

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2020.06.014

伊朗某低品位铜钼矿选矿试验研究

胡志凯^{1,2}, 杨林峰^{1,2}, 孙志健^{1,2}, 于洋^{1,2}, 万丽^{1,2}, 钱志博^{1,2}

(1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 2. 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628)

摘 要: 伊朗某铜钼矿山原矿铜品位为 0.020%、钼品位为 0.046%, 采用铜钼混合—精矿擦洗—精选抑铜浮选工艺流程。采用正交试验系统分析了煤油与松醇油的作用效果及相互影响关系, 在正交试验和条件试验的基础上进行了闭路试验, 获得了钼品位为 54.73%, 钼回收率为 79.72% 的钼精矿, 钼精矿中铜含量为 0.019%, 试验中对这部分铜矿物也进行了综合回收, 获得了铜品位为 13.21%, 铜回收率为 31.04%, 钼含量为 0.23% 的铜精矿。

关键词: 低品位; 铜钼矿; 正交试验

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1671-9492(2020)06-0077-05

Mineral Processing of Low Grade Cu-Mo Ore in Iran

HU Zhikai^{1,2}, YANG Linfeng^{1,2}, SUN Zhijian^{1,2}, YU Yang^{1,2}, WAN Li^{1,2}, QIAN Zhibo^{1,2}

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;

2. State Key Laboratory of Mineral Processing Science and Technology, Beijing 102628, China)

Abstract: A copper-molybdenum mine in Iran contains Cu 0.02% and Mo 0.046%, the technological flowsheet of copper-molybdenum bulk flotation-concentrate scrubbing-copper & molybdenum separation has been used to deal with the ore sample. The effect of kerosene and terpineol oil and their relationship were analyzed by orthogonal test system. The closed-circuit tests have been carried out on the basis of orthogonal tests and condition tests. The molybdenum concentrate with Mo grade of 54.73% and Mo recovery of 79.72% was obtained, in which the content of copper is 0.019%. In spite of this, the part of copper minerals was also recovered and copper concentrate with Cu grade of 13.21%, Mo content of 0.23% and Cu recovery of 31.04% was obtained.

Key words: low grade; Cu-Mo ore; orthogonal tests

煤油是常见的辉钼矿捕收剂, 通常辉钼矿都伴生黄铜矿或其他次生铜矿。大量试验和工业生产实践表明煤油是辉钼矿的有效捕收剂, 但是煤油在矿浆中具有“消泡”作用, 因此煤油与起泡剂之间的添加比例关系十分重要, 尤其是对于低品位铜钼矿, 精细化控制药剂添加量是获得优秀选矿指标的必要条件。通过正交试验可以科学有效的揭示两者的作用效果及相互影响关系, 由此确定最佳添加量, 确保取得优异的选矿指标。

表 1

矿石主要化学成分分析结果

Table 1	Results of main chemical composition analysis of ore sample										/%
化学成分	Mo	Cu	S	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
含量	0.046	0.020	0.56	3.62	55.41	3.46	1.29	18.52	5.57	3.59	0.50

1 矿石性质

矿样取自伊朗某铜钼矿山, 矿石中的含钼矿物主要是辉钼矿, 铜矿物主要为黄铜矿, 其次为铜蓝, 其他金属矿物包括赤铁矿、褐铁矿, 少量磁铁矿、黄铁矿、钛铁矿等; 非金属矿物主要为钾长石、钙长石和钠长石; 其次为白云母和石英; 有时可见高岭石、绿泥石、直闪石、方解石、铁白云石、磷灰石和榍石等; 偶见独居石、钙铝榴石等。对矿样进行了主要化学成分分析和钼物相分析, 分析结果见表 1、表 2。

收稿日期: 2019-03-11

作者简介: 胡志凯(1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事有色、稀贵金属选矿工艺及药剂研发工作。

表2 矿石中钼的化学物相分析结果

Table 2 Results of molybdenum phase analysis of ore sample /%			
相别	氧化钼	硫化钼	总钼
含量	0.001 4	0.045	0.046 4
分布率	3.02	96.98	100.0

2 浮选试验研究

目前,铜钼矿最常见的工艺流程为铜钼混合浮选—粗精矿再磨—铜钼分离^[1],在粗精矿再磨前可以添加多段预精选作业,以提高粗精矿品位,降低再磨能耗,改善再磨工艺效果。前期工艺矿物学研究表明,磨矿细度 $-74\ \mu\text{m}$ 占65%时,有用矿物基本单体解离,因此确定磨矿细度为 $-74\ \mu\text{m}$ 占65%。

由于矿石中铜品位比较低,尚未达到可回收利用标准,因此仅对矿石中的有效组分钼进行回收,并研究煤油及起泡剂松醇油在辉钼矿浮选中的行为表现及相互影响关系。

2.1 粗选正交试验

用字母A表示因素煤油用量,A1、A2、A3表示A因素的三个水平40 g/t、80 g/t、120 g/t;用字母B表示因素松醇油用量,B1、B2、B3表示B因素的三个水平40 g/t、60 g/t、80 g/t。通常正交试验的水平数要不能大于因素数,为此需要将二因素三水平正交试验拆分为四个二因素二水平正交试验,试验次数为 $3^2=9$ 次,试验安排及结果见表3~6。

煤油和松醇油主要添加在粗选作业,为此在粗选过程中考察煤油与松醇油的作用效果及相互影响,采用汉考克公式 $E = \frac{(\alpha - \theta)(\beta - \alpha)}{\alpha(\beta - \theta)(1 - \frac{\alpha}{\beta_{\max}})} \times 100\%$ 来评价浮选效果。式中 α 、 β 、 θ 分别表示原矿、精矿、尾矿中的钼品位, $\beta_{\max}$ 表示辉钼矿理论钼品位。

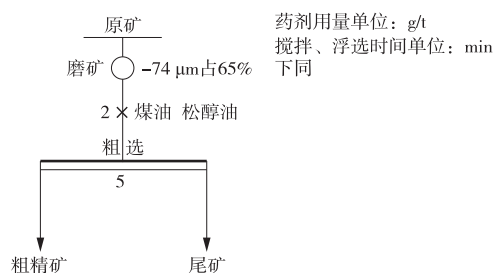


图1 正交试验流程

Fig. 1 Flowsheet of orthogonal tests

表3 低水平正交试验结果

Table 3 Results of low level orthogonal tests /%				
试点号	A	B	AB	E
1	1	1	1	65.64
2	2	1	2	72.06
3	1	2	2	70.49
4	2	2	1	71.49

$$A \text{ 的主效应 } A = \frac{1}{2}(E2 + E4) - \frac{1}{2}(E1 + E3) \\ = 3.71\% ;$$

$$B \text{ 的主效应 } B = \frac{1}{2}(E3 + E4) - \frac{1}{2}(E1 + E2) \\ = 2.14\% ;$$

$$AB \text{ 的主效应 } AB = \frac{1}{2}(E2 - E1) - \frac{1}{2}(E4 - E3) \\ = 2.71\% .$$

由结果可以看出在低水平用量时提高煤油和松醇油用量都是有利的,且相互影响效果明显。

表4 提高煤油用量正交试验结果

Table 4 Results of orthogonal tests on increasing kerosene dosage /%				
试点号	A	B	AB	E
2	2	1	1	72.06
5	3	1	2	70.69
4	2	2	2	71.49
6	3	2	1	71.32

$$A \text{ 的主效应 } A = \frac{1}{2}(E5 + E6) - \frac{1}{2}(E2 + E4) \\ = -0.77\% ;$$

$$B \text{ 的主效应 } B = \frac{1}{2}(E4 + E6) - \frac{1}{2}(E2 + E5) \\ = 0.03\% ;$$

$$AB \text{ 的主效应 } AB = \frac{1}{2}(E6 - E4) - \frac{1}{2}(E5 - E2) \\ = -0.6\% .$$

由结果可以看出当煤油由A2提高A3水平而松醇油用量偏低时,浮选效果变差,增加少量松醇油用量效果改善不明显,相互影响效果不显著。

表5 提高松醇油用量正交试验结果

Table 5 Results of orthogonal tests on increasing frother dosage /%				
试点号	A	B	AB	E
3	1	2	1	70.49
4	2	2	2	71.49
7	1	3	2	74.61
8	2	3	1	74.43

A 的主效应 $A = \frac{1}{2}(E4 + E8) - \frac{1}{2}(E3 + E7)$
 $= 0.41\%$;
B 的主效应 $B = \frac{1}{2}(E7 + E8) - \frac{1}{2}(E3 + E4)$
 $= 3.53\%$;
AB 的主效应 $AB = \frac{1}{2}(E8 - E7) - \frac{1}{2}(E4 - E3)$
 $= 0.59\%$ 。

由结果可以看出,当松醇油由 B2 提高 B3 水平时浮选效果提升明显,当松醇油用量较高时,提升煤油用量对改善浮选效果有利,相互影响效果不显著。

表 6 同时提高煤油和松醇油用量正交试验结果

Table 6 Results of orthogonal tests on increasing kerosene and frother dosage /%

试点号	A	B	AB	E
4	2	2	1	71.49
6	3	2	2	71.32
8	2	3	2	74.43
9	3	3	1	76.75

A 的主效应 $A = \frac{1}{2}(E9 + E6) - \frac{1}{2}(E8 + E4)$
 $= 1.08\%$;
B 的主效应 $B = \frac{1}{2}(E9 + E8) - \frac{1}{2}(E6 + E4)$
 $= 4.19\%$;
AB 的主效应 $AB = \frac{1}{2}(E9 - E8) - \frac{1}{2}(E6 - E4)$
 $= -1.25\%$ 。

由结果可以看出,当煤油由 A2 提高 A3 水平而松醇油用量适当时浮选效果有一定程度改善,当松醇油由 B2 提高 B3 水平时浮选效果提升最突出,其他效果不显著。

综上可知,表 3 中 A 的主效应最显著,为此煤油用量定为 A2 水平 80 g/t。表 6 中 B 的主效应最显著,为此煤油用量定为 B3 水平 80 g/t。AB 效应的绝对值表明两种因素间的相互作用关系,绝对值越大,相互作用越强。当两个因素都处于低水平时,因素间相互影响最为明显,当提升二者的水平后相互影响作用减弱。

2.2 粗精矿再磨试验

为实现铜钼有效分离,通常需要对粗精矿进行再磨作业,以实现有用矿物充分解离^[2-9],试验流程见图 2。表 7 试验结果表明,混合粗精矿再磨对浮选

作用效果改善不显著,而且镜下鉴定显示粗精矿中辉钼矿单体解离情况较好,因此后续精选作业不进行粗精矿再磨,在精选过程中增加擦洗作业,以降低成本,提高效率。

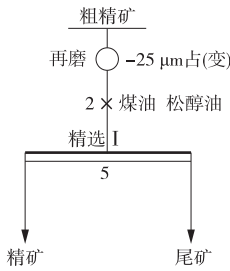


图 2 再磨细度试验流程

Fig. 2 Flowsheet of regrinding fineness tests

表 7 再磨细度试验结果

Table 7 Results of regrinding fineness tests /%

再磨细度 -0.025 mm 占	产品名称	作业产率	Mo 品位	Mo 作业回收率
89.5 不再磨	精矿	18.75	4.83	88.84
	尾矿	81.25	0.14	11.16
	粗精矿	100.0	1.02	100.0
91.9	精矿	17.96	4.97	89.33
	尾矿	82.04	0.13	10.67
	粗精矿	100.0	1.00	100.0
93.2	精矿	19.81	5.04	90.55
	尾矿	80.19	0.13	9.45
	粗精矿	100.0	1.10	100.0
93.7	精矿	19.10	5.11	90.95
	尾矿	80.90	0.12	9.05
	粗精矿	100.0	1.07	100.0

2.3 铜钼分离硫化钠用量试验

硫化钠为铜钼分离铜的抑制剂,为考察硫化钠对铜的抑制效果,开展了硫化钠的用量试验。将粗精矿进行两次精选作业后的精矿作为铜钼分离的给矿,硫化钠用量试验采用一次精选作业进行,试验结果见图 3。由图 3 结果可知,随着硫化钠用量增加,铜矿物受到有效抑制,但由于矿石中铜含量较低,不便在小型试验中回收,因此,铜的选矿指标变化趋势在条件试验中不进行列示,铜钼分离作业精矿中钼品位明显上升,同时钼的回收率呈下降趋势,综合考虑,后续分离作业硫化钠的用量确定为 400 g/t。

2.4 闭路试验

对精选Ⅳ精矿进行擦洗作业,在最后两次精选过程中添加脉石抑制剂水玻璃,并在开路试验优化的基础上进行了闭路试验,试验流程见图4,试验结果见表8。

表8 闭路试验结果

产品名称	产率	品位		回收率	
		Mo	Cu	Mo	Cu
钼精矿	0.065	54.96	0.019	77.66	0.06
铜精矿	0.047	0.23	13.21	0.24	31.04
尾矿1	98.388	0.008 0	0.008 2	17.21	40.40
尾矿2	1.500	0.15	0.38	4.89	28.50
原矿	100.0	0.046	0.020	100.0	100.0

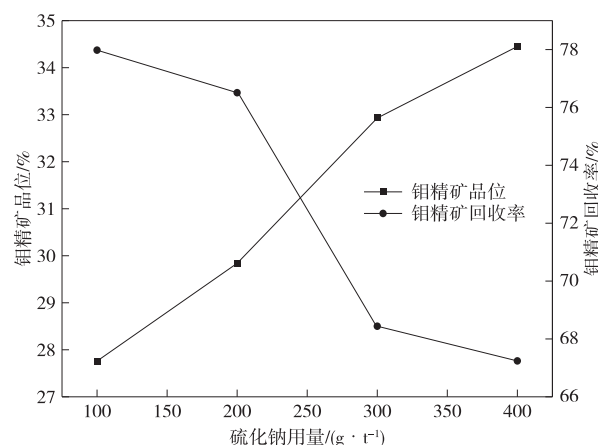


图3 硫化钠用量试验结果

Fig. 3 Results of Na₂S dosage tests

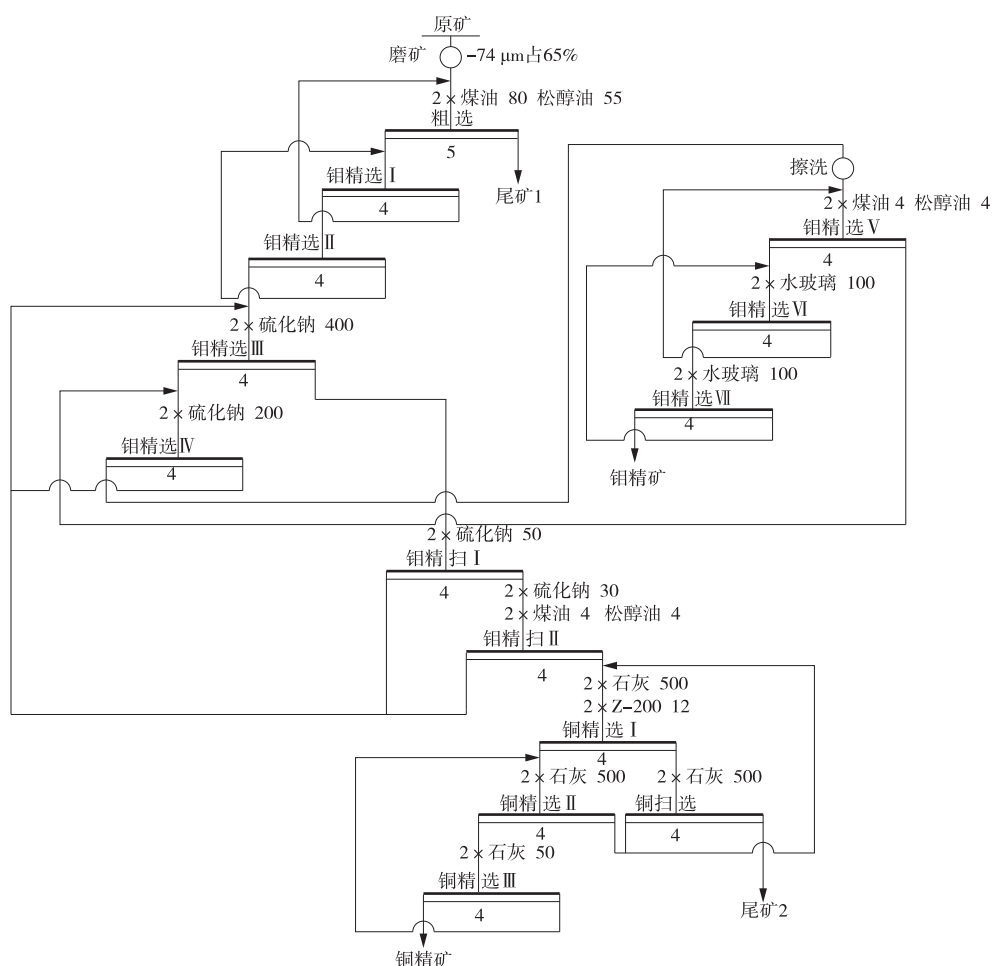


图4 闭路试验流程

Fig. 4 Flowsheet of closed-circuit tests

3 结论

1) 矿石中主要的金属元素为钼和铜,品位分别为0.046%和0.020%,但由于铜含量较低,小试不便直接回收,可以在扩大试验和工业试验中考虑综合回收利用。

2) 采用正交试验系统的研究分析了煤油和松醇油间的相互作用关系,得出了二者的最佳用量。因煤油具有“消泡”作用,因此二者的添加量必须相匹配才能获得较好的试验指标。

3) 虽然原矿钼品位不高,只有0.046%,但通过精细化添加选矿药剂,合理制定选矿工艺流程,获得

了较好的选矿指标,最终获得了钼精矿钼品位为54.73%,钼回收率为79.72%的较好指标,同时矿石中的低品位铜得到了综合回收。

参考文献

- [1] 刘海营,李崇德.某低品位钼矿浮选工艺研究[J].有色金属(选矿部分),2013(1):35-39.
LIU Haiying, LI Chongde. Research on flotation technology of a low grade molybdenum ore [J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2013(1):35-39.
- [2] 孙运礼,郭艳华,李国栋.提高新疆某低品位铜钼矿浮选指标技术攻关及实践[J].有色金属(选矿部分),2017(4):17-22.
SUN Yunli, GUO Yanhua, LI Guodong. Technical research and practice to improve the flotation index of certain low-grade copper molybdenum in Xinjiang[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing section),2017(4):17-22.
- [3] 练强,陈飞.藏东某低品位铜钼矿石选矿试验[J].金属矿山,2017(11):78-82.
LIAN Qiang, CHEN Fei. Experimental study on beneficiation test of low-grade copper-molybdenum ore in Eastern Tibet[J]. Metal Mine,2017(11):78-82.
- [4] 陈新林.内蒙古某低品位钼矿选矿工艺试验研究[J].矿冶工程,2010,30(2):40-43.
CHEN Xinlin. Experimental study on processing technology of low grade molybdenum ore from Inner Mongolia[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2010,30(2):40-43.
- [5] 张艳娇,赵平,刘广学,等.某低品位钼矿选矿试验研究[J].金属矿山,2010(5):60-63.
ZHANG Yanjiao, ZHAO Ping, LIU Guangxue, et al. Dressing experimental study of a low grade molybdenum ore[J]. Metal Mine,2010(5):60-63.
- [6] 景泮军,张彦文,曹亮,等.某低品位钼矿高效选别工艺研究[J].中国钼业,2017,41(6):26-30.
JING Panjun, ZHANG Yanen, CAO Liang, et al. Research on efficient beneficiation process of low grade molybdenum ore [J]. China Molybdenum Industry, 2017,41(6):26-30.
- [7] 陈一峰,陈旭波,田祎兰.某低品位铜钼矿选矿试验研究[J].中国矿业,2017,26(增刊1):362-367.
CHEN Yifeng, CHEN Xubo, TIAN Yilan. Experimental study on the low-grade ore [J]. China Mining Magazine,2017,26(S1):362-367.
- [8] 张舒婷,孙春宝,李根壮,等.西藏某低品位铜钼矿浮选流程对比[J].有色金属工程,2016,6(3):50-54.
ZHANG Shuting, SUN Chunbao, LI Genzhuang, et al. Comparison flotation tests with different processes of a low grade copper-molybdenum ore from Tibet [J]. Nonferrous Metals Engineering,2016,6(3):50-54.
- [9] 杨凯志,邱显扬,汪泰,等.新疆某低品位钼矿石高效利用选矿试验[J].金属矿山,2015(2):68-72.
YANG Kaizhi, QIU Xianyang, WANG Tai, et al. Beneficiation experiment on high efficient utilization of a low grade molybdenum ore in Xinjiang[J]. Metal Mine, 2015(2):68-72.
- [6] 邱显扬,冉金城,胡真,等.一种基于原矿品位比优化银锡多金属共生矿磨细度的方法:201911205703.7[P]. 2019-11-29.
QIU Xianyang, RAN Jincheng, HU Zhen, et al. Method for optimizing grinding fineness of silver-Tin complex ore based on the grade ratio of the raw ore; 201911205703.7[P]. 2019-11-29.
- [7] ZHANG N N, ZHOU C C, PAN J H, et al. The response of diasporic-bauxite flotation to particle size based on flotation kinetic study and neural network simulation [J]. Powder Technology, 2017, 318: 272-281.

(上接第46页)