

堆浸法提金氰化过程影响因素分析

张元伟, 徐建昌

(河南省地矿局第一地质调查队,河南, 洛阳, 471023)

摘要:概述了黄金生产中堆浸法提金生产和研究的重要性、堆浸法提金的概念及其氰化过程机理。金矿堆浸的关键在于氰化过程,而氰化过程受许多方面因素的影响,对此进行了较详细的论述分析。指出在金矿堆浸生产中,必须综合考虑各方面影响因素,方可取得好的效果。

关键词:堆浸法提金;金矿石;氰化;影响因素

中国分类号:P57

文献标识码:A

1 引言

堆浸法提金是金矿石选矿方法之一。随着黄金生产的不断进行,黄金资源量及高品位金矿石越来越少,而黄金价格不断上涨。为了充分地利用资源,开展对低品位金矿石及其它含金物料的研究工作是非常必要的。堆浸法提金不仅对高品位金矿石,更是对低品位金矿石及生产残渣、尾矿等的选矿、再利用是很适合的方法。本文着重对堆浸法提金氰化过程的影响因素进行分析研究,以对金矿堆浸生产实践能有一定的指导作用。

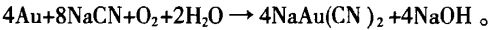
2 堆浸法提金概念及其氰化过程机理

2.1 堆浸法提金概念

堆浸法提金就是金矿石或者其它含金物料经过破碎、制粒达到一定粒度后,采用适当的方法,按一定层次和高度堆放到铺有不渗漏溶液且能自动排液衬垫的堆浸场地上,以一定酸碱度氰化物溶液间歇式地对矿堆进行均匀地喷淋、氰化浸出,达到溶解金的目的。浸出得到的含金溶液中采用一定的方法将其回收。

2.2 堆浸法提金氰化过程机理

堆浸法提金工艺包括金矿石中金的氰化浸出和含金浸出液中金的回收的两个过程,而氰化过程效果直接关系到金矿堆浸生产的成败。氰化过程机理可采用反应方程式表示为:



简单地说,在一定碱度的氰化物溶液中,作为金的浸矿剂的氰化物与矿块表面暴露的金以及通过矿石的裂隙、孔洞解理面等进入矿石内部与可能接触到的金作用,金被氧化并于氰根离子络合成易溶的金氰络离子进入溶液中,这样,矿石中的金即被氰化浸出。

3 堆浸法提金氰化过程影响因素分析

3.1 浸矿液方面的影响因素

3.1.1 浸出药剂的选择

1) 氰化物。氰化物在溶液中能与金形成金氰络离子而转移到溶液中,是金矿的很好的浸矿剂。而在金矿堆浸生产中,各种氰化物的特点、效果是不同的。常见的几种氰化物有氰化钠、氰化钾、氰化钙。以溶金能力、溶液的稳定性、价格、获得同等溶液浓度的相对消耗量及使用方便性等方面对其进行分析比较,见表1。

表1 常见几种氰化物特点比较

氰化物	溶金能力	溶液稳定性	价格	获得同等溶液浓度的相对消耗量	使用方性
氰化钠 NaCN	强	稳定	较低	少	不利于金浸出的杂质少,毒性较氰化钾弱,使用方便。
氰化钾 RCN	较弱	稳定	高	多	不利于金浸出的杂质少,但毒性很强,使作较不方便。
氰化钙 Ca(CN)	强	不稳定	低	少	不利于金浸出的杂质多,会产生有害的对金浸出不利的的气体,使用较不方便。

收稿日期:2008-02-28

作者简介:张元伟(1967-),男,工程师,主要从事地质勘查及金矿采选技术工作;(Tel)13525976338

比较可见,氰化钠的溶金能力强,溶液稳定性好,价格较便宜。获得同等溶液浓度的相对消耗量少,使用方便,在金矿堆浸生产中,可首选氰化钠作为金矿的浸矿剂。

2) 保护碱。氰化物会发生水解反应,遇到各类酸会被分解,所以,在氰化物溶液中必须加入适量的碱,使其维持一定的碱度,可大大减弱氰化物水解程度,中和溶液中的 CO_2 和硫化矿氧化及其它原因所产生的酸类,从而减少氰化物的化学损失,保持氰化物溶液的稳定性,以利金的正常浸出,这种碱称为保护碱。

石灰(CaO)和氢氧化钠(NaOH)是常见的碱。用石灰作保护碱虽说价格便宜,但其所产生的钙离子会阻滞金的溶解,会在设备和管道内壁上结垢。而用氢氧化钠则无如此缺点。在金矿堆浸生产中,采用氢氧化钠作保护碱是比较适宜的。

3.1.2 氰化物浓度

氰化物浓度是决定金溶解速度的最主要因素之一。在通常的压力和温度条件下,经过实验得到金溶解速度与氰化物浓度的关系如图1。

由图可见,当氰化物浓度在0.05%以下时,金的溶解速度随着溶液中氰化物浓度增大而直线上升,以后则随着氰化物浓度增大而缓慢上升,直至氰化物浓度增大到0.15%时,金的溶解速度增大到最大值,以后再继续增大氰化物浓度,金的溶解速度反而略有下降。

通常在金矿堆浸生产过程中,氰化物的浓度应根据矿石成分和浸出的不同阶段控制在0.025%~0.1%之间。

3.1.3 氧的浓度

氧的浓度是决定金溶解速度的另一最主要因素。在金的氰化浸出过程中,任何引起氧浓度的降低,都将导致金溶解速度的降低。为此,要保持矿堆具有良好的自然通风的条件,可对浸矿液进行充分的预先通气或通氧,有条件时也可采用机械通风,并加强浸出液的循环,保证随时有足够的氧参与反应。

3.1.4 浸矿液的pH值

保证浸矿液有足够的碱度(pH值)是堆浸的必要条件。pH值过低或过高都会使金的溶解速

度降低。同时,pH值过低对氰化物的保护作用会降低;pH值过高会促使矿石中某些矿物分解,对金的溶解产生不良影响。所以,pH值过高或过低,对金的氰化浸出都是不利的,必须经常地仔细地控制浸矿液的碱性,在金矿堆浸生产中,常控制浸矿液的pH值为10~11。

3.2 金矿石方面的影响因素

3.2.1 金矿石的结构物理化学性质

金矿石的结构疏松,孔隙度大表面孔隙和毛细管、解理面发育,有利于浸矿剂和氧向矿块内部扩散,与矿石中的金接触,从而加快金的浸出速度;相反,则金的浸出速度慢。含金氧化矿具有疏松多孔的特点,透水性良好,比结构致密的原生矿更适合于堆浸。

3.2.2 矿石中金的赋存状态

浸矿液与金粒表面接触的面积越大,则金的浸出速度越快。金粒赋存在矿石的裂隙和孔洞中时,则易被浸出;若金粒被其它矿物包裹,则很难甚至无法被浸出。金粒越细,则金的浸出速度越快。金粒的形状对金的浸出速度也有较大影响,在矿石中,金粒的形状有浑圆状、片状、脉状、树枝状、内孔穴和其它不规则状,其中浑圆状金粒浸出速度较慢,其它形状的金粒浸出速度较快。

3.2.3 金矿石中其它矿物组分

金矿石中除了金银外,常含有其它多种矿物组分,而多数矿物组分特别是金属矿物对金的氰化浸出会产生不同的影响,有的会加速金的溶解,有的会阻滞金的溶解,但多数影响是有害的。因此,在金矿堆浸生产中,应尽量选择那些不含或少含有害矿物组分的金矿石,必须注意入浸矿石中除金银以外的其它矿物成分的类型和含量,预先采取措施,减少它们对金氰化浸出的有害作用。

对金的氰化浸出影响较大的矿物组分有黄铁矿、白铁矿和磁黄铁矿等铁矿物,自然铜、黄铜矿、蓝铜矿、孔雀石、辉铜矿、赤铜矿、斑铜矿、硫砷铜矿和黝铜矿等铜矿物,方铅矿、白铅矿和铅矾等铅矿物,闪锌矿、菱锌矿、红锌矿、水锌矿和锌铁尖晶石矿物,雄黄、雌黄和毒砂等砷矿物,氧化汞和氯化汞等汞矿物,辉锑矿等锑矿物,辉铋矿等铋矿物,硒矿物,碲矿物以及炭、溶液中的钙离

子等成分。

以上矿物组分都能与浸矿液中的氰化物和氧作用,且许多中间反应生成物还会继续与氰化物和氧作用,如此,会大量消耗浸矿液中的氰化物和氧;有些矿物和中间反应生成物,如 $Pb(CN)_2$ 、硫代亚砷酸盐、硫化锑、硫代亚砷酸盐、 $AsS-2$ 、 $AsS-3$ 、 $S-2$ 、溶液中的 As_2S_3 胶体、过氧化钙和硫酸钙等,会沉淀、吸附在金粒的表面形成薄膜,阻碍氰化物和氧与金粒的直接接触;矿石中含有炭时,会将已浸出的金吸附,产生劫金现象。这些作用会使金的溶解浸出速度下降,有时甚至使金的氰化浸出无法进行,降低金的浸出率、回收率、对氰化过程产生非常有害影响。

为了减少、消除其它矿物组分对氰化浸出产生的不良影响,应在喷淋氰化浸出之前,用饱和的碱溶液对金矿堆进行充分的喷淋洗矿,可使大部分有害的矿物组分沉淀、分解,直到矿堆出水口排出的溶液的 PH 值稳定在 9.54 以上,且要将洗矿水弃去,这时,即可以碱性氰化物溶液对金矿堆进行喷淋氰化浸出。同时,在氰化过程中,要控制好浸矿液的 PH 值不要过高或过低,氰化物浓度不可过高,可减少有害矿物组分的溶解。

有些矿物组分适量时对金的浸出是有利的。金矿石中含有适量的铅时,在金粒表面可形成局部原电池而加速金的溶解。浸矿液中有少量的汞盐存在时,金能在一定程度上置换出汞并形成金汞合金,而使金粒的表面发生蚀变,从而促使金迅速溶解。另外,浸矿液中适量的铅离子、汞离子可与硫离子作用生成难溶的硫化铅、硫化汞而消除硫离子对金浸出的不良影响。

3.3 浸堆方面的影响因素

3.3.1 入浸矿石粒度

入浸矿石的粒度影响矿石中金粒暴露的表面积和矿堆的渗透性,进而影响到金的浸出速度。矿石破碎的粒度越小,金粒暴露的面积越大,液固相接触面也越大,金的浸出速度也就越快。但是矿石粒度太细,会影响浸矿液的渗透速度,不利于矿堆中液固分离。严重时,粉矿会阻碍浸矿液在矿堆中均匀流动,形成一些死角而影响浸出效率。另

外,细矿粉过多不利于矿堆的清洗,造成洗矿时间过长,延长作业周期,而且会使堆浸尾矿含金残液过多而造成金的损失。

控制入浸矿石的粒度,要根据矿石的物理性质。疏松多孔、粘土含量多的矿石,破碎粒度应大些,一般为 -50 mm 或 -30 mm ;反之,较致密、粘土含量少的矿石,应尽量控制较小的破碎粒度,可控制在 -10 mm 。

3.3.2 矿堆渗透性

矿堆的渗透性对金矿堆浸效果影响很大。矿石的渗透性好,浸矿液渗透均匀畅通,含金溶液能顺利地通过矿堆及时排出,有利于矿堆中保持充足的氧,浸出反应速度加快,缩短浸出周期,提高浸出率。如果矿堆的渗透性差,则会严重影响堆浸作业的进行,甚至会造成堆浸不能进行。

影响矿堆渗透性的因素主要有入浸矿石粒度、矿石中细矿泥和粘土含量、筑堆方法和矿堆高度。

入浸矿石粒度大,则矿堆渗透性好,反之,矿堆渗透性会降低,矿石粒度太细,会使矿堆渗透性很差。

金矿石中常含粘土,粘土被水润湿后会急剧膨胀,堵塞矿石中的孔隙和矿块间的流水通道,会严重降低矿堆的渗透性。为此,一般要求堆浸矿石中粘土含量不要超过 35%。另外,入浸矿石粒度过细会因破碎作用产生很多的细矿泥,也会使矿堆渗透性变差。所以,对于细矿泥和粘土含量多的矿石,以及粒度过细的矿石,应采用预先制粒成团后再进行堆浸。

筑堆方法对矿堆内部的孔隙率和溶液渗滤的均匀性有直接的决定性的影响,从而决定着堆浸作业的效果和成败,所以,必须选择正确的筑堆方法。筑堆时尽可能做到粉矿与块矿混合入堆,使各粒级均匀分布,避免产生粗细粒的偏析现象;尽可能不压实、粉碎矿堆,保持矿堆疏松,当因运矿设备而造成局部地段压实时,要用松土装置或人工进行翻松,以求得矿堆各个部分具有均匀的渗透性。

筑堆方法主要有两种,即多筑堆法和分层筑堆法。前种方法操作简易,但易产生偏析现象。生

产实践中,较多地应用分层筑堆法,即筑堆前先用
废石修建斜坡车道,运矿车沿坡道上行卸矿,再用
推土机推矿推实第一层,在筑第二层,逐层加高,
直到满足设计要求高度为止。分层高度一般为
1.5~2 m。

矿堆的高度会影响矿堆的渗透性和金的浸出
率,应视矿石的粒度、粘土含量、有害氰化浸出的
杂质含量以及生产规模、矿山装备而定。对于矿石
粒度较大、含粘土、杂质较少的矿石,矿堆的高度
可适当提高,但不宜太高,否则会降低矿堆的渗透
性,延长浸出时间,造成矿堆中的供氧不足而影响
金的浸出。特别当矿石粒度小、含粘土和杂质较多
的矿石,堆太高会使溶液在矿堆中停留时间增长,
在溶液向下流动过程中与杂质作用消耗氰化物和
氧,到了矿堆底部时,浸矿液中因氧和氰化物不足
而影响金的浸出。矿堆的高度一般应控制在 3~
10 m 之间。

3.4 浸矿液喷淋方面的影响因素

3.4.1 喷淋方法

喷淋方式直接影响氰化浸出效率、浸矿液在
矿堆上的分布均匀性及浸矿液的雾化损失,因此
要采取正确的喷淋方式。应采用间歇喷淋方式,有
利于补充矿堆中消耗的氧气和提高浸出效率,一
般可喷淋 1 小时,停 0.5 小时。力求喷淋均匀,不
留死角,偶尔出现死角区,可采用人工喷淋进行补
充;力求喷淋液滴尽可能少地产生雾化,注意风向
和风力的变化,防止造成喷淋损失;喷淋中要随时
检查有无沟流、溢流以及积水不渗现象,随时采取
措施予以解决。

3.4.2 喷淋强度

喷淋强度是指单位时间内对一定量矿石或单
位平方米矿堆顶面喷淋浸矿液的数量。增大喷淋
强度可以加速浸出液的循环,从而提高金的浸出
速度。但喷淋强度不宜过大,否则会增大矿石中杂
质的浸出,相对降低浸出液中金的品位,增加含金

浸出液下一步处理的困难;喷淋强度也不可过小,
这样会延长浸出作业周期。喷淋强度的强弱与矿
堆渗透性、矿堆规模及矿石的杂质含量有关,当矿
堆渗透性差,或者矿石杂质含量多,或者矿堆的规
模大时,喷淋强度应控制较低值,反之可取较高
值。喷淋强度一般控制在 0.05~0.1 L/h 矿分钟之
间,并保持稳定供液。

3.5 环境方面的影响因素

3.5.1 温度

温度是影响金浸出效果的重要因素。温度低,
金的浸出速度慢,特别是当温度低于 10 度时,金
的浸出速度大大减慢;反之,温度高,金的浸出速
度快,但过高的温度会降低浸矿液中氧的溶解度,
并促进氰化物的水解生成 HCN,消耗氰化物。堆
浸过程中一般不必要对浸矿液加热,但在寒冷地
区为了防冻并适当延长堆浸作业时间,也可考虑
加热浸矿液进行堆浸,但必须考虑技术上的可行
性和经济上的合理性。

3.5.2 气象

不同的气象条件对堆浸作业会产生不同的影
响,多雨的季节和地区,雨水的大量加入,会使浸
矿液量太大,降低浸矿液 PH 值和氰化物浓度以
及金的品位,发生溢流、溢池;大风、干旱地区和季
节会使喷淋液及金的损失等;冰冻期长的地区,适
宜堆浸作业期限短。在金矿堆浸生产中,必须考虑
气象条件的影响。

4 结束语

堆浸法提金作业虽然工艺流程较简单,但在
其过程特别是金的氰化浸出过程中会受到多方面
因素不同程度的有利或有害的影响。为了提高金
的浸出率,取得好的浸出效果,确保金矿堆浸目的
的实现,必须综合考虑各种影响因素,进行认真的
分析、研究和控制,采取有效的措施,否则,将会导
致金矿堆。

参考文献

- [1] 徐天允,徐正春.金的氰化与冶炼[M].沈阳:沈阳黄金学院,1993.

影响金矿堆浸工艺的因素分析

肖 振

(广东省冶金建筑设计研究院)

摘 要 本文通过对影响金矿堆浸工艺的各种因素分别进行分析,指出控制方法,并提供一些操作参数,对提高黄金矿山金矿堆浸指标和企业经济效益有重要作用。

关键词 金矿 堆浸 影响因素

THE INFLUENTIAL FACTOR ANALYSIS IN PILING-UP AND DUNKING PROCESS OF GOLD-ORE

Xiao Zhen

(Guangdong Metallurgical & Architecture Design Institute)

Abstract This paper analyses the different influential factor in piling up and dunking gold ore, as well as gives some operating-data for the control method which is conducive to the enhancement of the piling-up and dunking inalex of gold-mine and the economic efficiency of enterprises.

Key words gold-ore pile-up influential factor

1 概 述

堆浸法浸金是在不透水的专门地基(场地上),将破碎到一定粒度的含金矿石堆筑成堆,由上方喷淋氰化溶液,溶液通过矿石层渗滤时进行金的溢出。金矿堆浸工艺由于投资和生产成本比常规的氰化法低,且工艺简单、流程短、见效快,因此在黄金矿山中得到较广泛的应用。但影响堆浸工艺的因素较多,生产上掌握不好就会导致生产指标的下降,影响经济效益。

2 影响金矿堆浸工艺因素

2.1 矿石性质对堆浸工艺的影响

对于结构疏松、裂隙发育的矿石,由于该类矿石渗透性较好,有利于氰化物溶液对矿石内部渗透和扩散,矿石中的金与氰化物溶液能充分地接触,因此,金的浸出速度较快,溶解充分。相反,如果矿石结构致密或含粘土较高,则不利于金的浸出,浸出速度较慢,浸出率较低。

如果矿石中含有碳质物,会妨碍氰化物溶液进入被碳质物包裹的矿石颗粒中,严重阻碍金的溶解,而且具有活性的碳会吸附已溶解的金,降低金的回收率。

如果矿石中含有铜、铅、锌、砷、铁等非贵金属化合物,也会影响金的溶解。如果用锌置换浸出的溶液。则置换效果较差,氰化物的消耗量增加。

氰化物溶液中硫离子的浓度若达到百万分之五,则金的溶解速度会降低;黄药和二硫代磷酸盐等浮选剂也会降低金的溶解速度。

金颗粒的大小与其溶解速度有关,颗粒越大溶解速度越慢,颗粒越小溶解速度越快。

2.2 矿石粒度对堆浸工艺的影响

一般情况下,矿石粒度越小,浸出时间越短,浸出率越高。在实际生产中,一般破碎到5~20毫米的粒度进行堆浸。如粉矿量较多,即200目含量超过35%,用常规的堆浸法,由于粉矿量过多造成矿堆表面结板形成沟流,影响溶液渗透,浸出率有所降低。

2.3 矿石中粘土含量对堆浸工艺的影响

矿石中粘土含量对金的浸出有明显的影响。当粘土被氰化物溶液润湿以后,体积会膨胀,其体积增大率达25~30%,这将导致矿堆孔隙度及溶液渗透速度的降低。

粘土含量越高,溶液的渗透速度越小,浸出所需的时间越长。

在氰化浸出过程中,由于化学作用,溶液中会产生硫酸、碳酸等,它们会与氰化物反应,使氰化物分解。因此,在浸出过程中,需加入一定量的石灰使溶液保持一定的碱度,以防止氰化物的分解,氰化溶液PH应控制在9.5~11之间,如果PH值过高,会明显降低金的溶解速度。这是由于在高PH值的情况下,氧的反应动力学对金的溶解很不利。此外,PH值升高时,金属表面生成过氧化钙薄膜使金的溶解速度明显下降。

2.4 氰化溶液浓度对堆浸工艺的影响

用低浓度氰化溶液进行浸出时,金的溶解度很大,但各种非金属的溶解度却很小,这样氰化物的消耗量可减少到最低限度。金在低浓度氰化溶液中溶解速度较快,原因是氧在其中的溶解速度与其在稀溶液中扩散速度均较大所致。

当氰化溶液的浓度在0.05%时,金的溶解速度随氰化溶液浓度的增大快速上升,当氰化溶液的浓度在0.05%~0.1%时,氰化溶液浓度对金的溶解速度影响不显著;氰化溶液浓度大于0.15%以后,继续增大浓度,金的溶解速度不仅不增加,反而有下降的趋势。如果要求达到同样的浸出率,在氰化溶液的浓度低时所需的时间较长,但氰化物的消耗量少,成本低;在氰化溶液的浓度高时所需的时间较短,但氰化物的消耗量大,成本高。

国内矿山黄金堆浸的氰化溶液的浓度一般控制在0.03~0.08%范围较为合适。

2.5 矿堆高度对堆浸工艺的影响

矿堆高度可通过试验来确定。浸透性好的矿石,矿堆高度可设高一些;浸透性差的矿石,则矿堆高度不宜设得太高,矿堆太高会影响下面矿石的供氧量及渗透性,从而降低浸出率。国内矿堆高度一般为2~4米。

2.6 喷淋强度对堆浸工艺的影响

适当增大喷淋强度可以缩短浸出时间,提高浸出率;同时,加强了溶液与矿石之间的相对运动,起到强化扩散作用。但喷淋强度不适当增大时,氰化溶液与空气的接触增多,氰化物的氧化、损失随之增加。实践证明,当喷淋强度超过11.5升/米²时,溶液浓度明显降低,因此,喷淋强度应适当。国内矿山喷淋强度一般控制到8~12升/米²。

2.7 浸出时间对堆浸工艺的影响

在氰化浸出的过程中,随着浸出时间延长,金的浸出率不断提高,且金的浸出率逐渐趋于某一极限值,但浸出速度在不断降低。这是由于在浸出过程中,随着金粒的不断溶解,金粒的数量和体积不断减少,从而减少了金的溶解表面,金的浸出速度逐渐降低;其次是随着浸出时间的延长,氰化物和溶解氧与产生金的氰络合物的扩散距离增加,再加上在金溶解的同时,杂质元素也不断进入溶液之中,有的杂质会在金粒表面形成有害薄膜,影响金的溶解速度。

2.8 溶解中氧的浓度对堆浸工艺的影响

在氰化溶液中,金的溶解速度与溶液中氧的浓度成正比,即溶液中氧的浓度越低,金的溶解速度越慢。因此,提高氧在氰化溶液中的浓度是很有必要的。可以向矿堆内鼓入空气,提高金的溶解速度,这样可以明显缩短浸出时间,金的溶解速度随其赋存矿石的特性不同,可提高10~20倍,甚至30倍,而且金的回收率可提高15%左右。

2.9 温度对堆浸工艺的影响

金在氰化溶液中溶解速度随着温度的升高而提高,在85℃左右时达到最大值。当低于10℃时,金的溶解速度大大减慢。

当温度超过85℃时,随着温度的升高,氰化溶液中含氧量随之降低,金的溶解速度有下降的趋势。同时,提高矿浆温度会引起许多不良现象。如加快了非贵金属与氰化物的化学反应速度,增加了氰化物的水解作用,从而造成氰化物消耗量增加;同时,加温矿浆增加了热能消耗,导致生产成本增加。所以,一般不采用加温措施,仅在冬季寒冷地区采取保温措施,使氰化溶液维持在15~20℃。

2.10 泥质物质对堆浸工艺的影响

泥质物质会降低矿堆的渗透性,减慢浸出速度,并降低金的回收率,在这种情况下,建议对矿石进行预先制粒,并加少量水泥,氰化物和碱;或者在堆浸前先进行脱泥,以减除泥质物质对堆浸工艺的影响。

3 结 论

由上述分析可知,影响黄金堆浸工艺的因素较多,在具体的生产实践中,应根据具体情况进行分析,落实采取相应的控制措施,就能取得较好的效果,获取较好的经济效益和社会效益。因为氰化溶液是一种剧毒的化学溶液,对生态环境污染及其严重,为此还应进一步采取措施保护好生态环境。

大型堆浸工艺设计施工及应用经验

王义平 任雨华 姚 香
(紫金矿业集团股份有限公司)

摘 要 (紫金山金矿采用露天开采,氰化复合提金工艺,处理低品位氧化矿石,取得了非常良好的生产技术经济指标,其中堆浸处理矿石占整个处理量2 100万t的80%以上。介绍了大型堆浸提金工艺的具体施工设计、生产应用与企业管理等方面的技术及应用问题。)

关键词 岩金矿山 复合氰化提金工艺 低品位氧化矿

Experiences in Design Construction of Application of Large Heap Leaching Technology

Wang Yiping Ren Yuhua Yao Xiang
(Zijin Mining Group Co., Ltd)

Abstract Zijinshan Gold Mine adopts open - pit mining and combined cyanidation gold extraction technology to treat low grade oxide ore and has achieved excellent production, technical and economical indexes. Its heap leaching - treated ore amounts to over 80% of the total 21 million t. The paper describes the construction design, production application and enterprise management relating to large heap leaching gold extraction technology.

Keywords Rocky gold mine, Combined cyanidation gold extraction technology, Low grade oxide ore

1 企业简介

紫金矿业集团股份有限公司前身系上杭县矿产公司,主要依靠收购和经营一些零星矿产品维持企业运作。公司1991年开始与地矿部门合作进行紫金山金矿堆浸中间试验,揭开了紫金山矿藏开发的序幕。1993~2000年,公司通过紫金山金矿三期技术改造,全面掌握了紫金山金矿的采、选、冶工艺技术,并开展补充地质勘查,使紫金山金矿可利用资源量超过200t,公司也从国有独资公司改造为有限责任公司。2001~2003年公司完成了具有重大意义的股份制改造,紫金山金矿完成了第四期技术改造,金矿的采、选、冶规模和技术水平迈上一个更高台阶,公司实现了走出去发展战略。特别是2003年12月23日公司在香港主板成功上市,标志着公司发展进入一个全新的阶段。公司核心企业紫金山金矿已发展成为国内单体矿山保有可利用储量最大、采选规模最大、黄金产量最高、矿石入选品位最低、单位矿石处理成本最低、经济效益最好的世界级黄金矿山。所属的黄金冶炼厂为上海黄金交易所首批确认的可提供标准金锭和标准金条的黄金精炼厂之一。公司以黄金及有色金属开发为主,先后在本土、新疆、青海、贵州、吉林、西藏、安徽、四川、内蒙、广东

等省(区)投资组建了10余家控股公司,2004年公司生产黄金13t,在全球黄金企业中排名第22位。公司承担了多项国家级科技攻关项目,在低品位金矿的利用和湿法冶金技术研究与应用方面居行业领先地位。

2 原矿性质

2.1 矿石多元素分析

矿石多元素分析结果见表1。

表1 矿石多元素分析结果

成份	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
含量	1.74	94.94	0.15	1.90	0.015	0.037
成份	CaO	MgO	Ag(g/t)	Cu	Pb	Zn
含量	0.053	0.029	2.20	0.012	0.013	0.006
成份	Bi	As	S	烧失	Au(g/t)	
含量	0.000	0.016	0.037	0.85	1.71	

2.2 矿石组成

紫金山金矿矿石物质组成结构构造比较简单,金属矿物含量为3%~5%。主要是褐铁矿和针铁

王义平(1966-),男,紫金矿业集团股份有限公司紫金山金矿第二选矿厂,选矿工程师,064200 福建省上杭县紫金大道1号。

矿,脉石矿物主要以石英为主约占 90%,其次是地开石和其它粘土矿物约占 3%。金是矿石中唯一有用组分,除少量银外,其它有益、有害组分的含量极低。金矿物为自然金。自然金形状为粒状、片状、树枝状和不规则状,颗粒大小以中粗粒为主,赋存状态以裂隙金为主占 77%,晶隙金占 15%,包体金占 8%。矿石工业类型为单一次生氧化金矿石。

2.3 入堆矿石筛析结果见(表 2)

表 2 入堆原矿筛析结果

粒 级 /mm	质 量 /kg	产 率 /%	品 位 /(g·t ⁻¹)	金分布率 /%
-50+30	26.1	0.34	0.587	39.14
-30+9	16.9	32.58	0.531	22.92
-9+5	1.65	3.18	0.542	2.28
-5+2.2	1.50	2.89	0.360	1.38
-2.2+1	2.05	3.95	0.65	3.43
-1+0.15	1.70	3.28	3.328	14.46
-0.15+0.074	0.65	1.25	4.683	7.75
-0.074	1.30	2.51	2.597	8.64
累 计	51.85	100.00	0.755	100.00

3 选矿工艺

紫金山金矿矿石品位低、贮量大,氧化程度高,结构裂隙发育,游离可见金含量高,影响氰化浸出的有害杂质含量极少,含泥量大,加上露天开采矿石粒度两极分化严重,无论采用单一堆浸,还是全泥氰化炭浸工艺,都不能获得比较高的生产技术经济指标。经过多年的生产实践,紫金山金矿确定的选矿工艺为破碎(洗矿)+重选+堆浸、炭浸联合选矿工艺。大型堆浸工艺流程图 1。

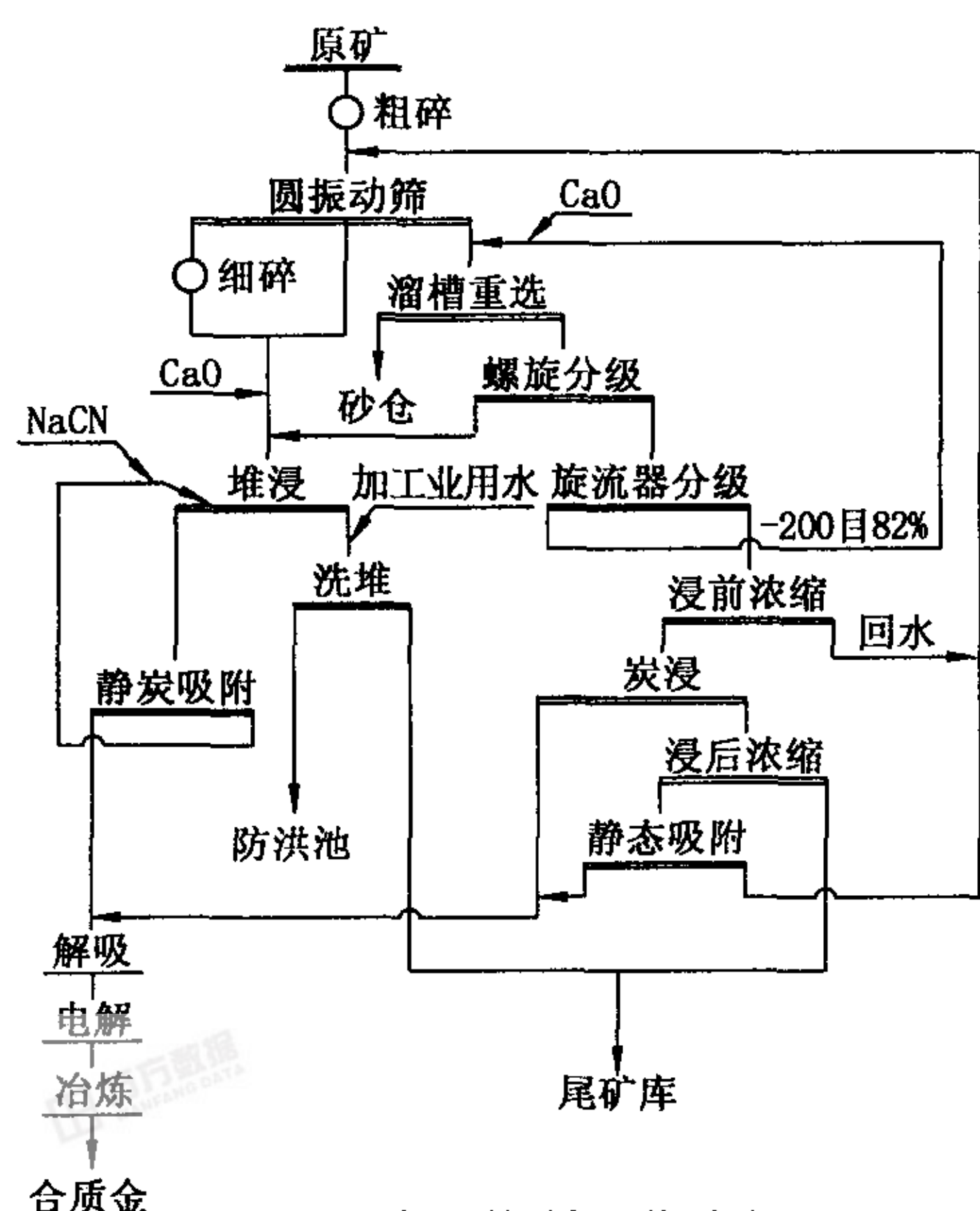


图 1 大型堆浸工艺流程

紫金山矿石与脉石没有明显界限,只有品位高

低之分,这给大规模露天开采创造了有利条件。随着选冶技术不断进步,露天开采边界品位逐渐降低,可利用资源量增加,到 2004 年年底紫金山金矿实际保有 0.3 g/tDS 黄金储量 167 t。露天采场根据不同品级矿石实行分别穿爆,供应不同选矿厂处理,第一、第二选矿厂处理 0.5 g/t 以上的矿石,第三选矿厂省去两段破碎工序,处理(0.3 ~ 0.5) g/t 的固体废弃物。

4 大型堆浸工艺设计

将采出的低品位含金矿石破碎后运至堆浸场堆成矿堆,然后在矿堆表面喷洒氰化浸出剂,浸出剂从上至下均匀渗滤通过固定矿堆,使金进入浸出液中,含金浸出液经活性炭吸附金后,流入贫液池经加药调碱再喷入堆场,如此反复循环,直至堆浸工作结束。堆浸工艺流程主要包括矿石准备、堆浸场建造、筑堆、渗滤浸出、洗堆与卸堆和金回收等工序。

4.1 矿石准备

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,生产周期最短。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。因此,由于紫金山金矿露天开采的粉矿产率达 30%,其中含粘土等细泥占 10% 以上,所以,矿石经两段破碎洗矿之后,含金细泥去炭浸,颗粒矿石进堆场。

4.2 堆浸场建造

(1) 一般建造堆浸场的原则和方法。堆浸场可建于山坡、山谷、或平地上,一般要求有 3% ~ 5% 的坡度。用各种工程机械对堆场底面进行清理和平整后,应进行防渗处理。防渗材料可用尾矿掺粘土、沥青、钢筋混凝土、橡胶板或塑料薄膜等,如先将地面压实或夯实,其上铺聚乙烯塑料薄膜或高强度聚乙烯薄板、或铺油毡纸或人造毛毡,要求防渗层不漏液并能承受矿堆压力。为了保护防渗层,常在垫层上铺以细粒废石和 0.5 ~ 2.0 m 厚的粗粒废石。堆浸场可供多次使用,也可供一次使用。一次性使用的堆场的垫层可在压实的地基上铺一层约 0.5 m 的粘土。为了收集堆浸贵液,堆浸场中设有集液沟,堆浸场一角埋集液箱,沉降矿泥,使进入贵液池的贵液为澄清溶液。为了保护堆场,堆场周围应设置排洪沟或防洪挡墙,以防止洪水进入堆场。

(2) 紫金山金矿堆浸场建造设计。紫金山金矿

建造堆浸场,一般选择缓山坡地或山谷地,山坡地建造堆场需要卸堆,山谷地建造堆场可采用不出渣,分层筑堆的方法。建造堆场时,先对坡地或山谷进行清理,按照堆场纵向 5% 坡度,横向 3% 的坡度,平整出 100 m × 150 m 左右的场地,铺上矿渣或细粒废石,用压路机压实,再铺上 1 层 100 mm 左右的粘土或细砂,再用压路机压实,其上铺高强度聚乙烯薄板(1.0 ~ 1.5 mm),聚乙烯薄板上铺 1.0 ~ 2.0 m 厚粘土或细砂。堆场靠近石壁方向,要在石壁上刻 200 mm 深的槽,再把聚乙烯薄板头塞进去,用水泥和粘土混合物充填,其表面粘糊均匀,防止贵液渗漏。在堆场周围不靠石壁地方,做 2 m 宽 2 m 高的挡墙,挡墙表面也需压实,作底垫的聚乙烯薄板同样需要覆盖挡墙。聚乙烯薄板之间用专用焊机焊接。焊接时要控制好焊接温度和焊机速度,确保焊接质量,做到底垫不渗漏。在堆场最低点埋放贵液收集箱。收集箱规格为 3 m × 3 m × 1.5 m,收集箱中间加一隔板,一半沉淀泥沙,一半做集液箱。收集箱贵液用 300 mm 无缝钢管自流到贵液沉淀池进行二次澄清。紫金山金矿这样的堆场一般 2 ~ 3 a 更换一次聚乙烯薄板。一个这样规格的堆场造价包括征地约 150 万元。

4.3 矿石筑堆

常用的筑堆机械有卡车、推土机(履带式)、桥式吊车和皮带运输机等。紫金山金矿筑堆机械选用 20 t 重型汽车,破碎矿石采用一次性筑堆。筑堆高度 10 ~ 12 m。每堆长度约 150 m,宽度 80 m,体积 12.5 万 m³。松散矿石质量约 21 万 t。筑堆时间 8 d 左右。筑堆结束后,用推土机向四周推去堆场表面 0.5 m 厚的板结层,平整表面,并依次在堆场表面拉沟,增强喷淋液渗透性。

4.4 喷淋

矿石筑堆结束,就可以在堆场表面布置喷淋管道。喷淋主管道采用 40 mm 无缝钢管,支管用 25 mm 塑料管,堆场顶部表面采用摇摆式喷头,堆场四周边坡采用雨鸟式喷头。喷淋支管间距 4 m,喷头间距 3 m。喷嘴钙化以后,用 5% 的盐酸清洗,一般每年 1 次。

在堆浸喷淋开始时,堆场里氧的浓度处于饱和状态,这时金的浸出速率与喷淋液中 [CN⁻] 成正比。可以采用高浓度、大喷淋量来喷淋,提高金的浸出速率,采用 [CN⁻] 为万分之 10 左右的喷淋液连续喷淋,按这种方式喷淋 3 d 时间。随着喷淋工作

的进行,堆场中 [CN⁻] 逐渐上升,甚至达到过饱和状态,再增加 [CN⁻] 对金的浸出也没有促进作用。由于金的溶解是一个耗氧的过程,这时应适当增加一些充氧时间,对浸出是有好处的。可采用 [CN⁻] 万分之 5 到万分之 6 的喷淋液,喷淋 1.5 h 停 0.5 h,这种制度持续 10 d 左右。接下来采用喷 1 h 停 1 h 的喷淋制度,如场集 [CN⁻] 超过万分之 3,还可以降低喷淋液 [CN⁻]。1 个月以后场集金品位降至 0.3 g/m³ 以下,就可以采取喷 1 h 停 2 h 的喷淋制度。整堆喷淋量控制在 (1 ~ 2) m³/t 左右,喷淋前期(前 10 d)喷淋量大一些,中期喷淋量小一些,后期(后 10 d)喷淋量大一些,带洗堆的性质。

4.5 贵液吸附

堆浸贵液经富液池沉淀澄清后,采用我司自行设计研制的敞开式固定床静态吸附槽进行吸附作业,吸附率可达 94% 以上。吸附介质为椰壳活性炭,粒度 8 ~ 16 目,单系列吸附底炭量为 20 t。吸附后载金炭(金品位 4 kg/t 左右)送冶炼厂采用企业自行设计研制的无氰常压解吸装置解吸,贵液电解、冶炼获标准金锭。

4.6 洗堆与卸堆

喷淋结束后,堆场中还存在一定的 CN⁻ 和浸出的游离金。如果直接卸堆,不仅造成金的流失,还会影响环境。因此需要洗堆。洗堆一般用 pH = 8 ~ 10 的工业用水进行连续喷淋,检测场集溶液 [CN⁻] 和金品位,一般喷淋 2 ~ 3 d 时间,检测场集 [CN⁻] 小于 0.2 × 10⁻⁴、金品位小于 0.10 g/m³ 时停止洗堆。待洗涤液排尽后就可以卸堆了。

卸堆采用装载机铲装,汽车运输。第一次卸堆时,在堆场底部留 2 m 厚一层废渣,以保护底垫免遭破坏。

5 堆浸工艺生产实践

5.1 矿石粒度与堆浸浸出率的关系

降低堆浸矿石入堆粒度,可提高堆浸浸出率。就紫金山矿石而言,入堆矿石粒度从 -200 mm 降为 -80 mm,可以提高 4.08% 的浸出率,入堆矿石粒度从 -80 mm 降 -50 mm,浸出率仅提高 2.01%。综合考虑矿石破碎成本和设备的生产能力,入堆矿石粒度定为 -80 mm。

5.2 渗浸时间与堆浸浸出率的关系

延长渗浸时间,堆浸浸出率提高,但 NaCN 单耗也会增加。渗浸时间的确定一定要和其它经济技术指标综合分析后确定,尤其是堆浸尾渣品位与浸出

率关系更大。我矿现阶段渗浸时间约为 60 d 左右,包括筑堆与拆堆,一个堆浸周期约 75 d。

5.3 堆高与浸出率的关系

堆高也是堆浸工艺一个重要参数,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。据资料介绍,国外堆浸筑堆高度一般在 4 ~ 6 m,也有 15 m 以上,但它是分层筑堆。我矿目前筑堆高度一般确定为 10 m 左右。紫金山矿石氧化程度高,所以除个别堆场在堆浸过程中需要松堆作业外,一般可连续喷淋氰化液。

5.4 NaCN 单耗对堆浸浸出率的影响

NaCN 是金溶解的载体,NaCN 单耗成本占堆浸生产成本的 1/3 还要多。NaCN 单耗的高低,直接影响着堆浸回收率,见表 3。

表 3 NaCN 耗量对堆浸回收率影响的试验结果

堆场编号	吨矿喷淋量 ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	喷淋周期 /d	NaCN 耗量 ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)	浸出率 /%
F10104	1.291	57	0.1338	77.09
F20103	1.237	50	0.1527	79.61
F10202	1.188	60	0.1936	80.41
F40201	1.339	58	0.256	84.35

由表 3 可知,随着 NaCN 单耗的增加,堆浸浸出率有明显的提高。假设 F20103 堆场,吨矿综合效益

表 5 一车间堆场浸出速度试验结果

浸出时间/d		1	2	3	4	5	6	7	8	NaCN 单耗 ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)
F10102	控制[CN^-]/(1×10^{-4})	5.4	5.35	5.2	5.3	5.3	5.28	5.31	5.3	0.0351
	累计浸出率/%	1.24	6.42	12.73	18.22	24.55	29.77	33.92	37.46	
F70202	控制[CN^-]/(1×10^{-4})	9.14	9.4	7.43	4.66	2.13	2.81	1.67		0.0819
	累计浸出率/%	6.99	15.08	24.74	31.99	38.63	44.20	48.92		
F50201	控制[CN^-]/(1×10^{-4})	14.3	9.4	7.5	7.4	7.42	7.35	7.3	7.3	0.1426
	累计浸出率/%	5.38	11.99	19.35	25.67	32.91	38.3	43.27	47.8	

6.2 降低氰化钠消耗的几点经验

增加 NaCN 单耗,虽然可以提高金的浸出率,可以提高堆浸的回收率,但是 NaCN 单耗增加会给环保工作带来更大的压力,相应增加环保费用。因此,在确保堆浸回收率的前提下,如何降低 NaCN 单耗,是我们科技工作者需要研究的新课题。

根据金被氰化钠溶解的原理,浸出 1g 金在理论上约需 0.5g 氰化钠,而实际生产中氰化物的用量远比理论计算值要大,一般为理论值的 20 ~ 200 倍,大量的氰化物被矿石中其它贱金属消耗或者随水蒸发分解了。因此,要降低 NaCN 单耗,首先要保证保

指数为 0,其它堆场和其作比较,F10104 堆场为 (NaCN 为 11.53 元/kg,Au 为 80 元/g, $\alpha = 1.0\text{g/t}$) - 1.798 元/t,F10202 为 0.1684 元/t,F40201 为 2.601 元/t。

由此可知,堆浸回收率提高所带来的收益,除去氰化钠单耗增加所增加的成本外,还有非常可观的经济效益。

5.5 生产技术经济指标

2004 年紫金山金矿第二选矿厂主要经济技术指标见表 4。

表 4 2004 年第二选矿厂主要经济技术指标

项目名称	破碎洗矿系统	炭浸系统	堆浸系统
处理矿量/万 t	780.27	123.17	657.10
原矿品位/($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)	0.940	1.341	0.811
尾矿品位/($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)		0.1498	0.1508
回收率/%	4.893	88.83	81.40
处理成本/(元 $\cdot \text{t}^{-1}$)	3.247	8.692	5.518

2004 年紫金山金矿第二选矿厂综合选矿回收率 83.98%,选矿综合成本 17.742 元/t。在国内、国际黄金行业均处于领先地位。

6 几个技术问题讨论

6.1 氰化钠浓度与金浸出速率的关系

在堆浸喷淋初期,适当提高氰根控制浓度,可以大大提高堆浸金的浸出速度,其关系见表 5。

护碱的添加量,确保浸出液的 pH 值达到 10 ~ 11.5。

(1) 保护碱的选择及添加量。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,使金的氰化浸出处于最适宜的 pH 值 (pH 值 = 10 ~ 11),氰化时必须加入一定量的碱以调整矿堆(浆)的 pH 值,常将加入的碱称为保护碱。一般可选用苛性钠、苛性钾或石灰作保护碱。生产中常用石灰作保护碱,因石灰价廉。我矿堆浸以石灰调碱为主,苛性钠作辅助。以石灰作保护碱,当 pH 值 > 11.5 时,金的浸出速度明显降低,这可能是由于石灰与矿

堆中积累的过氧化氢作用生成过氧化钙的缘故;苛性钠或苛性钾作保护碱时, pH 值 > 12 以后,金的浸出速度也有所下降。为了加速金的溶解, pH 值一般必须保持在 10 ~ 11.5 之间。我矿生产实践表明,石灰用量控制在 0.5 ~ 0.6 kg/t 比较合适。

(2) 减少喷淋时间,提高喷淋强度。减少喷淋时间,提高喷淋强度,可以减少水分蒸发,可有效地降低 NaCN 单耗。每天喷淋时间对氰化钠消耗的影响见表 6。

表 6 喷淋时间对氰化钠消耗的影响结果

堆场 编号	喷淋周 期/d	平均喷淋 时 间 /(h · d ⁻¹)	吨矿喷淋量 /(m ³ · t ⁻¹)	NaCN 耗量 /(kg · t ⁻¹)	浸出率 /%
F10102	60	18.68	1.873	0.1726	80.158
F10103	53	15.07	1.817	0.144	80.83

(3) 加强生产过程监督和控制。根据堆浸生产每天 NaCN 的消耗量,及时调整 NaCN 的添加量和控制 CN⁻ 浓度,可以减少浪费,降低 NaCN 单耗。如图 2 所示,这是 F30201 堆场每天 NaCN 添加曲线和 NaCN 全堆消耗曲线对比图,1[#]线是 NaCN 添加曲线,平均用量 0.278 5 kg/t,2[#]线是 NaCN 消耗曲线,全堆平均消耗 0.193 0 kg/t。

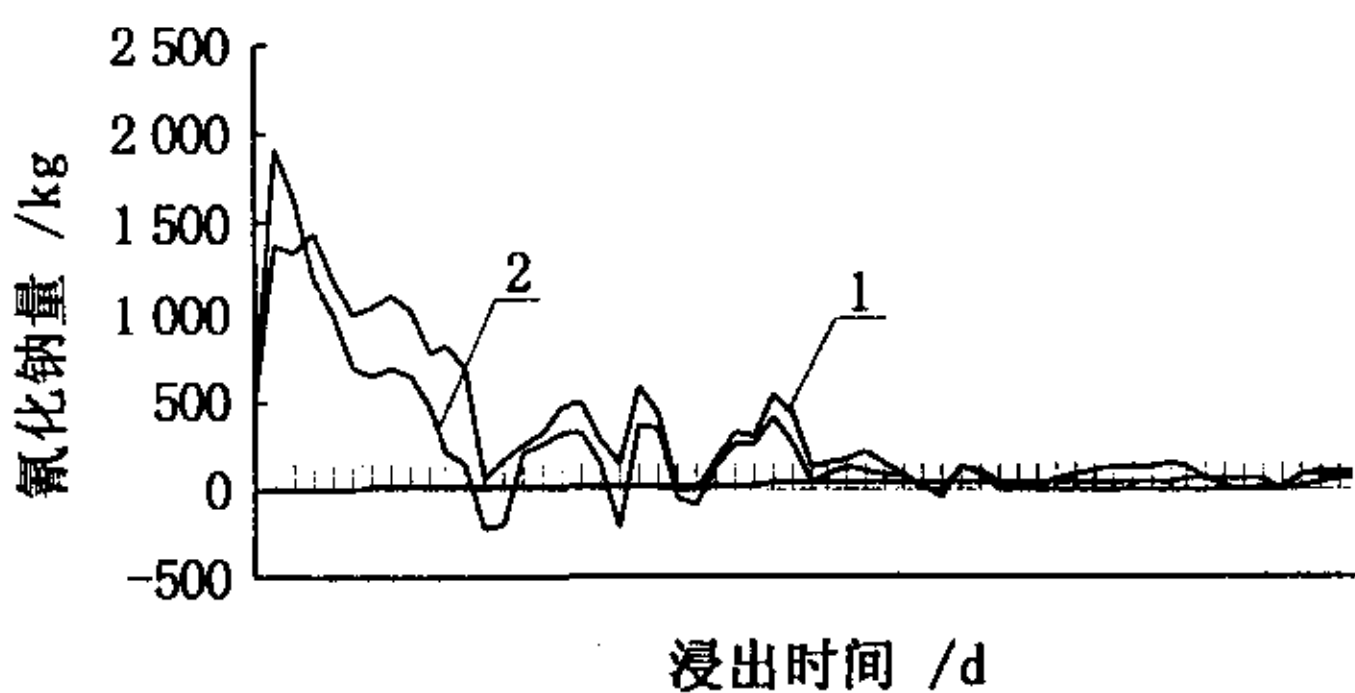


图 2 氰氧化钠消耗量与添加量对比曲线
1 - NaCN 添加曲线;2 - NaCN 消耗曲线

从图 2 可知,控制好堆浸第 7 d 至第 14 d 这段时间 NaCN 浓度对降低 NaCN 单耗至关重要。

6.3 废水、废渣处理与环境保护措施

在我国南方多雨地区,大规模推广堆浸法提金技术,紫金矿业开创了黄金生产的先河。多年来,企业一直把安全环保工作当作企业的生命线,始终坚持“安全第一,预防为主”和“开发与保护并举”的方针,强化动态管理,做到人员到位,制度到位,奖金到位,技术到位,设施到位,责任到位。

(1) 源头控制,清污分流,废水处理,达标排放。做好无氰水和含氰水的分流工作,含氰水循环使用或经处理后达标排放。紫金山金矿 3 个排污口均按规范化、高标准进行建设,安装了流量计、pH 值、氰根离子、铜离子在线监测仪进行处理和监测,实现了

废水达标排放,有效地保护了生态环境。

(2) 推广使用高陡松散边坡植被恢复技术。采用“分层治水,截短边坡,土壤改良,植物选择”工程措施与生物措施并举的快速植被恢复技术,并取得良好的治理效果。几年来矿区植草绿化面积 1 000 多亩,植树几万株,单单树种多达百种,美化了矿区环境。紫金山金矿已获准成为首个福建省工业生态旅游矿山。

(3) 全面推行尾矿干湿混排试验。尾矿干湿混排,可有效解决尾矿库容问题,节约大量尾矿库建设费用,避免了尾矿库安全问题,降低了运行成本。

7 结 论

(1) 紫金山金矿采用破碎(洗矿) + 重选 + 堆浸、炭浸复合工艺处理低品位氧化矿石,获得成功。特别是堆浸技术在我国多雨的南方地区创造性推广应用,取得了非常高的经济技术指标,有效地提高了地质资源利用率。在“科技创造紫金”理念指引下,紫金山金矿建矿 10 多年来,依靠自身的技术优势,不断创新,滚动发展,为我国黄金企业发展树立了光辉典范。

(2) 紫金山金矿自 2005 年以后,每年处理矿石量 2 000 ~ 2 100 万 t,分 3 个选矿厂进行不同矿石粒度,不同平均品位的氰化提金工业化生产。其中又以大型堆浸生产为主,每年处理矿石量达 1 600 ~ 1 700 万 t 以上。一般单个堆浸场的人堆矿石量 15 ~ 20 万 t,而三选厂更大型固体废弃物堆浸场可达到 20 ~ 30 万 t。紫金山金矿在大型矿石堆浸工艺设计、施工及应用方面多年来积累了丰富的经验。尤其是在年降水量 1 600 mm 的南方,做到清污分流,达标排放,保护环境等方面采取诸多措施,而使企业成为我国黄金系统首个工业生态旅游矿山。

(3) 紫金山金矿矿石含粘土等细泥占 10% 以上,所以,在矿石破碎流程中添加洗矿作业。洗出的含金细泥采用全泥氰化炭浸提金工艺,同国外含泥矿石一般使用制粒堆浸相比又有特色。制粒堆浸增加费用,且浸出率又没有炭浸法高。该矿根据入堆矿石品位的不同,有卸堆堆浸法与不卸堆堆浸法两种,前者一般入堆品位大于 0.7 g/t,后者入堆矿石品位小于 0.5 g/t。紫金山金矿堆浸的工艺技术指标优良,但仍有一些技术问题需要更深层次研究,以求取得更加优异的成绩,攀登更加辉煌的顶峰。

(收稿日期 2005-07-20)

文章编号 :1006-277X(2003)03-0012-03

大型堆浸金矿选厂自动化系统

欧 阳 伟

(南昌有色冶金设计研究院,江西 南昌 330002)

摘 要 : 对自动化在选矿工业中应用的意义进行了论述。结合堆浸选矿的工艺特点,介绍了金矿选厂自动化系统的构成和自动化系统实现的基本功能。

关 键 词 : 堆浸,数据采集,过程控制

中图分类号: TD928.9 文献标识码: C

Mine-selected Works Automation System of Large Scale Pile-immersed Gold Mine

OUYANG Wei

(Nanchang Engineering and Research Institute of Nonferrous Metal, Jiangxi Nanchang 330002, China)

Abstract : To discuss meaning of automation application on the mine-selected industry. According as feature of pile-immersed mine-selected technics, the configuration and main function of automation system in mine-selected are introduced.

Key Words : pile-immersed, data acquirement, process supervision

1 概述

矿山选厂过程控制和自动化的主要目的在于保持合适的选矿作业条件,稳定生产过程并力求生产过程实现最佳化,从而提高各项技术经济指标。主要有以下几方面的特点:

(1)提高金属回收率。实现选矿自动化,能及时了解选矿过程中的变化因素并采取措施,从而始终保持合适的作业条件,稳定地保持较高的回收率。一般选厂在采用载流成分分析和自动控制后,可使主要金属的回收率提高 1%~2%。

(2)改进精矿质量。通过选矿自动化系统,可以根据冶炼工艺的需要,在选矿过程中将精矿内的主要金属品位或其他指标(如水分)保持在预定值上,

从而有利于冶炼生产过程,提高选矿的效果和收益。

(3)提高选矿设备的处理能力。采用自动控制后,可以根据不同矿石性质所产生的不同后果,随时调节矿量,使设备在接近满负荷的状态下运行,从而使选矿设备的处理能力得到提高。有关资料统计,自动化的选厂可使选矿设备的处理能力提高 10%~15%。

(4)节约原材料消耗。采用载流成分分析,通过自动化系统实现在线控制选矿药剂的用量,可以减少选矿药剂的消耗量。

(5)节能。选矿过程实现自动控制后,可以缩短整个流程设备的起动停车时间,特别是碎矿系统正常连续生产时改逆流起动方式为顺流程起动方式,将大大减少选矿设备的无载运行的电力消耗,提

* 收稿日期:2003-05-24

作者简介:欧阳伟(1955-),男,江西宜春人,南昌有色冶金设计研究院副院长兼总工程师。

文章编号:1005-2763(2000)04-0014-03

低品位大矿块堆浸提金的实践

冉秀炳

(高龙黄金矿业有限责任公司,广西 田林县 533312)

摘 要:介绍了高龙公司利用露采剥离贫矿进行大粒度、大堆高的堆浸提金试验。试验获得了成功,各项技术经济指标达到了国内先进水平,为开发利用低品位贫矿提供了参考。

关键词:低品位;大矿块;大堆高;堆浸提金

中图分类号:TD853.38 **文献标识码:**A

The Practice of Heap Gold Leaching for Low Grade and Lump Ore

RAN Xiu-bing

(Gaolong Gold Mines Co. Ltd., Tianlin County, Guangxi 533312, China)

Abstract: This paper introduced the experiments on the large grain-size and high heap gold leaching of stripped lean ore from open-pit mining of Gaolong Co.. This experiment was successful and various technical and economic indexes had reached domestic advanced level such as to provide reference for the use of low grade ore.

Key Words: Low grade; Lump Ore; High heap; Gold leaching

为了突破大块度、大堆高、极低品位氧化矿石的堆浸工艺技术难题,各国金矿山都进行了大量的研究。广西高龙公司专门组织攻关小组,对该公司露采剥离低品位贫矿进行堆浸提金工艺技术研究,历时两年,获得了成功。单堆矿量 101225.0 t,堆高 21 m,原矿平均品位 0.43 g/t,尾矿平均品位 0.18 g/t,浸出率 58.14%,理论总回收率 54.47%,销售收入 176.38 万元,总成本 91.50 万元,实现利润 84.87 万元,利润率 48.12%。各项技术经济指标达到了国内先进水平。

1 矿山概况

高龙金矿有两个选矿厂和地采、露采两套采矿系统。氰化炭浆厂设计规模 500 t/d,原矿入选品位 3.88 g/t。堆浸厂设计规模 200 t/d,原矿入选品位 2.1 g/t。井下供矿 200 t/d,露天供矿 500 t/d。露采边界品位 0.70 g/t,块段最低工业品位 2.08 g/t,矿区最低工业品位 2.5 g/t,夹石剔除最小厚度 3 m。矿山投产以来,实际生产规模比设计规模大,1995~1998 年累计处理矿石量 203.13 万 t,剥离量 865.2

万 t,年产金量超过 1 t。由于生产规模的扩大,露采矿体又恰遇收缩部位,近两年每年的剥离量达 200 万 t 以上。剥离工程主要在矿体顶部和上、下盘围岩,而因矿体倾角较陡,上盘山体坡面较缓,从而增加了剥离废弃物。

该矿鸡公岩矿段矿岩破碎,矿体形态多变,断层、节理、裂隙发育,分支细脉较多,但又不形成工业矿体。矿体和围岩不易区分辨认,其间往往存在一个过渡带,位于过渡带的围岩因受到含金溶液的浸染或受矿体淋沥二次富集而获得金品位。试验的矿石类型有 4 种,混合筑堆。其中构造石英型矿石占总量的 7%~8%,构造角砾岩型矿石占总量的 72%~78%,硅化砂泥岩型矿石占总量的 10%左右,砂泥岩型矿石占总量的 8%左右。矿石平均氧化率为 70%~72%,矿石的主要成分见附表。

经取样观测,自然金最大金粒为 0.012 mm × 0.02 mm × 0.1 mm,最小显微金粒径为 0.0038 mm,其各粒级所占比例为:0.037~0.01 mm 占 21.64%,0.01~0.005 mm 占 73.03%,小于 0.005 mm 占 5.33%。自然金的赋存状态以粒间金产出为主,占

收稿日期:2000-01-27

基金项目:广西壮族自治区“九五”攻关项目

作者简介:冉秀炳(1960-),男,广西田林县人,高级工程师,主要从事采矿技术工作。

71.09%, 裂隙金占 10.66%, 包裹金占 18.25%。

附表 矿石的主要成分

Ag (g/t)	As (%)	Sb (%)	S (%)	Hg $\times 10^{-6}$ (%)	Pb $\times 10^{-6}$ (%)	Cu $\times 10^{-6}$ (%)	Zn $\times 10^{-6}$ (%)
2.24	0.1006	0.0323	0.1768	10.484	18.14	49.45	44.53

2 堆浸试验

在室内小型(浸泡)模拟试验的基础上直接进行工业试验, 便于缩短试验周期。本次堆浸试验分别在3个场地进行, 总堆矿量 26 万 t。由于矿区干旱缺水, 只有 1[#] 堆场结束喷淋, 2[#]、3[#] 堆场尚在待水浸出。现就 1[#] 堆场的操作及效果分述如下。

2.1 工艺流程

利用露采剥离低品位氧化贫矿, 即含金品位在 0.4~0.7 g/t 以下原作剥离废石的贫矿, 从剥离点爆破出来后不经过破碎、筛分、制粒、物化等任何处理, 直接用汽车运至堆场筑堆, 用石灰作保护碱, 氰化钠作溶金介质, 采用堆浸浸出, 活性炭吸附电解提金。尾矿不出堆, 经消毒净化处理后原地堆放。堆浸工艺流程如图 1 所示。

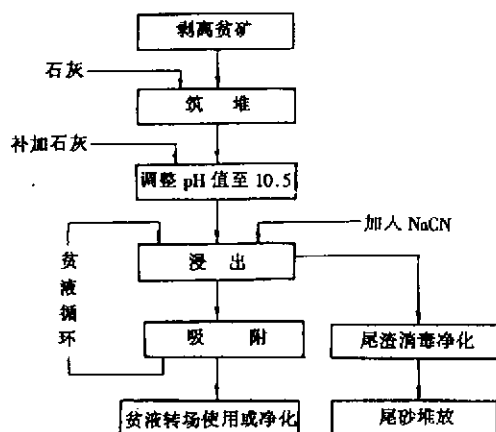


图 1 堆浸工艺流程

2.2 有关试验数据

矿堆总量: 64474.5 m³/101225.0 t;

矿堆平均高度: 21.0 m;

原矿样个数: 74 个;

原矿平均品位: 0.43 g/t;

总金属量: 43182.5 g;

尾矿样个数: 64 个;

尾矿平均品位: 0.18 g/t;

尾矿金属量: 18076.19 g。

在矿堆筑好后测量其体积, 然后根据矿石比重推算得出矿堆量。原矿取样根据不同岩性和金品位, 块矿与粉矿兼取; 尾矿样按矿堆剖面 and 布点打孔取样。经验证, 该堆场的原矿平均品位与原鸡公岩矿段地质报告的围岩品位基本一致, 尾矿平均品位与该场地的金属平衡数基本相符。经统计, 矿石各块度比例为: 0~5 mm 占 30%, 5~100 mm 占 20%, 101~200 mm 占 16%, 201~500 mm 占 15%, 501~1000 mm 占 12%, 1000 mm 以上占 7%。

2.3 场地平整

对堆场先用推土机进行底面平整, 再用人工进行边坡铲修。场地底面斜度 3%~5%, 底面平整后用 30 t 卡车碾压, 再用细砂铺填并压平, 边部用人工夯实。之后在压实的底面上铺上 10 cm 的粘土, 再用机械设备和石滚碾压。接着在场地集液沟前底垫下开挖一条 20 cm×20 cm 的防漏观察回收沟, 其外侧修筑贵液回流(集液)沟。防漏观察回收沟在场地最低处引出场外, 如有漏液时接入池内。

2.4 底垫边坡设计

从安全、经济、可靠角度出发, 底垫、边坡隔水层采用 8 m 宽的彩条布加一层 0.08 mm 厚的尼龙布作防漏衬垫。堆场底面在铺设的隔水衬垫上覆盖 800 mm 厚的细粒矿石, 以防止堆矿时矿块滚落冲击损坏衬垫, 集液沟同样用彩条布和尼龙布作隔水衬垫。靠场地边坡(帮)筑堆时, 先在坡面竖着挖槽, 然后镶嵌圆木, 旁边再用泥土填实, 然后用铁钉顺圆木把铺垫坡面的彩条布、尼龙布交叉固定在坡面上, 以免翻倒矿时, 铺垫被矿块压穿或压滑出现拉动损坏。

2.5 筑堆

公司采用东风 QE140 型 5 t 车和日野 15 t 自卸车运矿筑堆。筑堆分两层进行, 先在有保护层的底垫上筑高约 5 m 的矿层。第一层筑好后用堆土机或挖掘机翻松 1.5 m, 接着在原矿堆上再筑一层 16 m 高的矿堆, 堆高最终达 21 m。矿堆垒筑到设计高度后, 用推土机对顶部矿层翻松 1.5 m, 然后整形待喷。矿堆自然安息角为 56°。筑堆时根据矿块的大小和含泥量的多少进行搭配, 避免浸出时形成沟流, 发生偏析。

2.6 浸出吸附

矿堆布管前先在堆面上铺上一层 50 mm 厚的禾草, 这样既可以使淋液在喷淋时得到缓冲而形成滴浸状态, 还可起到均匀分散淋液并减少其挥发的作

用。喷淋浸出管网设计采用主管上水,支管分流,细管喷淋方法,提液采用 LS100-65-200、LS80-50-160 型水泵各一台,贫液池,防洪池有效容积为 350 m^3 ,喷淋器为硬质塑料水压推动旋转式喷头,喷头间距在矿堆顶面为 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$,在矿堆坡面为 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 。喷淋强度为 $10 \text{ L/h} \cdot \text{m}^2$,循环时间为喷淋 10 h,停喷透氧 3 h。CN 浓度前期 5‰ 共 20 d,中期 3‰ 共 60 d,后期 1‰ 共 90 d,浸出时间共 170 d。贵液吸附采用一浸一吸式。即在活性炭吸附柱前先通过一个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 沉淀池,使顺流下的泥沙沉淀,然后把沉淀后的贵液直接引入吸附柱呈沸动吸附,吸附后的贫液引入贫液池用泵再泵入矿堆浸出,循环使用。吸附柱用砖砌成,规格为 $\phi 1.4 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$,一组 4 个呈联通式,每柱装炭 1000 kg。吸附率最高达 100%,最低 72.5%,平均为 89.28%。

2.7 尾矿处理

浸出结束洗涤后,CN 浓度只有 0.04 mg/L ,溶液金品位下降至 0.001 g/t ,已无回收价值。用 10% 漂白粉溶液 500 m^3 进行循环消毒洗涤净化,之后经检查,CN 浓度已极低,浸出堆在原地存放。

3 试验结果

浸出周期为 222 d,其中停工待水时间 52 d,实际喷淋浸时间 170 d,浸出率为 58.14%。浸出曲线如图 2 所示。

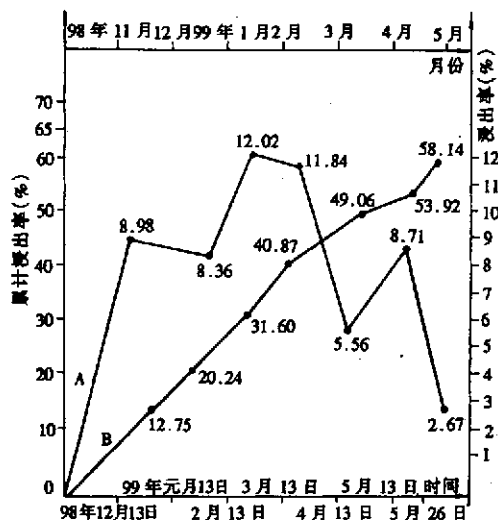


图2 1^号堆场堆浸浸出曲线
A—浸出率曲线 B—累计浸出率曲线

试验所取得的技术经济指标如下:

载金炭量 11 t;载金炭平均品位:2207.09 g/t;吸附回收率 96.70%;浸出金总量:25106.31 g;浸出率 58.14%;解吸率 94.45%;电解率 99.84%;冶炼率 99.36%;合质金量 2247.36 g;合质金成色 99.00%;实收率 52.15%;理论总回收率 54.47%;吨矿耗石灰 5.22 kg;吨矿耗钠 0.104 kg;吨矿耗电 1.11 kWh;吨矿耗水 0.05 t;吨矿耗漂白粉 0.001 kg。

产品销售收入:176.38 万元;总成本费用:91.50 万元;利润额 84.8 万元;利润率 48.12%;吨矿收入 17.42 元;吨矿成本 9.04 元;吨矿利润 8.38 元。

成本费用较低的原因除了技术因素外,直接因素有两个方面:一是矿石的爆破、装运费(每吨 3.80 元)未计入;二是尾矿不出堆,就地存放(出渣费每吨 3.00 元),如果把这两项费用计入成本,则该堆盈余仅 16 万元,属微利或盈亏持平状况。

4 几点体会

(1) 开发利用低品位剥离贫矿,对提高资源利用率有着积极的现实意义。该堆浸技术对红土型金矿和老矿山原掘进、削帮、采切废弃的低品位氧化矿渣的开发利用具有参考价值。

(2) 采用大块矿、大规模堆浸的关键是筑堆环节。堆场修整、底垫材料的选择和铺置、底垫保护、每层堆矿高度、块矿与粉矿的配比等都应认真施作,严格掌握。

(3) 采用大堆高,大矿块、低品位堆浸提金的单位矿石处理成本随着矿堆规模的扩大而下降。然而,堆场面积的大小是受自然环境和投资效益限制的;矿堆高度也不是越高越好,而应视所处理的矿石的“干净”(主要是含泥量)程度而定,矿石较“干净”,透水通氧性好,矿堆可高些,反之则应低些。

(4) 在黄金价格处于低迷状态下,对采用大矿块大堆高工艺处理低品位贫矿应持慎重态度。因为该工艺技术所处理的原矿品位很低,正常情况下会获取微薄的利润,而这点利润随时会因技术、管理或降价等因素而抵消,甚至亏损。因此,矿山在应用该工艺之前,一定要进行小型试验、中型试验,然后再过渡到工业生产,选取较合理的技术参数,以获取理想的经济效益和社会效益。

4 自动化系统主要功能

堆浸选矿自动化系统有以下主要内容:破碎系统连续生产线各设备的起停顺序和联锁控制;破碎系统矿石处理量自动监测统计;渣浆输送系统的变量调节控制;浓密机底流在线控制,确保进入炭浸的矿浆浓度满足工艺要求;炭浸槽自动充气提炭控制;各吸附系列自动充气提炭控制;堆场贵液流量、吸附系列流量及贫液喷淋流量的自动计量和工艺计算;贫液池 pH 值的自动检测,NaCN 的自动加药调节及计量;各堆场贫液喷淋实现自动调节控制;各生产车间用水用电统计和经济运行;全系统的设备状态监控、故障报警、历史趋势图显示及上位机画面监控;报表编制打印功能。

4.1 数据采集

来自过程检测仪表(电磁流量计、核子皮带称、核子浓度计、pH 值测定仪、CN⁻ 离子分析仪)的 4 ~ 20 mA 输出信号,由 FlexI/O 通过 DeviceNet 送入控制器,并存入数据表。数据刷新时间 2 ~ 4 s。这些数据作为编制报表、报警、显示以及进行过程控制的参量。

4.2 过程监督

监视过程运行的报警状态并打印报警信息;监视主要设备项目的运行时间,并总结在日报月报表中;制作运行报表,包括运行概况报表、选矿指标报表、分析品位报表、报警报表、综合运行报表,为管理部门提供选厂运行的详尽概念。

4.3 过程控制

(1)直接数字控制(DDC)。对于来自生产过程的数字信号按照编制的控制程序进行直接控制。该系统中如破碎设备的联锁顺序控制、炭浸和吸附系列的自动充气提炭控制以及破碎渣浆、堆场喷淋的变频调速控制。

(2)监督控制。根据过程检测仪表的输入信号,按照数学关系式进行的浮点运算结果改变模拟调节器或 DDC 回路的给定值,从而实现综合参量控制。如浓密机底流控制中根据底流矿浆浓度和流量的变化来自动控制底流阀门的调节,从而保证进入炭浸槽的矿浆浓度为 40%;以及炭浸、吸附系列自动加药过程中,按照贫液的 CN⁻ 离子浓度和 pH 值调节加药量。

4.4 过程研究

通过采用罗克韦尔软件编制的画面监控软件,可以从数据表中随时取出选矿工艺流程中的某一点的运行记录,以表格时间函数曲线、趋势曲线、流程图等形式在上位机上显示和打印,供专业人员进行分析研究,指导生产。

5 结束语

紫金山金矿选厂自动化系统投入使用 1 年来,运行稳定,满足了工艺控制的要求,给生产部门提供了及时准确的数据报表,促进了矿山生产的管理。为矿山生产降低成本、提高设备运行效率和劳动生产率创造了条件。自动化系统的成功实施,为紫金矿业实现信息化管理迈出了重要的一步。

(上接第 27 页)

(5)加强对备件和轧辊的质量验收,确保备件和轧辊的加工质量。

4 结语

通过对 HRB335 热轧带肋钢筋裂纹主因采取措施后,冷弯裂纹在一个月内得到消除,2001 年 11 月份以后合格率均稳定在 99.2% 以上,没有出现因裂

纹问题的用户异议。为了进一步改进 HRB335 热轧带肋钢筋质量,建议淘汰目前横列式轧线,建一条连轧线,并对冶炼改到即将投产 110 t 新转炉上进行,进一步增强 HRB335 热轧带肋钢筋产品市场竞争力。

(英文翻译 卢宏)

提高堆浸金回收率的生产实践

李少元

(广西田林县高龙黄金矿业有限责任公司)

摘要:为了提高高龙金矿矿石堆浸提金回收率,分析了原堆浸提金生产工艺存在的问题,在生产实践中对工艺进行了改进,加强了堆浸提金各工艺环节的管理工作。通过一年来的生产实践,堆浸提金回收率由原来的60%左右提高到80%左右。

关键词:堆浸;金回收率;改进

中图分类号:TD953

文献标识码:B

文章编号:1001-1277(2004)06-0045-03

堆浸作为氰化提金方法之一,由于其建厂投资小,见效快,生产成本低,生产工艺简单,操作简便,技术容易掌握,规模可大可小,机动灵活,适应性强,尤其对低品位氧化矿石,堆浸提金具有独特的优势,而被世界各黄金生产企业采用。我国自20世纪70年代引进堆浸提金工艺以后,该工艺得到了迅速的发展,但堆浸提金回收率普遍比发达国家要低10%~30%^①,且处理的原矿品位比国外普遍要高。同时由于各金矿矿石性质的不同,及其各矿山的管理水平和工艺操作不规范,再加上许多选厂对堆浸工艺认识不够,以为工艺简单,易于操作,而忽视了对工艺加强管理、严格控制工艺条件和技术研究改进工作,这样使各矿山的堆浸提金回收率参差不齐,普遍都较低,大部分停留在45%~70%之间^①。为此,如何选择适合各自矿山矿石性质的选矿工艺条件,并在生产中获得比较高的金回收率非常值得研究与探索。

高龙金矿地处桂西北高龙乡,是一座年处理矿量为80万t左右的中型矿山。其选矿工艺设计分为两个部分,露天采矿场品位大于3g/t的矿石用汽车运往选厂进行全泥氰化提金;品位小于3g/t的矿石原地堆浸。堆浸生产从1989年建矿以来,一直是高龙金矿的主要选矿方法之一。尤其是到2003年1月后,由于井下开采资源的枯竭,堆浸提金成为高龙金矿的唯一选金方法,但自投产后堆浸提金回收率曾一直为60%左右。因此,如何提高堆浸提金回收率,以及如何提高公司的经济效益成为公司堆浸生产的主要研究课题之一。

1 矿石性质

矿石中主要脉石物为石英、水云母、高岭石等。

主要的金属矿物有褐铁矿、黄铁矿、毒砂、辉锑矿、黄铜矿及方铅矿等。其中石英为34%~98%,水云母和高岭石为2%~60%,褐铁矿含量为1.4%~7.9%,黄铁矿为0.063%~1.5%,且含有部分粘土质矿物。矿石属高硅铝、富钾镁质矿石。矿石中Cu, Pb, Zn, Sb, Mo, S, As, Ag元素含量均较低。

矿石结构主要有细粒碎屑结构、挤压破碎结构、粒状结晶结构、包含结构、交代结构。矿石构造为层状构造、角砾状构造、浸染状构造、脉状构造、疏状构造、孔隙状—蜂窝状构造等。

金矿物以粒状、片状、树枝状的微细粒嵌布于矿石中。其最大粒度为0.12mm,最小的显微金粒度为0.0038mm;其中0.037~0.010mm占21.64%,0.01~0.005mm占73.03%,小于0.005mm占5.33%;金主要以粒间金产出,其含量占71.09%,裂隙金占10.66%,其它占18.25%。

从对矿石性质分析可知该矿石中金矿物微细,且矿石中含有大量的高岭石及部分矿泥,不利于堆浸提金。

2 原堆浸工艺及指标

该矿原设计露天采矿金品位在3g/t以下的矿石进行堆浸提金,以充分利用黄金资源增加黄金产量,同时提高企业的经济效益。原设计入堆原矿金平均品位为2.142g/t,浸出率为42.08%,吸附率为99%,总回收率为41.66%;生产工艺条件为:pH值大于11;氰化物质量分数浸出初期为2.08%~0.1%,中期为0.05%~0.08%,后期为0.03%~0.05%;喷淋强度为4L/(t·h),喷淋时间为2.5~3个月,氰化钠用量为3~0.5kg/t,石灰用量为4.5~5kg/t,浸堆高为2~

收稿日期:2004-01-28

作者简介:李少元(1969-),男,工程师,主要从事矿物加工技术及管理工工作;广西田林县高龙黄金矿业有限责任公司选矿厂,533312

①地矿部金矿堆浸中心.选冶堆浸提金新技术.1993.

4m,年堆浸次数为3次。原堆浸工艺流程见图1。

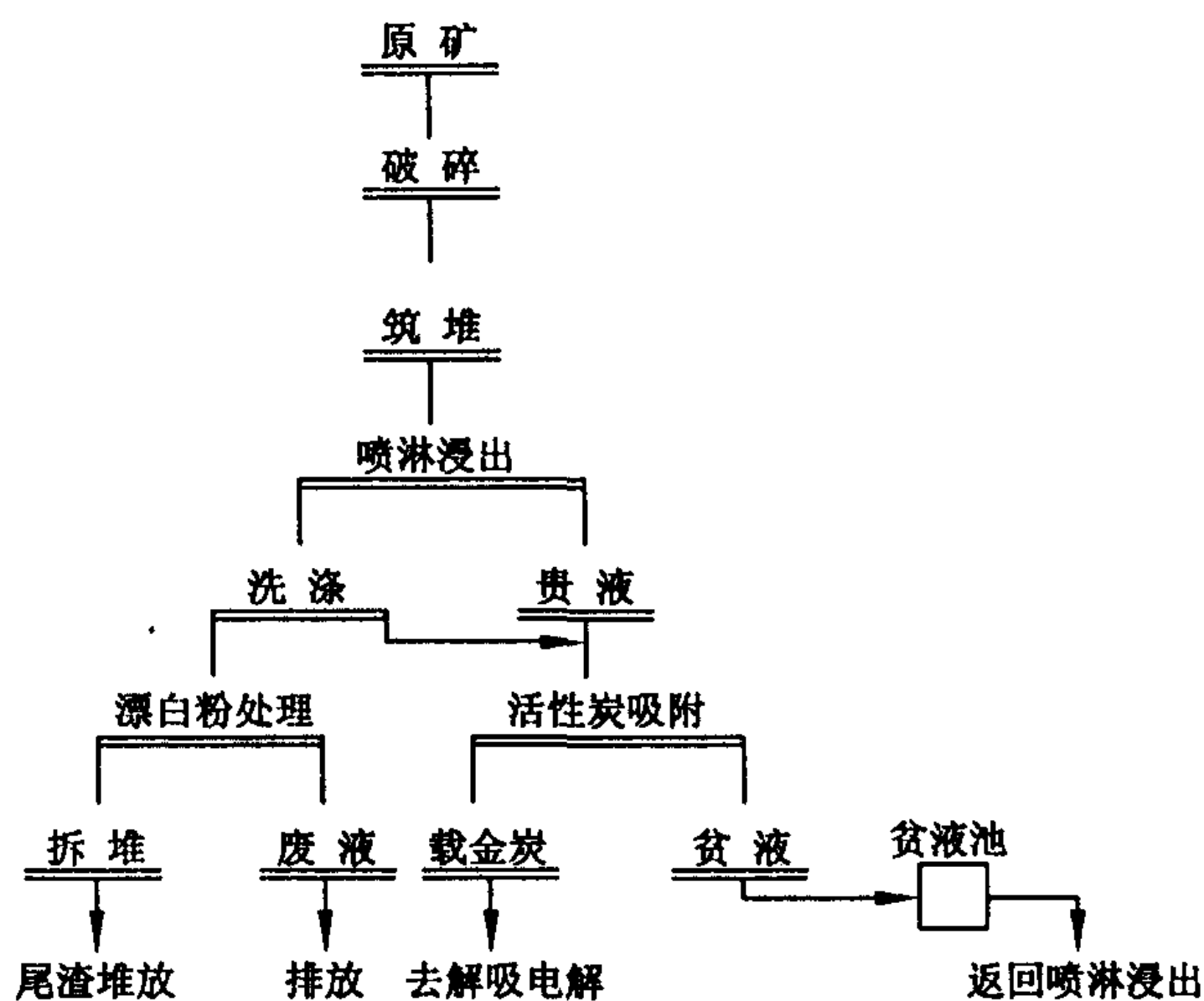


图1 堆浸吸附工艺流程图

3 原生产存在的问题

十几年来经过员工们的共同努力,虽然堆浸金回收率得到逐步的提高,提高到60%左右,氰化钠用量逐年减少到50g/t,堆浸周期也缩短,但同时在具体工艺操作中由于某些环节的减化,管理不到位,也暴露了许多问题。

(1)随着生产的逐年进行,资源逐年减少,入堆矿石金品位逐年下降,已下降到0.8g/t左右。为了降低生产成本,许多单位都用采后原矿石直接入堆,矿石入堆粒度很大,远远达不到小于50mm粒度的要求;浸出周期缩短,在短期内溶金浸出剂不能及时地渗入矿石中与金矿物发生反应,从而影响了金的浸出。

(2)矿石含泥量相对较高,上堆堆高一般在7m左右时,浸堆渗透性不好。喷淋时在矿堆上形成许多水池和沟流现象,影响了金的有效浸出。

(3)保护碱浓度调得不合适,普遍比较高,pH值大于12,有时到14以上,严重影响了金的浸出速率;有时初始加氧化钙不够,加完药后又补加,为了能尽快提高保护碱浓度,操作工用水迅速把石灰冲入浸液中,浸出液成白色;另外在氰化浸出之前就在吸附柱中装满了活性炭,从一开始调pH值时高碱高钠的浸出液就直接与具有高活性的活性炭接触,如此一来,使得活性炭表面很快结一层钙垢,严重影响了活性炭对金的吸附活性,甚至停止吸附。

(4)为了节约生产作业时间,尽快出金,有时上完矿后没有很好地调整pH值或进行碱预浸,有的甚至堆完、安好喷淋装置后直接加浸出剂进行氰化浸出,因此不能消除矿石中有害杂质的影响,而影响了矿石

中金的浸出;同时大量有害杂质离子进入浸出溶液中被活性炭首先吸附,也影响了活性炭对金的吸附。

在生产中以上几点大大地影响了堆浸金回收率的提高。

4 工艺改进及生产实践

针对堆浸提金生产中存在的以上问题,在生产实践中采取了以下改进措施。

首先加强采矿管理工作,提高原矿的入堆品位;增加原矿破碎工序,减小矿石的入堆粒度,使其入堆原矿粒度保持在50mm以下。

改进堆浸生产工艺。改原来的一次性筑堆、浸出、卸堆为分层筑堆、分层喷淋、边筑边喷的生产工艺。即在精心铺好的底垫上先筑堆高3m左右,筑好一半后就进行喷淋装置的安装,进行调碱预浸、喷淋、吸附;另一半继续进行筑堆,筑好后此时前半堆已喷淋了20d左右,贵液品位下降到 $0.2\text{g}/\text{m}^3$ 以下,于是把前半堆的喷淋装置转移到后筑好的半堆上进行调碱预浸、喷淋。在前一半已经浸出过的矿堆上对矿堆进行松矿,然后继续筑堆,如此反复,周而复始,直到整堆堆高对底垫的压强接近该底垫的极限值,以尽量降低堆浸成本。

喷淋前先调节浸金溶液的pH值,并对矿堆进行预浸,最后使其pH值稳定在10左右后,在浸液中加入氰化钠,保持浸出液中 CN^- 质量分数在0.01%~0.03%。

在调节pH值预浸或者是补加氧化钙时浸金溶液不经过活性炭,使其直接进入贵液池中。在矿堆上铺毛草,使浸出液能均匀地渗入矿堆中,也防止了矿堆表面矿石结垢。

加强喷淋的管理工作,尽量使喷淋均匀、到位,及时消除喷头不转的现象。

通过采取以上措施,消除了以前堆浸提金普遍出现的矿堆表面积液和沟流现象,浸金液能及时均匀地渗透矿堆,同时由于每次筑堆都不高,增加了矿堆的透氧性,提高了金的浸出率,其次是旧矿堆不卸堆,松矿后直接在原矿堆上上矿,在此过程中,由于原矿堆没有洗矿,矿堆内残余有大量的氰化浸金溶剂,以及适宜的保护碱,再加上松矿后大量氧的渗入,经过上矿期间的长时间渗透作用,浸金剂慢慢的而又十分彻底地渗透到矿块里,使原本不能很快地浸出的那一部分金得到有效的溶解,并随着下一次的喷淋而得到浸出。经过反复如此的浸出作业,从而提高了整堆矿石金的累计浸出回收率。

另一方面,由于在调节浸金液pH值和矿堆预浸过程中浸液没有经过活性炭,避免了预浸时有害杂质

离子对浸出的影响,同时也避免了有害杂质离子首先被活性炭吸附,也消除了高碱高钠时,活性炭表面结钙垢的现象,使活性炭能首先直接与含有高浓度金的贵液接触,从而使已浸出来的金能得到及时的吸附,大大提高活性炭对金的吸附率,并且减少了由于活性炭吸附不好,高品位的贵液在矿堆中的循环,使氰化浸金的化学平衡向有利于金浸出的方向移动,从而提高了金的浸出率和回收率。

通过一年来的生产实践,堆浸金回收率从刚开始 60%左右的浸出率,提高到整堆累计金回收率达 80%的好指标。

5 结 语

(1)加强采矿管理,尽量减少矿石贫化,提高原矿

Increasing gold recovery in heap leaching practice

Li shaoyuan

(Gaolong gold Mining Ltd., Tianlin County of Guangxi Zhuangzu Autonomous Region)

Abstract: To increase gold recovery in Gaolong heap leaching plant, the problems with the initial process were studied, and from where effort was made in improving the process. Through one year long production with the improved process, gold recovery has been lifted from 60% up to 80%.

Keywords: heap leaching; gold recovery; improving

(编辑:李玉敏)

+++++

中金金鑫黄金交易中心在郑州开业

2004 年 5 月 26 日,由中金黄金股份有限公司和金鑫珠宝有限公司联合推出的“中金金鑫黄金交易中心”正式运营交易。交易中心的正式运营成为个人黄金投资时代真正开始的一个标志,为个人黄金投资者提供了快捷、便利的渠道。

中金股份有限公司董事、副总经理麻伯平与金鑫珠宝有限公司总经理年永安、河南省黄金协会会长崔建国、河南省宝玉石协会会长刘长秀、郑州市工商管理局副局长陈彦等有关领导出席开幕式。

中金金鑫黄金交易中心的成立,改变了黄金交易人的身份限制,同时打破了目前黄金交易量的底线,最小交易量仅为 10g,有效地调动了个人炒金的积极性。交易中心设在郑州市金鑫珠宝城内,厅内设有上海黄金交易所实时报价显示屏,投资人可随时看到上海黄金交易所所有报价。

中金金鑫黄金交易中心目前主要开展的业务为:黄金现货交易,交易品种为中金牌金条和金锭;最小交易量为 10g;以上海黄金交易所当时挂盘的卖出价或买入价为申报价;提取少量的交易手续费。办好相关手续后即可进行实物交割。

黄金远程交易,投资者先在“交易中心”开设账户,即可进行黄金交易。交易品种为中金牌达到国标的一号金和二号金的金条和金锭,最小交易量为 1kg,可在金鑫公司指定区域现场交易,也可在其它地点电话下单。

旧金回收,以上海黄金交易所即时金价进行回收,即可兑换现金。

据中金金鑫黄金交易中心提供的数据显示,当日交易中心远程交易量达 20kg,最低交易量为 1kg,投资者需付千分之二交易费;现货交易量为 25kg 中金金条,交易费为 5%;旧金回收量近 32kg。第一名成交者,按当时金交所即时金价每克 103.78 元计算,减手续费 5%。

以上数字表明,个人炒金的市场很大。据了解,为了更好地促进全国各地个人黄金投资市场,中金黄金股份有限公司将于不久在各大中城市相继推出这种合作业务。

(转自中国黄金协会网)

综述

用硫代硫酸盐替代氰化物作为提金工艺中的一种浸出剂——问题与障碍

D·M·穆尔等

摘 要 硫代硫酸盐是一种很有吸引力的替代氰化物用于浸出金矿石的试剂。它的价格比较便宜并且又是无毒的,与金和银能生成比较稳定的络合物,在氨溶液中并在 Cu(II) 的催化作用下很易从金矿石中浸出金。它特别适用于处理那些用氰化法处理时浸出率很低的碳质矿石。然而,过去 20 年间的研究结果表明,在一个完整的工艺过程被证明用于处理典型的金氧化矿石是切实可行和经济合理以前,还有很多问题和障碍都必须了解清楚和设法解决。本文评述了当前对硫代硫酸盐的化学性质和溶解金机理的认识情况,并论述了硫代硫酸盐和连多硫酸盐 $\text{M}_2\text{S}_x\text{O}_6$ 的稳定性。接着又对文献中报道的用于浸出各类金矿石的结果进行了评述,还论述了金的回收方案选择和分析了环保与毒性问题。需要作进一步研究的几个问题,包括降低 Cu(II) 或其氧化剂对硫代硫酸盐的氧化作用、与氰化物相比还需提高金的浸出率、以及了解在不同矿石之间金回收率的变化情况。还需进行一些试验研究工作,以便在用离子交换树脂或其他吸附剂回收金时,尽可能减少连多硫酸盐对金回收率的影响、改进从树脂上洗提铜和金的工艺以及试剂的再循环使用或尽可能降低试剂的浓度。

关键词 硫代硫酸盐 氰化物 金的浸出

概述

过去 25 年间,黄金工业部门一直都在寻找其他可用于从低品位矿石中浸出金的试剂。氰化物存在着成本和处理问题,以及从碳质矿石中金浸出率很低、对于铜矿物缺乏选择性、处理含氰废渣的费用高等问题。在有些情况下它们都是使得氰化法没有吸引力的实际因素。在一些环境敏感地区,在处理氰化物溶液和含氰废液过程中还发觉和切实存在着一些环境影响问题,这些都已影响到黄金工业的可持续发展。

与其他工业部门(例如铜和石油工业)相比,黄金工业还有着良好的记录。很少有人知道,采金工业部门使用的氰化物仅占世界总耗量的 13%。而且,尽管在处理金矿石过程中广泛地使用着氰化物,但北美的采金工业部门在过去 100 多年间,只有 3 次死亡事件归因于氰化物的毒性。应该记起的是,在过去 25 年间全世界发生过 14 次重大事故,其中 10 次涉及尾矿坝事故、2 次是由于管道损坏、2 次是运输事故。

为此,黄金工业部门一直都在认真地寻找更安全和更洁净的浸出剂,它们不仅能满足化学方面的要求,而且还能符合毒理学和环保的要求。Sparrow 和 Woodcock 列出了包括连多硫化物和各种有机化合物在内的 25 种以上可能的试剂类型,但只有几种引起认真的重视。其他几种被认真地考虑过用于提

金工艺的试剂,包括氯、溴、碘、硫氰酸盐、硫脲、硫代硫酸—氨和氨—铜氰化物。需要指出的是,所有能与金生成稳定络合物的试剂,在一定的氧化还原电位(E_h)范围内都能浸出金(表 1)。硫代硫酸盐能与金生成最稳定的络合物,虽然严格地说这与氰化物还没法相比。

表 1 各种金络合物的稳定性常数

金的化合物	LogK [*]	标准电位(V)
Au(CN)_2	38.3	-0.67
Au(SCN)_2	16.98	0.66
Au(SCN)_4	10	0.64
AuCl_4	25.6	1.00
AuBr_4	32	0.85
AuI_4	47.6	0.56
$\text{Au(NH}_3)_2^+$	26	0.16
$\text{Au(CS(NH}_2)_2)_2^+$	23.3	0.38
$\text{Au(S}_2\text{O}_3)_2^{2-}$	26.5	0.15

※温度 25℃,离子强度 = 1.0

最初是在 20 世纪 70 年代,美国就进行过很多关于利用卤素体系浸金的研究与开发工作,同时还进行了少量的利用硫脲和硫代硫酸盐体系浸金的研究工作。然而,卤素已被证明对其他有用矿物的反应活性太强,并且价格也很贵而没法采用。进入 20 世纪 80 年代,注意力就更多地集中在利用酸性的 Fe(III) -硫脲(浸出)体系浸金,并且在澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)和默多克大学,都完成了一些重要的研究与开发项目,研究了利用硫脲浸出和回收金的可能性,以及硫脲的降解问题。到

了 1991 年,硫脲被列为是一种潜在的致癌物,并被认为是太危险了,因而对它也就不再感兴趣。后来又对硫代硫酸盐感兴趣,主要由于它在酸性的 Fe(Ⅲ)溶液中的不稳定性。

最近,世界黄金工业的注意力已转向用硫代硫酸盐-氨溶液作为一种比较便宜和无毒的浸出剂。过去 20 年的研究和开发工作,大多集中在探索碳质矿石与铜-金矿石的处理方法,因为这些矿石在用氰化法处理时回收率很低,或是氰化物的耗量很高。进行过一些达到半工业规模的试验,以考查利用硫代硫酸盐替代氰化物作为浸出剂的可能性。这倒并不是因为出于对使用氰化物有特殊的环保、或健康与安全方面的因素,而是由于氰化物不能有效地从某些类型的矿石资源中浸出金。

然而,对新的金矿工程项目提高了审查管理的力度,和降低了排放含氰废液的允许标准,这对黄金工业的发展有着很大的影响。可以预计,在世界的某些地区,审批任何一个使用氰化物的新的黄金项目都将是相当困难的。在这种情况下,因使用氰化物而需支付的政策性费用和环保费用将会很高。所以,研制一种经济和环保上都可行的、不使用氰化物的提金工艺方案是很有必要的。

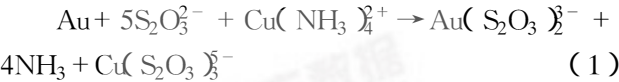
可惜的是,至今还没有一个完整的使用硫代硫酸盐处理典型的氧化矿石的工艺流程,已进行半工业试验或作过成本核算。因此,澳大利亚矿业研究协会(AMIRI)已同意资助“金矿处理工艺研究项目”(P420 项目)。这个无氰浸出剂提金工艺项目,其目标就是研制出一种使用硫代硫酸盐作为浸出剂,从典型矿石中浸出和回收金的完整的工艺流程。为此,在默多克大学和在 Parker 科研协作中心工作的联邦科学研究与工业组织矿物研究室的科研人员,都在研究浸出过程的动力学和作用机理,试验研究各种简单和复杂金矿石的浸出效果。他们还研究过从硫化矿物中就地产出硫代硫酸盐,以及使用各种离子交换树脂吸附和解吸金的硫代硫酸盐络合物。

本文分析了在有关文献中已报道过的,关于在用硫代硫酸盐浸出金的各项研究中发现的一些问题,以及在制定一种用硫代硫酸盐替代氰化物的技术上可行和经济上合理的工艺流程以前,必须克服的某些障碍。主要论述的只是由本文作者和 Parker 科研协作中心的其他研究人员,在最近 3 年间完成的并已公开发表的一些研究结果。

1 硫代硫酸盐的化学性质

1.1 金的浸出机理

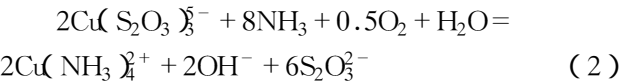
在有 Cu(Ⅱ)存在的条件下,在硫酸盐-氨溶液中,金属金能氧化成亚金离子(Au⁺),虽然肯定还存在着一种比较复杂的机理,并且还需作进一步的调查研究,但这一反应可简单地表示如下:



在与 10⁻³ mol/L Au(Ⅰ)平衡的条件下,金的氧化反应大约是在 0V 电位时发生的。

Cu(Ⅱ)在其浓度约为 10⁻³~10⁻⁴mol/L(60~6 ppm)时,对于这一反应来说它是一种催化剂,并可认为有一种氧化剂(氧)存在,使 Cu(Ⅰ)再氧化成 Cu(Ⅱ)。

氨溶液中的 Cu(Ⅰ)-Cu(Ⅱ)氧化还原对与硫代硫酸盐之间氧化还原电位的平衡,可用下列反应式表示:



在很稀(0.1 mol/L)的硫酸盐-氨溶液中,Cu(Ⅱ)被硫代硫酸盐迅速地还原成 Cu(Ⅰ),并且确定了一个 Cu(Ⅱ):Cu(Ⅰ)的平衡比,其数值取决于氨和硫代硫酸盐以及溶解氧的相对浓度。取决于试剂成分和溶液中存在的主要组分,算出这一氧化还原对的标准电位在 0.14~0.36 V 之间(表 2)。然而,在没有 Cu(Ⅱ)存在的情况下,硫代硫酸盐就被还原成硫化物离子,并产生 Cu₂S 沉淀。

表 2 Cu(Ⅱ)的 NH₃ 络合物/Cu(Ⅰ)的硫代硫酸盐与硫代硫酸盐/连四硫酸盐氧化还原对的标准电位

氧化还原对	标准电位/V
Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ /Cu(S ₂ O ₃) ₃ ³⁻	0.22
Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ /Cu(S ₂ O ₃) ₂ ²⁻	0.14
Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ /Cu(S ₂ O ₃) ₃ ³⁻	0.36
Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ /Cu(S ₂ O ₃) ₂ ²⁻	0.27
S ₂ O ₃ ²⁻ /S ₄ O ₆ ²⁻	0.12

图 1 示出了在硫代硫酸盐和氨溶液中铜和金的所有的组分分布和 Eh-pH 图,而图 2a-c 则示出了在硫代硫酸盐稀溶液(0.1 mol/L)中,pH、Eh 和 NH₃ 浓度对铜组分分布率的影响。由图 2 可清楚地看出,对于稳定 Cu(Ⅱ)和浸出金来说,在使用很稀的试剂溶液时,最佳的 Eh/pH 区域非常狭小。在含有 5·10⁻⁴ mol/L Cu(Ⅱ)的 0.1 mol/L NH₃/S₂O₃²⁻ 溶液中,最佳的 pH 值大约为 9~10,最佳的

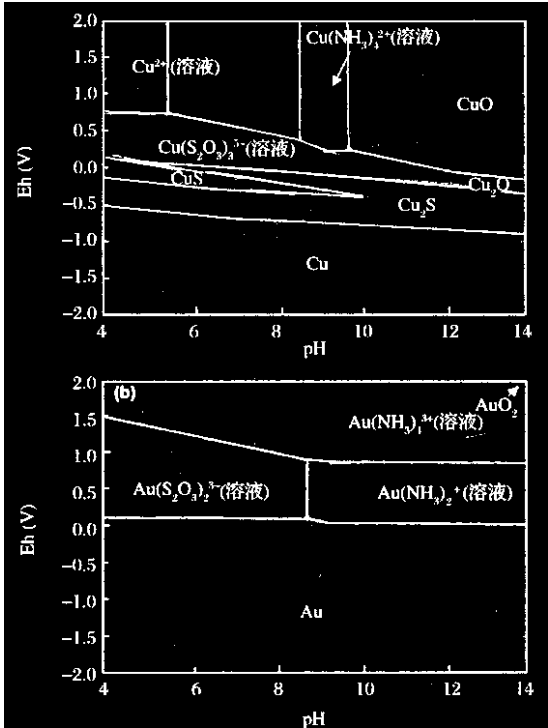


图1 在低浓度试剂溶液中的 Eh-pH 图
(a) Cu-NH₃-S₂O₃²⁻ 体系 (b) Au-NH₃-S₂O₃²⁻ 体系
(条件 5·10⁻⁴ mol/L Au 0.1 mol/L S₂O₃²⁻ 0.1 mol/L
NH₃/NH₄⁺ 5·10⁻⁴ mol/L Cu²⁺)

Eh 值大约在 300 mV 相对标准氢电极电位。在更高的 pH 和 Eh 值时,有一部分铜就会以黑铜矿(CuO)形式从溶液中沉淀出来,但随着 NH₃ 浓度的提高,这种沉淀物又会再溶解。改变氨的浓度会明显地影响到组分的分布率和在平衡中 Cu(II):Cu(I)组分比例。因此,与使用氰化物时相比,在使用硫代硫酸盐浸出时必须更严格的控制浸出条件。

1.2 金的浸出动力学

以 Jeffrey 为首的科研小组最近发表的一系列论文,论述了用硫代硫酸盐-氨溶液浸出金和银的动力学和电化学反应,并将这种试剂和其他几种浸出剂,如氰化物和氯化物/次氯酸盐进行了比较。一般说来,使用含有 10 mmol/L Cu(II)和 0.4 mol/L NH₃ 的 0.1 mol/L 硫代硫酸盐溶液浸出时,浸出速率类似于在使用空气饱和的 5 mmol/L 氰化物(250 ppmNaCN)溶液时的浸出速率,但比使用 5 mmol/L 次氯酸盐溶液时的浸出速率要明显慢得多。浸出速率取决于 Cu(II),硫代硫酸盐和氨的浓度,并且在使用较高浓度的试剂时浸出速率要更快一些。遗憾的是,这种试剂的降解作用也很快,并且也还发现,在试剂陈化时由于某些尚未查明的反应产品使金表面钝化,致使浸出速率明显降低。

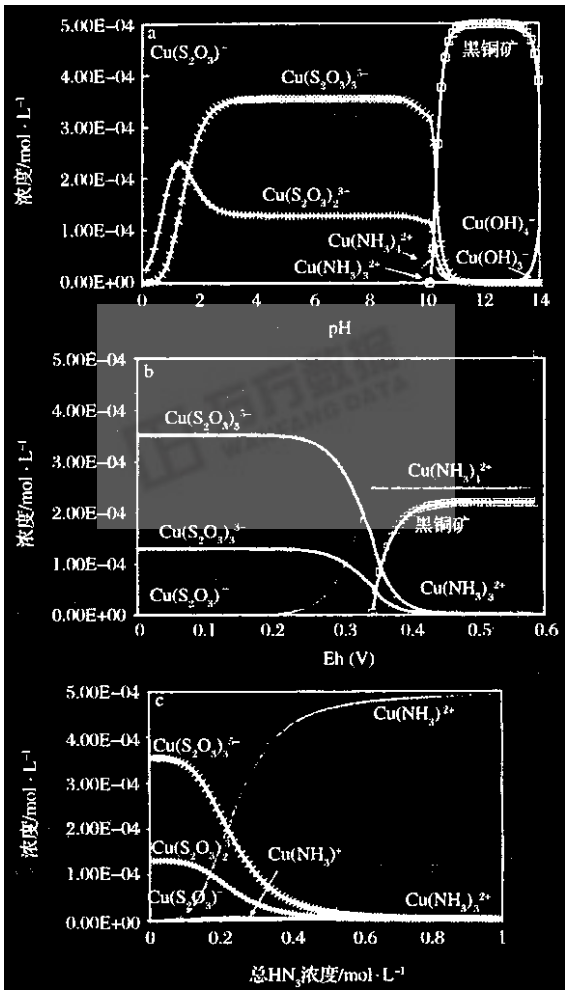


图2 pH(a) Eh(b)和 NH₃ 浓度(c)改变时,在 5·10⁻⁴mol/L Cu, 0.1 mol/L NH₃/S₂O₃²⁻ 溶液中的组分分布图

在稀的浸出剂溶液中使用一种转盘电极研究金的溶解速率时, Aylmore 和 Rae 发现,溶解速率随着 Cu(II)的加入量(直至达到 0.1 mol/L)而提高(图 3)。他们还发现,使用等摩尔的氨和硫代硫酸盐时浸出速率相当慢,但在加入一些氨以后就明显加快(图 4)。然而,加入 0.01 mol/L 连三硫酸盐和连四硫酸盐,对浸出速率都只有着很小的影响。

显然,金的浸出动力学和机理都是很复杂的,并且是受化学反应所控制的。然而,似乎还没有证据表明金的表面完全被钝化,并且也没找到很重要的理由,能说明为什么使用硫代硫酸盐不能达到与氰化物同样的金总回收率,倘若金已是被解离的。

1.3 硫代硫酸盐的稳定性

在水溶液中硫代硫酸根是一种很易发生化学分解的亚稳定态阴离子。影响硫代硫酸盐稳定性的因素有溶液的 Eh 和 pH 值、铜的存在、代谢硫的细菌存在以及暴露在紫外光下面等。

图 5 示出了亚稳态的 S-H₂O 体系的 Eh-pH

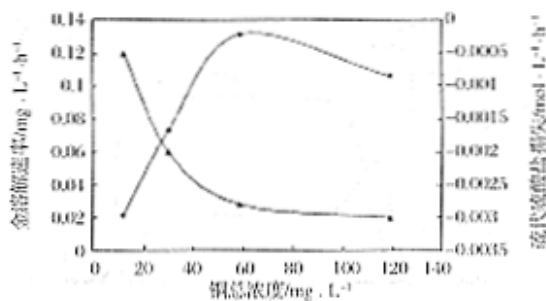


图3 铜的浓度对金溶解速率和硫代硫酸盐分解作用的影响

(0.2 mol/L $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ 0.05 mol/L $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$,

pH 9.5, 溶解氧浓度 5 mg/L)

◆ - Au 溶解速率; ▲ - $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 氧化速率

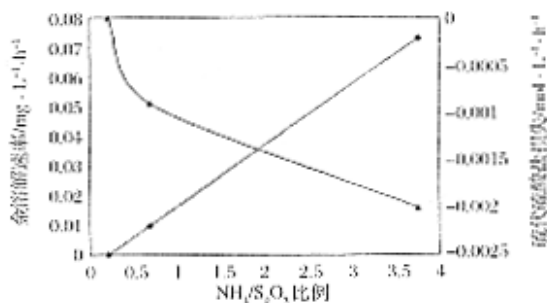


图4 $\text{NH}_4^+/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 的比值对金溶解速率和硫代硫酸盐分解作用的

影响 (32 mg/L Cu^{2+} pH 9.5 溶解氧浓度设定在 5 mg/L)

NH_4^+ 是指 NH_3 和 NH_4^+ 的总量

◆ - Au 溶解速率; ▲ - $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 氧化速率

图。为了表示某些组分(例如硫代硫酸盐($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、连四硫酸盐($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$)和亚硫酸盐(SO_3^{2-}))的亚稳定范围,将热力学上最稳定的一些组分(即 HSO_4^- 和 SO_4^{2-})删去了。从热力学来看,这个图上示出了在 pH 4~10 之间硫代硫酸盐氧化成连四硫酸盐,不然的话,它就会氧化成其他的硫的化合物形式,例如 $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$ 或 SO_3^{2-} 。

由此可以得出这样的结论,由于硫是一种多价元素,并能存在于很多化合物中和以多种氧化态存在,因此 S-H₂O 体系是一种很复杂的体系。为使硫代硫酸盐在大气条件下能保持在溶液中,必须使溶液保持在中性到碱性 pH 的一个很窄的 Eh 范围。可是,一旦生成了金属的硫代硫酸盐络合物,它们就比较稳定了。

1.4 硫代硫酸盐与连多硫酸盐的分解

大约在 0.12 V 时硫代硫酸盐就会发生一些氧化分解反应(表 2)。取决于试剂浓度、溶解氧的浓度、pH、Eh 和温度等条件,导致生成了连四硫酸盐和连三硫酸盐(反应式 3 和 4)这样一些连多硫酸盐。在有氧存在的情况下,硫代硫酸盐也能直接氧化成硫酸盐和连三硫酸盐。相比之下,氰化物被空

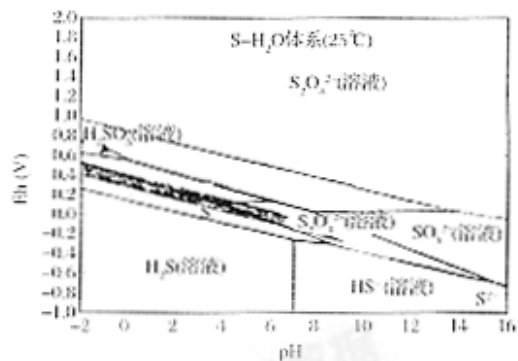
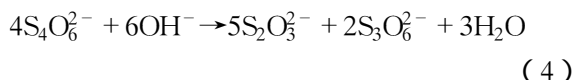
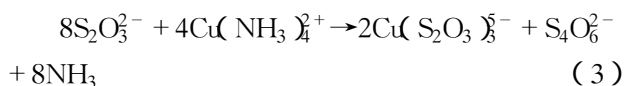


图5 亚稳态的 S-H₂O 体系的 Eh-pH 图

[S] = 1.0 mol/L 还附加了没有硫代硫酸盐的

S-H₂O 体系的 Eh-pH 图,以表明连四硫酸盐范围的扩大。

气所氧化却是微不足道的。



由 Byerley 等人研究了在氨溶液中硫代硫酸根离子氧化的动力学和机理结果表明,氧化反应的速率和氧的吸收情况都取决于 $\text{Cu}(\text{II})$ 和硫代硫酸盐的浓度,并且是与氨的浓度成反比关系。在作者所进行的研究中也发现有类似的情况,在通常用于浸出金的条件下,在有 10^{-3} mol/L $\text{Cu}(\text{II})$ 存在时,有相当一部分硫代硫酸盐氧化成连三硫酸盐和硫酸根离子(图 3 和 4)。有意思的是, Wan 和 Li 等人都报道说,在溶液中只存在有连四硫酸盐,而没有提到连三硫酸盐。

关于在碱性溶液中连四硫酸盐和连三硫酸盐分解动力学的研究表明,虽然通过使 pH 提高到 11 就能使连四硫酸盐容易地分解成硫代硫酸盐和连三硫酸盐(反应式 4),但连三硫酸根则是比较稳定的,需将 pH 或温度提高到不能接受的程度才能使其分解。这一点有着重要的实际意义,因为在使用树脂回收金时(下面将要论述),就需要限制这些组分的浓度。

2 用硫代硫酸盐-氨溶液浸金研究

2.1 矿石浸出

在一篇文献述评中曾经提到,自 1900 年以来硫代硫酸盐有时也被用于浸出金和银矿石。但直到大约 1980 年以前,对此尚未认真的产生过兴趣。对已经发表的关于用硫代硫酸盐浸出各种矿石的研究工作进行总结表明(表 3),已在很宽的工艺条件和试剂浓度范围内进行的研究工作,主要都是为了处

理那些用氰化物浸金效果很差的碳质矿石和铜－金矿石。早期用较高浓度的浸出剂进行的研究,获得了比较合适的金浸出率,但硫代硫酸盐的耗量则高达 40 kg/t。后来的研究证实了,用硫代硫酸盐－氨稀溶液浸出时也能获得类似的金浸出率,并且还查明了微量的铜起着一种催化作用。后来由纽蒙特公司进行的试验工作表明,采用硫代硫酸盐－氨稀溶

液,有可能在比较合理的试剂用量(大约 2~4 kg/t 硫代硫酸盐)的条件下,实现低品位碳质金矿石的堆浸提金。在这两种情况下,用于浸出的硫代硫酸盐和氨的浓度都不超过 0.2 mol/L,用含有着大约 60 ppm 的 Cu(Ⅱ)作为催化剂。因为 Cu(Ⅱ)会使硫代硫酸盐发生分解和造成很高的试剂损失,所以,必须限制它在溶液中的浓度。

表 3 用硫代硫酸盐浸出时选择的试验条件与矿石(根据 Aylmore and Muir 的资料^[24])

矿石类型	金 /g·t ⁻¹	温度 /℃	PO ₂ /kPa	浸出时间 /h	S ₂ O ₃ /mol·L ⁻¹	NH ₃ /mol·L ⁻¹	Cu(Ⅱ) /mol·L ⁻¹	SO ₃ /mol·L ⁻¹	pH	回收率 /%	耗量
金片	99.99%	65	100	3	0.5	1	0.04	...	...
硫化矿(2% Mn)					18%	2%	4g/L	2%	7	95	4kg/t
Zn-Pb 硫化矿石 (22.5 g/t Ag 0.7% Zn 0.5% Pb)	1.75	21-50	空气 2L/min	1	0.125-0.5	0.75	...	...	7-9	90	451b/t
流纹岩(7 g/kg MnO)	3	50	常压	2	2	4	0.1	...	10	90	50%
碳质矿石(2.5% 有机碳)	14.74	35	103	4	0.71	3	0.15	0.22	10.5	73	15-19%
氧化矿石(0.5% Cu)	4.78	30-65	常压	2	1-22%	1.36-8.86%	0.05-2%	1%	...	93.9	40kg/t
0.048% MnO ₂ , 3.19% Cu	50.4	40	1L/min	1-2	1	2	0.16	0	...	95.6	...
Pb-Zn 硫化矿(22.5g/t Ag, 0.44% Cu 0.68% Zn 0.54% Pb)	1.75	21-70	常压	3	0.125-0.5	1	...	...	6.9-8.5	95	...
硫化物精矿(3% Cu)	62	60	常压	1-2	0.2-0.3	2.4	0.047	...	10-10.5	95	4.8kg/t
氧化矿石(0.02% Cu)	1.65	室温	常压	48	0.2	0.09	0.001	...	11	90	2kg/t
碳质矿石(1.4% C, 1.0% S)	2.4	室温	常压	12-25d	0.1-0.2	0.1	60ppm	...	9.2-10		
金矿石	51.6	25	常压	3	2	4	0.1	...	8.5-10.5	80	
细菌浸出矿石 (15.2g/t 0.14% Cu 0.91% S)	3.2	室温	常压		15g/L	加入到 pH 9.5	0.5g/L	0.5g/L	9.5-10.0	80	
硫化物-碳质矿石	3-7	55	常压	4	0.02-0.1	2000ppm	500ppm	0.01-0.05	7-8.7	70-85	
金-铜矿石 (1.4 g/t Ag 0.3% Cu)	7.26	室温	常压	24	0.4	0.2	0.03	...	11	90	
硫化物碳质矿石	1-3	室温	常压	...							
碳质硫化矿石	1-3	室温	常压	91-116d	0.1	0.1	0.005	...	9	50.7-65.7	5.2-8.4
金-铜矿石(~0.36Cu)	7.2-7.9	室温	常压	24	0.5	6	0.1	...	10	95-97	30kg/t
加压氧化的硫化矿石	2.5	45-55	常压	12	0.03-0.05	~500-1000ppm	10-100ppm	0.01-0.05	7.5-7.7	80-85	

有几个科研小组都研究过用硫代硫酸盐浸出金－铜矿石,但普遍发现很难控制铜的浸出程度和硫代硫酸盐的分解作用。虽然从巴西的 3 种矿石中能达到 70%~90% 的金浸出率,但每种矿石对浸出剂的反应情况是不同的,并且每种矿石为达到最佳的金回收率所需采用的浸出条件也是不同的。在某些情况下铜会从溶液中部分地沉淀出来,大约在 8 h 以后达到了最高的金浸出率。

加拿大湖地研究所对取自美国 Barrick 采矿公司砷黄铁矿矿石也研究过加压氧化浸出,以及在 pH 8-9 的条件下进行过大量的搅拌槽浸出试验。在浸出留在加压氧化渣中的细粒分散金时,金的浸出率最高达到了 95%,但金的回收率一般都在 50%到 95% 之间变化。

本文作者最近采用一组浸出剂稀溶液和不同工艺条件,对澳大利亚几种比较简单的氧化矿石进行
万方数据

过研究。研究结果表明,虽然大部分金和银都能在 2~4 h 内很容易地被浸出,但有一部分氰化物可溶的金却始终残留在硫代硫酸盐浸出的残渣中(表 4)。虽然改变试剂成分和浸出条件能影响浸出动力学和金的回收率,但仍没能找到合适的条件,以使金的浸出率能达到与氰化法提金时的水平。此外,在采用类似的条件下,从不同矿石中金回收率的变化甚至更大(表 4),这表明还有其他一些影响因素更为重要。

2.2 影响金回收率的因素

从矿石中浸出金的回收率较低,这可归因于金的粒度比较粗、浸出时间不够长、有一部分金沉淀在来自磨矿介质的铁颗粒上以及金被某些矿物所吸附。硫代硫酸盐的分解据称也会产生连四硫酸盐、连多硫酸盐和各種能使金表面钝化的不饱和硫的化合物。

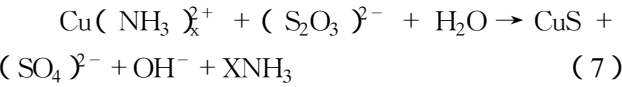
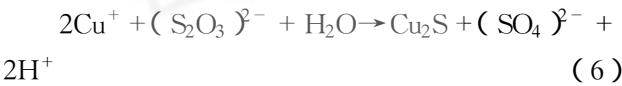
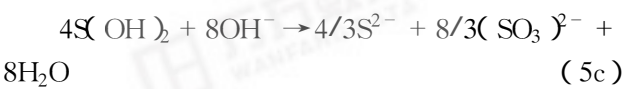
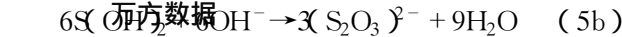
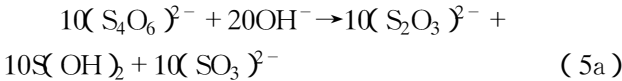
表 4 使用硫代硫酸盐-氨稀溶液对澳大利亚几种矿石的浸出结果

矿 石	品 位	氰化物可溶的/%	金的回收率/%	银的回收率/%
北昆士兰州 A 矿石(氧化矿石)	21 g/t Au	95	77-90	75-95
	15 g/t Ag	88		
北昆士兰州 B 矿石(氧化矿石)	11 g/t Au	95	66-85	51-83
	10 g/t Ag	95		
西澳大利亚州 Goldfield A 矿石(氧化矿石+1%硫化矿石)	3.8 g/tAu	83	58-69	44-60
	2.8 g/tAg	67		
西澳大利亚州 Goldfield B 矿石(含盐的水/氧化矿石)	3.3 g/tAu	96	25-35	50-65
	0.3 g/t Ag	>90		
北方地区 勘探样品(氧化矿石/重选尾矿)	1.1 g/t Au	90	58	没有数据

早期的一项研究工作报告说,在使用很高浓度的硫代硫酸盐浸出时产生了硫化铜沉淀。但最近 Freitas 等人的研究发现,从含有<0.3 mol/L 硫代硫酸盐的溶液中就沉淀出铜。Abbruzzese 等人发现,提高温度会使金的回收率降低 20%,这是由于硫化铜(CuS)产生的钝化作用缘故。与此同时, Bagdasaryan 等人 和 Pedraza 等人都观测到在一种硫代硫酸盐-硫酸铜体系中,有一硫层和硫化铜存在。然而,电化学阻抗光谱(Electrochemical Impedence Spectral)研究表明,即使在没有铜存在的情况下,在硫代硫酸盐溶液中也会产生金的钝化作用。

在一些延长时间的浸出试验中,已发现有金、银和铜产生再沉淀和回收率较低的分析数据。这理所当然地反映了在溶液中已产生了降解产物,并可能出现金和银的硫化物沉淀。Briones 和 Lapidus 发现,Ag₂S 的沉淀作用出现在硫代硫酸盐浓度较低时,可是,Kerley 和 Perez 将这种 Ag₂S 的沉淀作用归因于硫代硫酸银络合物与金属氧化矿物的反应。一旦生成了 Ag₂S,那么,很稀的硫代硫酸盐溶液看来就不能再浸出硫化物。最近几项用纯净的硫化银进行的浸出研究,在使用一组含有 0.1 mol/L Cu(Ⅱ)的硫代硫酸盐-氨溶液试验时,一般都只达到了低于 50%的银浸出率。

Miura 等人的研究表明,连四硫酸盐能分解成硫代硫酸根和亚硫酸根离子、以及次硫酸(S(OH)₂)和一些硫化物离子(反应式 5)。Rabai 和 Epstein 报道说,在 Cu(Ⅱ)和硫代硫酸盐之间先是很快的氧化还原反应,随后就是比较慢的产出 Cu₂S 的几个副反应(反应式 6)。Abbruzzese 等人认为,CuS 是由 Cu(Ⅱ)与硫代硫酸盐之间的反应而产生的(反应式 7)——类似于在精炼镍冰铜的 Sherritt-Gordon 法中使用的“铜的沸腾”(“Copperboil”)反应。



显然,硫代硫酸盐和连四硫酸盐组分的反应机理和分解途径都是很复杂的,都还没有很好了解清楚,而且它们又都与 Eh 和 pH 有关。有迹象表明,某些铜和银的硫化物(可能含有着金)会从溶液中沉淀出来,但确切原因还不太清楚。现在还不知道通过提高这种溶液的 Eh 值能否避免产生 CuS,或是使它再浸出。

遗憾的是,与氰化法一样,很多浸出试验都是在很少控制 Eh、pH 或试剂组分的条件下进行的。从上述讨论可得出这样的结论,在这一体系中看来必须采取非常严格的控制措施,以避免产生那些令人讨厌的副反应。

3 金回收方案的选择

3.1 活性炭吸附

一些研究结果很早就表明,与金氰络合物不同,活性炭不能选择性地吸附金的硫代硫酸盐络合物。这归因于硫代硫酸根络合阴离子的电荷很高,以及在与庞大的硫代硫酸根离子产生络合作用后,金原子距离炭的表面很远。因此,大部分研究工作都集中在将它们吸附到离子交换树脂上,和从澄清溶液中沉淀金。然而,在几项专利中采用了另一种回收方案,就是加入少量的氰化物以产生一种稳定的金氰络合物,然后再使它们定量地吸附在活性炭上。这一创新概念最早是由 Lulham 和 Lindsay 获得专利,他们证实,为使溶液中的金生成络合物,至少需要化学计算量 1~2 倍的氰化物。而且活性炭对金氰络合物的选择性优先于溶液中银、铜和锌的氰络

合物。在这种情况下氰化物就被限制在很小体积的洗出液中,而不是在很大体积的矿浆中。

3.2 还原和沉淀法

用硼氢化钠能使金还原后沉淀在 Zn 、 Cu 、 Al 或 Fe 粉上,或是用硫化氢沉淀。一般都需使用很大过量的金属粉以提供足够的表面积,从而实现在合理的时间内使金还原。可惜,铜也会从溶液中共沉淀出来,并且还需将它再返回浸出回路中,除非使用铜粉。有意思的是,Breuey 等人最近进行的基础电化学研究表明,在能溶解铜的电位区域内, $Au(I)$ 的硫代硫酸盐不容易还原成金属金。然而,在溶液中存在有铜和银时,就能在很低的超电位条件下提高金的沉积作用(就是说,金就容易地沉积在银上)。

显然,因为矿浆过滤时常伴随发生可溶性金的损失,所以这种还原和沉淀法是最适于处理堆浸液。可惜获得的沉淀物金的品位很低,还需作进一步处理。

3.3 吸附在离子交换树脂上

普通的强碱性树脂对金的吸附量比弱碱性树脂高出 10 倍,并且具有高达 100,000 ppm Au 的吸附容量。但在溶液中甚至只有很低浓度(0.01 mol/L)的连三硫酸盐和连四硫酸盐时,它们都很容易吸附在树脂上,并因此而明显地限制了金的吸附量。此外,因为在典型的浸出液中铜的数量大大超过金的数量,以及强碱性树脂的选择性很低,所以树脂就会象吸附金一样地吸附着铜。据报道,在最适宜的浸出条件下,树脂大约能吸附 2000~4000 ppm Au ,这一数字与金氰络合物在活性炭上的吸附量可相比拟。然而,树脂的性能与浸出条件以及产出的连多硫酸盐的相对数量有着密切的关系。

Vernig 和 Serokowski 已经证实,含弱碱性的胍官能团的树脂和溶剂萃取剂,都能提取金的硫代硫酸盐,但他们没有详细考查过金的最佳负载容量以及铜和连四硫酸盐的吸附情况。与其他弱碱性树脂一样,在浸出过程通常使用的 pH 9~10 的范围内,它们的负载容量也是很低的。

3.4 从树脂上洗提金

弱碱性树脂的一大优点就是,用稀的 $NaOH$ 溶液就能容易地达到解吸,但已知苛性碱溶液会使硫代硫酸盐分解,并导致金和银的硫化物沉淀在树脂上。从强碱性树脂上解吸金是比较困难的。Thomas 等人主张,先用硫代硫酸铵选择性解吸铜,随后再用浓的硫氰酸盐溶液洗提金。再用硫离子(在 pH 11.5 的条件下由硫代硫酸盐分解产生的)沉

淀,以优先回收金。最近在 Parker 科研中心进行的研究,发现了另一种简单的能用于洗脱金和银的洗提液,而在加拿大湖地研究所和美国 Barrick 公司的科研人员,已研究过使用连三硫酸盐和连四硫酸盐作为一种洗提液,以免将其他组分引入生产液流中。

4 环保与毒性问题

4.1 硫代硫酸盐

虽然硫代硫酸盐一般都被认为是相对无毒的,但它却是一种亚稳态的化合物,并且又会在消耗氧的同时分解成连多硫酸盐和硫酸盐,或者在厌氧的或还原性的条件下分解成毒性的硫化物离子(图 2)。因此,它的不加控制的释放到环境中,就会造成水道的脱氧作用或者有可能生成毒性组分。虽然这一情况可在释放到环境以前,通过使硫代硫酸盐氧化成硫酸盐而予以避免,但由于使用的硫代硫酸盐浓度和所需氧气的摩尔数都比较高,所以氧化处理的费用比起使氰化物氧化所需费用高出许多。因此,从经济方面考虑,必须使硫代硫酸盐的释放量降到最低,并尽可能多地将它再循环使用。但因再循环会受积聚连多硫酸盐的限制,所以很重要的一点就是应尽量使用最少量的硫代硫酸盐浸出金。

4.2 氨

无论是以空气中的一种气体,或是以一种可溶性溶液的形式,氨都会产生环保和毒性问题。在空气中,对氨气的允许浓度是 14 mg/L,被列入与 HCN 相似的一类气体。在水中,游离氨被列入与氰化物毒性相似的一类,而铵离子(NH_4^+)只有着很低的毒性。遗憾的是,氨很难分解,并且最后会代谢成硝酸盐,后者有可能助长藻类的生长和污染地下水。因此,必须严格注意控制从浸出槽或浸出矿堆中散发出氨气,和防止它释放到环境中。

5 小结和今后研究方向

表 5 归纳了上述的一些关于金矿石浸出、从溶液中回收金、试剂的稳定性和它们释放到空气或水中等过程中所涉及的问题和障碍。显然,不是所有的问题都能很快解决,而是在制定整套工艺过程以及进行试验与经济核算以前,应对所有的要求和依据都必须加以说明和了解清楚。

毫无疑问,尽管硫代硫酸盐提金工艺还存在一些缺点,但对于处理那些用氰化物浸出效果很差的碳质矿石来说,硫代硫酸盐仍是一种有吸引力的能替代氰化物的浸出剂。对于处理铜-金精矿和那些

氰化物耗量很高的矿石来说,它也是一种有吸引力的试剂。然而对于简单的氧化矿石来说,还需作进一步研究,以提高金的回收率和降低试剂费用,以便能与氰化法相竞争。

表 5 与使用硫代硫酸盐浸出金矿石和从溶液中回收金有关的一些问题与障碍

方面	问 题	障 碍
动力学和机理	Cu(Ⅱ)催化金和硫代硫酸盐氧化络合物浸出动力学	很高的试剂消耗量和矿石中的铜难于控制,没有很好了解
	化学控制的 Ag ₂ S 部分地被浸出	取决于 Cu(Ⅱ)、NH ₃ 、S ₂ O ₃ 可能会使金表面钝化,与 Ag 共生的 Au 不能被浸出
试剂	需要较高数量的 S ₂ O ₃ 和 NH ₃ 要求较低的铜数量	试剂费用 再循环会使杂质积聚 排放液的处理费用很高 氨对健康与环境的危害 铜与金矿石共生 铜吸附在矿物上
稳定性	硫代硫酸盐氧化成连多硫酸盐连多硫酸盐的不稳定性	可能会沉淀出 Au/Ag/Cu 的硫化物
pH	控制游离氨、Cu(Ⅱ)、Eh 和 pH 接近 9.5 高的 pH 使硫代硫酸盐和连四硫酸盐分解	回收率易受 pH 影响,可能产生硫化物沉淀
溶解氧	控制 Cu(Ⅱ)和 Eh 硫代硫酸盐氧化成连四硫酸盐	回收率易受溶解氧浓度的影响
温度	在 20℃ 时很慢的浸出动力学	在高于 40℃ 时试剂发生分解 回收率易受温度的影响
时间	S ₂ O ₃ 的氧化速率保持稳定	为少量地提高 Au 浸出率就会产出大量连多硫酸盐
金的行为	粗粒的金和硫化矿物中的金浸出很慢	浸出时间长,会积聚连多硫酸盐
矿石矿物学	黏土和硫化矿物可能会“劫夺”金和铜 反应活性的硫化物消耗氧和 Cu(Ⅱ)	回收率易受矿石类型的影响,浸出反应受到阻碍或停止
金的沉淀	铜和银的共沉淀	试剂费用 沉淀物的处理费用
回收在树脂上	连多硫酸盐共吸附在强碱性树脂上 铜吸附在树脂上	低的树脂负载容量提高了处理费用 硫化物可能沉积在树脂中
树脂的解吸	Cu 和连多硫酸盐的分离洗提液的再循环	需采用两段洗提杂质控制

在澳大利亚矿业协会(AMIRI)的倡议下,在默

多克大学的 Parkey 科研中心和澳大利亚联邦科学与工业研究组织的矿物研究室,都在作一步研究以更好地查明这些问题。这项研究工作的目的在于:

1)了解控制着金和硫代硫酸盐氧化作用的组分组成与条件,以最大限度地降低试剂的浓度和它的分解作用。

2)探索一些能替代铜氨络合物溶液的、能用于浸出金而又不致使硫代硫酸盐氧化的其他氧化还原体系。

3)了解清楚为什么金的浸出效果会随不同矿石而变化。

4)了解银对浸出率和回收率的影响。

5)考查某些特定矿物究竟是“劫夺”金或铜,影响 Eh/pH,还是引起金和铜从溶液中共沉淀。

6)了解含盐的生产用水对浸出率与回收率的影响。

7)试验研究在不影响硫代硫酸盐的条件下除去或分解连多硫酸盐的方法。

8)使金和银在树脂上的负载量达到最佳化,或是改进树脂性能,以使连多硫酸盐的吸附量降到最低。

9)研究从树脂上选择性洗提铜和金的工艺。

10)研究从洗出液中回收金的其他方法。

在这些问题中的某些问题得到有效解决以前,几乎不可能有经济方面的刺激性,将现行工厂中使用的氰化物改变成使用硫代硫酸盐(除非用于处理碳质矿石)。然而,来自公众对氰化物管理方面的忧虑不断增加,这将确保督促一些公司一定要继续努力寻找一种可行的解决方案。就使用硫代硫酸盐浸出体系来说,黄金工业部门的首要任务就是要研制出一种可靠的、能实际应用和经济有效地处理大量实际矿石的完整工艺流程,包括金的回收、试剂再循环或分解,以及杂质控制等。

(张兴仁 李长根)
(050301)

微生物堆浸技术的现状及展望

张贵文, 孙占学

(东华理工大学土木与环境工程学院, 江西 抚州 344000)

摘要: 主要介绍国内外微生物堆浸技术的应用现状、存在问题, 并对微生物浸矿技术的前景进行了展望。

关键词: 微生物; 堆浸技术; 现状; 发展趋势

中图分类号: TF 111.311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8063(2009)02-0081-03

微生物浸矿又称细菌冶金, 是利用细菌的生物化学作用, 选择性地将被浸矿物或其他有用矿物从矿石中浸出来的一种方法^[1]。微生物堆浸是微生物浸矿技术与堆浸技术相结合的产物, 它不仅具有堆浸的工艺特点, 而且还拥有细菌浸矿优越性。

1 微生物堆浸技术的现状

1.1 国外微生物堆浸技术的研究进展

人类对微生物浸矿技术的认识和深入研究是从1947年美国Colmer发现细菌的氧化作用开始的^[2]。从世界上第一座铜的微生物堆浸工厂于1950年在美国的Kennecott铜业公司建成投产, 到20世纪80年代, 世界共有14座铜的微生物氧化提取厂投入生产^[3]。世界上第一座金的细菌浸出厂于1986年在南非的Fairview建成投产。第一座钴的细菌氧化提取工厂于1999年在乌干达的Kasese钴业公司建成投产^[4]。细菌浸出铀矿最早的例子是葡萄牙的“镭公司”在1953年开始进行的铀矿自然浸出研究^[5]。自1958年美国利用微生物浸铜和1966年加拿大利用微生物浸铀的研究及工业化应用成功以后, 已有30多个国家开展了微生物在矿冶工程中的应用研究工作。而且, 继铜、铀、金和钴的微生物湿法提取实现工业化之后, 锌、镍、锰的微生物湿法提取也正由实验室研究向工业化生产过渡^[6]。

近年来, 微生物浸矿技术在国外已得到广泛应用, 技术日趋成熟, 正逐渐成为溶浸铜、铀、金等

各种金属矿物, 特别是低品位金属矿物的重要手段。目前世界上1/4的铜和1/3的黄金都是通过微生物冶金获得的, 世界上主要产铀国家都有细菌堆浸回收铀的工厂。

1.2 国内微生物堆浸技术的研究进展

我国对微生物浸矿技术方面的研究是从20世纪60年代末开始的, 并已先后在铜、金、铀等金属的生产应用中取得成功^[7]。1997年江西德兴铜矿大型堆浸厂(设计年生产能力为2 000 t阴极铜)的投产标志着我国微生物浸铜技术有了重大进展^[4]。2000年福建紫金山铜矿建成细菌堆浸厂, 2001年7月生产出首批阴极铜, 2002年已着手进行年产2万t阴极铜的生物堆浸厂的可行性研究^[8], 估计目前已建成。微生物预氧化堆浸提金技术近年来也进入工业化应用阶段^[9]。上个世纪90年代后, 中国科学院化工冶金研究所、吉林省黄金研究院、武汉化工学院等单位也相继开展了微生物方面的研究工作。2000年, 我国首座50 t/d微生物提金试验厂在烟台取得成功后, 中国黄金集团公司又在丹东建成第二座100 t/d(经过技术改造, 目前生产能力已经接近150 t/d)细菌氧化预处理厂。2001年4月, 由澳大利亚某公司设计的生物氧化厂在莱州投产(日处理100 t矿石)。2003年7月, 辽宁天利金业有限责任公司生物氧化提金厂竣工投产^[10]。近年来, 国内许多单位都在微生物浸铀方面取得了可喜成果。以中核集团北京化工冶金研究院为代表的科学工作者与各个铀矿协作已成功完成了菌种的筛选、培育

收稿日期: 2008-11-03

基金项目: 科技部国际合作项目研究成果之一(2008DFA71760)

作者简介: 张贵文(1984—), 男, 江西省抚州市人, 在读硕士研究生, 水文学及水资源专业。

工作,研制开发了工业应用的生物反应器,先后在抚州铀矿、赣州铀矿和衢州铀矿等铀矿山进行了千t级规模的工业试验,于2002,2008年在赣州铀矿2个矿点实现了生物堆浸的工业化,于2008年启动了抚州铀矿的生物渗滤浸出工业化生产线^[1]。东华理工大学已先后从铀、铜、金矿床中分离出了20余株冶金菌,对所有菌株作了分子鉴定、生理生化特性、适应性驯化和诱变育种等系统研究工作,并运用分离得到的菌群对抚州铀矿、仁化铀矿铀矿石进行了浸出试验,在铀浸出率、耗酸量及浸出周期等指标方面有所突破。总体上看,尽管我国微生物铀矿堆浸研究起步较晚,但发展很快。

2 微生物堆浸技术在工业生产中存在问题及应对措施

微生物冶金技术几乎覆盖了所有的有价金属及其伴生金属,在许多国家和地区已得到广泛的研究和应用,特别是微生物堆浸技术因建设周期短、投资少、加工成本低、环境污染程度小等优点,已成为从低品位矿石和废石中回收有用矿物简单经济的有效方法。但微生物堆浸尚存在生产周期长、浸出率偏低、矿石中某些成分对浸矿细菌毒性大而降低细菌的氧化活性等问题。对这些问题需要进一步研究,强化微生物的浸矿过程,以改善堆浸的经济技术指标。

2.1 选择适宜的堆浸粒级

矿石粒级大小直接影响着堆浸周期、金属的浸出率、矿堆的渗透性和浸出的酸耗量。从理论上讲,矿石粒度越小,氧化速度越快,但生产实践表明,在堆浸生产中,采用过细的矿石粒度来增加氧化速度、缩短浸出周期是困难的,有时还会因渗透问题产生相反的结果。在堆浸工艺所能接受的范围内,在不影响堆浸渗透率前提下,尽量降低细粒级矿石的比例,将筑堆矿石粒级控制在经济合理的粒级是缩短生产周期提高浸出率的重要措施。

2.2 培育优良菌种

在浸矿过程中细菌不可避免地生活在各种不同离子的介质中,因此细菌对各种离子的抗性对浸矿至关重要。实践表明,同一菌种对不同类型的矿物浸出效果差异较大,针对某种目标矿物,在浸矿前培育出适合该矿浸出环境条件的菌种是首要工作。目前,主要通过物理和化学的诱变剂,使

浸矿细菌DNA发生变异,产生适应新条件下的新的菌种。用于浸矿的细菌,在堆浸前必须针对所处理的不同矿石进行选育、驯化。对于处理含硫、砷的铜矿、金矿的细菌要进行耐银、汞和砷的驯化培养;对于处理火山岩型铀矿必须对浸矿细菌进行耐氟、钼等元素的驯化培养;对高硫金精矿的浸出除了寻找嗜热性能好的菌种外,还要对细菌进行耐砷、锑等金属驯化培养。

2.3 强化堆浸技术的研究与应用

在微生物堆浸过程中,为缩短生产周期、提高金属浸出率,除了从浸矿粒度和菌种的培育着手外,研究开发堆浸强化技术也是微生物冶金领域的热门课题。通过物理、化学、机械等方法改变浸矿菌液的物理性能,改变矿石表面的性质,增加矿堆的渗透性,促进介质间的物质传递交换,强化浸出动力条件,加快金属的浸出速度。目前较为成熟的强化堆浸技术除微生物技术外,还有拌酸熟化、造粒堆浸、表面活性剂助渗、活化促浸以及电催化催化等,这些方法都有应用的实例。

3 前景展望

世界对资源的需求与日俱增,矿产作为资源在我国国民经济生活中及国家安全层面扮演着越来越重要的角色。微生物堆浸技术,由于其具有投资低、环境效益好等优点,已引起国内外的广泛关注。我国在微生物堆浸方面进行了多年的试验研究,取得较大进展,笔者认为仍需要进一步加强以下几个方面的研究:

1) 耐酸、耐热、抗氟、抗重金属离子干扰菌种的选育是微生物浸矿技术必须进一步解决的关键问题;

2) 溶浸剂的改良及浸矿动力学研究是提高微生物浸矿效率的重要手段,必须予以深入研究;

3) 菌液制备的设备及溶浸工艺的完善是推进微生物浸矿工业化的必要措施,必须予以高度关注;

4) 微生物堆浸数学模型的建立是提高微生物浸矿水平的重要途径,也是应该予以解决的薄弱环节;

5) 不同矿石类型矿石微生物堆浸的工业化试验及成果的推广应用是下一步工作的重点。

参考文献:

[1] 胡凯光,谭凯旋,杨仕教,等.微生物浸矿机理和影

- 响因素探讨[J]. 湿法冶金, 2004, 23(3): 113-121.
- [2] 张在海, 王淀佐, 邱冠周. 细菌浸矿的细菌学原理[J]. 湿法冶金, 2000, 19(3): 16-21.
- [3] Brierley J. A expanding role of microbiology in metallurgical processes [J]. Mining Engineering, 2000, 52 (11): 49.
- [4] 王玉棉, 李军强. 微生物浸矿的技术现状及展望[J]. 甘肃冶金, 2004, 26(1): 36-39.
- [5] 李 雄, 柴立元, 王云燕. 生物浸矿技术研究进展[J]. 工业安全与环保, 2006(3): 1-3.
- [6] 刘汉钊, 张永奎. 微生物在矿物工程上应用的新进展[J]. 国外金属矿选矿, 1999(12): 9-12.
- [7] 郝丽芳, 安莲英, 殷辉安, 等. 用生物浸矿技术从杂卤石矿中提取钾的可行性分析[J]. 湿法冶金, 2003, 22(1): 19-20.
- [8] Yang Songrong, Xie Jiyuan, Qiu Guanzhou, et al. Research and application of bioleaching and biooxidation technologies in China[J]. Minerals Engineering, 2002, 15(5): 361-363.
- [9] 温建康, 阮仁满, 孙雪南. 金川低品位镍矿资源微生物浸出研究[J]. 矿冶, 2002, 11 (1): 55-58.
- [10] 王中海, 周 源, 钟洪鸣, 等. 微生物浸矿技术发展现状[J]. 金属矿山, 2007(8): 4-6.
- [11] 刘 建, 樊保团, 孟运生, 等. 我国铀矿微生物浸出的实践与展望[J]. 铀矿冶, 2008, 27(3): 118-123.

The present status and future of microbe heap leaching technology

ZHANG Gui-wen, SUN Zhan-xue

(Faculty of Civil and Environmental Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

Abstract: The research status of microbe heap leaching technology at home and abroad is introduced. Problems existing in the industrial production and measures to be taken are described. The research direction is presented

Key words: microbe; heap leaching technology; present status; research direction

激光诱导分解光度法测定铀、钍混合氧化物燃料中的铀

Arnab Sarkar 等人在《Talanta》2009 年 78 卷(3)期上撰文, 报道用激光诱导分解光度法测定铀、钍混合氧化物燃料中铀质量分数的方法。

铀、钍氧化物混合燃料中铀质量分数是表征核燃料化学质量的指标之一。作者采用激光诱导分解光度法, 使用按铀、钍氧化物质量比 1:1 制备的标准混合物小球和经硼酸连结的混合铀、钍氧化物小球。借助铀的散射线: 263.553, 367.007, 447.233 和 454.363 nm 得出了校正曲线。通过校正曲线对 2 种人工铀、钍氧化物混合样品测得的铀质量分数与预测值作比较, 结果吻合很好。除了 263.533 nm 的散射线, 其余散射线均表现出饱和效应, 这是由于当铀、钍混合氧化物燃料中铀质量分数超过 20% 时, 产生自吸收之故。

该方法可用于快速和常规铀、钍氧化物燃料中铀质量分数的分析, 而不必对样品预先溶解(对难处理天然 ThO₂ 的溶解是困难和费时的)。尽管在研究中使用的光度计分辨能力有限, 但分析精度仍然很好。

(陶德宁 供稿)