

黑龙江某鳞片石墨矿新型药剂浮选试验研究^①

常庆伟, 赵文坡, 薛珂

(长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

摘要:针对黑龙江某鳞片石墨矿特点,开发了新型高效浮选药剂并进行了浮选试验研究。结果表明,以新型药剂 CYM-11 为捕收剂、CYQ-01 为起泡剂,经 8 次再磨、9 次精选闭路浮选,可获得固定碳含量(质量分数)96.63%、回收率 95.69% 的石墨精矿产品,其中 +0.15 mm 粒级产率 11.38%、固定碳含量(质量分数)96.04%,大鳞片石墨在选矿过程中得到较好保护。

关键词:浮选; 鳞片石墨; 捕收剂; 起泡剂

中图分类号: TD952

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2024.05.011

文章编号: 0253-6099(2024)05-0057-04

Experimental Study on New Flotation Reagent for Some Flake Graphite Ore in Heilongjiang Province

CHANG Qingwei, ZHAO Wenpo, XUE Ke

(Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China)

Abstract: According to the mineral properties of a kind of flake graphite ore in Heilongjiang Province, a new efficient flotation reagent was developed and then adopted in a flotation experiment. Results show that with the new reagent of CYM-11 as a collector, CYQ-01 as a foaming agent, an experiment with a closed-circuit flowsheet consisting of eight-stage regrinding and nine-stage cleaning can yield an graphite concentrate with fixed carbon content of 96.63% at 95.69% recovery, among which the graphite concentrate at a size of +0.15 mm can be produced with a yield of 11.38% and fixed carbon content of 96.04% in mass fraction. It is shown that the large flake graphite can be well protected during the course of mineral processing.

Key words: flotation; flake graphite; collector; foaming agent

黑龙江鹤岗萝北石墨矿区资源储量达到 10.26 亿吨^[1],矿体中固定碳含量(质量分数)接近 10%,具有资源集中、储量大、品位高、埋藏浅、适合大规模露天开采的特点,具备建设世界一流矿山的资源条件。矿区的矿石主要由原生矿和风化矿组成,原生矿占比极大,主要分布在地表。石墨矿物以细鳞片为主,鳞片石墨主要以片状或片状集合体形式嵌布。采用萝北天然鳞片石墨制备的球形石墨在成球率、振实密度等指标上具有竞争优势,有利于负极材料的性能控制和成本控制^[2]。鳞片石墨下游产业提高了对鳞片石墨精矿产品要求,而国内现有鳞片石墨选矿存在选别流程长、过度磨矿等问题,导致回收率和大鳞片率偏低。缩短选别流程和保护大鳞片是鳞片石墨选矿面临的

重要问题^[3-7]。

萝北石墨矿区采用常规石墨药剂进行石墨浮选,虽然可以满足生产需求,但药剂用量较大,浮选过程中泡沫流动性不佳,泡沫发黏且难消,脉石夹带现象比较严重。研发流动性好和选择性强的新型石墨浮选药剂至关重要^[8]。本文针对萝北石墨开发了新型高效浮选药剂并进行了浮选试验研究。

1 试验矿样

萝北石墨原矿中主要包含石英、长石、石墨、白云母、绿泥石、透闪石以及方解石等矿物,其中大部分碳以鳞片石墨形式存在,少量碳以碳酸盐矿物及其他形式存在,固定碳含量(质量分数,下同) 11.29%。其主

① 收稿日期: 2024-04-15

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFC1909603)

作者简介: 常庆伟(1985—),男,河南安阳人,硕士,高级工程师,主要从事选矿、矿用药剂及环保方面的研究。E-mail: 13786145746@126.com

要化学成分分析结果见表1。

表1 石墨原矿主要化学成分分析结果(质量分数) %

固定碳	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
11.29	51.87	11.84	7.90	2.29	2.81
Na ₂ O	TFe	S	P	TiO ₂	
0.39	4.56	1.91	0.062	0.54	

2 试验方法及药剂

石墨浮选试验流程如图1所示。所用CYM系列捕收剂和CYQ系列起泡剂均为长沙矿冶研究院有限责任公司自主研发的新型药剂,其中CYM系列石墨捕收剂通过改变烃类组成和引入增效剂,能改善石墨矿物表面的疏水性、提高石墨浮选效率,与传统捕收剂煤油或柴油相比,具有单耗小、选择性及适应性强、闪点高等特点,有利于现场安全清洁生产,CYQ系列石墨起泡剂比传统起泡剂2号油具有更好的稳定性和更强的选择性,泡沫流动性好,有利于长距离输送。

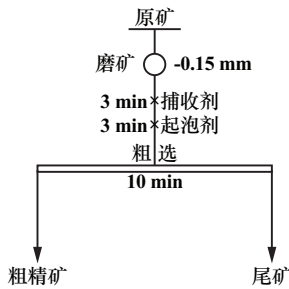


图1 石墨浮选试验流程

3 试验结果及讨论

3.1 粗选磨矿细度试验

捕收剂煤油用量 250 g/t、2号油用量 50 g/t,按图1所示流程进行了磨矿细度条件试验,结果见表2。由表2可知,随着磨矿细度增加,粗精矿固定碳回收率逐步提高,当磨矿细度达到-0.15 mm 粒级占80%时,粗精矿固定碳含量41.34%、回收率94.41%。进一步增加磨矿细度,粗精矿产率和回收率增加不明显。综合考虑粗精矿回收率、鳞片保护及磨矿成本等多因素,磨矿细度-0.15 mm 粒级占80%为宜。

3.2 粗选捕收剂种类及用量试验

磨矿细度-0.15 mm 粒级占80%,2号油用量70 g/t,按照图1所示流程进行了捕收剂种类试验,结果见表3。由表3可知:煤油的选择性优于柴油、捕收能力弱于柴油;柴油和煤油1:1混合使用时,粗精矿固定碳含量

表2 磨矿细度试验结果

-0.15 mm 粒级占比/%	产品名称	产率/%	固定碳含量/%	回收率/%	选矿效率/%
50	粗精矿	22.38	47.18	88.14	
	尾矿	77.62	1.83	11.86	65.76
	原矿	100.00	11.98	100.00	
60	粗精矿	24.12	44.62	90.61	
	尾矿	75.88	1.47	9.39	66.49
	原矿	100.00	11.88	100.00	
70	粗精矿	26.04	42.53	92.70	
	尾矿	73.96	1.18	7.30	66.66
	原矿	100.00	11.95	100.00	
80	粗精矿	27.33	41.34	94.41	
	尾矿	72.67	0.92	5.59	67.08
	原矿	100.00	11.97	100.00	
90	粗精矿	28.23	40.07	94.88	
	尾矿	71.77	0.85	5.12	66.65
	原矿	100.00	11.92	100.00	

40.29%、回收率95.41%;新型石墨捕收剂CYM-11选择性优于煤油,CYM-11用量200 g/t时,粗精矿固定碳含量40.72%、回收率96.38%;新型石墨捕收剂CYM-14捕收能力与柴油相当,CYM-14用量200 g/t时,粗精矿固定碳含量39.11%、回收率97.02%。优选新型石墨捕收剂CYM-11为该石墨矿的捕收剂。

表3 捕收剂种类试验结果

捕收剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	固定碳含量/%	回收率/%	选矿效率/%
煤油 200	粗精矿	28.42	40.16	95.28	
	尾矿	71.58	0.79	4.72	66.86
	原矿	100.00	11.98	100.00	
柴油 200	粗精矿	30.13	38.18	95.64	
	尾矿	69.87	0.75	4.36	65.51
	原矿	100.00	12.03	100.00	
煤油+柴油 100+100	粗精矿	28.42	40.29	95.41	
	尾矿	71.58	0.77	4.59	66.99
	原矿	100.00	12.00	100.00	
CYM-11 200	粗精矿	28.53	40.72	96.38	
	尾矿	71.47	0.61	3.62	67.85
	原矿	100.00	12.05	100.00	
CYM-14 200	粗精矿	29.83	39.11	97.02	
	尾矿	70.17	0.51	2.98	67.19
	原矿	100.00	12.02	100.00	

在相同试验条件下,进行了捕收剂CYM-11用量试验,结果见表4。由表4可知:随着CYM-11用量增加,粗精矿产率和固定碳回收率逐步增加;CYM-11用量200 g/t时,粗精矿固定碳含量40.72%、回收率96.38%;进一步增加CYM-11用量,固定碳回收率增加不明显。综合考虑,粗选CYM-11用量200 g/t为宜。

表4 捕收剂用量试验结果

CYM-11 用量/ (g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	固定碳 含量/%	回收率/%	选矿 效率/%
100	粗精矿	23.23	46.46	90.30	67.07
	尾矿	76.77	1.51	9.70	
	原矿	100.00	11.95	100.00	
150	粗精矿	25.87	42.93	93.04	67.17
	尾矿	74.13	1.12	6.96	
	原矿	100.00	11.94	100.00	
200	粗精矿	28.53	40.72	96.38	67.85
	尾矿	71.47	0.61	3.62	
	原矿	100.00	12.05	100.00	
250	粗精矿	29.79	38.93	96.66	66.87
	尾矿	70.21	0.57	3.34	
	原矿	100.00	12.00	100.00	
300	粗精矿	30.57	37.95	96.87	66.30
	尾矿	69.43	0.54	3.13	
	原矿	100.00	11.98	100.00	

3.3 粗选起泡剂种类及用量试验

磨矿细度-0.15 mm 粒级占 80%、捕收剂 CYM-11 用量 200 g/t,按图 1 所示流程进行了起泡剂种类试验,结果见表 5。由表 5 可知:起泡剂 MIBC 选择性较好,可以获得较高的固定碳含量;2 号油粗精矿固定碳回收率较好,而新型石墨起泡剂 CYQ-01 选矿效率较高,且泡沫稳定性和流动性好,能避免泡沫夹杂,有利于精选作业。选择新型石墨起泡剂 CYQ-01 进行后续试验。

表5 起泡剂种类试验结果

起泡剂种类及 用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	固定碳 含量/%	回收率/%	选矿 效率/%
2 号油 70	粗精矿	28.53	40.72	96.38	67.85
	尾矿	71.47	0.61	3.62	
	原矿	100.00	12.05	100.00	
MIBC 70	粗精矿	26.55	42.83	94.85	68.30
	尾矿	73.45	0.84	5.15	
	原矿	100.00	11.99	100.00	
BK205 70	粗精矿	27.78	41.05	95.58	67.80
	尾矿	72.22	0.73	4.42	
	原矿	100.00	11.93	100.00	
CYQ-01 70	粗精矿	26.74	42.87	95.60	68.86
	尾矿	73.26	0.72	4.40	
	原矿	100.00	11.99	100.00	
CYQ-02 70	粗精矿	29.07	40.09	96.82	67.75
	尾矿	70.93	0.54	3.18	
	原矿	100.00	12.04	100.00	

在相同试验条件下,进行了起泡剂 CYQ-01 用量试验,结果见表 6。由表 6 可知:CYQ-01 用量对粗精矿固定碳含量影响较大;随着粗选 CYQ-01 用量增加,粗精矿固定碳含量逐渐降低,固定碳回收率逐渐升高,

CYQ-01 用量 70 g/t 时,粗精矿固定碳含量 42.87%、回收率 95.60%;进一步增加 CYQ-01 用量,固定碳回收率增加不明显,粗精矿固定碳含量大幅降低。综合考虑,粗选 CYQ-01 用量 70 g/t 为宜。

表6 起泡剂用量试验结果

CYQ-01 用量/ (g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	固定碳 含量/%	回收率/%	选矿 效率/%
30	粗精矿	21.72	48.97	88.65	66.93
	尾矿	78.28	1.74	11.35	
	原矿	100.00	12.00	100.00	
50	粗精矿	24.97	44.51	92.39	67.42
	尾矿	75.03	1.22	7.61	
	原矿	100.00	12.03	100.00	
70	粗精矿	26.74	42.87	95.60	68.86
	尾矿	73.26	0.72	4.40	
	原矿	100.00	11.99	100.00	
90	粗精矿	28.21	41.01	96.35	68.14
	尾矿	71.79	0.61	3.65	
	原矿	100.00	12.01	100.00	
110	粗精矿	29.66	39.29	96.96	67.30
	尾矿	70.34	0.52	3.04	
	原矿	100.00	12.02	100.00	

3.4 闭路试验

在条件试验和开路试验基础上,进行了 8 次再磨、9 次精选的闭路试验,其中中矿 5~10 返回粗选,中矿 1~4 和中矿 11 依次顺序返回,试验结果见表 7,闭路试验流程见图 2。由表 7 可知,经过 8 次再磨、9 次精选闭路试验,捕收剂煤油+起泡剂 2 号油的常规药剂获得了固定碳含量 95.27%、回收率 95.33% 的石墨精矿,捕收剂 CYM-11+起泡剂 CYQ-01 的新型药剂获得了固定碳含量 96.63%、回收率 95.69% 的石墨精矿。

表7 闭路试验结果

药剂类型	产品名称	产率/%	固定碳含量/%	回收率/%
常规药剂	精矿	11.23	95.27	95.33
	尾矿	88.77	0.59	4.67
	原矿	100.00	11.22	100.00
新型药剂	精矿	11.04	96.63	95.69
	尾矿	88.96	0.54	4.31
	原矿	100.00	11.15	100.00

对闭路浮选精矿进行了粒度筛析,结果见表 8。由表 8 可知,经过 8 次再磨、9 次精选闭路试验,2 种精矿产品+0.15 mm 粒级产率均在 11% 以上,固定碳含量均在 95% 以上,说明大鳞片石墨在选矿过程中得到了较好的保护。

使用新型药剂时,闭路浮选精矿固定碳含量超过

96%,且中矿1固定碳含量较高,可通过减少磨矿次数和精选次数来保护大鳞片石墨。

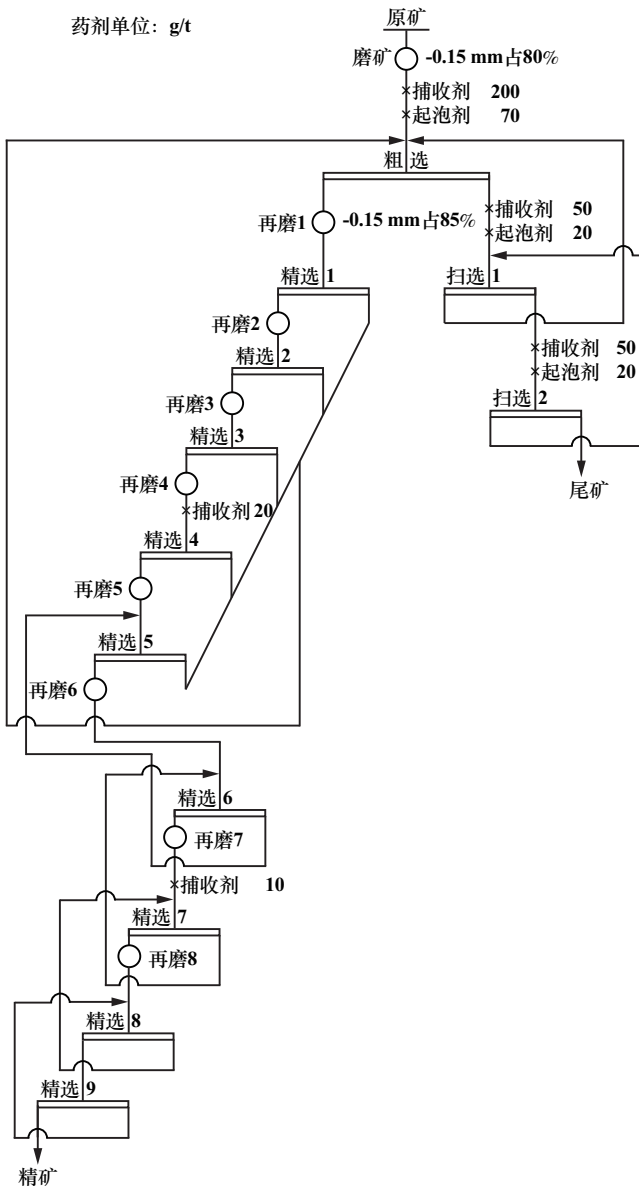


图2 闭路试验流程

表8 闭路浮选精矿粒度筛析结果

粒度/mm	产率/%		固定碳含量/%	
	常规药剂	新型药剂	常规药剂	新型药剂
+0.15	11.24	11.38	95.89	96.04
-0.15	88.76	88.62	95.07	96.62
合计	100.00	100.00	95.27	96.63

4 结 语

1) 新型石墨捕收剂 CYM-11 选择性优于煤油,在磨矿细度-0.15 mm 粒级占 80%、CYM-11 用量 200 g/t、起泡剂 2 号油用量 70 g/t 条件下,获得了粗精矿固定碳含量 40.72%、回收率 96.38%。

2) 新型石墨起泡剂 CYQ-01 和 CYQ-02 选矿指标优势不明显,但起泡剂 CYQ-01 泡沫具有更好的稳定性和选择性,泡沫流动性好,可避免泡沫夹杂,有利于精选作业。

3) 经过 8 次再磨、9 次精选闭路试验,捕收剂煤油+起泡剂 2 号油的常规药剂获得了固定碳含量 95.27%、回收率 95.33% 的石墨精矿,捕收剂 CYM-11+起泡剂 CYQ-01 的新型药剂获得了固定碳含量 96.63%、回收率 95.69% 的石墨精矿;2 种精矿产品中 +0.15 mm 粒级产率均在 11% 以上,固定碳含量均在 95% 以上,说明大鳞片石墨在选矿过程中得到了较好的保护;使用新型药剂,可通过减少磨矿次数和精选次数来保护大鳞片石墨。

参考文献:

- [1] 李弘珂,沈洪雁. 黑龙江萝北云山石墨矿外围资源量及矿石加工性能研究[C]//第十四届全国矿床会议. 中国地质学会中国矿物岩石地球化学学会, 2018.
- [2] 王志远. 天然石墨锂离子电池负极材料的包覆改性研究[D]. 天津:天津理工大学, 2008.
- [3] 龙渊,张国旺,郭杰,等. 降低石墨微细鳞片含量的再磨工艺优化研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):52-55.
- [4] 龙渊,张国旺,肖晓,等. 石墨再磨介质球对比试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(5):51-53.
- [5] 孔德才,陈超,朱颖,等. 四川某晶质石墨矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):55-58.
- [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(2):182-185.
- [7] 牛敏,郭珍旭,刘磊,等. 鳞片石墨选矿工艺进展[J]. 矿产保护与利用, 2018(5):33-34.
- [8] 康文泽,何花. 鳞片石墨浮选药剂研究进展[J]. 碳素, 2019(3):40-43.

引用本文: 常庆伟,赵文坡,薛珂. 黑龙江某鳞片石墨矿新型药剂浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(5):57-60.