

## 老挝某难浸金矿石环保浸金实验研究

康维刚, 陈京玉

(天津华勘集团有限公司, 天津 300170)

**摘要:** 老挝某金矿矿石类型为蚀变岩型, 金为矿石中唯一可回收元素, 金属矿物主要为铁的硫化物, 部分金包裹在硫化物中, 属于较难处理金矿石。针对该矿石开展环保浸金剂浸金实验, 获得较佳工艺参数为: 原矿金品位为 5.47 g/t, 磨矿细度-0.074 mm 含量 90%, 矿浆浓度 40%, 石灰用量 3000 g/t, 铁氰化钾助浸剂用量 600 g/t, 碱和助浸剂预处理 2 h, 金蝉浸金剂用量 3000 g/t, 浸出时间 32 h, 金浸出率可以达到 93.97% 以上。验证实验表明, 在较佳工艺条件下, 金的浸出率较稳定。

**关键词:** 蚀变岩型金矿石; 硫化物; 包裹金; 助浸剂; 环保浸金剂

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.023

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 03-0132-05

老挝某金矿位于老挝乌多姆赛省巴勉县班东村地区, 地处老挝西北部上寮地区。该金矿矿石类型为蚀变岩型金矿石, 金为矿石中唯一可回收元素, 金属矿物主要为铁的硫化物, 部分金包裹在硫化物中, 属于难处理金矿石。本研究针对该金矿矿石开展了环保浸金剂条件实

验, 以求获得较佳工艺条件, 指导矿山现场生产。

## 1 矿石性质

### 1.1 矿石化学分析

原矿化学多元素分析结果见表 1。

表 1 矿石多元素分析结果/%

Table 1 Multi-element analysis results of the ore

Au <sup>*</sup>	Ag <sup>*</sup>	C <sub>有</sub>	S	As	Sb	TFe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	WO <sub>3</sub>	Cu
5.47	1.3	<0.01	1.25	0.31	0.0004	6.43	51.12	3.10	11.28	9.21	1.55	2.05	0.0082	0.010

\*单位为g/t。

由表 1 可知, 矿石中金品位为 5.47 g/t, 为主要回收元素, 矿石中含有少量硫、砷等, 会对金的浸出造成一定影响, 有机碳含量很低, 不会对浸出作业造成影响。

从表 2 结果可以看出, 该矿石中金属矿物含量较低, 仅占矿物相对含量的 3.70%, 其中, 以铁的硫化物为主, 主要包括黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿, 还含有少量的黄铜矿, 占矿物相对含量的 3.20%。氧化矿物以金红石和钛铁矿为主, 仅占矿物相对含量的 0.50%。脉石矿物以石英、绢云

母、绿泥石等硅酸盐矿物为主, 占矿物相对含量的 78.30%, 其次为方解石、白云石等碳酸盐矿物。

### 1.2 金的矿物种类及分布

金主要以自然金的形式存在, 约占 66.51%, 其次以类质同象或包裹体的形式赋存在黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿等硫化物中, 黄铁矿中占 22.68%, 毒砂、黄铜矿和磁黄铁矿中占 8.68%, 脉石矿物中含量少, 属于微细粒包裹体, 或者为极细小的黄铁矿、毒砂等包裹体。

收稿日期: 2020-06-13

基金项目: 天津市“一带一路”科技创新合作项目 (18PTWJHZ00080)

作者简介: 康维刚 (1979-), 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为有色金属选矿、环保浸金等。

表2 矿石矿物组成检测结果  
Table 2 Mineral composition analysis results of the ore

金属矿物		非金属矿物	
矿物	含量/%	矿物	含量/%
黄铁矿	2.4	石英	33
毒砂	0.7	绢云母、绿泥石、斜长石等硅酸盐矿物	45.3
黄铜矿	0.05		
磁黄铁矿	0.05	方解石、白云石等碳酸盐矿物	18
金红石、钛铁矿等氧化物	0.5		
小计/%	3.70	小计/%	96.30
合计/%	100.00	合计/%	100.00

### 1.3 金矿物粒度特征

矿石中金矿物粒度组成以-0.074+0.037 mm 的中粒金为主，占 44%，次为+0.074 mm 的粗粒

级，占 36.1%，-0.037 mm 的较少，占 19.9%，因此确定该矿石中金粒级属中-粗粒金。金粒度测量结果见表 3。

表3 金粒度测量结果  
Table 3 Particle measurement results of gold

粒级/mm	+0.1	-0.1+0.074	-0.074+0.053	-0.053+0.037	-0.037	合计
含量/%	16	20.1	17.8	26.2	19.9	100.00

## 2 实验部分

### 2.1 实验药剂及设备

实验药剂主要包括分析纯药剂 CaO、Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] 等，环保浸金剂产品目前种类较多，主要包括金蝉<sup>[1-2]</sup>、圣的<sup>[3]</sup>、绿金<sup>[4]</sup>、喜金<sup>[5]</sup> 等。通过对比发现，金蝉环保浸金剂在老挝已有应用的先例<sup>[6]</sup>，并且应用效果良好，因此选择金蝉环保浸金剂作为本次实验的浸金剂。该试剂浸金与全泥氰化浸金工艺相同，均在碱性环境下浸金，具有浸出速度快、浸出率高、低毒环保等优点。

主要实验设备包括 PEX- (100×125) mm 鄂式破碎机、XPS- (250×150) mm 辊式粉碎机、RK/ZQM (BM) φ150×50 mm 智能锥形球磨机、RK/XJT-1.0 mm 浸出搅拌机、RK/ZL-φ240 mm 多功能真空过滤机等。

### 2.2 实验方法

采用单因素实验法对该矿石开展环保药剂浸金实验，主要考察了磨矿细度、助浸剂及用量、石灰用量、金蝉环保浸金剂用量、浸出时间等条件对金浸出率的影响。每次取试样 300 g，调制矿浆浓度为 40%，加入保护碱石灰、助浸剂预处理 2 h，然后加入金蝉环保浸金剂，在常温下搅拌浸出，达到预定时间后，过滤、洗涤，浸渣烘干，分析浸渣金品位，计算浸出率。最后通过开展条

件验证实验，验证较优条件下浸出稳定性。具体实验流程见图 1。

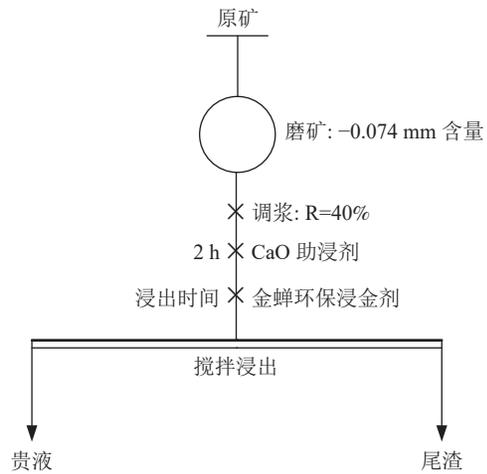


图1 环保浸金剂浸金实验流程  
Fig.1 Flowsheet of gold leaching test of environmental friendly leaching agent

## 3 结果与讨论

### 3.1 磨矿细度对浸出率的影响

实验条件：矿浆浓度 40%，石灰用量为 3000 g/t，碱预处理 2 h，金蝉环保浸金剂用量 3000 g/t，浸出时间为 40 h，考查磨矿细度对浸出效果的影响。结果见图 2。

由图 2 结果可以看出，当磨矿细度-0.074 mm

含量为 80% 时, 金的浸出率为 84.46%; 随着磨矿细度提高, 尾渣品位不断降低, 金浸出率不断升高; 当磨矿细度达到 -0.074 mm 含量为 90% 时, 金浸出率达到 88.48%。之后, 磨矿细度再增大金浸出率不再提升, 因此选择磨矿细度为 -0.074 mm 90%。

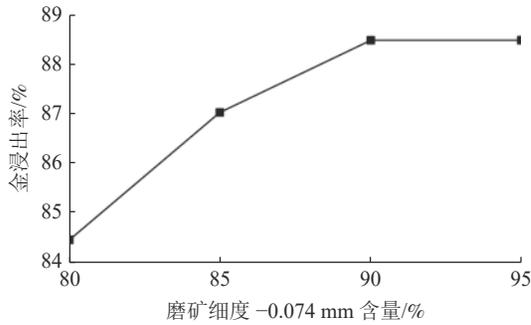


图 2 磨矿细度对浸出效果的影响

Fig.2 Effect of grinding fineness on leaching rate of gold

### 3.2 助浸剂及用量实验

浸金中助浸剂的类型主要包括氧化剂、氨类、重金属盐类等<sup>[7]</sup>, 而一般是从氧化剂方面考虑强化金矿石的浸出。本次实验分别选择了一种强氧化剂  $\text{Na}_2\text{O}_2$  和一种温和氧化剂铁氰化钾开展助浸剂及用量实验, 对比浸金效果。

#### 3.2.1 $\text{Na}_2\text{O}_2$ 助浸实验

实验条件: 磨矿细度 -0.074 mm 含量为 90%, 矿浆浓度 40%, 石灰用量为 3000 g/t, 碱和助浸剂预处理 2 h, 金蝉环保浸金剂用量 3000 g/t, 浸出时间为 40 h, 考查  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂对浸出效果的影响。结果见图 3。

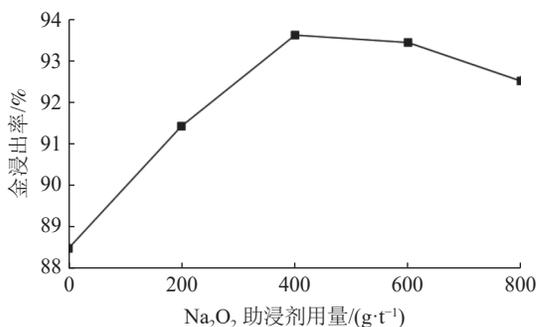


图 3  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂对浸出效果的影响

Fig.3 Effect of  $\text{Na}_2\text{O}_2$  leaching aid on leaching rate of gold

由图 3 结果可以看出, 在不添加助浸剂时, 金浸出率较低, 为 88.48%, 添加  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂之后, 金浸出率明显提高。当  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂用量为 200 g/t 时, 金浸出率提高至 91.41%; 当  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助

浸剂用量达到 400 g/t 时, 金浸出率达到 93.60%。之后, 随着  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂用量的增大, 金浸出率反而逐渐下降, 因此选择  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸剂用量为 400 g/t。

#### 3.2.2 铁氰化钾助浸实验

实验条件: 磨矿细度 -0.074 mm 含量为 90%, 矿浆浓度 40%, 石灰用量为 3000 g/t, 碱和助浸剂预处理 2 h, 金蝉环保浸金剂用量 3000 g/t, 浸出时间为 40 h, 考查铁氰化钾助浸剂对浸出效果的影响。结果见图 4。

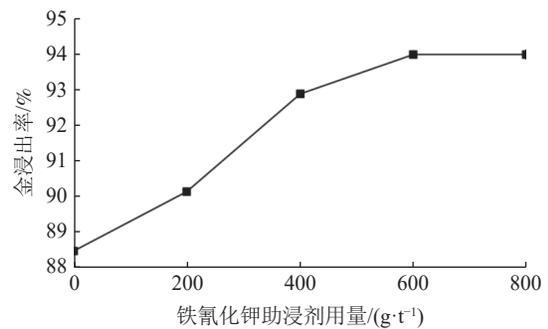


图 4 铁氰化钾助浸剂对浸出效果的影响

Fig.4 Effect of  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  leaching aid on leaching rate of gold

由图 4 结果可以看出, 在不添加助浸剂时, 金浸出率为 88.48%, 添加铁氰化钾助浸剂之后, 金浸出率明显提高; 当铁氰化钾助浸剂用量为 200 g/t 时, 金浸出率提高至 90.13%。随着铁氰化钾助浸剂用量的增大, 金浸出率逐渐提高, 当铁氰化钾助浸剂用量达到 600 g/t 时, 金浸出率达到 93.97%, 之后用量增加, 浸出率不再提高, 因此选择铁氰化钾助浸剂用量为 600 g/t。

助浸剂及用量实验表明, 助浸剂对硫化矿物中的金浸出具有促进作用, 其中温和氧化剂铁氰化钾相对强氧化剂  $\text{Na}_2\text{O}_2$  助浸效果较好, 且考虑到强氧化剂  $\text{Na}_2\text{O}_2$  运输保存条件要求高, 具有强腐蚀性, 因此选择铁氰化钾作为助浸剂。

### 3.3 石灰用量实验

实验条件: 磨矿细度 -0.074 mm 含量为 90%, 矿浆浓度 40%, 铁氰化钾助浸剂用量为 600 g/t, 石灰和助浸剂预处理 2 h, 金蝉环保浸金剂用量 3000 g/t, 浸出时间为 40 h, 考查石灰用量对浸出效果的影响。结果见图 5。

由图 5 结果可知, 随着石灰用量的增大, 尾

渣品位逐渐降低；当石灰用量为 1000 g/t 时，金浸出率为 89.40%；当石灰用量升至 2000 g/t 时，金浸出率达到 93.97%，此时矿浆 pH 值为 11.5，浸出效果较好，之后随着石灰用量增加，浸出率变化不大，因此选择石灰用量为 2000 g/t。

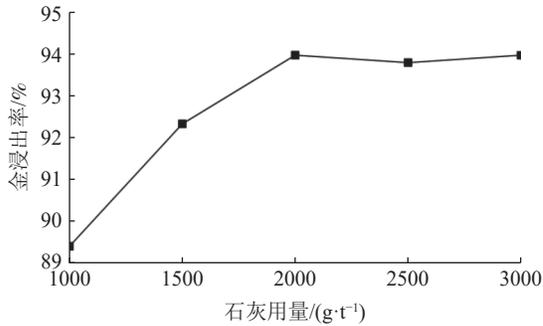


图5 石灰用量对浸出效果的影响

Fig.5 Effect of lime dosage on leaching rate of gold

### 3.4 金蝉浸金剂用量实验

实验条件：磨矿细度-0.074 mm 含量为 90%，矿浆浓度 40%，铁氰化钾助浸剂用量为 600 g/t，石灰用量为 2000 g/t，石灰和助浸剂预处理 2 h，浸出时间为 40 h，考查金蝉浸金剂用量对浸出效果的影响。结果见图 6。

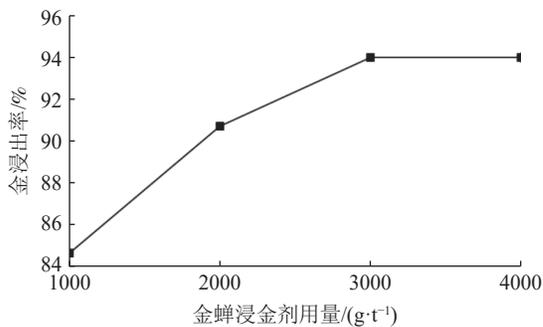


图6 金蝉浸金剂用量对浸出效果的影响

Fig.6 Effect of Jinchan leaching agent dosage on leaching rate of gold

由图 6 结果可知，金蝉浸金剂用量从 1000 g/t 增加至 4000 g/t，金浸出率逐渐提高。当用量为 1000 g/t 时，金浸出率为 84.64%；当金蝉浸金剂用量为 3000 g/t 时，金浸出率达到 93.97%，之后再提高用量，金浸出率不再增加，因此选择金蝉浸金剂用量为 3000 g/t。

### 3.5 浸出时间实验

实验条件：磨矿细度-0.074 mm 含量为 90%，矿浆浓度 40%，铁氰化钾助浸剂用量为 600 g/t，石灰用量为 2000 g/t，石灰和助浸剂预处理 2 h，金蝉浸金剂用量 3000 g/t，考查浸出时间对浸出效

果的影响。结果见图 7。

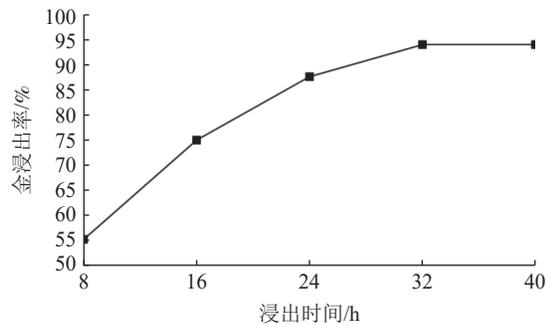


图7 浸出时间对浸出效果的影响

Fig.7 Effect of leaching time on leaching rate of gold

从图 7 可以看出，当浸出时间为 8 h 时，金浸出率仅为 55.21%，而当浸出时间达到 32 h 时，金浸出率提高至 93.97%，此后，随着浸出时间的延长，金浸出率不再提高，因此，浸出时间选用 32 h。

### 3.6 条件验证实验

为了验证环保浸金剂浸金实验获得的较佳工艺条件是否可以获得稳定的金浸出率，开展了条件验证实验。验证实验条件为：磨矿细度-0.074 mm 含量 90%，矿浆浓度 40%，石灰用量 3000 g/t，铁氰化钾助浸剂用量 600 g/t，碱和助浸剂预处理 2 h，金蝉浸金剂用量 3000 g/t，浸出时间 32 h，结果见表 4。

表4 条件验证实验结果

Table 4 Results of conditional verification experiments

序号	给矿品位/(g·t <sup>-1</sup> )	尾渣品位/(g·t <sup>-1</sup> )	浸出率/%
1		0.33	93.97
2	5.47	0.34	93.78
3		0.34	93.78

由表 4 结果可知，在较佳工艺条件下，金的浸出率较稳定，尾渣品位可以降至 0.34 g/t 以下，金浸出率可以达到 93.78% 以上。

## 4 结论

(1) 矿石中金品位为 5.47 g/t，金属矿物含量较低，以铁的硫化物为主，其中金约有 66.51% 以自然金形式存在，其他主要以类质同象或包裹体形式赋存在硫化物中，脉石矿物主要以石英、绢云母、绿泥石等硅酸盐矿物为主。矿石工艺类型为蚀变岩型金矿石，矿石中金粒级属中-粗粒金。

(2) 通过环保浸金剂浸金条件实验，获得的较佳工艺条件为：磨矿细度-0.074 mm 含量 90%，

矿浆浓度 40%，石灰用量 3000 g/t，铁氰化钾助浸剂用量 600 g/t，碱和助浸剂预处理 2 h，金蝉浸金剂用量 3000 g/t，浸出时间 32 h，金浸出率可以达到 93.97% 以上。条件验证实验表明，在较佳工艺条件下，金的浸出率较稳定。

### 参考文献：

- [1] 廖璐, 李红立, 任大鹏. 无氰工艺回收利用黄金尾矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(2):109-111.
- LIAO L, LI H L, REN D P. Experimental Study on the recovery and utilization of gold tailings by non-cyanide process[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(2):109-111.
- [2] 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.
- [3] 吕超飞, 贾佳林, 张新岗, 等. 环保型浸金试剂 Sandioss 在陕西某金精矿中的应用研究[J]. 矿冶工程, 2015, 35(1):92-96.
- LV C F, JIA J L, ZHANG X G, et al. Application of environmentally friendly gold leaching reagent sandioss in a gold concentrate in Shaanxi[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2015, 35(1):92-96.
- [4] 熊召华, 浦江东, 胡海平. 某难处理金矿石绿色高效联合提金工艺试验研究[J]. 黄金, 2018, 39(1):58-61, 65.
- XIONG Z H, PU J D, HU H P. Experimental study on green and high-efficiency combined gold extraction technology for a difficult-to-treat gold ore[J]. Gold, 2018, 39(1):58-61, 65.
- [5] 柳耀鹏, 卢亮, 张宝. 低毒环保浸出提金技术研究与应用[J]. 采矿技术, 2018, 18(2):46-48, 73.
- LIU Y P, LU L, ZHANG B. Research and application of low-toxic and environmentally friendly gold extraction technology[J]. Mining Technology, 2018, 18(2):46-48, 73.
- [6] 康维刚, 陈京玉, 谢建平, 等. 环保浸金剂在老挝爬奔金矿的应用[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(2):26-29.
- KANG W G, CHEN J Y, XIE J P, et al. Application of environmentally friendly gold leaching agent in Paben gold mine in Laos[J]. Mining Research and Development, 2019, 39(2):26-29.
- [7] 李大江, 郭持皓, 袁朝新, 等. 氰化尾渣浮选精矿焙砂提金工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2019(5):107-110.
- LI D J, GUO C H, YUAN C X, et al. Study on gold recover from cyanide tailings floatation sulfur concentrate roasting residue[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(5):107-110.

## Experimental Research on Environmental Friendly Gold Leaching of a Refractory Gold Ore in Laos

Kang Weigang, Chen Jingyu  
(Tianjin Huakan Group Co., Ltd., Tianjin, China)

**Abstract:** The gold ore type of the gold mining in Laos is altered rock. Gold is the only recyclable element in the ore. Metal minerals are mainly iron sulfides. Part of the gold is wrapped in sulfide, which belongs to the refractory gold ore. The environmentally friendly gold leaching test was carried out for this ore, and obtain the best process parameters as: under the condition of the ore gold grade of 5.47 g/t, the grinding fineness of -0.074 mm content 90%, slurry concentration 40%, lime dosage 3000 g/t, leaching aid dosage of potassium ferricyanide 600 g/t, pretreatment 2 h after dosing alkali and leaching aid, dosage of Jinchan leaching agent 3000 g/t, leaching time 32 h, the gold leaching rate can be over than 93.97%. At the same time, conditional verification tests show that, under the best process conditions, the gold leaching rate is relatively stable.

**Keywords:** Altered rock type gold ore; Sulfides; Wrapped gold; Leaching aid; Environmental friendly leaching agent