

紫金山金矿堆浸试验研究

贺日应

(中国地质大学资源学院; 紫金矿业集团股份有限公司)

摘 要: 对影响紫金山金矿堆浸的矿堆高度、入堆矿石粒度、NaCN 浓度、喷淋制度、喷淋强度等主要工艺参数进行了优化试验研究, 从而确定了合理的堆浸工艺参数, 取得了良好的技术指标。

关键词: 金矿; 堆浸; 工艺参数; 优化

中图分类号: TD853. 37 文献标识码: A 文章编号: 1009-5683(2006)12-0014-03

Research on Heap Leaching Test of Zijinshan Gold Ores

He Riyang

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences; Zijin Mining Industry Co., Ltd.)

Abstract: The optimization experimental study was carried out on the main process parameters affecting Zijinshan gold ore heap leaching height, ore particle size, NaCN density, spraying system and spraying strength. Thus the reasonable process parameters have been determined and the good technical indexes have been obtained.

Keywords: Gold; Heap leaching; Process parameter; Optimization

1 前言

紫金山金矿含金矿石属氧化矿, 目前采用的选矿工艺为“破碎 + 洗矿 + 重选 + 炭浸 + 堆浸”联合工艺流程。其中堆浸工艺产金量占总产金量的 80 % 以上。近年来紫金山金矿堆浸生产规模不断扩大, 通过实验室试验和扩大试验确定的堆浸工艺参数已不能适合工业生产, 影响了堆浸生产技术经济指标, 不利于企业长期健康发展。为此, 对堆浸工艺参数进行优化研究已迫在眉睫。文中对影响矿石浸出率的因素进行优化研究, 以指导生产实践。

2 矿石性质

2.1 矿石多元素分析(见表 1)

表 1 矿石多元素分析 (%)

成份	Au/ (g/t)	Ag/ (g/t)	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cu	Pb	Na ₂ O	K ₂ O
含量	1.71	2.20	0.15	1.90	0.012	0.013	0.015	0.037
成份	Zn	As	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	烧失
含量	0.006	0.016	0.037	0.053	0.029	1.749	4.94	0.85

2.2 矿物组成及金的赋存状态

紫金山金矿矿石属于易氰化浸出的氧化矿石, 主要成分石英占 65.5 %, 绢云母占 10 %, 水云母占

12.2 %, 地开石占 7.3 %; 次要矿物黄铁矿占 0.1 %, 褐铁矿占 2.8 %, 针铁矿占 0.5 %; 还可见少量的铜蓝, 蓝辉铜矿, 铅石及自然金等矿物。

含金矿物的粒度特性: 自然金呈可见金出现, 颗粒细小, 呈显微中细粒金、微粒金、次现微金存在, 少量呈粗粒金存在, 大于 10 μ m 粒级金 55 %, 0.5~10 μ m 粒级金 40 %, 小于 0.5 μ m 粒级金 5 %。

3 堆浸试验研究

3.1 堆高试验

堆高是堆浸工艺的一个重要参数, 增加筑堆高度既可提高堆场的生产能力, 也有利于提高堆浸贵液的品位。但是增加堆高, 也会相对延长堆浸周期, 严重时会影响堆场的透气性, 影响堆浸的浸出率。为此进行了 6、8、10、12m 的堆高试验, 其它工艺条件相同, 试验结果见表 2。

表 2 堆高试验结果

堆号	堆高/m	原矿品位/ (g/t)	尾渣品位/ (g/t)	浸出率 (%)
1 #	6	1.687	0.364	78.42
2 #	8	1.515	0.346	77.12
3 #	10	1.639	0.376	77.06
4 #	12	1.455	0.443	69.55

由表 2 可看出, 在喷淋工艺条件相同的情况下, 6~10m 的 3 个矿石堆浸出变化不大, 而堆高为 12m 的矿堆浸出率比 10m 堆高的矿堆下降了 7.51 %。

贺日应(1973 -), 男, 山西怀仁人, 工程师, 在读工程硕士研究生, 从事选矿生产的技术管理工作, 361006 福建省厦门市湖里区翔云三路 128 号紫金科技大厦集团管理部。

因此,选择矿堆高度为 10m 左右时,既能获得较好的浸出指标,又能处理较多的矿量。

3.2 入堆粒度

用于堆浸的含金矿石通常先经破碎,破碎粒度视矿石性质和金嵌布粒度特性而定,一般堆浸的矿石粒度愈细、矿石结构愈疏松多孔,堆浸时金浸出率愈高,但堆浸矿石粒度过细则会导致堆浸渗滤浸出速度减缓,甚至使渗滤浸出过程无法进行,严重影响金的浸出率。对某一矿堆原矿样进行 150、100、80、50、20mm 5 个级别筛分,对各级别产品分别化验金品位,然后对该矿堆喷淋60d后,在出碴的断面距顶部 2、4、6、8m 处利用网格采样法,分别采样 100kg,将各样品混匀进行 150、100、80、50、20mm 5 个级别的筛分,对各级别产品分别采样化验金品位,进而计算出各级别的浸出率。对比浸出率,从而选择最佳入浸粒度。试验结果见表 3。

表 3 入堆粒度对比优化工业试验结果表

粒级/mm	原矿品位/(g/t)	尾渣品位/(g/t)	浸出率(%)
+150	0.813	0.335	58.73
-150+100	0.908	0.327	63.98
-100+80	0.972	0.310	68.13
-80+50	1.086	0.197	81.89
-50+20	1.413	0.238	83.17
-20+0	1.694	0.268	84.20

由表 3 可知,当矿石粒度为 $d < 80\text{mm}$ 时,各级别矿石浸出率较高,且相差不大;而当矿石粒度 $d > 80\text{mm}$ 时,各级别浸出率较低。且粒度越大,浸出率下降越快。为了能获得较好的浸出率,又能保证

一定的破碎洗矿处理能力,选择入堆矿石粒度小于 80mm。

3.3 NaCN 浓度对金浸出率的影响

氰化物浓度是决定金溶解速度的主要参数,在低浓度的氰化物溶液中,金的溶解速度大的原因是由于氧的溶解度较大,以及氧和氰化物在稀溶液中扩散速度较快所致。另外,在低浓度氰化液中,贱金属的溶解速度和数量也将会大大降低,从而减少氰化物的消耗,有利于金的溶解。矿石中部分矿物很容易被氰化液中的氧所氧化,以致消耗大量的氰化物,降低金的溶解速度。

分别进行 NaCN 浓度为 5 ‰、8 ‰、10 ‰、12 ‰的试验,其它工艺条件相同,试验结果见表 4。

由表 4 可知,在喷淋 2d 内,喷淋液 [NaCN] 为 10 ‰及 12 ‰时浸出速度较快;在喷淋第 3~5d,喷淋液 [NaCN] $> 8 ‰$ 时,浸出速度较快。在 8 ‰~12 ‰,浸出速度变化不大;在喷淋第 6~20d,喷淋液 [NaCN] 浓度为 5 ‰~8 ‰与 10 ‰~12 ‰的浸出速度相差不大。因此,在工业生产中,喷淋液 [NaCN] 应如下控制:喷淋液 [NaCN] 喷淋前 2d 控制在 10 ‰~12 ‰;在第 35d 控制在 8 ‰~10 ‰;在第 6~20d,控制在 5 ‰~8 ‰。经过前 20d 的喷淋浸出,已有 55 % 左右的金得到浸出,在随后的喷淋期内,喷淋液 [NaCN] 视浸出情况逐步降低。

3.4 喷淋制度

要保证理想的浸出速度,必须确定合理的喷淋制度,为此,进行了相关试验,试验结果见表 5。

表 4 NaCN 浓度对浸出率的影响试验结果表

原矿品位 /(g/t)	NaCN 浓度 (‰)	第 2d		第 5d		第 10d		第 15d		第 20d	
		尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)
1.281	5	1.188	7.25	1.081	15.73	0.934	27.09	0.783	38.84	0.677	47.18
1.303	8	1.081	9.34	0.961	18.57	0.896	31.27	0.748	42.59	0.632	52.17
1.325	10	1.182	10.76	1.070	19.21	0.880	33.58	0.732	44.75	0.598	54.89
1.264	12	1.101	12.91	0.995	21.25	0.783	38.04	0.655	48.18	0.555	56.10

表 5 不同喷淋制度对矿石浸出率的影响试验结果表

堆号	原矿 品位 /(g/t)	喷淋 方式	第 3d		第 10d		第 20d		第 30d		第 50d	
			尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)	尾渣品位 /(g/t)	浸出率 (%)
E1 #	1.097	连喷	0.914	16.72	0.754	31.27	0.562	48.76	0.416	62.07	0.291	73.48
E2 #	0.982	喷 1.5h,停 0.5h	0.852	13.21	0.678	30.98	0.439	55.27	0.342	65.18	0.243	75.29
E3 #	0.889	喷 1h,停 1h	0.783	11.91	0.639	28.07	0.434	51.14	0.347	60.92	0.261	70.64

由表 5 可知,喷淋前 3d,采用连喷的喷淋方式可获得较高的浸出率,在喷淋第 4~10d,连喷的浸出率增加值最小,只有 15.55 %;而采用喷 1.5h 停 0.5h 的喷淋方式,浸出率增加最快达 17.77 %;在第

11~30d,采用喷 1.5h 停 1.5h 的喷淋方式仍实现了浸出率的最快增加。在第 31~50d 采用 3 种喷淋方式,浸出率增加值相差不多,而采用喷 1h 停 1h 的方式可节约动力消耗。因此,在工业生产中,喷淋前期

(前 3d)采用连喷;喷淋中期(第 4~30d)采用喷1.5h 停0.5h的喷方式,喷淋后期采用喷1h停1h的方式,可获得较好的浸出率。

3.5 喷淋强度

喷淋强度太小,会引起参与反应的 CN^- 供应不

足,影响金的浸出速度;喷淋强度太大,会导致 CN^- 过剩,加剧 $NaCN$ 损失挥发。因此,需通过试验确定合理的喷淋强度。此次氰化物喷淋强度分别选择 $12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $25\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 进行试验,其它工艺条件相同,试验结果见表 6。

表 6 不同喷淋强度对矿石浸出率的影响试验结果表

堆号	原矿品位 / (g/t)	喷淋强度 / $(\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h})$	前期(前 3d)		中期(第 4~30d)		后期(第 31~50d)	
			尾渣品位/ (g/t)	浸出率($\%$)	尾渣品位/ (g/t)	浸出率($\%$)	尾渣品位/ (g/t)	浸出率($\%$)
F1 #	0.976	12	0.846	13.28	0.388	60.25	0.255	73.87
F2 #	0.857	20	0.726	15.32	0.301	64.91	0.207	75.84
F3 #	0.798	25	0.662	17.01	0.277	65.29	0.222	72.19

由表 6 可知,在喷淋前期,采用 $25\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 的喷淋强度,可获得较高的浸出率;在喷淋中期采用 $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 的喷淋强度,取得了最高的浸出率增加值(49.59%);在喷淋后期采用 $12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 的喷淋强度浸出率增加值最大,达13.52%。因此,在工业生产中,喷淋强度喷淋前期采用 $25\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,喷淋中期采用 $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,喷淋后期采用 $12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 为宜。

3.6 保护碱

为了防止浸出剂-氰化物水解,使氰化物充分解离为氰根离子及使金的氰化浸出处于最适宜的 pH 值($\text{pH}=10\sim11$),氰化时必须加入一定量的碱以调整矿堆的 pH 值,常将加入的碱称为保护碱。可选用苛性钠、苛性钾或石灰作保护碱。为此,进行了石灰用量试验,试验结果见表 7。

表 7 石灰用量对氰化钠消耗的影响

堆场 编号	石灰单耗 / (kg/t)	NaOH 单耗 / (kg/t)	NaCN 单耗 / (kg/t)	浸出时间 / d	浸出率 ($\%$)
H1 #	0.561	0.0311	0.1763	44	77.68
H2 #	0.2287	0.026	0.1930	53	77.78
H3 #	0.088	0.012	0.202	50	75.59

由表 7 可知,保护碱单耗降低, $NaCN$ 消耗明显增加,要降低 $NaCN$ 单耗,必须确保保护碱、石灰用量达到 $0.5\sim0.6\text{ kg}/\text{t}$ 。

3.7 浸出时间

浸出时间是指从堆场开喷到喷淋结束这段时间,浸出时间的长短,直接关系到堆浸的各项工艺技术、经济指标。浸出时间试验结果见表 8。

表 8 浸出时间对浸出率的影响结果

堆场 编号	渗浸时间 / d	吨矿喷淋量 / (m^3/t)	NaCN 单耗 / (kg/t)	回收率 ($\%$)
G1 #	45	1.548	0.1763	77.68
G2 #	60	1.873	0.1726	80.158
G3 #	82	1.548	0.249	81.97

由表 8 可知,延长浸出时间、吨矿喷淋量增加,

可明显提高堆浸浸出率;浸出时间延长、吨矿喷淋量减少,虽然可以提高堆浸浸出率,但 $NaCN$ 单耗明显增加。与其他经济技术指标综合分析后,确定浸出时间为 60d 左右。

3.8 综合条件试验

为验证堆浸工艺流程中各浸出条件、技术指标,进行流程综合条件试验。从试验结果分析,综合条件的选择是比较稳定的。

4 结语

(1)紫金山金矿矿石品位低,但矿石氧化破碎程度高,易堆易浸,生产成本低,是该矿得以发展的基础。

(2)矿石中有害元素含量低,对喷淋的影响极小。

(3)喷淋液[$NaCN$]在喷淋前 2d 控制在 $10\text{ ‰}\sim12\text{ ‰}$;在第 3~5d 控制在 $8\text{ ‰}\sim10\text{ ‰}$;在第 6~20d 控制在 $5\text{ ‰}\sim8\text{ ‰}$;随后的[$NaCN$]视浸出情况逐步降低调整。

(4)在工业生产中,喷淋前期采用连喷方式,喷淋强度控制在 $25\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右;喷淋中期采用喷 1.5h 停 0.5h 的喷淋方式,喷淋强度控制在 $20\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右;喷淋后期采用喷1.0h停1.0h的喷淋方式,喷淋强度控制在 $12\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右;可获得较好的技术经济指标。

参 考 文 献:

[1] 浸矿技术编委会. 浸矿技术[M]. 北京:原子能工业出版社, 1994.
[2] 戴小通. 金矿堆浸浸出率的影响因素及改进措施[J]. 世界采矿快报, 2000, 16(12): 451~452.
[3] 宋建斌. 紫金山金矿静态吸附的应用研究[J]. 矿业快报, 2006. 7.

(收稿日期 2006-08-21)