

## 浮-重选联合流程选别金尾矿实验研究

陈广<sup>1,2</sup>, 羊坤<sup>1</sup>, 陈思竹<sup>3</sup>, 林一明<sup>4</sup>, 熊平<sup>2</sup>, 张小军<sup>2</sup>

(1. 四川省有色科技集团有限责任公司, 四川 成都 610051; 2. 四川时代绿洲环境修复股份有限公司, 四川 成都 610000; 3. 四川省有色冶金研究院有限公司, 四川 成都 610051; 4. 四川省有色矿冶科技有限公司, 四川 成都 610051)

**摘要:** 绵阳某金尾矿含金 0.8 g/t、含硫 1.24%、含碳 3.45%, 金矿物主要以单体-连生体以及铁等氧化物包裹金的形式存在, 脉石矿物有石英、硅酸盐、有机碳等, 属于高碳低金矿。采用浮-重选联合流程, 实验获得产率为 3.06%, 金品位为 12.7 g/t, 回收率为 48.52% 的浮选精矿, 同时获得产率为 2.82%, 金品位为 4.54 g/t, 回收率为 16.02% 的摇床精矿, 尾矿中金含量仅为 0.23 g/t, 为综合回收该尾矿中的金提供了技术依据。

**关键词:** 尾矿; 浮选; 重选; 联合工艺

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.02.024

中图分类号: TD982 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 02-0131-04

我国是金矿资源大国, 资源丰富, 保有储量位居世界前列, 但资源总体呈现贫矿多, 富矿少, 单一矿少, 共伴生矿多格局<sup>[1]</sup>。早期人们对于金矿石的利用开发以浮选为主, 由于浮选技术等原因尾矿中的金品位较高<sup>[2]</sup>。随着金矿资源的不断开发利用和生产技术水平及生产方式的影响, 易处理金矿资源越来越少, 难处理、低品位金矿和尾矿越来越多。据不完全统计, 国内的含金尾矿储量高达几十亿 t, 大量金尾矿品位在 0.5 g/t 以上, 具有可观的经济价值, 是潜在的二次资源, 未来将成为回收金的主要资源<sup>[3]</sup>。随着人们对金的

需求日益增大, 选别技术不断进步, 近些年来, 金矿石浮选尾矿得以重新选别, 废弃的尾矿资源再次得到利用。目前, 常见金尾矿资源中金的回收方法有氯化浸出、单一浮选、重选等技术处理, 难以达到理想的技术指标<sup>[4-5]</sup>。因此, 合理开发利用贫、细、杂等难处理金矿及尾矿资源已成为一种必然趋势。

### 1 原矿性质

原矿进行多元素分析, 分析结果见表 1, 金物相分析结果见表 2, 矿物组成见表 3。

表 1 金矿多元素分析结果/%

Table 1 Results of multi-element analysis of gold ore

Au*	As	TFe	S	Sn	Cu	Pb	Ag*
0.80	0.04	5.36	1.24	0.043	0.011	0.008	未检出
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Cd	Cr	C	Hg*
7.98	2.01	3.51	58.54	0.001	0.013	3.45	0.25

\*单位为g/t。

表 2 金物相分析结果

Table 2 Metallographic analysis results

相别	单体金+连生金	硅酸盐中金	硫化物中包裹金	铁等氧化物中包裹金	总金
含量/(g·t <sup>-1</sup> ) 占有率/%	0.3645.00	0.0911.25	0.067.50	0.2936.25	0.80100.00

收稿日期: 2021-07-20; 改回日期: 2021-09-11

基金项目: 四川省重点研发计划 (2020YFG0203)

作者简介: 陈广 (1988-), 男, 工程师, 研究方向为资源循环利用。

表 3 矿石主要矿物组成/%  
Table 3 Main mineral composition of ore

矿物	石英	绢云母	方解石	白云石	石墨碳质	黄铁矿	褐铁矿	黄铜矿	方铅矿	闪锌矿
含量	73.82	11.24	3.16	2.98	3.83	2.71	1.86	微量	微量	微量

## 2 实验方法

每次取矿样 1000 g, 在 XMQ-240×90 mm 锥形棒磨机中磨矿。浮选实验粗、扫选在 XFD-63 型 3 L 浮选机中进行, 精选在 XFD-63 型 0.5 L、XFGC-80 充气式挂槽浮选机中进行。采用单因素条件实验法, 以金的品位及回收率为实验指标判据, 重选采用单层矿砂摇床。

在对比了先浮碳再浮金、碳金混合浮选和抑碳浮金等几种工艺的基础上, 确定采用抑碳浮金工艺进行选金条件实验, 其条件实验工艺流程见图 1。

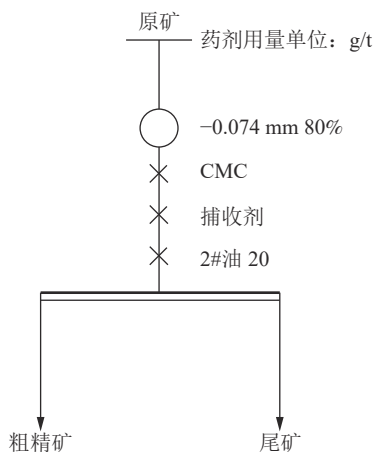


图 1 抑碳浮金选矿实验流程  
Fig.1 Test flow of carbon suppression flotation gold beneficiation

## 3 结果与讨论

### 3.1 磨矿细度实验

选择淀粉 (200 g/t) 为碳抑制剂, 丁铵黑药和丁基黄药为捕收剂, 用量分别为 20 g/t 和 50 g/t, 开展不同磨矿细度选矿实验, 实验结果见图 2。由图 2 可知, 随着磨矿细度提高, 金精矿中的金回收率提高, 当磨矿细度-0.074 mm 80% 时; 继续增加磨矿细度, 金精矿中的金回收率开始下降, 可能是矿物过磨所致, 导致部分脉石矿物泥化严重形成夹带, 与有用矿物一起上浮, 回收率下降。综合考虑, 较佳浮选磨矿细度为-0.074 mm 80%。

### 3.2 丁铵黑药用量实验

选金常用捕收剂主要有丁铵黑药和丁基黄

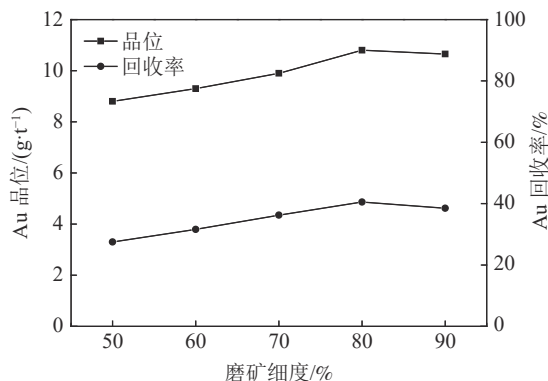


图 2 磨矿细度实验结果  
Fig.2 Test results of grinding fineness

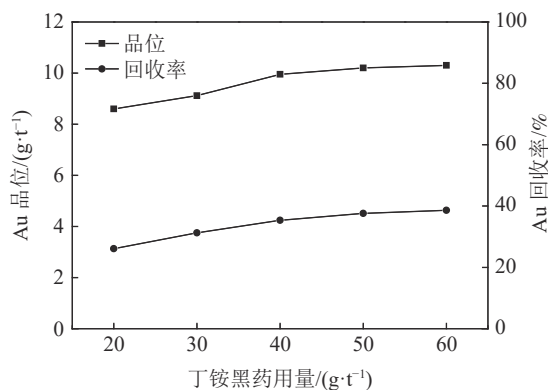


图 3 丁铵黑药用量实验结果  
Fig.3 Test results of the dosage of butylammonium black

药<sup>[6]</sup>。磨矿细度-0.074mm 80%, 淀粉用量 200 g/t, 丁基黄药用量为 50 g/t, 开展丁铵黑药用量条件实验。丁铵黑药用量实验流程见图 1, 实验结果见图 3。由图 3 可知, 随着丁铵黑药用量增加, 精矿金品位和回收率逐渐增加, 当用量增加至 50 g/t 时, 回收率上升不明显。综合考虑, 丁铵黑药用量以 50 g/t 为宜。

### 3.3 丁基黄药用量实验

矿细度-0.074 mm 80%, 淀粉用量 200 g/t, 丁铵黑药用量为 50 g/t, 开展丁基黄药用量条件实验。丁基黄药用量实验流程见图 1, 实验结果见图 4。由图 4 可知, 随着丁基黄药用量增加, 精矿品位和回收率逐渐增加, 当用量增加至 150 g/t 时, 金精矿金品位和回收率变化不大。综合考虑, 丁基黄药用量以 150 g/t 为宜。

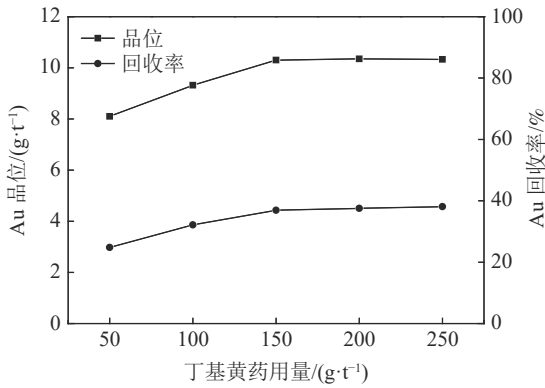


图 4 丁基黄药用量实验结果  
Fig.4 Test results of butyl xanthate dosage

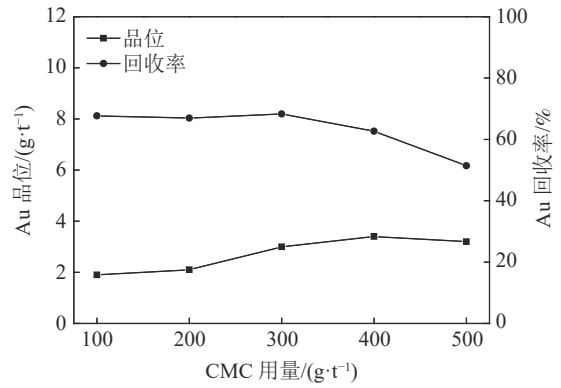


图 6 CMC 用量实验结果  
Fig.6 CMC dosage test results

### 3.4 抑制剂筛选实验

采用大分子抑制剂来抑制碳，探索抑碳工艺是否有利于提高金精矿品位及确保足够高的回收率<sup>[7]</sup>。工艺流程主要采取一粗一扫浮选工艺流程，其实验结果见图 5。由图 5 可知，糊精、淀粉和瓜尔胶均对碳和金具有较强的抑制作用，CMC 对碳有较好的抑制作用，金的回收率也较高。磺酸对碳的抑制作用较强，但精矿的回收率不高。综合考虑，以 CMC 作为碳抑制剂，此时能够获得较好的实验指标。

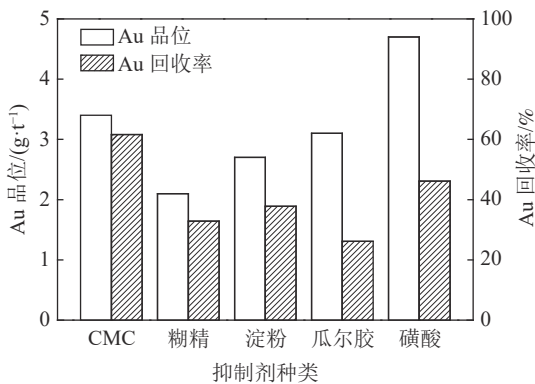


图 5 抑制剂种类实验结果  
Fig.5 Test results of inhibitor types

### 3.5 CMC 用量实验

CMC 用量实验采用一粗一扫工艺流程，实验结果见图 6。分析结果可知，当抑制剂 CMC 用量为 400 g/t 时，金回收率和品位达到最佳。继续增加抑制剂 CMC 的用量，则精矿金品位和收率均呈现下降趋势，故抑制剂用量以 400 g/t 为宜。

### 3.6 浮-重选联合流程实验

通过浮选实验可知，单一的浮选实验并不能够获得较高的回收率；为了提高该矿中的金的回

收利用率，实现更高的经济价值，实验对该矿进行浮-重选联合流程选矿实验，对实验浮选的尾矿进行重选，尽可能提高金的回收率。实验流程见图 7，实验结果见表 4。实验结果表明，采用浮-重选联合流程，开路探索实验可以获得产率为 3.06%，金品位为 12.7 g/t，回收率为 48.52%的金精矿 1，同时获得产率为 2.82%，金品位为 4.54 g/t，回收率为 16.02%的摇床精矿 2，尾矿中金含量仅为 0.23 g/t。金精矿 1 和金精矿 2 碳含量分别为 5.12% 和 3.45%，碳在金精矿 1 和金精矿 2 的分布率分别为 4.12% 和 2.56%，碳脱出效果较好。

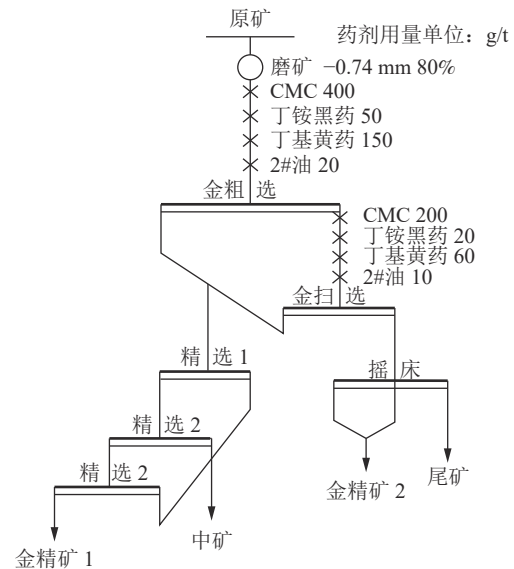


图 7 联合工艺流程  
Fig.7 Combined process flow

## 4 结论

(1) 该矿来自尾矿库堆存的尾矿，该尾矿矿样含金 0.8 g/t、含硫 1.24%、含碳 3.32%，金矿物

表 4 联合工艺实验结果  
Table 4 Combined process experimental results

名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		金 *	碳	金	碳
金精矿 <sup>1</sup>	3.06	12.7	5.12	48.52	4.12
金精矿 <sup>2</sup>	2.82	4.54	3.45	16.02	2.56
中矿	11.08	0.84	4.56	11.59	13.27
尾矿	83.04	0.23	3.67	23.87	80.06
原矿	100	0.8	3.81	100	100.00

\*单位为g/t。

主要以单体、连生体、铁等氧化物包裹金的形式存在，脉石矿物主要为石英、硅酸盐、有机碳等，属于高碳低金矿。

(2) 经实验条件实验确定最佳参数：磨矿细度-0.074 mm 80%，丁铵黑药用量 50 g/t，丁基黄药用量 150 g/t，抑制剂为 CMC，用量为 400 g/t。

(3) 采用浮-重选联合工艺流程，开路实验可以获得产率 3.06%，金品位为 12.7 g/t，回收率为 48.52% 浮选金精矿；同时获得产率为 2.82%，金品位为 4.54 g/t，回收率为 16.02% 的摇床精矿，尾矿中金含量仅为 0.23g/t，金综合回收率为 64.54%。

### 参考文献：

- [1] 李得立, 曾小波, 魏友华, 等. 矿山企业矿产资源开发利用水平评价方法研究——以湖南省金矿矿山为例[J]. *矿产综合利用*, 2019(5):22-27.
- LI D L, ZENG X B, WEI Y H, et al. Research on evaluation method of mineral exploration level for mine enterprise-taking Hunan Province gold mine enterprise as an example[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(5):22-27.
- [2] 明平田, 李飞. 某微细粒蚀变岩型金矿高效浮选新工艺研究[J]. *矿产综合利用*, 2019(5):127-133.
- MING P T, LI F. Study on a new high-efficiency flotation process for a microgranular altered rock gold mine[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(5):127-133.
- [3] 刘静宇. 某金矿重选尾矿回收金、铜的工艺研究[J]. *矿*

*产综合利用*, 2020(1):112-115.

LIU J Y. Recovery of gold and copper from tailings of gravity separation in a gold ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(1):112-115.

[4] 张虹, 张雨田, 孙景敏, 等. 缅甸某金矿的重-浸选矿试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(4):106-110.

ZHANG H, ZHANG Y T, SUN J M, et al. Experimental study on a gold ore with gravity separation-cyanidation for gravity tailings process[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(4):106-110.

[5] 杨波, 童雄, 谢贤, 等. 选冶联合提高甘肃某难浸金矿浮选尾矿金回收率的试验研究[J]. *黄金科学技术*, 2020, 28(2):123-130.

YANG B, TONG X, XIE X, et al. Experimental study on improving the recovery rate of gold from flotation tailings of a refractory gold mine in Gansu by combining beneficiation and metallurgy[J]. *Gold Science and Technology*, 2020, 28(2):123-130.

[6] 杨俊龙, 郭艳华, 郭海宁, 等. 碳酸盐型难选金矿石选矿工艺流程试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2020(1):42-47.

YANG J L, GUO Y H, GUO H N, et al. Experimental study on beneficiation process of carbonate-type refractory gold ore[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2020(1):42-47.

[7] 黄长峰, 曹玉川. 湖南某金矿浮选工艺研究[J]. *矿冶工程*, 2020, 195(5):68-70.

HUANG C F, CAO Y C. Research on flotation process of a gold mine in Hunan[J]. *Mining and Metallurgy Engineering*, 2020, 195(5):68-70.

(下转第 186 页)