

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.03.014

某铜金银硫多金属矿综合回收选矿试验研究

陈杜娟,郭海宁,苗梁,李福兰

(西北矿冶研究院,甘肃白银 730900)

摘要:甘肃某多金属矿可综合回收利用的有价元素为铜、金、银、硫,试验研究针对该矿石次生铜含量高、铜硫嵌布关系紧密、有用矿物粒度细的性质特点,采用铜硫混合浮选—粗精矿再磨—铜硫分离工艺流程和新型药剂酯-11,获得了铜品位19.05%、铜回收率90.07%、金品位7.46 g/t、金回收率60.43%、银品位42.00 g/t、银回收率41.20%的铜精矿和硫品位41.28%,硫回收率62.22%的硫精矿,为该矿石的综合回收提供了技术依据。

关键词:多金属矿;次生铜;伴生金银;再磨;铜硫分离

中图分类号:TD952

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2021)03-0083-05

Experimental Study on Comprehensive Recovery of a Copper-Gold-Silver-Sulfur Polymetallic Ore

CHEN Dujuan, GUO Haining, MIAO Liang, LI Fulan

(Northwest Research Institute of Mining & Metallurgy, Baiyin 730900, Gansu, China)

Abstract: The valuable elements that can be comprehensively recycled from a polymetallic ore in Gansu province are copper, gold, silver and sulfur. According to the characteristics of high secondary copper content, close copper-sulfur intercalation and fine particle size of useful minerals, the experimental research adopts the process of copper-sulfur bulk flotation - coarse concentrate regrinding - copper-sulfur separation and the new reagent ester-11, which obtains not only the copper concentrate with copper grade of 19.05%, copper recovery of 90.07%, gold grade of 7.46 g/t, gold recovery of 60.43%, silver grade of 42.00 g/t, silver recovery of 41.20%, but also the sulfur concentrate with sulfur grade of 41.28% and sulfur recovery of 62.22%. It provides technical basis for comprehensive recovery of the ore.

Key words: polymetallic ore; secondary copper; associated gold and silver; regrinding; copper-sulfur separation

铜是重要的有色金属,我国铜资源储量有限,以硫化铜矿为主,硫化铜矿多与黄铁矿共生,且常伴有金、银等贵金属^[1]。甘肃某多金属矿含铜、金、银、锌、钴、硫等有价组分,资源优势明显,开发利用前景良好,本文以该多金属矿为研究对象,进行了选矿试验研究,为该资源的开发利用提供了技术依据。

1 矿石性质

矿石中金属矿物主要以黄铁矿为主,其次为黄铜矿、白铁矿,少量磁铁矿、闪锌矿等。黄铜矿与黄铁矿嵌布关系密切,交代包裹连生较为普遍,部分极难

单体解离;黄铁矿粒度范围很宽,在0.5~0.005 mm,大于0.074 mm的颗粒占72.80%,小于0.02 mm的颗粒占12%;黄铜矿粒径较细,大于0.074 mm的颗粒占36.7%,小于0.02 mm占15%。金银赋存状态分析结果表明,金主要赋存在黄铜矿、黄铁矿中;银主要赋存在黄铜矿、黝铜矿中。对原矿进行了化学多元素分析和铜物相分析,分析结果见表1、2。

由表1结果可知,该矿石锌品位低,不具有回收利用价值,同时硫钴比过高,难以产出合格硫钴精矿,因此可综合回收利用的有价元素为铜、金、银、硫。表2结果表明,该矿石次生硫化铜含量较高,对回收不利^[2]。

表 1 矿石化学多元素分析结果

Table 1 Results of chemical multi-element analysis of raw ore /%

组分	Cu	S	Pb	Zn	Co	Fe	As
含量	1.79	18.79	0.031	0.32	0.017	20.81	<0.05
组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Sb	Au ¹⁾	Ag ¹⁾
含量	38.26	9.32	2.56	5.19	<0.01	1.04	8.62

注:1)单位为 g/t,下同

表 2 铜物相分析结果

Table 2 Results of copper phase analysis /%

铜相别	原生硫化铜	次生硫化铜	氧化铜	总铜
含量	1.47	0.26	0.06	1.79
占有率	82.12	14.53	3.35	100.0

2 试验结果与讨论

该矿属于伴生金银的铜硫矿石,金银可作为伴生矿物富集在铜精矿中,铜硫矿石的浮选工艺方案一般有优先选铜工艺、部分优先选铜—铜硫分离工艺和铜硫混合浮选—铜硫再分离工艺三种^[3]。针对该矿石铜硫嵌布关系复杂,交代包裹现象普遍等性质特点,经过大量的探索试验,最终确定铜硫混合浮选—粗精矿再磨—铜硫分离的选矿原则工艺流程,见图 1。

2.1 铜硫混合粗选药剂探索试验

铜硫矿物浮选采用的药剂一般为黄药类、黑药类、Z-200、松醇油等^[4],由于该矿石黄铁矿含量较高,仅加入黄药会使黄铁矿大量上浮、使铜硫分离难度增加^[5],同时该矿次生铜矿物含量较高,试验过程

表 3 铜硫混合粗选药剂探索试验结果

Table 3 Results of copper-sulfur bulk roughing reagent exploring tests /%

药剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率	品位			回收率		
			Cu	S	Au ¹⁾	Cu	S	Au
丁基黄药:50(40+10) 丁铵黑药:30(20+10)	铜硫混合精矿	29.24	5.51	43.17	2.82	89.75	67.67	76.90
	尾矿	70.76	0.26	8.52	0.35	10.25	32.33	23.10
丁基黄药:50(40+10) 酯-11:30(20+10)	原矿	100.0	1.79	18.65	1.07	100.0	100.0	100.0
	铜硫混合精矿	36.17	4.66	42.71	2.60	93.62	83.94	89.11
丁基黄药:50(40+10) Z-200:30(20+10)	尾矿	63.83	0.18	4.63	0.18	6.38	16.06	10.89
	原矿	100.0	1.80	18.41	1.06	100.0	100.0	100.0
丁基黄药:50(40+10) Z-200:30(20+10)	铜硫混合精矿	30.00	5.38	40.18	2.73	90.22	65.85	78.52
	尾矿	70.00	0.25	8.93	0.32	9.78	34.15	21.48
丁基黄药:50(40+10) 松醇油:30(20+10)	原矿	100.0	1.79	18.31	1.04	100.0	100.0	100.0
	铜硫混合精矿	45.29	3.65	38.22	2.06	91.80	93.72	90.94
	尾矿	54.71	0.27	2.12	0.17	8.20	6.28	9.06
	原矿	100.0	1.80	18.47	1.03	100.0	100.0	100.0

表 3 结果表明:1)丁基黄药和松醇油组合使用选择性较差,混合粗精矿含硫较高,加大铜硫分离难度;2)丁基黄药和 Z-200 组合使用,对铜的选择性较好,但捕收能力较弱,部分与黄铁矿共生的铜矿物难以上浮,需细磨;3)丁基黄药和丁铵黑药组合使用,

中应选用对次生铜矿物选择性较好的捕收剂。为此,进行了铜硫混合粗选药剂探索试验研究,试验流程见图 2,试验结果见表 3。

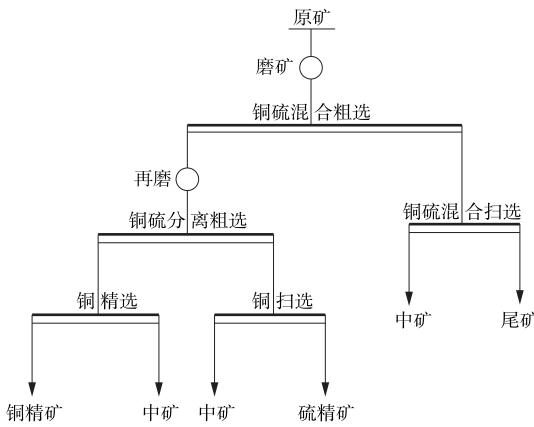


图 1 原则工艺流程图

Fig. 1 Flow diagram of principle process

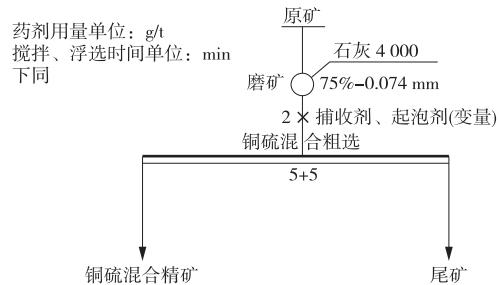


图 2 铜硫混合粗选药剂探索试验流程

Fig. 2 Flowsheet of copper-sulfur bulk roughing reagent exploring tests

所耗浮选时间较长,铜回收率较低,现场不易实施;4)丁基黄药和酯-11 组合使用,混合粗精矿铜品位、铜回收率均较高。综合考虑,适宜该矿石的铜硫混合粗选药剂为丁基黄药和酯-11 的组合,酯-11 为本次试验研究针对该矿石性质特点自主研发的对次生

铜矿物捕收性能较好的新型药剂。

2.2 铜硫混合粗选条件试验

2.2.1 石灰用量试验

含有伴生金银的铜硫矿浮选时,石灰的用量一方面影响铜精矿中杂质硫的含量,另一方面影响金银的回收率^[6]。为确定适合该矿石铜硫混合粗选的最佳石灰用量,进行了石灰用量试验,试验结果见图3。试验条件:磨矿细度75%—0.074 mm,丁基黄药用量50 g/t,酯-11用量30 g/t。从图3结果可看出,随着石灰用量增大,铜硫混合粗精矿中铜、金、硫回收率均呈先升高后降低趋势,当用量达到某一值时,硫回收率下降趋势明显,此时有利于保证铜金回收率,也有利于后续铜硫分离。因此,铜硫混选适宜的石灰用量为4 000 g/t。

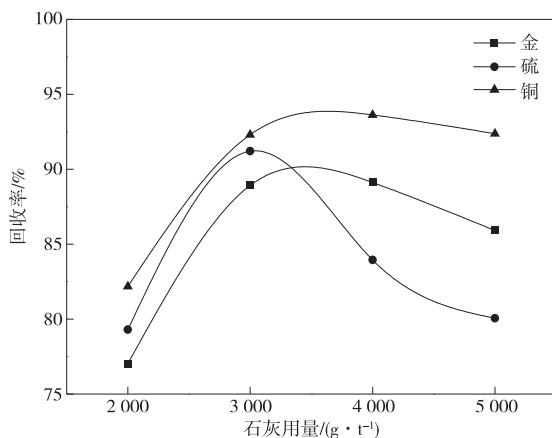


图3 铜硫混合粗选石灰用量试验结果

Fig. 3 Results of lime dosage tests on copper-sulfur bulk roughing

2.2.2 磨矿细度试验

为使有用矿物充分解离,固定石灰用量4 000 g/t,丁基黄药用量40 g/t,酯-11用量50 g/t,进行了磨矿细度试验,试验结果见图4。从图4结果可看出,在一定范围内随着磨矿细度的增加,金、铜回收率逐渐增大,硫回收率逐渐降低,当磨矿细度为70%—0.074 mm时,铜和金的回收率最大,硫回收率也下降明显。因此,确定适宜的磨矿细度为70%—0.074 mm。

2.2.3 丁基黄药、酯-11用量试验

以2.2.1和2.2.2确定的最佳石灰用量和磨矿细度为基础,进行了捕收剂丁基黄药和酯-11的用量试验,试验结果见图5、6。综合考虑铜、硫经济价值差异及药剂用量对后续铜硫分离难度的影响,以粗精矿中铜品位和铜回收率的综合指标作为药剂用量的选择依据。从图5、6结果可看出,丁基黄药和酯-11的最佳用量为50、35 g/t。

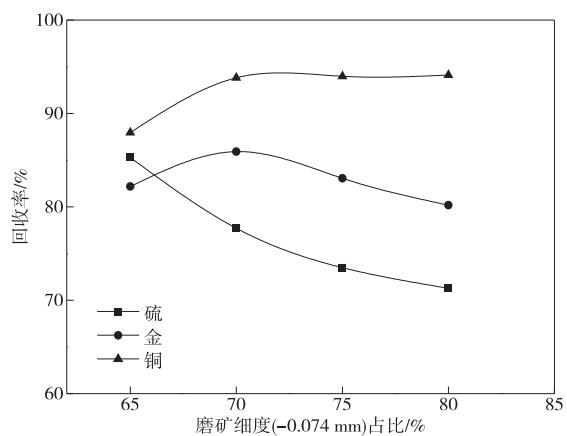


图4 磨矿细度试验结果

Fig. 4 Results of Grinding fineness tests

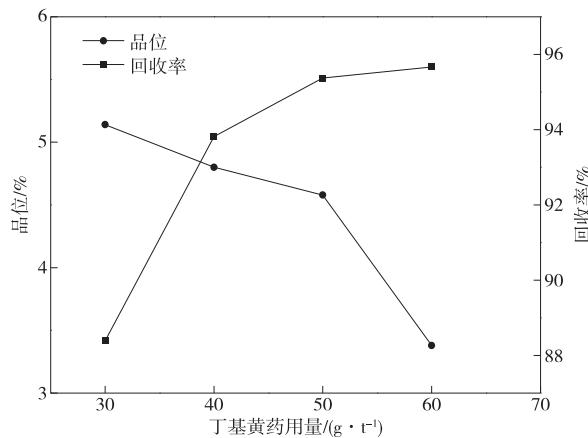


图5 丁基黄药用量试验结果

Fig. 5 Results of butyl xanthate dosage tests

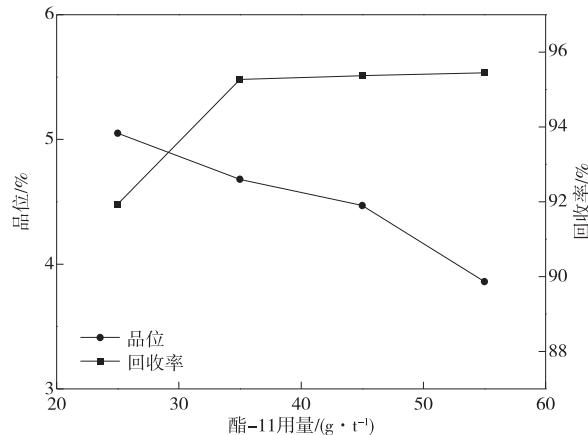


图6 酯-11用量试验结果

Fig. 6 Results of ester-11 dosage tests

2.3 铜硫混合粗精矿再磨细度试验

该矿石铜硫嵌布关系极为密切,交错连生和包裹连生很普遍,铜硫分离若不进行再磨而直接进行浮选分离,互含现象严重,难以得到合格的铜精矿。为此,对铜硫混合粗精矿进行了再磨细度试验,试验结果见表4。由表4结果可知,随着再磨细度的增加,铜粗精

矿中铜的回收率逐渐增大,硫精矿中的铜品位逐渐降低,铜硫分离最佳的再磨细度为90%—0.045 mm。

2.4 闭路试验

采用确定的最佳工艺参数进行了该矿石铜、金、银、硫综合回收的闭路试验,试验流程见图7,试验结

果见表5。表5结果表明,采用铜硫混合浮选—粗精矿再磨—铜硫分离工艺获得了铜品位19.05%、铜回收率90.07%、金品位7.46 g/t、金回收率60.43%、银品位42.00 g/t、银回收率41.20%的铜精矿和硫品位41.28%,硫回收率62.22%的硫精矿。

表4 铜硫分离再磨细度试验结果

Table 4 Results of regrinding fineness tests on copper-sulfur separation

/%

再磨细度/%—0.045 mm	产品名称	作业产率	品位		回收率	
			Cu	S	Cu	S
56 (不再磨)	铜粗精矿	72.18	5.46	41.64	91.00	73.78
	硫精矿	27.82	1.40	38.39	9.00	26.22
	给矿	100.0	4.33	40.74	100.0	100.0
80	铜粗精矿	67.10	6.04	41.15	93.69	67.63
	硫精矿	32.90	0.83	40.17	6.31	32.37
	给矿	100.0	4.33	40.83	100.0	100.0
85	铜粗精矿	59.87	6.89	40.54	95.01	59.54
	硫精矿	40.13	0.54	41.11	4.99	40.46
	给矿	100.0	4.34	40.77	100.0	100.0
90	铜粗精矿	53.80	7.83	40.22	96.30	53.05
	硫精矿	46.20	0.35	41.44	3.70	46.95
	给矿	100.0	4.37	40.78	100.0	100.0
95	铜粗精矿	48.65	8.34	40.14	93.72	48.05
	硫精矿	51.35	0.53	41.13	6.28	51.95
	给矿	100.0	4.33	40.65	100.0	100.0

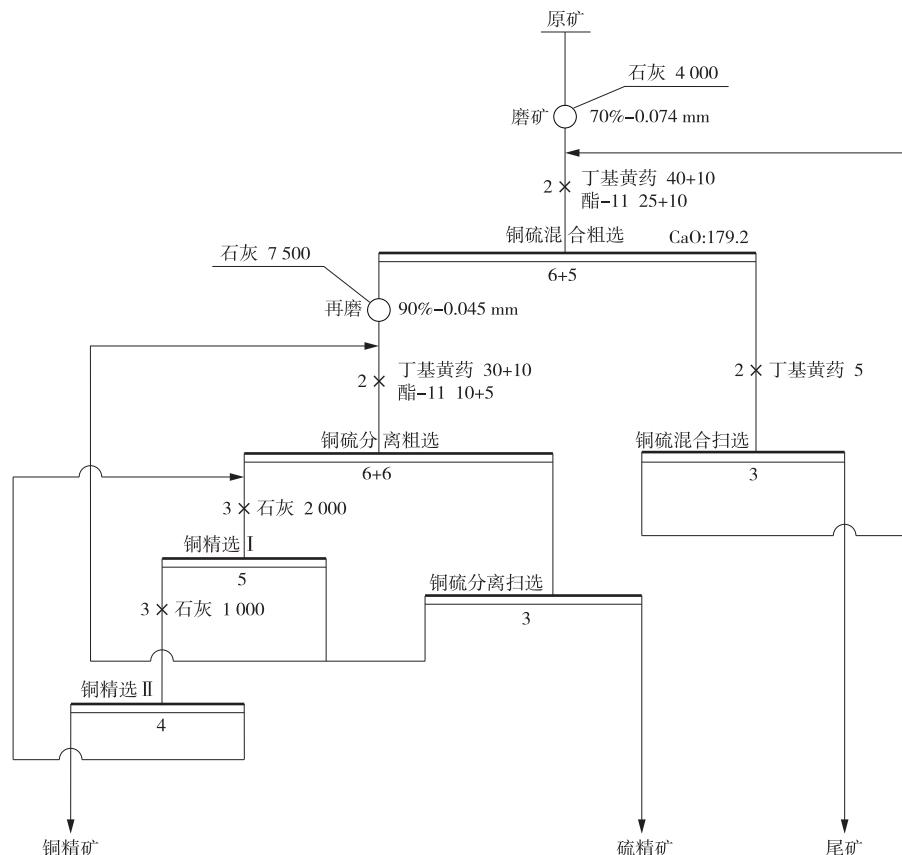


图7 闭路试验流程

Fig. 7 Flowsheet of closed-circuit tests

表5 闭路试验结果

Table 5 Results of closed-circuit tests

/ %

产品名称	产率	品位				回收率			
		Cu	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	S	Cu	Au	Ag	S
铜精矿	8.45	19.05	7.46	42.00	39.57	90.07	60.43	41.20	18.07
硫精矿	27.90	0.34	0.91	7.21	41.28	5.30	24.32	23.34	62.22
尾矿	63.65	0.13	0.25	4.80	5.73	4.63	15.25	35.46	19.71
原矿	100.0	1.79	1.04	8.62	18.51	100.0	100.0	100.0	100.0

3 结论

1)甘肃某多金属矿可综合回收利用的有价元素为铜、金、银、硫;铜矿物中次生铜含量较高;矿石金属矿物以黄铁矿为主,黄铜矿与黄铁矿嵌布关系密切,交代包裹连生较为普遍;金主要赋存在黄铜矿、黄铁矿中,银主要赋存在黄铜矿、黝铜矿中。

2)针对该矿石的性质特点,试验采用铜硫混合浮选—粗精矿再磨—铜硫分离的工艺流程和对次生铜矿物捕收性能较好的新药剂酯-11,获得了铜品位19.05%、铜回收率90.07%、金品位7.46 g/t、金回收率60.43%、银品位42.00 g/t、银回收率41.20%的铜精矿和硫品位41.28%,硫回收率62.22%的硫精矿。

3)本试验确定的工艺流程结构合理,药剂种类少,试验指标良好,为该资源的回收利用提供了技术依据。

参考文献

- [1] 张波.硫化铜矿石浮选技术发展概述[J].铜业工程,2012(2):31-37.
ZHANG Bo. Overview of flotation technology development of copper sulfide ores [J]. Copper Engineering,2012(2):31-37.
- [2] 周玉才.某难选低品位铜硫矿选矿工艺研究[J].有色矿冶,2013(2):31-34.

(上接第82页)

- [6] 邹国斌,王庆凯,余刚. MATLAB 仿真在选矿过程控制中的多层次运用[J].有色冶金设计与研究,2015,36(6):35-37.
ZOU Guobin, WANG Qingkai, YU Gang. Multi-level application of MATLAB simulation in mineral processing process control [J]. Nonferrous Metals

ZHOU Yucai. Study on beneficiation technology of a refractory low-grade copper-sulfur ore[J]. Non-ferrous Metals Mining and Metallurgy,2013(2):31-34.

- [3] 李宗站,刘家弟,王振玉,等.国内铜硫浮选分离研究现状[J].现代矿业,2010(3):12-15.
LI Zongzhan, LIU Jiadi, WANG Zhenyu, et al. Research status of copper-sulfur flotation separation in China[J]. Modern Mining,2010(3):12-15.
- [4] 曾令明,欧乐明,李文涛,等.铜硫浮选分离研究进展[J].有色金属(选矿部分),2017(2):5-8.
ZENG Lingming, OU Leming, LI Wentao, et al. Study the separation of copper and sulfur without lime on a porphyry copper molybdenum deposit [J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2017(2):5-8.
- [5] 赵红芬,彭时忠,王周和,等.伏牛山高硫铜锌矿选矿工艺研究[J].有色金属(选矿部分),2015(3):9-14.
ZHAO Hongfen, PENG Shizhong, WANG Zhouhe, et al. Experimental study on beneficiation of a refractory copper ore with high sulfur content [J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2015(3):9-14.
- [6] 冯博,朱贤文,彭金秀,等.有色金属硫化矿中伴生金银资源回收研究进展[J].贵金属,2016(6):70-76.
FENG Bo, ZHU Xianwen, PENG Jinxiu, et al. Research progress on recovery of associated gold and silver resources in nonferrous sulfide ores [J]. Precious Metals,2016(6):70-76.

Engineering & Research,2015,36(6):35-37.

- [7] 瞿安辉,陈建文.半自磨(SABC)流程与常规碎磨流程对比分析[J].有色金属(选矿部分),2020(3):85-88.
QU Anhui, CHEN Jianwen. Comparative analysis of SABC process and conventional grinding process [J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2020(3):85-88.