

东北大学

硕士学位论文

提高低品位金矿堆浸浸出速度的试验研究

姓名：薛仕林

申请学位级别：硕士

专业：矿物加工工程

指导教师：王成功

20051201

提高低品位金矿浸出速度的试验研究

摘 要

堆浸是处理低品位含金矿石的有效方法，目前用堆浸法生产的黄金产量已占世界黄金总产量的 30% 以上。据资料报道，我国已初步查明低品位氧化矿床中，金储量达 350 吨左右。加上我国采用搅拌法、炭浆法等生产矿山的低品位老矿、废矿和选矿尾矿的金储量，为低品位金矿堆浸提供了广阔的前景。

但是目前金矿堆浸的周期都比较长，短的几个月，长的达一年。如果我们能够提高低品位金矿堆浸的浸出速度，从而缩短堆浸的浸出周期，则能够降低生产成本，提高企业的生产能力，加速企业的资金周转，为企业带来更多的经济效益。

本文以内蒙古乌拉特中旗浩尧尔忽洞金矿(217 金矿)矿石为研究对象，采用实验室柱浸试验，研究不同的粒度、氰化钠浓度、喷淋强度以及助浸剂添加量对金矿堆浸浸出速度的影响。

通过柱浸试验研究可知，金矿堆浸浸出速度随着矿石粒度的减小而加快，采用相对高浓度的氰化物溶液以及适宜的喷淋强度能够提高金矿堆浸的浸出速度，添加一定量的过氧化钙对金矿堆浸的浸出速度有帮助。最后根据试验的结果与分析，提出了该金矿堆浸适宜的工艺条件。

本文开展针对金矿堆浸出速度的试验研究，旨在促进我国低品位金矿堆浸新技术的发展，为我国低品位金矿资源的有效开发和利用作出新贡献。

关键词：低品位金矿；堆浸；速度

Research of Improving the Heap Leaching Velocity of Low Grade Gold Ore

Abstract

Heap leaching is an effective means of the processing of low grade gold mine. The gold output produced by heap leaching accounts for 30% of the total gold output in the world. It is reported that the gold reserves achieve about 350t in the proved up oxidized ore in our country. This opened up broad possibilities for the heap leaching.

At present, the period of gold heap leaching usually takes several month, some times even a year. If we improve the heap leaching velocity of low grade gold ore, shorten the period of heap leaching, that the production cost could be reduced, the production capacity could be improved. It will speed up capital turnover and bring mines more economic benefits.

This paper has studied particle size, consistency of NaCN, sprinkling intensity, and leaching assistant effecting on the heap leaching velocity of Inner Mongolia 217 gold ore by laboratory column leaching test.

It is showed that the heap leaching velocity improved with the diminishing of the ore particle size. And the heap leaching velocity can be improved by using high consistency of NaCN and suitable sprinkling intensity. And it is showed that the heap leaching velocity can be improved by appended CaO_2 . Optimum process conditions were confirmed after column leaching experiment

This paper has researched the heap leaching velocity of low grade gold ore in order to boost the development of the gold ore heap leaching and contribute to the exploitation and utilization of low grade gold ore resources of China.

Key words: low grade gold ore; heap leaching; velocity

独创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：  薛仕林

日 期： 2005.12.22

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

(如作者和导师不同意网上交流，请在下方签名；否则视为同意。)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

签字日期：

第一章 绪 论

1.1 堆浸

堆浸是在预先铺设的底垫上将矿石筑成矿堆,用配置好的溶浸液使矿石中的有用组分溶解,并以离子或络合离子的形式转移到液相(浸出液)中,再把液相中的浸出离子转化成单质金属或化工产品的过程。

国外大多数学者把 1752 年西班牙人在里奥·廷固(Rio·Tinto)河旁发现的酸性氧化铜矿石堆中有铜浸出的现象,作为堆浸历史的起点,也有把 15 世纪中叶匈牙利人从流经铜矿堆的废水中回收铜作为堆浸的渊源。无论以哪个为堆浸起点,作为从矿石中提取有用组分的一种技术,堆浸技术都有着悠久的历史。

下面是堆浸中的一些术语:

溶浸剂 用来溶解、浸出矿石中主要有用组分的某些化学试剂或化工原料,如氰化钠、硫脲等。

溶浸液 由溶浸剂于水配制成一定浓度的水溶液。

浸出液 凡通过了矿堆的溶浸液一律称为浸出液,不论其中金属离子浓度高低。若其浸出的金属离子浓度符合后续处理工序要求,称为富液或贵液,若其浸出的金属离子浓度低于后续处理工序要求、需补加(或不补加)溶浸剂返回浸出的,为贫浸出液,简称贫液。

喷淋强度 是堆浸中一个非常重要的参数,它是堆浸工程中确定构筑物容积大小的主要依据,也是确定回收设施规模的重要基础数据,又是影响浸出周期的主要因素之一、更与结垢现象紧密相关。喷淋强度指单位时间内施于矿堆单位面积上的溶浸液的体积,通常以 $L/(h \cdot m^2)$ 表示^[1]。

1.2 金矿堆浸

与堆浸悠久的历史相比,金矿堆浸的发展历史是比较短的,但是金矿堆浸的发展速度却是十分迅速的。

美国是世界上用堆浸法提金最早的国家之一,也是当今堆浸黄金产量最多的国家。1967 年美国矿务局提出用堆浸法处理低品位含金氧化矿石^[2],1971 年开始应用于生产现场,获得成功。由于科研和建设前期的可行性研究做得粗糙,美

国的金矿堆浸在初期也是很很不顺利的。1983 年前，美国建设的 22 座金矿石堆浸场，有 11 座失败，成功率仅 50%。经过失败，总结了教训，才有了以后的顺利发展。特别是 80 年代初制粒堆浸技术被推广以来，黄金回收率不断提高，生产成本显著下降。某地堆浸矿石的最低品位下降到 0.275 g/t，仍有利可图。内华达州有 40 余个堆浸场，生产规模最大的为 2000 万 t/a，现代美国堆浸黄金产量已占全国总产量的 60%，堆浸已成为当今美国黄金生产的重要支柱^[3]。

我国金矿石堆浸试验始于 1979 年，1981 年用于生产。1987 年以前，技术上进展不大，堆浸场的规模小，浸出率低，资源浪费大，堆浸产金量占总产金量的比例很小，不足 1%。1988 年在陕西太白双王金矿试验成功了我国第 1 个万吨级规模的堆浸提金工业试验^[4]。1989 年新疆阿勒泰行署、富蕴县萨尔布拉克金矿完成了 2.4 万 t 的低品位金矿堆浸试验研究，1990 年又完成了 11 万 t 低品位金矿堆浸工业试验研究，取得浸出率达 90.61%，总回收率 87.75%的较好指标，当年产金 350kg^[5]。我国目前最大的低品位金矿堆浸场福建紫金山金矿采选规模 2001 年达到 720 万 t，产金量达到 5.2t^[6]。

现在世界上美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯等许多国家都采用堆浸工艺生产黄金。在南非、印度、津巴布韦等国也获得了迅速的发展。据报道，目前用堆浸法生产的黄金产量已占世界黄金总产量的 30%以上^[2]。

金矿堆浸与搅拌浸出相比，它具有下列优点：

(1)流程短，工序少，设施简单，基建投资少，生产成本低。

表 1.1 搅拌浸出与堆浸的工序比较

Table 1.1 The comparison of agitation leaching and heap leaching

工序 名称	破碎	磨矿	浸前 浓缩	浸出	固液 分离	浸出液重 金属回收	尾液 处理	尾渣 处理
搅拌 浸出	有	有	有	有	有	有	有	有
堆浸	有	无	无	有	无	有	有	有

注：(1)原矿堆浸和尾矿堆浸不用破碎；(2)堆浸尾液量很少，一般为搅拌浸出的 7%~15%；(3)堆浸尾渣为干的矿块，易堆存，不需要耗资巨大的尾矿库(坝)；

金矿堆浸常用的工艺流程为：堆浸—炭吸附—解吸—电积—熔炼。

表 1.2 黄金生产的三种工艺相对成本因素比较
Table 1.2 The comparison of costrelated factor of
three different gold production technics

矿石处理工艺	投资额	生产费用
常规法	1.00	1.00
炭浆法	0.68	0.77
堆浸法	0.23	0.30~0.44

(2)物耗低。

能耗 由于堆浸省去了浓缩、磨矿、固液分离等工序，所以堆浸的电耗一般为 8~12kw·h/t 矿，而搅拌浸出一般为 60kw·h/t 矿左右。两者相比，前者仅为后者的 13%~20%。

水耗 由于堆浸浸出液循环使用，堆浸的水耗量一般为搅拌浸出的 7%~15%。

(3)基建周期短，见效快。一个 10 万吨以上的大型堆场的基建时间一般为一年，最短的仅四个月。如美国的烟谷金矿，我国新疆的沙尔布拉克金矿，基建均只用 4 个月，而搅拌浸出的基建时间一般要两年以上。

(4)环境污染小。堆浸的废水量仅为搅拌浸出的 7%~15%。，堆浸尾渣为干的块矿或粒矿，便于返回井下充填，或地表堆存。

但是金矿堆浸技术一样具有很明显的缺点：

(1)堆浸的浸出率一般比搅拌浸出的浸出率要低，两者相差 5%~15%。

(2)堆浸受自然条件，如风、雨、温度等影响较大，在恶劣的气候条件下，往往不能维持均衡生产。

(3)堆浸的浸出周期长，短的几个月，长的达一年。这对生产企业的资金周转是不利的。

(4)对难浸矿石不易实施强化手段，浸出率的高低，在很大程度上取决于矿石性质^[1]。

1.3 金矿堆浸国内外研究现状

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^[7]。美国发明的两项专利所设计的装置，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^[8]。

美国一个公司生产的辊式破碎机不仅能破碎原矿,还可在矿石中形成微细裂隙,加快浸出速度,提高浸出率,而且比一般破碎机的能源消耗少^[9]。

喷淋和滴淋是堆浸工艺中两种不同的布液方式,都能产生均匀的布液效果,而均匀布液是提高金浸出率的关键因素之一。滴淋适合在戈壁沙漠地区干旱高温、风大缺水的自然条件下进行堆浸生产,由于滴淋设备独特的优势,在国外得到了广泛的应用,美国已有 80% 的堆浸都采用滴淋法提金^[10]。

在寒冷的地方和季节,有企业采用滴淋浸出的方法延长浸出季节,将滴淋管埋设在矿堆中,设置防风和其它措施,这样就能够在 1.8m 厚的冰层下进行浸出,使整个冬季都可以继续浸出。在夏天采用这种方法,不仅可以减少用水量,而且还明显的降低氰化的耗量,大幅度地减少了水和氰化物溶液的蒸发损失。有的企业如美国的 Smoky Volley 金矿采用浸没式加热器加热溶液,以缩短冬季停产时间。当使用加热器时,采用氢氧化钠代替石灰调节 PH 值,以减少碳酸钙结垢问题的产生^[11]。

实践证明,细粒物料和粘土含量太高的矿石不宜直接堆浸,必须先制粒预处理,提高矿堆的渗透性才能堆浸,制粒预处理能大大强化金的浸出,加快金的浸出速度,多数情况下还能提高金的浸出率^[12]。据报道,美国一家工厂经制粒预处理后,大幅度提高了含大量细矿粉的金矿石浸出率。Paradise Peak 金矿采用制粒堆浸后,回收率提高了 12%。另一家选金厂采用制粒预处理后,浸出周期从原来的两个月缩短到三周,而且金的浸出率从 35% 提高到 90%,而每吨矿石的生产费用则仅从 80 美分提高到 1.30 美元^[13]。据有关资料报道,制粒堆浸法与常规堆浸法相比较,金的浸出率提高 10%~30%,浸出周期缩短 5~15 天^[14-15]。

强化堆浸所用的化学药剂有过氧化钙、双氧水、过氧化钠、过氧化钡、过氧化镁、过氧化锶、过氧化锌等过氧化物^[16]。

Batt 等研究了钡、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,从而加快堆浸的浸出速度。他们针对某种矿石添加了 1.5kg/t 的 CaO_2 时发现,堆浸过程加快了 20 天^[17]。

也有人发现,堆浸的溶浸液中加入与不加过氧化氢的柱浸试验表明:过氧化氢不起多大的作用,它们的浸出速率没有明显的差异。对于合适的可浸矿石,氧的分压不一定是控制浸出速率的因素^[18]。

3M 专业化工公司研制了一种含氟化物的表面活性剂,该表面活性剂提高了堆浸厂的金银回收率。通过对某硅质氧化矿石的堆浸试验表明,金的浸出率比未

加活性剂的矿石高 24%。用泥质矿堆浸的试验中,添加活性剂浸出比不加活性剂浸出,浸出率提高了 4%。可见采用这种表面活性剂能加快浸出速度,缩短浸出周期,并增强泥质物料的渗透性^[19-20]。

美国内华达州的 Pinson 金矿和 Gold Quarry 金矿采用一种叫做原矿堆浸工艺,即将原矿不经过破碎就直接筑堆,这种工艺的浸出时间明显的比破碎后的碎石浸出长的多,但最终浸出率基本相似,并且可以省去破碎和制粒的费用^[21]。

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,提高了矿堆的渗透性,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,向管内浇灌氰化物,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^[22-23]。

紫金山金矿生产实践总结表明,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 $1/3$ ^[24-25]。

郑平等采用电化学氰化提金方法试验表明,对于易浸型金矿石而言,可一定程度提高金浸出率,更重要的是大幅度缩短了浸出周期。而对于难浸金矿石,则显著提高了金浸出率,变难浸为易浸,同时亦大大缩短了浸出周期,使非经济性矿石转化为经济性矿石^[26]。

张述华,王胜理通过外加电场氰化法和常规氰化法对东北寨等矿床的氧化和半氧化矿石的进行了杯、柱、堆浸对比试验研究,试验结果表明,外加电场后,氰化法可提高金浸出率,对氧化程度较高的矿石可提高 10%左右,对氧化程度较低的矿石可提高 20%以上,甚至更高。外加电场氰化法还可以缩短浸出周期,各类矿石的外加电场氰化法的浸出时间与常规氰化法浸出时间相比,在同等浸出率的条件下缩短了很多,最大可缩短 50%的浸出周期。根据东北寨雄黄褐铁矿化微细浸染型氧化、半氧化矿石的堆浸试验结果认为,外加电场氰化法可将难选冶的非经济矿石变为了可选冶或易选冶的经济矿石^[27]。

王周潭为了解决低温对堆浸喷淋的影响,进行了氰化浸金过程的加温试验研究。实验室试验研究表明,对氰化液加温,温度控制在 $20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间,比在 12°C 条件下,金的浸出速度可加快一倍。在堆浸实践中,采用加热器对喷淋池内氰化液加温,缩短了氰化浸出时间,使最终金浸出率达到 67.73%,与自然温度

条件下相比,金浸出率提高了 7.87%^[28]。

国内普遍采用旋转式摇摆喷淋设备,具有喷洒面积大,喷液均匀,不雾化,不易堵塞,装卸方便等优点,但其缺点是对矿堆的表面冲击力大,溶液的蒸发损失和风力夹带损失较大。新疆赛都金矿进行了喷淋与滴淋的比较,通过比较结果表明,滴淋比喷淋设备投资少 40%,溶液蒸发量由 27%降到 6%^[29],金的浸出高峰期提前一周出现,而且浸出时间由 109 天降为 72 天,浸出率则由 70.5%提高到 78.6%。

吴家沟金矿制粒堆浸的浸出速度较直接堆浸快,而且其浸出率增长的均匀性与持久性都较好,显然,这是制粒堆浸良好渗透性的结果。矿石品位相当,浸出率达到 60%时,制粒浸出只需 24 天,而直接堆浸却需 31 天^[30]。并在生产实践中,总结出合理的浸出周期,即 4~11 月份为 35~45 天,12 月至次年 3 月份为 45~60 天,制粒堆浸可缩短 5~10 天。

1991 年我国新疆赛都金矿进行了当时全国最大规模(2.4 万 t)的制粒堆浸,结果表明,浸出时间比不制粒短 35 天,浸出率由 49.69%提高到 81.5%,提高了 32%^[5]。

1.4 课题的提出

我国低品位金矿石资源丰富,金的总储量较大,据资料报道,我国已初步查明低品位氧化矿床中,金储量达 350 吨左右^[31]。例如陕西太白双王金矿床、甘肃金川矿床、湖北铜录山金矿床、四川白玉麻邛金矿床、湖南水口山金矿床等^[32]。随着堆浸金品位要求的降低和新的低品位矿床的发现,堆浸的资源还可进一步得到补充。再加上大量的表外矿以及选冶尾渣,为低品位金矿堆浸的应用提供了极大的发展前景^[33]。

但是目前金矿堆浸的周期都比较长,短的几个月,长的达一年,这对生产企业的资金周转是很不利的,而且堆浸受自然条件的影响比较大,如雨、雪等,在恶劣的气候条件下,堆浸生产往往不能正常进行,有些地处寒冷地区的企业往往一到冬季就采用加热浸出液的方法进行浸出,提高了生产成本。如果我们能够提高低品位金矿堆浸的浸出速度,从而缩短堆浸的浸出周期,则可以降低企业生产成本,提高企业的生产能力,加速企业的资金周转,为企业带来更大的经济效益。

1.5 课题的研究内容

本次试验对象为内蒙古乌拉特中旗浩尧尔忽洞金矿(217 金矿)矿石, 该矿矿石金的平均品位在 1g/t 左右, 矿石储量为 6000 万吨左右, 是一个大型的低品位金矿。而且该矿处于北方地区, 气候条件比较恶劣, 提高浸出速度, 缩短浸出周期对该矿具有重要的现实意义。

本次试验研究的主要内容是通过实验室柱浸试验, 研究矿石粒度、氰化物浓度、喷淋强度以及助浸剂对金矿堆浸的浸出速度的影响, 并确定适宜的金矿堆浸工艺技术条件。

第二章 试验准备

2.1 试验技术路线及方法

本次试验采用实验室柱浸试验进行试验研究,其中包括实验室小型柱浸试验及扩大型柱浸试验。通过实验室小型柱浸试验研究氰化物浓度,喷淋强度,以及助浸剂对金矿堆浸浸出速度的影响,同时通过扩大型柱浸试验研究粒度对金矿堆浸浸出速度的影响并考察相关指标。

实验室小型柱浸采用开路浸出试验。以 4 个内径 70mm,高为 800mm 的 PVC 柱为浸出柱,每个浸出柱装入 3kg 在 6mm 以下的矿样,在不同氰化钠浓度、不同喷淋强度以及不同助浸剂添加量的条件下进行对比试验。

具体步骤是首先将 3kg 试样装入柱内,然后用 PH 值在 10.5~11 的碱液进行预处理,当从柱内排出的碱洗液的 PH 值在 10.5~11 时停止碱洗,开始滴淋浸出,定时取样分析。试验大致流程如图 2.1

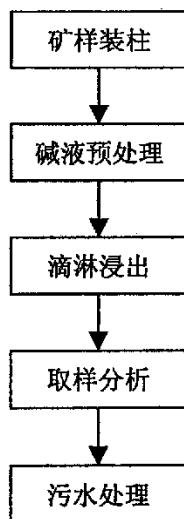


图 2.1 柱浸试验流程图

Fig.2.1 Flow of column leaching test

扩大型柱浸试验采用闭路循环浸出,即浸出的贵液经过碳吸附后,添加氰化物以及氧化钙调节浸出液的氰化物浓度以及 PH 值,再用泵打回柱内,这样反复循环,直至试验结束。试验步骤为:

(1)添加保护碱:由于矿石中含有可溶性金属离子和其它杂质,会大量消耗氰化物,为了消除有害杂质的影响和减少氰化物用量,需要在试样中添加保护碱。在装柱之前,将试样与一定量的保护碱(石灰)混匀。

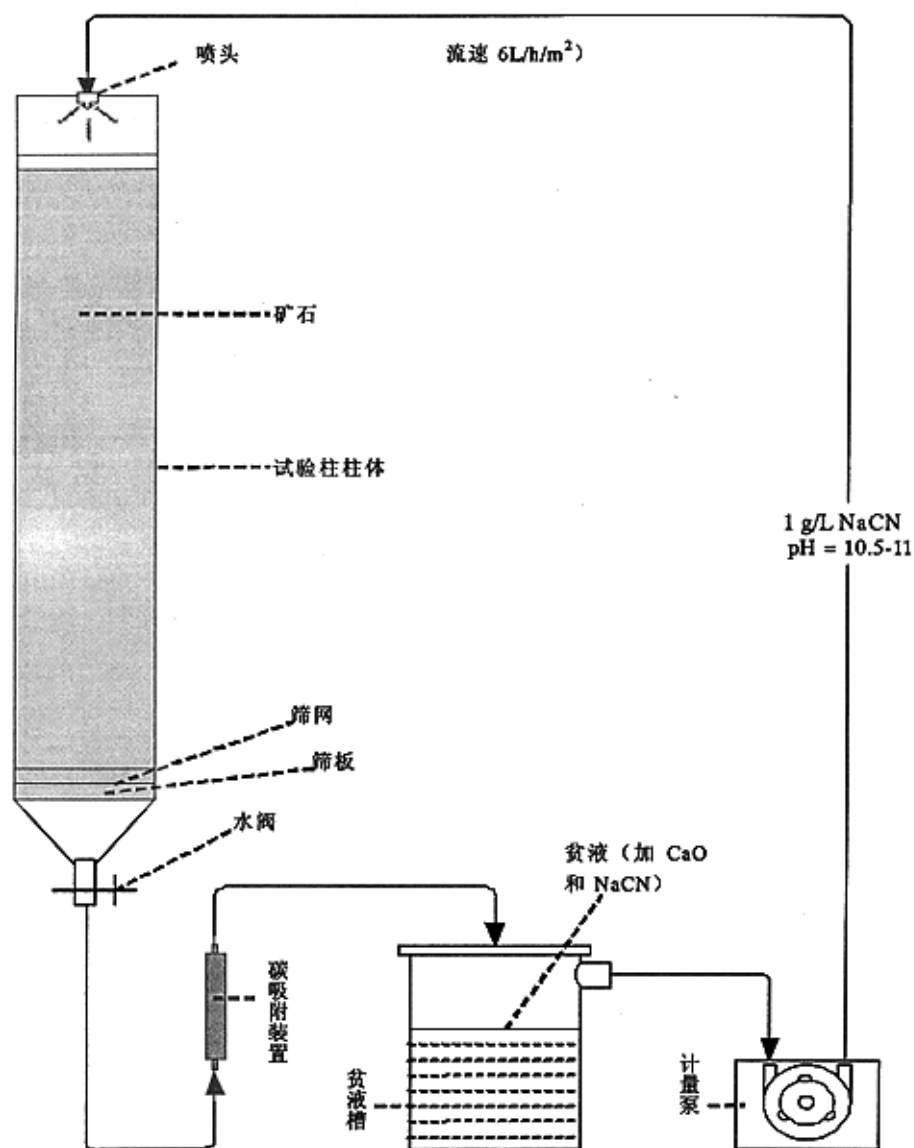


图 2.2 柱浸试验装置图

Fig.2.2 The device of column leaching test

表 2.1 石灰添加情况
Table 2.1 The lime addition condition

粒级 mm	150~0	150~0	50~0	50~0	12~0	12~0
添加量 kg/t	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

(2)试样装柱：在试样装柱之前应对浸出柱的实际尺寸进行测量并作记录，测量完毕，将添加完保护碱的不同粒度的试样充分混匀后分别装入柱内，试样装入后测量实际装矿高度。本次试验共分三个粒级，150~0mm 级平行两份，50~0mm 级平行两份，12~0mm 级别平行两份。装柱时要小心谨慎，防止物料把筛板砸坏。

表 2.2 装柱情况一览
Table 2.2 Column loading data

柱浸试验柱			矿样粒度	矿样重量	装矿高度
序号	内径(mm)	高度(mm)	(mm)	(kg)	(mm)
1	476	4987	150~0	1367	4246
2	476	4991	150~0	1367	4339
3	476	4983	50~0	1367	4455
4	476	4978	50~0	1367	4518
5	476	4983	12~0	1367	4558
6	476	4980	12~0	1367	4528

(3)喷淋浸出：将配置好的氰化物溶浸液装入给液桶，打开事先调节好的计量泵进行滴淋，并从此时起计算浸出时间。从有贵液出现时开始，每天定时称量贵液体积并取贵液水样，测定并记录氰化物浓度，碱度以及含金量。当贵液体积累计达到一定量时开始碳吸附，吸附完毕后的液体即为贫液，取贫液水样测定并记录氰化物浓度，碱度以及含金量，根据结果计算，加入石灰及氰化物配置为新的溶浸液，开始循环。累积计算含金量，当含金量不再明显增加时，可认为浸出基本达到终点。当浸出达到终点时，使用自来水清洗一周左右，每天定时取水样测定并记录氰化物浓度，碱度以及含金量。当氰化物浓度较低时停止清洗，静置 4 天到一周。

(4)污水处理：我国含氰化物废水的排放标准为 0.5mg/L。所以需要对最后剩余的浸出贫液及洗液进行处理。处理方法为在废液中加入一定量的漂白粉，搅拌，静置 24 小时之后，取样测定氰化物的浓度，若大于 0.5mg/L，则再加漂白粉，搅拌，静置，取样再测定，直到废液中氰化物浓度低于国家标准时方可排放。

2.2 试样制备

2.2.1 取样

本次采用的取样方法为从矿车上直接拣块法，即从刚刚装完矿石的矿车上，先把矿车的矿石推平，然后按照车厢的两对角线，根据车箱的大小以及车的载重量分几处拣取矿石。经过 350 车次的连续取样，得到本次柱浸试验所需矿样约 20t。

此次所取试样为氧化矿，金属硫化物矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等，含矿岩石以千枚岩、片岩、石榴石红柱石石片岩为主，石英细脉相对减少，而金属硫化物细脉相对发育，金品位变化较大。

2.2.2 试样的破碎筛分

本次柱浸试验原矿样为经过堆浸场一段开路破碎后的矿石，矿石粒度绝大部分在 150mm 以下，将所有矿石通过 150mm、100mm、75mm、50mm、25mm、12mm、10mm、6mm、4mm、2mm 等 10 个筛进行筛分分级，大于 150mm 的矿石手工砸碎后返回筛分分级，最终得到 10 个粒度的矿样，各个粒度单独堆放称重并记录，计算矿石总重量以及柱浸矿石粒度分布。

表 2.3 矿样重量及粒度分布

Table 2.3 The weight and particle size distribution of ore

粒度, mm	重量,kg	粒度分布, %	粒度通过率, %
+150	0.00	0.00	100.00
-150+100	916.531	5.06	94.94
-100+75	646.839	3.57	91.36
-75+50	2627.354	14.52	76.84
-50+25	3356.002	18.54	58.30
-25+12	3708.087	20.49	37.81
-12+10	394.652	2.18	35.63
-10+6	1687.138	9.32	26.31
-6+4	805.568	4.45	21.85
-4+2	1065.289	5.89	15.97
-2	2889.724	15.97	0.00
总计	18097.184	100.00	

2.2.3 柱浸试验样及分析样的制备

本次柱浸试验共分三个粒级，其中 150~0mm 级别平行两份，50~0mm 级别平行两份，12~0mm 级别平行两份，每份试验样需要 1367kg。其中 150~0mm 级别代表经过堆浸场一段开路破碎后的矿石，50~0mm 级别代表经过堆浸场两段开路破碎后的矿石，12~0mm 级别代表经过堆浸场三段闭路破碎后的矿石。在制备柱浸试验样的同时，针对每个粒级制备一个与柱浸试验样重量及粒度分布完全相同的分析样。

下面是试样制备流程图 2.3:

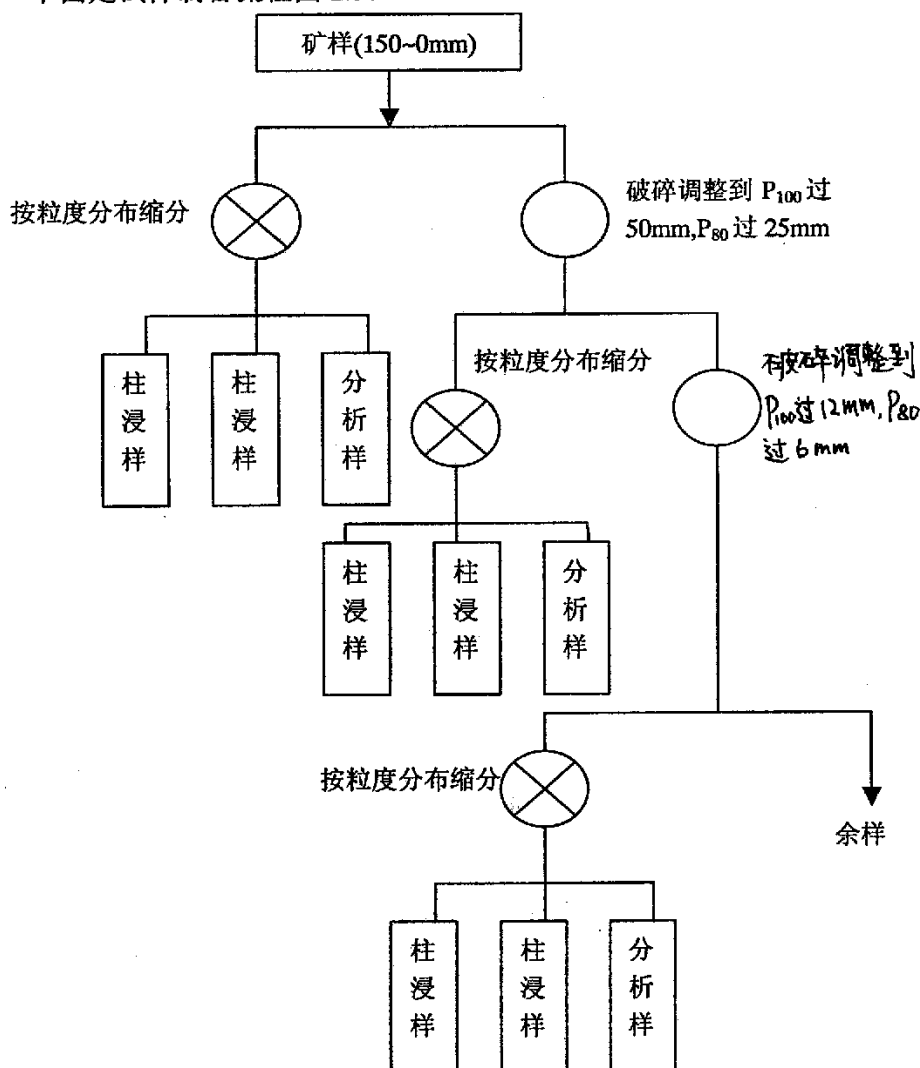


图 2.3 试样的制备流程图

Fig.2.3 The preparation flow of samples

具体方法是首先根据柱浸原矿样 10 个粒度的分布比例以及柱浸所需试验样重量，计算每个柱浸样中各粒度所需重量，然后根据重量对各个粒度进行缩分。缩分出三个试样，即 150~0mm 柱浸试验样两份及该粒级分析样一份。

将剩余矿样中大于 50mm 的破碎到 50mm 以下，用 25mm、12mm、10mm、6mm、4mm、2mm 筛子进行筛分分级并称重，将筛分出来的各粒度矿样分别添加到之前的矿样中，重新计算各个粒度的重量和粒度分布，如果-25mm 矿样重量低于 80%，则再将大于 25mm 粒度的矿样部分破碎，直到-25mm 矿样重量占矿样的 80%左右，称量并计算各个粒度重量及粒度分布。然后根据新粒度分布计算 50~0mm 柱浸样各个粒度重量，缩分三个试样，即 50~0mm 柱浸试验样两个及该粒级分析样一个。

最后缩分 12~0mm 粒级的试样，同样的将大于 12mm 的矿样破碎到 12mm 以下，然后用 10mm、6mm、4mm、2mm 筛子进行筛分并称重，新筛分出来的试样添加到各个粒度中，重新计算各个粒度重量及粒度分布。再将部分+6mm 矿样破碎，直到-6mm 矿样重量占 80%左右。称量并计算各个粒度矿样重量及粒度分布。根据新粒度分布缩分 12~0mm 粒级柱浸试验样两份及分析样一份。

通过上述操作共制备得到扩大型柱浸试验样 6 份以及对应的各级别分析用样 3 份，每份 1367kg。另从剩余矿样中缩分出 100kg 矿样，全部破碎到 6mm 以下，混匀缩分 20 份，每份 3kg，作为实验室小型柱浸试验样。

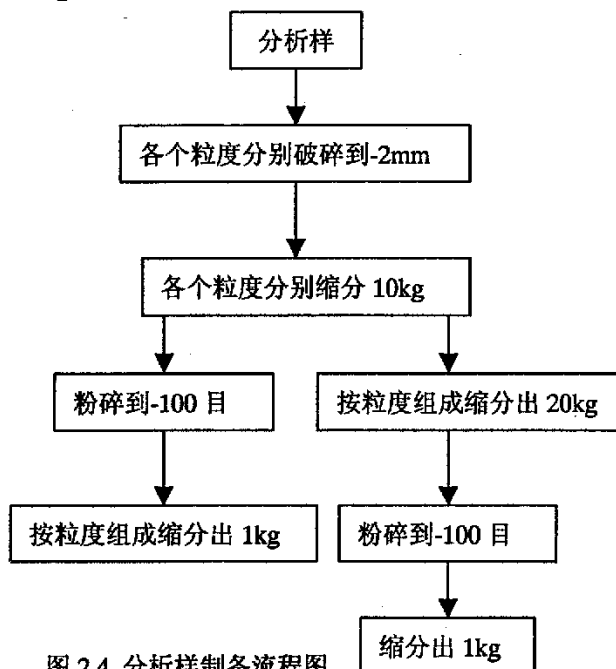


图 2.4 分析样制备流程图

Fig.2.4 The preparation flow of samples for analysis

表 2.4 150~0mm 试样粒度分布

Table 2.4 The particle size distribution of 150~0mm samples

试样粒度	150~0mm		
粒度, mm	重量,kg	粒度分布, %	粒度通过率, %
+150	0.00	0.00	100.00
-150+100	69.23	5.06	94.94
-100+75	48.86	3.57	91.36
-75+50	198.46	14.52	76.84
-50+25	253.50	18.54	58.30
-25+12	280.10	20.49	37.81
-12+10	29.81	2.18	35.63
-10+6	127.44	9.32	26.31
-6+4	60.85	4.45	21.85
-4+2	80.47	5.89	15.97
-2	218.28	15.97	
总计	1367	100	

表 2.5 50~0mm 试样粒度分布

Table 2.5 The particle size distribution of 50~0mm samples

试样粒度	50~0mm		
粒度, mm	重量,kg	粒度分布, %	粒度通过率, %
-75+50	0.00	0.00	100.00
-50+25	272.54	19.94	80.06
-25+12	428.53	31.35	48.71
-12+10	58.53	4.28	44.43
-10+6	166.99	12.22	32.22
-6+4	79.57	5.82	26.40
-4+2	106.80	7.81	18.58
-2	254.04	18.58	
总计	1367	100	

表 2.6 12~0mm 试样粒度分布

Table 2.6 The particle size distribution of 12~0mm samples

试样粒度	12~0mm		
粒度, mm	重量,kg	粒度分布, %	粒度通过率, %
-25+12	0.00	0.00	100.00
-12+10	59.10	4.32	95.68
-10+6	216.93	15.87	79.81
-6+4	295.96	21.65	58.16
-4+2	249.90	18.28	39.88
-2	545.11	39.88	
总计	1367	100	

2.3 试验设备仪器及装置

2.3.1 试验设备仪器及药剂

表 2.7 试验设备仪器及药剂

Table 2.7 Equipments and instruments used in this experiment

主要设备及仪器	试验所用药剂	其它
可调式鄂式破碎机	分析纯氧化钙	除尘器
对辊破碎机	氰化钠	二分器
粉碎制样机	草酸	试样袋
振动筛分机	酚酞指示剂	取样小瓶
电子天平秤(60kg)	硝酸银	塑料桶(200L,30L)
搅拌器	碘化钾	活性椰壳炭
电子显示 pH 计	PH=4 缓冲剂	LMI 电子计量泵配件
LMI 电子计量泵	PH=6.86 缓冲剂	
搅拌器	PH=9.18 缓冲剂	
烘箱		

2.3.2 试验装置的准备及安装

本次试验采用 PVC 管作为浸出柱柱体,其内径为 476mm,长度约为 5000mm。

在距离 PVC 管一端 400mm 左右的地方使用电锯切割一个高约 400mm 宽约 300mm 的口子, 作为浸出结束时的卸矿口。对应每个卸矿口切割一个长 450mm, 高 350mm 的 PVC 管作柱浸试验进行时的卸矿口挡板。另外准备直径为 600mm 的 20mm 厚的 PVC 圆形底板及直径 476mm 的 PVC 圆形筛板。将圆形底板中心转孔并安装贵液排液阀门。将底板与 PVC 柱柱体焊接, 然后焊接卸矿口挡板, 并用钢条将挡板与柱体箍紧, 上胶晾干。



图 2.5 浸出柱

Fig.2.5 The PVC column for leaching

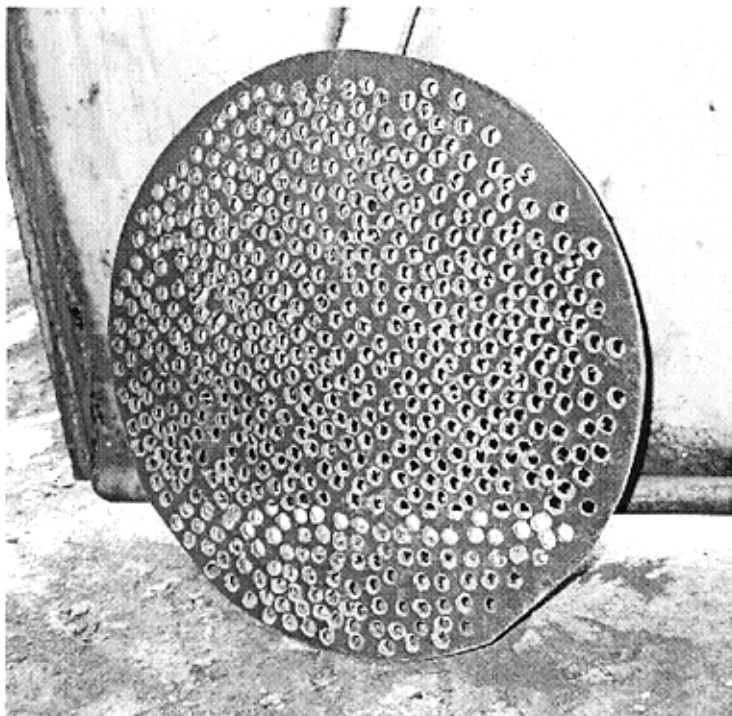


图 2.6 圆形筛

Fig.2.6 The rotundity screen deck

浸出柱组装完成后，将固定于浸出柱柱架上，放入圆形筛板以及筛网，安装流量计量泵以及给液排液管道，浸出柱安装完毕。由于溶浸剂氰化物为剧毒药剂，所以浸出柱安装完成以后必须进行防水性试验。试验方法为：向各个浸出柱注入自来水，使其液面不低于排矿口上沿的水量，放置一段时间。检查浸出柱焊接口，卸矿口有无液体渗漏，若有渗漏应将水放干对有渗漏处进行焊接或粘结，待其完全干燥后再进行防水性试验，直至所有浸出柱没有渗漏，方可进行柱浸试验。

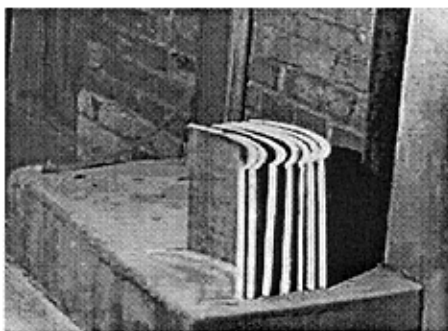


图 2.7 卸矿口挡板

Fig.2.7 The baffle for unloading

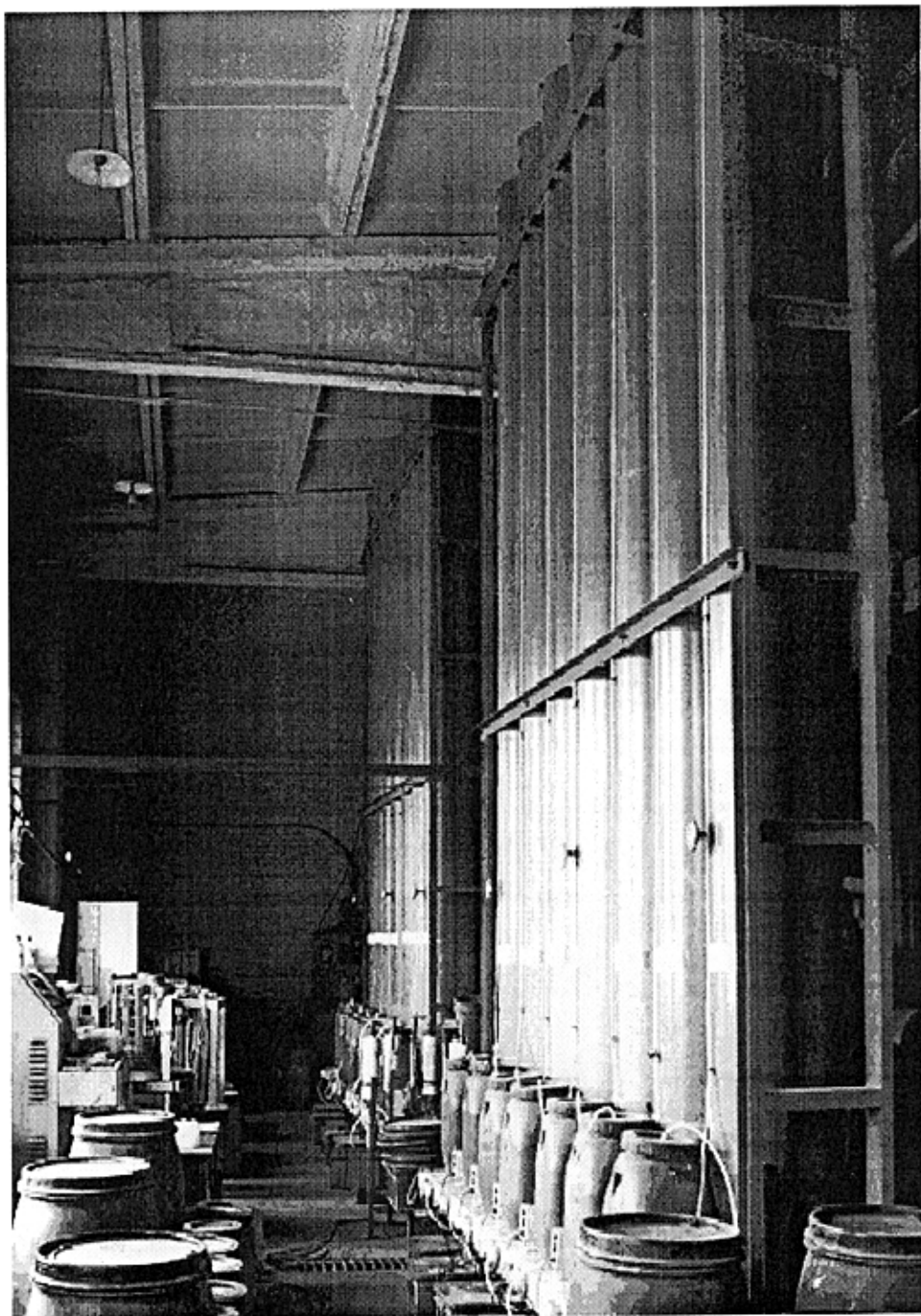


图 2.8 柱浸试验装置照片

Fig 2.8 The photograph of column leaching device

2.4 检测方法

本次试验中,浸出液中氰化物的浓度、保护碱的浓度以及金的含量的检测分别采用硝酸银滴定、草酸滴定以及原子吸收光谱法。

2.4.1 氰化物浓度的滴定

硝酸银滴定氰化钠:

在碱性溶液中,以 5% 的碘化钾为指示剂,用硝酸银溶液(1.734g/L)滴定,滴定终点为黄色混浊出现。

滴定步骤为:准确吸取试液 10ml 于 100ml 三角锥形瓶中,加入几滴碘化钾指示剂,用硝酸银溶液滴定至溶液出现黄色浑浊为终点,记录滴定消耗的硝酸银标准溶液的量^[34]。

氰化钠的含量的计算:

$$NaCN(mg/L) = \frac{1-V_1}{V_0} \times 1000 \quad (2-1)$$

式中:

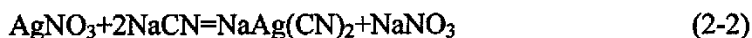
1——为硝酸银标准溶液对氰化钠的滴定度(1 mg/ml);

V_0 ——取试液的体积(ml);

V_1 ——滴定消耗硝酸银标准溶液的量(ml);

1000——毫升换算为升的系数。

化学反应为:



2.4.2 保护碱浓度的滴定

本次试验选用氧化钙作为保护碱。虽然氢氧化钠、氧化钙都可用作氰化浸出时的碱,但国内外一般都使用氧化钙,这是因为使用氧化钙较用氢氧化钠有如下优势:其一,价格低廉,包装、运输方便,据计算,40gNaOH 可贡献 17gOH⁻,而 56.08gCaO 与水作用则可贡献 34gOH⁻;其二,有利于保持溶浸液的 PH 值的相对稳定,在筑堆时 CaO 可拌矿加入,在淋洗时它能与硅质、硅铝酸盐生成 CaSiO₃ 等难溶化合物,并覆盖在这些矿物表面,抑制其耗碱,导致溶浸液的 PH

值过快下降；其三， Ca^{2+} 能与溶浸液中可能含有的 AsO_4^{3-} 形成难溶的 $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ 留在尾矿堆中，避免砷对环境的污染，废弃尾液中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 可与 CO_2 、 H_2CO_3 、 HCO_3^- 等形成 CaCO_3 自然化解，不会对环境产生长期影响^[35]。

草酸滴定游离氧化钙：

浸出液中碱性主要来源于游离氰化物和石灰(CaO)。所谓保护碱就是指游离氧化钙的含量。因此，测定时应先用硝酸银把游离氰化物的碱抵消。

滴定步骤：把刚滴定检测完游离氰化物的溶液加入酚酞指示剂 2~3 滴，溶液变为红色，用草酸溶液(2.25g/L)滴定至红色消失即为滴定终点，记录滴定消耗的草酸标准溶液的量，若加入酚酞指示剂后溶液没出现红色则表示溶液中游离氧化钙的浓度为零。

游离氧化钙的浓度的计算：

$$\text{CaO}(\text{g/L}) = \frac{1 \times V_1}{V_0} \quad (2-4)$$

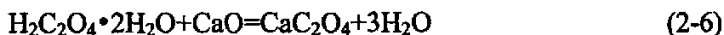
式中：

1——为草酸标准溶液对氧化钙的滴定度(1 mg/ml)；

V_0 ——取试液的体积(ml)；

V_1 ——滴定消耗草酸标准溶液的量(ml)；

化学反应为：



2.4.3 金含量的测定

本次试验中金含量的测定采用原子吸收光谱法(Atomic Absorption Spectrometry)，简称 AAS。原子吸收光谱法是一种测量气态原子对光辐射吸收的方法。其原理是物质分子中的元素在一定条件下被离解成原子，气态原子吸收相应波长的光从基态跃迁到激发态。在原子光谱中，原子只有一种基态，而可有多多种激发态。通常把基态原子跃迁至第一激发态时的吸收称为共振吸收，把第一激发态回到基态是的发射称为共振发射。由于第一激发态的能量在所有激发态中最低，最易激发，应而在发射光谱中共振线是最强的发射线，即最灵敏线。各中元素的最强吸收线与该元素的最强发射线相对应。原子吸收光谱分析法就是利用最强的吸收线进行测定，在一定浓度范围内，吸光度与样品溶液里的待测元素的浓度呈正比，依次作为定量依据^[36]。

原子光谱吸收法在测量时有标准曲线法和标准加入法。本次试验用的是标准加入法：配置一系列不同浓度的金元素标准溶液，在选定的条件下分别测定其吸光度，以测得的吸光度为纵坐标，浓度为横坐标作图，得到标准曲线。再在相同条件下测定试液的吸光度，由标准曲线上就可求得金元素的含量。

第三章 试验研究

3.1 矿石工艺矿物学的研究

3.1.1 矿石化学组成的研究

3.1.1.1 光谱半定量分析

在研究矿的化学组成前，首先应进行光谱半定量分析，测定矿石中含有哪些元素及其大致含量，这样做可以全面地了解矿石中有哪些有用和有害元素，帮助下一步化学分析正确地选定主要化学分析和确定分析方法。

表 3.1 光谱半定量分析结果
Table 3.1 The analysis result of spectrum

分析元素及结果				
Ag,g/t	Cu,g/t	Pb,g/t	Zn,g/t	As,g/t
0.3	91	13	61	97
Sb,g/t	Hg,g/t	Mo,g/t	Tl,g/t	Bi,g/t
<5	<3	7	<10	<2
Cd,g/t	Co,g/t	Ni,g/t	Ba,g/t	W,g/t
<0.2	23	51	212	<5
Cr,g/t	V,g/t	Mn,g/t	La,g/t	Sr,g/t
60	69	571	37	146
Zr,g/t	Sc,g/t	Fe,g/t	Al,%	Ca,%
13	5	560	2.88	0.55
Ti,%	Mg,%	K,%	Na,%	P,%
0.19	1.33	1.62	0.1	0.09

3.1.1.2 矿石中主要元素的化学分析

化学多元素分析是根据光谱半定量分析的结果，对矿石中所含多个重要和较重要的元素的定量化学分析，不仅分析金，而且也要分析对浸出率和药剂耗量可能产生影响的其它元素，如银、铜、铅、锌、铁、砷、汞、硫、炭等。

表 3.2 150~0mm 试样金品位分析结果

Table 3.2 The gold grade analysis result of sample at 150~0mm

150~0mm		
粒度, mm	粒度分布, %	品位, g/t
-150+100	5.06	0.24
-100+75	3.57	0.23
-75+50	14.52	0.19
-50+25	18.54	0.59
-25+12	20.49	0.74
-12+10	2.18	0.64
-10+6	9.32	0.49
-6+4	4.45	0.61
-4+2	5.89	0.61
-2	15.97	0.91

表 3.3 50~0mm 试样金品位分析结果

Table 3.3 The gold grade analysis result of sample at 50~0mm

50~0mm		
粒度, mm	粒度分布, %	品位, g/t
-50+25	19.94	0.70
-25+12	31.35	0.76
-12+10	4.28	0.43
-10+6	12.22	0.64
-6+4	5.82	0.33
-4+2	7.81	0.79
-2	18.58	0.72

表 3.4 试样主要金属元素分析结果

Table 3.4 The main metal analysis result of sample

元素	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Hg
含量, g/t	0.65	81.4	10.3	70.5	607.1	81.9	7.8

表 3.5 12~0mm 试样金品位分析结果
Table 3.5 The gold grade analysis result of sample at 12~0mm

12~0mm		
粒度, mm	粒度分布, %	品位, g/t
-12+10	4.32	0.73
-10+6	15.87	0.34
-6+4	21.65	0.69
-4+2	18.28	0.58
-2	39.88	0.63

表 3.6 试样主要元素分析表
Table 3.6 The component analysis result of sample

粒级	总 C(%)	有机 C(%)	总 S(%)	单质 S(%)	S ²⁻ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)
150~0mm	1.44	0.14	0.14	<0.01	0.01	0.11
50~0mm	1.46	0.12	0.12	<0.01	0.01	0.1
12~0mm	1.45	0.12	0.12	<0.01	0.01	0.11

3.1.2 岩矿鉴定

矿石主要有斜长石、石英、绢云母、黑云母等组成，其中含少量石榴石、绿帘石、绿泥石、钠长石、碳质、铁制等，基本上属于黑云斜长片麻岩、碳质绢云千枚岩、碳质绢云千枚岩状片岩等。

3.1.3 矿石的物理性质

3.1.3.1 细粒级含量的测定

矿石中细粒级含量对堆浸的渗透性影响很大，随着矿石中细粒级含量的增加，矿粒之间空隙减少，渗透性明显降低。当矿石中含原生矿泥较多时，渗透性更差。因此，柱浸试验前，应测定各试验粒级(150~0mm、25~0mm、12~0mm)其中的细粒级含量，如果某粒级中-200 目含量超过 25~30%，便需要制粒试验。

细粒级含量的测定方法如下：从各个级别分析样-2mm 中缩取 1kg 试样，在水中浸泡 6 小时后(水量以淹没矿样为宜)，用 20 目、40 目、60 目、100 目、200 目筛子进行湿筛，各粒级产物过滤、烘干，再用以上筛子进行干筛，各个粒度称重并记录。并按下式计算：

$$W_x = \frac{Q_x}{Q} \times P_2$$

(3-1)

式中：W_x——该粒度在 d~0mm 粒级所占的百分含量(d=150； 50； 12)；

Q_x——该粒度的重量；

Q——干矿的重量；

P₂——d~0mm 粒级中-2mm 的百分含量。

表 3.7 150~0mm 试样细粒级含量

Table 3.7 The fine fraction content of sample at 150~0mm

150~0mm	1kg 矿样细粒级含量试验		粒度分布， %
	重量， g	粒度分布， %	
-150mm+100mm			5.08
-100mm+ 75 mm			3.57
-75mm+50mm			14.52
-50 mm+25 mm			18.54
-25 mm+12 mm			20.49
-12 mm+10 mm			2.18
-10 mm+6 mm			9.32
-6 mm+4 mm			4.45
-4 mm+2 mm			5.89
-2mm+20 目	44.01	4.57	0.73
-20 目+40 目	174.22	18.10	2.89
-40 目+60 目	102.05	10.60	1.69
-60 目+100 目	91.11	9.46	1.51
-100 目+200 目	152.34	15.82	2.53
-200 目	399.04	41.45	6.62
总计	962.77	100.00	100.00

表 3.8 50~0mm 试样细粒级含量

Table 3.8 The fine fraction content of sample at 50~0mm

50~0mm	1kg 矿样细粒级含量试验		粒度分布， %
	重量， g	粒度分布， %	
-50 mm+25 mm			19.94
-25 mm+12 mm			31.35
-12 mm+10 mm			4.28
-10 mm+6 mm			12.22
-6 mm+4 mm			5.82
-4 mm+2 mm			7.81
-2mm+20 目	44.23	4.58	0.85
-20 目+40 目	179.11	18.56	3.45
-40 目+60 目	106.05	10.99	2.04
-60 目+100 目	90.03	9.33	1.73
-100 目+200 目	150.22	15.57	2.89
-200 目	395.24	40.96	7.61
总计	964.88	100.00	100.00

表 3.9 12~0mm 试样细粒级含量
Table 3.9 The fine fraction content of sample at 12~0mm

12~0mm 粒级	1kg 矿样细粒级含量试验		粒度分布, %
	重量, g	粒度分布, %	
-12 mm+10 mm			4.32
-10 mm+6 mm			15.87
-6 mm+4 mm			21.65
-4 mm+2 mm			18.28
-2mm+20 目	130.24	12.95	5.17
-20 目+40 目	222.01	22.08	8.81
-40 目+60 目	102.40	10.19	4.06
-60 目+100 目	82.44	8.20	3.27
-100 目+200 目	134.02	13.33	5.32
-200 目	334.22	33.24	13.26
总计	1005.33	100.00	100.00

3.1.3.2 矿石湿度的测定

湿度是指矿石中所含水分占矿石干重的比例。测定方法：从不同分析样各个粒级中称取 1~2kg 矿样，放入烘箱烘干 24 小时后取出再次称重记录。并按下式计算各粒度的湿度：

$$M_x = \frac{Q_{\text{湿}} - Q_{\text{干}}}{Q_{\text{干}}} \times 100 \quad (3-2)$$

式中：M_x——某粒度的湿度；

Q_湿——该粒度的重量；

Q_干——干矿的重量。

表 3.10 50~0mm 试样湿度
Table 3.10 The moisture of sample at 50~0mm

50~0mm				
粒度, mm	粒度分布, %	湿重, kg	干重, kg	湿度, %
-50+25	19.94	1.69	1.68	0.72
-25+12	31.34	1.53	1.52	0.92
-12+10	4.28	1.61	1.59	1.07
-10+6	12.22	1.35	1.33	1.58
-6+4	5.82	1.41	1.37	2.55
-4+2	7.81	1.57	1.52	3.02
-2	18.59	1.27	1.23	3.33
总计	100	10.42	10.24	
该粒级矿样平均湿度				1.67

表 3.11 150~0mm 试样湿度

Table 3.11 The moisture of sample at 150~0mm

150~0mm				
粒度, mm	粒度分布, %	湿重, kg	干重,kg	湿度, %
-150+100	5.06	1.93	1.91	0.63
-100+75	3.57	2.32	2.27	1.98
-75+50	14.52	1.50	1.49	0.74
-50+25	18.55	1.08	1.07	1.59
-25+12	20.49	1.25	1.24	1.29
-12+10	2.18	1.54	1.51	1.92
-10+6	9.32	1.23	1.21	1.74
-6+4	4.45	1.08	1.05	2.58
-4+2	5.89	1.30	1.26	2.77
-2	15.97	1.25	1.21	3.72
总计	100	14.48	14.22	
该粒级矿样平均湿度				1.85

表 3.12 12~0mm 试样湿度

Table 3.12 The moisture of sample at 12~0mm

12~0mm				
粒度, mm	粒度分布, %	湿重, kg	干重,kg	湿度, %
-12+10	4.32	1.23	1.22	1.15
-10+6	15.87	1.43	1.40	1.64
-6+4	21.65	1.49	1.47	1.29
-4+2	18.28	1.35	1.31	3.05
-2	39.88	1.35	1.32	2.51
总计	100.00	6.85	6.72	
该粒级矿样平均湿度				2.15

3.1.3.3 堆比重的测定

堆比重的测定方法为：取任一经过校准的容器，盛满矿石至边缘并刮平，然后称出重量。测量容器不应过小，否则准确性差。因此，容器的最短边长也要比矿石最大尺寸长五倍。为减少误差，应重复测定多次。

按下式计算矿石的对比重：

$$\Delta = \frac{P_1 - P_0}{A} \quad (3-3)$$

式中： Δ ——矿石堆比重(kg/L)；

P_1 ——所盛矿石及容器共重(kg)；

P_0 ——容器的重量(kg)。

A——容器的体积(L)。

表 3.13 矿石堆比重测定结果
Table 3.13 The bulk density of ore

粒级	量杯 容积 A(L)	量杯空 重 P ₀ (kg)	量杯加矿样重 P ₁ (Kg)测定次数						堆比重 ρ _Δ (kg/L)
			1	2	3	4	5	平均 值 (P ₁)	
150~0mm	2	0.840	4.070	4.047	3.923	4.010	4.058	4.022	1.591
50~0mm	2	0.840	4.224	4.150	4.200	4.317	4.260	4.230	1.695
12~0mm	2	0.840	4.455	4.505	4.473	4.440	4.540	4.483	1.822

3. 2 粒度试验研究

试验条件为：氰化钠浓度 1g/L，喷淋强度 6L/(h·m²)，氰化物溶液 PH 值在 10.5~11。

本次粒度试验一是通过试验考查粒度对浸出指标的影响，包括氰化物耗量，石灰耗量，浸出率等，二是通过粒度试验，研究粒度对于浸出速度的影响，从而最终决定堆浸入堆矿石的粒度。试验粒度的选择主要考虑生产中碎矿设备的实际情况以及采用的破碎方式。本次试验最终选定 150~0mm，50~0mm，12~0mm 三个级别，这三个级别分别代表堆浸场一段开路破碎，二段开路破碎以及三段闭路破碎后的粒度。

3. 2. 1 氰化物耗量

氰化物耗量是指为了保持溶浸液氰化物浓度所消耗的氰化物总量。消耗氰化物总量的计算方法如下：

$$q_1 = \frac{G_1 + G_2 - V_1P_1 - V_2P_2}{Q} \tag{3-4}$$

- 式中：
- q₁—氰化物耗量(kg/t)；
 - G₁—配制溶浸剂所用氰化物重量(g)；
 - G₂—保持氰化物浓度所补加的氰化物总量(g)；
 - V₁—浸出结束后浸出液总量(L)；
 - V₂—洗水总量(L)；
 - P₁—浸出结束后浸出液中 CN⁻的浓度(g/L)；

P_2 —浸出结束后洗水中 CN^- 的浓度(g/L);

Q —浸柱中矿石量(t)。

表 3.14 氰化物耗量

Table 3.14 The Consumption of cyanide

浸出柱序号	1	2	3	4	5	6
粒级(mm)	150~0	150~0	50~0	50~0	12~0	12~0
氰化物耗量(kg/t)	0.196	0.219	0.148	0.167	0.180	0.235

3.2.2 石灰耗量

石灰耗量包括最初装柱之前添加的保护碱以及为了保持溶浸液 PH 值而加入的石灰总量。其计算方法如下:

$$q_2 = \frac{(G_1 + G_2 - V_1 P_1 - V_2 P_2)}{Q} \quad (3-5)$$

式中: q_2 —氧化钙耗量(kg/t);

G_1 —装柱之前所用保护碱石灰重量(kg);

G_2 —保持 PH 值为 10.5~11 所补加的 CaO 总量(kg);

V_1 —浸出结束后浸出液总量(L);

V_2 —洗水总量(L);

P_1 —浸出结束后浸出液中 CaO 的浓度(g/L);

P_2 —洗水中 CaO 的浓度(g/L);

Q —浸柱中矿石量(t)。

根据以上公式计算各粒级石灰耗量结果见表 3.15

表 3.15 石灰耗量

Table 3.15 The Consumption of lime

浸出柱序号	1	2	3	4	5	6
粒级(mm)	150~0	150~0	50~0	50~0	12~0	12~0
石灰耗量(kg/t)	1.433	1.382	1.391	1.361	1.406	1.348

因为在试验进行之前, 添加了保护碱, 以消耗矿石中的有害元素并保证浸出液始终处于较强的碱性条件下。因此为了调整浸出液 PH 而添加的石灰不多, 而且各个级别的石灰消耗量也相差不大。

3.2.3 浸出率

常规柱浸试验的浸出率有以下几种计算方法:

(1) 按渣计:

$$\varepsilon = \frac{(a-u)}{a} \times 100\% \quad (3-6)$$

式中: ε —金浸出率(%);

a —配制的原矿金品位(g/t);

u —浸渣金品位(g/t)。

(2) 按液计:

$$\varepsilon = \frac{(V_1P_1 + V_2P_2)}{(V_1P_1 + V_2P_2 + uQ)} \times 100\% \quad (3-7)$$

式中: ε —金浸出率(%);

V_1 —浸出贵液总量(L);

V_2 —洗水量(L);

P_1 —浸出贵液金品位(mg/L);

P_2 —洗水中金品位(mg/L);

u —浸渣金品位(mg/L);

Q —浸柱中矿石量(kg)。

(3)、按炭吸附计:

$$\varepsilon = \frac{(\rho_1M + \rho_2V)}{\rho_3} \times 100\% \quad (3-8)$$

式中: ε —金浸出率(%);

ρ_1 —载金炭金品位(mg/kg);

M —载金炭总重量(kg);

ρ_2 —贫液金品位(mg/L);

V —贫液总体积(L);

ρ_3 —配制的原矿金品位(g/t)。

如果试验样品有代表性,上述三个公式计算的结果应当很相近,但最终应以三种计算结果的平均值作为该矿样的浸出率。通过以上公式,计算得出各个粒级矿样的浸出率,由于本次试验对每个粒级都有平行的两份试样,将两份试样的浸出率平均,所得浸出率为该粒级矿样最终浸出率。

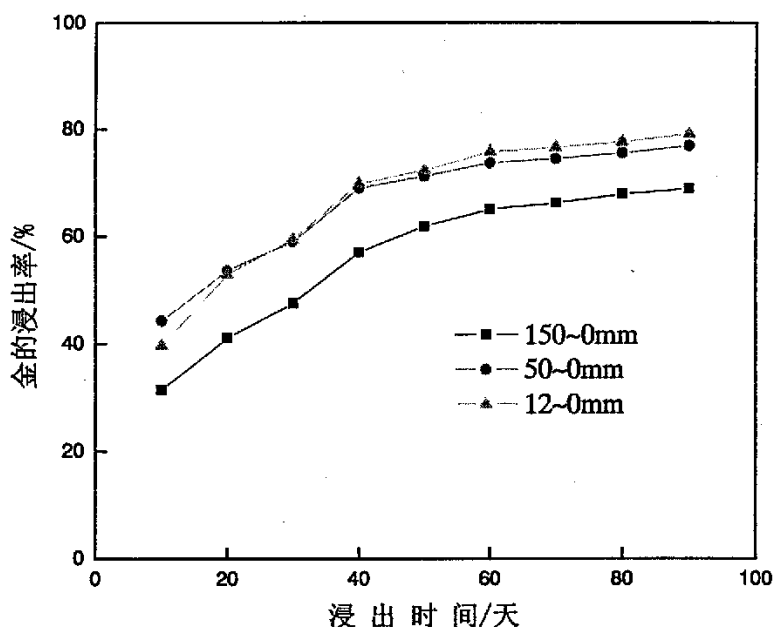


图 3.1 金的浸出率与浸出时间的关系

Fig.3.1 The relation of leaching yield and leaching time

由上图可知: 50~0mm、12~0mm 粒级试样的浸出率(达 75%左右)比 150mm 试样的浸出率(达 65%)明显提高, 约为 10%左右。50~0mm 与 12~0mm 粒级试样的浸出率相差不大。

3.2.4 粒度对浸出速度的影响

金的浸出试验都是以浸出的金不再增加来作为浸出试验的终点。对于不同粒度的金矿浸出, 它们达到浸出终点的过程是不一样的。以各粒级最终浸出的金的总量作为原矿的金含量, 计算不同粒度金矿的相对浸出率。各粒级的相对浸出率的变化能够体现出该粒级金矿在柱浸试验过程中浸出速度的快慢。

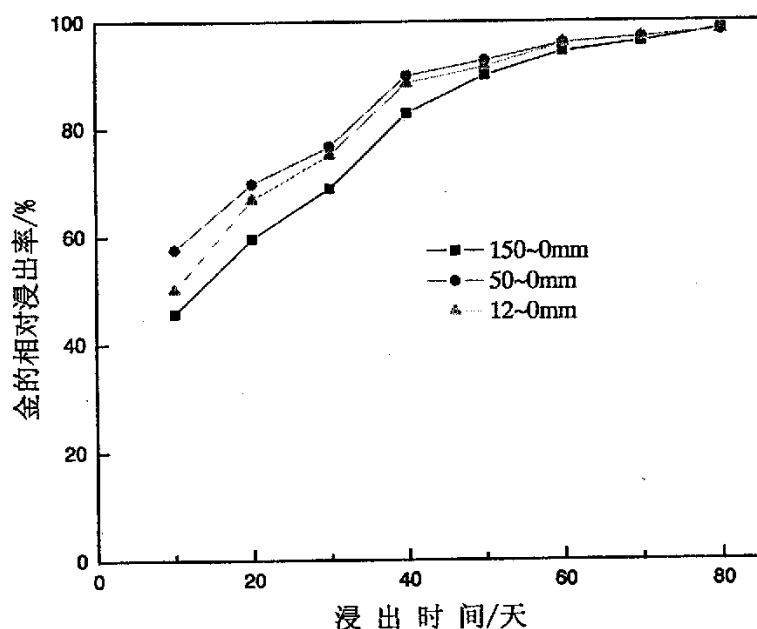


图 3.2 金的相对浸出率与浸出时间的关系

Fig.3.2 The relation of relative leaching yield and leaching time

由上图分析可知：随着矿石粒度的变小，浸出试验更快的接近浸出终点，也就是说矿石粒度越小，金浸出速度越快。因为从矿石的粒度越小，暴露出来的浸的比表面积就越大，固液两相接触的面积就越大，进而金的浸出速度也会越快。

3.3 氰化钠浓度试验研究

采用氰化物浓度分别为 0.1g/L、0.5g/L、0.75g/L 及 1g/L 的溶浸液进行浸出试验，喷淋强度均为 $10\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

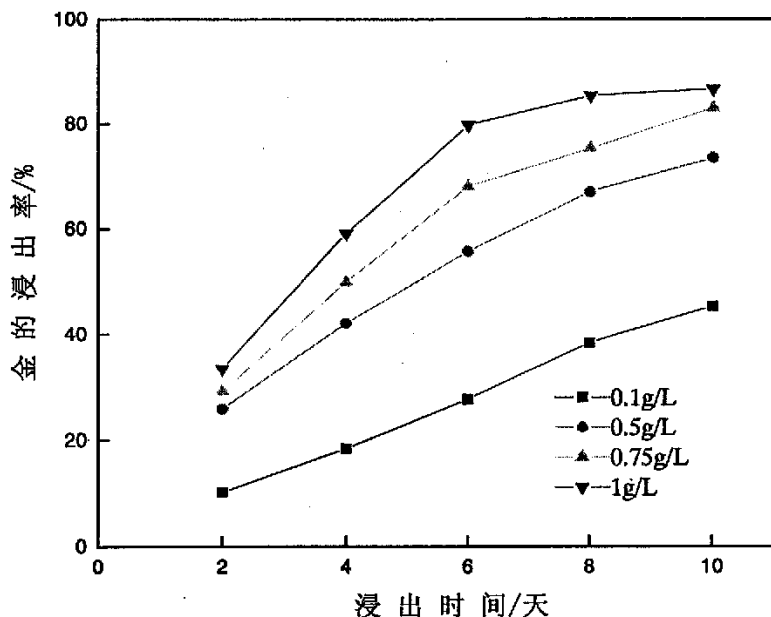


图 3.3 金的浸出率与浸出时间的关系

Fig.3.3 The relation of leaching yield and leaching time

由上图分析可知：随着浸出时间的增加，金的浸出率在不断的增加，但是对于不同的氰化物浓度，金的浸出率增加的速度不同。浸出试验的前期，随着氰化物浓度的增加，金的浸出率增加的幅度更大，浸出速度更快，所以选用高氰化物浓度的浸出试验比选用低氰化物浓度的浸出试验早到达浸出终点。其主要原因是金的氰化浸出反应的快慢主要受氰离子扩散流的大小的影响，而氰离子扩散流是随着氰化物浓度的增大而增大的，这一点在溶液中氰离子浓度较低时更明显。所以，随着氰化物浓度的增加，浸出反应速度呈直线上升。但当氰化物浓度足够高时，溶金速度则主要决于氧的浓度，所以通过一味提高氰化物浓度来达到加速浸出是不可取的。通过上图分析，该矿石适宜的氰化物浓度应当在 1g/L 左右。

3.4 喷淋强度试验研究

在氰化物为 1g/L 的条件下，采用喷淋强度分别为 $5 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $10 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $15 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $20 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 对矿石进行浸出试验。

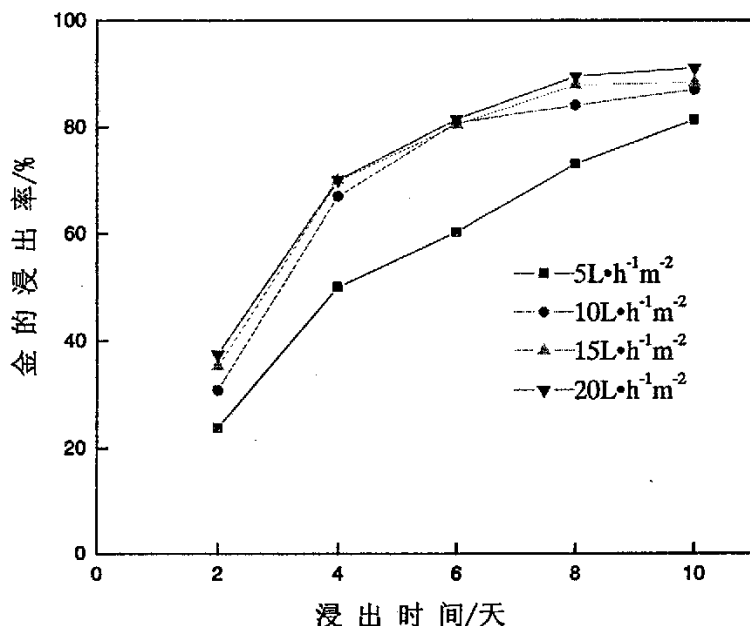


图 3.4 金的浸出率与浸出时间的关系

Fig.3.4 The relation of leaching yield and leaching time

由上图分析可知：增大喷淋强度，有助于浸出速度的提高。这是由于堆浸过程是溶液扩散过程，增大喷淋强度，可加速浸出液的循环，强化了传质过程，减少了固液界面上反应物和生成物之间的浓度梯度，有利于金氰络离子的扩散，因此可以提高浸出速度。但是增大喷淋强度会使矿石中的杂质浸出量增多，影响金的进一步浸出。同时可以发现，随着喷淋强度的增加，浸出率增加的幅度越来越小，也就是说对浸出速度的影响越来越小。而且喷淋强度的大小还与矿堆渗透性以及矿堆的规模有关，对于渗透性差、规模大的矿堆喷淋强度应该取小值，反之去大值。因此喷淋强度的设定应该综合各方面因素来考虑，根据本次试验结果，喷淋强度应当控制在 $10\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ~ $15\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 为宜。

3.5 助浸剂试验研究

根据此前两次条件试验的分析结果，选用氰化物浓度为 1g/L ，喷淋强度为 $10\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 进行试验。选择过氧化钙作为此次浸出试验的助浸剂，其原因一是过氧化钙为固体粉末，便于运输、储存和使用^[37]，二是过氧化钙放氧速度较慢，能够使氧气较长时间内保持较高的浓度^[38]，三是 CaO_2 既提供了氰化浸出所需的氧，又提供了碱，能消除某些硫化物、有机物的不良影响。为了进行对比，四个

浸出柱中有一个不添加助浸剂，其它三个浸出柱的过氧化钙的添加量分别为 1.5 kg/t、2 kg/t 及 3 kg/t。

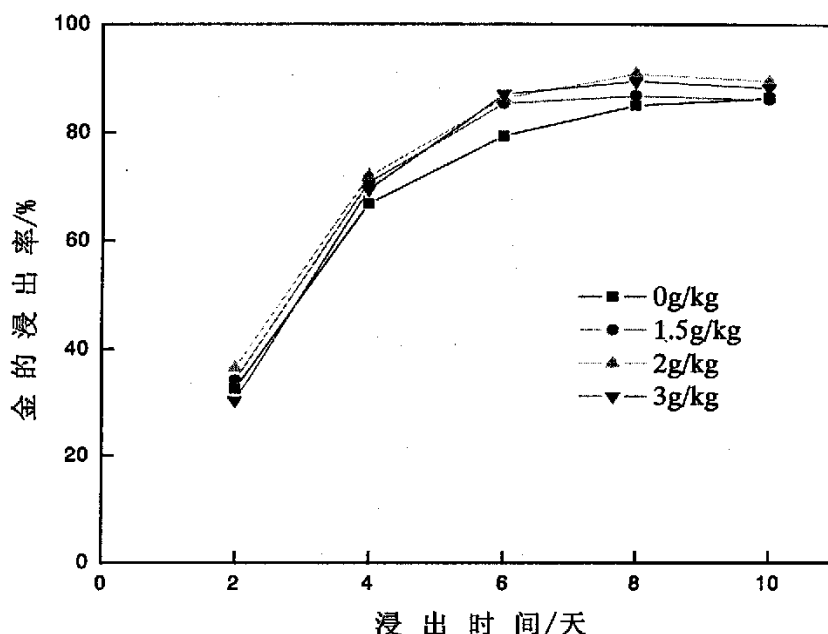


图 3.5 金的浸出率与浸出时间的关系

Fig.3.5 The relation of leaching yield and leaching time

由上图分析可知：以过氧化钙作为助浸剂，能够提高堆浸浸出速度。因为在金的堆浸浸出过程中，氧是一个非常重要的因素，当氰化物浓度足够高时，浸出反应速度主要取决于氧的浓度，而过氧化钙溶于水可以放出氧气，增加浸出液中的氧气浓度，从而促进金的浸出，加快金的浸出速度。但是就其不同添加量的试验效果比较，我们发现添加量为 2g/kg 和 3g/kg 的试验效果与添加量为 1.5g/kg 的试验效果相差不大，因为过氧化钙添加量太多，会引起氰化物的破坏，在金的表面形成钝化膜，阻碍浸金过程的进行。因此，对该矿石可以加入少量的过氧化钙作为助浸剂以促进金的浸出，加快浸出速度。

第四章 金的浸出原理及分析

4.1 金的氰化浸出的热力学

金矿石的氰化浸出的过程是在含氰化物的水溶液与固相金粒的界面上进行的。首先,金被氧化,继而是其氧化产物 Au^+ , Au^{3+} 与氰根 CN^- 络合生成 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ 金氰络离子并溶解进入液相。当没有氰化物存在时,金的还原电位 E 的数值很大。表明金离子从溶液中以分子状态析出的推动力很大,而且金属分子在水溶液中相当稳定,难以被氧化溶解。

$$\text{Au}^+ + e = \text{Au} \quad E = 1.730 + 0.059 \log(\text{Au}^+) \quad (4-1)$$

$$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au} \quad E = 1.498 + 0.0197 \log(\text{Au}^{3+}) \quad (4-2)$$

因此,为了浸出金矿中的金必须将金氧化成为易溶的物质,并且氧化产物的电极电位必须小于已溶解的氧的电极电位。才不被重新还原为金属金,浸出才能充分的进行。从以上方程看:要降低电极电位只有使 Au^+ , Au^{3+} 简单离子保持适当低的浓度,为此必须将氧化反应的最初产物 Au^+ , Au^{3+} 不断转化为易溶解的物质,而且这种物质在水溶液中必须是稳定的,才能达到降低电极电位,满足浸出的热力学条件。而当浸出液中存在氰化物时, Au^+ , Au^{3+} 与 CN^- 生成络离子(三价金的络离子不稳定,所以体系中仅生成 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$),其反应式如下:



一价氰络离子 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 在水溶液中非常稳定,因此氰化物溶液时金的良好浸矿剂。根据热力学数据可推导出下列反应式的还原电位。

$$\text{Au}(\text{CN})_2^- + e = \text{Au} + 2\text{CN}^- \quad (4-4)$$

当温度为 25 摄氏度时,

$$\begin{aligned} E_{\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}} &= 0.5 + 0.059 \log[\text{Au}(\text{CN})_2^-] \\ &\quad - 0.118 \log[(\text{CN}^-)_2 - 2\text{Au}(\text{CN})_2^-] \\ &\quad + 0.118 \log[4.93 \times 10^{-10} + (\text{H}^+)] \end{aligned} \quad (4-5)$$

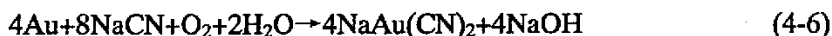
可见还原电位 E 是体系中总氰化物浓度,金氰络离子的浓度和氢离子浓度的函数^[34]。

4.2 金矿堆浸氰化过程的机理及分析

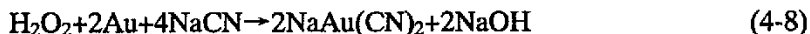
热力学分析的结果表明,使用氰化物作为金矿的浸矿剂在理论上是可行的,并且浸出反应得趋势和强度很大,但对于工业生产来说更重要的是追求高的反应速度,以便在最短的时间内以最低的生产成本或得最大金属回收率。

自从 1890 年开始用氰化法提金工业生产以来,该法一直视世界上主要的提金方法。因此对金的浸出机理研究颇多,以往曾提出过多种理论来解释氰化溶液中金的溶解机理。其中以埃尔斯纳的氧论和波特兰德的过氧化氢论得到了普遍的认可,它们也已被热力学分析证明是正确的。

埃尔斯纳的氧论认为金在氰化物溶液中溶解时有氧参加反应,而且氧是必不可少的,金的溶解可用下面的反应方程式表示:



波特兰德的过氧化氢论则认为金在氰化物溶液中的溶解分两步进行,其化学反应方程式如下:



其中过氧化氢是中间产物,这已经被试验所证明。然而上述两步的总反应式便是埃尔斯纳反应式。说明这两种理论在本质上是一致的。实质上金在氰化物溶液中的溶解类似于金属的腐蚀过程:溶液中的氧被还原为过氧化氢和羟基离子,金失去一个电子并与氰根离子络合成金氰络离子进入溶液中。



上述电极反应式也恰恰是波特兰德反应式的分布进行^[34]。

许多研究指出金的氰化浸出是一个先受氰化物扩散控制而后受氧的扩散控制的反应。许多学者在研究和试验的基础上得到共识,那就是当 $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]>6$ 时,金的溶解受氧的扩散控制,当 $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]<6$ 时,金的溶解受 CN^- 的扩散控制。

在氰化物浓度的柱浸试验中,氰化物浓度较高的浸出柱浸出速度较快,这是因为此时浸出柱中有足够的氧气, $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]<6$,金的溶解受 CN^- 的扩散控制。但是随着浸出的继续进行,浸出柱中的氧气在不断消耗,而氰化物却在不断的增加,慢慢的 $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]>6$,此时金的溶解受氧的扩散控制,即使加入更多氰化物,

浸出速度都不会有明显的提高^[39]。

而在助浸剂的试验中，也正是因为通过助浸剂过氧化钙缓慢的释放出氧气，提高了矿堆中氧气的浓度，从而达到了提高浸出速度的目的。但是试验表明过氧化钙添加量加大以后，金的浸出效果并没有太大的变化。这是因为，添加过多的过氧化钙，会引起氰化物的破坏，在金矿物表面产生过钝化膜，影响金的氰化浸出效果。

堆浸法提金的浸矿剂除与矿块表面暴露的金属起作用外，还通过矿石的裂隙，孔洞和解理面等进入矿石内部与可能接触到的金属作用而将金属浸出。不论浸矿剂通过何种渠道与金接触，其溶解反应总是在液固相的界面进行，而且金溶解的化学反应速度很快(反应平衡常数 $K=2.3 \times 10^{33}$)金溶解的过程取决于氰根离子和氧向金表面扩散的速度。

通过加大氰化钠溶液的喷淋强度，使氰化钠溶液更快的与矿块进行大面积的接触，加速向矿石内部渗透与金接触，因而加速了堆浸的浸出速度。但是随着浸出时间的推移，氰化钠溶液已经接触了所有的矿石表面以及可能进入的矿石内部。再进一步加大氰化钠溶液的喷淋强度对提高浸出速度的作用就不明显了。因此适当增加氰化钠溶液的喷淋强度对提高堆浸初期的浸出速度还是有利的。

第五章 结 论

本次试验以内蒙古乌拉特中旗浩尧尔忽洞金矿(217 金矿)矿石为研究对象,通过实验室扩大型柱浸以及小型柱浸的系统试验,研究了矿石粒度,氰化钠浓度,喷淋强度以及助浸剂对金矿堆浸浸出速度的影响。根据试验结果得出以下结论:

(1)通过不同粒度金矿石的实验室柱浸试验,经过 3 个月的浸出,浸出效果较好,金的浸出率达 75%。矿石粒度对矿石中金的浸出速度有较大影响,随着矿石粒度的变小,金浸出速度越快,但随着矿石粒度的变小,矿石的含泥量增大又降低了金的浸出速度,综合考虑该金矿石堆浸的粒度以 50~0mm 为宜。

(2)采用相对高浓度的氰化物溶液喷淋浸出能大大加快金的浸出速度。但是当氰化物浓度足够高时,溶金速度主要决于氧的浓度,单纯提高氰化物浓度不可取,会使矿石中杂质浸出量增多,而影响金的进一步浸出。试验研究表明该矿石适宜的溶浸剂氰化物浓度为 1g/L 左右。

(3)增大浸出液的喷淋强度,可加速浸出液的循环,有利于浸出液向金的表面扩散及迅速降低金表面的金氰络离子的浓度梯度,能加快金的浸出速度。矿堆的高度、渗透性及含泥量对喷淋强度均有影响。综合分析试验结果,认为该矿石的适宜的喷淋强度为 $10\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ~ $15\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(4)以过氧化钙为助浸剂的试验表明,过氧化钙作为金矿石堆浸的助浸剂能够有效提高堆浸速度,在现场堆浸中可以考虑添加少量的过氧化钙以加速金的浸出速度,具体的添加量需要进行进一步的半工业试验确定,本次小型试验结果表明,其添加量以 1.5kg/t 左右为宜。

明,其添加量以 1.5kg/t 左右为宜。

参 考 文 献

1. 李尚远, 铀、金、铜矿石堆浸原理与实践[M], 北京: 原子能出版社, 1997: 1-16
2. 薛迎春, 低品位金矿资源的开发利用[J], 矿产报呼与利用, 1996, 6: 32-35
3. 巫汉泉, 金矿堆浸研究的回顾与展望 [J], 河南地质, 1998, 16(1) : 77-80
4. 吴夫彬, 金矿堆浸工艺师大问题剖析[J], 湖南有色金属, 1995, 11(3) : 37-41
5. 王周谭, 我国采用堆浸工艺处理低品位金矿的回顾与展望[J], 陕西地质, 1994, 12(2) : 88-94
6. 曾宪辉, 紫金山低品位金矿资源的开发利用[J], 矿产保护与利用, 2002, 4: 5-9
7. Jonathan H.Worstell, Enhance heap leaching rates with air injection into the heap, Mining Magazine, January, 1987: 40-41
8. 潘志兵, 堆浸提金新发展[J], 矿产综合利用, 1996, 3: 25-30
9. 王泗代, 国外矿山金矿堆浸回收的经验[J], 有色金属设计, 1996, 2: 62-66
10. Sinta L. Worstell and Jonathan H.Worstell, Liner design for heap-leach pads, Mining Magazine, May, 1988: 382-387
11. 童雄, 钱鑫, 国外强化金矿堆浸技术的最新进展[J], 国外金属矿选矿, 1996, 5: 1-4
12. Earl C.Herkenhoff, Heap leaching: Agglomerate or Deslime, EGMJ, June, 1987: 32-38
13. Daniel W.Kappes, Technical advance in precious metals heap leaching, Economics and Practice of heap leaching in gold mining, August, 1988: 59-61
14. 王纯萍, 堆浸法提金技术的研究现状及发展趋势[J], 有色矿冶, 1995, 1: 27-30
15. N.P.Brandon The direct electroming of gold from dilute cyanide leach liquors, Hydrometallurgy, 1987(18): 305-319
16. 刘滨蝉等, 氰化浸金中氧化剂的探讨[J], 黄金, 1998, 19(4) : 33-36
17. A.Nugent K.Brackembury J.Skinner, 用过氧化氢和过氧化钙处理金矿石的助浸工艺[J], 有色矿山, 1995, 5: 25-28

18. 蔡殿忱, 张建军, 过氧化氢助金的氰化浸出研究[J], 金属矿山, 1996, 5: 19-20
19. 印万忠, 黄金选矿年评(续一)[J], 黄金, 2002, 23(2) : 29-33
20. 洪仁波译, 贵金属的堆浸工艺[J], 国外黄金参考, 1996, (5) : 3941.
21. Chaudhury, G.Roy, Percolation leaching of Rajpura Darilba ore in 4-ton columns, Metal.Trans, Feb, 1992: 91-96
22. 黄永泉, 堆浸生产中缩短浸出周期的途径浅析[J], 黄金, 1996, 4: 42-45
23. 寇健君, 我国堆浸技术提金的创新和发展[J], 矿产综合利用, 1997, 1: 29-33
24. 谢李泉, 紫金山金矿缩短堆浸周期的途径与生产实践[J], 黄金科学技术, 2003, 11(3) : 28-31
25. 谢李泉, 紫金山金矿缩短堆浸周期的研究与实践[J], 矿产保护与利用, 2002, 5: 25-29
26. 郑平, 东北寨难浸金矿石电化学—氰化提金研究[J], 矿产综合利用, 2000, 4: 20-22
27. 张述华, 王胜理, 外加电场氰化浸出几种金矿石的试验研究[J], 黄金, 24(1): 30~35
28. 王周潭, 加温堆浸提金的试验研究.黄金, 1998, 19(11) : 44-46.
29. 巫汉泉, 金矿堆浸试验研究与生产实践[J], 国外金属矿选矿, 1995, 4: 5-12
30. 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, 12 (6) : 452-453
31. 何凤翔、王宜明, 堆浸提金技术现状及其评述[J], 云南冶金, 1994, 2: 47-49
32. 聂树人, 难选冶金矿石浸金[M], 北京: 地球出版社, 1997: 150-152
33. 赖声伟, 国外堆浸提金技术的发展与实践[J], 国外金属矿选矿, 1997, 1: 1-27
34. 林国琪、赵洪克, 堆浸法提金工艺与设计[M], 沈阳: 东北大学出版社, 1993: 8-16
35. 郑大中, 郑若锋, 矿石中氰化堆浸提金若干问题的研讨[J], 四川化工与腐蚀控制, 1999, 2(3) : 15-19
36. 北京大学化学系, 仪器分析教程[M], 北京: 北京大学出版社, 1997: 126~131
37. 金镜潭, 印万忠, 过氧化氢和过氧化钙助浸作用的比较[J], 沈阳黄金学院学报, 1995, 41: 55-60

38. 张鹏飞, 过氧化钙在氰化提金中的作用[J], 长沙铁道学院学报, 1998, 16:
82-84
39. 杨少华等, 氰化提金过程中过氧化物的助浸作用[J], 湿法冶金, 2003, 22(3) :
134-136

致 谢

本文是在导师王成功副教授的悉心指导和亲切关怀下完成的。导师渊博的知识，一丝不苟的工作态度，严谨的作风让我印象深刻，也会对我以后的工作有很大的帮助。从开题、试验以及论文的撰写过程中，导师也给了我多方面的启示并且不断鼓励帮助我。在此，谨向恩师表示衷心的感谢。

本次试验得到了宁夏太平矿业公司特别是龙虎博士的大力支持以及包钢矿山研究院选矿室所有工作人员的热心帮助，在此向他们致以深深的谢意。

在试验过程中，张淑敏、周世杰、马龙秋、于福家等老师提供了许多宝贵的建议和帮助，确保了我试验的顺利完成，在此向他们表示真诚的感谢。

感谢同窗好友王力、宋振国、石建军、高忠欣、曹飞、袁启东陪伴我渡过了两年半愉快的学习生活。

最后，感谢父母的养育、关心、支持和鼓励。

作者: [薛仕林](#)
学位授予单位: [东北大学](#)

参考文献(39条)

1. [李尚远](#) [铀、金、铜矿石堆浸原理与实践](#) 1997
2. [薛迎喜](#) [低品位金矿资源的开发利用](#)[期刊论文]-[矿产保护与利用](#) 1996(6)
3. [巫汉泉](#) [金矿堆浸研究的回顾与展望](#) 1998(01)
4. [吴夫彬](#) [金矿堆浸工艺师大问题剖析](#) 1995(03)
5. [王周谭](#) [我国采用堆浸工艺处理低品位金矿的回顾与展望](#)[期刊论文]-[陕西地质](#) 1994(2)
6. [曾宪辉](#) [紫金山低品位金矿资源的开发利用](#)[期刊论文]-[矿产保护与利用](#) 2002(4)
7. [Jonathan H Worstell](#), [Enhance heap leaching rates with air injection into the heap](#) 1987
8. [潘志兵](#) [堆浸提金新发展](#) 1996(03)
9. [王泗代](#) [国外矿山金矿堆浸回收的经验](#) 1996(02)
10. [Sinta L Worstell](#), [Jonathan H Worstell](#) [Liner design for heap-leach pads](#) 1988
11. [童雄](#), [钱鑫](#) [国外强化金矿堆浸技术的最新进展](#) 1996(05)
12. [Earl C Herkenhoff](#) [Heap leaching: Agglomerate or Deslime](#) 1987
13. [Daniel W Kappes](#) [Technical advance in precious metals heap leaching](#) 1988
14. [王纯萍](#) [堆浸法提金技术的研究现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[有色矿冶](#) 1995(1)
15. [N P Brandon](#) [The direct electroming of gold from dilute cyanide leach liquors](#) 1987(18)
16. [刘滨娉](#) [氰化浸金中氧化剂的探讨](#)[期刊论文]-[黄金](#) 1998(4)
17. [A Nugent](#), [K Brackembury](#), [J Skinner](#) [用过氧化氢和过氧化钙处理金矿石的助浸工艺](#) 1995(05)
18. [蔡殿忱](#), [张建军](#) [过氧化氢助金的氰化浸出研究](#) 1996(05)
19. [印万忠](#) [黄金选矿年评\(续一\)](#)[期刊论文]-[黄金](#) 2002(2)
20. [洪仁波](#) [贵金属的堆浸工艺](#) 1996(05)
21. [Chaudhury G Roy](#) [Percolation leaching of Rajpura Darilba ore in 4-ton columns](#) 1992
22. [黄永泉](#) [堆浸生产中缩短浸出周期的途径浅析](#) 1996(04)
23. [寇健君](#) [我国堆浸技术提金的创新和发展](#) 1997(01)
24. [谢李泉](#) [紫金山金矿缩短堆浸周期的途径与生产实践](#)[期刊论文]-[黄金科学技术](#) 2003(2)
25. [谢李泉](#) [紫金山金矿缩短堆浸周期的研究与实践](#)[期刊论文]-[矿产保护与利用](#) 2002(5)
26. [郑平](#) [东北寨难浸金矿石电化学-氰化提金研究](#)[期刊论文]-[矿产综合利用](#) 2000(4)
27. [张述华](#), [王胜理](#) [外加电场氰化浸出几种金矿石的试验研究](#)[期刊论文]-[黄金](#) 2003(1)
28. [王周谭](#) [加温堆浸提金的试验研究](#)[期刊论文]-[黄金](#) 1998(11)
29. [巫汉泉](#) [金矿堆浸试验研究与生产实践](#) 1995(04)
30. [戴小通](#) [金矿堆浸浸出率的影响因素及改进措施](#) 2000(06)
31. [何凤翔](#), [王宜明](#) [堆浸提金技术现状及其评述](#) 1994(02)
32. [聂树人](#) [难选冶金矿石浸金](#) 1997
33. [赖声伟](#) [国内外堆浸提金技术的发展与实践](#)[期刊论文]-[国外金属矿选矿](#) 1997(1)
34. [林国琪](#), [赵洪克](#) [堆浸法提金工艺与设计](#) 1993

35. [郑大中](#), [郑若锋](#) [矿石中氰化堆浸提金若干问题的研讨](#) 1999(03)
36. [北京大学化学系](#) [仪器分析教程](#) 1997
37. [金镜潭](#) [过氧化氢和过氧化钙助浸作用的比较](#)[期刊论文]-[沈阳黄金学院学报](#) 1995(1)
38. [张鹏飞](#) [过氧化钙在氰化提金中的作用](#) 1998
39. [杨少华](#), [李振坦](#), [周源](#), [杨凤丽](#) [氰化浸金过程中过氧化物的助浸作用](#)[期刊论文]-[湿法冶金](#) 2003(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y852899.aspx

无锡伊诺特石化机械设备有限公司为无锡澳驰过滤设备有限公司于 2007 年 4 月在中国无锡成立的全资子公司，是国内领先的微米级过滤器供应商之一，同时特别擅长于苛刻工况的过滤设计。核心产品包括分[不锈钢过滤器](#)，[精密过滤器](#)，[过滤设备](#)，[气体过滤器](#)，[篮式过滤器](#)，[芯式过滤器](#)，静态混合器、视镜等。这一系列产品已经获得了中国海洋石油总公司、洛克石油、Fluor Corporation、Technip、中国石油天然气西气东输项目部、壳牌、南钢集团、巴斯夫，索尼等诸多客户的认可与好评。

伊诺特选用世界领先的过滤产品生产设备及制造工艺，融合多年滤芯制程上的研发经验，整合运用各种过滤分离技术，致力于为全球工业领域提供最经济、最专业的过滤解决方案。其烧结滤芯、不锈钢折叠滤芯、楔型滤芯、膜滤芯等过滤介质配合多样化设计的过滤器壳体，已广泛应用于石化、炼油、新能源、钢铁、化学、医药、食品、水处理等行业。

伊诺特服务工业界多年，严格执行 ISO9001 国际质量体系。并在全国设有多个项目部，可为您提供最完善的售后服务体系，在中国地区，我们能够 24 小时内到达现场为您服务。

未来，伊诺特秉承“安全、专业、创新、合作”的核心价值观，继续为客户提供更优质的产品、更高效的服务，努力为过滤技术创新做出新的贡献。

安全

我们永远坚持安全是不容妥协的理念

我们为客户提供的所有产品必须保证客户工艺的安全，在技术上我们不能忽略任何细节。

专业

我们将坚守我们的使命，不为利益而偏离我们的航向。我们不断学习，始终为寻找最佳解决之道而努力，我们力争做行业的百年企业。

创新

我们用创新的方法解决未解决的问题。我们利用新的技术、条件、服务更好的理解客户多元化的需求，同时也使我们在快速发展和竞争激烈的社会中保持领先优势。

激情

我们尊重个人，支持个人激发最大能力

只要是对的，我们就支持

我们永远感受竞争和成功的快乐

合作

未来优秀的人才团队是企业的核心竞争力之一，我们需要集中我们所有力量，发挥所有人的特长，为我们的使命而奋斗

<http://www.filter1.cn/>

百事帮是杭州首家以企业化管理模式的专业跑腿及代办于一体的综合性服务中心,致力于向广大客户、酒店、宾馆、

企业、事业单位和社会各界提供人性化、细致化的跑腿及代办服务。

我们有一支充满活力的年轻化、知识化、专业化的团队；有着先进的服务理念，优秀的员工队伍，以及值得信赖的服务保证，随时为客户提供优质快捷的跑腿代办服务。我们把“诚信为本、顾客至上”做为服务宗旨！以一套企业化管理方式，建立正规严格的规章制度，有较强的团队合作精神

节省您自己的时间享受生活，用我们的时间为您服务

百事帮——把最贴心的服务做到家！

百事帮——温州首家以企业化管理模式的专业跑腿及代办于一体的综合性服务中心！

[杭州跑腿](#) [杭州跑腿公司](#) [杭州医院挂号](#) [杭州代挂号](#) [杭州儿童医院代挂号](#) [杭州市三医院代挂号](#)

<http://www.bsb001.com>