

# 紫金山金矿缩短堆浸周期的途径与生产实践<sup>\*</sup>

谢李泉

(紫金山金矿选矿厂,福建 上杭 364200)

**摘要:**堆浸周期是影响堆浸厂产量、经济技术指标的重要参数。缩短堆浸周期,有利于提高堆浸厂的产量、经济效益和矿堆浸出率。对紫金山金矿堆浸厂的矿堆浸出周期进行了较详尽的研究,研讨了缩短堆浸周期的技术措施,指出了缩短堆浸周期的管理与技术实施方向,并以2001年紫金山金矿堆浸厂的堆浸生产提速为例,表明缩短堆浸出周期,取得了显著的经济效益。同时对破碎矿石的粒度的选择、筑堆方式、矿堆筑堆高度、喷淋强度、堆浸生产的合理安排及其他缩短矿堆浸出周期的技术途径等进行探讨。

**关键词:**堆浸;堆浸周期;提速;措施;效果;紫金山金矿

**中图分类号:**TF831

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-2518(2002)02-0032-06

紫金山金矿以其卓越的历程在短短的几年内迅速崛起为国内采选规模最大(2001年达到720万t,国内最大规模70万t),产金量最大(2001年达到5.2t,国内最大的矿山产量3.5t)的黄金矿山,创造了多项全国之最。企业经济技术指标达到国内领先水平,堆浸工艺在该矿山获得最大规模的应用。

堆浸是从低品位矿石回收金的一种简便、经济的技术,目前已成为紫金山金矿回收金的一种主要方法。在堆浸过程中,矿堆矿石品位遵循 $C = C_0 e^{-bt}$ 的指数规律降低, ( $C_0$ —原矿品位,  $b > 0$  的常数,  $t$ —浸出时间)。由于堆浸作业生产中,时间 $t$ 不可能无限长,因此,必须选择最佳的堆浸周期。

## 1 确定堆浸周期的方法

确定堆浸周期的方法有2种:一是根据设计的浸出率指标;二是根据矿堆末期堆出金量的盈亏平衡点。

### 1.1 根据设计的浸出率确定堆浸周期

在一些堆浸项目中用设计的浸出率作为确定堆浸周期的依据,尽管设计的浸出率来自实验室柱浸试验的结果,但实际上由于工业生产条件的差异,不可能一致。一般地工业生产堆浸周期为实验室柱浸周期的3~6倍。

显然,设计的浸出率只能作为确定堆浸周期的参考。

### 1.2 根据矿堆末期浸出金量的盈亏平衡点

这是一种经济技术的方法。它的优点是充分展示堆浸生产潜力及矿山资源的利用水平,是市场经济条件下决定矿堆浸出周期的主要着眼点。

## 2 矿堆浸出周期的研究

紫金山矿按照滚动发展的模式不断做强做大,走出一条生产内涵与外延并举扩张、发展的道路。矿山经过一、二期乃至四期的

<sup>\*</sup> 收稿日期:2002-05-23;修订日期:2002-07-02

作者简介:谢李泉(1967-),男,工程师,从事选厂技术管理工作,主攻方向为金矿堆浸工艺。

技改建设,配套的选矿流程已由原先单一的采出矿直接堆浸处理的生产模式发展到矿石破碎、洗矿、粗粒堆浸、细粒浸浆,并于碎洗流程回收部分重选金的复合矿石处理流程。堆浸生产中至 2001 年破碎矿石量已占总处理矿石量的 1/3。2000 年破碎、非破碎(采出矿石直接堆浸处理)的矿堆生产周期跟踪研究如下。根据单堆统计,2000 年紫金山金矿年累计原矿石品位 0.96g/t 其堆浸周期情况如下:当矿堆浸出率为 80% 时,对于直接入堆露采矿,堆场年可处理 3~3.5 堆次,其平均

喷淋作业时间需 77~92d,完成单堆作业(从矿石入堆到拆堆时间)堆浸同期时间需约 110d;对于露采破碎矿,堆场年可处理 4~4.3 堆次,其矿堆平均喷淋作业时间需 70~75d。完成单堆作业堆浸周期时间约需 90d;对于含泥高的、渗透差的矿石,其矿堆浸出周期则需 5~9 月甚至更长时间。根据生产实践的总结分析显示,以上堆浸周期偏长,通过加强生产及技术管理有望将堆浸周期缩短到 40~60d,特别是对经破碎的入堆矿石的堆浸尤其是如此(表 1)。

表 1 2000 年紫金山金矿选厂矿堆生产作业时间及年度生产指标

堆场 编号	矿堆规模 (万 t)	年完成堆次 (整堆次)	单堆喷淋时间			平均单堆非喷淋作业 (进矿、卸堆)时间(d)	年均单堆 作业天数
			平均	最少	最多		
F <sub>1</sub>	8~12	4.1	72.5	50	85	18.75	91.25
F <sub>2</sub>	5~9	4.2	72.25	62	81	19	91.25
F <sub>3</sub>	7	4.0	70	58	84	16.3	86.3
F <sub>4(5)</sub>	15~17	4(1 年少 15 天)	75.8	63	95	11.7	87.5
6881	9~10	3(11 个月)	92	69	105	19.3	111.8
6882	7~8	4(1 年 43 天)	76.8	60	104	25.3	102.1
Y2	8	2(6 个月)	77			13	90
810	12~17	3	109	75	155	12.67	121.67
820	13~15	3(1 年 17 天)	107	84	141	8.7	115.7

注:年累计处理矿石品位 0.094g/t,累计尾碴品位 0.175g/t,尾碴回收率 81.46%;F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4(5)</sub>堆场主要处理破碎矿,其他堆场处理非破碎矿;810、820 堆场年初处理高含泥矿石,矿堆生产周期时间较长。

### 3 缩短堆浸周期的技术措施

要缩短浸出周期应在矿石筑堆和喷淋吸附过程中控制好工艺条件,微观上加快矿堆浸出反应速度和浸出液的循环,这些条件中除了矿石性质为客观条件外,应在矿石料度、矿堆渗透性、矿堆高度、氰化物浓度、浸出液碱性及喷淋强度等诸多方面综合考虑,将这些条件有机结合起来,达到缩短浸出周期的目的。紫金山金矿由于受到地形地势及恶劣多变的气候及生产中其他多变因素的影响,

通过缩短堆浸周期实现矿山优质高产发展具有重要的现实意义。生产中生产环境、设施的不完善是一个方面,生产管理、技术水平的提高与加强是另一个更重要方面。不断进步的管理与技术措施主要有以下几个方面。

#### 3.1 选择适宜的矿石粒度

堆浸矿石的粒度对金浸出率和浸出率反应速度影响很大。粒度越小,暴露出金粒的矿石表面越大,液固接触面也越大,浸出液中的氰化物就能与金充分接触,金的浸出速度越快,通过矿堆埋样及实验室柱浸相结合的

方法,确定三期技改矿石破碎的粒度:专题技术试验表明 50mm 的矿石粒度是重要的分界线,低于 50mm 的矿石料的浸出速度快,浸出率高,浸出受粒度影响小,当矿石粒度大于

50mm 则矿料浸出效果随粒度的增大变差,浸出率降低,浸出时间长(破碎矿石埋样试验结果列于表 2)。

随着合理破碎粒度的确定,使三期技改

表 2 埋入  $F_1$  # 矿堆之不同破碎粒级矿样浸出情况

序号	破碎矿粒级(mm)	原矿样品位(g/t)	浸出 30d 矿样品位(g/t)	浸出率(%)
1	- 20 + 0 带返砂矿样	1.110	0.136	87.75
2	- 20 + 0 加工矿样	0.718	0.134	81.34
3	- 50 + 0 加工矿样	0.736	0.148	79.89
4	- 50 + 20 矿样	0.646	0.123	80.96
5	- 100 + 20 不加工矿样	0.64	0.147	77.03
6	- 80 + 50 矿样	0.668	0.181	72.9
7	- 100 + 80 矿样	0.513	0.202	60.62
8	- 150 + 100 矿样	0.534	0.187	64.98
9	- 200 + 150 矿样	0.553	0.213	61.48

项目实现了较高回收率(80 %以上),缩短堆浸时间  $1/3 \sim 1/4$ ,取得显著经济效益。

### 3.2 采用适宜的矿石筑堆工艺

矿堆的透气性和溶液的渗透性是决定堆浸效果、影响堆浸周期的关键因素。当矿堆较疏松,渗透性和透气性较好,堆中氧气充足,就可以在喷淋过程中配合采用相对高浓度的氰化物溶液和较大的喷淋强度 2 种措施,加速浸出反应,以缩短堆浸周期。

据报道,国外许多金矿都使用机械设备筑堆以保证矿堆的透气性和溶液的渗透性,美国 Hazen 研究所的研究结果表明,往矿堆中通入空气增加含氧量,可使浸出周期缩短近  $1/3$ ,金的浸出率也有提高。美国发明的两项专利介绍了所设计的装置,在筑堆时安装在矿堆内有利于氧的进入和矿堆的渗透性,提高了后期浸出速度。国内的一些矿山在筑堆时埋入竹筒、木棍等,待浸出一段时间后拉出这些埋入物,使矿堆产生一些松动,提高渗透性有利于金矿的浸出,地矿部矿产综

合利用研究所在矿石堆浸一段时间后,对积水的部位采用局部松动爆破,也起到了松动矿堆,改善渗透性的作用;另外还将钻有许多小孔的管子埋入矿堆中,将管内浇灌氰化物,氰化物通过小孔向四周渗透,在矿堆顶部按渗透快慢的情况划分若干区,并按同面积不同体积供应氰化液,使渗透慢的面积内的浸出液体积与渗透快的相同,从而达到矿石堆均匀目的。

在矿堆底部铺设富液收集管,可加快溶液运动,消除矿堆积水,提高金的浸出速度。

紫金山金矿矿石强度大,矿堆渗透性好,部分高度含泥矿石的堆浸处理中采取上述部分措施,对促进矿堆的浸出效果有积极作用。

### 3.3 控制适宜的矿堆高度

据考查,当矿堆高时,浸出液流到矿堆底部时因已缺少足够的氧而使浸出反应下降甚至无法反应,此外,浸矿液  $CN^-$  浓度随矿堆高度下降,溶液渗透较不均匀,矿堆底部粗矿粒偏析等因素都致使底部矿石的浸出率明显

下降(低于平均浸出率)。同时浸出液在矿堆中滞留时间相对延长,也影响了浸出的进程。因此堆浸生产中应视矿石性质而确定矿堆高度,既能保证矿石处理量,又能确保较好的浸出指标和浸出周期。生产操作中通过分层筑堆、一次筑堆分层喷淋都是控制矿堆高度的有效措施,紫金山金矿破碎及未经破碎直接入堆矿石,其筑堆高度一般均为 8~10m。由于矿石强度大、含泥少、渗透性好,经检测表明未出现缺氧现象,取得了较好的、理想的指标。

另在地形条件允许的位置采用分层筑堆,层高 8~10m。矿堆总高度达到 50m。生

产中采用分层筑堆及一次筑堆分层喷淋以控制矿堆高度,改善浸出指标的。而对于矿山采出的部分高含泥矿石(含泥量 8%~30%),由于矿石含泥高,渗透性差,其矿堆高度宜控制在 2m 以内。

### 3.4 采用相对高浓度的氰化物<sup>[2,3]</sup>

根据有关文献,多数厂家认为:在常压条件下,在保证浸出液供氧充足的情况下,金的最高溶解速度在氰化物浓度为 0.05%~0.1% 的范围内,而某些情况下是在 0.02%~0.03% 的范围内。2001 年我矿针对氰化物浓度对矿石料浸出速度的影响进行了专题柱浸试验考查,其结果如表 3。

表 3 不同氰化物浓度时矿石料的浸出率(%)

浸出时间(h)	40.8	112.8	165.6	309.6	381.6
3‰	15.5	42.73	52.3	68.23	71.84
10‰	61.8	68.35	72.65	82.40	86.76

可见,金的浸出反应速度在  $\text{CN}^{3-}$  10‰ 的范围内随氰离子浓度的增加而直线上升,因此采用相对高浓度的氰化物溶液喷淋能缩短浸出周期。但当氰化物浓度足够高时溶金速度主要取决于氧的浓度。所以在增大氰化物的浓度时,还要确保矿堆的疏松以及有足够的氧。恰当地控制好氰化钠吨矿消耗与成本在适宜水平,以追求堆浸生产综合经济效益的最大值为目标。

### 3.5 采用低 pH 值的浸出液<sup>[1]</sup>

生产操作中许多厂家往往对 pH 值的操作控制的重视不够、认识不足。由于浸出液碱性过高会降低金的溶解速度,因此从缩短浸出周期的角度来说,浸出液的 pH 值应保证氰化物不水解挥发的前提下尽量采用低 pH 值 10~11,在实际堆浸生产中主要是要强化 pH 值控制的操作,确保矿堆浸出全过程全时效的 pH 值稳定,确保 pH 在 10~11,不仅有利于节约 NaCN 用药消耗,也利于提

高矿堆的生产速度。

### 3.6 采用适宜的喷淋强度

堆浸的过程是一个扩散的过程,增大喷淋强度能加速浸出液的循环及有效的扩散,可以提高金的浸出速度及回收率。因此,适宜的喷淋强度应该是对于缩短堆浸周期、提高回收率有利的经济的喷淋强度。即考虑动力成本与效益的关系,目前紫金山金矿堆浸生产中的喷淋强度一般为 15~20L/h·m<sup>2</sup>。

### 3.7 使用助浸剂<sup>[2]</sup>

氧在氰化过程中起着极其重要的作用,使用氧化剂是强化金矿堆浸的一个重要技术措施。Batt 研究了钡、锶和钙的过氧化物对氰化浸出的促进作用,发现它们能向溶液中释放氧气,例如对某些矿石来说,当添加 1.5kg/CaO<sub>2</sub>时,可使堆浸过程加快 20d。

氰化溶液中加入适量浸剂或润湿剂,有利于氰化溶液渗透,与被包裹的金产生反应。据报道我国黔西南珑纳金矿和寨子头金矿对

堆浸过的尾矿进行了添加助浸剂并再次氰化处理的工业试验,结果表明尾矿品位分别降至 0.625g/t 和 0.44g/t,浸出率由原来的 68.15%和 82.4%提高到 77.75%和 88.27%。

### 3.8 采用分层筑堆喷淋工艺

如前所述,在地形条件允许的位置采用分层筑堆,有利于控制矿堆高度,而实际上根据紫金山金矿生产实践总结同时也表明,生产中采用分层筑堆喷淋与一次性筑堆喷淋工艺相比可缩短堆浸周期 1/3。

### 3.9 强化重选,促进堆浸生产

自 1999 年三期技改后,紫金山金矿堆浸生产中破碎矿所占的份额的比重逐年加大,至 2001 年破碎矿约占入堆处理矿量的 1/3。该比例在四期技改完成后将进一步加大,直至全部矿石经破碎后入堆处理。重选收金在矿石破碎流程中将居于更加重要的位置,通过重选回收粗粒金,能极大地缩短金矿堆浸矿周期,降低生产成本,而重选本身也是最为经济的,通过重选工艺最大限度地回收破碎中可回收的金量。

### 3.10 强化管理,缩短矿堆非喷淋作业周期

根据 2000 年选厂各矿堆生产周期可以看出,矿堆生产中的非喷淋即矿堆矿石入、卸堆生产作业时间占矿堆生产周期的 15%~20%,说明通过强化企业管理,合理配置,及调度好矿山生产资源是实现矿堆生产作业周期的一个重要方面。以紫金山金矿生产为例,即具有如下显著特点。

(1) 由于矿山地处南方,气候多雨,受其影响,一般上半年能完成的黄金产量只为全年产量的 1/3~2/5。下半年特别是第四季度则是产金的黄金季节。生产中必须适应气候的特点,在搞好上半年生产的同时积极备战下半年的生产。

(2) 再如紫金山金矿根据原选厂各生产车间相对独立的特点,至 2001 年建设全厂联通的用水管网,建立了金矿山用水的统一调度制度,同时就近统一设立大容量的防洪池,

此举沟通了不同车间、不同时间的用水需要,也提高了各车间的防洪能力,提高了用水效率,降低了用水成本。加快了新矿堆开喷前的作业补给速度,提高了生产的效率。

## 4 缩短矿堆生产周期与生产经营效果

堆浸过程工艺条件的控制是决定堆浸生产指标的最重要因素,而其中喷淋  $CN^-$  浓度的控制是决定矿堆生产速度、成本、效益的关键工艺要素。

2001 年紫金山金矿根据前 3、4 的试验及经验总结,实施对车间生产的提速,矿堆首月浸出率提高 10%~15%,矿堆生产周期缩短 10~15d,在实现相当浸出年指标的情况下,某车间生产速度与 2000 年生产速度对比见表 4。

表 4 矿堆生产速度对比

堆场编号	2001 年(堆次)	2000 年(堆次)
F <sub>1</sub>	4.6	4.1
F <sub>2</sub>	5	4.2
F <sub>3</sub>	5	4
F <sub>4</sub> 、F <sub>5</sub>	4.5	4
F <sub>6</sub>	4	2
F <sub>7</sub>	4.3	2.3
共产金(g)	74 226.2	49 323.2

按照 2000 年的矿堆生产建设,在 F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub> 堆场 2001 年充分利用及四季度扩堆后的生产情况,2001 年该车间增加产金 300kg,2001 年多产金 752.12kg,该年度提高产量 452.13kg,提高 19.9%。同时克金生产成本与 2000 年相比,降低了 0.973 元/g,直接降低生产成本 12%,效果极其显著。以上说明依据不同矿山资源和生产特点,在生产经营过程中对堆浸中生产过程工艺条件进行优化具有重大意义。

## 5 结论

随着紫金山金矿生产的发展,堆浸提金工艺应进一步扩大规模,紫金山金矿属于低品位矿石,矿堆矿石品位应遵循  $C = C_0 e^{-bt}$  的指数规律,以经济技术的方法确定堆浸周期。

缩短堆浸周期对于紫金山金矿提高堆场的生产能力及矿山的经济效益具有重要的现实意义,在实际生产中,应在矿石粒度、堆浸工艺、矿堆渗透性、矿堆高度、氰化物浓度、使用助浸剂、使用滴淋工艺、分层筑堆、浸出液碱性及喷淋强度等诸多方面综合考虑,将这

些条件有机结合起来,稳健推进,不断缩短堆浸周期,进一步提高堆浸生产水平,使堆浸生产运行在低成本、高效益状态。

## 参考文献

- [1] 吕宪俊,王志江,杨云忠,等. 氰化提金概论[M]. 陕西:陕西科学技术出版社,1997.
- [2] 张兴仁. 提金工艺新进展[J]. 矿产综合利用, 1991, 1(4): 20.
- [3] 潘志兵. 从美国堆浸技术谈我国堆浸发展方向[J]. 矿产综合利用, 1993, 3(4): 2.
- [4] 巫汉泉. 堆浸提金技术[J]. 矿产保护利用, 1993, (1): 23.

# THE TECHNICAL MEASURE AND PRODUCTION PRACTICE FOR SHOTENING HEAP LEACHING CYCLE PERIOD OF ZIJINSHAN GOLD MINE

XIE Liquan

(Mining Plant Of Zijinshan Gold Mine, Fujian Zijin Mining Industry Co. Ltd.,  
Fujian Shanghang 364200, China)

**Abstract :** The ore heap leaching cycle period is an important parameter that affects the output and economic technological index. Shortening the heap leaching cycle period is conducive to the raising of the heap leaching rate so the output of the factory will be raised and better economic benefit obtained. The author of this article has made a thorough investigation of the heap leaching cycle period of Zijinshan Gold Mine Heap Leaching Factory, put forward some technical measures for shortening heap leaching cycle period and expounded its remarkable effect on the speeding up of Zijinshan heap leaching production in 2001. Meanwhile, this article has also made some research into the selection of the size of the crushed ore, the type of the heap construction and its height, the intensity of the spray and spouting, the optimal arrangement of the heap leaching production as well as other technical measures for shortening heap leaching cycle period.

**Key words :** heap leaching; heap leaching cycle period; measures; production practice