

矿物加工工程

# 某含金铜硫矿浮选分离试验研究

冯泽平<sup>1</sup>, 李国利<sup>2</sup>, 杨紫洋<sup>2</sup>, 程宏伟<sup>3,4</sup>

1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065;
2. 鹤壁恒源矿业集团有限公司, 河南 鹤壁 458000;
3. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006;
4. 自然资源部多金属矿综合利用评价重点实验室, 河南 郑州 450006

中图分类号: TD923; TD952.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)01-0112-08  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.07.005

**摘要** 为了合理开发利用某含金硫化铜矿资源, 开展了工艺矿物学和选矿综合利用试验研究。研究显示, 矿石中主要有价元素铜品位为 0.57%, 伴生元素金品位为 1.56 g/t; 铜主要以黄铜矿的形式存在, 金主要以自然金和银金矿的形式赋存, 其载体矿物多为黄铁矿和黄铜矿。以 YZ-05 为捕收剂, 采用“铜金硫混合浮选—铜硫分离—硫精矿再磨—金硫分离”的分选试验流程, 闭路试验得到了铜精矿、金精矿和硫精矿, 其中铜精矿 Cu 品位为 19.57%、回收率 88.7%, Au 品位为 36.93 g/t、回收率 65.5%, Ag 品位为 61.00 g/t, 回收率 46.70%; 金精矿 Au 品位 42.27 g/t、回收率 21.1% 金综合回收率为 86.6%; 硫精矿中 S 品位为 48.24%, 回收率为 69.70%。该研究为此矿石的综合回收利用提供了技术依据。

**关键词** 硫化矿; 捕收剂; 金; 铜硫分离; 浮选

## 引言

铜是人类最早发现和使用的有色金属之一, 在电力、基础设施建设、新能源汽车以及建筑等领域具有广泛应用<sup>[1]</sup>。我国铜资源短缺, 对外依存度为 80% 左右<sup>[2]</sup>。黄金具有商品、货币以及金融等多重属性, 金矿资源是一种特殊的矿产资源, 其储量直接影响国际社会及金融安全<sup>[3-4]</sup>。因此, 铜和金都被我国列为战略性矿产资源。铜具有强烈的亲硫性, 自然界中铜主要以硫化矿物的形式存在, 硫化铜矿物常与黄铁矿、硫化铅锌矿物等共生, 铜矿石中还常常伴生金银等贵金属。我国的金矿资源主要包括砂金、岩金以及伴生金, 伴生金多伴生于黄铜矿、斑铜矿和毒砂等硫化矿中<sup>[5-7]</sup>。

含金硫化铜矿石是重要的铜矿物和金矿物来源, 具有矿物组成复杂、伴生元素多、品位低、嵌布粒度细等特点, 导致铜硫分离难度大、伴生元素综合回收率低, 因此含金硫化铜矿石的分选和有价值成分综合回收一直是选矿研究的热点和难点之一<sup>[8-10]</sup>。本研究以某含金硫化铜矿石为对象, 在矿石性质研究的基础上, 开展了选矿工艺研究和新型捕收剂 YZ-05 试验研究, 目的是为该含金硫化铜矿石的综合回收提供技术依

据, 为同类矿石的开发利用提供参考。

## 1 矿石性质

### 1.1 矿石的化学组成

原矿的主要化学成分分析结果见表 1。表 1 结果表明, 样品中主要的有价元素是 Cu, 品位为 0.57%, 达到了铜硫化矿床工业品位, 其伴生元素 Au 品位为 1.56 g/t, 可考虑综合回收。

### 1.2 铜和金的物相组成

原矿中铜和金物相分析结果分别见表 2 和表 3。由表 2 可知, 该矿样中铜矿物主要以硫化铜的形式存在, 硫化相铜含量为 0.51%, 占全铜的 95.51%, 该矿样中铜氧化率 4.49%, 依据矿石类型划分标准, 属于硫化型铜矿石。由表 3 可知, 矿石中金主要以自然金的形式存在, 含量为 0.98 g/t, 占全金的 60.87%; 硫化相包裹金含量为 0.42 g/t, 占全金的 26.09%。

### 1.3 矿石的矿物组成

为了进一步查明矿石中的矿物组成, 采用能谱分

收稿日期: 2022-07-18

作者简介: 冯泽平(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事选矿、固废综合利用等方面研究工作。

通信作者: 程宏伟(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事矿产资源综合利用、浮选理论与工艺等方面研究工作。E-mail: chw217@163.com。

表 1 原矿化学多项分析结果

/%

Table 1 Main chemical composition analysis of the ore

成分	Cu	S	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
含量	0.57	6.57	6.59	61.60	13.03	7.72	1.78
成分	MgO	CaO	CO <sub>2</sub>	Au	Ag	Pb	Zn
含量	0.85	0.53	0.50	1.56	3.20	0.001 7	0.006 5

注: Au和Ag含量单位为g/t。

表 2 原矿铜物相分析结果

/%

Table 2 Copper phase analysis result of the raw ore

相别	硫酸铜	自由氧化铜	结合氧化铜	次生硫化铜	原生硫化铜	合计
含量	0.002	0.018	0.004	0.13	0.38	0.534
分布率	0.37	3.37	0.75	24.34	71.17	100.00

表 3 原矿金物相分析结果

Table 3 Gold phase analysis result of the raw ore

相别	裸露和半裸露自然金	碳酸盐包裹金	铅锌铜硫化矿物包裹金	褐铁矿包裹金	黄铁矿包裹金	石英和硅酸盐包裹金	合计
含量/(g·t <sup>-1</sup> )	0.98	0.10	0.41	0.01	0.01	0.10	1.61
分布率/%	60.87	6.21	25.47	0.62	0.62	6.21	100.00

析、X射线衍射分析、光学显微镜鉴定等手段对矿石的主要矿物组成进行了测定。矿石中主要矿物组成见表 4。由结果可知,该矿石中金属硫化矿物含量较

表 4 矿石中主要矿物组成

/%

Table 4 Minerals composition of the raw ore

矿物组	矿物名称	相对含量	小计
金属硫化物	黄铜矿	1.59	13.97
	斑铜矿	微量	
	辉铜矿	0.01	
	铜蓝	微量	
	黄铁矿	12.34	
	方铅矿	0.01	
	闪锌矿	0.02	
铁氧化物	磁铁矿	0.28	0.38
	钛铁矿	0.09	
	铬铁矿	0.01	
脉石矿物	石英	25.11	85.37
	钾长石	35.19	
	斜长石	12.56	
	斜帘石	2.16	
	白云母(绢云母)	4.94	
	黑云母	1.91	
	方解石	0.56	
	白云石	0.04	
	绿泥石	1.88	
	滑石	1.02	
其他矿物	磷灰石	0.13	0.28
	楣石	0.08	
	独居石	0.03	
	锆石	0.03	
	重晶石	0.01	
	合计	100.00	

高,约占 14%,其中黄铁矿含量最多,其次为黄铜矿、辉铜矿等;脉石矿物含量为 85.37%,主要有石英、长石、云母、绿泥石。

## 1.4 主要矿物的嵌布特征

### 1.4.1 铜矿物

矿石中铜主要以黄铜矿的形式赋存,多为他形,常形成不规则集合体分布。大多数黄铜矿形成单矿物集合体分布于脉石中,少量与黄铁矿伴生。该矿石中黄铜矿成矿较晚,因此,部分形成细脉状或放射状或网脉状充填分布于矿石的裂隙中,部分呈不规则他形集合体沿黄铁矿充填脉边缘或周围不连续分布。矿石中黄铜矿粒度大小悬殊,细小的仅为 10 μm,较大颗粒的直径多在 100 μm 以上;黄铜矿平均粒度为 89 μm,约 80% 的黄铜矿粒度在 24 μm 以上。矿石中黄铜矿的嵌布特征如图 1 所示。

### 1.4.2 金矿物

矿石中金主要以自然金和银金矿的矿物形式存在。金的粒度以中细粒为主,其中粒度在 5 μm 以下的约 13%,5~20 μm 的约 48%,50 μm 以上的约 39%。矿石中金矿物的嵌布特征如图 2 所示。金矿物与载体矿物嵌布关系的统计结果见表 5。从统计结果可见,该矿石中金矿物的载体矿物以黄铁矿为主,其次是黄铜矿,分布于其他矿物中的可测明金很少。黄铁矿裂隙中的金和包裹于黄铁矿中的金约占总体的 67%,其次为单体金(占比为 15%),包裹于黄铜矿中的金为 9%。

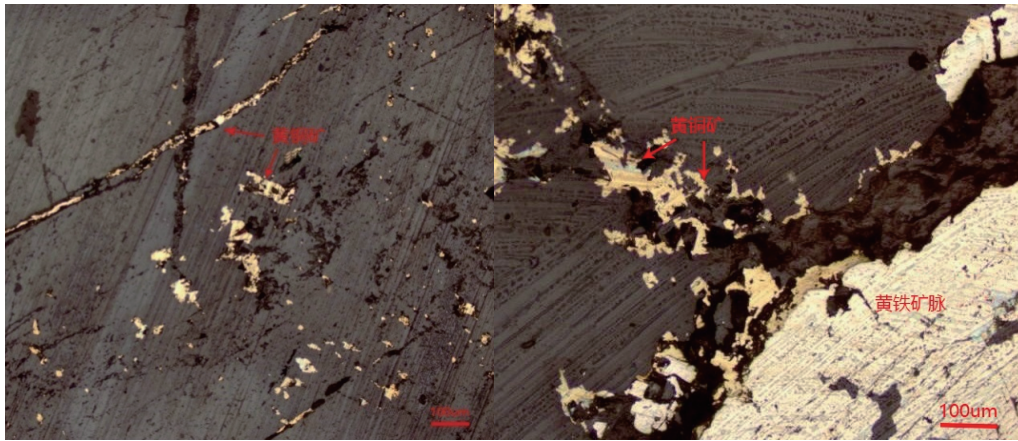


图 1 矿石中黄铜矿的嵌布特征  
Fig. 1 Distribution characteristics of chalcopyrite in ores

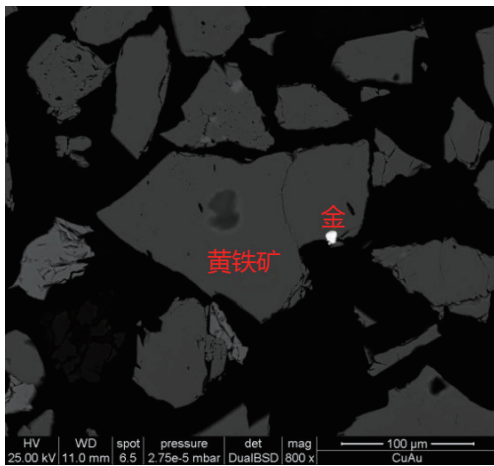


图 2 金矿物的嵌布特征  
Fig. 2 Distribution characteristics of gold minerals

表 5 金与载体矿物的嵌布关系统计结果  
Table 5 Statistical results of the embedment relationship between gold and carrier minerals

嵌布状态	单体金	黄铁矿裂隙	包裹于黄铁矿中	包裹于黄铜矿中	合计
个数	5	19	4	3	34
比例/%	15	56	11	9	100.0

## 2 试验研究

### 2.1 试验方案的确定

该矿石属于含金硫化铜矿石,目前,该类矿石的分选工艺主要有铜硫混合浮选—铜硫分离浮选、优先浮选铜、部分优先—混合浮选和等可浮等流程。由矿石性质可知,该矿石硫化矿物含量低,脉石含量高,部分黄铜矿与黄铁矿伴生,且铜、金矿物嵌布粒度较细,宜采用混合浮选工艺流程,另外金主要包裹在黄铁矿中,采用混合浮选能够提高金的回收率。通过探索试验,最终确定了“铜金硫混合浮选—铜金硫分离浮选”

的浮选原则流程。

### 2.2 原则工艺流程的确定

采用混合浮选流程得到铜金硫混合精矿,再进行铜金硫混合精矿分选即可得到精矿产品。对比了 3 种铜金硫混合精矿分选工艺流程:(1)混合精矿不再磨;(2)混合精矿再磨;(3)硫精矿再磨。分选试验流程见图 3,试验结果见表 6。

从表 6 结果可以看出,混合精矿再磨工艺,铜精矿金的品位略微提高,但是由于铜精矿产率较小,导

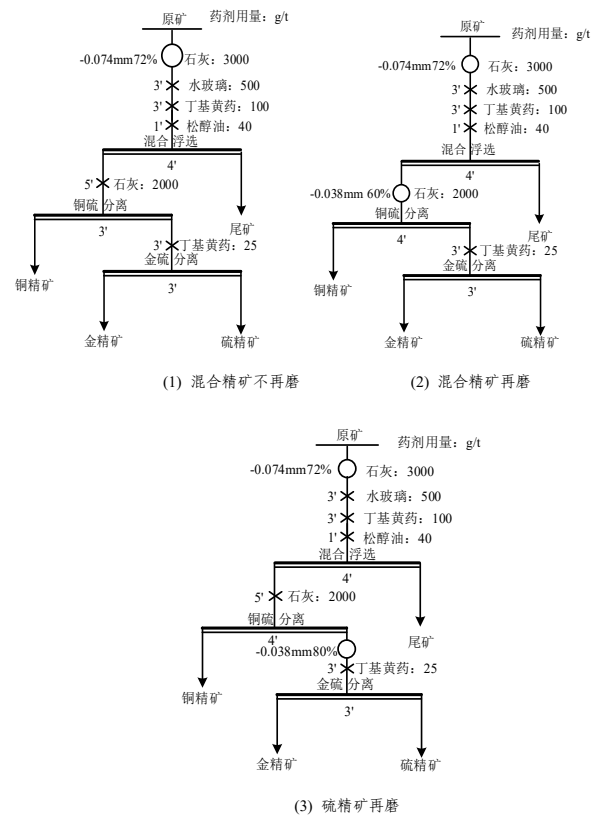


图 3 铜金硫混合精矿分选工艺流程

图 3 铜金硫混合精矿分选工艺流程  
Fig. 3 Separation process of copper-gold-sulfur bulk concentrate

表 6 铜金硫混合精矿分选试验结果

Table 6 Separation test results of copper-gold-sulfur bulk concentrate

再磨方案	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	S	Cu	Au	S
不再磨	铜精矿	3.47	12.36	24.50	39.40	81.14	57.47	20.10
	金精矿	0.45	0.51	10.74	44.83	0.43	3.27	2.97
	硫精矿	9.65	0.23	3.69	46.35	4.20	24.07	65.75
	尾矿	86.43	0.087	0.26	0.88	14.23	15.19	11.18
	合计	100.00	0.53	1.48	6.80	100.00	100.00	100.00
混合精矿再磨	铜精矿	3.10	12.61	26.40	31.54	74.67	56.76	15.55
	金精矿	0.72	3.42	11.30	37.94	4.70	5.64	4.34
	硫精矿	9.77	0.38	3.25	43.24	7.09	22.02	67.19
	尾矿	86.41	0.082	0.26	0.94	13.54	15.58	12.92
	合计	100.00	0.52	1.44	6.29	100.00	100.00	100.00
硫精矿再磨	铜精矿	3.56	12.48	23.71	33.03	80.13	57.84	18.35
	金精矿	0.87	2.20	21.36	36.76	3.45	12.73	4.99
	硫精矿	9.68	0.16	2.13	43.58	2.79	14.13	65.81
	尾矿	85.89	0.088	0.26	0.81	13.63	15.30	10.85
	合计	100.00	0.55	1.46	6.41	100.00	100.00	100.00

注: Au品位单位为 g/t。

致铜精矿中的铜和金回收率比其他两种方案低。硫精矿再磨方案, 硫精矿中的含金量大大减少, 得到的金精矿产品金品位和回收率都远远高于另外两种方案。同时硫精矿再磨方案降低了再磨处理量, 节省了能耗。综合考虑, 采用硫精矿再磨工艺优势明显。

### 2.3 磨矿细度试验

在确定了铜金硫分选的原则工艺流程后, 对该矿石进行了粗选磨矿细度条件试验。试验工艺流程如图 4, 试验结果见图 5。图 5 结果显示, 当磨矿细度为 -0.074 mm 占 60% 时, 铜精矿中铜、金的品位分别为

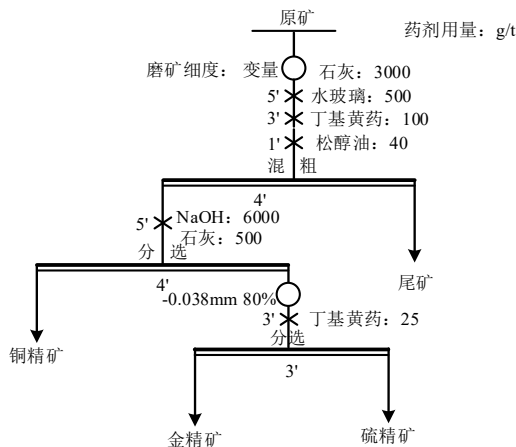


图 4 铜金硫矿浮选工艺流程  
Fig. 4 Flotation process of copper-gold-sulphur ore

15.85% 和 21.96 g/t。随着磨矿细度的增加, 铜精矿的产率减少, 铜精矿中金、铜的品位略微提高, 但是回收率降低。当磨矿细度 -0.074 mm 占比为 80% 时, 铜精矿中铜、金的品位达到 22.06% 和 37.20 g/t。综合考虑, 铜金硫粗选磨矿细度 -0.074 mm 占 80% 较为适宜。

### 2.4 调整剂试验

通过探索试验可知, 磨矿作业添加氢氧化钠相比添加石灰, 混合浮选的产率基本不变, 尾矿中铜的损失量也基本不变, 但是金在尾矿中的损失量大大减少。金是回收的主要目的矿物之一, 所以混合浮选调整剂使用氢氧化钠效果远远优于石灰。本试验考察了混合浮选作业氢氧化钠用量对铜金硫的分选效果的影响, 试验流程见图 6, 试验结果见表 7。

表 7 结果表明, 随着 pH 值的升高, 铜精矿中的铜品位和金品位逐渐升高, 铜的回收率先升高后降低, 尾矿中的金损失率逐渐降低; 当氢氧化钠用量为 4 200 g/t 时, 铜精矿中铜品位为 13.62%, 金品位为 25.6 g/t, 回收率分别为 76.1% 和 52.2%, 尾矿中金的损失量为 2.4%; 当 pH=12 时, 铜精矿中铜和金的品位较高, 但是回收率有所下降, 因此, 调整剂氢氧化钠用量选择 4 200 g/t

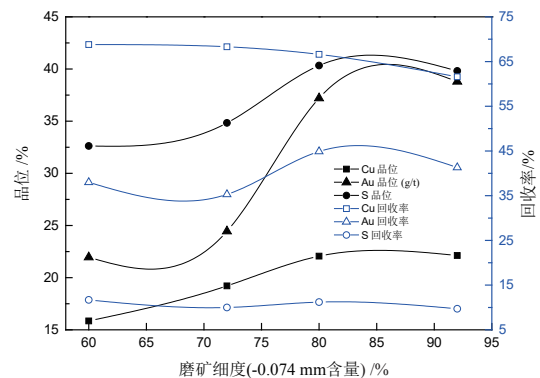


图 5 磨矿细度对铜金硫混合粗选铜精矿指标的影响  
Fig. 5 Effect of grinding fineness on copper-gold-sulfur bulk roughing

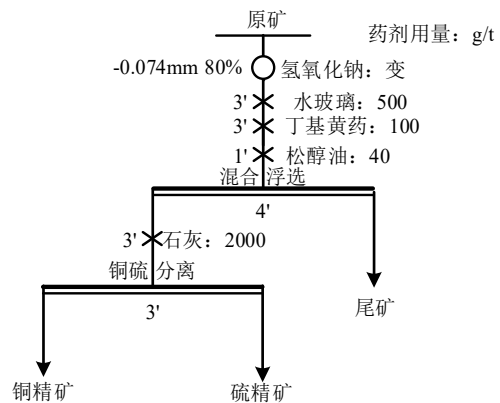


图 6 铜金硫混合浮选工艺流程  
Fig. 6 Separation process of copper-gold-sulfur bulk flotation

表 7 铜金硫混合浮选试验结果

Table 7 Separation test results of copper-gold-sulfur bulk concentrate

氢氧化钠用量/(g·t <sup>-1</sup> )	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	S	Cu	Au	S
700 (pH=8)	铜精矿	7.28	5.22	12.9	45.57	67.56	64.10	52.73
	硫精矿	3.99	0.57	5.62	49.40	4.04	15.31	31.33
	尾矿	88.73	0.18	0.34	1.13	28.40	20.59	15.94
	合计	100.00	0.56	1.47	6.29	100.00	100.00	100.00
2 100 (pH=9.5)	铜精矿	4.72	8.92	16.9	36.24	77.38	52.83	24.13
	硫精矿	8.82	0.65	7.29	52.34	10.54	42.59	65.13
	尾矿	86.46	0.076	0.08	0.88	12.08	4.58	10.74
	合计	100.00	0.54	1.51	7.09	100.00	100.00	100.00
4 200 (pH=11)	铜精矿	2.97	13.62	25.6	38.96	76.07	52.21	18.21
	硫精矿	9.58	0.58	6.90	49.49	10.45	45.39	74.63
	尾矿	87.45	0.082	0.04	0.52	13.48	2.40	7.16
	合计	100.00	0.53	1.46	6.35	100.00	100.00	100.00
6 000 (pH=12)	铜精矿	2.03	18.25	32.7	33.43	70.80	45.87	10.20
	硫精矿	11.21	0.69	6.60	49.56	14.78	51.13	83.54
	尾矿	86.76	0.087	0.05	0.48	14.42	3.00	6.26
	合计	100.00	0.52	1.45	6.65	100.00	100.00	100.00

注：Au品位单位为 g/t。

更为适宜。

## 2.5 捕收剂试验

### 2.5.1 捕收剂对比试验

本试验对比了新型捕收剂 YZ-05 以及丁基黄药对铜金硫的捕收效果，在磨矿细度-0.074 mm 含量 80%、氢氧化钠用量 4 200 g/t 条件下开展了试验，试验流程及其他条件见图 4，试验结果见表 8。YZ-05 是由黄药类药剂与硫胺酯类药剂按照一定比例复配而成的组合捕收剂。

表 8 结果表明，YZ-05 对金的捕收效果略好于丁基黄药，尾矿中金损失率为 1%，丁基黄药作捕收剂时

金损失率为 2.4%。铜精矿金、铜的回收率 YZ-05 远远大于丁基黄药捕收剂的指标；而且硫精矿再磨方案中 YZ-05 方案得到的金精矿品位更高，达到金精矿质量标准，可以直接作为金精矿产品。因此，铜、金、硫的捕收剂选择 YZ-05 更为适宜。

### 2.5.2 粗选捕收剂用量条件试验

在磨矿细度-0.074 mm 含量 72%、氢氧化钠用量 4 200 g/t、水玻璃用量 500 g/t 条件下，开展铜金硫粗选捕收剂用量试验，试验其他条件见图 4，试验结果见图 7。

由图 7 可以看出，铜金性质比较相似，随着捕收剂用量的增大，尾矿中金、铜的损失量逐渐减小，铜精矿中铜、金的品位相应地逐渐降低，回收率先增加后

表 8 捕收剂种类试验结果

Table 8 Effect of collector types on flotation

捕收剂种类 及用量	产品名称	产率/ %	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	S	Cu	Au	S
YZ-05 100 g/t	铜精矿	5.07	9.52	22.70	36.33	88.39	78.24	28.30
	金精矿	0.79	1.42	23.70	37.23	2.05	12.73	4.52
	硫精矿	9.19	0.07	1.26	42.68	1.16	7.87	60.26
	尾矿	84.95	0.05	0.02	0.53	8.40	1.16	6.92
	合计	100.00	0.55	1.47	6.51	100.00	100.00	100.00
丁基黄药 100 g/t	铜精矿	2.97	13.62	25.6	39.86	76.07	52.21	18.60
	金精矿	3.27	1.37	15.00	43.17	8.42	33.68	22.18
	硫精矿	6.31	0.17	2.70	46.96	2.02	11.71	46.57
	尾矿	87.45	0.08	0.04	0.92	13.48	2.40	12.64
	合计	100.00	0.53	1.46	6.36	100.00	100.00	100.00

注：Au品位单位为 g/t。

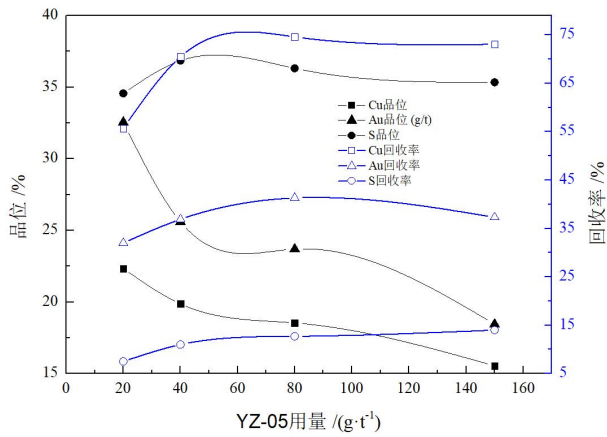


图 7 捕收剂 YZ-05 用量对铜金硫混合粗选铜精矿指标的影响

Fig. 7 Effect of YZ-05 dosage on copper-gold-sulfur mixed roughing

减少。当捕收剂 YZ-05 用量为 80 g/t 时, 铜精矿中铜、金的品位和回收率相对较高, 且硫精矿再磨后金精矿指标较好。因此, 选择捕收剂 YZ-05 用量为 80 g/t。

### 2.6 闭路试验

在条件试验的基础上进行闭路试验, 闭路试验流程如图 8, 试验结果如表 9。

### 2.7 精矿产品多元素分析

铜精矿和金精矿多元素分析结果见表 10。铜精矿中铜的品位为 19.57%, 达到四级品要求, 铜精矿中金含量为 36.93 g/t, 银含量为 61 g/t, 均可计价销售。金精矿中金的品位为 42.27 g/t, 达到七级品要求, 铜精矿和金精矿杂质含量均不超标。

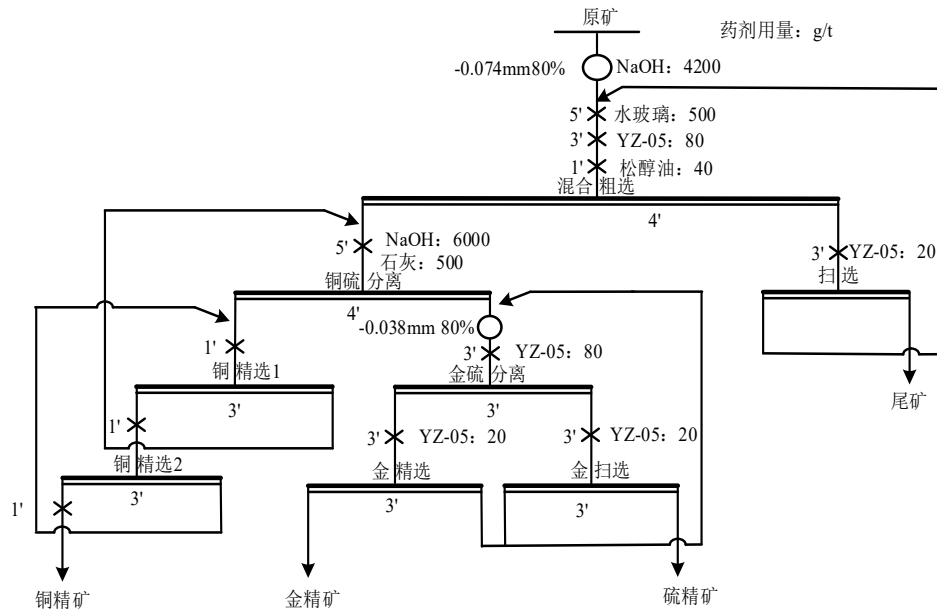


图 8 铜金硫矿选矿闭路试验流程

Fig. 8 Flowsheet of closed circuit tests

表 9 闭路试验结果

Table 9 Results of closed circuit tests

产品名称	产率 /%	品位 /%				回收率 /%			
		Cu	Au*	S	Ag*	Cu	Au	S	Ag
铜精矿	2.45	19.57	36.93	41.72	61.00	88.74	65.41	15.35	46.70
金精矿	0.69	1.38	42.27	39.46	64.00	1.76	21.09	4.09	13.80
硫精矿	9.62	0.08	1.67	48.24	—	1.43	11.61	69.69	—
尾矿	87.24	0.05	0.03	0.83	—	8.07	1.89	10.87	—
合计	100.00	0.54	1.38	6.66	3.20	100.00	100.00	100.00	—

注: Au和Ag品位单位为 g/t。

### 3 结论

(1) 该含金硫化铜矿石铜和金品位分别为 0.57%

和 1.56 g/t。矿石中铜矿物主要以硫化铜的形式存在, 占全铜的 95.51%, 主要为黄铜矿, 大多为单矿物集合体嵌布于脉石中, 少量充填伴生于黄铁矿集合体裂隙

表 10 精矿多元素分析结果

Table 10 Multielement analysis results of concentrate

/%

铜精矿	元素	Cu	Pb	Zn	Au*	Ag*	Mg	Al
	品位	19.57	1.03	0.021	36.93	61	1.46	1.27
铜精矿	元素	Fe	As	SiO <sub>2</sub>	S	Bi	Sb	
	品位	27.40	0.006 8	12.43	41.72	0.008 3	0.004 1	
金精矿	元素	Cu	Pb	Zn	Au*	Ag*	Mg	Al
	品位	1.38	1.01	0.027	42.27	64	1.41	1.25
	元素	Fe	As	SiO <sub>2</sub>	S	Bi	Sb	
	品位	26.50	0.008 5	12.48	39.46	0.008 5	0.004 7	

注：Au和Ag品位单位为g/t。

和边缘；矿石中金主要以自然金和银金矿的形式赋存，其载体矿物主要为黄铁矿和黄铜矿，大部分充填分布于硫化矿物集合体裂隙或孔隙中。

(2)根据矿石性质，试验采用“铜金硫混合浮选—铜硫分离—硫精矿再磨—金硫分离”的工艺流程和捕收性较好的铜矿物捕收剂 YZ-05 浮选，获得了铜品位 19.57%、铜回收率 88.7%，金品位 36.93 g/t、金回收率 65.50%，银品位 61.00 g/t、银回收率 46.70% 的铜精矿；金品位 42.27 g/t、金回收率 21.1% 的金精矿产品；金的综合回收率为 86.6%；还获得了硫品位为 48.24%、硫回收率为 69.70% 的硫精矿。

(3)本试验获得的铜精矿铜品位为 19.57%，达到四级品要求，铜精矿中的金和银都可计价销售。金精矿中金的品位为 42.27 g/t，达到七级品要求。该工艺兼顾了铜、金和硫的综合回收，为该矿石的回收利用提供了技术依据。

参考文献：

[1] 张亮, 杨卉, 赵军伟, 等. 世界铜矿资源系列研究之一——资源概况及供需分析[J]. 矿产保护与利用, 2015(5): 63-67.  
ZHANG L, YANG H P, ZHAO J W, et al. Series study on copper resource in world—General situation and analysis of supply and demand[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2015(5): 63-67.

[2] 韩见, 夏鹏, 邢佳韵, 等. 后疫情时代中国铜资源供应形势分析[J]. 地球学报, 2021, 42(2): 223-228.  
HAN J, XIA P, XING J Y, et al. An analysis of China's copper resources supply situation in the post-covid-19 era[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2021, 42(2): 223-228.

[3] 王成辉, 徐珏, 黄凡, 等. 中国金矿资源特征及成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2315-2325.  
WANG C H, XU J, HANG F, et al. Resources characteristics and outlinemetallgeny of gold dep osits in China[J]. Acta Geoscientia

Sinica, 2014, 88(12): 2315-2325.

[4] 吕兵超, 廖银英, 廖小山, 等. 某金矿资源高效回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6): 58-61.  
LV B C, LIAO Y Y, LIAO X S, et al. Experimental study on recovering some gold resource efficiently[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2019(6): 58-61.

[5] 韦性平, 王宇斌, 王昌龙, 等. 铜矿浮选技术、药剂与装备发展概述[J]. 中国钨业, 2021, 45(2): 36-40.  
WEI X P, WANG Y B, WANG C L, et al. Overview on the development of copper flotation technology, reagents and equipment[J]. China Molybdenum Industry, 2021, 45(2): 36-40.

[6] 刘淑杰, 代淑娟, 焦丹丹, 等. 金矿预处理及金资源提取和回收现状[J]. 有色矿冶, 2016, 32(6): 25-28.  
LIU S J, DAI S J, JIAO D D, et al. Pretreatment of gold and resources status of gold extraction and recycling[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2016, 32(6): 25-28.

[7] 杨卉, 王威, 柳林, 等. 全球铜矿开发利用技术发展趋势[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(5): 134-139.  
YANG H P, WANG W, LIU L, et al. Development trend of global copper mine exploitation and utilization technology[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(5): 134-139.

[8] 胡志凯, 于传兵, 周少珍, 等. 某铜硫多金属矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(3): 7-10.  
HU Z K, YU C B, ZHOU S Z, et al. Experimental research on mineral processing of copper-sulfur polymetallic ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(3): 7-10.

[9] 陈杜娟, 郭海宁, 苗梁, 等. 某铜金银硫多金属矿综合回收选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(3): 83-87.  
CHEN D J, GUO H N, MIAO L, et al. Experimental study on comprehensive recovery of acopper-gold silver sulfur polymetallic ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2021(3): 83-87.

[10] 吕良, 程宏伟, 岳铁兵, 等. 浮选—浸出工艺回收澳大利亚某低品位铜金矿中的铜、金、硫[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(6): 139-144.  
LV L, CHENG H W, YUE T B, et al. Recovery of copper, gold and sulfur from a low-grade copper-gold ore in Australia by flotation-leaching process[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(6): 139-144.

## Experimental Study on Comprehensive Recovery of Cu, Au and S from a Gold-bearing Copper Sulfide Ore

FENG Zeping<sup>1</sup>, LI Guoli<sup>2</sup>, YANG Ziyang<sup>2</sup>, CHENG Hongwei<sup>3,4</sup>

1. PowerChina Northwest Engineering Co., Ltd., Xi'an 710065, Shaanxi, China;

2. Hebi Hengyuan Mining Group Co. LTD, Hebi 458000, Henan, China;

3. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, Henan, China;

4. Key Laboratory for Polymetallic Ores' Evaluation and Utilization, MNR, Zhengzhou 450006, Henan, China

**Abstract:** Research in process mineralogy and comprehensive mineral processing experiments were conducted in order to rationally develop and utilize a gold-bearing copper sulfide ore. It showed that the grade of the main valuable element copper in the ore was 0.57%, and that of the associated element gold was 1.56 g/t. Copper mainly existed in the form of chalcopyrite, and gold mainly exists in the form of native gold and electrum, the carrier minerals of gold were mostly pyrite and chalcopyrite. The process of copper gold sulfur mixed flotation, copper sulfur separation, sulfur concentrate regrinding, and gold sulfur separation was used with YZ-05 as the collector. Copper concentrate with Cu grade of 19.57% and recovery of 88.7%, Au grade of 36.93 g/t and recovery of 65.5%, Ag grade of 61.00 g/t and recovery of 46.70% was obtained. In the gold concentrate, Au grade was 42.27 g/t, and the recovery was 21.1%. The total recovery of gold was 86.6%. In the sulfur concentrate, S grade was 48.24% and the recovery was 69.70%. The study provided a technical basis for the comprehensive recovery and utilization of such ore.

**Keywords:** sulphide ore; collector; gold; flotation separation of copper and sulphur; associated elements

引用格式: 冯泽平, 李国利, 杨紫洋, 程宏伟. 某含金铜硫矿浮选分离试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(1): 112-119.

FENG Zeping, LI Guoli, YANG Ziyang, CHENG Hongwei. Experimental study on comprehensive recovery of Cu, Au and S from a gold-bearing copper sulfide ore[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(1): 112-119.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)