

河北某地细粒石墨矿工艺矿物学及选矿工艺研究

刘淑贤^{1,2}, 徐平安^{1,2}, 苏严^{1,2}, 吕作明¹, 聂轶苗^{1,2}

(1. 华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山 063210

2. 河北省矿业开发与安全技术重点实验室, 河北 唐山 063210)

摘要: 石墨由于具有多种优异性能, 被广泛应用于各个行业, 但天然产出的石墨, 常含有多种矿物, 不能直接利用, 因此对石墨的选别提纯具有重要意义。本文在对河北某石墨矿石进行原矿性质分析基础上, 遵循矿物资源利用的集约原则, 提出了多段磨矿多段浮选的工艺流程, 最大限度回收目的矿物。经过四段磨矿, 一次粗选九次精选选别工艺流程, 最终将固定碳含量从6.27%提高到96.55%, 精矿中固定碳含量高于高碳石墨精矿标准(GB/T3518-1995)中对固定碳的要求, 同时回收率为69.29%, 为该矿的开发利用提供了可行的技术方案。

关键词: 石墨; 工艺矿物学; 多段磨矿多段浮选; 细粒

doi: 10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.027

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 01-0157-09

石墨为层状结构硅酸盐矿物, 具有多种优异性能, 被广泛用于众多行业, 随着我国经济发展和科学技术迅猛发展, 其应用领域不断扩大, 对石墨的需求也大幅增加^[1-4], 如石墨烯等新型材料的开发等。传统石墨的选别方法, 因天然石墨的可浮性较好, 对于嵌布粒度较大的石墨, 多采用浮选进行选别提纯, 而对于嵌布粒度较细的石墨矿石, 由于可浮性变差, 浮选比较困难, 一般难以得到高品位的精矿产品^[5-9]。

本文针对河北某地细粒嵌布石墨矿, 在对原矿进行成分、矿物组成等分析的基础上, 提出多段磨矿多段选别单一浮选工艺流程, 最终得到回收率为69.29%, 固定碳含量为96.55%的高碳石墨精矿。

1 石墨原矿性质分析

1.1 矿石成分分析

将石墨原矿多段破碎混匀-筛分后, 得到-2 mm 实验样品, 原矿多元素分析结果见表1。

表1 石墨原矿多元素分析 /%

Table 1 Multi-element analysis of the graphite ore

P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	V ₂ O ₅	SO ₃	ZnO	ZrO ₂
0.135	0.755	6.76	0.579	0.46	0.026	0.121	0.251	0.016

从表1中可见有价元素是碳和铁, 实验定为浮选回收石墨, 然后对石墨浮选综合尾矿弱磁选回收铁。由于磁选回收磁铁矿比较常规, 本实验不进行讨论。

1.2 原矿物相分析

采用XRD (X射线衍射分析) 对石墨原矿进行物相成分分析, 结果见图1。

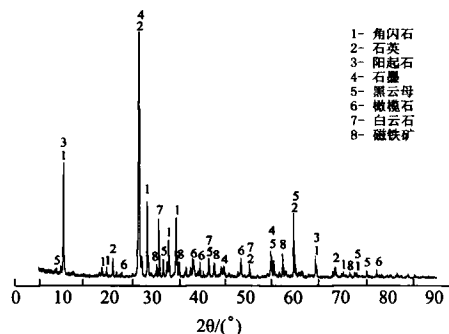


图1 矿石XRD图谱

Fig.1 XRD spectrum of the ore

收稿日期: 2019-09-30; 改回日期: 2019-12-20

作者简介: 刘淑贤 (1970-), 女, 教授, 博士, 研究方向为矿物加工工程。

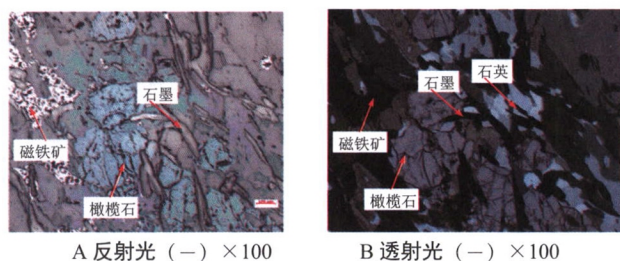
主要矿物为石墨、石英、橄榄石、磁铁矿、角闪石、白云石、黑云母和阳起石，物相成分较为复杂。

1.3 矿物组成及嵌布特征研究

为了进一步研究该矿石中各种矿物组成含量及目的矿物与脉石矿物之间的嵌布关系，采用透/反两用偏光显微镜，对该矿石进行测试分析，结果表明，有用矿物为石墨，脉石矿物为橄榄石、角闪石、磁铁矿，少量石英和黑云母等。

1.3.1 目的矿物

石墨含量 15% ~ 18%，嵌布粒度较细且不均匀，多呈细长片状，见图 2A 中灰色细长片，突起明显，片宽约 0.03 ~ 0.1 mm，最大约 0.3 mm，多与脉石矿物毗邻镶嵌，图 3 中石墨与橄榄石和石英不规则毗邻，图 4 中石墨部分被白云石镶嵌。



A 反射光 (—) ×100 B 透射光 (—) ×100

图 2 条带状石墨照片

Fig. 2 Stripped graphite photograph

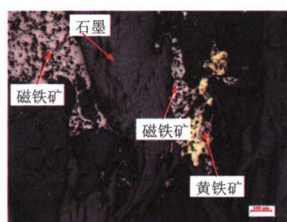


图 3 石墨与金属矿物嵌布特征

Fig. 3 Embedded diagram between graphite and the metal ores



图 4 石墨与非金属脉石矿物嵌布特征

Fig. 4 Embedded diagram between graphite and the non-metal ores

1.3.2 脉石矿物:

橄榄石含量 30% ~ 35%，粒度约 0.1 ~ 0.3 mm，自形粒状，裂隙发育，图 2B 中部分石墨（黑色）被橄榄石包裹，图 4 中大颗粒的橄榄石与石墨不规则毗邻。

磁铁矿含量 8% ~ 10%，多呈它形粒状，与石墨规则毗邻，见图 2A 中亮白色部分。

角闪石含量 8% ~ 10%，图 4 中浅褐色粒状，大多与石墨毗邻，极少量石墨被角闪石颗粒包裹。

白云石含量 3% ~ 6%，粒度约 0.6-2 mm，图 4 中呈马鞍形，与石墨等毗连共生。

黑云母含量约 1% ~ 2%，粒度约 0.1 ~ 1 mm，多以片状出现（见图 4），与石墨毗连。

少量矿物黄铁矿和褐铁矿含量均为 1% ~ 3%。

2 选矿条件实验

原矿石的工艺矿物学研究表明，有用矿物石墨嵌布粒度较细且不均匀，与脉石矿物毗邻、镶嵌，少量被脉石矿物包裹，因此需要对该矿石进行阶段磨矿阶段选别。下面对该石墨矿进行了不同磨矿细度条件试验、浮选影响因素以及工艺流程等试验研究。

2.1 一段磨矿细度及粗选条件实验

2.1.1 一段磨矿细度实验

为了使有用矿物石墨与脉石矿物达到单体解离，而且保持石墨的最大鳞片结构，因此选用阶段磨矿阶段选别流程，首先对石墨原矿进行了一段磨矿细度实验，取 5 份 1 kg (-2mm) 原矿，用 XMB (240×300)mm 棒磨机分别磨矿不同时间，磨矿浓度为 55%。按照图 5 进行磨矿细度实验。实验结果见图 6。

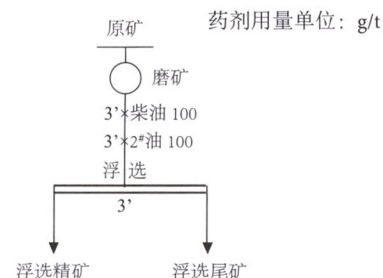


图 5 一段磨矿细度实验

Fig. 5 One-stage grinding fineness test

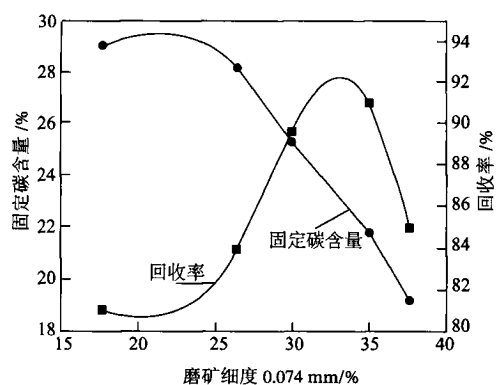


图6 一段磨矿细度对粗选精矿指标的影响

Fig. 6 Effect of one-stage grinding fineness on the index of roughing concentrate

图6表明,随着磨矿细度-0.074 mm 17.66%增加到37.66%,精矿固定碳含量从29%逐渐降低到19.16%,回收率先从81.01%增加到90.94%后降低到84.96%,当磨矿细度为-0.074 mm 34.99%时,固定碳含量可达21.80%,回收率为90.94%,而当磨矿细度达到-0.074 mm 37.66%时,固定碳含量为19.16%和石墨回收率为84.96%,较-0.074 mm 34.99%时分别下降2.64%和5.98%,因此一段磨矿细度定为-0.074 mm 34.99% (后面取35%)。

2.1.2 粗选条件实验

(1) 捕收剂用量实验

将磨矿细度-0.074 mm 35%的石墨原矿样,在不同捕收剂柴油用量下试验,其中浮选浓度30%,2[#]油用量为25 g/t。实验结果见图7。

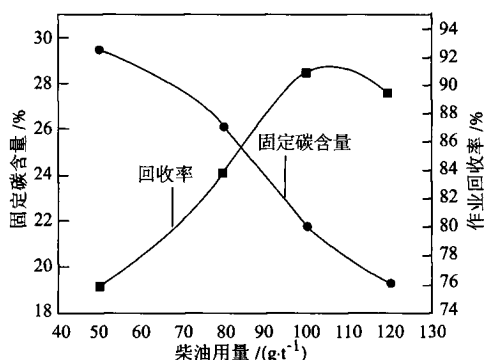


图7 捕收剂柴油用量对粗选精矿指标的影响

Fig. 7 Effect of the collector diesel dosage on the index of roughing concentrate

随着捕收剂用量的增加,粗选精矿的产率由16.22%增加到29.01%,固定碳含量由29.45%降低

到19.31%,回收率由捕收剂用量为50 g/t的75.94%增加到100 g/t的90.94%后,又降低到120 g/t的89.49%,由于粗选要保证较高的回收率,因此粗选柴油用量定为100 g/t。

(2) 起泡剂用量实验

进行起泡剂2[#]油用量实验,浮选柴油用量100 g/t,其他条件,实验结果见图8。

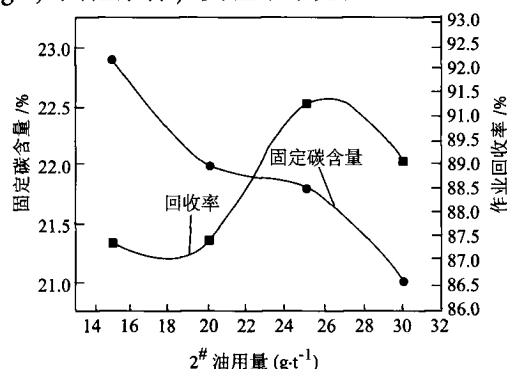


图8 起泡剂2[#]油用量对粗选精矿指标的影响

Fig. 8 Effect of the foam agent 2[#] dosage on the index of roughing concentrate

随着起泡剂用量的增加,浮选精矿的产率也随之增加,固定碳含量由22.89%降低到21.01%,回收率由起泡剂用量为15 g/t的87.65%增加到25 g/t的90.94%后,又降低到30 g/t的89.59%,鉴于粗选对高回收率的要求,粗选2[#]油用量定为25 g/t。

(3) 粗选矿浆浓度实验

进行矿浆浓度实验。石墨原矿样磨矿细度-0.074 mm 35%,柴油用量100 g/t,2[#]油用量25 g/t,其他浮选条件不变,实验结果见图9。

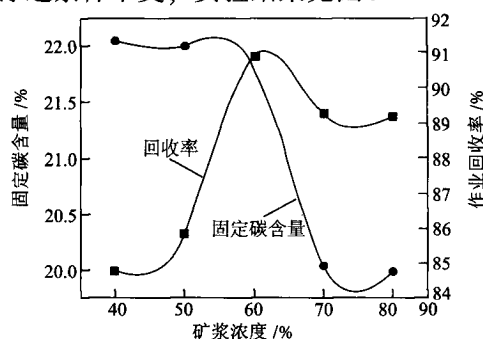


图9 矿浆浓度对浮选指标的影响

Fig. 9 Effect of pulp concentration on flotation index

随着粗选矿浆浓度由20%增加到40%,粗选精矿的固定碳含量由22.04%降低到19.98%,回

收率由粗选浓度为 20% 的 84.77% 增加到 30% 的 90.87% 后, 又降低到 40% 的 89.17%, 因此鉴于粗选回收率的要求粗选浓度定为 30%。

因此, 浮选粗选的工艺条件定为: 粗选矿浆浓度为 30%, 捕收剂用量为 100 g/t, 起泡剂用量为 25 g/t, 粗选精矿固定碳含量达到 21.80%, 产率为 26.18%, 回收率为 90.87%。

2.2 二段磨矿、三段磨矿、四段磨矿细度及浮选工艺条件实验

虽然粗选精矿回收率为 90.87%, 但粗选精矿固定碳含量仅达到 21.80%, 由于工艺矿物学表明, 石墨矿物部分被白云石镶嵌, 为了进一步提高石墨的品位, 需对粗选精矿再磨再选, 在粗选精矿基础上进行了二段磨矿、三段磨矿、四段磨矿细度实验、浮选条件实验、精选次数实验等研究。实验条件见表 2。

表 2 二段磨矿、三段磨矿、四段磨矿细度及浮选工艺条件
Table 2 Two-stage, three-stage and four-stage grinding fineness and the technical condition of flotation

作业	磨矿细度 /-0.074 mm%	捕收剂柴 油用量 /(g·t ⁻¹)	起泡剂 2 [#] 油用量 /(g·t ⁻¹)	精选次数 /次
二磨	46.21、60.18、 70.15、80.14、 89.97	50、65、 80、100	10、15、 20、25	1、2、 3、4
三磨	51.97、54.89、 57.39、60.03、 64.01	30、35、 40、45	5、8、 10、12	1、2、 3、4
四磨	61.74、64.19、 67.34、70.11、 73.02	10、15、 20、25	2、3.5、 5、7	1、2、 3、4

2.2.1 二段磨矿细度试验及浮选条件实验结果

(1) 二段磨矿细度实验结果

二段磨矿细度结果见图 10。

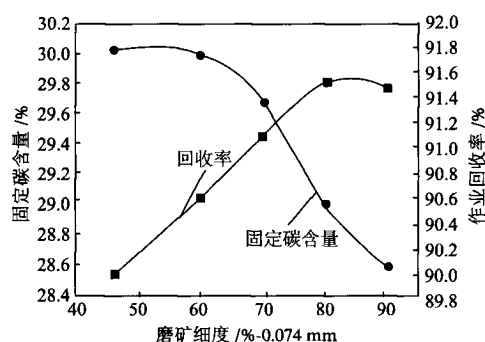


图 10 二段磨矿细度对浮选指标的影响

Fig. 10 Effect of two-stage grinding fineness on flotation index

随着磨矿细度的增加, 精矿固定碳含量呈逐渐降低的趋势, 而作业回收率呈增加的趋势, 当磨矿粒度为 -0.074 mm 80.14% 时, 固定碳含量可达 29.00%, 回收率为 91.52%, 而当磨矿细度达到 -0.074 mm 80.14% 时, 固定碳含量和作业回收率均有所下降, 因此二段磨矿细度定为 -0.074 mm 80.14% (后面取 80%)。

(2) 捕收剂用量实验结果

将二磨磨矿细度 -0.074 mm 80% 的粗选精矿作为原矿进行了捕收剂用量实验, 实验结果见图 11。

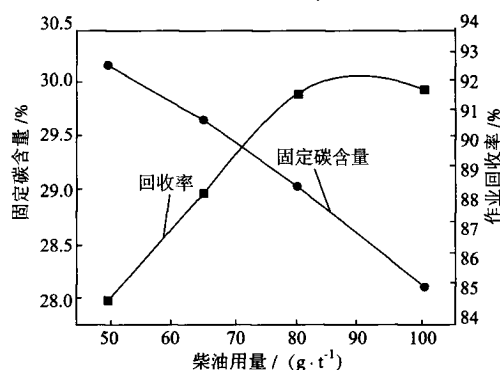


图 11 捕收剂用量对二磨精选指标的影响

Fig. 11 Effect of collector dosage on two-stage cleaning separation index

随着捕收剂用量的增加, 捕收上来的精矿的产率随之增加, 使得固定碳含量随之降低, 精矿作业回收率先是随着柴油用量的增加而增加, 当捕收剂柴油的用量为 80 g/t 时, 回收率由 84.26% 增加到 91.52%, 但当捕收剂用量增加到 100 g/t 时, 作业回收率由 91.52% 增加到 91.69%, 仅增加了 0.17%, 而固定碳含量由 29% 下降到 28.07%, 降低了 0.93%, 综合考虑固定碳含量和作业回收率, 柴油用量定为 80 g/t。

(3) 起泡剂用量实验结果

起泡剂 2 号油用量条件实验结果见图 12。

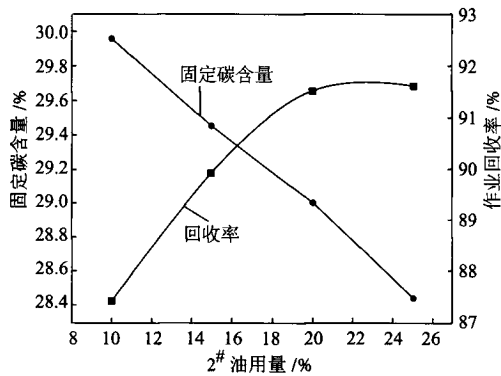


图 12 起泡剂用量对二磨精选指标的影响

Fig.12 Effect of foam agent dosage on two-stage cleaning separation index

随着起泡剂用量的增加，固定碳含量随之降低，回收率随之增加，2[#]油的用量为由20 g/t增加到25 g/t时，精矿作业回收率为91.52%增加到91.61%，回收率仅增加了0.09%，二段磨矿分选在保证回收率的同时要考虑药剂用量是否经济，故二段磨矿后精选2[#]油用量定为20 g/t。

(4) 精选次数实验结果

将磨矿细度为-0.074 mm 80%的粗精矿在捕收剂用量为80 g/t、起泡剂用量为20 g/t的浮选条件下，进行精选次数试验，药剂只在每次磨矿后第一次精选时加药，后续几次精选不加药，实验结果见表3。

表 3 粗精矿再磨精选次数试验结果

Table 3 Test results of regrinding times of roughing concentrate

精选次数	产品名称	作业产率 /%	固定碳含量 /%	作业回收率 /%
一次精选	一次精选精矿	55.67	33.61	85.02
	一次精选尾矿	13.78	10.39	6.5
二次精选	二次精选精矿	45.38	38.43	79.24
	二次精选尾矿	10.29	12.37	5.78
三次精选	三次精选精矿	39.72	41.28	74.49
	三次精选尾矿	5.66	18.43	4.75
四次精选	四次精选精矿	37.4	42.57	72.23
	四次精选尾矿	2.32	21.45	2.26

二磨后经过三次精选精矿的固定碳含量达到41.28%，作业回收率达到74.49%，虽然四次精选精矿固定碳含量为42.57%，增加了1.29%，但是四次精选尾矿品位高达21.45%，故二段磨矿精选次数定为三次精选。

2.2.2 三段磨矿细度实验及浮选条件实验结果

(1) 三段磨矿细度实验结果

二磨三次精选精矿固定碳含量仅为41.28%，还没有达到低碳石墨精矿标准，因此应对精矿再磨，提高石墨的单体解离度，以提高石墨精矿固定碳含量。三段磨矿细度实验结果见图13。

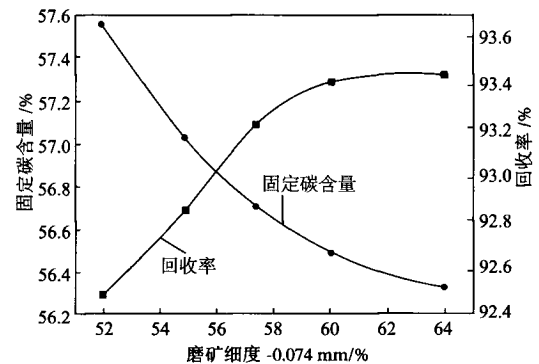


图 13 三段磨矿细度对精矿指标的影响

Fig.13 Effect of three grinding times on concentrate index

随着磨矿细度的增加，精矿固定碳含量呈逐渐降低的趋势，而作业回收率呈增加的趋势，但当磨矿细度为-0.074 mm 60.03%时，精矿品位和作业回收率趋于稳定，因此三段磨矿粒度定为-0.074 mm 60.03%（后面取60%）。

三段磨矿细度为-0.074 mm 60%，比第二次磨矿细度-0.074 mm 80%要粗，经分析认为：

A、石墨为层状结构，在磨矿时主要沿层间的分子键断裂或者沿石墨与脉石矿物之间断裂，三磨时石墨呈片状，筛分时不易成为筛下产物；

B、二磨原矿为粗选精矿，固定碳含量达到21.80%，说明粗选精矿还含有大量脉石矿物，这些脉石矿物筛分时易成为筛下产物，而三磨时原矿固定碳含量达到41.28%，其石墨含量相比原矿高度富集，三磨时层状结构石墨较多，因此三段磨矿后筛分细度要比二磨细度要粗。

(2) 捕收剂用量实验结果

将磨矿粒度-0.074 mm 60%的二磨精矿作为原矿进行捕收剂用量实验，捕收剂柴油用量分别为30 g/t、35 g/t、40 g/t、45 g/t，结果见图14。

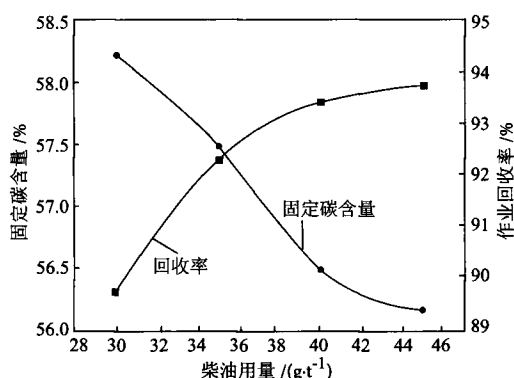


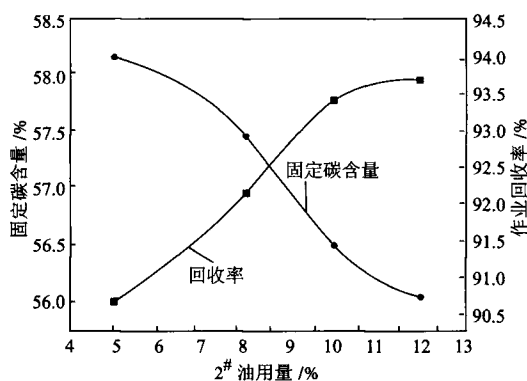
图 14 捕收剂用量对三磨精矿指标的影响

Fig. 14 Effect of collector dosage on three grinding concentrate index

随着捕收剂用量的增加, 固定碳含量随之降低, 作业回收率随之增加, 当捕收剂柴油的用量为 40 g/t 时, 回收率较高, 之后随着捕收剂用量的增加, 作业回收率上升不明显, 且精矿固定碳含量下降明显, 因此三段磨矿柴油用量定为 40 g/t。

(3) 起泡剂用量实验结果

2[#] 油用量分别为 5 g/t、8 g/t、10 g/t、12 g/t 的试验结果见图 15。

图 15 起泡剂 2[#] 油用量对三磨精矿指标的影响Fig. 15 Effect of the dosage of the foam agent 2[#] oil on three grinding concentrate index

随着起泡剂 2[#] 油用量的增加, 固定碳含量随之降低, 回收率随之增加, 但是当起泡剂 2[#] 油的用量超过 10 g/t 时, 回收率上升缓慢, 故决定三段磨矿分选 2[#] 油用量定为 10 g/t。

(4) 精选次数实验结果

对二磨精矿三段磨矿后进行精选次数实验, 结果见表 4。

表 4 二段精矿三磨精选次数试验结果

Table 4 Test results of three grinding times of two-stage concentrate

精选次数	产品名称	作业产率 / %	固定碳含量 / %	作业回收率 / %
一次精选	一次精选精矿	68.26	56.49	93.42
	一次精选尾矿	31.74	8.56	6.58
二次精选	二次精选精矿	55.48	66.69	88.98
	二次精选尾矿	12.78	14.33	4.44
三次精选	三次精选精矿	51.42	70.48	87.18
	三次精选尾矿	4.06	18.33	1.80
四次精选	四次精选精矿	49.31	72.04	86.05
	四次精选尾矿	2.11	22.12	1.13

随着精选次数的增加, 固定碳含量逐渐增加, 作业回收率逐渐降低, 当进行四次精选时候, 四次精选精矿固定碳含量仅比三次精选增加了 1.56%, 且抛尾量低, 仅为 2.11%, 尾矿品位较高, 为 22.12%, 综合考虑运行成本及回收率, 决定三段磨矿产品进行三次精选, 此时浮选精矿品位为 70.48%, 作业回收率为 87.18%。

2.2.3 四段磨矿细度试验及浮选条件实验结果

(1) 四段磨矿细度实验结果

由于三段磨矿精矿固定碳含量仅为 70.48%, 为了提高石墨固定碳含量, 需要对三段磨矿精矿再磨再选, 四磨细度实验结果见图 16。

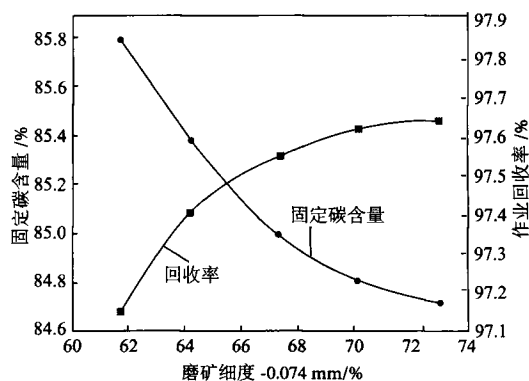


图 16 四段磨矿细度对精矿指标的影响

Fig. 16 Effect of four-stage grinding fineness on concentrate index

随着磨矿粒度的增加, 精矿固定碳含量呈逐渐降低的趋势, 而回收率呈增加的趋势, 但当磨矿细度为 -0.074 mm 70.11% 时, 精矿品位和回收率趋于稳定, 因此四段磨矿细度定为 -0.074 mm

70.11% (后面取 70%)。

(2) 捕收剂用量实验结果

将磨矿细度 -0.074 mm 70% 的三磨精矿作为原矿，不同柴油捕收剂用量实验结果见图 17。

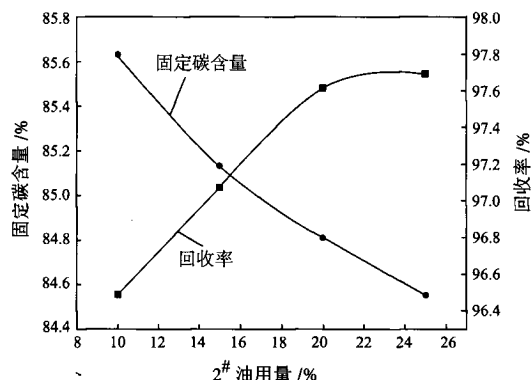


图 17 捕收剂柴油用量对四磨精矿指标的影响

Fig. 17 Effect of collector diesel dosage on four grinding concentrate index

随着捕收剂用量的增加，固定碳含量随之降低，回收率随之增加，但是当捕收剂的用量超过 20 g/t 时，回收率上升缓慢，因此四段磨矿精选柴油用量定为 20 g/t。

(3) 起泡剂用量实验结果

将磨矿细度 -0.074 mm 70% 的石墨粗精矿进行了浮选的起泡剂用量实验，2# 油用量分别为 2 g/t、3.5 g/t、5 g/t、7 g/t。结果见图 18。

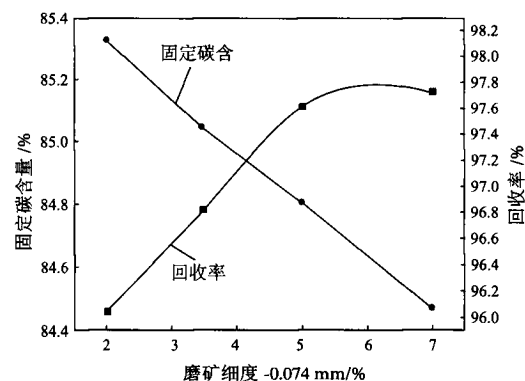


图 18 起泡剂 2# 油用量对四磨精矿指标的影响

Fig. 18 Effect of the foam agent 2# oil dosage on four grinding concentrate index

随着起泡剂用量的增加，固定碳含量随之降低，回收率随之增加，但是当起泡剂 2# 油的用量超过 5 g/t 时，回收率上升缓慢，故决定四段磨矿分选 2# 油用量定为 5 g/t。

(4) 精选次数实验结果

将磨矿粒度达到 -0.074 mm 70% 的四段磨矿产品进行浮选精选次数实验，实验见表 5。

表 5 三段精矿四磨精选次数实验结果

Table 5 Test results of four grinding times of three-stage concentrate

精选次数	产品名称	作业产率 /%	固定碳含量 /%	作业回收率 /%
一次精选	一次精选精矿	68.26	56.49	97.59
	一次精选尾矿	18.89	8.93	2.41
二次精选	二次精选精矿	71.33	94.29	95.44
	二次精选尾矿	9.78	15.67	2.17
三次精选	三次精选精矿	68.37	97.54	94.64
	三次精选尾矿	2.86	19.68	0.80
四次精选	四次精选精矿	67.34	98.63	94.25
	四次精选尾矿	1.03	26.56	0.39

随着精选次数的增加，精矿固定碳含量逐渐提高，回收率逐渐降低，当进行四次精选时候，回收率降低缓慢，且抛尾量低，仅为 1.03%，尾矿品位较高，为 26.56%，综合考虑运行成本及回收率，三次精选产品已达到理想指标，决定四段磨矿产品进行三次精选，此时浮选精矿品位为 97.54%，阶段回收率为 94.64%。

2.3 粗选尾矿扫选实验

由于粗选尾矿固定碳含量虽然较低，为 0.77%，但粗选尾矿产率较高，为 73.82%，为提高石墨回收率，对尾矿进行一次扫选实验。扫选柴油用量为 40 g/t，2# 油用量为 10 g/t，结果见表 6。扫选精矿品位为 6.33%，可将扫选精矿返回到一磨粗选；扫选尾矿品位较低，不进行二次扫选。

表 6 扫选实验结果

Table 6 Scavenging test results

产品名称	产率 /%	固定碳含量 /%	作业回收率 /%
扫选精矿	0.57	6.33	0.05
扫选尾矿	99.43	0.73	0.95
合计	100	0.77	100

2.4 推荐工艺流程

通过阶段磨矿阶段选别的磨矿细度实验和浮选条件实验，得出各段磨矿细度及相应阶段的浮选药剂制度，最终推荐闭路工艺流程见图 19。

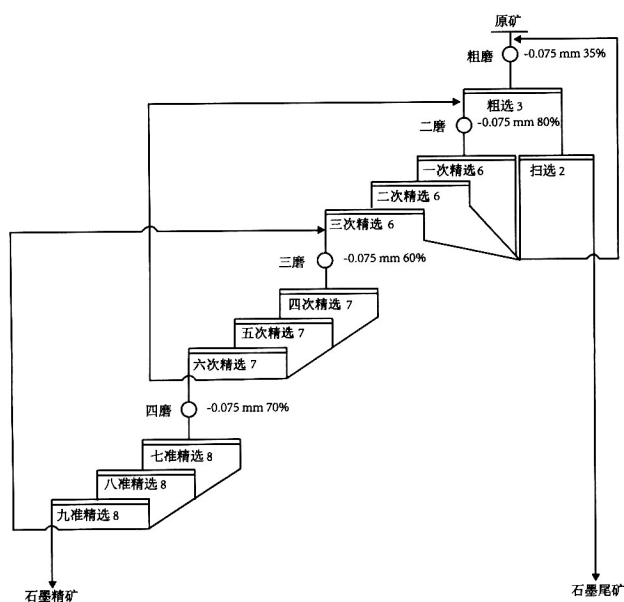


图 19 石墨选矿推荐流程

Fig.19 Recommended flowsheet of graphite beneficiation

选别工艺最终采用四段磨矿，一次粗选、一次扫选、九次精选选别流程，具体实验结果见表 7 所示。

表 7 浮选流程实验结果
Table 7 Test results of flotation flowsheet

产品名称	产率 /%	固定碳含量 /%	回收率 /%
石墨精矿	4.50	96.55	69.29
石墨尾矿	95.50	2.02	30.71
合计	100	6.27	100

最终所得石墨精矿的固定碳含量达到 96.55%，高于高碳石墨精矿标准（GB/T 3518-1995）^[10] 中对固定碳 94% 的要求，回收率为 69.29%。

为了进一步确定所选最终精矿的形貌，对该产品进行了 SEM（扫描电子显微镜）分析，见图 20。

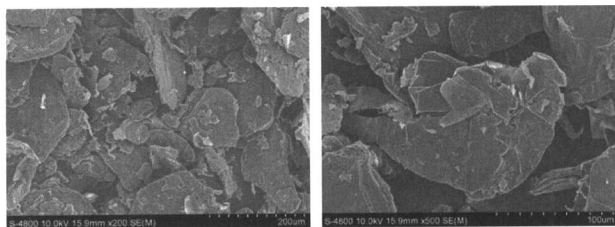


图 20 最终精矿的 SEM

Fig.20 SEM spectrum of the final concentrate

最终精矿中石墨呈良好的鳞片状，大小不均匀，鳞片最大约为 100 μm 左右，最小约为 30 μm 。

3 结 论

1) 原矿成分和工艺矿物学分析表明，石墨嵌布粒度较细且不均匀，与磁铁矿和橄榄石等矿物不规则毗邻、镶嵌，少量被包裹，因此应采用多段磨矿多段精选工艺流程。

2) 通过四段磨矿及浮选条件试验，确定石墨的四段磨矿、一次粗选、一次扫选、九次精选工艺流程，最终所得石墨精矿的固定碳含量达到 96.55%，高于高碳石墨精矿标准（GB/T 3518-1995）中对固定碳 94% 的要求，回收率为 69.29%。

参考文献：

- [1] 吕作明. 青龙铁矿伴生石墨矿选矿工艺研究 [D]. 唐山：华北理工大学, 2017:3.
- [2] LV Z M. Study on processing technology of associated graphite ore in qinglong iron mine [D]. Tangshan: north China university of science and technology, 2017:3.
- [3] 孙政元, 曾钦, 李根兴, 等. 低品位石墨矿晶体保护选矿工艺研究 [J]. 矿产保护与利用, 2012 (5):39-41.
- [4] SUN Z Y, ZENG Q, LI G X, et al. Study on mineral processing technology of low-grade graphite crystal protection [J]. Mineral Protection and Utilization, 2012 (5):39-41.
- [5] 佟红格尔, 孙敬锋, 王林祥. 预先选别法保护鳞片石墨选矿工艺研究 [J]. 矿产保护与利用, 2010 (6):37-39.
- [6] TONG H G, SUN J F, WANG L X. Study on the protection of flake graphite mineral processing by pre-separation method [J]. Mineral Protection and Utilization, 2010 (6):37-39.
- [7] 余学斌, 方和平, 肖玉菊. 细鳞片石墨的浮选提纯研究 [J]. 矿产保护与利用, 2000 (1):14-16.
- [8] YU X B, FANG H P, XIAO Y J. Study on floatation and purification of carbon and graphite from fine scales [J]. Mineral Protection and Utilization, 2000 (1):14-16.
- [9] 贺国帅, 陈代雄, 杨建文, 等. 湖南鲁塘隐晶质石墨选矿试验研究 [J]. 矿产保护与利用, 2018 (5):57-61.
- [10] HE G S, CHEN D X, YANG J W, et al. Experimental study on mineral processing of cryptocrystalline graphite in Lutang, Hunan [J]. Mineral Protection and Utilization, 2018 (5):57-61.
- [11] 翁孝卿, 李洪强, 程润, 等. 低品位隐晶质石墨浮选提纯

试验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(5):84-88.

WENG X Q, LI H Q, CHENG R, et al. Experimental study on floatation and purification of low-grade cryptocrystalline graphite [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2018(5):84-88.

[7] 董艳红, 曾惠明, 杨建文, 等. 微细粒低品位难选石墨的高效浮选工艺研究[J]. 矿物学报, 2018, 38(3):336-342.

DONG Y H, ZENG H M, YANG J W, et al. Studies on the high efficiency flotation technology of low-grade refractory graphite for fine Particles [J]. Mineral Journals, 2008, 38(3):336-342.

[8] 张韬, 程飞飞, 于阳辉. 内蒙古某低品位大鳞片石墨矿选矿试验研究[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.

[9] 李磊, 魏旭, 遇祯, 等. 安徽省凤阳县焦台陈含金石墨矿物质组份研究[J]. 矿产综合利用, 2020(3):126-130.

LI L, WEI X, YU Z, et al. Study on the mineral composition of gold-bearing graphite in Jiaotaichen, Fengyang county, Anhui province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(3):126-130.

[10] GB/T 3519-1995, 微晶石墨[S].

GB/T 3519-1995, Microcrystalline graphite.

Study on Process Mineralogy and Concentrating of the Graphite ore in Hebei

Liu Shuxian^{1,2}, Xu Pingan^{1,2}, Su Yan^{1,2}, LV Zuoming¹, Nie Tiemiao^{1,2}

(1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China;

2. Key Laboratory of Mining Exploitation and Security Technology of Hebei Province, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: Thanks to has many excellent properties, graphite is widely used in various industries. However, the natural graphite often contains many kinds of minerals and cannot be directly used. Therefore, the separation and purification of graphite is of great significance. Based on the analysis of the properties of the graphite ore in Hebei Province and the principle of intensive utilization of mineral resources, the technological process of multi-stage grinding and multi-stage flotation is proposed to recover the target minerals to the maximum extent. After four-stage grinding and nine-stage roughing and concentrating, the fixed carbon content was increased from 6.27% to 96.55%, which was higher than the requirement of fixed carbon in high-carbon graphite concentrate standard (GB/T 3518-1995), and the recovery rate was as high as 69.29%.

Keywords: Graphite; Process Mineralogy; Multi-stage grinding and multi-stage flotation; Fine grain

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告