

河北某石英脉型金矿石选矿试验研究

吴 凯¹, 米文杰¹, 毕凤琳¹, 解惠敏²

(1. 烟台黄金职业学院 环境与材料工程系, 山东 烟台 265401)

2. 烟台金华选煤工程有限公司, 山东 烟台 265400)

摘 要: 河北某石英脉型金矿石金品位 5.4 g/t, 银品位 6.4 g/t。针对该矿石性质, 开展浮选试验, 在最佳药剂制度条件下浮选闭路试验获得精矿金回收率为 78.9%, 银回收率 35.6%, 金品位 44.0 g/t, 银品位 23.5 g/t。为提高选矿指标, 开展重选与浮选工艺联合试验。与单一浮选工艺相比, 重、浮联合工艺获得混合精矿金回收率提高 6.8%, 银回收率提高 2.2%。

关键词: 有色金属冶金; 石英脉型金矿; 浮选药剂; 重选-浮选联合流程

中图分类号: TD953 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2022)02-0058-05

Beneficiation study on a gold-bearing quartz vein-type gold ore from Hebei

WU Kai¹, MI Wen-jie¹, BI Feng-lin¹, XIE Hui-min²

(1. Material Engineering Department, Yantai Gold College, Yantai 265401, Shandong, China;

2. Yantai Jinhua Coal Preparation Engineering Co. Ltd., Yantai 265400, Shandong, China)

Abstract: The grades of gold and silver in a quartz vein type gold ore from Hebei are 5.4 g/t and 6.4 g/t, respectively. According to the properties of the ore, flotation tests were carried out. Under the optimal chemical system conditions, the recovery rates of concentrated gold and silver were 78.9% and 35.6% respectively, and the grades of gold and silver were 44.0 and 23.5 g/t, respectively. In order to improve the ore beneficiation index, the combined experiments of heavy separation and flotation technology was carried out. Compared with the single flotation process, the recovery rates of gold and silver from the mixed concentrate were increased by 6.8% and 2.2%, respectively.

Key words: nonferrous metallurgy; quartz-vein type gold ore; flotation reagent; combined separation of gravity and flotation

低硫石英脉型金矿石中硫与金的共生关系是制约选矿工艺和选矿指标的重要因素。该类矿石中金主要以自然金的形式存在, 粒度粗细不均匀, 对于黄铁矿等硫化矿物普遍与细粒金紧密共生的, 可采用浮选法将硫化矿物作为金的载体进行富集; 对于石英等脉石矿物普遍与粗粒金紧密共生的, 可采用重选法或氰化法进行富集^[1-4]。

河北某石英脉金矿石中金矿物主要是自然金, 与石英成包裹或连生状态, 属于贫硫含金矿。本文通过单一浮选试验、重选-浮选联合试验确定最佳工艺参数^[5-7], 为此类石英脉贫硫含金银矿石综合利用提供参考。

1 矿石性质

1.1 原矿样化学组成

对原矿进行混匀缩分后, 进行原矿化学多元素分析, 分析结果列于表 1。

表 1 化学多元素分析表明, 该矿样主要有价元素为金, 品位为 5.4 g/t; 伴生有益组分为银, 品位为 6.4 g/t; 其他有价元素含量较低, 不具综合回收价值。有害组分砷含量较低, 小于 0.01%。综上所述, 原矿属石英脉型低硫含金矿。

表 1 原矿化学多元素分析结果

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

元素	Au*	Ag*	Cu	Sb	Pb
含量	5.4	6.4	<0.01	<0.01	0.08

元素	Zn	Fe	As	C	S
含量	0.14	3.98	<0.01	0.52	0.53

*注：Au、Ag 含量单位为 g/t，本文下同。

1.2 原矿矿物组成

通过 XRD 图谱和扫描电镜分析，原矿中主要矿物成分为石英，其次为钙长石、微斜长石等。金属矿物含量较低，主要为黄铁矿、赤铁矿，有少量的方铅矿、闪锌矿、独居石等。对目标金矿物的赋存状态进行物相分析，在镜下共发现金矿物 2 粒，粒度微细，尺寸分别为 28.85 μm、24.77 μm，且与脉石矿物石英呈被包裹和连生体状态，如表 2 所列。

表 2 金矿物分析结果

Tab.2 Result of gold ore analysis

序号	矿物名称	成色		颗粒尺寸/μm	赋存状态
		Au/%	Ag/%		
1	自然金	99.63	0.37	28.85	石英包裹
2	自然金	99.66	0.34	24.77	石英连生

1.3 试剂和设备

破碎设备采用 PEX 60 mm×100 mm 和 XPC 100 mm×60 mm；磨矿试验采用 XMQ240×90 mm 锥形球磨机；浮选试验采用 XFD 型 1.5 L、0.5 L 浮选机；浮选试验中调整剂采用硫酸铜(分析纯)；捕收剂丁基黄药、异戊基黄药、Y89 黄药、丁基黄药和丁铵黑药均为化学纯试剂。

1.4 试验操作

根据原矿的性质，浮选是处理该含金、银硫化矿的常用手段。考查磨矿细度、活化剂用量、捕收剂种类及用量对浮选指标的影响，开展相应的条件试验，获得最佳工艺参数。原矿在最佳工艺参数下，采用一次粗选、一次精选、三次扫选，中矿顺序返回流程，开展闭路浮选试验。将试验中的原矿、精矿和尾矿分别烘干、称量和化验，计算出产率；由产率、品位与回收率关系，计算出各产品回收率。

2 结果及讨论

2.1 浮选磨矿细度的影响

磨矿的目的是矿石中的有价矿物单体解离，为

浮选提供适宜的分选粒度。为考察磨矿细度对金浮选指标的影响，进行了磨矿细度试验。硫酸铜 200 g/t，丁基黄药 120 g/t，丁铵黑药 80 g/t，2#油 30 g/t，试验流程如图 1，结果列于表 3。

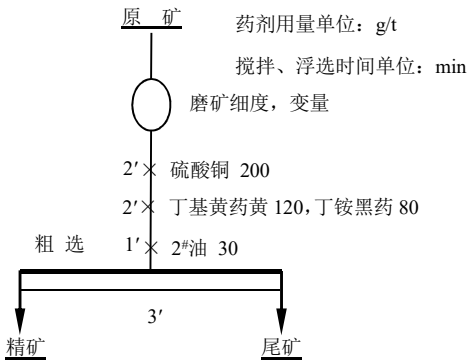


图 1 磨矿细度试验流程

Fig.1 The test process of grinding fineness

表 3 磨矿细度试验结果

Tab.3 Test results of grinding fineness

磨矿细度-0.074 mm/%	Au 品位/(g/t)	Au 回收率/%
65	27.5	69.7
75	24.5	71.0
85	22.6	77.3
90	22.4	73.2
95	20.4	72.3

从表 3 结果可以看出，磨矿细度对浮选指标影响较大。随着磨矿细度的提高，粗精矿金品位下降，金回收率先上升后下降。综合考虑，选择磨矿细度为-74 μm 占 85%。

2.2 浮选硫酸铜用量的影响

适宜硫酸铜用量对含金银硫化矿浮选既有活化作用又有富集作用^[4]。按图 1 流程进行浮选试验(磨矿细度-0.074 μm 占 85%，硫酸铜用量为变量、丁基黄药 120 g/t，丁铵黑药 80 g/t，2#油 30 g/t)，结果列于表 4。由表 4 结果可以看出，随着硫酸铜用量增加，对金回收率影响较小，但金的品位呈现先下降后上升的趋势，当硫酸铜为 200 g/t 时，品位和回收率达到最大值，分别为 26.0 g/t，77.0%。综合考虑，选择硫酸铜用量为 200 g/t。

2.3 浮选捕收剂的影响

2.3.1 捕收剂种类

为获得最佳的药剂制度，试验考察常见几种硫

化矿捕收剂丁基黄药、异戊基黄药、Y89 黄药、丁基黄药和丁铵黑药组合药剂制度对浮选指标的影响, 药剂用量为 200 g/t。按图 1 流程进行浮选试验(磨矿细度-0.074 μm 占 85%, 硫酸铜 200 g/t、捕收剂种类为变量, 用量为 200 g/t, 2#油 30 g/t), 结果列于表 5。从表 5 结果中可以看出, 当使用组合捕收剂(丁基黄药 120 g/t 和丁铵黑药 80 g/t)时, 获得精矿金回收率最大, 为 77.3%, 品位为 23.7 g/t。综合考虑, 选择丁基黄药和丁铵黑药作为捕收剂。

2.3.2 捕收剂用量

在确定粗选捕收剂采用丁基黄药和丁铵黑药组合后。还需要进行捕收剂用量试验。按图 1 流程进行浮选试验(磨矿细度-0.074 μm 占 85%, 硫酸铜 200 g/t、捕收剂为丁基黄药加丁铵黑药, 用量为变量, 2#油 30 g/t), 结果列于表 6。由表 6 可以看出, 随着捕收剂用量增加, 粗精矿中金品位逐渐下降; 回收率先升高, 后下降, 当丁基黄药为 140 g/t, 丁铵黑药为 70 g/t 时, 回收率达到最大, 为 77.1%, 品位为 22.8 g/t。

2.4 全流程闭路浮选试验

在磨矿细度-0.074 μm 占 85%时, 根据条件试验确定的最佳药剂制度进行全流程闭路试验, 闭路试验采用一次粗选、一次精选和三次扫选, 中矿循序返回的浮选流程。试验流程如图 2, 结果列于表 7。从表 7 知, 最终获得金精矿中金回收率为 78.9%, 银回收率 35.6%, 金品位 44.0 g/t, 银品位 23.5 g/t。

2.5 重选+浮选联合流程

采用单一浮选工艺, 无法获得满意的浮选指标。对尾矿进行粒级筛析, 发现有部分金损失在粗粒级中, 单一浮选工艺无法回收这部分粗粒金。为提高金、银回收率, 探讨重选和浮选联合工艺流程^[8-9], 试验流程如图 3, 结果列于表 8。从表 8 可以看出, 将重选精矿与浮选精矿合并形成混合精矿, 金品位 51.8 g/t, 金回收率 85.7%, 银品位 27.0 g/t, 银回收率 37.8%。与单一浮选工艺相比, 重-浮联合工艺获得混合精矿金回收率提高 6.8%, 银回收率提高 2.2%。

3 结论

1) 河北某金矿中主要有价元素为金(品位 5.4 g/t), 伴生有益组分为银(品位 6.4 g/t); 其他有价元素含量较低, 不具综合回收价值。工艺矿物学研究表明, 金矿物粒度微细, 与石英连生或被石英包裹。

表 4 硫酸铜用量试验结果

Tab.4 Test results of varied CuSO₄ dosage

硫酸铜用量/(g/t)	Au 品位/(g/t)	Au 回收率/%
0	25.0	75.2
50	23.9	75.2
100	24.6	76.3
200	26.0	77.0
300	20.9	76.0

表 5 捕收剂种类试验结果

Tab.5 Test of collector types

捕收剂	Au 品位/(g/t)	Au 回收率/%
丁基黄药	30.5	64.9
异戊基钠黄药	40.0	67.3
Y89	28.7	73.7
丁基黄药+丁铵黑药	23.7	77.3

表 6 捕收剂用量试验结果

Tab.6 Test of varied collector dosage

丁基黄药	丁铵黑药	Au 品位/(g/t)	Au 回收率/%
60	20	29.0	72.3
80	40	27.5	74.6
140	70	22.8	77.1
200	100	20.7	72.3

表 7 闭路浮选试验结果

Tab.7 Result of closed circuit of flotation

产物	产率/%	品位/(g/t)		回收率/%	
		Au	Ag	Au	Ag
精矿 ⁺	9.58	44.0	23.5	78.9	35.6
尾矿 ⁺	90.42	1.3	4.5	21.2	64.4
原矿 ⁺	100	5.3	6.3	100	100

表 8 重-浮联合闭路流程结果

Tab.8 Result of the process of flotation-gravity separation

产物	产率/%	品位/(g/t)		回收率/%	
		金	银	金	银
重精	0.48	223.5	150.0	19.9	11.3
精矿 ⁺	8.46	42.1	20.1	65.8	26.6
混精	8.94	51.8	27.0	85.7	37.8
尾矿 ⁺	91.06	0.9	4.4	14.3	62.2
原矿 ⁺	100	5.40	6.4	100	100

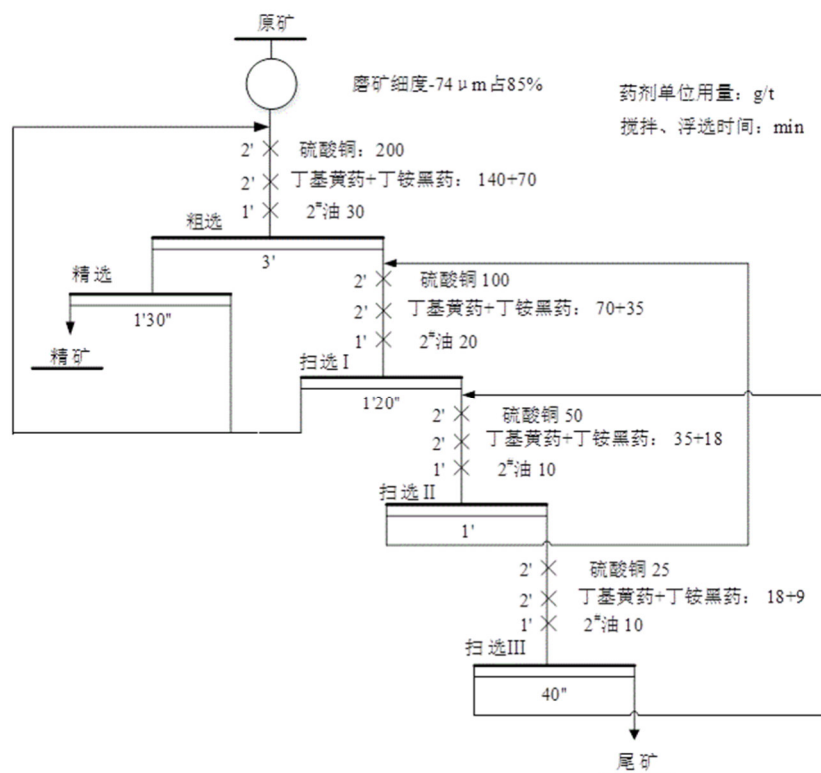


图 2 闭路浮选试验流程

Fig.2 The closed circuit flotation test

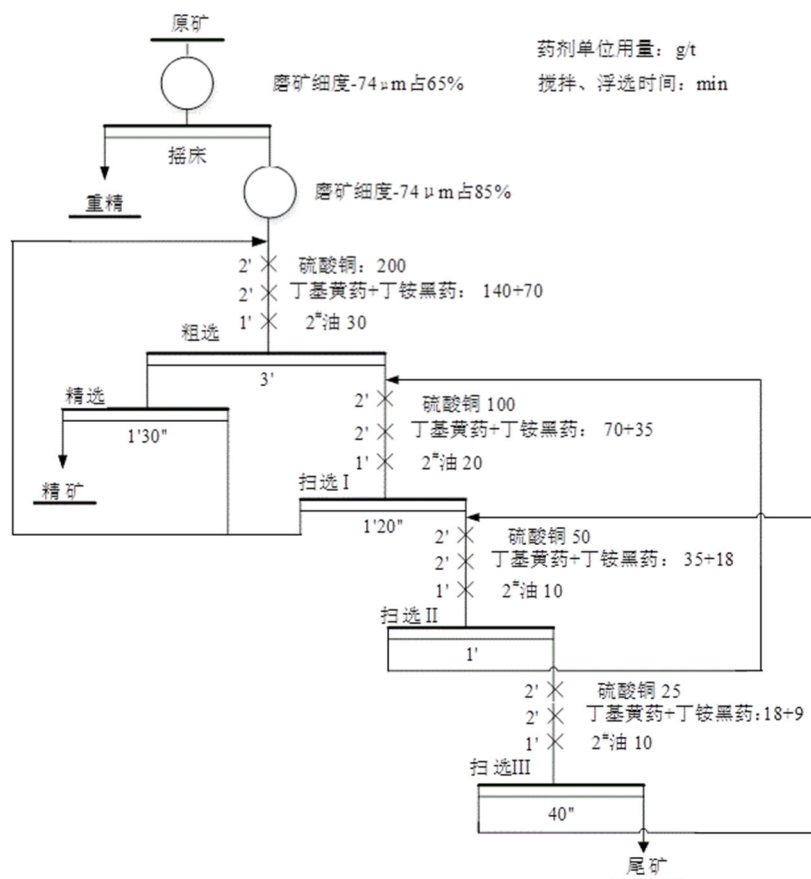


图3 重选+浮选试验流程

Fig.3 The process of gravity-flotation separation

2) 原矿磨矿细度-0.074 μm 占 85%, 最佳药剂制度为: 硫酸铜用量为 200 g/t, 丁基黄药用量为 140 g/t, 丁铵黑药用量为 70 g/t, 通过 1 粗 1 精 3 扫, 中矿循序返回闭路浮选流程, 获得金精矿中金回收率 78.9%, 银回收率 35.6%, 金品位 44.0 g/t, 银品位 23.5 g/t。

3) 采用重选和浮选联合工艺流程, 可提高金、银的选矿指标。将重选精矿与浮选精矿合并形成混合精矿, 金品位 51.8 g/t, 金回收率 85.7%, 银品位 27.0 g/t, 银回收率 37.8%。与单一浮选工艺相比, 重-浮联合工艺获得混合精矿金回收率提高 6.8%, 银回收率提高 2.2%。

参考文献:

- [1] 王彦基, 陈志强, 吕昊子. 某石英脉型金矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2019, 40(10): 57-60.
WANG Y J, CHEN Z Q, LÜ H Z. Experimental study on the beneficiation of a quartz-vein type gold ore[J]. Gold, 2019, 40(10): 57-60.
- [2] 李军, 王露, 李朋, 等. 西藏某石英脉型金矿选矿试验研究[J]. 中国矿业, 2018, 27(7): 108-111.
LI J, WANG L, LI P, et al. Beneficiation experiments on a gold-bearing quartz vein-type gold ore from Tibet[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(7): 108-111.
- [3] 霍明春, 程晓霞, 岳辉, 等. 某贫硫化物石英脉型金矿石选矿工艺研究[J]. 黄金, 2018, 39(4): 63-67.
HUO M C, CHENG X X, YUE H, et al. Study on the processing method for a quartz vein gold ore with low sulfide[J]. Gold, 2018, 39(4): 63-67.
- [4] 翁兴媛, 关智浩, 高野, 等. 吉林某金矿选矿工艺对比实验研究[J]. 贵金属, 2021, 42(1): 16-21.
WENG X Y, GUAN Z H, GAO Y, et al. Comparative experimental study on beneficiation technology of a gold mine in Jilin[J]. Precious Metals, 2021, 42(1): 16-21.
- [5] 柯圣钊, 丘世澄. 某微细粒金矿石浮选试验研究[J]. 铜业工程, 2020(1): 6-10.
KE S Z, QIU S C. Experimental study on flotation of a fine grain gold ore[J]. Copper Engineering, 2020(1): 6-10.
- [6] 王庆民, 谢园明. 伊朗某金矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2019(12): 95-98.
WANG Q, XIE Y. Beneficiation test of a gold ore in Iran [J]. Metal Mine, 2019(12): 95-98.
- [7] 李世纯, 王金庆, 黄和平, 等. 某石英脉型金矿石浮选试验研究[J]. 矿山机械, 2017(1): 54-58.
LI S C, WANG J Q, HUANG H P, et al. Study on flotation test of quartz vein typed gold ore[J]. Mining & Processing Equipment, 2017(1): 54-58.
- [8] 苏建芳, 王中明, 肖巧斌, 等. 某锡铜矿石重—浮联合选矿工艺研究[J]. 金属矿山, 2018(7): 92-97.
SU J F, WANG Z M, XIAO Q B, et al. Study on beneficiation of a tin-copper ore by gravity separation- flotation combined process[J]. Metal Mine, 2018(7): 92-97.
- [9] 毛益林, 陈晓青, 杨进忠, 等. 四川某石英脉型金矿联合选矿工艺[J]. 有色金属工程, 2015, 5(3): 68-70.
MAO Y L, CHEN X Q, YANG J Z, et al. Combined beneficiation on a quartz vein type gold ore in Sichuan[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2015, 5(3): 68-70.

【上接第 57 页】

- [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.
- [8] XING Y, GUI X, CAO Y, et al. Effect of compound collector and blending frother on froth stability and flotation performance of oxidized coal [J]. Powder Technology, 2017, 305: 166-173.
- [9] ZHANG H, LIU J, CAO Y, et al. Effects of particle size on lignite reverse flotation kinetics in the presence of sodium chloride [J]. Powder Technology 2013, 246: 658-663.
- [10] 赵志强, 缪建成, 贺政, 等. 栖霞山银铅锌矿高浓度浮选技术的研究与应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(5): 43-48.
ZHAO Z Q, MIAO J C, HE Z, et al. The research and application of high concentration flotation technology of the silver bearing lead-zinc ore in Qixia Mountain[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2018(05): 43-48.