

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.03.018

某大理岩型石墨矿选矿工艺研究

李 亚,王英凯,张 旭,何章辉,牛艳萍

(黑龙江省地质矿产实验测试研究中心,哈尔滨 150036)

摘 要:某大理岩型石墨矿中大鳞片石墨含量较高,可选性较好。为了高效利用该石墨矿资源,进行了石墨矿鳞片保护选矿工艺研究。试验结果表明,在粗磨磨矿细度为 -0.075 mm 占45%的条件下,粗精矿四次再磨四次精选后筛分分级出 $+0.15\text{ mm}$ 精矿, -0.15 mm 产品经4次再磨5次精选后获得 -0.15 mm 精矿。 $+0.15\text{ mm}$ 精矿产品固定碳含量为91.39%,回收率27.37%, -0.15 mm 精矿产品固定碳含量为94.06%,回收率63.57%,精矿固定碳总回收率为90.94%,该工艺可以有效保护大鳞片石墨。

关键词:石墨;浮选;预先筛分;鳞片保护

中图分类号:TD923;TD97

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2021)03-0104-06

Study on Mineral Processing Technology of a Marble Graphite Ore

LI Ya, WANG Yingkai, ZHANG Xu, HE Zhanghui, NIU Yanping

(Heilongjiang Provincial Research Center of Geological and Mineral Experimental Testing, Harbin 150036, China)

Abstract: The content of large flake graphite in a marble graphite ore is high and its washability is good. In order to efficiently utilize the graphite ore resources, the flake protection beneficiation process of graphite ore was studied. The test results show that under the condition that the grinding fineness of the coarse grinding is -0.075 mm accounting for 45%, $+0.15\text{ mm}$ concentrate can be obtained by screening and classifying after four times of regrinding and four times of cleaning of the rougher concentrate, and -0.15 mm concentrate can be obtained after four times of regrinding and five times of cleaning of -0.15 mm product. The fixed carbon content of $+0.15\text{ mm}$ concentrate is 91.39%, the recovery is 27.37% and the fixed carbon content of -0.15 mm concentrate is 94.06%, the recovery is 63.57%. So the total recovery of fixed carbon is 90.94%. The process can effectively protect large flake graphite.

Key words: graphite; flotation; prescreening; scale-protection

石墨是一种新兴的战略性资源,具有很高的利用价值和开发潜力,目前我国天然石墨的主要应用领域为锂离子电池负极材料、建筑节能材料、高导热石墨块体、高导电石墨纸^[1]。

中国是石墨生产大国,也是石墨产品消费大国,随着近年来电动汽车产业的兴起,石墨产品的需求量也受益增长,BENCHMARK MINERAL 公司预测,2029 年全球天然石墨需求量为 87.3 万 t,而到 2035 将高达 588 万 t^[2]。

1 矿石性质

1.1 矿石主要化学成分分析

矿石类型以石墨大理岩为主,近矿围岩主要为大理岩及二长花岗岩。矿石主要化学成分分析结果见表 1,主要矿物组成及含量见表 2。由表 1 结果可知,矿石中石墨碳含量较低,仅 6.50%,CaO 含量较高,达到 27.57%,SiO₂ 含量较低,为 31.58%,其他成分含量均小于 10.0%。由表 2 结果可知,矿石中

收稿日期:2020-07-01

作者简介:李亚(1967-),男,河南卫辉市人,学士,高级工程师,主要从事试验测试领域相关研究。

有用矿物为石墨,脉石矿物主要为方解石,含量达到 42.0%,其次为石英,含量 17.0%,其他矿物含量均小于 10.0%。

表 1 矿石主要化学成分分析结果

Table 1 Results of main chemical composition analysis of ore

化学成分	固定碳	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	S
含量	6.50	31.58	6.38	27.57	2.67	1.30	2.45	0.24	0.01

表 2 矿石主要矿物组成及含量

Table 2 Main mineral composition and content of ore

矿物名称	石墨	方解石	透辉石	角闪石	石英	长石	绿泥石
含量	6.5	42.0	8.5	4.8	17.0	5.0	4.0
矿物名称	硅灰石	石榴石	白云母	黑云母	黄铁矿	赤褐铁矿	其他
含量	4.2	2.0	2.0	1.5	0.5	1.5	0.5

1.2 矿石中主要矿物的粒度组成

矿石中主要矿物的粒度组成见表 3。由表 3 结果可知,矿石中大鳞片石墨含量较高,达到 43.49%。对石墨原矿进行酸碱—碱熔提纯试验,测定原矿中+0.15 mm 石墨固定碳含量占 37.52%。

根据存在方式石墨可分为两类:1)呈单体或集合体形式存在,和脉石矿物直边相嵌为主,矿石中 95%的石墨都是这类;2)以包裹体形式存在的石墨。矿石中石墨为晶质鳞片状,结晶程度较好,小部分石墨片部分发生变形。

表 3 主要矿物石墨粒度组成

Table 3 Main mineral graphite size composition

粒度/mm	石墨鳞片分布率	石墨鳞片累积分布率
+0.600	3.41	3.41
-0.600+0.300	15.69	19.1
-0.300+0.150	24.39	43.49
-0.150+0.075	27.17	70.66
-0.075+0.037	18.56	89.22
-0.037+0.020	7.87	97.09
-0.020+0.010	2.48	99.57
-0.010	0.43	100.0
合计	100.0	

2 试验结果与分析

2.1 粗选条件试验

2.1.1 粗磨磨矿细度试验

前期探索性试验研究结果表明,矿石可浮性很好,粗粒级也能获得很高的回收率,这对于保护大鳞片石墨是较为有利的。据前人研究^[3-9],棒状介质比

球状介质更容易保护石墨鳞片,因此选择 RK/RM 型三辊四筒棒磨机作为磨矿设备,固定水玻璃用量 1 000 g/t,石灰用量 1 000 g/t,煤油用量 63 g/t,松醇油用量 39 g/t,进行了粗磨磨矿细度试验,试验流程见图 1,试验结果见图 2。由图 2 结果可知,矿石可选性很好,在粗磨条件下即可获得很高的回收率。随着磨矿细度的增加,精矿固定碳含量和回收率都在增加,但增加幅度逐渐放缓,为保护大鳞片石墨,确定粗磨磨矿细度为-0.075 mm 占 45%。

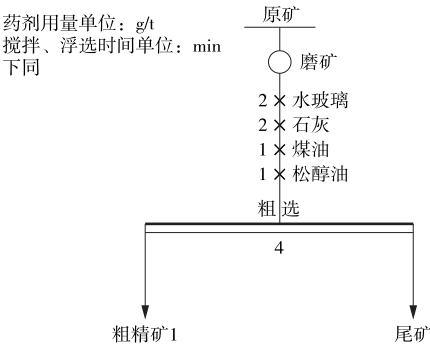


图 1 粗磨磨矿细度试验流程

Fig. 1 Flowsheet of coarse grinding fineness tests

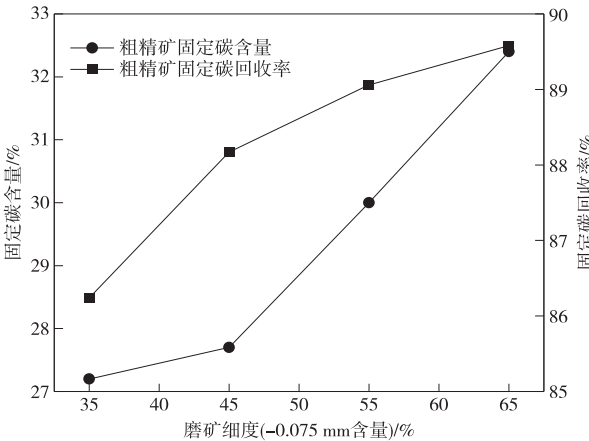


图 2 粗磨磨矿细度试验结果

Fig. 2 Results of coarse grinding fineness tests

2.1.2 粗选煤油用量试验

固定粗选磨矿细度为-0.075 mm 占 45%,水玻璃 1 000 g/t,石灰 1 000 g/t,松醇油 39 g/t,考察了粗选煤油用量对大鳞片石墨浮选的影响,试验流程同图 1,试验结果见图 3。由图 3 结果可知,随着煤油用量增加,粗精矿回收率略有增加,随后趋于平缓。当煤油用量为 88.2 g/t 时,粗精矿回收率较高,达到 91.10%。故后续试验煤油合适用量确定为 88.2 g/t。

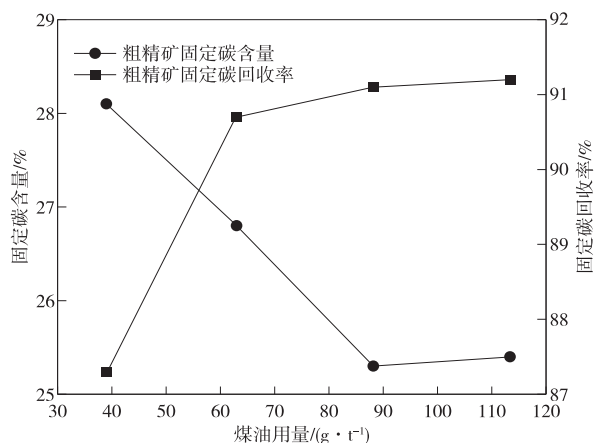


图3 粗选煤油用量试验结果

Fig. 3 Results of roughing kerosene dosage tests

2.1.3 粗选松醇油用量试验

固定粗选磨矿细度为 -0.075 mm 占45%,水玻璃1 000 g/t,石灰1 000 g/t,煤油88.2 g/t,考察了粗选起泡剂松醇油用量对大鳞片石墨浮选的影响,试验流程同图1,试验结果见图4。由图4结果可知,随着松醇油用量增加,粗精矿回收率增加,随后趋于平缓。当松醇油用量为65 g/t时,粗精矿回收率较高,达到91.4%。故后续试验松醇油用量确定为65 g/t。

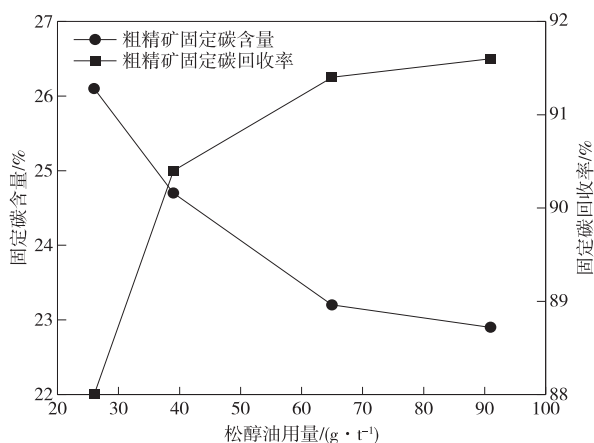


图4 粗选松醇油用量试验结果

Fig. 4 Results of roughing pine oil dosage tests

2.2 开路试验

通过条件试验研究,以及参考国内同类矿石的选别流程,采用精矿预先分级工艺,将合格精矿提前筛分富集,筛下精矿继续精选,试验流程见图5,试验结果见表4。

由表4结果可知,原矿经一次粗磨一次粗选四次再磨四次精选后经 0.15 mm 筛分级,获得固定碳含量91.50%回收率22.39%的 $+0.15\text{ mm}$ 石墨精矿,筛下产品经四次再磨五次精选后获得固定碳94.71%,回收率42.68%的细粒精矿产品,合计精矿固定碳回收率65.07%。

2.3 闭路试验

在条件试验和开路试验基础上,进行了闭路试验,试验流程见图6,试验结果见表5。考虑到中矿返回影响精矿中固定碳含量,因此闭路流程增加一段精选作业以保证精矿中固定碳含量的稳定。在粗磨磨矿细度为 -0.075 mm 占45%的条件下,粗选中矿1、中矿2、中矿3、扫选精矿1合计产率为17.2%,合计固定碳含量为3.78%,可集中返回至粗选,中矿4固定碳含量16.2%,可返回至精选I,后续中矿皆遵循顺序返回的原则。由表5结果可知,通过闭路试验,最终获得了产率为6.35%,固定碳含量为93.24%,固定碳回收率为90.94%的石墨精矿产品,其中 $+0.15\text{ mm}$ 精矿产率为1.95%,固定碳含量为91.39%,固定碳回收率为27.37%。原矿中 $+0.15\text{ mm}$ 石墨分布率37.52%,精矿的 $+0.15\text{ mm}$ 石墨保护率为72.94%。

对石墨精矿产品进行了筛分分析,分析结果见表6。由表6结果可知, $+0.15\text{ mm}$ 石墨主要集中在 $-0.30+0.15\text{ mm}$ 粒级中, $+0.30\text{ mm}$ 粒级中的石墨含量较少。

表4 开路流程试验结果

Table 4 Results of open-circuit process tests

产品名称	产率	固定碳含量	固定碳回收率
-0.15 mm 精矿	2.93	94.71	42.68
$+0.15\text{ mm}$ 精矿	1.59	91.50	22.39
中矿 8	0.15	79.14	1.83
中矿 7	0.27	60.84	2.53
中矿 6	0.45	56.38	3.90
中矿 5	0.99	40.30	6.14
中矿 4	1.20	14.68	2.71
中矿 3	2.27	8.03	2.80
中矿 2	4.66	4.52	3.24
中矿 1	10.26	2.38	3.76
扫 1	1.31	4.17	0.83
扫 2	0.98	3.82	0.57
尾矿	72.94	0.59	6.62
原矿	100.0	6.50	100.0

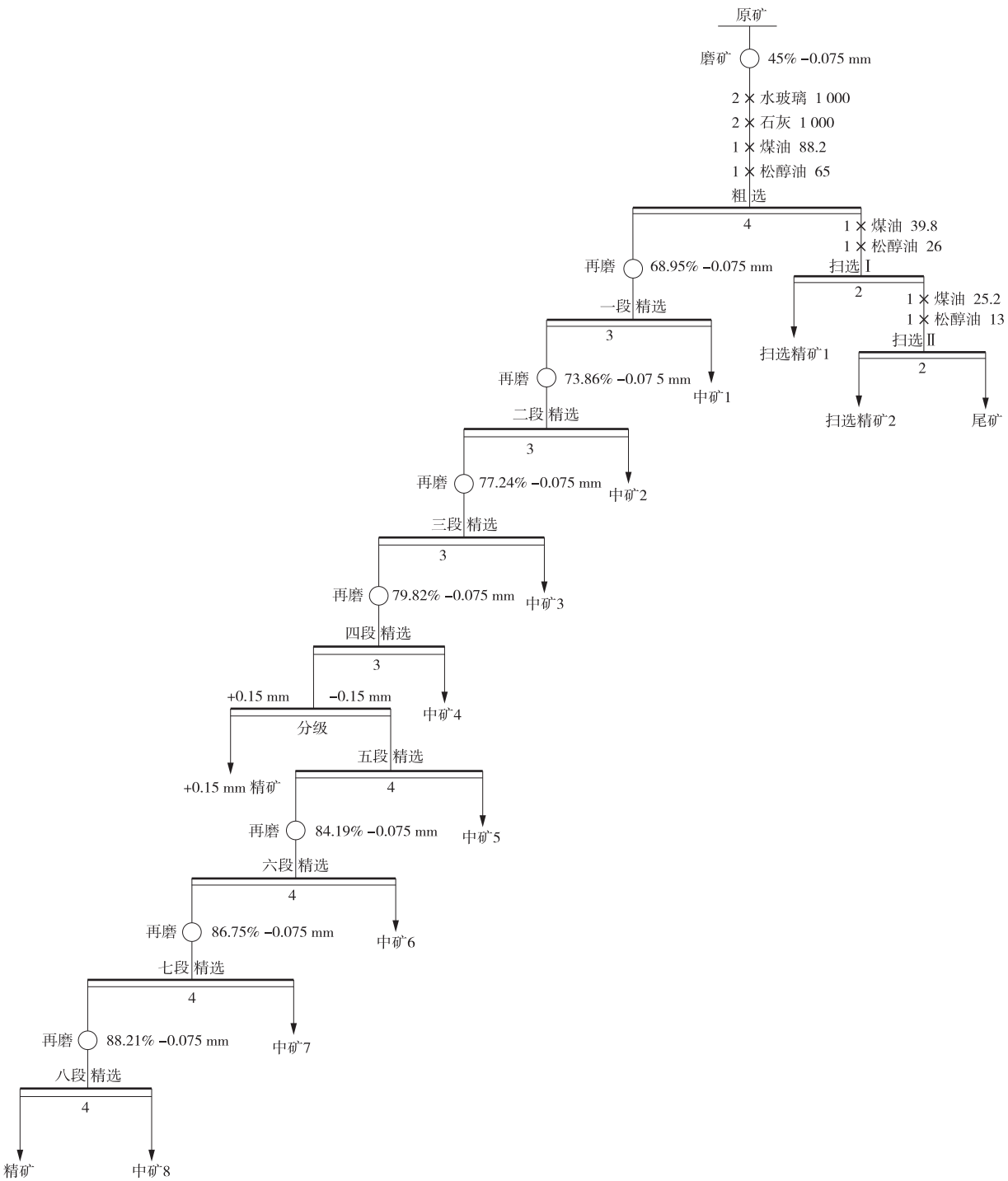


图 5 开路流程试验

Fig. 5 Flowsheet of open-circuit process tests

表 5 闭路试验结果

Table 5 Results of closed-circuit tests / %

产品名称	产率	固定碳含量	固定碳回收率
+0.15 mm 精矿	1.95	91.39	27.37
-0.15 mm 精矿	4.40	94.06	63.57
尾矿	93.65	0.63	9.06
原矿	100.0	6.51	100.0

表 6 +0.15 mm 石墨精矿产品粒度分析结果

Table 6 Results of particle size analysis of +0.15 mm graphite concentrate / %

粒级/mm	产率	固定碳含量	固定碳分布率
+0.30	8.00	93.83	8.05
-0.30+0.15	22.71	90.53	22.05
-0.15	69.29	94.06	69.90
合计	100.0	93.24	100.0

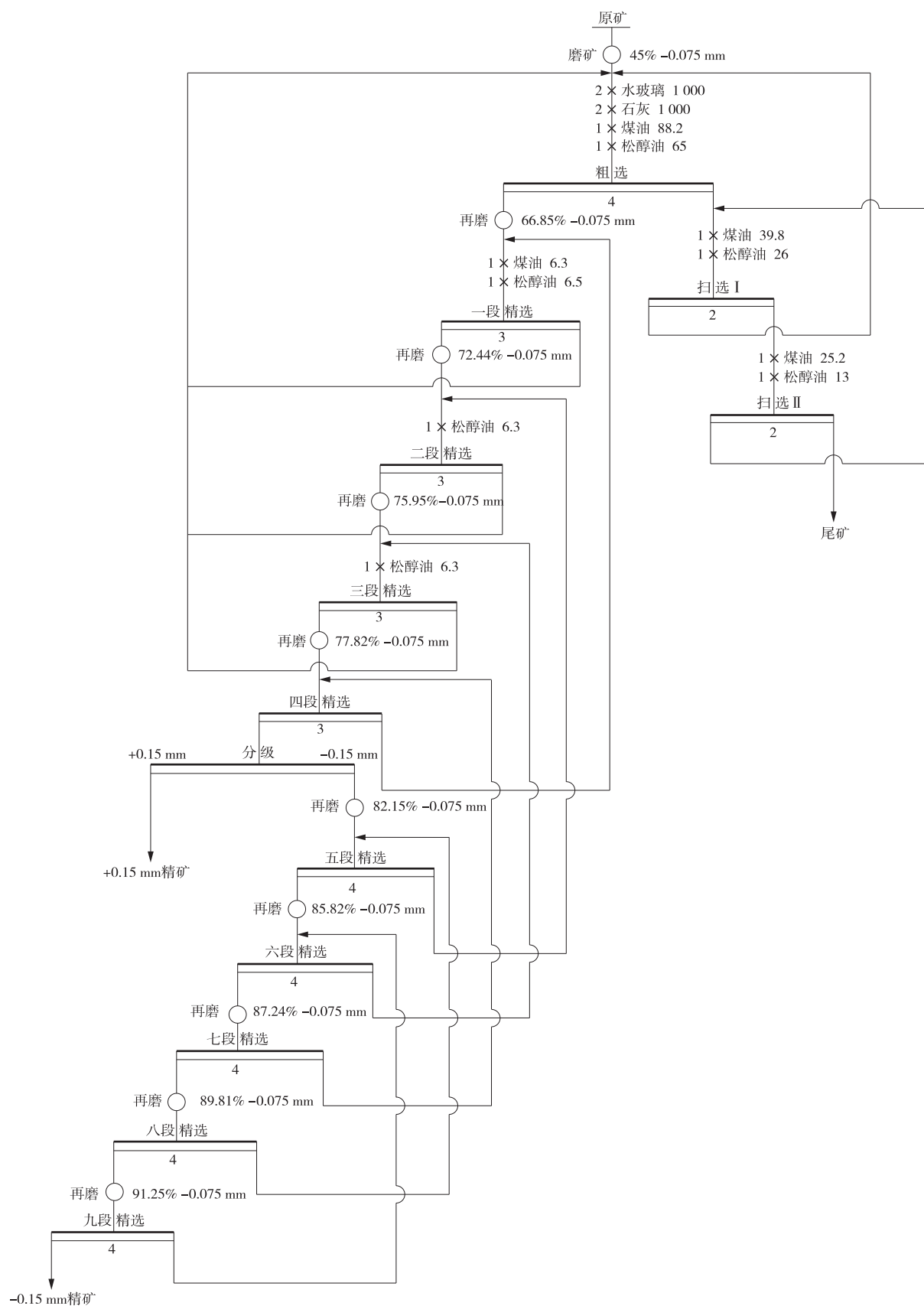


图 6 闭路试验流程

Fig. 6 Flowsheet of closed-circuit tests

3 结论

1)该石墨矿主要以大理岩型为主,含有少量片麻岩,为晶质石墨矿。矿石中石墨固定碳含量为6.50%,其中+0.15 mm的大鳞片石墨分布率为37.52%;脉石矿物主要为方解石、石英、透辉石、长石、角闪石等。

2)采用一次粗磨一次粗选,两次扫选后抛尾,粗精矿四次再磨四次精选后筛分分级出+0.15 mm大鳞片石墨作为精矿,筛下产品再经四次再磨五次精选后获得-0.15 mm精矿。+0.15 mm精矿产品固定碳含量为91.39%,固定碳回收率为27.37%, -0.15 mm精矿产品中固定碳含量为94.06%,固定碳回收率为63.57%,石墨精矿固定碳总回收率为90.94%。

3)原矿中+0.15 mm石墨分布率37.52%, +0.15 mm精矿产品固定碳回收率为27.37%,大鳞片石墨的保护率为72.94%。结果表明,采用精矿预先分级的工艺流程,能够获得高品质的石墨精矿产品,有效保护大鳞片石墨。

参考文献

- [1] 陶则超,闫曦,刘占军.天然石墨的高价值开发与利用[J].炭素技术,2019,38(4):7-16.
TAO Zechao, YAN Xi, LIU Zhanjun. Development and utilization of natural graphite[J]. Carbon Techniques, 2019, 38(4): 7-16.
- [2] 杨卉芃,张亮,刘磊.国外石墨矿产开发利用趋势[J].矿产保护与利用,2019,39(6):14-21.
YANG Huifan, ZHANG Liang, LIU Lei. Development and utilization trend of foreign graphite mineral resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(6): 14-21.
- [3] 谢朝学.保护大鳞片石墨选矿的研究[J].中国非金属矿工业导刊,2005(1):29-32.
XIE Chaoxue. Study on protecting flaky graphite concentration[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2005(1): 29-32.
- [4] 袁慧珍.保护大鳞片石墨的磨矿研究[J].有色金属(选矿部分),1995(5):18-20,29.
YUAN Huizhen. Study on grinding of protected large flake graphite [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 1995(5): 18-20, 29.
- [5] 何培勇,张凌燕,邓成才.非洲某大鳞片石墨矿选择性磨浮试验研究[J].硅酸盐通报,2016,35(9):2826-2831.
HE Peiyong, ZHANG Lingyan, DENG Chengcai. Selective grinding and floating test on flakey graphite in Africa [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2016, 35(9): 2826-2831.
- [6] 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,2015,24(增刊2):182-185.
LIU Haiyin, LAO Deping, LI Chongde, et al. Flotation technical study of Luobei flake graphite in Heilongjiang province [J]. China Mining Magazine, 2015, 24 (S2): 182-185.
- [7] 程飞飞,张韬,于阳辉,等.马达加斯加某大鳞片石墨矿选矿试验研究[J].非金属矿,2017,40(6):76-78.
CHENG Feifei, ZHANG Tao, YU Yanghui, et al. Experimental research on beneficiation of large flake graphite ore in Madagascar [J]. Non-Metallic Mines, 2017, 40(6): 76-78.
- [8] 屈鑫,张凌燕,李希庆.保护石墨大鳞片的分级磨浮新工艺研究[J].非金属矿,2015,38(2):53-55.
QU Xin, ZHANG Lingyan, LI Xiqing. Study on new technology to protect flake graphite by grading for grinding and floating [J]. Non-Metallic Mines, 2015, 38(2): 53-55.
- [9] 袁树礼.分目精选获得高碳石墨的再磨及浮选工艺试验研究[J].中国矿业,2017,26(增刊1):368-371.
YUAN Shuli. Experimental research on regrinding and flotation processing by mineral size separation for high carbon graphite [J]. China Mining Magazine, 2017, 26(S1): 368-371.