

# 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<sup>[1-2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。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<sup>[4]</sup>, 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<sup>[5]</sup>。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 <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Ag*	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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。

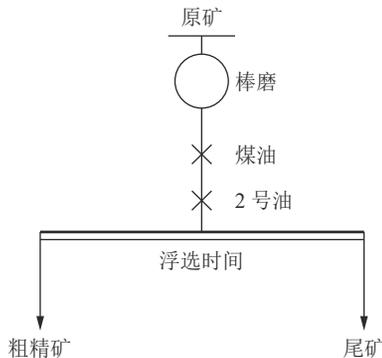


图 1 粗选实验流程  
Fig.1 Flowsheet of roughing condition

#### 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。

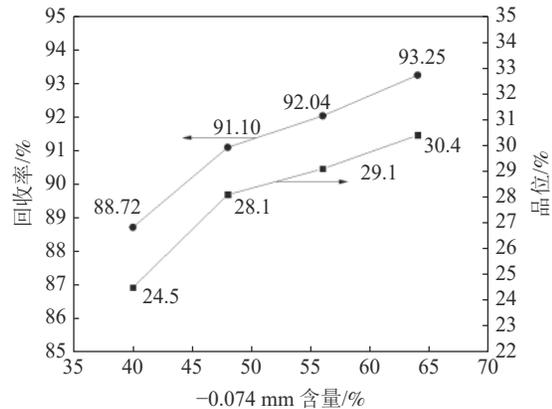


图 2 磨矿细度实验结果  
Fig.2 Test results of grinding fineness

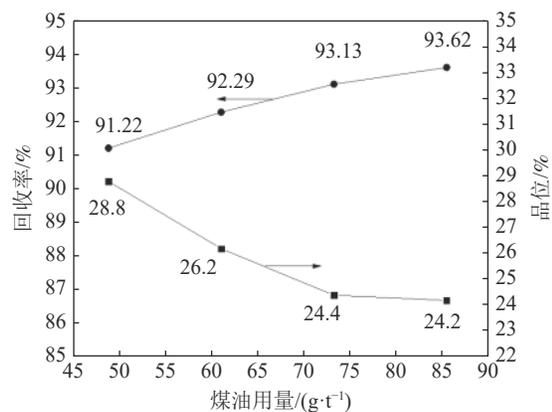


图 3 煤油用量实验结果  
Fig.3 Test results of kerosene consumption

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。

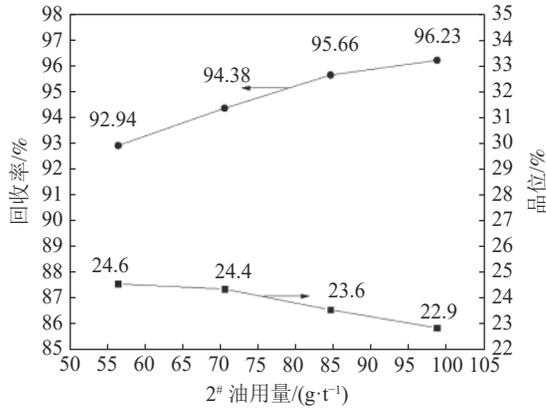


图4 2#油用量实验结果  
Fig.4 Test results of 2# oil consumption

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。

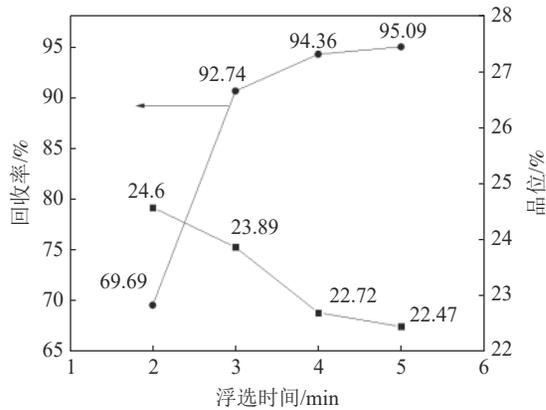


图5 浮选时间实验结果  
Fig.5 Test results of flotation time

## 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，开路实验流程图见图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 <sup>8</sup>	0.83	61.73	6.39
中矿 <sup>7</sup>	0.83	55.88	5.78
中矿 <sup>6</sup>	0.90	29.30	3.29
中矿 <sup>5</sup>	1.10	17.20	2.36
中矿 <sup>4</sup>	1.94	8.59	2.08
中矿 <sup>3</sup>	2.66	5.01	1.66
中矿 <sup>2</sup>	6.93	3.88	3.35
中矿 <sup>1</sup>	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%。

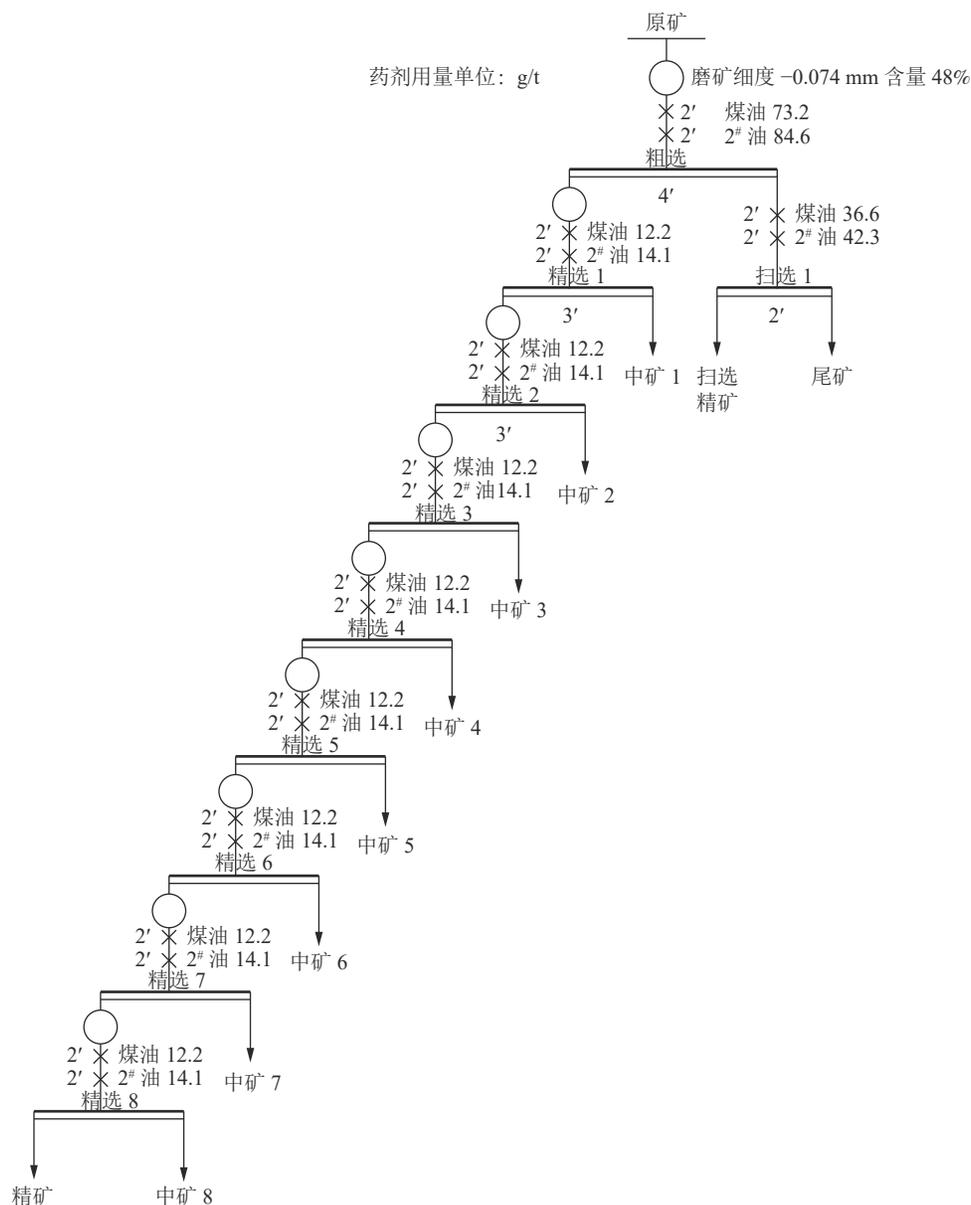


图 6 开路实验流程

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