

技术·方法

堆浸提金原理与试验研究

蔡淑霞 张云

(地质矿产部郑州矿产综合利用研究所)

本文介绍了堆浸提金原理和在实验室进行金矿石堆浸可行性研究的方法。以我国辽宁猫岭金矿、四川茶铺子金矿和福建紫金山金矿为研究对象,研究了矿石粒度、氰化钠溶液浓度、浸出时间等因素对金浸出率的影响,从而确定堆浸提金最佳工艺条件。通过对上述三类矿石性质及堆浸性能的比较,认为矿石的物质组成和金的嵌布特性对金的浸出率影响较大。

关键词 金矿石 堆浸

堆浸提金是一种以设备简单、费用低廉的从低品位矿石中回收金属的方法^{〔1〕}。近年来陕西双王低品位金矿堆浸试验,是我国首次万吨级堆浸试验。试验矿量为10030t,平均品位为1.92g/t,金的浸出率为66.15%,总回收率达64.64%。此后又在新疆富蕴县进行了10万吨级的低品位金矿堆浸试验。原矿品位3.6g/t,浸出率90.61%,金的总回收率87.75%。上述试验的成功,标志着我国低品位金矿的堆浸技术已达到或接近国际先进水平。

1 堆浸提金原理

堆浸法提金的基本原理是,在有氧或氧化剂存在时,金能在较低浓度的氰化物溶液中溶解,生成一价金的络合物。其溶解反应如下:



实际上,溶解金的过程是金属从表面的阳极区失去电子,与此同时,氧从表面的阴极压获得电子,发生电化学溶解。大部分金按(1)反应式溶解,只有极少部分的金按(2)式溶解。

从上述两个反应式可以看出,要使金溶解,必须有氧存在。所以在堆浸过程中,当溶液喷淋到矿堆上面时,氧就进入到氰化液中,金的溶解速度与氰化物浓度、氧的浓度、温度和氧的气压等有关。当氰化物浓度低时,金的溶解速度取决于氰化物溶液的浓度。大量的实验证明,当溶液中游离氰化物的浓度与溶解氧浓度之比 $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]=6$ 时,金的溶解速度达到最大值。实际生产中,通常使用含0.02%—0.06%NaCN的水溶液,此浓度的氰化物足以使金完全溶解,若再提高氰化物的浓度,则无益于提高金的回收率。

堆浸法提金工艺包括破碎—堆浸—炭吸附—载金炭解吸—电解—熔炼等工序。

2 不同类型金矿石的堆浸研究^{〔2〕}

2.1 含砷硫化物低品位金矿石

以辽宁盖县猫岭金矿为例,研究含砷硫化物低品位金矿的矿物学及堆浸性能。

矿石矿物组成, 主要为自然金、银金矿和金银矿。其次是硫化物矿物的毒砂、磁黄铁矿, 少量黄铁矿, 及氧化物钛铁矿, 氢氧化物褐铁矿等。脉石矿物主要为绢云母、石英、长石、黑云母、绿泥石等。矿石中硫化物占矿物总量的 3%—5.5%, 其中毒砂占 3.7%。

金和银主要以金银系列互化物——自然金、银金矿、金银矿形式存在, 以前二者为主。

金、银的粒度粗细不匀。人工重砂金粒粒度统计表明, 该矿以粗粒金为主, 大于 0.074mm 的金占 71.26%, 中粒金 (0.074—0.038mm) 占 24.31%, 细粒金 (<0.038mm) 仅占总重量的 4.42%。

金的嵌布形态分为三种类型: 粒间金为 82.87%, 裂隙金为 12.29%, 包体金为 4.94%。毒砂中裂隙金和包体金之和占 14.72%。粒间金多为粗粒金, 主要产于脉石矿物和硫化物之间; 裂隙金粒度较细, 主要产于毒砂裂隙中; 包体金较少, 在毒砂和脉石中均可见到。

氰化物溶解试验表明, 金粒越粗, 溶解时间越长。0.25—0.125mm 的金粒溶解需 18—33 天, 而 0.5—0.25mm 的金粒溶解则需要 65—70 天。由此看来, 金粒太粗, 就会使堆浸时间大大延长。

通过矿物学的研究指出, 该金矿属难浸矿石。为考察该类矿石的堆浸性能, 我们研究了保护碱的种类、氰化钠浓度、矿石浸出粒度、浸出时间等条件对矿石中金浸出率的影响。

a. 保护碱种类对金浸出率的影响

试验条件: NaCN 浓度 0.2%; 矿石粒度—10mm; pH 值 10—11; 浸出时间 30 天。试验结果见表 1。

表 1 保护碱种类试验结果

Table 1 Test result of alkali protection

试验编号	碱的种类	碱用量 (kg/t _矿)	矿石用量 (kg/柱)	原矿品位 Au(g/t)	浸渣品位 Au(g/t)	金浸出率 (%)
II-10	CaO	3	20	2.9	0.91	68.62
II-20	NaOH	0.75	20	2.9	1.09	62.42
II-21	Na ₂ CO ₃	0.65	20	2.9	0.99	65.86

从上表可以看出, 在同样的浸出条件下, 采用 CaO、NaOH、Na₂CO₃ 不同种类的保护碱时, 从金的浸出率和经济成本看, 采用 CaO 为好。石灰价廉易得, 且金的浸出率高, 是一种经济实用的保护碱。

b. 氰化钠浓度对金浸出率的影响

试验条件: 矿石粒度—10mm; 石灰用量 3kg/t_矿; pH10—11; 浸出时间 30 天; 氰化钠浓度 0.03%—0.20%, 试验结果见表 2。

表 2 氰化物浓度试验结果表

Table 2 Test result of sodium cyanide concentration

试验编号	NaCN 浓度(%)	NaCN 用量 (kg/t _矿)	矿石用量 (kg/柱)	原矿品位 Au(g/t)	浸渣品位 Au(g/t)	金浸出率 (%)
II-8	0.03	0.80	21	2.9	1.55	46.00
II-9	0.06	1.30	21	2.9	1.42	51.00
II-10	0.09	1.50	21	2.9	1.30	55.17
II-15	0.12	2.0	20	2.9	0.96	66.90
II-19	0.20	3.0	20	2.9	0.91	68.02

由上表可知, 随着氰化钠浓度的增加, 金的浸出率显著上升, 当氰化钠溶液浓度提高到 0.12% 时, 再提高氰化钠浓度, 金的浸出率提高缓慢。氰化钠浓度太高, 不仅使氰化物耗量增加, 也使贵液中过剩氰化钠升高, 不利于下一步活性炭吸附金。因此, 堆浸时, 氰化钠溶液浓度用 0.12% 为佳。

c. 原矿浸出粒度对金浸出率的影响

试验条件: NaCN 浓度 0.12%; CaO 用量 $3\text{kg}/\text{t}_\text{矿}$; pH10—11; 浸出时间 30 天; 原矿粒度 2—25mm。试验结果见表 3。

表 3 原矿浸出粒度试验

试 验 编 号	原矿粒度 (mm)	矿石用量 (kg/柱)	原矿品位 Au (g/t)	浸渣品位 Au (g/t)	金浸出率 (%)
II-29	-2	1.2	2.9	0.46	84.20
II-22	-5	20	2.9	0.74	74.40
II-25	-10	20	2.9	0.96	66.90
II-24	-25	20	2.9	1.45	50.00

由表 3 可以看出, 该类矿石坚硬致密, 渗透性差, 随着浸出粒度的增加, 金的浸出率明显下降。当矿石破碎到 -2mm 时, 金的浸出率可提高到 84.1%, 当破碎到 -10mm 时, 金的浸出率为 66.9%。但破碎太细, 易产生细泥不利于现场堆浸。因此现场堆浸时, 矿石的浸出粒度可选为 -10mm。

d. 浸出时间对金浸出率的影响

在上述选定的最佳条件的基础上, 进行浸出时间试验。金的浸出率与浸出时间的变化关系见图 1。

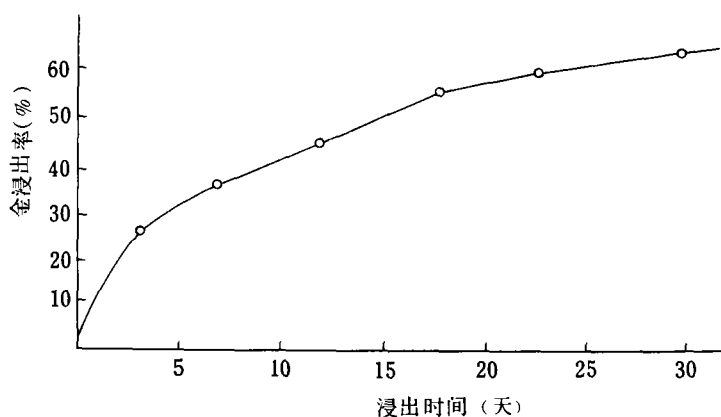


图 1 金浸出时间与浸出率关系图

Fig. 1 Relation between leaching time and extraction rate of gold

通过上述试验研究, 确定了该矿石的最佳浸出条件及浸出指标。

原矿金品位 $2.9\text{g}/\text{t}$; 矿石浸出粒度 -10mm; 氰化钠溶液浓度 0.12%; 氰化钠用量

2.0 kg/t_g; 氧化钙用量 3 kg/t_g; pH 值 10—11; 碱浸 1 天; 氰化浸出 30 天; 水洗 1 天。浸渣品位 0.96g/t; 金浸出率 66.90%。

2.2 浸染状碳酸盐型半氧化低品位金矿石

以四川茶铺子金矿为例, 研究碳酸盐半氧化金矿的赋存状态及矿石的堆浸性能。

矿石中主要有益元素品位金 1.60g/t, 银为 1.44g/t, 铜、铅、锌、铁、硫含量明显低于边界品位, 因此该金矿为单一贫金矿。

主要金银矿物为自然金和辉银矿, 脉石矿物为白云石、方解石、白云母、绢云母、长石等。黄铁矿中常包裹有自然金及脉石包裹体, 黄铁矿原生结晶粒度较粗, 大于 74 μ m 的占 90%, 最大粒度 4.5mm, 最小粒度小于 0.01mm。自然金以粒状为主, 还有片状、海绵状、丝状及树枝状。

金的粒度大于 74 μ m 的占 64.05%, 40 μ m 以下的占 10.85%。黄铁矿中的含金量为 25.39g/t, 细粒级黄铁矿中的含金量大于粗粒级黄铁矿中的含金量。

2.2.1 矿石可浸性试验研究

通过滚瓶可浸性试验, 以研究该矿石的可浸性能及浸出条件 (见表 4)。

表 4 原矿滚瓶试验结果

Table 4 Results of rolling bottle test for primary ores

NaCN 浓度 (%)	NaCN 用量 (kg/t)	石灰用量 (kg/t)	尾渣品位 Au(g/t)	浸液含金 (mg/L)	加权品位 Au(g/t)	金浸出率 (%)
0.04	0.625	2.10	0.45	0.350	1.33	66.04
0.07	1.05	1.35	0.45	0.550	1.80	76.63
0.10	1.50	1.25	0.63	0.408	1.65	62.96

试验证明, 该矿属可浸矿石。矿石浸出率可达 76%。

2.2.2 柱浸条件试验研究

a. 氰化钠浓度对金浸出率的影响

固定条件: 矿石金品位 1.60g/t; 矿石重量 20kg; 矿石粒度 < 10mm; 氧化钙用量 1.10g/t; pH 值 10—11; 氰化浸出时间 30 天。

变化条件: 氰化钠溶液浓度为 0.04%, 0.07%, 0.10%。

试验研究结果表明, 随着氰化钠浓度的增加, 金的浸出率增加。但氰化钠浓度过高, 会使金的浸出率降低, 且氰化钠浓度太高, 会增加氰化钠的用量, 提高成本。因此, 氰化钠浓度应在 0.04%—0.07% 范围内, 金的浸出率可达 73.27%。

b. 矿石入浸粒度对金浸出率的影响

根据氰化钠浓度试验研究结果, 选用氰化钠溶液浓度为 0.07%, 进行矿石入浸粒度试验, 其他浸出条件同前。矿石入浸粒度: 5, 10, 20mm。试验研究结果表明, 随着入浸矿石粒度的减小, 金的浸出率提高。因为浸出过程是在矿石表面及裂隙中进行的, 所以细碎对浸出有利, 但对堆浸来说, 粒度过细也会产生不利的影响, 大量细泥会降低堆浸的渗透性, 因此入浸原矿粒度应小于 20mm。

c. 浸出时间对金浸出率的影响

试验研究条件: 选入浸矿石粒度 $< 20\text{mm}$, 其他浸出条件同前。

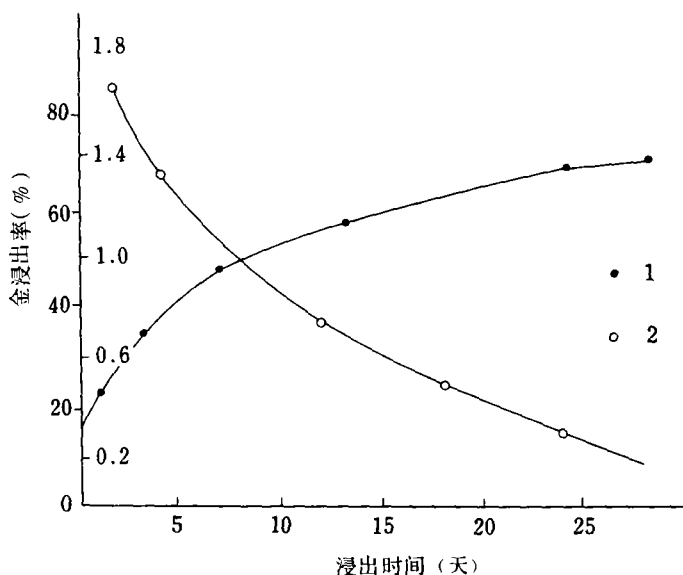


图2 金浸出时间与金浸出率的变化规律

Fig. 2 Regularity of gold extraction rate by gold content in solution and leaching time

1—金浸出率 (%); 2—富液金品位 (mg/L)

从实验研究结果 (图2) 可以看出, 随着浸出时间的增加, 金的浸出率明显增加, 浸出液中金含量明显下降。但浸出25天以后, 金的浸出率增加已不太明显, 浸出液中金含量已降至很低, 约 0.02mg/L 。由此可见, 该矿的堆浸时间在25—30天即可。

根据上述结果, 选择浸出该矿石的最佳条件为:

矿石粒度 $< 20\text{mm}$; 氰化钠溶液浓度 0.07% ; 氰化钠用量 $1.0\text{kg/t}_{\text{矿}}$; 石灰 (氧化钙) 用量 $1.10\text{kg/t}_{\text{矿}}$; pH值10—11; 浸出时间30天; 水洗1天; 尾渣含金 0.39g/t , 金的浸出率 73.27% 。

2.3 含铁硅质氧化型金矿石

以福建紫金山金矿为例, 研究了该矿的矿石矿物学与金的赋存特性以及矿石的堆浸性能。

该矿石为含氧化铁硅质贫金矿, 矿体金的平均品位一般为 $3\text{—}5\text{g/t}$, 矿化带宽几十到百余米, 金的平均品位 $1\text{—}2\text{g/t}$ 。

矿石化学成分比较简单, 二氧化硅大于 96% , 有害成分砷、硫、铁、铜等较少, 有利于金的浸出。

矿石矿物组成比较简单, 金银矿物有自然金、辉银矿; 硫化物很少, 占总量的 0.2% 。金属矿物主要是赤铁矿、褐铁矿、纤铁矿等铁的氧化物, 其次为金红石。脉石矿物绝大部分是石英, 少量高岭石、地开石等。

金主要呈独立矿物自然金存在, 大于 0.074mm 的金粒占 62.5% 。

通过矿物学的研究可知: 该矿矿石结构疏松, 风化强烈, 裂隙发育, 属易浸矿石。

2.3.1 氰化钠浓度对金浸出率的影响

试验研究条件: 矿石品位 1.49g/t , 石灰 (氧化钙) 用量 0.22kg/t , pH值10—11, 氰

化钠溶液浓度 0.04%—0.10%，矿石粒度-20mm，浸出 20 天。试验研究结果见图 3。

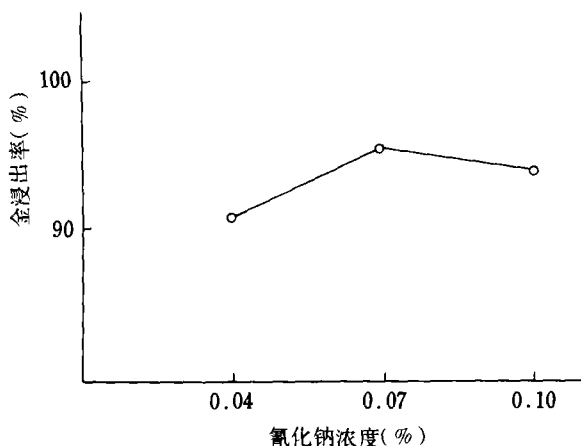


图 3 NaCN 浓度与金浸出率的关系

Fig. 3 Relation between NaCN concentration and leaching rate of gold

2.3.2 矿石入浸粒度对金浸出率的影响

矿石入浸粒度从 10mm 至-30mm 变化，金的浸出率变化不大。这说明该金矿风化强烈，裂隙发育，金暴露充分，易于堆浸。但破碎过细，则会产生过多的泥砂，影响矿堆的透气性及渗透性，影响金的浸出。实验表明，矿石入浸粒度选 20mm 为好。

2.3.3 浸出时间对金浸出率的影响

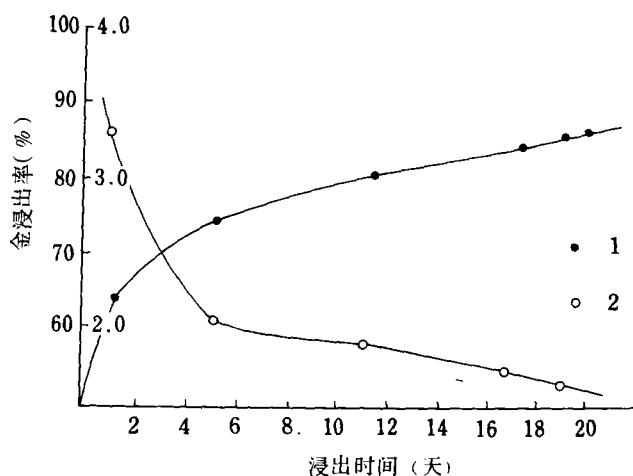


图 4 浸出时间与金浸出率关系图

Fig. 4 Relation between leaching time and leaching rate of gold

1—金浸出率 (%); 2—富液品位 (mg/L)

该类金矿，金的浸出速度较快，仅浸一天，金的浸出率即可达 62.62%，浸出 20 天，金的浸出率可达 96.08%，而富液中金含量随浸出时间的增加而明显下降，金浸出的

终点比较明显,这充分说明该金矿属易浸矿石。浸出时间对金浸出率的影响见图4。

通过上述试验,确定该矿最佳浸出条件为:原矿金品位 1.49g/t ,入浸矿石粒度 -20mm ,氧化钙用量 $0.22\text{kg/t}_{\text{矿}}$,pH值10—11,氰化钠用量 $0.45\text{kg/t}_{\text{矿}}$,氰化钠浓度 0.07% ,浸出20天,尾渣品位降至 0.06g/t ,金的平均浸出率达 95.93% 。

3 各类金矿石堆浸性能的比较

通过上述三个不同类型矿石堆浸性能的研究发现,矿石性质对金浸出率影响很大。矿石中耗氰物质(如铜、铁、砷和锑的硫化物)越多越不利于金的浸出。如,猫岭金矿由于含砷、硫较高,使每吨矿石耗氰化物达 2.0kg 。而紫金山金矿,含硫、砷较低,因而每吨矿石消耗氰化钠仅 0.45kg ,且金的浸出率也高。

矿石中砷硫含量以及矿石的氧化风化程度,极大地影响金的浸出。紫金山金矿属于风化严重的强硅化氧化矿,结构疏松,金暴露充分,金的浸出率高,可达 90% 以上;茶铺子金矿风化不严重,且含有少量包体金,金的浸出率只有 75% 左右;而猫岭金矿结构致密,且含有砷、硫有害元素,金的浸出率仅在 65% 左右。

此外,金的粒度和嵌布特性也直接影响金的浸出结果。猫岭金矿含粗粒金较多,不利于矿石堆浸,而紫金山金矿也含有一些粗粒金,但由于该矿石裂隙发育较好,金暴露也充分,因而金的浸出效果仍然很好。

4 结 语

4.1 通过三个不同矿床的低品位金矿石堆浸试验发现,适合堆浸的矿石必须是:①矿石结构疏松,具有天然孔隙或者经破碎,金银矿物暴露出新鲜表面;②矿石中不含耗氰物质,且酸性矿物少,以减少氰化物及氧化钙用量;③金的粒度小;④不含过多的细粒级和粘土,以利氰化物溶液渗滤矿堆;⑤不含引起金、银过早沉淀的含碳物质与有机物质。

4.2 堆浸法是一种投资少、操作简便、生产成本低、见效快的提金工艺,特别适宜处理低品位金矿石。为了使堆浸法能充分地发挥其优点,必须重视矿石的矿物学研究,查明矿石性质及金的赋存状态。此外,还必须重视矿石可浸性研究。

4.3 为了扩大堆浸提金的应用范围,使更多的低品位金矿资源得到开发和利用,应重视难浸矿石堆浸方法的研究,同时,还要致力于寻求新的高效无毒浸出剂,以避免环境污染。

5 参考文献

- 1 Lopes R F., Lchoux P L, A review of problems in optimizing extraction in gold heap leaching. CIM Bulletin, 1988, 81 (915): 86—89.
- 2 郑州矿产综合利用研究所. 低品位金矿堆浸技术研究. 1990.

STUDY ON THE PRINCIPLE AND EXPERIMENT OF HEAP LEACHING METHOD FOR GOLD EXTRACTION

Cai Shuxia Zhang Yun

(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources)

Abstract

The authors summarize the present situation of heap leaching method for gold extraction in China and discuss the principle and the feasibility of the method.

As objectives of the research project, Maoling gold deposit in Liaoning, Chapuzi gold deposit in Sichuan and Zijinshan gold deposit in Fujian were studied in their mineral composition, gold occurrence, the feasibility of heap leaching, and the influence of ore size, sodium cyanide concentration and leaching time on the extraction rate of gold. On the basis of the study, the technical conditions for the three types of ore were determined with good indexes.

Maoling gold deposit is one of As-bearing sulphide type, with low-grade ores. For ores of 2.9g/t gold, 10mm in size, $w(\text{NaCN}) = 0.12\%$, and 30days' leaching time, the extraction rate is up to 66.90%.

Chapuzi gold deposit is a disseminated carbonate-type and suboxidized deposit with low-grade (1.6g/t) gold. When ores size is 20mm, $w(\text{NaCN}) = 0.7\%$, and leaching time is 30days, the extraction rate will be 73.27%.

Zijinshan gold deposit belongs to Fe-bearing siliceous oxidized type with poor ores. The grade of gold is 1.49g/t. For ores of 20mm in size, $w(\text{NaCN}) = 0.07\%$, and 20 days of leaching, the extraction rate may be 95.93%.

The performance of heap leaching for the three types of ores are also compared. The properties of ores are believed to affect the extraction rate greatly. The more cyanide-consuming material the ore contains, the more difficult extraction for gold is. The As and S content, and the oxidizing and weathering degree have a great effect on the extraction result. And, the particle size and embedding pattern are direct factors affecting the extraction of gold.

Key words Gold ores Heap Leaching