紫金山金矿堆浸工艺参数优化实践

Practice of Leaching Technological Parameters Optimization of Zijinshan Gold Mine

贺日应(中国地质大学,湖北 武汉 430074)

关键词:堆浸;工艺参数;优化;研究

摘 要:紫金山金矿的矿石氧化程度高,采用破碎—洗矿—重选—炭浸—堆浸的联合选矿工艺,且堆浸产金量占 80%以上。本文通过对影响堆浸的矿堆高度、入堆矿石粒度、喷淋液 NaCN 浓度及 pH 值、贵液 NaCN 浓度及 pH 值、喷淋制度、喷淋强度等主要工艺参数进行优化研究,从而确定了工业生产中合理的堆浸工艺参数。

Key words: dump leaching; technological parameters; optimum; study

Abstract: The ore of Zijinshan Gold Mine has high degree of oxidation. Using crushing—ore washing—gravity treatment—carbon leaching—dump leaching, the gold can be recovered over 80% in dump leaching.

文章编号:
1672-609X(2006)05-0023-04
中图分类号:TD925.5
文献标识码:B
收稿日期:2006-08-14

作者简介:贺日应(1973—),男,山西怀仁人,选矿工程师,中国地质大学在读工程硕士,现就职于紫金矿业集团股份有限公司。

1 引言

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,下设 3 个处理不同品位及矿量的选矿厂,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,各选矿厂生产车间的堆浸工艺参数却没有统一的标准,造成堆浸生产技术经济指标的参差不齐,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成为迫在眉睫的工作。本文根据笔者的多年实验数据及相应的实验室试验研究结果,进行堆浸工艺参数优化研究。

2 矿石性质

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 10%,水云母 12.2%,地开石 7.3%;次要矿物黄铁矿 0.1%,褐铁矿 2.8%,针铁矿 0.5%;还可见少量的铜蓝、蓝辉铜矿、锆石及自然金等矿物。含金矿物的赋存状态以裂隙金为主占 77%,晶隙金占 15%,包裹金占 8%;而金的粒度特性: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 10μm 粒级金占 55%,0.5~10μm 粒级金占 40%,小于 0.5μm 粒级金占 5%;自然金形状为粒状、片状、树枝状和不规则状。

3 工艺参数优化的单因素试验

3.1 堆高

对堆高分别为 6、8、10、12m 的 4 个矿堆,在喷淋工艺条件相同的情况下,喷淋相同的天数,对比其浸出率,从而选择最优的矿堆高度。试验结果见表 1(其它工艺条件相同,表中

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 堆高对比优化试验结果

堆号	堆高/m	喷淋天数/d	原矿品位/(g/t)	原渣品位/(g/t)	浸出率/%
1#	6	60	1.687	0.364	78.42
2#	8	60	1.515	0.346	77.12
3#	10	60	1.639	0.376	77.06
4#	12	60	1.455	0.443	69.55

未列出)。

由表1可看出，原矿品位接近的4个矿堆,在喷淋工艺条件相同的情况下，喷淋60天后,6m至10m的3个矿石堆浸出率变化不大，而堆高为12m的矿堆浸出率比10 m堆高的矿堆下降了7.51%。在工业生产中,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

(1)工业试验。对某一矿堆原矿样进行150、100、80、50、20mm的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60天后,在出渣的断面距顶部2、4、6、8 m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、20 mm 5个级别的筛分，对各级别产品分别采样化验金品位,计算出各级别浸出率。对比浸出率,从而选择最佳入浸粒度。试验结果见表2(其它工艺条件相同表中未列出)。

表2 入堆粒度对比优化工业试验结果

粒级/mm	喷淋天数/d	原矿品位/(g/t)	尾渣品位/(g/t)	浸出率/%
+150	60	0.813	0.335	58.73
-150~+100	60	0.908	0.327	63.98
-100~+80	60	0.972	0.310	68.13
-80~+50	60	1.086	0.197	81.89
-50~+20	60	1.413	0.238	83.17
-20	60	1.694	0.268	84.20

(2)试验室试验。工业试验中由于堆场矿石偏析、喷淋液短路等可能会引起试验结果偏差较大。因此,有必要对原矿样筛分后进行+150、-150~+100、-100~+80、-80~+50、-50~+20、-20mm 6个级别产品的独立柱浸试验,试验条件结果见表3。

表3 柱浸试验室试验结果

粒级/mm	浸柱规格 mm×mm	滴淋天数/d	滴淋液[NaCN] ‰	滴液 pH	滴淋方式	滴淋强度 L/(m²·h)	原矿品位 g/t	浸渣品位 g/t	浸出率/%
+150	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	0.813	0.307	62.19
-150~+100	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	0.908	0.306	66.30
-100~+80	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	0.972	0.274	71.82
-80~+50	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	1.086	0.192	82.32
-50~+20	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	1.413	0.224	84.15
-20	φ160×1500	15	6~8	10~11	连滴 10h	25	1.694	0.239	85.89

由表2、表3可知,当矿石粒度为d<80mm时,各级别矿石浸出率较高,且相差不大;而当矿石粒度d>80mm时,各级别浸出率较低,且粒度越大,浸出率下降越快。在工业生产中,选择入堆矿石粒度小于80mm时,既能获得较好的浸出率,又能保证一定的破碎洗矿处理能力。

3.3 喷淋液NaCN浓度

对同一矿样混匀等分成4份，分别进行NaCN浓度为5‰、8‰、10‰、12‰的柱浸试验，在浸出相关工艺条件相同的情况下,对比各阶段浸出率,从而确定各阶段适宜的滴淋[NaCN]。试验结果见表4。

由表4可知,在滴淋2天内,滴淋液[NaCN]为10‰及12‰时浸出速度较快;在滴淋第3天至第5天内,滴淋液[NaCN]>8‰时,浸出速度较快。在8‰~12‰内,浸出速度变化不大;在滴淋第6天至第20天内,滴淋液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:喷淋前2天喷淋液[NaCN]控制在10‰~12‰;在第35天[NaCN]控制在8‰~10‰;在第6~20天,[NaCN]控制在5‰~8‰。经过前20天的喷淋浸出,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 喷淋液pH值

喷淋液pH值太低会加快HCN挥发,导致NaCN损失较大,pH值太高,不但增加成本,而且不利于金的浸出,由金的氰化浸出机理 $Au+CN^-+O_2+H_2O\rightarrow Au(CN)_2^-+OH^-$ 知,pH越低金越易浸出,因此,研究如何在保证浸出率的前提下尽可

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　滴淋液 NaCN 浓度对浸出率的影响试验结果

原矿品位/(g/t)	NaCN浓度/‰	2d		5d		10d		15d		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	10.76	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

能减少 NaCN 挥发损失很有必要。试验条件与结果见表 5、表 6。

表 5　[NaCN]为 6‰时 pH 值对 NaCN 损失的影响

静置时间/h	静置后[NaCN]/‰			
	pH			室内温度/℃
	6~7	8~9	10~11	
24	4.5	4.9	5.8	6~15
48	3.6	4.2	5.6	15~22
72	2.9	3.7	5.4	12~18
96	2.3	3.3	5.3	15~22
120	1.9	3.1	5.2	12~16
144	1.8	3.0	5.1	12~16
168	1.8	2.9	5.0	15~22
192	1.8	2.9	4.9	13~22

表 6　[NaCN]为 8‰时 pH 值对 NaCN 损失的影响

静置时间/h	静置后[NaCN]/‰			
	pH			室内温度/℃
	6~7	8~9	10~11	
24	6.1	6.7	7.4	6~15
48	5.0	5.7	6.9	15~22
72	4.0	4.8	6.6	12~18
96	3.2	4.2	6.4	15~22
120	2.6	3.7	6.2	12~16
144	2.1	3.4	6.1	12~16
168	2.0	3.3	6.0	15~22
192	1.9	3.2	5.9	13~22

由表 5、表 6 可知:相同初始[NaCN]条件下,pH 值较低时[NaCN]降低较快,亦即 NaCN 损失较快;pH 值较高时,[NaCN]降低较慢,NaCN 损失较慢。pH 值为 10~11 时,NaCN 降低最慢。因此,在工业生产中,应控制喷淋液 pH 值在 10~11。

3.5　贵液[NaCN]

贵液[NaCN]的高低本身对浸出过程并无影响,但贵液[NaCN]的高低可反映出矿堆底层[NaCN]的高低,若矿堆底层含氰液[NaCN]过低,会引起底层矿石浸出缓慢,浸出率偏低。因此,贵液[NaCN]也应作为一项工艺参数来加以研究。

喷淋液[NaCN]沿矿堆垂直向下降低情况研究见表 7、表 8(其它工艺条件相同或相近表中未列出)。

表 7　喷淋液[NaCN]沿矿堆垂直方向下降试验结果(10m 矿堆)　‰

喷淋[NaCN]	贵液[NaCN]	NaCN]降低值	每米矿堆高度上[NaCN]降低值
12.0	6.8	5.2	0.52
10.0	5.3	4.7	0.47
8.0	3.9	4.1	0.41
5.0	2.8	2.2	0.22
3.0	2.0	1.0	0.10

表 8　喷淋液[NaCN]沿矿堆垂直方向下降试验结果(12m 矿堆)

喷淋[NaCN]	贵液[NaCN]	[NaCN]降低值	每米矿堆高度上[NaCN]降低值
12.0	5.9	6.1	0.51
10.0	4.1	5.9	0.49
8.0	3.2	4.8	0.40
5.0	2.4	2.6	0.22
3.0	1.6	1.4	0.12

由表 7、表 8 可知,在喷淋高峰期,即喷淋[NaCN]为 8‰~12‰时,[NaCN]沿矿堆垂直方向每米下降约 0.47‰;在喷淋中期,即喷淋[NaCN]为 5‰~8‰时,[NaCN]沿矿堆垂直方向每米下降约为 0.31‰;在喷淋后期,喷淋[NaCN]为 3‰左右时,[NaCN]沿矿堆垂直方向每米下降约 0.17‰。由于当喷淋[NaCN]小于 5‰时,金浸出速率就会变慢,因此根据上述试验结果,控制贵液[NaCN]在高峰期时大于 5‰是必要的。

3.6　贵液 pH 值

控制贵液 pH 值的目的是防止贵液中 NaCN 损失过大及活性炭在吸附过程中钙化。因此,贵液 pH 值也应控制在 10~11,由于含氰液与矿堆的接触反应,流经矿堆底部时,pH 值会有所降低,应采取进矿时随矿添加石灰的措施,实现碱性的缓慢释放与永

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

久保持,从而降低 NaCN 消耗。

3.7 喷淋制度

由于紫金山金矿矿石氧化程度高,疏松易浸,喷淋初期(前3天)实行连喷,有助于金的快速浸出,随着浸出过程的不断进行,矿石外表金粒已大部分溶解。矿石内部金粒参与浸出,需要足够的氧气,氧气来源除了含氰液中溶解氧已外,还有矿堆孔隙虹吸现象带入的自然空气。因此,要保证理想的浸出速度,需保证足够的氧,也就需要采用间歇喷淋的方式,而且间歇时间也应随喷淋天数的延长而延长。为此,进行了相关试验,试验结果见表9(其它工艺条件相同表中未列出)。

由表9可知,喷淋前3天,采用连喷的喷淋方式可获得较高的浸出率,在喷淋第4天至第10天,连喷的浸出率增加值最小,只有15.55%;而采用喷1.5小时停0.5小时的喷淋方式,浸出率增加最快达17.77%;在第11天至第30天,采用喷1.5小时停1.5小时的喷淋方式仍实现了浸出率的最快增加。在第31天至第50天采用三种喷淋方式,浸出率增加值相差不多,而采用喷1小时停1小时的方式可节约动力消耗。因此,在工业生产中,喷淋前期(前3天)采用连喷;喷淋中期(第4~第30天)采用喷1.5小时停0.5小时的喷方式,喷淋后期采用喷1小时停1小时的方式,既可获得较好的浸出率,又可获得理想的经济效益。

表9 不同喷淋制度对矿石浸出率的影响试验结果

堆号	原矿品位/(g/t)	喷淋方式	第3天		第10天		第20天		第30天		第50天	
			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

3.8 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,通过试验确定合理的喷淋强度是必要的。试验条件结果见表10(其它工艺条件相同或相近表中未列出)。

由表10可知,在喷淋前期,采用25L/(m²·h)的喷淋强度,可获得较高的浸出率;在喷淋中期采用20L/(m²·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12L/(m²·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,喷淋前期采用25L/(m²·h)的喷淋强度,喷淋中期采用20L/(m²·h)的喷淋强度,喷淋后期采用12L/(m²·h)的喷淋强度为宜。

表10 不同喷淋强度对矿石浸出率的影响试验结果

堆号	原矿品位/(g/t)	喷淋强度 L/(m²·h)	前期(前3天)		中期(第4~30天)		后期(第31~50天)	
			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

4 结语

影响堆浸浸出的工艺条件有很多,现就文中阐述的几个方面加以总结:①堆浸矿堆高度以10m左右为宜;②堆浸入堆矿石破碎粒度在80mm以下时,既能获得较好的浸出率,又能保证一定的破碎洗矿处量能力;③喷淋液[NaCN]在喷淋前2天控制在10‰~12‰;在第3~5天控制在8‰~10‰;在第6~20天控制在5‰~8‰;随后的[NaCN]视浸出情况逐步降低调整;④喷淋液pH值控制在10~11;⑤高峰期贵液[NaCN]控制在5‰以上,有利于下层矿石浸出;⑥贵液pH值应控制在10~11,可采取堆场加石灰的方式实现;⑦在工业生产中,喷淋前期采用连喷方式,喷淋强度控制在25L/(m²·h)左右;喷淋中期采用喷1.5小时停0.5小时的喷淋方式,喷淋强度控制在20L/(m²·h)左右;喷淋后期采用喷1.0小时停1.0小时的喷淋方式,喷淋强度控制在12L/(m²·h)左右,可获得较好的技术经济指标。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net