朝鲜某地细粒级石墨矿选矿试验研究

张凌燕，张丹萍，邱杨率，潘 力，于鸿宾
（武汉理工大学资源与环境工程学院，湖北 武汉 430070）

摘要：朝鲜某地细粒级隐晶质石墨矿，原矿品位较低，石墨颗粒细小，与石英呈蜂窝状均匀嵌布，分离较困难。针对该矿石性质，对该矿进行选矿试验研究，通过采用一次粗磨一次扫选，粗精矿五次再磨七次精选，中矿（1－4）合并再选，中矿（5－8）集中返回再磨Ⅱ的浮选工艺流程进行开路、闭路试验，以及碳酸钠作调整剂，煤油作捕收剂，2#油作起泡剂，最终可获得品位为93.18%，回收率为91.23%的石墨精矿。

关键词：细粒级；石墨；再磨；浮选
中图分类号：TD97 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6532(2012)02-0028-05

石墨根据其结晶程度不同，可分为晶质（鳞片）石墨和隐晶质（土状）石墨[1]。目前，国内外有关石墨选矿的研究报道不少，但主要集中于晶质石墨的选矿，隐晶质石墨的研究报道较少。朝鲜拥有丰富的石墨资源，晶质石墨矿主要位于黄海南道和咸镜北道，分别是开川、丹青、业红石墨矿，隐晶质石墨矿还有待开发[2]。

针对朝鲜某地含细粒级隐晶质石墨矿进行选矿探索试验，原矿品位较低（固定碳含量为21.07%），石墨颗粒细小，与石英呈蜂窝状均匀嵌布，分离较困难。通过采用多段磨矿、多次选别的浮选工艺流程来选别该石墨矿石使得最终石墨固定碳含量提高到93.18%，回收率达到91.23%，为朝鲜地区隐晶质石墨资源的开发利用提供技术依据，同时对其他类似石墨矿的开发利用提供借鉴和参考。

1 原矿性质

试验矿样取自朝鲜地区某石墨矿。肉眼观察该石墨矿呈灰－灰黑色，偏光下为不透明的黑色。根据石墨不同的分布形态，可将其分为三类：（1）呈鳞片状或集合体形式存在，少量鳞片较为纯净（图1a），大量鳞片内部嵌布有条状云母或粒状石英（图1b）；（2）呈细条状，与条状白云母平行定向嵌布，见图1c；（3）细粒隐晶质石墨，颗粒细小均匀，见图1d。这类微细石墨部分与粒状石英相互嵌布，部分分布于白云母解理缝中。三类石墨中，以条带状分布的石墨含量较高，约大于50%，以大鳞片形式存在的石墨约为15%，约1/3的石墨为细粒石墨。主要成份化学分析结果见表1。

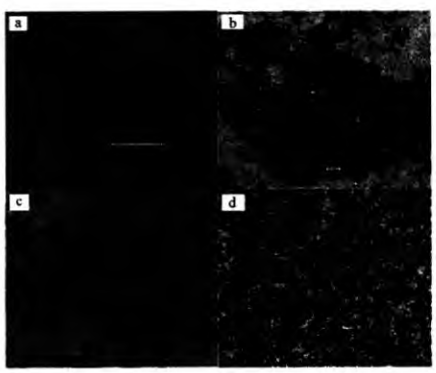

图1 原矿的偏光显微镜照片
Fig. 1 Polarization photomicrographs of raw ore

表1 化学分析结果/%
Table 1 Results of Chemical analysis

SiO_2	Al_2O_3	K_2O	TiO_2	TFe_2O_3	烧失量	固定碳
53.20	15.26	3.32	1.35	1.02	24.12	21.07

由化学分析及XRD分析结果可知，原矿主要矿物组成为：石墨21%，脉石矿物中石英37%、白云母31%和少量的黑云母8%、金红石1%～2%和磁铁矿1%，其他矿物1%。对石墨矿的选矿而言，Si、Al、K和Ti、Fe等需选矿去除。

收稿日期：2011-10-11； **改回日期**：2011-11-02
作者简介：张凌燕（1963－），男，副教授，硕士生导师，主要从事非金属矿选矿及深加工工作。

万方数据

2　选矿试验

该石墨矿石嵌布粒度较细，鳞片石墨中常嵌布有细粒白云母或石英等脉石矿物，需确定合适的磨矿细度，使这类脉石矿物与石墨解离。另外一部分细粒隐晶质石墨，颗粒细小，与石英呈蜂窝状均匀嵌布，分离较困难，故试验中采用多段磨矿、多次选别的浮选工艺流程来选别该石墨矿石。

2.1　粗选条件试验

2.1.1　粗选磨矿细度试验

试验采用 XMQ－67Φ 240mm×90mm 型锥形球磨机，磨矿浓度为65%。在粗选条件为：pH＝8～9，石灰用量1000g/t，捕收剂煤油用量525g/t，2#油用量52.5g/t，浮选浓度20%，进行磨矿细度试验。试验流程见如2，试验结果见图3。

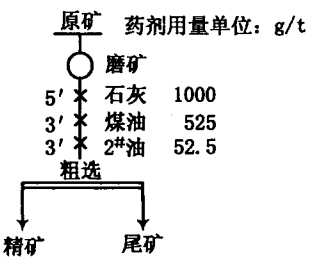

图2　粗选磨矿细度试验流程

Fig. 2 Test flowsheet of grinding fineness for roughing

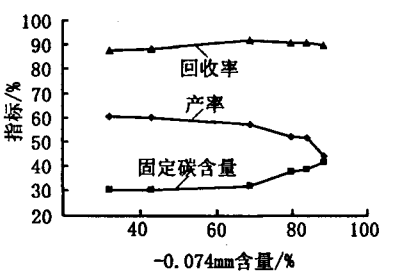

图3　粗选磨矿细度试验结果

Fig. 3　Test results of grinding fineness for roughing

由图3可知，随着－0.074mm含量的增加，精矿产率逐渐降低，固定碳含量逐渐升高，回收率先升高后降低，当细度过细会对后续作业造成不利的影响，暂定粗磨磨矿细度为－0.074mm80.13%，此时精矿产率为52.11%，固定碳含量为37.62%，回收率为90.75%。

2.1.2　粗选捕收剂煤油用量试验

变化捕收剂煤油用量进行试验，试验结果见图4。由图4可知，随着捕收剂煤油用量的增加，精矿的产率、固定碳含量和回收率都没有太大的变化，当捕收剂煤油用量为525g/t时，精矿的回收率较高，因此确定粗选捕收剂煤油的用量为525g/t，此时精矿产率为42.39%，固定碳含量为39.89%，回收率为82.68%。

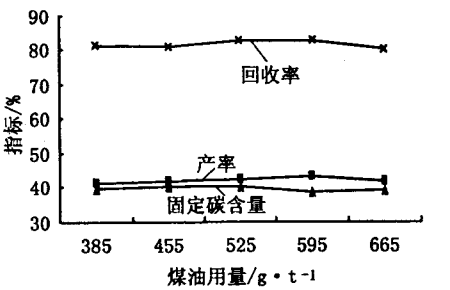

图4　粗选捕收剂煤油用量试验结果

Fig. 4　Test result of collector kerosene dosage for roughing

2.1.3　粗选起泡剂2#油用量试验

变化起泡剂2#油用量进行试验，试验结果见图5。由图5可知，随着2#油用量的增加，精矿的产率逐渐增加，回收率也逐渐提高，当2#油用量增加到52.5g/t以后，随着2#油用量增加，精矿产率和回收率增加不明显，因此确定粗选2#油用量为52.5g/t，此时精矿产率为43.56%，固定碳含量为39.44%，回收率为82.99%。

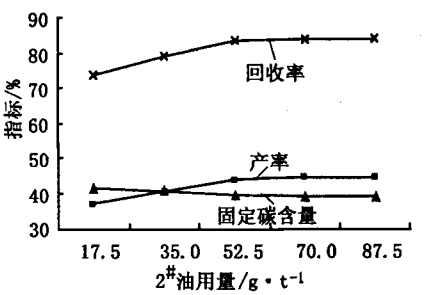

图5　粗选起泡剂2#油用量试验结果

Fig. 5　Test result of frother 2# oil dosage for roughing

2.1.4　粗选调整剂种类试验

用CaO和Na_2CO_3进行调整剂种类试验，其中CaO用量1000g/t，Na_2CO_3用量800g/t，试验结果见表2。由表2可知，Na_2CO_3作为调整剂时精矿的产率和回收率均要高于CaO，由于原矿中不含黄铁矿，因此不需要加CaO抑制，且加入CaO后管道里易结

万方数据

垢，所以确定 Na_2CO_3 为粗选 pH 调整剂，调整 pH 至 8 ~ 9。

表 2　粗选调整剂种类试验结果

Table 2　Test results of regulator type for roughing

调整剂种类	产率/%	固定碳/%	回收率/%
CaO	43.56	39.44	82.99
Na_2CO_3	44.64	39.32	84.63

2.1.5　粗选浮选时间试验

变化浮选时间进行试验，试验结果见图 6。由图 6 可知，浮选时间为 8min 时，粗选回收率最高，因此确定粗选浮选时间为 8min，此时精矿产率为 44.43%，固定碳含量为 39.93%，回收率为 88.21%。

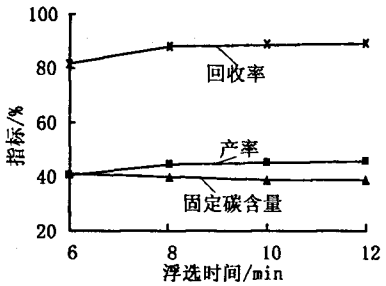

图 6　粗选浮选时间试验结果

Fig. 6　Test results of flotation time for roughing

通过一系列的粗选条件试验，确定了较优粗选条件：调整剂 Na_2CO_3 用量 1000g/t，pH = 8 ~ 9，浮选浓度 20%，煤油用量 525g/t，2#油用量 52.5g/t，浮选时间为 8min，进行磨矿细度验证试验，当粗选精矿固定碳含量达到 38.72%，回收率可达 90.19% 时，-0.074mm 含量为 82.51%，此时浮选指标较好。因此确定粗选磨矿细度为 -0.074mm82.51%。

2.2　精选试验

2.2.1　精Ⅰ再磨细度试验

粗精矿再磨试验结果见图 7。由图 7 可以看出，精Ⅰ再磨细度对Ⅰ次精选的精矿固定碳含量的影响较大，随着精Ⅰ再磨细度的增加，精矿的固定碳含量逐渐增大。精Ⅰ再磨细度为 -0.045mm 含量 54.07% 时，回收率是最高的，因此确定精选Ⅰ再磨时间为 5min，再磨浓度为 34.11%，磨矿细度为 -0.045mm54.07%，精矿产率为 31.16%，固定碳含量为 54.81%，回收率为 85.69%。

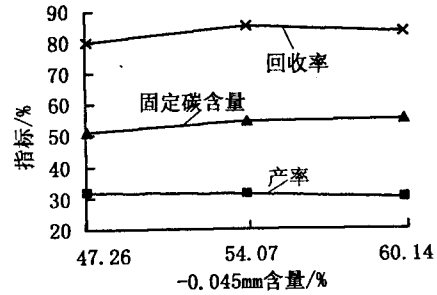

图 7　粗精矿再磨试验结果

Fig. 7　Test result of coarse concentrate regrinding

2.3　开路试验

在确定粗选及精选Ⅰ条件的基础上，进行五次再磨七次精选开路试验，试验结果见表 3。由表 3 可以看出，开路流程的最终精矿固定碳含量达 95% 以上。

表 3　开路试验结果

Table 3　Result of open - circuit test

产品名称	产率/%	固定碳/%	回收率/%
精矿	12.02	95.41	57.75
中矿 1	16.73	8.95	7.54
中矿 2	7.87	8.23	3.26
中矿 3	4.00	21.29	4.29
中矿 4	2.14	40.49	4.36
中矿 5	1.21	57.07	3.47
中矿 6	1.03	79.74	4.15
中矿 7	0.97	87.63	4.29
尾矿	54.03	4.11	10.89
原矿	100.00	20.16	100.00

2.4　闭路试验

在开路试验的基础上进行闭路试验。闭路试验中各段磨矿细度参数见表 4，由于浮选改变了石墨精矿的粒度组成，故再磨Ⅱ到再磨Ⅴ的磨矿细度在 80% 左右而不呈现规律变化。数质量流程图见图 8。由图 8 可知，闭路最终精矿固定碳品位为 93.18%，回收率为 91.23%，浮选效果良好。

表 4　闭路试验磨矿细度参数

Table 4　Grinding fineness parameters of closed-circuit test

作业	粗磨	再磨Ⅰ	再磨Ⅱ	再磨Ⅲ	再磨Ⅳ	再磨Ⅴ	再磨Ⅵ
细度/mm	-0.074	-0.045	-0.045	-0.045	-0.045	-0.045	-0.074
含量/%	82.51	54.07	81.97	80.99	78.90	83.11	88.83

万方数据

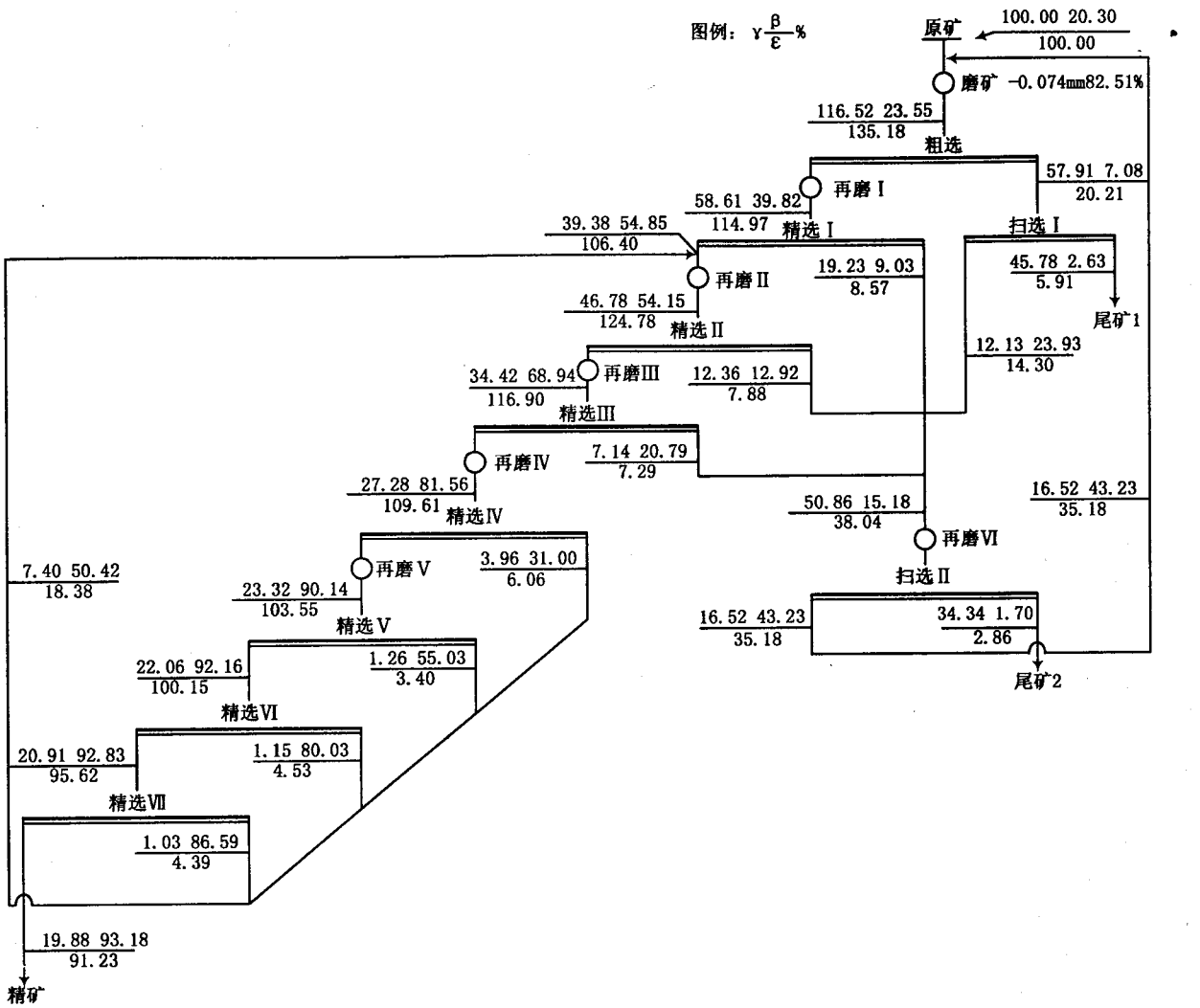

图 8　闭路试验数质量流程

Fig. 8　Quality flowsheet of closed-circuit test

3　结　　论

1. 该石墨矿工艺矿物学研究表明，该石墨矿的矿物组成较为简单，目的矿物为石墨 21%，脉石矿物主要为石英 35%、白云母 31%，少量的黑云母 8%，极少量金红石和磁铁矿。由于矿石中部分石墨粒度较细，且含有可浮性与石墨相近的白云母和黑云母，属难选矿石。

2. 通过一系列粗选条件试验，确定了较佳粗选试验条件：磨矿细度 -0.074mm82.51%，pH = 8 ~ 9，调整剂 Na_2CO_3 用量 1000g/t，浮选浓度 20%，煤油用量 525g/t，2#油用量 52.5g/t，浮选时间为 8min，此条件下粗选精矿固定碳含量达到 38.72%，回收率可达 90.19%。

3. 确定的最终工艺流程为：一次精选两次扫选，粗精矿五次再磨七次精选，扫Ⅰ精与精Ⅰ ~ Ⅲ的尾矿合并后再磨再选，精Ⅳ ~ Ⅶ的尾矿集中返回精选Ⅱ的工艺流程。最终获得精矿产率为 19.88%，固定碳品位为 93.18%，回收率为 91.23%，最终尾矿品位为 1.79% 的良好指标。

参考文献：

[1] 张德琦. 世界石墨市场回顾[J]. 建材工业信息，1998(5):26.

[2] 王志刚. 朝鲜非金属矿[J]. 建材工业信息，1996(18):20.

万方数据

非洲某铜电炉渣的浮选试验研究

李江涛[1,2]
(1.赞比亚谦比希铜冶炼有限公司，赞比亚;2.云南铜业科技发展股份有限公司，云南　昆明　650101)

摘要:对赞比亚某电炉渣进行光谱分析、物相分析及多元素分析。结果表明,该电炉渣含铜3.5%,铜主要以金属铜和硫化铜形式产出。根据该电炉渣的矿物学特征,采用一粗两扫两精的选别流程,实验室闭路试验可获得,铜精矿品位34.01%、回收率92.57%的选别指标,达到了该电炉渣综合回收铜的目的。

关键词:电炉渣; 缓冷; 金属铜; 硫化铜
中图分类号:TD952　**文献标识码**:A　**文章编号**:1000-6532(2012)02-0032-03

赞比亚谦比希铜冶炼有限公司是中国有色矿业集团与云铜集团在赞比亚合资建立的铜冶炼厂,采用具有世界先进水平的铜艾萨炉冶炼技术。该冶炼厂已投产生产粗铜,冶炼处理量15万t粗铜/y,每年产生电炉渣(自然缓冷)20万t以上,其中电炉渣含铜≥2%。为了充分回收电路渣中的铜,进行电炉渣选矿试验研究。

1　矿石性质

该电炉渣取自赞比亚某冶炼厂,自然缓冷。通过筛分、破碎、对辊、混匀后矿石粒度小于1mm,以供实验室试验。工艺矿物学研究表明,电炉渣的铜矿物组成较转炉渣复杂,主要铜矿物有金属铜、辉铜矿、类斑铜矿、类黄铜矿,另外还有微量的类蓝铜矿。铁矿物主要为磁铁矿。脉石矿物主要为铁橄榄石和非晶相物质,渣中还有微量的金属铁、黄铁矿等。其化学分析、铜物相分析结果见表1、表2。

表1　化学分析结果/%

Table 1　Results of chemical analysis

CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Na_2O	K_2O	Cu	Fe	S	Co
3.55	0.85	4.48	31.20	0.53	0.75	3.43	39.78	1.49	0.17

表2　铜物相分析结果

Table 2　Analysis results of copper phase

名称	金属铜中铜	硫化铜中铜	铁矿物中铜	其他	总计
含量/%	1.52	1.60	0.31	0.07	3.50

由表1、表2可知,该电炉渣中主要有用矿物为

Experimental Research on Beneficiation of a Refractory Fine Graphite Ore in Korea Area

ZHANG Ling-yan, ZHANG Dan-ping, QIU Yang-shuai, PAN Li, YU Hong-bing
(College of Resourceful and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hunan, China)

Abstract: A beneficiation test of a refractory fine graphite ore in Korea area was studied. An open and closed trials were conducted by a flotation flowsheet, which consists one rough grinding, one scavenge, then five regrinding and seven cleanings to the crude concentrate, one more election to the merges of the middling(1-4), and the middling (5-8) returns to the regrinding Ⅱ. Taking the sodium carbonate as modifier, the coal oil as collector and the 2# oil as foaming agent, and eventually fixed carbon content of the graphite was increased from 21.07% to 93.18% and the recovery rate of graphite was 91.23%.

Key words: Fine grade; Graphite; Regrinding; Flotation

收稿日期:2011-10-16;　**改回日期**:2011-11-21
作者简介:李江涛(1968-),男,工程硕士,主要从事有色金属选矿技术研究工作。

万方数据