

石英矿物资源的分离提纯及材料化应用

新疆阿尔泰地区某花岗伟晶岩型石英深度除杂技术研究

刘广学^{1,2,3}, 马亚梦^{1,2,3}, 刘磊^{1,2,3}, 张宏丽^{1,2,3}, 朱黎宽^{1,2,3}, 郭理想^{1,2,3}, 曹飞^{1,2,3}

1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006;
2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 河南 郑州 450006;
3. 自然资源部高纯石英资源开发利用工程技术创新中心, 河南 郑州 450006

中图分类号: TD973.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)05-0008-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.05.002

摘要 高纯石英广泛应用于高科技领域, 是半导体芯片、电光源、新能源等战略新兴产业的关键基础材料, 是世界稀缺、我国短缺的战略资源。为解决高纯石英原料“卡脖子”难题, 需要聚焦花岗伟晶岩石英找矿方向, 攻关原料选择、深度除杂等核心技术, 为推动战略新兴产业发展提供支撑。以新疆阿尔泰地区某花岗伟晶岩型石英为研究对象, 采用重选—磁选—浮选—酸浸等工艺, 对该样品进行了深度除杂研究。研究结果表明, 首先通过重选除去大部分针铁矿、磷灰石、钙铝榴石及矿泥等, 对重选中矿采用磁选除铁和浮选除去云母后, 经一次长石粗选浮选, 获得了产率为 32.94%、钠长石矿物含量为 97.44%、回收率为 74.90% 的高品质钠长石精矿, 经一次长石扫选浮选, 获得了产率为 3.61% 的超白长石石英粉, 长石扫选尾矿再经一次石英精选, 得到浮选精矿和石英次精矿两种产品, 其中石英次精矿产率为 5.59%、SiO₂ 含量为 99.61%、SiO₂ 回收率为 10.35%, 其成分符合光伏玻璃用石英砂要求; 浮选精矿采用煅烧—水淬—酸浸工艺, 获得了产率为 37.32%、SiO₂ 含量为 99.996%、石英回收率 69.52% 的中端高纯石英砂。通过该工艺, 既回收了花岗伟晶岩伴生的钠长石资源, 又使矿石中的石英得到梯级利用, 不仅验证了高纯化评价流程的有效性和可靠性, 也为在新疆阿尔泰地区勘查高纯石英资源指明了方向。

关键词 花岗伟晶岩; 高纯石英; 钠长石; 物理除杂; 酸浸; 浮选

引言

高纯石英广泛应用于半导体芯片、光纤、光伏、光学、电光源等领域, 是新一代信息产业、新能源等九大战略性新兴产业的关键基础材料^[1], 是独一无二、不可或缺的战略资源。长期以来, 欧美实行高纯石英资源垄断及技术封锁, 全球高纯石英资源 90% 在美国, 我国每年进口占全球总进口量的 70%, 4N8 级及以上高端原料全部来自美国^[2-3]。国内企业有少量高端石英砂产品, 虽然纯度和粒度可达到相关要求, 但实际使用效果难与美国尤尼明的产品媲美, 性能不能完全满足要求, 且原料主要来自巴西、印度、安哥拉等国家的脉石英, 在目前复杂的国际政治经济形势下, 存在原料受制于人的巨大风险。

为改变我国高纯石英战略关键非金属资源长期受制于人的被动局面, 必须提高资源战略安全意识。在国内高品质脉石英资源几近枯竭的情况下, 开展花岗伟晶岩石英资源深度除杂核心技术攻关, 拓展高纯石英资源找矿方向对于改变当前局面具有重要意义。

新疆阿尔泰位于中亚造山带西段, 是世界闻名的花岗伟晶岩集中区, 区域出露伟晶岩脉 10 万余条。受可可托海背斜褶皱带的控制, 多数分布于背斜的轴部和南西翼, 自南东至北西大致可分为青河阿拉捷克—塔拉特、阿勒泰大哈拉苏—可可西尔、阿勒泰塔尔浪—阿巴宫和布尔津冲乎尔等伟晶岩密集区。该花岗伟晶岩主要形成于古生代, 尤其是石炭纪和二叠纪。近几年, 我国学者将新疆阿尔泰地区的花岗伟晶岩与美国 Spruce Pine 伟晶岩从岩石地球化学特征方面进行了对比研究, 显示该地区具有高纯石英成矿潜力^[4]。本文以新疆阿尔泰地区某花岗伟晶岩样品为研究对象, 进行深度除杂技术研究, 制备高纯石英砂, 探讨该地区伟晶岩资源高纯化潜力。

1 试验

1.1 试验原料

试验样品采自阿尔泰地区, 伟晶岩脉体侵位于黑

收稿日期: 2022-09-26

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20221698)

作者简介: 刘广学(1976—), 男, 河北衡水人, 高级工程师, 从事矿产资源综合利用研究工作。

通信作者: 马亚梦(1986—), 女, 河南郑州人, 助理研究员, 硕士, 从事矿产综合利用研究工作。

云斜长片麻岩和二云石英片岩中。脉体走向近东西, 长约 1 000 m, 宽 0.5~30 m, 侵入于黑云母花岗岩株和二云母花岗岩株的内外接触带。石英粒径大多 1~30 mm, 呈糖粒状分布, 分布较均匀, 全透明约占 30%,

半透明约占 5%。

样品中 SiO₂、Al₂O₃ 和 Na₂O 含量分别为 84.45%、9.35% 和 4.78%, 三者合计 98.58%, 其他化学成分含量很低, 详见表 1。

表 1 原矿多元素分析结果

/%

Table 1 Results of multi-element analysis of raw ore

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Li	Ge
含量	84.45	9.35	4.78	0.29	0.28	0.23	0.025	0.003 7	0.000 195	0.000 830

样品中的主要矿物为石英、钠长石、白云母和石榴子石, 其次还有少量的针铁矿、锂辉石和磷灰石等,

详细的矿物组成及含量见表 2。

表 2 原矿矿物组成及相对含量

/%

Table 2 Mineral composition and relative content of raw ore

矿物	石英	钠长石	白云母	钙铝榴石	锂辉石	针铁矿	方解石	正长石	磷灰石	黑云母
含量	53.73	42.77	3.09	0.17	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01

石英颗粒多呈半自形至他形粒状分布, 粒度分布不均匀, 多数在 0.5 mm 以上。可见石英颗粒与钠长石、白云母等密切共生。钠长石是样品中的主要脉石矿物, 多呈半自形板状产出, 主要与石英呈接触共生关系, 接触边界较平直。其次是白云母, 多呈片状产出, 与石英间接触关系较复杂, 可见白云母包裹石英颗粒或呈似壳层状环绕在石英周边, 也可见石英颗粒中包裹有细小的白云母, 原矿背散射照片见图 1。

时去除大部分片状和泥化的脉石矿物; 浮选的主要目的是将矿石中的主要杂质钠长石分离出来, 同时对重选和磁选工艺未能分离出的云母及其他微量脉石矿物进一步去除。故重选和磁选段主要考察产品中 K₂O、Fe₂O₃、CaO、MgO 等微量(含量<1%)杂质成分去除情况, 浮选段主要考察主要杂质成分 Al₂O₃ 和 Na₂O 的去除情况。

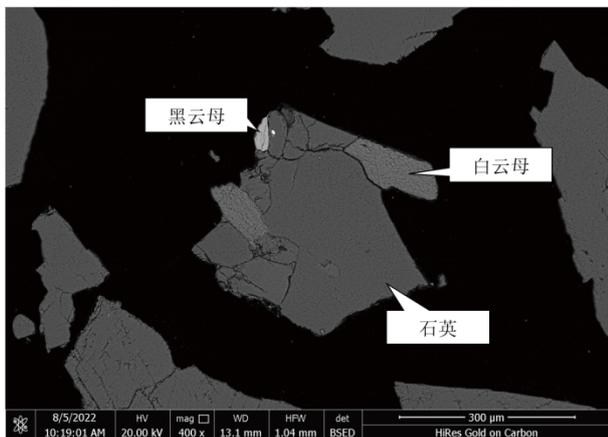


图 1 原矿背散射照片

Fig. 1 Backscatter photo of the original ore

1.2 试验方法

前期研究中, 项目团队在对数十个花岗伟晶岩型石英样品高纯化评价基础上, 提出了一套实验室高纯化评价流程, 包括磨矿制砂、重选、磁选、浮选、酸浸等多种工艺, 原则流程见图 2。

本流程中物理除杂过程包括重选、磁选和浮选三种选矿工艺。重选和磁选的主要目的是去除矿石中与石英比重差异大和有一定磁性的微量脉石矿物, 同

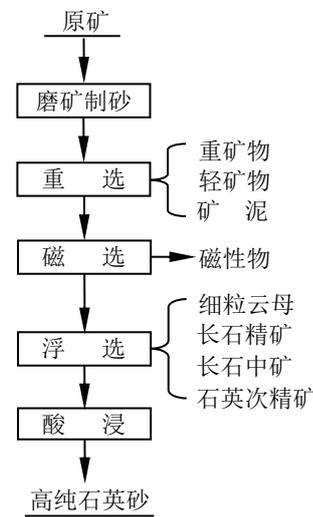


图 2 高纯化评价原则流程

Fig. 2 Principle process of high purification evaluation

1.3 分析测试

化学分析利用中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所紫外可见分光光度计 Specord 200(德国耶拿)和电感耦合等离子体发射光谱仪 ICAP 7400 Radial(美国热电), 矿物含量和粒度特征分析利用矿物解离度分析仪 MLA650, 包裹体特征和选矿产品观测利用

PL-180 偏光显微镜。

2 结果与讨论

由原矿矿物组成及相对含量分析可知, 矿石中石英、钠长石和白云母三种矿物总含量达 99.59%, 分析

这三种矿物在选矿除杂产品中的分布情况, 可详细了解各选矿工艺对不同杂质矿物的去除效果。因此, 对选矿除杂各产品中的石英、钠长石和云母进行了工艺矿物学分析, 结果见表 3。

表 3 选矿除杂产品中主要矿物含量及分布情况

/%

Table 3 Content and distribution of major minerals in mineral processing products

产品名称	产率	矿物含量			矿物分布率		
		石英	钠长石	白云母	石英	钠长石	白云母
浮选精矿	37.32	99.97	0.01	0.002	69.52	0.01	0.02
石英次精矿	5.59	99.36	0.33	0.04	10.35	0.04	0.07
长石中矿	3.61	47.23	52.33	0.34	3.23	4.38	0.40
长石精矿	32.94	2.07	97.44	0.42	1.27	74.90	4.47
细粒云母	4.27	25.73	67.63	6.27	2.05	6.81	8.66
磁性物	2.08	47.88	40.34	8.39	1.86	1.98	5.64
矿泥	3.91	46.29	41.78	7.88	3.18	3.85	9.96
轻矿物	8.44	45.75	28.39	25.83	7.19	5.65	70.48
重矿物	1.84	39.38	54.83	0.51	1.35	2.38	0.30
原矿	100.00	53.74	42.77	3.09	100.00	100.00	100.00

2.1 磨矿制砂

磨矿制砂采用 XMB-200×240 棒磨机和 XMB-70A 型三辊四筒棒磨机配合 Q20 多功能湿式标准筛旋振筛机完成, 制砂过程根据高纯石英产品应用粒度范围控制分级粒度-0.425 mm, 采用阶段棒磨阶段分级的形式, 将合格粒级尽早分离出来, 防止石英颗粒过磨, 提高合格粒级成品率。磨矿制砂工艺流程见图 3。

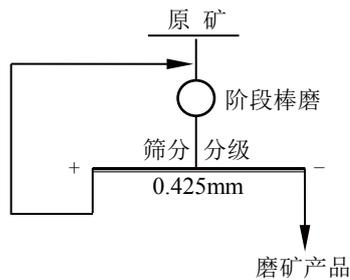


图 3 磨矿制砂工艺流程

Fig. 3 Process flow of grinding and sand making

2.2 重选

重选采用 LY2100×1 050 摇床进行, 冲程 24 mm, 冲次 300 次/min, 根据矿物密度、粒度、形状等特征差异^[5], 在床面上截取重矿物、轻矿物和矿泥作为尾矿丢弃, 中矿物作为下一步磁选给料。重选工艺流程见图 4。

经对重选产品的工艺矿物学分析可知, 磨矿产品中钙铝榴石($\rho=3.6 \text{ g/cm}^3$)、磷灰石($\rho=3.2 \text{ g/cm}^3$)等因与石英($\rho=2.65 \text{ g/cm}^3$)和长石($\rho=2.63 \text{ g/cm}^3$)比重差异较大而富集至重矿物中, 片状黑白云母等在水流的漂

浮下富集至轻矿物中, 磨细或泥化的针铁矿、钾钠长石、黑白云母等富集至矿泥中。重选试验结果见表 4。

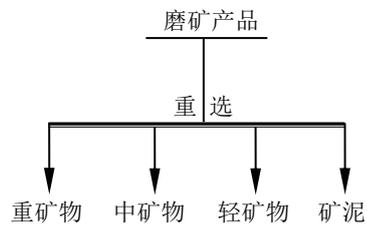


图 4 重选工艺流程

Fig. 4 Process flow of gravity separation

分析表 4 可知, 重矿物、轻矿物和矿泥三种尾矿(合称重选尾矿, 下同)合计 Fe_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 TiO_2 四种化学成分抛除率分别高达 85.22%、75.73%、76.99% 和 75.42%, 镜下观察, 他们主要分布在针铁矿、白云母、磷灰石和钙铝榴石中。由表 3 可知, 原矿中主要脉石矿物之一白云母在重选尾矿中的分布率达 80.74%, 石英矿物在重选尾矿中的损失不大, 主要为轻、重矿物中的夹杂损失 8.54% 和矿泥中的泥化损失 3.18%, 石英在重选中矿物中的回收率为 88.28%。因此摇床重选对于重矿物、片状矿物和矿泥的去除有显著效果。

2.3 磁选

高梯度磁选是高纯石英制备过程中必不可少的工艺环节, 对于去除矿石中的顺磁性和铁磁性脉石矿物具有显著的效果^[6-7]。磁选采用 SLon-100<1.75> 周期式脉动高梯度磁选机完成, 过程分为两段磁选, 一段

表 4 重选试验结果

Table 4 Results of gravity beneficiation

产品名称	产率	含量					回收率				
		K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
中矿物	85.81	0.082	0.048	0.23	0.006 7	0.001	24.27	14.78	85.52	23.01	24.58
重矿物	1.84	0.06	2.01	0.42	0.012	0.011	0.38	13.32	3.36	0.89	5.52
轻矿物	8.44	2.16	0.73	0.15	0.163	0.022	62.82	22.19	5.51	55.45	50.69
矿泥	3.91	0.93	3.53	0.33	0.131	0.018	12.53	49.71	5.61	20.65	19.21
原矿	100.00	0.29	0.280	0.23	0.025	0.003 7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

磁场强度 955 kA/m, 二段磁场强度 1 194 kA/m, 2 mm 棒状介质充填分选腔, 脉动速度 25 次/min。磁选工艺流程见图 5。

鉴于以除杂为主要目的, 高梯度磁选脉动速度较慢, 磁性物中夹杂了含量较高的石英和钠长石, 但因磁性物产率较低, 石英和钠长石在磁性物中的损失均不到 2%(见表 3)。磁选试验结果见表 5。

分析表 5 可知, Fe₂O₃、K₂O、MgO、TiO₂ 四种化学成分通过磁选, 去除率进一步大幅提高, 磁性物中 K₂O、MgO 和 TiO₂ 去除率分别为 7.09%、10.31% 和 8.52%, 通过重选和磁选, Fe₂O₃ 累计去除率达到 96.61%。

表 5 磁选试验结果

Table 5 Results of magnetic separation

产品名称	产率	含量					回收率				
		K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
非磁性物	83.73	0.06	0.011	0.23	0.003 8	0.000 7	17.18	3.40	82.35	12.70	16.06
磁性物	2.08	0.99	1.52	0.35	0.123	0.015	7.09	11.38	3.17	10.31	8.52
重选尾矿	14.19	1.55	1.67	0.23	0.135	0.019	75.73	85.22	14.48	76.99	75.42
原矿	100.00	0.29	0.280	0.23	0.025	0.003 7	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2.4 浮选

根据石英与长石、云母等硅酸盐矿物表面性质的差异, 可采用浮选工艺实现石英与其他脉石矿物的高效分离, 浮选是高纯石英深度除杂工艺中最主要的杂质去除方法^[8-11]。浮选采用 XFD_N 型系列实验室单槽浮选机, 浮选机转速固定 1 992 r/min, 浮选温度保持在 25~30 °C 之间; 因矿石粒度较粗, 浮选质量浓度控制在 40%~45% 之间; 云母浮选 pH 值控制在 3~5, 调整剂采用稀硫酸, 捕收剂采用十二胺; 长石浮选 pH 值控制在 2~3, 调整剂采用氢氟酸, 捕收剂采用自有系列胺类阳离子捕收剂 KC 和脂肪酸类阴离子捕收剂 KA, 质量比为 1:2。浮选工艺流程见图 6, 浮选产品主要化学成分和微量化学成分计算结果分别见表 6 和表 7。

云母浮选可将重选和磁选未能去除的单体和富连生体云母基本分选出来。分析表 3 可知, 云母浮选后, 其总体去除率已达 95.04%, 剩余 4.96% 的云母对长石精矿质量的影响已可忽略不计。工艺矿物学分

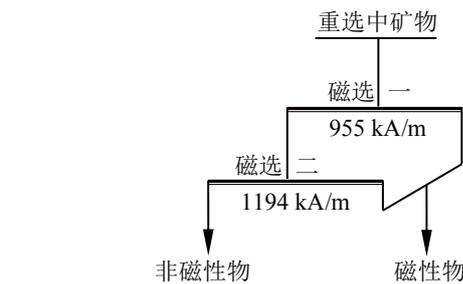


图 5 磁选工艺流程

Fig. 5 Process flow of magnetic separation

析表明, 细粒云母中含有部分钠长石, 致使白云母含量仅为 65%, 经后期进一步解离和提纯加工, 可用于制备白云母粉产品。

由表 3 可知, 通过长石粗选获得了产率为 32.94%、钠长石矿物含量为 97.44%、回收率为 74.90% 的钠长石精矿。该产品在 1 200 °C 下烧白度为 78.16%, Fe₂O₃ 杂质含量仅为 0.07%, 可作为高品质陶瓷原料进行综合利用。

长石扫选时石英开始上浮。为避免石英对长石精矿质量的影响, 后续泡沫单独接出作为长石中矿, 镜下观察泡沫中基本无长石作为该作业终点。分析表 3 和表 7 可知, 长石中矿内石英和钠长石含量分别为 47.23% 和 52.33%, Fe₂O₃ 含量更低至 0.002%, 烧白度为 79.65%。经分析, 该产品化学组成符合陶瓷坯料和釉料质量要求。

对浮选槽内产品进行显微镜观测, 发现石英矿物含量在 99% 以上, 但仍含有少量透明度较低的石英矿物和石英与其他脉石矿物的贫连生体。为提高质量,

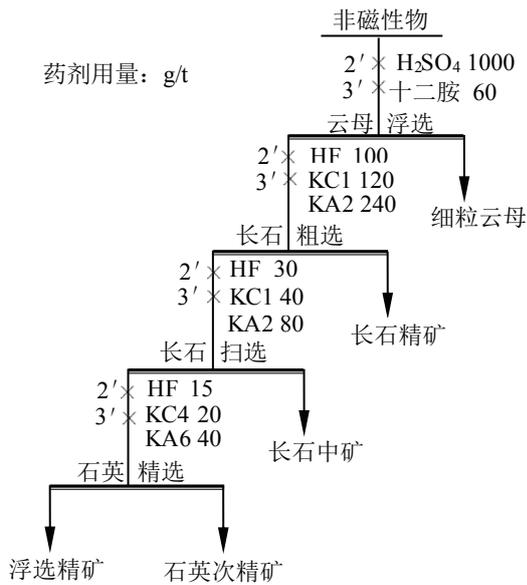


图 6 浮选工艺流程
Fig. 6 Process flow of floatation

对槽内石英进一步精选,过程采用不同主链结构的阴、阳离子捕收剂交叉用药的方式,尽可能将非石英矿物分选出来。石英精选产出石英次精矿产品,由表 6 和表 7 可知,其主要化学成分含量分别为 SiO₂ 99.61%、Al₂O₃ 0.18%、Fe₂O₃ 0.002%、TiO₂ 0.000 45%,各项指标均满足光伏玻璃用硅质原料的要求,可作为高纯石英的副产品进行梯级利用。经深度浮选除杂,原矿中主要杂质成分 Al₂O₃ 和 Na₂O 的去除率分别达到了 99.88% 和 99.92%,除杂效果良好。

针对浮选精矿开展了 15 个杂质元素的化学分析, SiO₂ 的含量采用差减的方法获得,分析结果见表 8。

分析表 8 可知,浮选精矿中杂质含量较高的是 Al、Na、Ca、B 四种元素,其含量占杂质元素总量的 95.86%,是下一步去除的主要目标。石英浮选精矿中 SiO₂ 含量为 99.97%,即高纯化等级为 3N7。因此,采用物理选矿工艺,从该伟晶岩中可制备出低端高纯石英产品。

表 6 浮选产品主要化学成分结果

/%

Table 6 Main chemical compositions of flotation products

产品名称	产率	含量			回收率		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O
浮选精矿	37.32	99.97	0.03	0.01	44.18	0.12	0.08
石英次精矿	5.59	99.61	0.18	0.08	6.59	0.11	0.09
长石中矿	3.61	84.33	10.25	5.82	3.61	3.96	4.39
长石精矿	32.94	68.61	19.03	10.89	26.76	67.03	74.98
细粒云母	4.27	75.09	15.93	7.63	3.80	7.27	6.81
磁性物	2.08	79.43	11.47	4.41	1.96	2.55	1.92
重选尾矿	14.19	78.00	12.50	3.95	13.10	18.96	11.73
原矿	100.00	84.45	9.35	4.78	100.00	100.00	100.00

表 7 浮选产品微量化学成分结果

/%

Table 7 Trace chemical compositions of flotation products

产品名称	产率	含量					回收率				
		K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
浮选精矿	37.32	0.000 15	0.000 3	0.002	0.000 4	0.000 60	0.02	0.04	0.33	0.60	6.11
石英次精矿	5.59	0.005	0.002	0.05	0.000 5	0.000 45	0.10	0.04	1.22	0.11	0.69
长石中矿	3.61	0.04	0.002	0.26	0.000 6	0.000 38	0.50	0.02	4.08	0.09	0.37
长石精矿	32.94	0.05	0.007	0.49	0.003	0.000 34	5.67	0.83	70.22	3.98	3.06
细粒云母	4.27	0.74	0.16	0.35	0.046	0.005	10.89	2.46	6.50	7.92	5.83
磁性物	2.08	0.99	1.52	0.35	0.123	0.015	7.09	11.39	3.17	10.31	8.52
重选尾矿	14.19	1.55	1.67	0.23	0.135	0.019	75.73	85.22	14.48	76.99	75.42
原矿	100.00	0.29	0.280	0.23	0.025	0.003 7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2.5 酸浸

混合酸浸是去除石英中脉石矿物的有效手段之一。采用煅烧—水淬—酸浸工艺对浮选精矿进行化

学提纯,可进一步降低石英中的微量杂质。试验条件及过程如图 7:将烘干后的浮选精矿置于高纯石英坩埚中(加盖防止污染),在 950 °C 下保温 1 h 后进行水

表 8 浮选精矿杂质元素分析结果

/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 8 Results of elemental analysis of impurities in flotation concentrate

元素	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ti	B
含量	157.66	16.28	2.05	1.21	2.32	105.37	3.86	8.89
元素	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	P	Zr	合计
含量	0.71	0.00	0.32	0.19	0.00	1.67	0.12	300.65

淬;将水淬后的样品盛于聚四氟烧杯,在 HF-HCl-HNO₃ 混酸体系(质量比为 2:5:1)中,液固比 3:1,保持 80 °C 加热浸出 6 h,为防止长时间搅拌介质磨损造成二次污染,采用 1 h/次间断搅拌方式进行,每次搅拌 1 min;去离子水洗涤至 pH 值中性,烘干后得高纯石英砂精矿。酸浸工艺流程见图 7,酸浸精矿杂质元素分析结果见表 9。

对比分析表 8 和表 9 可知,通过化学浸出,Al 含量由 157.66 $\mu\text{g}/\text{g}$ 降低至 22.79 $\mu\text{g}/\text{g}$,去除率为 85.54%;碱金属和碱土金属元素浸出效果较好,Na、K、Ca、Mg 去除率分别为 96.43%、90.91%、93.00%、79.74%;Fe 元素因少量矿物包裹体的存在,去除率稍低,为 66.34%;微量的 P 和 Cr 则被完全浸出。

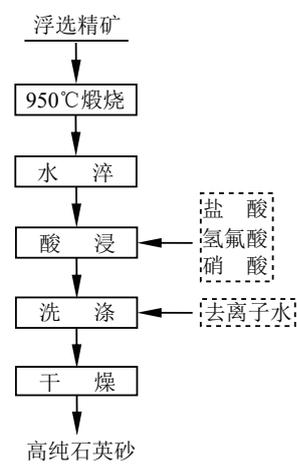


图 7 酸浸工艺流程

Fig. 7 The process flow of acid leaching

表 9 酸浸精矿杂质元素分析结果

/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 9 Analysis results of impurity elements in acid leaching concentrate

元素	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ti	B
含量	22.79	1.14	0.69	0.11	0.47	3.76	3.72	7.62
元素	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	P	Zr	合计
含量	0.00	0.00	0.25	0.06	0.00	0.00	0.10	40.71

也有部分元素混合酸浸效果较差,如 Li、Zr、B 的去除率分别为 21.88%、16.67%、14.29%,而 Ti 元素去除率仅为 3.63%。

通过煅烧—水淬—酸浸工艺,石英精矿质量获得了大幅提升,杂质元素总量降至 40.71 $\mu\text{g}/\text{g}$,SiO₂ 含量提高至 99.996%,高纯化等级为 4N6,达到了中端高纯石英的质量要求。

3 结论

(1)通过重选、磁选和云母浮选,可去除绝大部分石英和长石以外的脉石矿物,消除了微量脉石对石英长石分离的不利影响。

(2)长石浮选和石英精选获得了高品质钠长石粉、超白长石石英粉、光伏玻璃用硅质原料等多种石英副产品,使该花岗伟晶岩型石英得到综合利用;物理除杂获得的最终浮选精矿 SiO₂ 含量为 99.97%,品质达到低端高纯石英标准。

(3)化学提纯获得的最终石英砂 SiO₂ 含量为 99.996%,已达中端高纯石英砂质量要求;混酸浸出对于降低石英中的铝、铁、碱金属和碱土金属元素具有较好的效果,但对钛、硼、锂、锆的去除效果较差,需

进行后续研究。

(4)本研究验证了花岗伟晶岩型石英实验室高纯化评价流程的有效性和可靠性,为我国地质工作者在新疆的高纯石英资源勘查指明了方向。

参考文献:

- [1] 汪灵,党陈萍,李彩侠,等.中国高纯石英技术现状与发展前景[J].地学前缘,2014,21(5):267-273.
WANG L, DANG C P, LI C X, et al. Technology of high-purity quartz in China: Status quo and prospect[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(5): 267-273.
- [2] 颜玲亚,刘艳飞,于海军,等.中国高纯石英资源开发利用现状及供需形势[J].国土资源情报,2020(10):98-103.
YAN L Y, LIU Y F, YU H J, et al. Development and utilization status and supply and demand situation of high purity quartz resources in China[J]. Land and Resources Information, 2020(10): 98-103.
- [3] 李光惠,王超峰,詹建华,等.高纯石英原料作为战略性矿产的分析及建议[J].中国非金属矿工业导刊,2020(5):20-24.
LI G H, WANG C F, ZHAN J H, et al. Analysis and suggestions on high purity quartz raw material as strategic minerals[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2020(5): 20-24.
- [4] 张晔,陈培荣.美国 Spruce Pine 与新疆阿尔泰地区高纯石英伟晶岩的对比研究[J].高校地质学报,2010(4):426-435.
ZHANG Y, CHEN P R. Characteristics of granitic pegmatite with high-

- purity quartz in spruce pine region, USA and altay region of xinjiang, China[J]. Geological Journal of China Universities, 2010(4): 426-435.
- [5] 范培强, 谢贤, 宋强, 等. 国内高纯石英砂选矿与深加工研究现状[J]. 矿冶, 2018(3): 18-22.
- FAN P Q, XIE X, SONG Q, et al. The actuality of research and beneficiation of high purity quartz sand in China[J]. Mining & Metallurgy, 2018(3): 18-22.
- [6] CUNHA F R, SOBRAL Y D. Characterization of the physical parameters in a process of magnetic separation and pressure-driven flow of a magnetic fluid[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2004, 343(1): 36-64.
- [7] PODOYNITSYN S N, SOROKINA O N, KOVARSKI A L. High-gradient magnetic separation using ferromagnetic membrane[J]. Journal of Magnetism & Magnetic Materials, 2016, 397: 51-56.
- [8] 余新文, 喻福涛, 杨晓军, 等. 四川某地石英长石矿高效利用选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(5): 87-91.
- YU X W, YU F T, YANG X J, et al. Experimental study on the efficient utilization of quartz-feldspar ore in sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(5): 87-91.
- [9] LI W, LIU R, HU Y, et al. Adsorption behavior of mixed cationic/anionic surfactants and their depression mechanism on the flotation of quartz[J]. Powder Technology, 2016, 302: 15-20.
- [10] VIEIRA A M, PERES A E C. The effect of amine type, pH, and size range in the flotation of quartz[J]. Minerals Engineering, 2007, 20(10): 1008-1013.
- [11] 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(1): 44-50.

Study on Deep Impurity Removal Technology of a Granite Pegmatite-type High-purity Quartz in Altay Region of Xinjiang

LIU Guangxue^{1,2,3}, MA Yameng^{1,2,3}, LIU Lei^{1,2,3}, ZHANG Hongli^{1,2,3}, ZHU Likuan^{1,2,3}, GUO Lixiang^{1,2,3}, CAO Fei^{1,2,3}

1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China;

2. China National Engineering Research Center for Utilization of Industrial Minerals, Zhengzhou 450006, China;

3. China Engineering Technology Innovation Center for Development and Utilization of High Purity Quartz, Ministry of Natural Resources, Zhengzhou 450006, China

Abstract: High-purity quartz is widely used in high-tech fields, and is a key basic material for strategic emerging industries such as semiconductor chips, electric light sources, new energy, etc. It is a strategic resource that is scarce in the world and in short supply in China. In order to solve the "neck" problem of high-purity quartz raw materials, we need to focus on the direction of granitic pegmatite quartz search, and tackle the core technologies of raw material selection and deep de-hybridization to provide support for the development of strategic emerging industries. A granitic pegmatitic quartz from the Altai region of Xinjiang was used as the object of study, and the sample was subjected to deep desmearing using the process of gravity separation -magnetic separation-flotation-acid leaching. The results showed that, firstly, most of the needle iron ore, apatite, calcium alumina garnet and mud were removed by gravity separation, and after magnetic separation to remove iron and flotation to remove mica for gravity separation of intermediate minerals, a high quality sodium feldspar concentrate with a yield of 32.94%, sodium feldspar mineral content of 97.44% and recovery of 74.90% was obtained after one primary feldspar roughing flotation, and a super white feldspar quartz powder with a yield of 3.61% was obtained by primary feldspar sweep flotation. The feldspar sweeping tailings was then selected by primary quartz selection to obtain two products: flotation concentrate and quartz secondary concentrate, among them, the quartz secondary concentrate had a yield of 5.59%, SiO₂ content of 99.61% and SiO₂ recovery of 10.35%, and its composition met the requirements of quartz sand for photovoltaic glass; using the process of calcination-water quenching-acid leaching, the middle-end high-purity quartz sand with yield of 37.32% , SiO₂ content of 99.996% and quartz recovery of 69.52% was obtained from the flotation concentrate. Through this process, both the sodium feldspar resources associated with granite pegmatites were recovered and the quartz in the ore was utilized in a stepwise manner, which not only verified the validity and reliability of the high purity evaluation process, but also pointed out the direction for surveying high purity quartz resources in the Altai region of Xinjiang.

Keywords: granite pegmatite; high purity quartz; sodium feldspar; physical removal; acid leaching; flotation

引用格式: 刘广学, 马亚梦, 刘磊, 张宏丽, 朱黎宽, 郭理想, 曹飞. 新疆阿尔泰地区某花岗伟晶岩型石英深度除杂技术研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(5): 8-14.

LIU Guangxue, MA Yameng, LIU Lei, ZHANG Hongli, ZHU Likuan, GUO Lixiang, CAO Fei. Study on deep impurity removal technology of a granite pegmatite-type high-purity quartz in altay region of xinjiang[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(5): 8-14.