低品位难选斑岩型铜钼矿浮选试验研究

廖银英
（紫金矿业集团股份有限公司，福建 上杭 364200）

摘要：在对某低品位难选斑岩型铜钼矿进行矿石性质研究的基础上，采用铜钼（硫）混合浮选-混合精矿脱硫精选-钼铜分离的工艺流程，闭路试验可获得含钼43.62%、钼回收率70.41%的钼精矿、含铜24.25%、铜回收率87.14%的铜精矿以及含硫39.30%、硫回收率79.08%的硫精矿。该试验研究结果可以作为开发利用该铜钼矿的技术依据。

关键词：铜钼矿；低品位；混合浮选；铜钼分离
doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.02.008
中图分类号：TD952 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-6532(2016)02-0037-05

铜和钼是具有战略意义的有色金属资源，随着我国经济的快速发展，市场对铜、钼的需求非常强劲。但我国铜矿资源不仅缺乏，而且富矿少、贫矿多、矿区分散、点多、量少；钼资源虽然储量丰富，但以原生钼矿为主，且原矿品位低[1-3]。硫化铜钼矿是获得铜金属和钼金属的主要来源之一，主要产于斑岩铜矿与矽卡岩铜矿床中，尤其斑岩铜矿床总是伴生有辉钼矿，在回收硫化铜矿物的过程中，都要考虑钼的综合回收[4-5]。目前国内外处理斑岩型铜钼共生矿大多采用浮选分离铜钼的方法，通常有优先浮选、部分混合浮选和混合浮选-铜钼分离三种方案[6]。对低品位斑岩型铜钼矿石的浮选，目前普遍采用粗磨情况下铜钼混合浮选-混合精矿再磨-铜钼分离流程[7-10]。

某斑岩型铜钼矿为低品位铜钼矿石，有用矿物嵌布粒度极不均匀，解离差，分离难度大。本次试验采用混合浮选-混合精矿再磨精选-浮钼抑铜分离的浮选流程，该流程适应原矿中硫化矿物总含量不高、硫化矿物之间共生关系密切、结构复杂、嵌布粒度细的特点，能简化工艺、减少矿物过粉碎，从而有利于分选。

1 原矿性质

原矿中有回收价值的金属元素主要是Cu和Mo，品位较低。矿石中主要的金属矿物为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿等，主要的脉石矿物为石英、长石、绢云母、黑云母、绿泥石等。矿区氧化带深度较浅，组成矿体的矿石氧化程度极弱，多为原生矿石。矿石中钼主要是以硫化物的形式存在，其中以辉钼矿矿物形式存在的钼占原矿总钼量的80%左右，其余分散于黄铜矿、黄铁矿中或呈微细包裹体分散于脉石矿物中；铜主要以硫化铜矿物的形式存在，铜矿物比较单一，以黄铜矿矿物形式存在的铜占原矿总铜量的95%左右，其余分散于黄铁矿以及呈黄铜矿微细包裹体分散于脉石矿物中。矿石中辉钼矿及黄铜矿均较难解离，磨矿细度为-0.074 mm 90%时，辉钼矿的解离度为86%，黄铜矿的解离度为93%左右。原矿化学多元素分析结果见表1，铜、钼的物相分析结果见表2、3。

表1 原矿化学多元素分析结果/%

Table 1 Chemical analysis of multi-elements of the raw ore

Cu	Mo	K_2O	Na_2O	Fe
0.16	0.0421	4.49	2.52	2.66
S	P	As	WO_3	MgO
0.90	0.024	0.002	0.007	1.10
Au*	Ag*	SiO_2	Al_2O_3	CaO
<0.05	2.20	66.20	14.11	2.14

*单位为g/t。

收稿日期：2015-06-27；**改回日期**：2015-07-29
作者简介：廖银英（1986-），女，选矿工程师，主要从事有色金属选矿工作。

万方数据

表 2 原矿铜物相分析结果

Table 2 Analysis results of copper phase

铜物相	硫化铜中铜	游离氧化铜中铜	结合氧化铜中铜	总铜
含量/%	0.1553	0.0036	0.0011	0.16
占有率/%	97.22	2.10	0.68	100.00

表 3 原矿钼物相分析结果

Table 3 Analysis results of molybdenum phase

钼物相	硫化物中钼	其它形式钼	总钼
含量/%	0.037	0.0051	0.0421
占有率/%	87.93	12.07	100.00

2 选矿试验研究

2.1 混合粗选试验

铜钼混合浮选阶段是保证铜钼回收率的基础，试验根据该矿石的性质进行了一系列的条件试验，主要考察了磨矿细度、捕收剂种类和用量、分散剂用量对分选指标的影响。

2.1.1 磨矿细度试验

矿石浮选时，使有用矿物充分单体解离，而又不过粉碎，是保证有用矿物得到有效回收的先决条件。原矿石中铜钼矿物嵌布粒度细，粒度范围广，合适的磨矿细度有利于提高铜钼的回收率，因此首先进行磨矿细度试验。试验流程见图 1，试验结果见图 2。

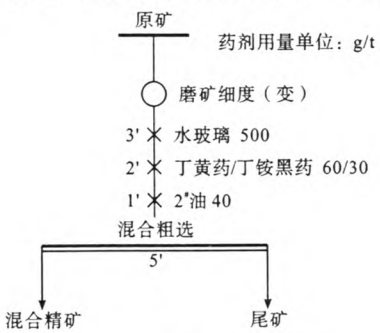

图 1 磨矿细度试验流程

Fig. 1 Process of grinding fineness

由图 2 结果可知，当磨矿细度 -0.074 mm 含量从 60% 增加到 68% 时，混合精矿中铜和钼的品位变化不大，而回收率均达到最大值；若继续提高磨矿细度，铜和钼的回收率均呈下降趋势。因此综合考虑选矿指标和磨矿成本，选择较佳磨矿细度 -0.074 mm 68%，此时所得混合精矿铜的品位为 4.19%，铜回收率为 88.58%，钼品位为 0.98%，钼回收率为 79.2%。

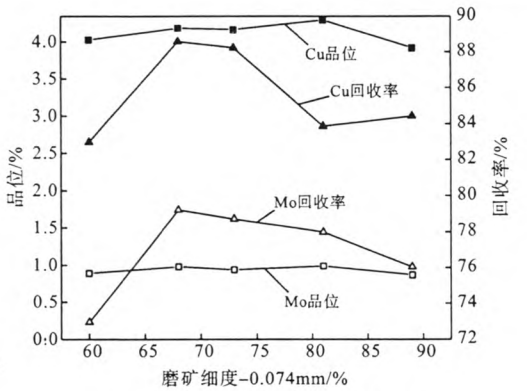

图 2 磨矿细度试验结果

Fig. 2 The test result of grinding fineness

2.1.2 捕收剂种类和用量试验

混合粗选捕收剂要有较强的捕收能力，较好的选择性，为了减少对后续的铜钼分离的影响，进行了混合粗选捕收剂种类和用量试验，固定磨矿细度 -0.074 mm 68%，分散剂水玻璃用量为 500 g/t，2# 油用量为 40 g/t，试验结果见图 3。

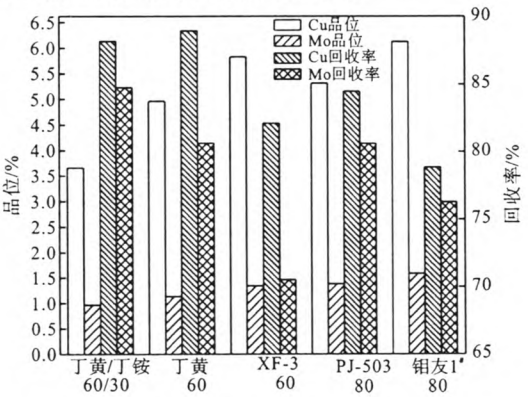

图 3 捕收剂种类和用量试验结果

Fig. 3 The test result of the type and the dosage of collector

由图 3 结果可知，以丁黄药和丁铵黑药混合使用时铜钼回收率相对较高，故选择丁黄药和丁铵黑药混合用药作为该硫化矿混合浮选的捕收剂。后续进行了丁黄药/丁胺黑药药剂用量的最佳配比试验，试验最终确定丁黄药/丁铵黑药的较佳用量为 80/40 g/t。

2.1.3 水玻璃用量试验

试样含有一定量的绿帘石、绢云母等易于泥化的矿物。加入适量水玻璃可分散抑制矿泥，水玻璃用量试验流程见图 1，其中磨矿细度 -0.074 mm 68%，丁黄药/丁铵黑药用量为 80/40g/t，2# 油用量

万方数据

为 40 g/t。试验结果见图 4。

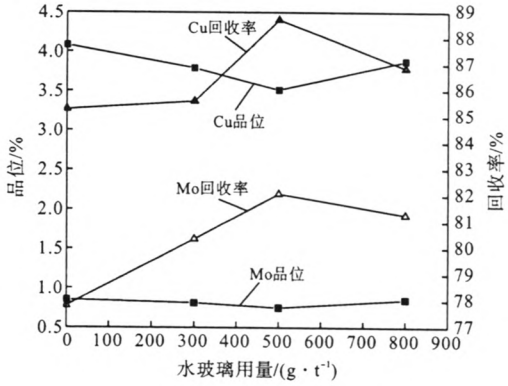

图 4　水玻璃用量试验

Fig. 4　The test result of the dosage of sodium silicate

从图 4 试验结果可知,铜钼(硫)混合浮选时,添加适量水玻璃可分散矿泥,改善浮选环境,提高铜钼浮选回收率。而水玻璃用量过多会降低泡沫稳定性,使铜钼回收率下降。因此水玻璃用量在 500 g/t 左右为宜。

2.1.4　混合浮选闭路试验

为了考察中矿返回对浮选指标的影响,在条件试验的基础上进行了实验室闭路试验,工艺流程见图 5,试验结果见表 4。

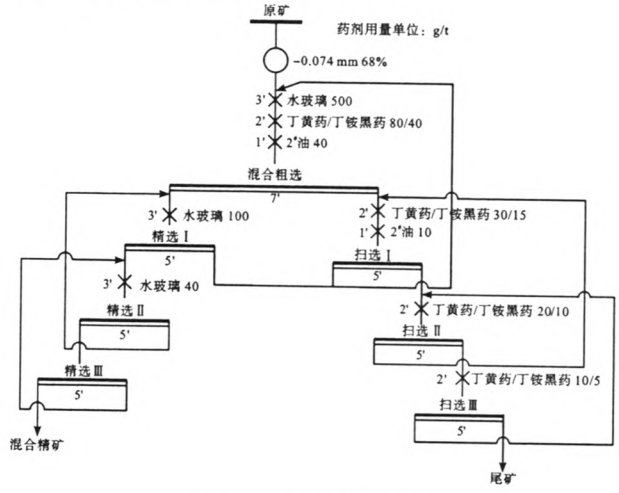

图 5　闭路试验流程

Fig. 5　Process of closed-circuit test

从表 4 结果可以看出,经过闭路试验能获得铜品位 4.51%、铜回收率 93.09%、钼品位 1.23%、钼回收率 90.42% 的混合精矿。

表 4　混合浮选闭路流程试验结果

Table 4　Closed-circuit test results of mixed flotation

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Cu	Mo	S	Cu	Mo	S
混合精矿	3.22	4.51	1.23	30.43	93.09	90.42	97.99
尾矿	96.78	0.011	0.00438	0.025	6.91	9.58	2.01
原矿	100.0	0.156	0.0438	1.004	100.0	100.0	100.0

2.2　混合精矿精选分离试验

全硫混合浮选获得的混合精矿,采用先抑制硫浮铜钼,再抑铜浮钼的工艺流程进行精选分离。

2.2.1　精选分离再磨细度试验

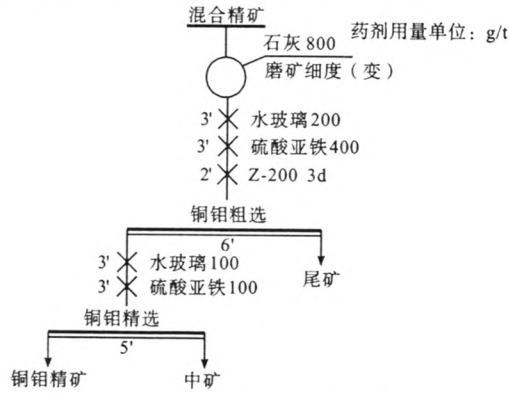

图 6　精选分离再磨细度试验流程

Fig. 6　Process of cleaning separation regrinding fineness

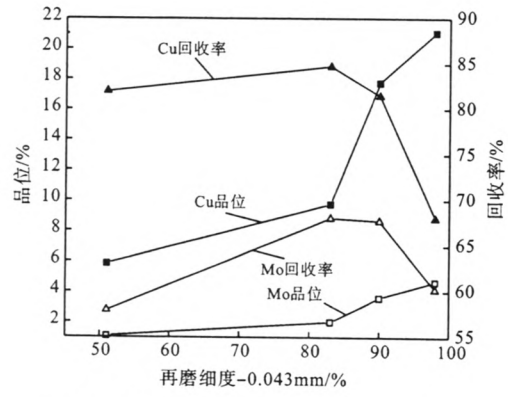

图 7　精选分离再磨细度试验结果

Fig. 7　The test result of cleaning separation grinding fineness

由于有用矿物嵌布粒度细,分离前必须对全硫混合精矿进行再磨。通过再磨不但使有用矿物进一步单体解离,还可以达到脱药的目的,为分离造成有利条件。但过磨产生的新矿泥会影响浮选效果,因此对辉钼矿的选别要避免和防止过磨,确保钼精矿

万方数据

的高回收率。同时，试验中加入一定量的极性捕收剂 Z-200 有利于辉钼矿的回收。精选分离再磨细度试验流程见图 6，试验结果见图 7。

图 7 试验结果表明，未再磨时（-0.043 mm 51%），硫铁矿难以得到有效抑制，铜钼精矿品位难以提高，但磨得过细钼难以得到有效回收，再磨细度 -0.043 mm 90% 左右试验结果较好，所得铜钼精矿铜品位为 17.75%、钼品位为 3.6%、铜回收率为 81.46%、钼回收率为 67.73%。

2.2.2 精选分离石灰用量试验

石灰价格低廉、使用方便，是目前应用较为普遍的铜与硫分离的抑制剂。再磨后精选添加石灰，改善了矿浆特性，分散了矿泥，并起到消除“难免”离子对浮选的有害影响的作用。石灰用量试验流程见图 6，其中再磨细度-0.043 mm 90%，试验结果见图 8。

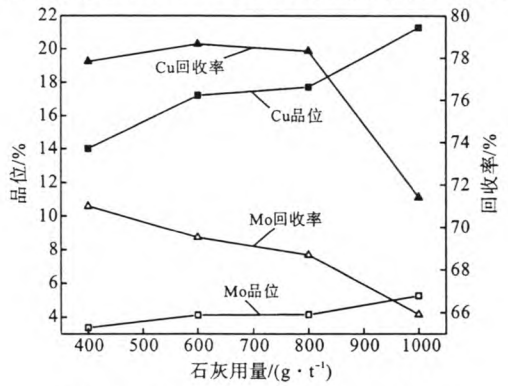

图 8 精选分离石灰用量试验结果

Fig. 8 The test result of the dosage of CaO in cleaning separation

图 8 试验结果表明，在碱性介质的矿浆中，对钼的浮选结果具有较大的影响。石灰用量少，钼的品位偏低；石灰用量多，钼受到抑制，回收率损失严重，过量的石灰不同程度抑制黄铜矿和辉钼矿，因此要严格控制石灰的用量。试验确定石灰用量以 600 g/t（pH=11.0）为宜。

2.2.3 分散剂种类和用量试验

通过再磨除去混合浮选的捕收剂，产生了新的矿物表面，而同时也使脉石矿物泥化，试验确定了添加适量的水玻璃来分散和抑制脉石矿泥，用量为 200 g/t。同时，试验表明，抑制硫铁矿时适量添加硫酸亚铁可明显降低泡沫黏度，有利于提高铜钼品位和回收率，硫酸亚铁用量为 400 g/t。混合精矿再磨前浓密并控制适宜的再磨细度后，铜钼分离浮选分别采用硫化钠和巯基乙酸钠作为铜矿物的抑制剂进行了对比试验，因后者价格昂贵且分选效果差，试验最终选用硫化钠。

为避免再磨后矿泥对浮选过程的不利影响，铜钼精选分离时添加分散剂对矿泥进行抑制分散。试验考察了六偏磷酸钠+水玻璃混合用药、焦磷酸钠+水玻璃混合用药、单独使用水玻璃对铜钼分离指标的影响。铜钼分离试验采用一粗三精流程，最终产品为钼精矿，分离精选分散剂用量依次减半。最终试验结果见图 9。

图 9 试验结果表明，单独使用水玻璃对矿浆的分散和抑制效果较差，需与其它两个药剂混合使用，且水玻璃和六偏磷酸钠联合使用，用量为 80/80g/t 时，可获得钼精矿品位为 45.66%、回收率 46.01% 的良好开路浮选指标。另外，在铜钼分离浮选阶段添加煤油能有效改善钼的的选别指标，但煤油消泡作用明显，导致 2# 油用量不够，将制约钼的回收率，试验确定煤油用量为 8 g/t。

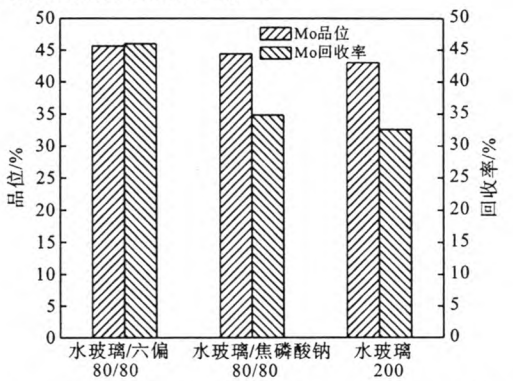

图 9 铜钼分离浮选分散剂种类与用量试验结果

Fig. 9 The test result of the type and the dosage of dispersant in separation of Cu-Mo

2.3.4 分离精选闭路试验

表 5 混合精矿分离闭路试验结果

Table 5 Closed-circuit test result of mixed concentrate separation

产品名称	产率/%	品位/%			回收率%		
		Cu	Mo	S	Cu	Mo	S
钼精矿	2.16	0.71	43.62	32.27	0.30	77.87	1.84
铜精矿	19.61	24.25	0.68	33.72	93.61	11.02	17.46
硫精矿	78.23	0.40	0.17	39.30	6.09	11.11	80.70
混合精矿	100.00	5.08	1.21	38.07	100.00	100.00	100.00

为了减少回路的损失，分离精选循环要有足够的浮选时间，以保证很好地回收钼[11]。混合精矿精选分离闭路试验流程见图 10，试验结果见表 5。

从表 5 结果可以看出，经过闭路试验可得到含

万方数据

钼 43.62%、钼回收率 70.41% 的钼精矿;含铜 24.25%、铜回收率 87.14% 的铜精矿;含硫 39.30%、硫回收率 79.08% 的硫精矿。

3 结　论

(1)该矿石类型为斑岩型铜钼矿,矿石中铜矿物主要为黄铜矿,钼主要为辉钼矿。矿石中的铜钼矿物嵌布粒度粗细不均,铜钼选矿分离难度大。

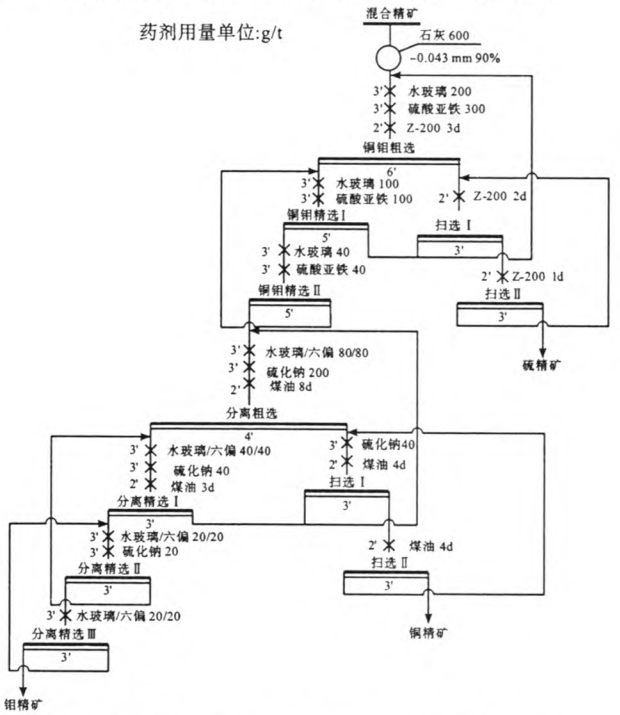

图 10　混合精矿精选分离闭路试验流程

Fig. 10　Closed-circuit test process of mixed concentrate separation

(2)试验采用铜钼(硫)混合浮选-混合精矿脱硫精选-钼铜分离的工艺流程,对于含铜 0.16%,含钼 0.0421% 的原矿,可获得含钼 43.62%、钼回收率 70.41% 的钼精矿;含铜 24.25%、铜回收率 87.14% 的铜精矿;以及含硫 39.30%、硫回收率 79.08% 的硫精矿。

(3)试验工艺流程结构合理,所得的分选指标较优且重现性较好,该试验研究结果可以作为开发利用该铜钼矿的技术依据。

参考文献:

[1]李立清,杨丽钦. 浅谈铜资源的综合利用问题[J]. 金属矿山,2010(7):169-172.

[2]刘有才. 斑岩型铜钼矿的浮选新药剂与新工艺研究[D]. 长沙:中南大学,2012. 1-3.

[3]张晶,杨玉珠,简胜,等. 云南某铜钼矿浮选工艺流程试验研究[J]. 有色金属:选矿部分,2014(5):29-34.

[4]李兵容,赵华伦,邱允武,等. 西藏某铜钼矿浮选工艺研究[J]. 有色金属:选矿部分,2010(3):5-8,4.

[5]谷志君,王越,苏凯,等. 某大型铜钼矿铜钼可浮性研究[J]. 有色金属:选矿部分,2009(2):1-4.

[6]王雅静,田锋. 提高某低品位难选铜钼矿铜钼粗选回收率的试验研究[J]. 有色金属:选矿部分,2008,(3):12-15.

[7]胡志刚,代淑娟,孟宇群,等. 某低品位铜钼矿石选矿试验[J]. 金属矿山,2012(6):68-71,78.

[8]王立刚,刘万峰,孙志健,等. 蒙古某铜钼矿选矿工艺技术研究[J]. 有色金属:选矿部分,2011(1):10-13.

[9]王淑红,孙永峰. 山东某低品位铜钼矿石选矿试验[J]. 金属矿山,2013(7):86-88.

[10]曾锦明. 硫化铜钼矿浮选分离及其过程的第一性原理研究[D]. 长沙:中南大学,2012.

[11]俞娟,杨洪英,周长志,等. 某难选铜钼混合矿分离浮选试验研究[J]. 有色金属:选矿部分,2008,(6):6-8.

Research on Flotation of Low-grade and a Refractory Porphyry Copper-molybdenum Ore

Liao Yinying

(Zijin Mining Group Co., Ltd., Shanghang, Fujian, China)

Abstract: Based on the characteristics of a low-grade and refractory porphyry copper and molybdenum ore, the flow-sheet of coarse grinding-bulk flotation of copper and molybdenum (and sulfur)-separation of copper and molybdenum was adopted. The closed-circuit test can obtain the molybdenum concentrate containing 43.62% of Mo at a recovery of 70.41%, thecopper concentrate containing 24.25% of Cu at a recovery of 87.14%, and the sulfur concentrate containing 39.30% of S at a recovery of 79.08%, which can provide the technical basis for exploiting this copper-molybdenum ore.

Keywords: Copper-molybdenum ore; Low grade; Mixed flotation; Separation of copper and molybdenum

万方数据