

云南某低品位铜钼矿选矿试验研究

王昊伟¹,周兴龙^{1,2},徐翔²,王兰华²,张鹏翔¹,袁铭泽¹

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650000;

2. 昆明振龙科技有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要:斑岩型铜钼矿是当前提取铜、钼的重要资源,其中铜矿物主要以黄铜矿为主,钼矿物一般以辉钼矿的形式存在。该类矿石中辉钼矿多与黄铜矿、黄铁矿密切共生,此外,由于辉钼矿与黄铜矿的可浮性相似,因此从铜钼矿石中回收辉钼矿难度较大,工艺也较为复杂。本文研究对象为云南某斑岩型铜钼矿,其主要矿物为黄铜矿与辉钼矿,嵌布粒度较细。对该矿进行的选矿工艺研究表明,矿石经过原矿粗磨,粗精矿再磨,1粗2精2扫、中矿顺序返回进行铜钼混浮;铜钼精矿进行脱药再磨,1粗5精1扫、中矿顺序返回进行铜钼分离,最终得到了铜品位25.91%,铜精矿回收率78.68%,钼品位45.79%,钼精矿回收率77.49%的良好指标,有效实现了铜钼分离、铜钼回收的目的,对实际工业生产中同类矿石的分选利用有着积极的指导作用,对我国铜钼矿资源的综合利用亦有着重要意义。

关键词:黄铜矿;辉钼矿;铜钼混浮;铜钼分离

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.02.015

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)02-0063-05

在全球经济大环境下,中国的经济增长虽然放缓,社会工业化仍然不断发展,社会财富不断累积。虽然有色金属行业整体低迷,但钼作为一种重要的战略资源,广泛应用于能源、采矿、建筑、造船等行业^[1],需求量仍有一定的增长。我国钼矿资源丰富,主要以硫化矿的形式存在,单一钼矿床少,共伴生矿较多且平均品位较低。目前,绝大多数钼从铜钼矿石中回收,随着矿产资源开采利用,易选铜钼矿储量越来越少,针对低品位铜钼矿石选矿工艺研究显得尤为迫切。

典型的铜钼矿石斑岩型铜钼矿中铜矿物主要以黄铜矿为主,钼矿物一般以辉钼矿的形式存在。作为当前提取铜、钼的重要资源,此类矿石一般具有品位低、嵌布粒度细等特点,矿石中辉钼矿常与黄铜矿、黄铁矿密切共生,同时,由于辉钼矿本身可浮性与黄铜矿相似,从铜钼矿石中回收辉钼矿比从单一钼矿中回收钼更难、更复杂^[2-3]。

云南某铜钼矿属斑岩型铜钼矿,矿区蚀变特征总体与“二长岩”模式相符合,并与国内西藏玉龙、驱龙、多龙及多不杂斑岩型铜矿床相似^[4]。主要经济矿物为黄铜矿与辉钼矿,嵌布粒度较细,多数沿矿石裂隙分布,少数星散分布与矿石中,伴生有少量金银,有一定的综合利用价值。针对矿石性质,本文通过采用新型组合药剂,确定了合适的铜钼矿浮选流程,取得了较好的工艺指标。

1 原矿性质

矿样取自云南某大型铜钼矿,矿石中各组分无方向性均匀分布,构成矿石块状构造,有氧化物、硅酸盐、磷酸盐、碳酸盐、硫化物共五类20多种矿物,其中氧化物占41.41%,硅酸盐矿物占54.73%。矿石中主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿以及少量闪锌矿,脉石矿物主要为石英、斜长石、另有少量黑云母、钾长石等。原矿多元素分析结果见表1。

表1 原矿多元素分析结果/%

Table 1 Multi-element analysis results of the run-of-mine

Cu	Mo	Fe	Zn	Pb	S	Sn	As	Na	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Ag*	Au*
0.55	0.013	3.91	0.01	0.05	1.01	0.015	0.011	1.72	1.88	2.01	13.02	64.21	1.0	0.1

*单位为g/t。

收稿日期:2016-04-15

作者简介:王昊伟(1990-),男,在读硕士研究生,主要从事浮选理论与工艺等方面的研究。

通讯作者:周兴龙(1962-),男,教授,主要从事选矿设备研究开发及应用,邮箱:13700698756@163.com。

工艺矿物学研究表明,主要铜矿物为黄铜矿,有少量孔雀石,多数黄铜矿嵌布对铜的回收比较有利,少量黄铜矿浸染状分布与矿石中,对铜的回收有一定的影响,孔雀石含量较低,难以回收。

镜下观察钼矿物主要以辉钼矿的形式存在,多为半自形-它形粒状,少数片状。大部分与黄铜矿连生,少数分布与脉石矿物中;少量辉钼矿与黄铜矿互相包裹,粒度在 0.025 ~ 0.15 mm 之间,钼的回收有一定困难。

矿石中金、银含量分别为 0.1 g/t 和 1 g/t,初步测试结果显示金、银主要以类质同象或显微包体的形式赋存于黄铜矿、黄铁矿中,能否综合回收利用尚须进一步研究。

2 结果与讨论

2.1 混合浮选条件试验

硫化铜钼矿石浮选原则上优先浮选,部分混浮以及先混浮再分离三种方法。优先浮选无论是先浮铜或钼,被抑制过的矿物很难活化,浮选指标差,工业上较少使用;部分混浮可以有效降低铜钼分离难度但对原矿品位有一定要求^[5-8];因此本次试验采用先混浮再分离的方法选别铜钼矿,混浮条件试验采用一次粗选的流程,试验流程见图 1。

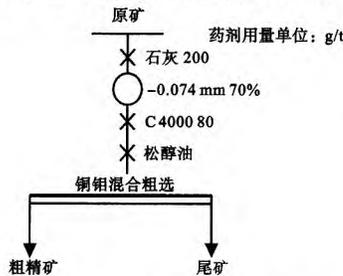


图 1 铜钼混浮条件试验流程

Fig. 1 Flowsheet of copper-molybdenum bulk flotation

2.1.1 磨矿细度试验

铜钼混浮磨矿细度试验捕收剂丁黄药用量为 80 g/t,起泡剂松醇油用量为 30 g/t,石灰用量为 200 g/t,试验结果见表 2。

表 2 铜钼混浮磨矿细度试验结果

Table 2 Results of grinding fineness

磨矿细度 (-0.074 mm 含量/%)	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
60	粗精矿	4.56	0.10	70.45	65.36
	尾矿	0.18	0.005	29.55	34.64
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

磨矿细度 (-0.074 mm 含量/%)	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
65	粗精矿	4.53	0.11	74.51	76.55
	尾矿	0.15	0.003	25.49	23.45
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
70	粗精矿	4.51	0.11	77.43	77.65
	尾矿	0.14	0.003	22.57	22.35
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
75	粗精矿	4.48	0.11	73.92	76.79
	尾矿	0.16	0.003	26.08	23.21
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
80	粗精矿	4.24	0.11	69.43	76.21
	尾矿	0.19	0.003	30.57	23.79
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

由表 2 可知,随着磨矿细度的增加,混合精矿铜、钼的品位下降,回收率均先上升后下降,经综合考虑确定铜钼原矿粗磨细度为 -0.074 mm 70%。

2.1.2 捕收剂种类试验

硫化铜钼矿捕收剂按照官能团划分,一般可分为黄药及其衍生物、黑药及其衍生物、硫氮、其他类型的捕收剂这几类,无论是何种类型捕收剂,其研究都是为了提高捕收剂的选择性和捕收能力。混合捕收剂很早就应用在硫化矿浮选中,不同类型捕收剂通过不同比例混合可以改善浮选效果,这种效果被称为协同效应^[9]。捕收剂种类试验在磨矿细度 -0.074 mm 70%、石灰用量 200 g/t、捕收剂用量 80 g/t、松醇油用量 30 g/t 的条件下,考察了丁基黄药以及几种国外生产的以黄药为主的新型混合捕收剂的浮选效果,试验结果见表 3。

由表 3 可知,几种新型混合捕收剂均取得较好的浮选指标,其中混合捕收剂 C4000 效果优于其他混合捕收剂,与丁基黄药相比,虽然铜回收率低于丁基黄药,但使用 C4000 作为捕收剂的粗精矿中铜、钼品位均远远高于使用丁基黄药的粗精矿。考虑到后续浮选铜精矿品位需要达到 25% 才能产生良好的经济效益,综合考虑决定使用 C4000 作为铜钼混浮捕收剂进行后续试验。

表 3 捕收剂种类试验结果

Table 3 Results of types of collectors

捕收剂种类	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
丁基黄药	粗精矿	4.51	0.11	77.43	77.65
	尾矿	0.14	0.003	22.57	22.35
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
C4410	粗精矿	7.78	0.19	72.75	75.29
	尾矿	0.16	0.003	27.25	24.71
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

捕收剂种类	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
C5210	粗精矿	5.02	0.11	71.41	66.83
	尾矿	0.17	0.005	28.59	33.17
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
C4135	粗精矿	6.08	0.11	81.47	62.32
	尾矿	0.11	0.005	18.53	37.68
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
C4000	粗精矿	9.21	0.23	73.88	77.70
	尾矿	0.15	0.003	26.12	22.30
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

2.1.3 C4000 用量试验

捕收剂用量条件试验在磨矿细度-0.074 mm 70%、石灰用量 200 g/t、松醇油用量 30 g/t 条件下进行,试验结果见表4。

表4 C4000 用量试验结果

Table 4 Results of dosage of C4000

C4000 用量 /(g·t ⁻¹)	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
60	粗精矿	11.36	0.30	60.81	67.93
	尾矿	0.22	0.004	39.19	32.07
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
80	粗精矿	9.21	0.23	73.88	77.70
	尾矿	0.15	0.003	26.12	22.30
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
100	粗精矿	8.43	0.21	74.26	77.87
	尾矿	0.15	0.003	25.74	22.13
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
120	粗精矿	8.07	0.20	74.42	78.01
	尾矿	0.15	0.003	25.58	21.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
140	粗精矿	8.02	0.20	74.92	79.02
	尾矿	0.15	0.003	25.08	20.98
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

由表4可知,随着捕收剂用量的增加,精矿铜、钼品位逐渐降低,回收率增加,当捕收剂用量到 80 g/t 时,增加捕收剂用量对浮选指标没有明显改善,因此确定捕收剂用量为 80 g/t。

2.2 铜钼分离条件试验

2.2.1 试验流程

辉钼矿与黄铜矿可浮性相似,造成铜钼矿分离困难。一般情况下,常用抑铜浮钼的工艺流程进行分离。此工艺流程中,抑制剂的选择是能否实现铜钼分离的关键,常用的抑制剂有氰化物、诺克斯类以及硫化钠,根据矿石不同性质加入硅酸钠、氟硅酸钠等药剂^[10]。

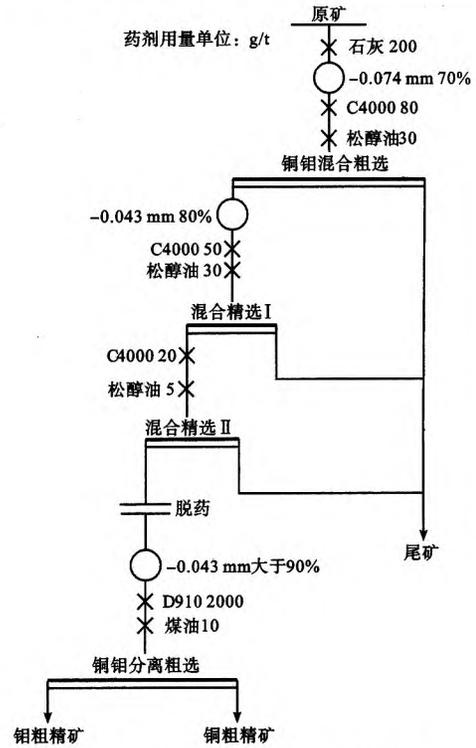


图2 铜钼分离条件试验流程

Fig. 2 Flowsheet of copper and molybdenum separation

本研究重点进行了抑制剂 D910 和煤油的铜钼分离条件试验,试验流程见图2。

2.2.2 D910 用量试验

铜钼分离试验采用以硫化钠为主的混合抑制剂 D910,在磨矿细度-0.043 mm 大于 90%,捕收剂煤油用量 10 g/t 的条件下探索抑制剂用量,试验结果见表5。

由表5可得,随着抑制剂 D910 用量的增加,铜粗精矿铜品位下降,回收率上升,钼粗精矿钼品位下降,回收率上升。综合考虑,确定铜钼分离粗选 D910 用量为 2000 g/t。

表5 D910 用量试验结果

Table 5 Results of dosage of D910

D910 用量 /(g·t ⁻¹)	产品名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
1600	铜粗精矿	28.94	0.08	59.54	6.49
	钼粗精矿	13.96	3.51	5.98	63.52
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
1800	铜粗精矿	28.82	0.05	59.98	4.69
	钼粗精矿	13.02	3.63	5.54	65.32
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

D910 用量 /(g · t ⁻¹)	产品 名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
2000	铜粗精矿	28.79	0.04	61.97	3.54
	钼粗精矿	12.67	5.63	3.55	66.47
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
2200	铜粗精矿	28.77	0.03	62.05	3.08
	钼粗精矿	12.45	5.68	3.47	66.93
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
2400	铜粗精矿	28.69	0.03	62.24	3.12
	钼粗精矿	12.39	5.98	3.28	66.97
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

2.2.3 煤油用量试验

由于辉钼矿具有很好的亲油性,煤油对其有较强的捕收性能。煤油用量试验在磨矿细度-0.043 mm 大于90%,抑制剂 D910 用量 2000 g/t 的条件下进行,试验结果见表 6。

表 6 煤油用量试验结果

Table 6 Results of dosage of kerosene

煤油用量 /(g · t ⁻¹)	产品 名称	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
0	铜粗精矿	28.42	0.13	63.72	12.53
	钼粗精矿	12.01	9.06	1.80	57.48
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
5	铜粗精矿	28.52	0.05	62.53	4.69
	钼粗精矿	12.47	6.53	2.99	65.32
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
10	铜粗精矿	28.79	0.04	61.97	3.54
	钼粗精矿	12.67	5.63	3.55	66.47
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
15	铜粗精矿	28.81	0.04	61.88	3.50
	钼粗精矿	12.71	5.49	3.64	66.51
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00
20	铜粗精矿	28.89	0.04	60.87	3.92
	钼粗精矿	12.92	4.34	4.65	66.09
	尾矿	0.19	0.004	34.48	29.99
	原矿	0.55	0.013	100.00	100.00

由表 6 可知,随着煤油用量的增大,钼粗精矿钼品位下降、回收率上升,铜粗精矿铜品位上升,铜回收率降低。当煤油用量超过 10 g/t 时,铜、钼回收率变化幅度较小,因此,确定煤油用量为 10 g/t。

2.3 闭路试验

在上述条件试验以及全流程开路试验的基础上进行了闭路试验,试验流程见图 3,试验结果见表 7。

表 7 闭路试验结果

Table 7 Results of closed-circuit operation

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
铜精矿	1.67	25.91	0.035	78.68	4.53
钼精矿	0.02	1.65	45.790	0.06	77.49
尾矿	98.32	0.12	0.002	21.26	17.98
原矿	100.00	0.55	0.013	100.00	100.00

最终闭路结果显示,采用图 3 所示闭路流程,最终可得到铜品位 25.91%,铜回收率 78.68% 的铜精矿以及钼品位 45.79%、钼回收率 77.49% 的钼精矿,达到了理想的试验指标。

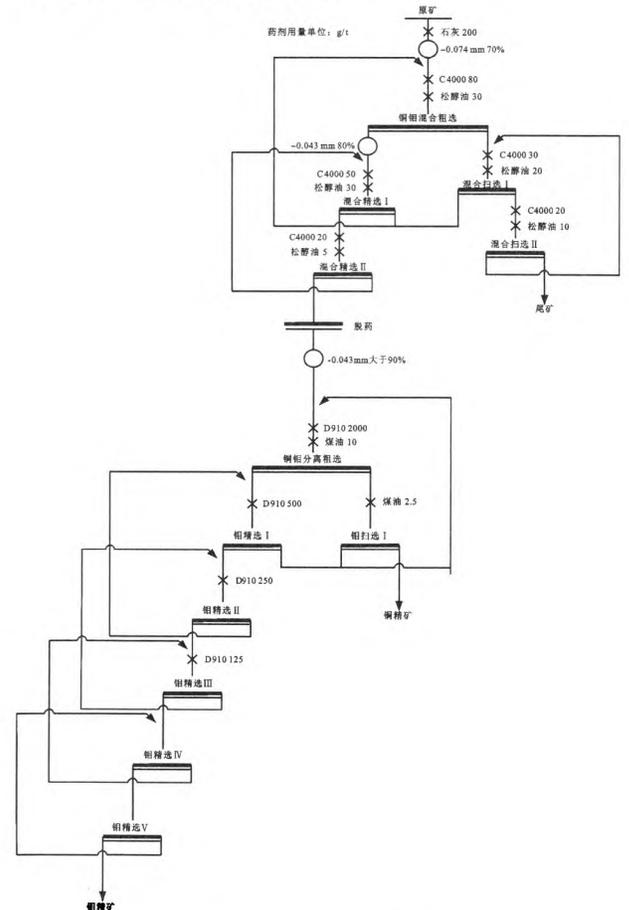


图 3 闭路试验流程

Fig. 3 Flowsheet of closed-circuit operation

3 结 论

(1) 云南某大型铜钼矿,矿石中主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿以及少量闪锌矿,脉石矿

物主要为石英、斜长石、另有少量黑云母、钾长石等。辉钼矿大部分与黄铜矿连生,少数分布与脉石矿物中;少量辉钼矿与黄铜矿互相包裹,粒度在 0.025 ~ 0.15 mm 之间。黄铜矿多与石英、长石等矿物连生,粒度在 0.005 ~ 1 mm 之间。

(2) 试验结果表明,使用新型的组合药剂取得了预期的效果,实现了铜钼的分离与回收。并确定了铜钼混浮 C4000 用量 60 g/t,石灰用量 200 g/t,松醇油用量 30 g/t 以及铜钼分离煤油用量 10 g/t, D910 用量 2000 g/t 的药剂制度。

(3) 矿石经过原矿粗磨、精矿再磨,1 粗 2 精 2 扫、中矿顺序返回进行铜钼混浮,铜钼精矿进行脱药再磨,1 粗 5 精 1 扫、中矿顺序返回进行铜钼分离,最终得到了铜品位 25.91%,回收率 78.68% 的铜精矿,钼品位 45.79%,回收率 77.49% 的钼精矿,铜钼浮选指标较好。

参考文献:

[1] 蒋丽娟,李来平,姚云芳,等. 2014 年钼业年评[J]. 中国钼业,2015,39(1):1-7.

- [2] 曹康,许继峰,陈建林,等. 云南普朗超大型斑岩铜矿床含矿斑岩成因及其成矿意[J]. 矿床地质,2014,33(2):307-322.
- [3] 李琳,吕宪俊,栗鹏. 钼矿选矿工艺发展现状[J]. 中国矿业,2012,21(2):100-107
- [4] 刘金浪. 钼矿种类及选矿技术浅析[J]. 科学与财富,2014(3):181.
- [5] 胡元,黄建平. 铜钼矿的浮选工艺和浮选药剂研究进展[J]. 云南冶金,2014,43(3):9-12.
- [6] 王洪忠. 斑岩铜矿铜钼分离工艺研究[J]. 金属矿山,2009(9):108-112.
- [7] 胡志刚,代淑娟,孟宇群. 某低品位铜钼矿石选矿试验[J]. 金属矿山,2012(6):68-71.
- [8] 张文军,程福超,陈营营. 赤峰某低品位铜钼矿选矿试验研究[J]. 金属矿山,2014(7):74-78.
- [9] Lotter N O, Bradshaw D J, The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation [J]. Minerals Engineering, 2010,23:945-951.
- [10] 孟奇,崔毅琦,童雄,等. 铜钼分离技术现状与趋势[J]. 矿冶,2014,23(2):19-22.

Experimental Study on Beneficiation for a Low-grade Copper-molybdenum Ore in Yunnan

Wang Haowei¹, Zhou Xinglong^{1,2}, Xu Xiang², Wang Lanhua², Zhang Pengxiang¹, Yuan mingze¹

(1. College of Land and Resources of Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China;
2. Kunming Zhenlong Science and Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan, China)

Abstract: Porphyry copper molybdenum deposit is the important resource which copper and molybdenum can be extracted. The copper mineral mainly exists in the form of chalcopyrite and the molybdenum mineral is generally in the form of molybdenite. The molybdenite is closely associated with chalcopyrite and pyrite in this kind of ore, in addition, because of the molybdenite and chalcopyrite can be floating similarly, so it is difficult to recover molybdenite from the copper molybdenum ore, and the technology is complex. The object of study is a Yunnan porphyry copper ore in this article, and the main mineral is chalcopyrite and molybdenite, which is disseminated finely. The test results showed that the copper concentrate with grade of 25.91% and recovery of 78.68%, and the molybdenum concentrate with grade of 45.79% and recovery of 88.35% were achieved with closed-circuit process of the coarse grinding and regrinding of coarse concentrate, one roughing, two cleaning, two scavenging and middles back to the flow-sheet in turn for copper and molybdenum mixed flotation, copper and molybdenum mixed concentrate removal of the flotation reagent, regrinding and with the closed-circuit process of one roughing, five cleanings, one scavenging and middling back for copper and molybdenum separation flotation. The indicators are good and it is effective for the separation and recovery of copper and molybdenum. It gives a positive guide for the industrial production to deal with the similar ore, and the significance of copper molybdenum ore resources comprehensive utilization is also important.

Keywords: Chalcopyrite; Molybdenite; Copper-molybdenum bulk flotation; Copper and molybdenum separation