

文章编号:1674-2869(2015)05-0018-05

某铜矿伴生金银综合回收试验

田祎兰,王立刚,李成必,刘万峰

北京矿冶研究总院矿物加工科学与技术国家重点实验室,北京 102628

摘 要:某铜矿石含铜 0.49%,硫 11.46%,金、银分别为 0.64 g/t 和 17.89 g/t。根据矿石中铜、金、银的赋存状态,采用浮选工艺流程综合回收铜、金和银。结果表明:采用铜硫混合浮选流程,可获得含铜 18.99%,回收率为 84.10%的铜精矿,铜精矿中金银回收率分别为 48.17%和 35.84%;采用铜硫等可浮浮选流程,可获得含铜 19.41%,回收率为 83.85%的铜精矿,铜精矿中金银回收率分别为 44.97%和 32.65%。铜硫混合浮选流程可对铜、金、银较好的综合回收,流程易于控制,生产便于管理。

关键词:综合回收;混合浮选;等可浮浮选

中图分类号:TB35

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.05.004

0 引 言

伴生金银在我国金银储量中占有重要地位,我国伴生金银分别占总储量的 28%和 74%。金通常与黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿等硫化矿物伴生。银大多与铜、铅、锌等硫化矿物伴生^[1]。对含金银多金属硫化矿的回收中,单体粗粒金多采用重选法单独回收,中细粒金一般随硫化物富集回收。在铜硫矿浮选分离中金银则富集在铜精矿产品中得以综合回收^[2]。

铜硫矿石主要采用浮选分离工艺,流程有优先浮选、混合浮选-铜硫分离浮选、等可浮浮选、阶段磨矿-阶段选别、泥-砂分选等工艺流程^[3-5]。不同性质的矿石要充分利用铜硫矿物解离特性和可

浮性差异,采用相适应的工艺流程。

该矿为铜硫金银多金属矿,铜品位为 0.49%,硫品位 11.46%,铜低硫高。针对该矿,采用铜硫混合浮选-铜硫分离(简称混合浮选)和铜硫等可浮(简称等可浮)浮选流程进行铜、金和银的综合回收试验研究。

1 矿石性质

1.1 矿石主要化学成分分析

该矿石构造类型主要有斑杂状、条带状、脉状和浸染状构造。矿石主要化学成分见表 1,铜品位 0.49%,锌品位为 0.35%,其他有色金属元素的含量都较低,硫品位 11.46%,金银含量分别为 0.64 g/t 和 17.89 g/t。

表 1 矿石主要化学成分

Table 1 Chemical composition of the ore

化学成分	Cu	Pb	Zn	Fe	TiO ₂	P ₂ O ₅	S	As	C
w/%	0.49	0.064	0.35	11.38	0.26	0.15	11.46	0.15	0.08
化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Au	Ag	
w/%	53.60	10.07	0.36	0.38	4.10	0.26	0.64	17.89	

注: Au、Ag 含量单位为 g/t,下同。

1.2 矿石的化学物相

1.2.1 矿石中铜化学物相

表 2 为矿石中铜化学物相。矿石中铜的氧化率低,绝大多数铜都赋存在硫化物中。

表 2 铜的化学物相

Table 2 Copper chemical phase of the ore

元素存在的相	自由氧化铜	硫化铜	其他铜	总量
铜 w/%	0.02	0.46	0.01	0.49
占有率/%	4.08	93.88	2.04	100.00

注:“其他铜”指脉石矿物中包裹的微细粒铜矿物中铜。

收稿日期:2015-05-05

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划重点项目(2012BAB01B03)

作者简介:田祎兰(1980-),女,河南南阳人,高级工程师,博士。研究方向:矿物加工工艺。

1.2.2 矿石中金化学物相

矿石中金化学物相列于表 3.

表 3 金的化学物相

Table 3 Gold chemical phase of the ore

元素存在的相	单体及裸露金	硫化物中金	其他金	总量
金含量/(g/t)	0.22	0.40	0.04	0.66
占有率/%	33.33	60.61	6.06	100.00

注:“其他金”指脉石矿物中的包裹金.

1.2.3 矿石中银化学物相

矿石中银的化学物相列于表 4.

表 4 矿石中银的化学物相分析

Table 4 Silver chemical phase of the ore

元素存在的相	硫化银	硫化物中银	其他银	总量
银含量/(g/t)	11.66	5.95	0.58	18.19
占有率/%	64.10	32.71	3.19	100.00

注:“硫化物中银”指硫化物中包裹的极细粒银矿物中银;“其他银”指脉石矿物中的银.

1.3 矿石主要矿物组成及相对含量

矿石中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、砷黝铜矿、磁铁矿、闪锌矿、黄锡矿、方铅矿、硫铋铜矿、辉铋矿、斑铜矿、钛铁矿、黑钨矿、磁黄铁矿等,贵金属矿物有银金矿和碲银矿;脉石矿物有石英、长石、云母、方解石、楣石、磷灰石、锆石等. 矿物组成及其相对含量列于表 5.

表 6 矿石中主要金属矿物嵌布粒度

Table 6 Granularity composition of major metallic minerals in the ore

粒级/mm	黄铜矿 w/%		砷黝铜矿 w/%		铜矿物集合体 w/%		黄铁矿 w/%	
	含量	累计	含量	累计	含量	累计	含量	累计
+1.168							0.59	0.59
-1.168+0.833							2.29	2.88
-0.833+0.589			2.54	2.54	1.27	1.27	5.62	8.50
-0.589+0.417	3.73	3.73	1.79	4.33	4.48	5.75	17.80	26.31
-0.417+0.295	6.60	10.33	3.81	8.14	8.24	13.99	19.64	45.95
-0.295+0.208	8.55	18.88	10.96	19.10	10.95	24.94	15.18	61.13
-0.208+0.147	11.22	30.10	15.23	34.33	14.59	39.53	15.53	76.66
-0.147+0.104	9.35	39.45	7.19	41.52	8.76	48.29	3.96	80.62
-0.104+0.074	18.15	57.60	13.65	55.17	15.38	63.67	9.71	90.33
-0.074+0.043	15.06	72.66	15.51	70.68	14.57	78.24	5.29	95.62
-0.043+0.020	18.74	91.40	20.68	91.36	15.68	93.92	3.93	99.55
-0.020+0.015	3.66	95.06	3.76	95.12	2.67	96.59	0.28	99.83
-0.015+0.010	2.89	97.95	3.72	98.84	2.29	98.88	0.13	99.96
-0.010	2.05	100.00	1.16	100.00	1.12	100.00	0.04	100.00

1.5 矿石中铜、金的赋存状态及影响选矿指标的工艺矿物学因素

矿石中绝大多数的铜赋存在黄铜矿和砷黝铜矿等铜矿物中,矿石选别的目的矿物以黄铜矿和砷

表 5 矿物组成及其相对含量

Table 5 Mineral composition and relative content of the ore

矿物名称	w/%	矿物名称	w/%
银金矿	痕量	石英	36.50
碲银矿		长石	14.50
黄铜矿	0.62	云母	22.80
砷黝铜矿	0.58	方解石	0.67
黄铁矿	22.36	磷灰石	0.82
方铅矿	0.07	金红石	
闪锌矿	0.46	楣石	0.42
磁铁矿	0.20	锆石	
		其他矿物	

从表 5 中可以看出:矿石中黄铁矿的含量最高,达 22.36%,其次是砷黝铜矿和黄铜矿,合计为 1.20%,硫矿物与铜矿物的矿物含量比为 18.63.

1.4 矿石中主要金属矿物的粒度分布

采用线段法测量了矿石中黄铜矿、砷黝铜矿、铜矿物集合体(黄铜矿和砷黝铜矿)以及黄铁矿的粒度,见表 6. 嵌布粒度从粗到细顺序为黄铁矿、砷黝铜矿和黄铜矿的集合体、黄铜矿、砷黝铜矿. 在 +0.074 mm 粒级中,黄铁矿、黄铜矿和砷黝铜矿集合体、黄铜矿、砷黝铜矿占有率分别为 90.33%, 63.67%, 57.60%和 55.17%,在 -0.010 mm 粒级中上述金属矿物的分布率都较低.

黝铜矿为主,它们的矿物相对含量、嵌布特征、粒度分布及其在磨矿产品中的解离情况都是影响铜回收的重要矿物学因素. 从矿石中黄铜矿和砷黝铜矿的共生关系来看,大多数黄铜矿与砷黝铜矿密

切共生,不利于它们间的单体解离,这决定了浮选时黄铜矿和砷黝铜矿不能实现单独分选,故浮选铜精矿中应以一起富集黄铜矿和砷黝铜矿为主,且铜精矿中含砷比较高;铜矿物的粒度及单体解离度分析结果表明,由于矿石中铜矿物嵌布粒度相对较粗,微细粒铜矿物很少,磨矿中大部分铜矿物易于单体解离,利于选矿. 由于矿石中铜矿物的相对含量较黄铁矿低得多,虽然铜矿物与黄铁矿的共生关系不是很复杂,磨矿时与黄铁矿连生的铜矿物含量比较少,但因黄铁矿的矿物含量高,浮选时应重视单体黄铁矿的富集对铜精矿品位的影响;矿石中贵金属矿物银金矿和碲银矿与砷黝铜矿的共生关系比较密切,强化对砷黝铜矿的浮选回收有利于提高金的选矿回收率.

矿石中金的品位为 0.64 g/t,属于伴生的贵金属元素. 矿石中最粗的银金矿仅为 0.025 mm,细者不及 0.001 mm,说明银金矿的嵌布粒度是比较细的;在浮选时大部分银金矿只能随着载体矿物一起富集而富集. 矿石中黄铁矿的矿物含量高,但无

论在人工重砂还是浮选硫精矿中均未发现金粒,可以推测黄铁矿中的金是不可见金. 通过提取黄铁矿纯矿物后进行选择性溶解试验,证实提纯后黄铁矿纯矿物中含金为 1.34 g/t;依据黄铁矿的矿物相对含量来测算,黄铁矿中载金为 0.30 g/t,占矿石含金总量的 46.88%.

2 选矿试验研究

根据工艺矿物学研究结果,分别采用铜硫混合浮选和铜硫等可浮浮选方案进行了铜矿石中伴生金银综合回收的试验研究.

2.1 混合浮选流程试验

混合浮选流程中,选用的捕收剂捕收能力较强,也利于铜硫分离. 本文中选取 BK302 作为铜硫混合浮选的捕收剂,BK302 为北京矿冶研究总院自主研发的新型高效捕收剂. 混合浮选流程为:一粗-两扫-粗精矿再磨分离-两次精扫选-三次精选(见图 1). 结果列于表 7.

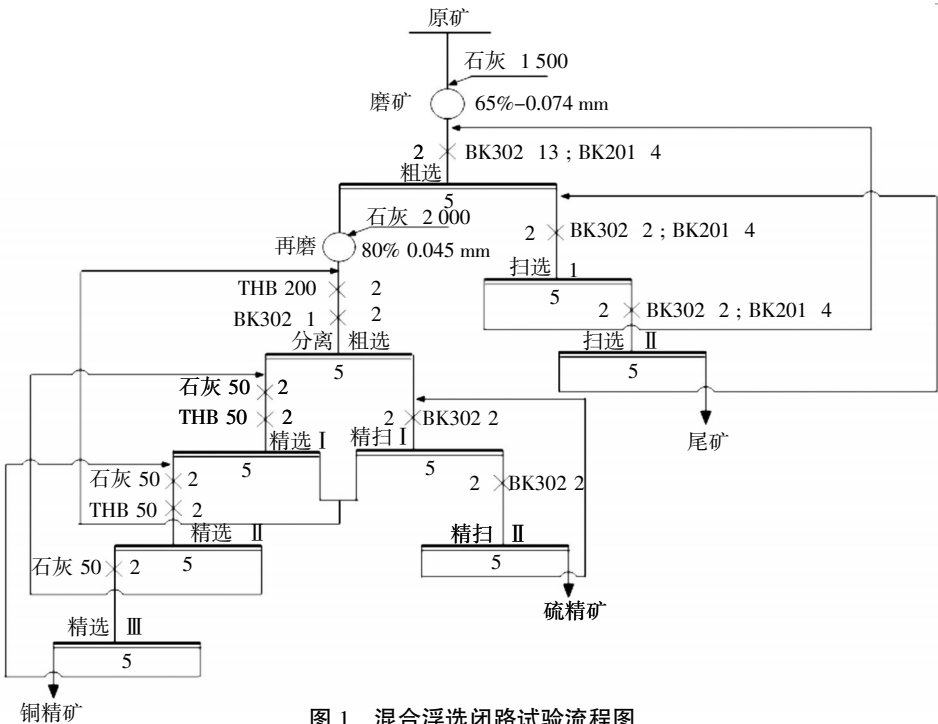


图 1 混合浮选闭路试验流程图
Fig.1 Flowsheet of bulk flotation locked-cycle test

表 7 混合浮选闭路试验结果
Table 7 Result of bulk flotation locked-cycle test

产品	产率/%	品位/%		品位/(g/t)		回收率/%			
		Cu	S	Au	Ag	Cu	S	Au	Ag
铜精矿	2.17	18.99	34.47	13.32	256.49	84.10	6.86	48.17	35.84
硫精矿	23.97	0.19	40.45	1.03	28.50	9.29	88.87	41.15	43.99
尾矿	73.86	0.04	0.63	0.09	4.24	6.61	4.27	10.68	20.17
原矿	100.00	0.49	10.91	0.60	15.53	100.00	100.00	100.00	100.00

2.2 等可浮浮选流程试验

等可浮浮选流程先富集铜和可浮性好的硫,浮选尾矿再次选硫. 等可浮浮选流程采用北京矿冶研究总院自主研发的药剂 BK312 为捕收剂,其

具有较好的捕收性和选择性. 等可浮浮选流程为:两粗—一扫、粗精矿再磨分离—两次精扫选—三次精选、尾矿—一粗—一扫—两次精选选硫. 等可浮浮选闭路流程图见图 2,试验结果列于表 8.

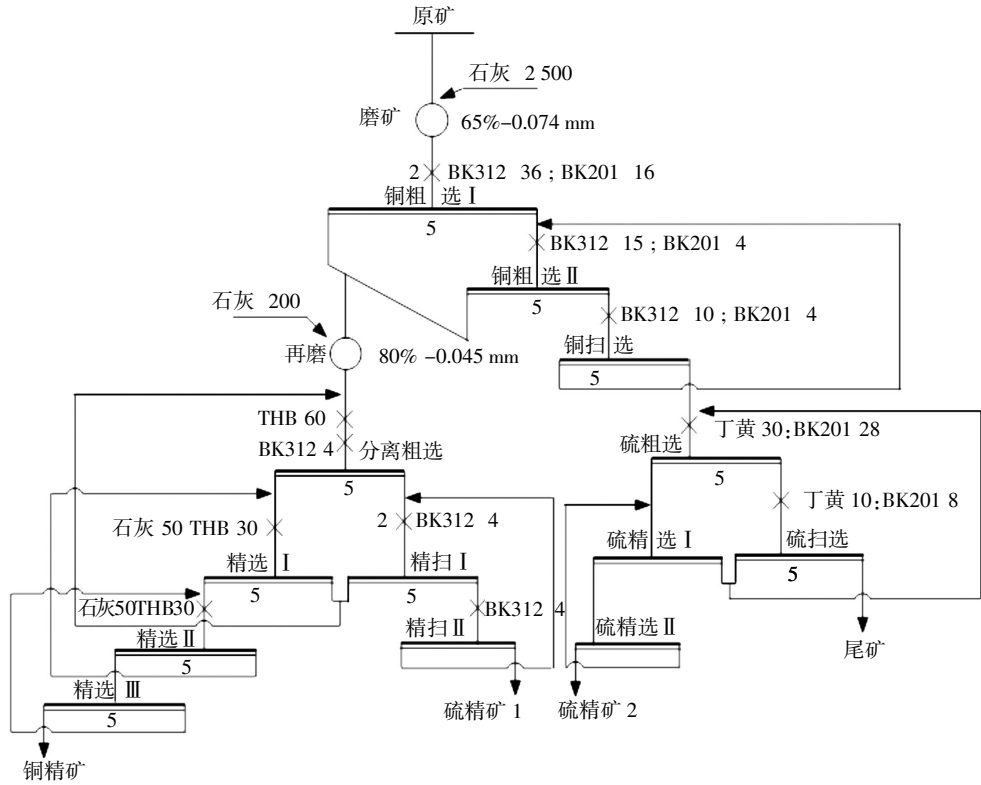


图 2 铜硫等可浮浮选闭路试验流程图

Fig.2 Flowsheet of iso-flotability locked-cycle test

表 8 铜硫等可浮浮选闭路试验结果

Table 8 Result of iso-flotability locked-cycle test

产品	产率/%	品位/%		品位/(g/t)		回收率/%			
		Cu	S	Au	Ag	Cu	S	Au	Ag
铜精矿	2.16	19.41	33.21	13.95	245.00	83.85	6.45	44.97	32.65
硫精矿 1	9.85	0.24	36.16	1.26	39.48	4.73	32.00	18.52	23.99
硫精矿 2	16.14	0.18	41.25	1.28	30.32	5.81	59.82	30.83	30.19
尾矿	71.85	0.035	0.27	0.05	2.97	5.61	1.73	5.68	13.17
原矿	100.00	0.50	11.13	0.67	16.21	100.00	100.00	100.00	100.00

3 结 语

a.采用铜硫混合浮选流程,可获得含铜18.99%,回收率为 84.10%的铜精矿,铜精矿中金银回收率分别为 48.17%和 35.84%. 此流程铜、金、银均可获得较高的回收率. 流程较为简单,方便控制. 粗选石灰量添加较少,便于金银上浮. 粗精矿产率较大,再磨作业负荷大. 铜硫分离时采用大量石灰和 THB 组合抑制硫,可在较低 pH 条件下较好地抑制硫.

b.采用铜硫等可浮浮选流程,可获得含铜19.41%,回收率为 83.85%的铜精矿,铜精矿中金回收率为

44.97%;银回收率为 32.65%. 浮选尾矿中硫回收率仅为 1.73%. 此流程可获得较高品位的铜精矿,较高回收率的硫精矿. 但铜、金、银回收率略低. 流程结构较为复杂,粗选石灰添加量较大,不利于金银上浮. 粗精矿产率小,再磨作业负荷小. 铜硫分离时采用少量的石灰与 THB 组合抑制硫,利于金银富集在铜精矿中.

c.针对该矿石,铜硫混合浮选流程对铜、金、银可获得较好的综合回收. 流程易于控制,生产便于操作管理.

致 谢

试验研究过程中,北京矿冶研究总院硫化矿项目组给予了大力的帮助与支持,对此表示衷心感谢.

参考文献:

- [1] 李崇德,孙传尧. 铜硫浮选分离的研究进展[J]. 国外金属矿选矿, 2000(8):2-7.
LI Chong-de, SUN Chuan-yao. The research development of copper sulfur flotation separation[J]. Metallic ore Dressing Abroad, 2000(8):2-7.(in Chinese)
- [2] 张艳娇,郭保万,管永诗,等. 含金多金属硫化矿铜铅分离的研究[J]. 矿产保护与利用, 2000, 2(1):27-30.
HANG Yan-jiao, GUO Bao-wan, GUAN Yong-shi, et al. A study on Cu-Pb separation of a gold-containing poly-metallic sulfide ore [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2000, 2 (1):27-30.(in Chinese)
- [3] 吴多吉,童雄,罗溪梅. 强化铜-硫浮选分离的研究进展[J]. 矿冶, 2010, 19(2):9-14.
WU Duo-ji, TONG Xiong, LUO Xi-mei. Researches advance on copper sulfur flotation separation [J]. Mining & Metallurgy, 2010, 19(2):9-14.(in Chinese)
- [4] 赵福刚. 铜矿的选矿技术进展[J]. 铜业工程, 2006(4):13-18.
ZHAO Fu-gang. Upgrading of metallurgical technology in copper mines[J]. Copper Engineering, 2006(4):13-18.(in Chinese)
- [5] 陈金中,王立刚,李成必,等. 铜矿山老尾矿综合回收铜金银浮选技术研究[J]. 有色金属:选矿部分, 2011(3):1-4.
CHEN Jin-zhong, WANG Li-gang, LI Cheng-bi, et al. Technological research on the comprehensive recovery of copper-gold-silver from old tailings in a copper mine[J]. Nonferrous Metals, 2011(3):1-4.(in Chinese)

Comprehensive recovery of copper ore associated with gold and silver

TIAN Yi-lan, WANG Li-gang, LI Cheng-bi, LIU Wan-feng

State Key Laboratory of Mineral Processing, Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 102628, China

Abstract: A copper ore contains 0.49% copper, 11.46% sulfur, 0.64 g/t gold and 17.89 g/t silver respectively. Based on the characteristic of copper, gold and silver, floatation test was conducted to recover copper and gold comprehensively. We get copper concentrate with copper recovery of 84.10% and grade of 18.99% copper by bulk flotation of copper and sulfur, in which the recovery of gold and silver is 48.17% and 35.84% respectively. We get a copper concentrate with copper recovery of 83.85% and grade of 19.41% copper by iso-flotability flowsheet of copper and sulfur, in which the recovery of gold and silver is 44.97% and 32.65% respectively. The bulk flotation of copper and sulfur is beneficial to recover copper, gold and silver, and the flowsheet is easy to control and manage in production.

Keywords: comprehensive recovery; bulk flotation; iso-flotation

本文编辑: 龚晓宁