,可与分级精矿 2 合并得到最终高岭土精矿,即原矿经捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级(一粗一扫)工艺处理,获得了产率 32.00%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 品位 30.02%、回收率 61.70%的高岭土精矿,其中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 1.15%,质量达到陶瓷工业用高岭土三级标准。

表4 化学还原漂白除铁试验结果

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%			白度/%	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	自然白度	1 200 °C 煅烧白度
洗涤液	0.48	39.57	10.05	36.87	1.23	5.51	0.24	—	—
漂白精矿	15.58	33.57	1.05	49.20	33.59	18.61	10.29	81.40	70.60
分级精矿1	16.06	33.75	1.32	48.83	34.82	24.12	10.53	64.30	59.30

### 3.3 分级尾砂再选试验

分级尾砂(尾砂 1+尾砂 2)中主要成分为石英和绢云母,两者紧密连生,呈微细粒状集合体,在强力搅拌下较难分散,可利用绢云母和石英硬度及粉碎性质的差异,通过磨矿将石英和绢云母单体解离后再重选分离<sup>[12-15]</sup>。试验流程见图 2,采用高梯度磁选机进行强磁选,以钢毛为磁选介质,采用 Φ50 水力旋流器进行重选粗选和扫选,旋流器压力 0.35 MPa,试验结果见表 5。由表 5 可知,分级尾砂经磨矿-磁选-旋流器分级得到石英砂精矿和绢云母精矿;石英砂精矿 SiO<sub>2</sub> 含量 97.11%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 0.058%;绢云母精矿 K<sub>2</sub>O 含量 7.07%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 31.22%、SiO<sub>2</sub> 含量 48.32%,自然白度 65.53%;磁选尾矿产率 8.41%、SiO<sub>2</sub> 含量 76.33%。

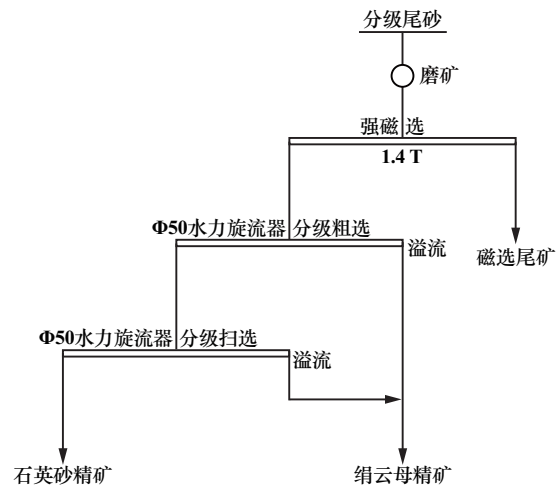


图2 分级尾砂再选试验流程

表5 分级尾砂再选试验结果

产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
绢云母精矿	14.34	31.22	0.47	48.32	7.07	28.75	7.68	9.30	46.09
石英砂精矿	45.25	0.92	0.058	97.11	1.08	2.67	2.99	58.99	22.21
磁选尾矿	8.41	12.72	4.95	76.33	1.46	6.88	47.44	8.62	5.57
分级尾砂	68.00	8.77	0.75	84.25	2.39	38.30	58.11	76.91	73.87

石英砂精矿达到玻璃工业用低档石英砂质量标准;绢云母精矿可用于涂料行业;磁选尾矿可用作建筑用砂辅料。

### 3.4 综合试验

综上所述,采用捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级+磨矿-磁选-旋流器分级工艺,可以得到合格高岭土精矿、石英砂精矿和绢云母精矿,工艺流程见图3。

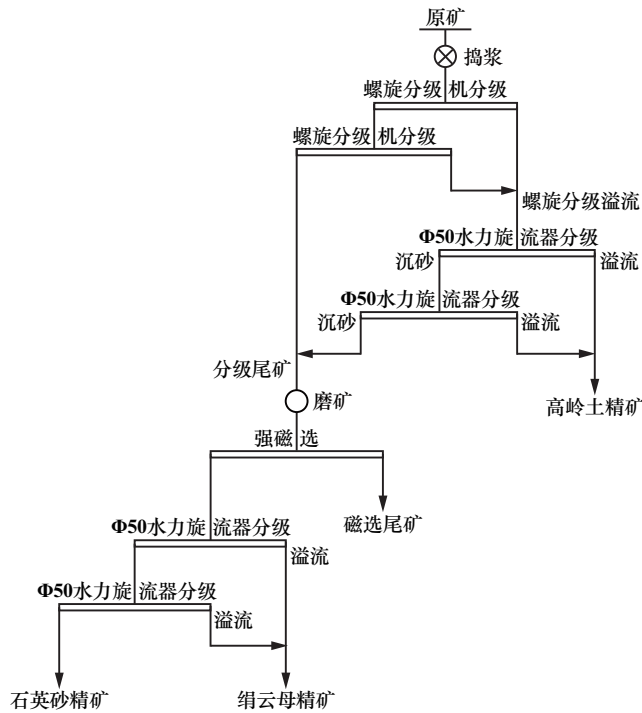


图3 试验工艺流程

## 4 结 论

1) 矿石中铁赋存较复杂,独立铁矿物褐铁矿可采用强磁选去除,但绢云母和伊利石在含铁高时可进入强磁选产品,导致强磁选除铁效果不理想。此外,由于铁以类质同象方式进入伊利石、绢云母晶格,采用酸浸除铁方法只能除去褐铁矿铁染的铁,无法去除矿物晶格中铁,造成高岭土精矿烧成白度较自然白度低,该高岭土矿不宜采用化学还原漂白法除铁提纯。

2) 原矿通过“捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级”工艺获得高岭土精矿和分级尾砂:高岭土精矿  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位 30.02%、回收率 61.70%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 1.15%,达到陶瓷工业用高岭土三级品标准;分级尾砂经“磨矿-

磁选-旋流器分级”工艺得到石英砂精矿、绢云母精矿和磁选尾矿,石英砂精矿含  $\text{SiO}_2$  97.11%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.058%,达到玻璃工业用低档石英砂质量标准;绢云母精矿含  $\text{K}_2\text{O}$  7.07%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  31.22%、 $\text{SiO}_2$  48.32%,自然白度 65.53%,可用于涂料行业;磁选尾矿产率 8.41%、 $\text{SiO}_2$  含量 76.33%,可用作建筑用砂辅料。

3) 通过“捣浆-螺旋分级机分级-旋流器分级”+“磨矿-磁选-旋流器分级”工艺,可以得到合格高岭土精矿、石英砂精矿和绢云母精矿,实现了不同矿物的有效分离,达到高岭土矿综合利用的目的。

### 参考文献:

- [1] 张华杰,史长亮. 分级分选技术在我国高岭土提纯中的应用现状及分析[J]. 矿冶, 2018,27(6):17-21.
- [2] 张凌燕,张丹萍,王浩,等. 广东砂质高岭土除铁增白试验研究[J]. 非金属矿, 2013,36(1):33-35.
- [3] 王明俊. 高岭土矿选矿加工方法概述[J]. 陶瓷, 2021(4):15-17.
- [4] 申继学,马鸿文. 高岭土资源及高岭土合成技术研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2016,35(4):1150-1158.
- [5] 王思婕. 浮选尾煤提纯高岭土试验研究[D]. 徐州:中国矿业大学, 2022.
- [6] 邓强,陈丽荣. 黔中某地高岭土提纯试验研究[J]. 非金属矿, 2013,36(3):33-36.
- [7] 夏光华,李晓鸣,赵晓东. 北海高岭土矿物特征及铁赋存状态的研究[J]. 硅酸盐通报, 2013,32(2):289-293.
- [8] 李国栋,殷尧禹,卢瑞,等. 高岭土提纯工艺及其应用研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2018(4):142-150.
- [9] 冯雪茹,邓建,严伟平,等. 我国高岭土开发现状及综合利用进展[J]. 矿产综合利用, 2022(6):1-10.
- [10] 李硕,邵延海,常军,等. 石榴石重选尾矿中绢云母与石英分离及深加工[J]. 非金属矿, 2017,40(2):70-72.
- [11] 王前,彭少伟,卢昊,等. 高岭土尾矿综合回收选矿试验研究[J]. 陶瓷, 2021(8):59-62.
- [12] 许霞,丁浩,孙体昌,等. 单一重选法选别湖北绢云母的技术研究[J]. 中国矿业, 2008(5):52-55.
- [13] 郭春雷,马莹,赵拓,等. 南方某高岭土除铁增白实验[J]. 矿产综合利用, 2022(4):183-187.
- [14] 谢恩俊,林江平,甘国超,等. 高岭土尾矿制备光伏玻璃用低铁石英砂的提纯试验研究[J]. 建材世界, 2021,42(3):14-17.
- [15] 杨启帆,于阳辉,安卫东,等. 江西某低品质高岭土矿综合利用技术研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(6):57-61.

引用本文: 尚兴科,付广钦,关通,等. 广东某高岭土矿综合利用试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):56-59.