

河北某斑岩型钼矿提高选矿指标试验研究

刘国英, 郭文军, 祖述宇

(中钢集团天津地质研究院, 天津 300181)

摘要: 河北省某钼矿为单一斑岩型钼矿, 主要金属矿物为辉钼矿。为了进一步提高钼精矿的品位和回收率, 试验采用混合捕收剂(煤油: 2 号油=2: 1)和新型捕收剂 PE-100 相结合的方法, 粗选时可使粗精矿的回收率提高 2 个百分点, 品位也略有提高。为节约生产成本, 试验采用阶段磨矿阶段选别的选矿工艺, 即原矿磨矿(-0.074 mm 占 60%)后, 经一次粗选, 一次扫选, 粗精矿再磨(-0.038 mm 占 85%)后再进行 5 次精选, 最终获得钼精矿品位 $w(\text{Mo})=50.007\%$, 回收率为 89.90% 的较好指标。

关键词: 斑岩型钼矿; 单一钼矿; 混合捕收剂; 新型捕收剂; 回收率; 河北省

中图分类号: TD913 **文献标识码:** A

0 引言

我国钼矿资源储量非常丰富, 其生产量和消费量于 2008 年已超过美国, 居世界第一位^[1-2]。我国拥有大中小型钼选矿厂 100 多座, 年处理能力 3 500 $\times 10^4$ t 以上, 但在钼矿选矿方面仍存在很多问题, 如钼精矿回收率偏低, 目前只有金堆城大型钼选矿厂回收率能达到 85% 以上, 而有些钼选厂回收率甚至低于 60%; 钼精矿品质普遍不高, 大多数选矿厂生产的钼精矿含钼为 45%~51%, 极易造成资源浪费^[3]。

河北省某钼矿为单一斑岩型钼矿, 针对该矿矿石特点, 作者采用综合用药制度, 选用阶段磨矿阶段选别的工艺进行试验研究, 进一步提高了该矿钼精矿的回收率和品级, 并节约了生产成本。

1 原矿矿石性质

1.1 原矿光谱分析

原矿光谱半定量分析结果见表 1。

1.2 原矿多元素分析

原矿多元素分析结果见表 2。该斑岩型钼矿床中仅钼达到可选品位, 其他伴生组分均未达到综合回收的品位。

1.3 原矿钼的物相分析

原矿钼的物相分析结果见表 3。钼矿物中 96.67% 为硫化矿, 采用浮选可有效回收钼。

1.4 原矿矿物组成及其特征

该斑岩型钼矿矿石主要金属矿物为辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等, 主要脉石矿物为石英、斜长石、钾长石。

表 1 原矿光谱半定量分析结果

Table 1 Semi-quantitative spectral analysis of crude ore

组分	Mo	Cu	Pb	Zn	Fe	Ti	Si
$w_B/\%$	0.01~0.1	0.003~0.03	0.0005~0.005	0.003~0.03	2~8	0.1~1	>10
组分	W	B	Sn	As	Mg	Al	Ca
$w_B/\%$	0.0003~0.003	0.001~0.01	0.0003~0.003	<0.03	0.5~5	5~50	2~20

收稿日期: 2013-07-10; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 刘国英(1982-), 女, 工程师, 学士, 2006 年毕业于武汉科技大学资源与环境学院, 从事金属矿选矿工作。通信地址: 天津市河东区友爱东道平房 4 号, 中钢集团天津地质研究院; 邮政编码: 300181; E-mail: lgy121888@163.com

表 2 原矿多元素分析结果

Table 2 Multi-elements analysis of crude ore

组分	Mo	Cu	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
w _B /%	0.090	0.013	0.74	79.38	5.77	1.37
组分	MgO	As	Au	Ag	TFe	TiO ₂
w _B /%, w(Au, Ag)/10 ⁻⁶	0.97	0.01	0.03	0.52	3.91	0.19

表 3 原矿钼的物相分析结果

Table 3 Analysis of molybdenum minerals of crude ore

相别	硫化钼中的钼	氧化钼中的钼	钼华	合计
w _B /%	0.087	0.002	0.001	0.090
分布率/%	96.67	2.22	1.11	100.00

(1) 辉钼矿:构造为浸染状、裂隙充填状,结构为鳞片状、叶片状、蠕虫状、针状、羽毛状。辉钼矿主要与石英成连生体,呈锯齿状接触;部分与黄铁矿连生,不规则沿裂隙充填接触;与黄铜矿呈交代或裂隙充填接触;与磁黄铁矿、闪锌矿呈包裹状接触;与磁铁矿呈沿裂隙充填或交代接触。辉钼矿单晶体粒度一般为(0.03~0.09) mm×(0.06~0.12) mm,最大(0.09~0.12) mm×(0.24~0.30) mm,最小(0.03~0.09) mm×(0.006~0.003) mm。辉钼矿往往于(0.06~0.04) mm 就开始单体解离,但一般在 0.01~0.003 mm 单体解离较好。

(2) 黄铁矿:多为自形晶、半自形晶,次为他形粒状,部分黄铁矿具碎裂及融蚀现象。局部被脉石融蚀呈港湾状。黄铁矿与辉钼矿、磁铁矿毗连并包有辉钼矿、磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿等。部分黄铁矿被白铁矿、磁黄铁矿交代并有残留。黄铁矿粒径一般为 0.1~0.5 mm,呈细脉状、星散状浸染于矿石中,与其他矿物接触平直圆滑。

(3) 磁铁矿:他形粒状为主,次为不规则形状,也可见半自形粒状者。磁铁矿晶粒边部、解理及裂隙处轻微赤铁矿化,与黄铁矿、辉钼矿毗连,并包有辉钼矿,与辉钼矿接触线平直。脉状者脉宽一般为 1~4 mm,以细脉状、星点状浸染于脉石中。

(4) 石英:他形粒状,常呈集晶体团块状及细脉状穿插,粒径一般为 0.5~1 mm,细脉状石英中常嵌有辉钼矿细脉。

(5) 钾长石:他形粒状为主,次为板状,具卡氏双晶,浅肉红色,表面不洁净,具有不同程度的高岭土化、碳酸盐化,沿钾长石的解理及裂隙常有方解石嵌布。钾长石内常有星散状的辉钼矿且接触线平直。

(6) 斜长石:多呈半自形晶粒状、板状等,聚片双晶,可见环带结构。粒径一般为 1~2 mm,具不同

程度的绢云母化、碳酸盐化。

1.5 矿石结构与构造

(1) 矿石结构:主要为花岗结构、不等粒结构、融蚀结构、交代结构、半自形晶结构。斜长石呈半自形柱状,石英、钾长石、磁铁矿呈他形粒状,镶嵌为花岗结构;斜长石、钾长石粒度大小不一,石英、云母一般为等粒状,互相嵌在一起构成不等粒状结构;黄铁矿被矿石矿物所融蚀,呈港湾状;赤铁矿交代磁铁矿、白铁矿,磁黄铁矿交代黄铁矿;黄铁矿多呈自形、半自形结构。

(2) 矿石构造:主要为块状构造、细脉浸染构造、星散状浸染构造。石英、钾长石、斜长石、云母等紧密相嵌组成坚硬的块状构造;细粒石英呈灰白色细脉穿插于矿石中,辉钼矿呈细脉状嵌于石英脉中,黄铁矿、磁黄铁矿呈细脉状穿插于矿石中;辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿呈星散状嵌于脉石中。

2 选矿试验

由原矿矿石性质可知,该矿为单一斑岩型钼矿,且矿石结构、构造比较简单,矿物组合不复杂,伴生矿物较易分离。采用浮选试验流程即可有效回收钼矿。为节约磨矿成本,且防止过磨产生过多新泥而影响浮选效果,本次试验采用阶段磨矿阶段选别,即先对原矿粗磨后进行粗选,之后对粗精矿细磨后进行精选,逐步达到单体解离充分,以确保钼精矿的高回收率。

2.1 粗选条件试验

从磨矿细度、捕收剂种类、药剂用量(石灰、水玻璃、混合捕收剂、新型捕收剂 PE-100)方面进行了粗选条件试验,试验流程见图 1,试验采用 XFD 型单槽浮选机。

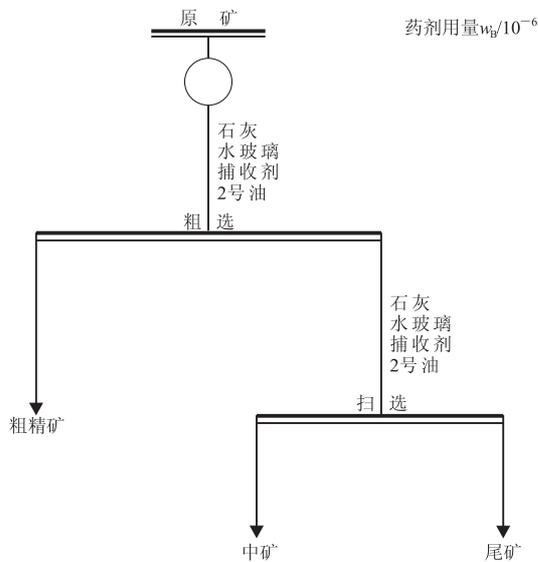


图1 粗选条件试验流程

Fig. 1 Flow sheet of roughing condition test

2.1.1 磨矿细度试验

为了保证浮选获得较高的指标,浮选时不但要求矿物单体解离,而且要求适宜的入选粒度。颗粒太粗,即使已经单体解离,如果超过气泡的承载能力,往往浮不起来;颗粒太细,对于粗选来说又会增加磨矿成本,所以选择合适的磨矿细度具有重要意义^[4]。

磨矿细度试验中,选取磨矿细度为-0.074 mm 占40%, -0.074 mm 占50%, -0.074 mm 占60%和-0.074 mm 占80%;其他试验条件为:石灰用量 $1\ 000 \times 10^{-6}$, 水玻璃用量 $1\ 370 \times 10^{-6}$, 煤油用量 150×10^{-6} , 2号油用量 72×10^{-6} 。磨矿细度试验结果见图2。

从图2可见,随着磨矿细度的增加,粗精矿钼品位不断下降,钼回收率呈不规则变化,当磨矿细度为

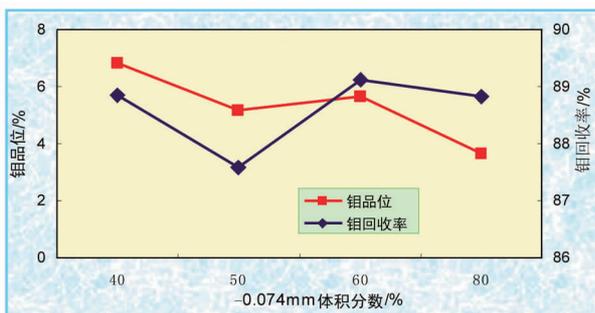


图2 磨矿细度试验结果

Fig. 2 Result of milling fineness of the ore

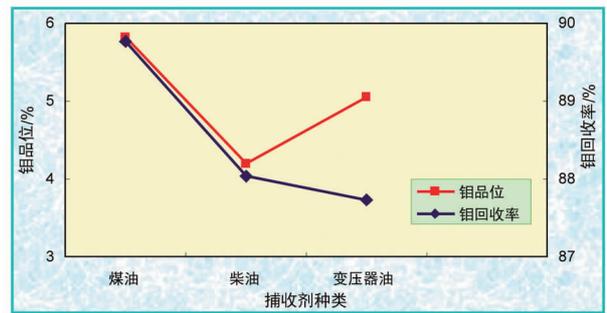


图3 捕收剂种类试验结果

Fig. 3 Results of the tested collectors

-0.074 mm 占60%时,钼回收率较高,故选择粗选磨矿细度-0.074 mm 占60%为宜。

2.1.2 捕收剂种类试验

选用捕收剂煤油、柴油和变压器油进行捕收剂种类试验,用量均为 150×10^{-6} 。其他试验条件为:磨矿细度-0.074 mm 占60%,石灰用量 $1\ 000 \times 10^{-6}$,水玻璃用量 $1\ 370 \times 10^{-6}$,2号油用量 72×10^{-6} 。捕收剂种类试验结果见图3。

从图3可见,加入煤油时钼的品位和回收率均较高,故选用煤油作为本次试验的捕收剂。

2.1.3 石灰用量试验

加入石灰的目的是调节矿浆的pH值,使矿浆保持弱碱性,为捕收剂创造最佳的试验条件。本次试验中,石灰用量分别为: $0, 500 \times 10^{-6}, 1\ 000 \times 10^{-6}, 1\ 500 \times 10^{-6}$;其他试验条件为:原矿磨矿细度-0.074 mm 占60%,水玻璃用量 $1\ 370 \times 10^{-6}$,煤油用量 150×10^{-6} ,2号油用量 72×10^{-6} 。试验结果见图4。

从图4可见,随着石灰用量的增加,矿浆pH值不断升高,但pH值过高会导致起泡剂的起泡性能增大,使粗精矿产率较高,而品位较低。石灰用量在

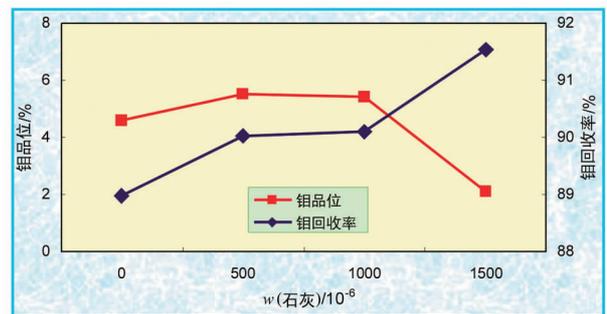


图4 石灰用量试验结果

Fig. 4 Test results of lime amount used in the beneficiation

$500 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$ 时钼粗精矿的品位和回收率较高,本次试验选择石灰用量为 $1\,000 \times 10^{-6}$ 。

2.1.4 水玻璃用量试验

水玻璃是石英、硅酸盐类矿物的有效抑制剂,同时对矿泥有良好的分散作用。在磨矿细度为 -0.074 mm 占 60%,煤油用量 150×10^{-6} ,2 号油用量 72×10^{-6} ,石灰用量 $1\,000 \times 10^{-6}$ 的条件下,以水玻璃用量分别为 0, $1\,370 \times 10^{-6}$, $2\,740 \times 10^{-6}$ 进行试验,试验结果见图 5。

从图 5 可见,不加水玻璃时,石英等脉石矿物没有得到抑制,浮选上来的粗精矿产率较高,品位较低;而水玻璃用量过大,对硫化钼也有一定的抑制,使得钼回收率不断下降,所以水玻璃用量 $1\,370 \times 10^{-6}$ 为最佳。

2.1.5 混合捕收剂用量试验

通过试验发现,煤油和 2 号油按一定比例混合作为捕收剂使用效果较好。这种混合捕收剂中煤油和 2 号油的配比至关重要,过高或过低都会导致钼的捕收效果不好。

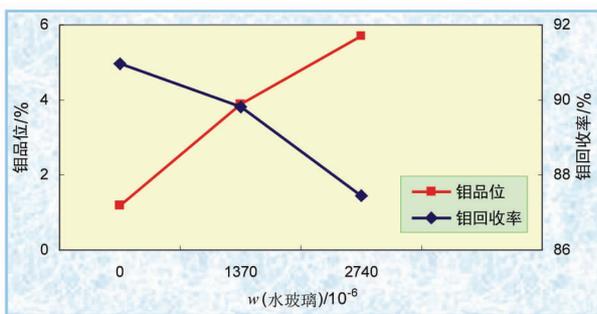


图 5 水玻璃用量试验结果

Fig. 5 Test results of soluble glass amount used in the beneficiation

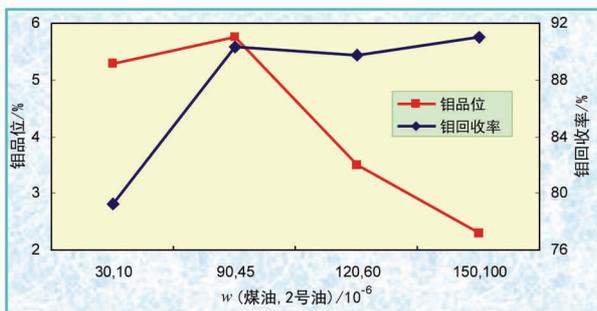


图 6 混合捕收剂用量试验结果

Fig. 6 Test results of mixed collector amount used in the beneficiation

在磨矿细度 -0.074 mm 占 60%,石灰用量 $1\,000 \times 10^{-6}$,水玻璃用量 $1\,370 \times 10^{-6}$ 的条件下,进行煤油和 2 号油不同比例、不同用量的试验,试验结果见图 6。

从图 6 可见,随着煤油、2 号油比例的加大,钼粗精矿的回收率不断增加,但品位不断下降;在煤油、2 号油比例(2 : 1)保持不变的情况下,混合捕收剂用量增加,钼粗精矿的品位和回收率却有所下降,主要原因在于煤油同时具有消泡作用,加大了煤油用量而不加大 2 号油用量,矿浆起泡性能变差,所以粗精矿的质量有所下降,因此,混合捕收剂中煤油 : 2 号油 = 2 : 1,总用量 135×10^{-6} (煤油 90×10^{-6} , 2 号油 45×10^{-6}) 为最佳。

2.1.6 新型捕收剂 PE-100 用量试验

新型捕收剂 PE-100 是辉钼矿有效的捕收剂,特别有助于粗粒连生体的捕收。为进一步提高粗精矿的回收率,在上述最佳试验条件的基础上,进行了 PE-100 用量试验,PE-100 用量分别为 10×10^{-6} , 20×10^{-6} , 30×10^{-6} ,试验结果见图 7。

从图 7 可见,加入新型捕收剂 PE-100 可以提高粗精矿的品位和回收率。随着用量的增加,回收率不断提高,当 PE-100 用量为 20×10^{-6} 时,钼粗精矿中钼的品位达到 6.27%,回收率为 92.29%,提高了 2 个百分点,经综合考虑,选择 PE-100 用量为 20×10^{-6} 较好。

2.2 粗精矿再磨细度试验

(1)粗精矿中钼矿物单体解离度测定。从表 4 可见,粗精矿中有 90% 左右的钼矿物都可以实现单体解离,因此,只要找到合适的再磨细度,绝大多数解离的钼矿物都可通过精选回收。

(2)粗精矿再磨细度试验。粗精矿再磨细度是决定精矿质量的关键,其合适的范围使矿粒单体基

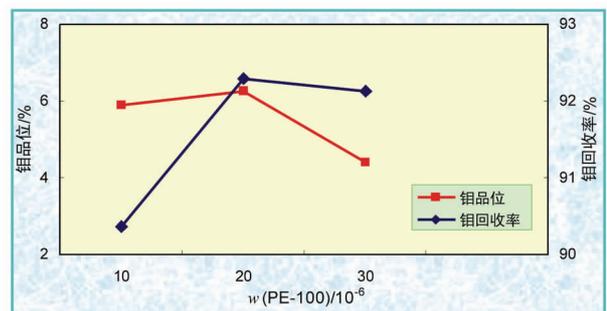


图 7 PE-100 用量试验结果

Fig. 7 Test results of collector PE-100 amount used in the beneficiation

表4 粗精矿中钼矿物的单体解离度

Table 4 Separation degree of single molybdenite of rough concentrate

粒级/mm	体积分数/%	单体解离度/%
+0.074	14.28	81
-0.074~+0.053	10.71	91
-0.053~+0.038	8.67	94
-0.038~+0.029	12.50	94
-0.029~+0.020	5.10	96
-0.020~+0.009	8.16	97
-0.009	40.58	太细,无法测定
合计	100.00	90左右

本解离,且适宜浮选;过粗则矿粒未解离难以浮选,过细则矿粒会泥化从而恶化浮选过程。

本次试验选择再磨细度分别为-0.038 mm占67%(粗精矿不再细磨直接精选),-0.038 mm占85%,-0.038 mm占93%,-0.038 mm占97%。由于钼精矿质量要求较高,试验选择5次精选以提高精矿质量,并且在精选过程中加入硫化钠来抑制黄铁矿,试验流程见图8,试验结果见图9。

由图8可知,粗精矿不磨直接进行精选,钼矿物单体得不到充分解离,钼精矿的回收率和品位均较低;随

着再磨细度的增加,钼品位变化不大,但回收率不断下降,故选择再磨细度-0.038 mm占85%为宜。

2.3 开路试验

在上述一系列条件试验选取最佳试验条件的基础上,对该矿石进行了开路试验,试验流程见图7,再磨细度选择-0.038 mm占85%。试验结果见表5,钼精矿钼品位 $w(\text{Mo}) = 52.605\%$,钼回收率为70.14%,说明该斑岩型钼矿石可选性较好。

表5 开路试验结果

Table 5 Results of open circuit test

产品名称	产率/%	$w(\text{Mo})/\%$	钼回收率/%
钼精矿	0.12	52.605	70.14
中矿6	0.03	21.300	7.10
中矿5	0.06	8.370	5.58
中矿4	0.08	3.780	3.36
中矿3	0.16	1.333	2.37
中矿2	0.73	0.460	3.73
中矿1	0.47	0.222	1.16
尾矿	98.35	0.006	6.56
原矿	100.00	0.090	100.00

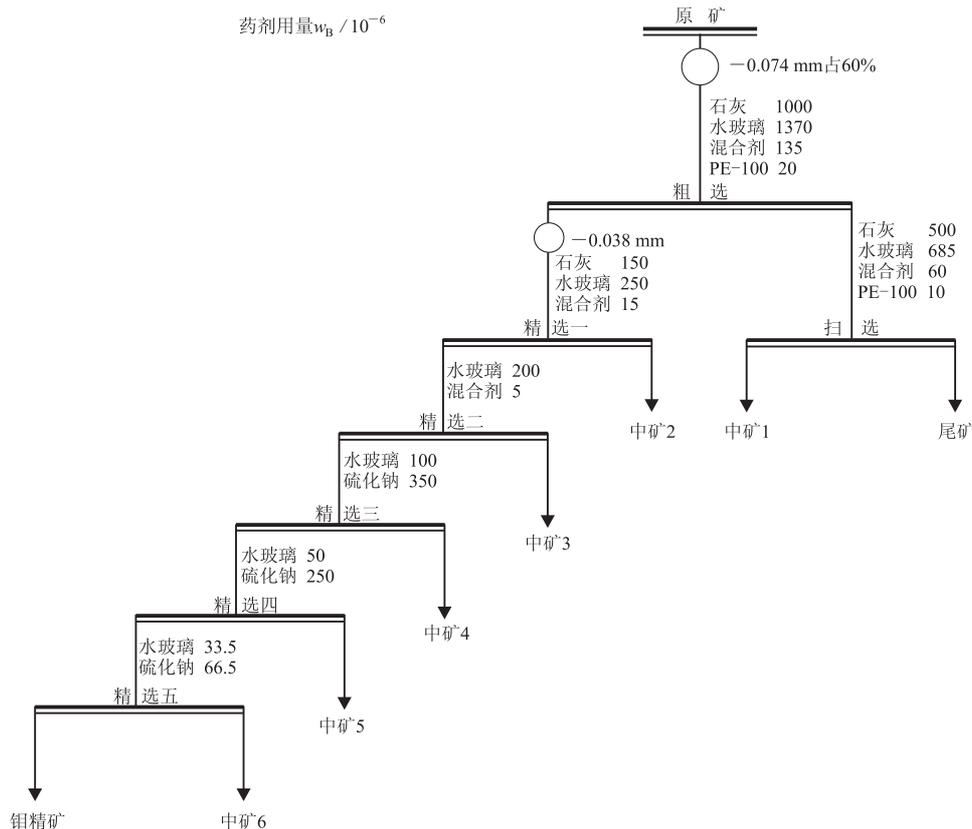


图8 粗精矿再磨试验流程

Fig. 8 Flow sheet for test of milling of rough concentrate

2.4 闭路试验

在开路试验的基础上做了实验室小型闭路试验,试验结果见表 6,钼精矿品位 $w(\text{Mo}) = 50.007\%$,回收率为 89.90% ,指标较为理想。

表 6 闭路试验结果

Table 6 Results of closed circuit test

产品名称	产率/%	$w(\text{Mo})/\%$	钼回收率/%
钼精矿	0.16	50.007	89.90
尾矿	99.84	0.009	10.10
原矿	100.00	0.089	100.00

2.5 产品分析

钼精矿产品多元素分析结果见表 7。钼精矿已

表 7 钼精矿多元素分析结果

Table 7 Multi-elements analysis of Mo concentrate

组分	Mo	Cu	S	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
$w_B/\%$	50.007	1.69	32.58	3.85	0.74	0.38	0.25
组分	WO_3	As	P	TFe	Sn	Re	Bi
$w_B/\%$	0.02	0.006	0.02	2.39	0.013	0.0053	0.01

3 结语

(1)该斑岩型钼矿为单一的钼矿床,矿石类型为细脉浸染状。钼矿物主要为辉钼矿(基本为硫化矿),脉石矿物主要为石英、长石等。矿样中除钼达到可选品位外,其他元素质量分数均很低,未达到综合回收的品位。

(2)在粗选条件试验中采用混合捕收剂效果较好,该混合捕收剂中煤油和 2 号油的配比至关重要,过高或过低都会导致钼的捕收效果不好。本次试验中,煤油与 2 号油的比例为 2:1 捕收效果最佳。

加入新型捕收剂 PE-100 可以使粗精矿的回收率提高 2 个百分点,品位也略有提高。

达到我国钼精矿标准(GB3200-89)KM051-A 质量标准,为合格钼矿。

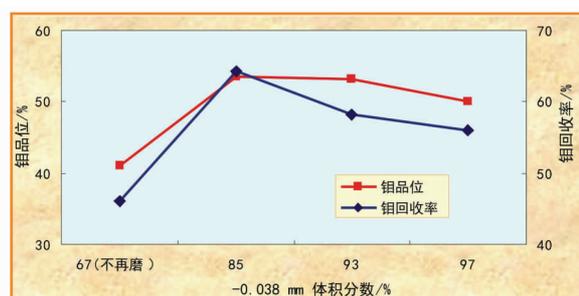


图 9 粗精矿再磨试验结果

Fig. 9 Test result of milling of rough concentrate

(3)为节约生产成本,试验采用阶段磨矿阶段选别的选矿工艺,即原矿磨矿(-0.074 mm 占 60%),经一次粗选,一次扫选,粗精矿再磨(-0.038 mm 占 85%)后进行 5 次精选。实验室小型闭路试验选别指标为钼精矿品位 $w(\text{Mo}) = 50.007\%$,回收率 89.90% ,表明该斑岩型钼矿可选性较好。

参考文献:

- [1] 贾红秀,高丽梅,姜威. 钼市场 30 年回顾与展望[J]. 中国钼业,2006(1):42-47.
- [2] 李来平,张文钰. 我国钼资源开发现状与展望[J]. 金属矿山,2010(8):317-319.
- [3] 汤雁斌. 国内外钼矿选矿技术进步与创新[J]. 铜业工程,2010(1):29-33.
- [4] 魏德洲. 固体物料分选学[M]. 北京:冶金工业出版社,2000:379.

Study on the test for improvement of beneficiation specification of a porphyry Mo deposit in Hebei province

LIU Guoying, GUO Wenjun, ZU Shuyu

(Sinosteel Tianjin Geological Academy, Tianjin 300181, China)

Abstract: In Hebei province there is a single Mo porphyry deposit in which molybdenite is the major

metal mineral. In order to improve the grade of the concentrate and the recovery a test of combination of mixed collector of kerosene + oil No. 2 (2 : 1) and a new collector PE-100 is carried out and recovery of the concentrate is improved by 2% and the grade is slightly improved. For cost reduction stage milling of ore is adopted, i. e. the raw ore is milled to mesh -200 about 60% when a roughing and scavenging is carried out. Then the rough concentrate is milled to mesh -400 about 85% and 5 times of careful concentration conducted with final Mo concentrate of $\omega(\text{Mo})=50.007\%$ and recovery of 89.90%.

Key Words: porphyry Mo deposit; single Mo ore; mixed collector; new collector; recovery; Hebei province

《地质找矿论丛》理事会 2012 年度工作会在鞍山召开



《地质找矿论丛》理事会 2012 年度工作会议于 2013 年 8 月 16 日在辽宁省冶金地质勘查院召开。会议听取了《地质找矿论丛》理事会秘书长李树良所做 2012 年度理事会工作报告。

会议认为,《地质找矿论丛》理事会在 2012 年度工作中,充分考虑理事单位的需求并结合编辑部目前的实际能力和工作现状,合理安排工作;理事会的建设和各项工作都

得以顺利开展,完成预定的工作任务。《地质找矿论丛》杂志的编辑出版工作也在不断进取,出版质量逐步提高。

会议指出,各理事单位充分利用《地质找矿论丛》期刊这一平台,鼓励与支持本单位青年地质科技工作者撰写论文,为他们提供学术交流的平台,公开发表论文,激励广大青年地质科技工作者钻研技术、积累资料、总结经验、积极进取的工作热情,是促进人才成长,逐步锻炼和培养学术带头人有效的途径之一。通过公开发表论文也反映出一个单位的学术氛围和技术水平,以及在国内地学界的影响力。

会议肯定了理事会组织期刊编辑到理事单位为专业技术人员开展科技论文写作培训活动。在培训中讲授科技论文写作的基本要求和要点及科学表述,这对于提高青年人科技写作水平起到一定作用。