

某片麻岩鳞片石墨矿浮选实验研究

张帅, 李亚, 牛艳萍, 何章辉, 初静波

(国土资源部哈尔滨矿产资源监督检测中心, 黑龙江 哈尔滨 151700)

摘要: 黑龙江某片麻岩鳞片石墨矿石结构属于片麻岩型石墨矿, 脉石矿物以石英、长石、白云母为主, 金属矿物有少量的褐铁矿。原矿总固定碳含量为 8.03%, 通过酸浸-碱熔-酸洗分析得知: 原矿中+0.15 mm 大鳞片石墨的固定碳含量占总固定碳含量的 37.58%。原矿经一次粗选一次扫选、粗精矿八次再磨八次精选的阶段磨浮工艺流程, 最终获得的精矿固定碳品位 90.53%、精矿固定碳回收率 94.07%。其中+0.15 mm 精矿固定碳品位达到 95.26%、固定碳回收率为 17.67%, +0.15 mm 大鳞片石墨的保护率为 47.02%。

关键词: 石墨; +0.154 mm 大鳞片; 浮选; 品位; 回收率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.02.020

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 02-0111-05

晶质石墨又称鳞片石墨, 是公认的价值最高的一种石墨资源, 其原料及深加工产品具有耐高温、导电导热性和润滑性及易加工成型等优良性质, 广泛应用于冶金、机械、化工及航空等重要领域^[1-2]。通常大鳞片是指 +0.27 mm、+0.198 mm、+0.154 mm 的鳞片状石墨, 低于这些粒级的鳞片石墨称为细鳞片石墨。在石墨矿中, 大鳞片石墨较细鳞片石墨来说具有更大的价值, 可用于制造坩埚及膨胀石墨等, 细粒级的不能使用或者很难使用; 其次, 以大鳞片石墨作为原料更有利于生成石墨烯^[3]。鳞片石墨矿选矿多采用粗选抛尾, 粗精矿多磨多选的选别工艺^[4], 而多次磨矿会对大鳞片石

墨造成一定的破坏。因此针对不同的鳞片石墨矿石, 合理选择再磨工艺, 提高精矿指标格外重要^[5]。为尽量避免石墨大鳞片的损失, 本实验确定棒磨作为粗磨及再磨的介质, 通过变换其他实验条件, 确定较优的闭路实验流程。

1 原矿性质

1.1 化学分析与矿物组成

原矿化学多项分析, 结果见表 1。通过光薄片鉴定等方法确定了矿石中的矿物组成: 石墨 8%、褐铁矿 3%、石英 40%、长石 20%、白云母 20%、黑云母 6%、角闪石 3%。

表 1 化学多项分析/%
Table 1 Chemical analysis of multi-elements

固定碳	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Ag*	Na ₂ O	K ₂ O	S	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Au*
8.03	59.08	14.21	4.8	1.11	2.47	0.66	0.73	3.1	0.036	0.037	0.51	0.13	0.025

*单位为g/t。

1.2 大鳞片的含量

分析石墨大鳞片含量, 对实验样品进行先酸浸、后碱熔、再酸洗。得到高品位的石墨产品,

对石墨产品再进行筛分及固定碳分析, 便可测定原矿中大鳞片石墨分布率, 结果见表 2。由表 2 可知, +0.15 mm 石墨大鳞片占原矿累计产率为

收稿日期: 2020-04-21; 改回日期: 2020-08-31

作者简介: 张帅 (1989-), 男, 工程师, 研究方向为矿物加工。

表 2 原矿大鳞片石墨分布
Table 2 Large flake graphite distribution of the ore

粒级/mm	产率/%	固定碳/%	固定碳分布率/%
+0.27	0.65	94.63	7.66
-0.27+0.198	1.67	95.84	19.93
-0.198+0.15	0.85	94.36	9.99
-0.15	96.83	5.18	62.42
合计原矿	100.00	8.03	100.00

3.17%，分布率达到 37.58%。

2 选矿实验

2.1 粗选实验

粗选实验的主要任务是尽量提升粗精矿的回收率，降低石墨在尾矿中的损失。通过磨矿细度实验、煤油用量实验、2#油用量实验、粗选时间实验确定最优的粗选实验条件，粗选实验流程见图 1。

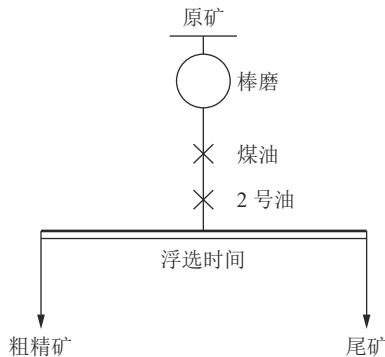


图 1 粗选实验流程
Fig.1 Flowsheet of roughing condition

2.1.1 磨矿细度实验

足够的单体解离是矿物分离的必要条件，合适的磨矿细度有利于提高精矿品位及回收率。矿石中大鳞片石墨含量较高，采用棒磨能够更好的保护石墨鳞片。固定浮选条件为：煤油 48.8 g/t、2#油 56.6 g/t、浮选时间 4 min，磨矿细度实验结果见图 2。

由图 2 实验结果可知，当磨矿细度-0.074 mm 含量为 48% 时，粗精矿可获得较好的固定碳回收率，达到 91.10%，继续提高磨矿细度，粗精矿回收率的增加幅度放缓，继续增加磨矿时间即加大能耗，又使得大鳞片石墨继续损失。因此，选择磨矿细度-0.074 mm 含量 48% 作为后续实验条件。

2.1.2 煤油用量实验

固定浮选条件为：2#油 56.6 g/t、浮选时间

4 min、磨矿细度-0.074 mm 含量 48%，煤油用量自 48.8 g/t、61.0 g/t、73.2 g/t、85.4 g/t 依次变化，实验结果见图 3。

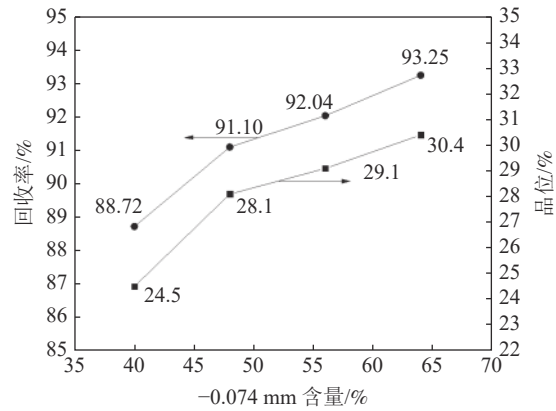


图 2 磨矿细度实验结果
Fig.2 Test results of grinding fineness

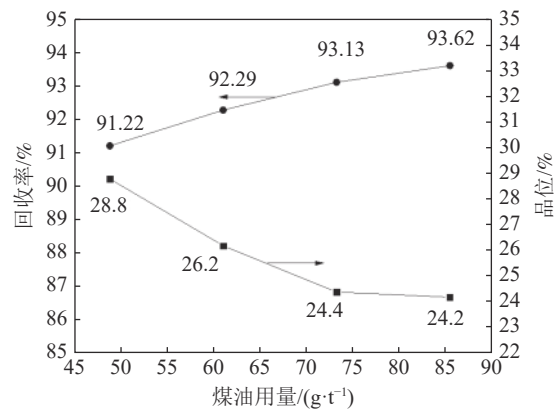


图 3 煤油用量实验结果
Fig.3 Test results of kerosene consumption

由图 3 实验结果可知，煤油用量为 73.2 g/t 时，回收率达到 93.13%，浮选效果较好，故确定煤油用量 73.2 g/t 为后续实验条件。

2.1.3 2号油用量实验

固定浮选实验条件为：煤油 73.2 g/t、浮选时间 4 min、磨矿细度-0.074 mm 含量 48%，2#油用量自 56.4 g/t、70.5 g/t、84.6 g/t、98.7 g/t 依次变化，实验结果见图 4。

由图 4 实验结果可知，当 2#油用量为 84.6 g/t 时，精矿固定碳品位为 23.60%、回收率为 95.66%，指标较好，确定较佳 2#油用量为 84.6 g/t。

2.1.4 粗选时间实验

固定浮选实验条件为：煤油 73.2 g/t、2#油 84.6 g/t、磨矿细度-0.074 mm 含量 48%，浮选时间自 2 min 增至 5 min，实验结果见图 5。

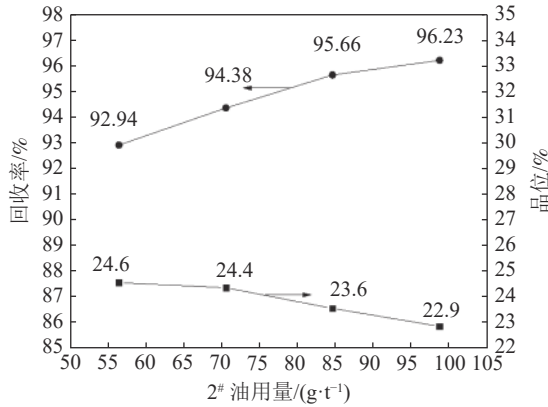


图4 2#油用量实验结果
Fig.4 Test results of 2# oil consumption

由图5实验结果可知，浮选时间在4 min后继续增加浮选时间，粗精矿回收率无明显提升，固确定后续实验粗选时间为4 min。

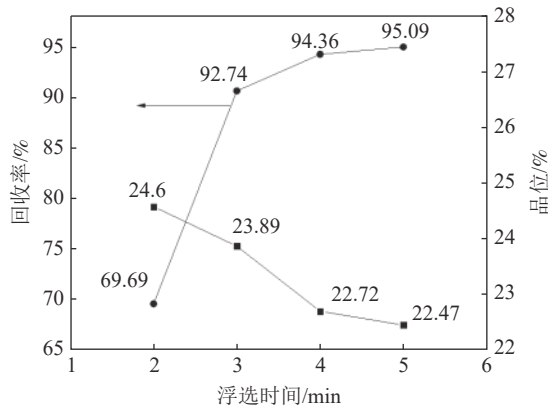


图5 浮选时间实验结果
Fig.5 Test results of flotation time

2.2 开路实验

通过前述条件实验，确定粗选的实验条件和方式基础上增加一段扫选。考虑保护石墨大鳞片，粗精矿再磨作业仍选择棒磨工艺，随着精选次数的增多逐渐提升磨矿时间，以减少前几次再磨时大粒脉石对石墨大鳞片造成的损失，本次实验的再磨时间自一次精选起：4 min、7 min、10 min、10 min、10 min、10 min、10 min、10 min，总精选再磨时间为71 min。开路实验结果见表3，开路实验流程见图6。

由表3可知，精矿固定碳品位达到91.22%，回收率为67.79%。

2.3 闭路实验

在开路实验中，中矿1~4的品位皆小于

表3 开路实验结果
Table 3 Results of open-circuit test

产品名称	产率/%	固定碳品位/%	固定碳回收率/%
精矿	5.96	91.22	67.79
中矿 ⁸	0.83	61.73	6.39
中矿 ⁷	0.83	55.88	5.78
中矿 ⁶	0.90	29.30	3.29
中矿 ⁵	1.10	17.20	2.36
中矿 ⁴	1.94	8.59	2.08
中矿 ³	2.66	5.01	1.66
中矿 ²	6.93	3.88	3.35
中矿 ¹	10.94	1.23	1.68
扫选精矿	2.51	7.82	2.45
尾矿	65.40	0.39	3.17
合计原矿	100.00	8.02	100.00

10%，可集中返回，本次实验确定了中矿1、中矿2、扫选精矿集中返回至粗选，中矿3、中矿4集中返回至一次精选，后续中矿循序返回的闭路流程，实验结果见表4。

由表4可知，闭路流程实验获得：精矿固定碳品位为90.55%，精矿固定碳回收率为94.06%。精矿产品中+0.15 mm精矿固定碳累计品位达到95.26%，固定碳累计分布率为17.68%，对照原矿中+0.15 mm大鳞片石墨分布率为37.58%，可得出精矿+0.15 mm大鳞片保护率47.05%。

3 结论

(1) 原矿经过酸浸、碱熔的提纯，得到石墨大鳞片分布率为37.58%。粗选实验过程中，为保护石墨大鳞片并尽量提高石墨粗精矿的回收率，粗选磨矿选用了棒磨机。

(2) 采用一次粗选一次扫选、粗精矿经八次再磨八次精选，中矿1、中矿2、扫选精矿集中返回至粗选，中矿3、中矿4集中返回至一次精选，后续中矿循序返回的闭路流程。最终获得精矿产品总指标为：固定碳品位90.55%，固定碳回收率94.06%。精矿产品分级指标中+0.15 mm大鳞片石墨的固定碳品位为95.26%，固定碳回收率为17.68%，达到了高碳石墨指标，且+0.15 mm大鳞片石墨保护率为47.05%。

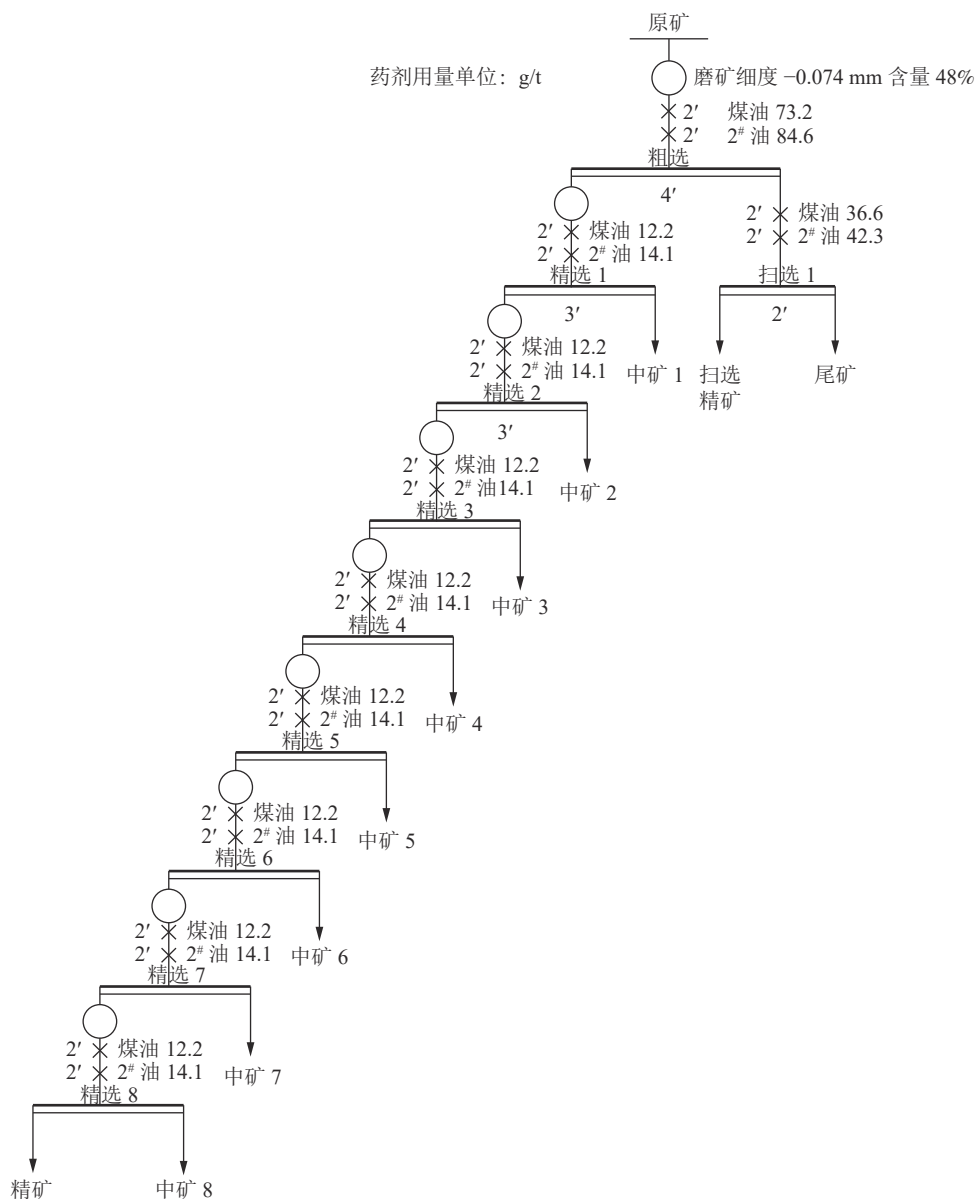


图 6 开路实验流程

Fig.6 Flowsheet of open-circuit test

表 4 产品分析结果

Table 4 Product analysis results

产品名称	产率/%	固定碳回收率/%	固定碳品位/%
+0.15 mm精矿	1.49	17.68	95.26
-0.15 mm精矿	6.85	76.38	89.52
合计精矿	8.34	94.06	90.55
尾矿	91.66	5.94	0.52
合计原矿	100.00	100.00	8.03

参考文献:

[1] 郭佳, 张作伦, 江伟华, 等. 我国典型晶质石墨产区鳞片石墨的特征及其开发利用[J]. 矿产保护与利用, 2018(5):28-31.

GUO J, ZHANG Z L, JIANG W H, et al. Characteristics of flake graphite and its development and utilization in typical crystalline graphite producing areas in China[J]. Protection and Utilization of Mineral Resources, 2018(5):28-31.

[2] 肖骏, 董艳红, 杨建文, 等. 河南某难选晶质石墨矿选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(5):28-31.

XIAO J, DONG Y H, YANG J W, et al. Experimental study on beneficiation of a refractory crystalline graphite ore in Henan Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(5):28-31.

[3] 刘海营, 劳德平, 李崇德, 等. 黑龙江萝北鳞片石墨浮选新工艺研究[J]. 中国矿业, 2015(S2):182-185.

LIU H Y, LAO D P, LI C D, et al. Research on new flotation process of flake graphite from Luobei, Heilongjiang Province[J]. China Mining Industry, 2015(S2):182-185.

[4] 张韬, 程飞飞, 于阳辉. 内蒙古某低品位大鳞片石墨矿选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(1):57-60.

ZHANG T, CHENG F F, YU Y H. Experimental research on beneficiation of a low-grade and large flake graphite ore in

inner mongolia[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2019(1):57-60.

[5] 龙渊, 张国旺. 保护石墨鳞片的磨矿效果表征[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2013(6):32-34.

LONG Y, ZHANG G W, et al. Grinding effect characterization of protective graphite flake[J]. China Nonmetallic Mineral Industry Guide, 2013(6):32-34.

Flotation Test of a Gneiss Scale Graphite Ore

Zhang Shuai, Li Ya, Niu Yanping, He Zhanghui, Chu Jingbo
(Harbin Mineral Resources Supervision and Testing Center of Ministry of
Land and Resources, Harbin, Heilongjiang, China)

Abstract: The structure of a certain graphite ore in Heilongjiang province belongs to gneiss type graphite ore, the gangue minerals are mainly quartz, feldspar and mica, and the metal minerals contain a small amount of limonite. The total fixed carbon content of the raw ore is 8.03%. The fixed carbon content of + 100 mesh large scale graphite in the raw ore accounts for 37.58% of the total fixed carbon content. After the process of one roughing, one scavenging and eight regrinding and eight cleaning, the fixed carbon grade of concentrate is 90.53% and the fixed carbon recovery rate of concentrate is 94.07%. Among them, the fixed carbon grade of + 0.15 mm concentrate is 95.26%, the fixed carbon recovery rate is 17.67%, and the protection rate of +0.15 mm large scale graphite is 47.02%.

Keywords: Graphite; +0.15 mm large scale; Flotation; Grade; Recovery