

内蒙古包头低品位石墨矿综合回收研究

宋昱晗, 张凌燕, 陆康, 李向益, 田晶晶

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 矿物资源加工与环境
湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘要: 试样取自内蒙古包头市某地低品位微晶石墨矿, 原矿含固定碳 6.45%, 红柱石 8%~10%, 目的矿物石墨与红柱石嵌布粒度差异大, 石墨嵌布粒度细, 为微晶状; 红柱石嵌布粒度略粗, 晶体中含碳质包裹体, 部分红柱石晶体有蚀变现象。脉石矿物云母、石英、黄铁矿含量高, 为难选矿。经选矿工艺研究, 确定了一次粗选两次扫选五次再磨六次精选的石墨闭路选矿流程, 获得最终精矿固定碳含量 90.80%, 回收率 82.21%; 石墨尾矿中的红柱石回收有待深入研究。

关键词: 石墨; 红柱石; 综合回收

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.04.012

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 04-0054-05

内蒙古包头市某地低品位微晶石墨矿石含红柱石, 但矿石固定碳和红柱石含量低, 嵌布粒度差异大, 石墨嵌布粒度细, 红柱石晶体有蚀变现象, 综合回收石墨和红柱石难度大。对该矿石进行工艺矿物研究和选矿试验研究, 确定了一次粗选两次扫选、五次再磨六次精选的石墨闭路试验流

程, 得到最终石墨精矿固定碳含量 90.80%, 回收率 82.21% 的较好指标。

1 矿石性质

1.1 矿石的化学成分

原矿的化学成分见表 1。

表 1 矿石化学多元素分析结果 /%

Table 1 The chemical element analysis results of the ore

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	固定碳	烧失量
59.91	14.72	4.01	1.38	0.28	0.61	3.90	0.52	0.14	0.032	6.45	10.83

1.2 矿石的矿物组成特征

肉眼观察矿石为灰黑色, 角岩结构或斑状变晶结构, 片状或块状构造。肉眼可见的矿物为红柱石, 云母类及黄铁矿。部分红柱石已蚀变, 红柱石长径最大 1 cm, 宽径最大达 2 mm, 一般在 0.500 mm × 0.050 mm 之间。红柱石含量平均在 8%~10%。另外在矿样中还可见厚度为 0.5 cm 的黄铁矿层。

矿石中主要矿物为石墨、红柱石、云母类、石英、方解石等, 以及少量黄铁矿、长石、赤褐铁矿、褐帘石、金红石、磷灰石、石榴石、刚玉、黄玉等。

基质矿物主要为云母类、石墨和石英等。其中红柱石和少量透镜状石英为斑晶。矿石的矿物组成主要是红柱石 8%~10%, 石墨 7%, 石英 40%, 云母类 30%。

石墨: 薄片中的石墨为不透明片状或微细粒状, 有三种不同的嵌布状态, 其中第一种石墨在矿石中所占的份额较多: 1) 是大量分布的具有一定的定向性的片状和微细粒状石墨, 和云母、石英及少量的褐帘石、石榴石等相嵌分布; 2) 是在云母类矿物晶体内沿解理缝分布; 3) 是包含在红

收稿日期: 2017-02-17

作者简介: 宋昱晗 (1989-), 女, 硕士, 主要研究方向为非金属矿浮选分离技术、矿物材料制备等。

柱石晶体内的包裹体状。石墨矿物的总体特征是颗粒微细，石墨单体一般在 0.002 ~ 0.005 mm，石墨集合体也小于 0.037 mm。

红柱石：无色柱状，横截面为四方形。柱径和粒长大小不同，60% 的红柱石晶体中含有黑色碳质包裹体，在红柱石柱面呈带状分布，横切面上呈对角线十字形分布。最大红柱石柱长为 2 cm，柱径为 2 mm。在正交镜下红柱石为灰~黄的干涉色，柱中心具有碳质物（或石墨），在基质矿物中呈斑晶状分布。部分红柱石有蚀变现象，沿红柱石的颗粒的边缘或解理缝绢云母化。有些红柱石已全部绢云母化，仅残留红柱石晶体的假象。

1.3 目的矿物的嵌布特征

矿石中的石墨为微晶石墨，粒度非常细，根据对石墨颗粒数的统计分析，磨矿细度在 0.002 ~ 0.005 mm 时，石墨单体解离在 90% 左右。

红柱石的嵌布粒度比石墨粗，磨矿细度在 -0.210 mm 时，红柱石柱体的单体解离已达到 90%。这说明石墨和红柱石综合回收时，红柱石磨矿细度和石墨相差较大。

总之，矿石中石墨和红柱石含量低，石墨含量为 7%，固定碳含量 6.45%，红柱石含量 8% ~ 10%，且部分红柱石发生蚀变，杂质硅、铁、硫的含量较高。目的矿物石墨和红柱石的嵌布粒度相差较大，石墨的嵌布粒度非常细，磨矿细度要到达 0.002 ~ 0.005 mm 才能使石墨单体解离。而红柱石磨矿细度在 -0.210 mm 时可以单体解离，且回收红柱石应考虑尽量保护红柱石晶体，避免过磨，因此综合回收石墨和红柱石比较困难。由于石墨为微晶状，嵌布粒度细，红柱石含量低，该矿石为难选矿。

2 选矿试验

试验过程中的粗磨磨矿设备为 XMB-70 型三辊四筒磨矿机（棒磨），石墨粗精矿再磨设备为 XMQ-67Φ150 mm × 50 mm 型球磨机，磨矿介质为

Φ2~3 mm 小钢球，浮选设备为 XFD-63 型单槽浮选机，磁选设备为 Slon-100 周期式脉动高梯度磁选机。以煤油为捕收剂浮选石墨，石灰为粗选石墨的抑制剂和 pH 值调整剂，以硫酸为浮选红柱石的 pH 值调整剂，采用十二胺为捕收剂反浮除云母；以水玻璃抑制硅酸盐，石油磺酸钠为捕收剂正浮选红柱石，2# 油作为起泡剂。

2.1 开路试验

根据工艺矿物学研究确定回收石墨和红柱石的原则试验流程。石墨具有天然可浮性，因此粗选应正浮选石墨，再从石墨尾矿中浮选红柱石。实践经验证明，晶体较小的红柱石一般采用浮选-强磁选试验流程，且脱泥可以优化浮选 [1]。因此，从石墨尾矿中回收红柱石采用脱泥-强磁选-浮选开路流程，首先对一粗一扫后石墨尾矿进行脱泥和强磁选试验，去除矿样中的细粒级杂质和磁性矿物，然后反浮选云母杂质，最后正浮选红柱石。考虑石墨与红柱石的综合回收，粗磨的磨矿细度暂定为 -0.074 mm 75.85%，进行开路试验，试验流程及药剂制度见图 1，精矿指标见表 2。

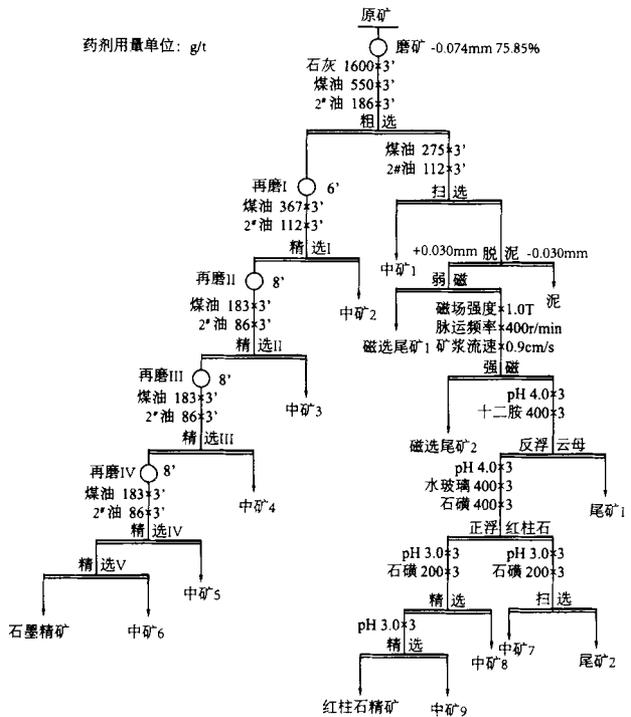


图2 开路试验流程
Fig. 2 The flow chart of open-circuit test

布粒度差异大，为了满足石墨的磨矿细度，石墨尾矿即进入红柱石浮选物料细度为-0.074 mm 粒级含量将近95%，而红柱石在-0.210 mm 粒级含量为90%时即可单体解离，因此红柱石过磨现象严重，导致红柱石浮选时选择性差，红柱石回收率低。

3 结果与讨论

对石墨闭路试验的尾矿，红柱石开路精矿及原矿进行化学分析。结果见表5，矿物组成见表6。

表5 化学元素分析结果 /%

Table 5 The chemical element analysis results

试验流程	产品名称	产率	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
红柱石开路	精矿	0.62	38.98	36.99	1.36	0.20	7.48
石墨闭路	尾矿1	39.66	17.52	68.19	4.39	0.61	6.77
	尾矿2	55.24	13.50	71.97	4.07	0.41	7.83
—	原矿	100.00	14.72	59.91	3.90	0.61	4.01

表6 尾矿1与原矿矿物组成 /%

Table 6 The mineral composition of tailing 1 and the raw ore

化学组成	红柱石	石英	云母	长石	黄铁矿	绿泥石	石墨	其他
精矿	50~55	15左右	10~13	5~6	8~10	—	—	2~3
尾矿1	10~13	30~35	40左右	4~5	3左右	2~4	2	1~2
原矿	8~10	40	30	4	2~3	3	7	2~3

由表5、6可以看出，矿石经过石墨的粗选和扫选之后，红柱石在石墨尾矿中有一定程度的富集，尾矿1的Al₂O₃含量从14.72%提高到17.52%，相比之下，尾矿2的Al₂O₃含量较低，只有13.50%，且尾矿2经过多次再磨粒度较细，进行红柱石的浮选难度较大，因此，从尾矿1中回收红柱石是比较合理的。

红柱石开路试验精矿中Al₂O₃含量为38.98%，红柱石含量50%~55%。虽然红柱石在精矿中富集了，但Al₂O₃含量和红柱石含量都不高，没有达到国家标准。精矿中Al₂O₃的回收率低，只有为1.64%，是由于原矿中含有云母、长石等含铝

脉石矿物，红柱石精矿中Al₂O₃的理论最大回收率只有34.20%~42.74%，因此Al₂O₃的回收难度大。同时XRD图谱也显示出精矿中还需去除的脉石矿物主要有石英、云母、黄铁矿，以及少量长石等。黄铁矿的存在增加了红柱石回收的难度，有研究表明酸性条件下石油磺酸钠是红柱石的良好捕收剂^[2]，但在酸性条件下，黄铁矿容易被氧化，正浮选红柱石时铁会随着红柱石富集，导致红柱石精矿中铁含量高，而酸性条件下含铁矿物的抑制是非常困难的。提高红柱石精矿指标需要去除黄铁矿，降铁除硫，还要进一步除云母、长石，降低K₂O的含量。但是目前红柱石精矿的产率非常低，只有0.62%，因此在石墨尾矿中回收红柱石非常困难，需要进行更深入的研究。

4 结论

(1) 内蒙古包头石墨矿石固定碳含量低，仅有6.45%，石墨为微晶状，嵌布粒度细；红柱石含量低，部分红柱石发生蚀变，石墨和红柱石综合回收困难。通过选矿试验研究确定了一次粗选两次扫选、五次再磨六次精选的石墨闭路试验流程，得到最终石墨精矿产率5.49%，固定碳含量90.80%，回收率82.21%。

(2) 对石墨尾矿进行红柱石回收试验，得到的红柱石精矿产率低，红柱石含量只有50%~55%。由于石墨尾矿粒度细，含黄铁矿，红柱石与含铁矿物难分离，红柱石回收难度大，有待深入研究。

参考文献：

- [1] 何小民, 邓海波, 朱海玲, 等. 我国红柱石选矿工艺与分选理论的研究进展[J]. 现代矿业, 2010, 496(8): 4-7.
- [2] 吴力中, 张一敏, 翁达. 红柱石分选流程及主要浮选药剂机理研究[J]. 金属矿山, 1998(1): 21-24.

(下转 53 页)

extracting lithium from lepidolite [J]. Hydrometallurgy, 2012(121-124):54-59.

[3] 何桂春, 冯金妮, 毛美心, 等. 组合捕收剂在锂云母浮选中的应用研究 [J]. 非金属矿, 2013, 36(4): 29-31.

[4] 朱文龙, 黄万抚. 国内外锂矿物资源概况及其选矿工艺综述 [J]. 现代矿业, 2010(7): 1-4.

[5] 艾光华, 严华山, 吴艺鹏, 等. 综合回收某含钽铌锂云母矿的选矿试验研究 [J]. 非金属矿, 2014, 37(4): 4-6.

Experimental Research on Recovery of Lithium Mica from Coarse Feldspar Powder

Zhang ting, Li Ping, Li Zhen fei

(Ganzhou Non-ferrous Metallurgy Research Institute, Ganzhou, Jiangxi, China)

Abstract: There is a large variety of mineral composition and complex mineral composition in a comprehensive recovery product of tantalum niobium in jiangxi province. The main minerals are manganese niobium tantalite, fine crystal, high tantalite, lithium mica, lithium white mica, phosphorus lithium mica, iron lithium mica, potassium feldspar, sodium feldspar, quartz, topaz and chlorite. The coarse feldspar powder which contains 0.65% Li_2O , has high recovery value. According to the sample properties and the optimization condition test of magnetic separation- flotation process, lithium mica concentrate with Li_2O grade 4.22% and recovery 83.73% was obtained by open-circuit test, and lithium mica concentrate with Li_2O grade 3.65% and recovery 85.40% was obtained by closed-circuit test.

Keywords: Lithium mica; Feldspar powder; Coconut oil amine; Flotation

////////////////////////////////////
(上接 57 页)

Comprehensive Recovery of Graphite and Andalusite of Low-grade Graphite of Inner Mongolia Baotou

Song yuhan, Zhang lingyan, Lu kang, Li xiangyi, Tian jingjing

(1.School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, China; Hubei Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment, Wuhan, Hubei, China)

Abstract: The research of low-grade microcrystalline ore in Inner Mongolia Baotou indicates that the content of fixed carbon is 6.45%, and the grade of andalusite is 8%~10%. Graphite and andalusite are different in disseminated size. The disseminated size of graphite is extremely fine, and the graphite is microcrystalline; the disseminated size of andalusite is a little thicker, and the andalusite crystals contain carbonaceous inclusions and some of them altered. As the content of gangue minerals such as quartz, mica, pyrite are high, it's difficult to recovery both graphite and andalusite. Through the process research, we determined the suitable graphite processing flow for the graphite ore with aphanitic graphite is once rough grinding, once roughing and twice scavenging, five times regrinding and six times cleaning to the rough concentrate. Finally, the graphite concentrate of fixed carbon content at 90.80% with recovery of 82.21% was achieved through the laboratory closed trial. The recovery of andalusite from the tailings of graphite requires further research.

Keywords: Graphite; Andalusite; Comprehensive recovery