

堆浸法提金 工艺与设计

林国琪 赵洪克 主编



NEUPRESS

东北大学出版社



堆 浸 法 提 金 工 艺 与 设 计

林国琪 赵洪克 主编

东北大学出版社

(辽)新登字第8号

内 容 提 要

本书介绍堆浸法提金的基本原理、工艺设备、操作方法、环保措施、技术经济指标和堆浸厂的设计以及堆浸提金过程和原料、中间产品、产品的化验分析方法等内容。

本书可作为从事金矿堆浸生产的技术人员和管理人员的培训教材,也可作为从事金矿堆浸的科研,设计人员和管理干部的参考书。

堆浸法提金工艺与设计

林国琪 赵洪克 主编

东北大学出版社出版
(沈阳·南湖)

东北大学出版社发行
大连海运学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.625 字数: 365 千字
1993 年 7 月第 1 版 1993 年 7 月第 1 次印刷
印数: 1 ~ 2500 册

责任编辑: 冯淑琴
封面设计: 唐敏智

责任校对: 冯 伟
责任出版: 高志武

ISBN 7-81006-579-3 /TF·19

定价: 15.00 元

前 言

堆浸法提金自 20 世纪 70 年代初问世以来,在国内外已得到迅速的发展,目前,已成为处理低品位金、银矿的主要方法之一。我国金矿堆浸工艺的应用始于 80 年代初,但发展比较缓慢,为了在我国更广泛更有效地推广应用堆浸法提金工艺,中国黄金总公司于 1989 年成立全国金矿堆浸领导小组,统一领导统筹安排我国低品位金矿堆浸的推广工作。为了进一步提高我国低品位金矿堆浸的技术水平,使之科学化、规范化,领导小组责成我们编写《堆浸法提金工艺与设计》一书,以便进一步指导我国低品位金矿堆浸技术的推广工作。

参加本书编写的人员有,原长春黄金研究所情报室主任赵洪克工程师(第一章),选冶室主任于牧民高级工程师(第三章),姚香高级工程师(第四章的第一节、第八章)王学民工程师(第四章的第二节)李攀荣高级工程师(第六章部分),薛文平工程师(第七章),沈阳矿冶研究所总工程师林国琪高级工程师(第二章,第四章的第三节,第四节)高翔高级工程师(第六章、第七章部分)王纯萍(附录),南阳地区黄金公司张明朴工程师(第五章)。林国琪、赵洪克担任主编。书稿经长春黄金研究所所长李质毅和中国黄金学会马翠云高级工程师审核后定稿。

限于编写者的水平,书中难免有遗漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论

- 第一节 国内堆浸法提金技术的应用与推广..... (1)
- 第二节 国外堆浸法提金技术的特点及发展方向..... (5)

第二章 堆浸法提金的理论基础

- 第一节 金矿的氰化浸出..... (8)
- 第二节 活性炭从氰化物溶液中吸附金 (16)
- 第三节 从载金炭上解吸金 (18)
- 第四节 从载金炭解吸贵液中电积金 (19)

第三章 金矿石堆浸的可浸性试验

- 第一节 可浸性试验的意义和规模 (22)
- 第二节 试样的采取和制备 (22)
- 第三节 矿石的物质组成和物理、化学性质的研究 (23)
- 第四节 试验内容和试验方法 (25)

第四章 金矿堆浸的工业生产

- 第一节 堆浸矿山的地质要求 (30)
- 第二节 低品位金矿床的开采 (31)
- 第三节 堆浸法提金的工艺流程及其选择 (34)
- 第四节 堆浸法提金的设备与操作 (39)

第五章 金矿石堆浸生产管理和技术经济指标

- 第一节 堆浸生产的特点和管理 (58)
- 第二节 堆浸生产的技术指标 (68)
- 第三节 堆浸生产的经济指标 (72)

第六章 金矿石堆浸生产的化验分析

- 第一节 金矿石堆浸生产中化验分析的作用及特点 (81)
- 第二节 分析样品的采取和制备 (81)
- 第三节 含金矿石的分析 (85)

第四节	浸出液、解吸液、电解后液及排放水的分析·····	(101)
第五节	载金炭及解吸炭中金的测定·····	(105)
第六节	合质金中金的测定·····	(105)
第七节	次氯酸钙(漂白粉)中“有效氯”的测定·····	(107)

第七章 堆浸生产的环境保护

第一节	采矿开拓系统的环境影响及对策·····	(109)
第二节	堆浸工艺过程中的环境污染及防治·····	(113)
第三节	堆浸工程环境影响评价·····	(116)
第四节	环境治理措施及废水治理工艺简介·····	(117)

第八章 金矿堆浸工程的设计

第一节	设计应具备的原始资料·····	(123)
第二节	设计深度、设计程序与设计内容·····	(126)
第三节	设计中应注意的几个问题·····	(209)
第四节	设计审查注意事项·····	(217)

附 录·····	(222)
----------	-------

第一章 绪 论

采用堆浸法从矿石中直接提取金属已具有悠久的历史,早在 18 世纪末期,人们就开始用此方法处理某些铜矿和铀矿。本世纪 60 年代后期,由于金价上涨的刺激,人们开始研究如何从低品位含金矿石及以前遗弃的废矿堆、尾矿砂中提取黄金的新技术。美国矿山局最先开始进行金矿石的堆浸小型试验,并于 70 年代初,在内华达州(Nevada)成功地进行了堆浸法提金工业试验。之后,随着从氰化物溶液中提取金的技术臻于完善,解决了活性炭吸附氰化物溶液中低品位金,从载金炭上解吸金以及电解沉积金等一系列技术问题,推动了堆浸法提金技术的迅速发展。80 年代,美国矿山局又将制粒技术应用于堆浸生产,使堆浸法提金技术发展成为一项成熟的先进技术。

目前,世界上各主要产金国,如美国、加拿大、澳大利亚、南非、原苏联、巴西及菲律宾等都积极发展堆浸生产。美国是世界上应用堆浸法生产黄金最多的国家,到 80 年代中期,美国堆浸黄金年产量已达到 40 吨左右,约占当年黄金总产量的三分之一,推广应用堆浸法提金技术是美国黄金生产近年来取得迅速发展的重要原因之一。

我国于 70 年代末期开始进行堆浸法提金和试验研究,80 年代初开始应用于黄金矿山的工业生产,到 80 年代末期,全国普遍推广应用了堆浸法提金技术,并取得了明显的经济效益。我国在引进、消化、吸收国外先进技术的同时,对于堆浸法提金技术的理论研究,新型底垫材料、新型喷淋设备、炭吸附设备、制粒设备的研制等方面,也取得了较大的进展。

实践证明,采用堆浸法提金技术进行黄金生产具有处理矿石品位低、规模大、投资少、成本低等优点,是处理低品位含金矿石的有效方法。推广应用堆浸法提金技术,组织大规模堆浸生产,必将推动我国黄金工业的进一步发展。

第一节 国内堆浸法提金技术的应用与推广

一、我国低品位金矿资源的分布状况及开发的前景

我国的低品位金矿资源比较丰富,具有一定的生产潜力。据调查,河南、吉林、辽宁、山东、河北、陕西、甘肃、新疆、内蒙、湖南、广西、贵州、云南、四川等省,均有大量低品位金矿资源。

近年来,河南、吉林、辽宁、陕西、新疆、广西、贵州、云南等地,又发现一批储量较大的低品位金矿点,为今后发展大型堆浸生产提供了有利的资源条件。

河南省的低品位金矿资源主要分布在南阳、三门峡及洛阳地区,矿床类型较多,主要有含金石英脉型矿床,斑岩型金矿床,变质热液型金矿床,破碎带蚀变岩氧化金矿床,角砾岩型金矿床及碳酸岩型金矿床。矿石普遍有较发育的空洞和毛细孔表面,,金粒较细,渗透性好。矿石品位 1~3 克/吨左右。河南省是我国较早应用推广堆浸生产技术的省份之一,1980~1989 年间,全省共建成 1000~5000 吨级的堆浸场几十座,若干座万吨级大型堆浸场。堆浸生产已成为上述地区发展黄金生产的重要手段。

吉林省的堆浸矿点主要分布在省西南地区，老矿山夹皮沟金矿对前人遗弃的废矿进行了堆浸回收金试验。省内最大的堆浸矿山二道岭金矿位于伊通县境内，矿石属贫硫化矿型，地质品位 1.1 克/吨，入堆品位 1.6 克/吨，是适于堆浸的大型低品位资源矿点。1987~1989 年，该矿进行了小型试验及半工业试验，目前正进行 6 万吨级的大型堆浸工业生产。

辽宁的低品位金矿资源分布在辽西、辽南地区，其中盖县的猫岭金矿是属低品位、大储量的矿山。地质品位 1.61~4.06 克/吨，矿石中含砷黄铁矿和磁黄铁矿。目前，该矿正在进一步勘查之中。

新疆的低品位金矿资源十分丰富，主要分布在北疆的阿尔泰山、天山、阿尔金山、昆仑山及准噶尔盆地一带。新疆地域辽阔，低品位矿石分布广，加上气候干燥、缺水、缺劳动力等条件限制，不适合建立选厂的矿点较多。矿床主要为蚀变玄武岩类型地表氧化矿和斑岩型金矿。矿石品位 1.5~3 克/吨。矿石风化破碎，裂隙发育，矿体泥化程度不一，影响氰化的有害元素含量少，因此适合于堆浸生产。1987 年以来，先后在萨尔托海，哈密的骆驼圈子和阿勒泰的萨尔布拉克和吉木乃进行了大型堆浸生产，并取得了宝贵的经验。

湖南省的新邵县高家坳金矿、常宁县龙王山金矿和新疆吉木乃金矿都具有一定的低品位金矿资源。矿床为铁帽型和破碎角砾型，均为典型的风化程度较深的氧化矿。矿石含泥量较高，且铅、砷、硫等有害元素含量较高，不利于金的堆浸浸出。矿石品位 2~3 克/吨。1988~1989 年上述矿山均已建起了万吨级堆浸场，龙王山金矿还进行了粉布制粒-氰化预处理工艺的工业试验。

陕西省太白县低品位金矿资源较丰富，矿石成分简单，有害杂质含量低，易破碎而不易泥化，适于堆浸。矿石品位 1.5~3 克/吨。1988~1989 年，双玉金矿进行了万吨级堆浸工业试验，取得了较理想的技术经济指标。

广西的桂西北和桂中一带，金矿床规模大，埋藏浅，氧化程度高，含泥量大，金呈微细粒状态，属“卡林型”矿石，堆浸生产技术上难度较大。高龙金矿是目前广西最大的金矿点，1989~1990 年，田林县高龙金矿和风山县金牙金矿都进行了万吨级规模的堆浸工业试验。堆浸是广西产金的主要手段之一。

云南省墨江金矿位于省中部墨江哈尼族自治县境内，矿石为石英岩型含金氧化矿石。地质品位 1.29~3.37 克/吨，属大型低品位氧化矿资源。

贵州省的低品位金矿资源主要分布在有“金三角”之称的黔西南地区。矿床属微细粒浸染型金矿。低品位金矿点分布广、规模大、氧化程度较高。主要载金矿物有褐铁矿及粘土矿物，氧化矿中金主要以游离形式赋存。矿石品位 1.5~4 克/吨。1988~1989 年，已在紫木垭、二龙、陇纳等 7 个金矿建成了 1.8 万平方米的堆浸场，形成年处理矿石 4.5 万吨的堆浸生产能力。堆浸已成为贵州省增产黄金的主要生产方法。

甘肃省西北北山地区，蕴藏着大量前人遗弃的低品位金矿石，主要是蚀变破碎带氧化矿及古矿渣。矿石埋藏浅，覆盖层薄，矿石碎散，孔洞及裂隙普遍发育，金的赋存状态以粒间金、裂隙金及包裹金等自然金为主。矿石成分简单，有害杂质少，矿石品位 1~5 克/吨。矿点一般地处偏僻，无电力、无工业用水等外部依托，很适宜堆浸。1988~1989 年，已在酒泉的花雨山金矿和甘南州的老豆金矿进行了堆浸工业试验。据估计，全省适于堆浸的氧化矿、古矿渣有近百万吨，发展堆浸生产，前景可观。

除了通过地质勘探发现的低品位金矿资源外，我国每年采矿、冶金、化工工业生产还排弃

有大量尾矿及含金烧渣。尾矿及烧渣的含金品位一般在1~2克/吨左右,这些物料的堆放与排弃,不仅浪费了资源,而且对环境造成污染。采用堆浸法提金技术可有效地回收黄金,产生较大的经济效益和社会效益。

综上所述,我国的低品位金矿分布广泛,资源比较丰富。矿石大部分为氧化矿,中等及低硫化物石英脉矿,部分为卡林型微细粒金和地表铁帽金矿石。矿石品位一般在1~3克/吨,矿床规模以中、小型为主,也拥有少数储量可观,适合大型堆浸生产的矿区。大多数拥有低品位金矿资源的矿山地处偏远,交通不便,缺电、缺乏技术力量,地质勘探程度低,不具备建设正规选厂的条件,应用推广堆浸法提金技术,已成为这些矿山加快发展黄金生产的重要途径。

我国目前低品位金矿资源的地质勘探程度不够,很多地区和矿点都缺少必要的地质普查或样查工作,这就给堆浸生产尤其是大型堆浸生产带来一定风险性。今后,应进一步制订堆浸矿床的评价标准,鼓励地质部门加紧勘探低品位金矿资源,力争多提供一批低品位、大储量、埋藏浅、适于露天开采的大型堆浸矿山。

二、我国黄金矿山应用堆浸法提金技术的历史、现状及发展方向。

70年代末,我国开始研究堆浸法提金技术,先后经历了小型探索试验、半工业及工业试验研究阶段,之后又开展千吨级规模的中、小型堆浸生产。在此基础上,广泛应用堆浸法提金技术,目前已开始进行万吨乃至十万吨级以上大型堆浸工业生产。

1979年,我国首次在辽宁省宽甸县虎山金矿进行了百吨级规模的工业生产试验。试验结果表明:采用堆浸—活性炭吸附—解吸电解的工艺流程处理低品位含金氧化矿在技术上是可行的。初步探索出矿石粒度、浸出时间、氰化钠浓度、活性炭吸附容量等重要参数的最佳数据,为今后的工业生产试验提供了参考依据。1980~1982年,河南省灵湖金矿进行了千吨级规模的堆浸工业试验,进一步对堆浸—炭吸附工艺流程中破碎、筑堆、喷淋、炭吸附、解吸、电解、拆堆等各道工序进行试验。选择了适合中、小型堆浸场地的底垫材料,喷头及管路布置并研制了一套简易实用的解吸电解设备。这一阶段的试验表明,采用堆浸法提金技术处理低品位金矿的技术经济效益良好,是一项值得推广的新技术。

1983~1988年,堆浸法提金技术在全国部分地区的黄金矿山逐步得以推广应用,堆浸生产有了很大发展。河南、辽宁、河北、浙江、云南、山东、新疆等省、区、先后有几十个矿山进行了千吨级规模的堆浸生产,年处理矿量30~40万吨,对我国的黄金工业发展起到了一定的促进作用。

这一阶段,我国的堆浸法提金技术也有了较大进展,其主要特点是:

(1) 处理的矿石以单一石英脉氧化矿为主,也包括少量蚀变岩型、角砾岩型、斑岩型、浸染型及地表铁帽型金矿石。

(2) 堆浸的规模一般1000~3000吨/堆之间,个别达到5000吨/堆。原矿品位1.5~3.5克/吨金的堆浸回收率一般为55%~65%,堆浸周期30~60天,氰化钠耗量0.2~1公斤/吨,生产成本10~35元/克·金。(按1987年前金价格计算)。

(3) 破碎一般采用一段破碎,将矿石破碎至-50mm的块度。

(4) 筑堆方式为人工筑堆和小型机械化筑堆。后者主要使用轮式皮带机,小型建筑自卸翻斗车,小四轮拖拉机等。

(5) 选用水泥、沥青材料修建永久性堆场或选用油毡加农用塑料薄膜铺设简易堆浸场地。

(6) 喷淋管路采用标准钢管及塑料管，喷头大多用钻眼喷头及农用喷头。

(7) 普遍采用炭吸附-解吸电解工艺流程，各种小型炭吸附柱及解吸电解设备已基本实现了国产化、定型化。

(8) 环保工序均使用漂白粉处理废液、废渣，使之达到了国家规定的排放标准。

此外，还在山东某磷肥厂对含金 2~3 克/吨的硫酸烧渣进行了“造球-氰化”堆浸工业试验。建成了三座堆浸场，形成年处理 4000 吨的生产能力。

从 1989 年起，我国黄金矿山推广应用堆浸法提金技术进入了一个新的全面发展阶段。为了积极稳妥地开发我国的低品位金矿资源，国家实行统筹兼顾，归口领导，统一管理堆浸生产。各级黄金管理部门调查资源，编制规划，基本上查清了已探明的我国目前低品位金矿资源的分布、品位、储量及外部建设条件。国家黄金主管部门制订了一系列优先发展堆浸生产的方针政策。决定集中力量，发展适度规模（数千吨至数万吨）的堆浸生产；堆浸处理的矿石品位应严格控制在 1~3 克/吨内；建设一批集中处理载金炭车间；并实行封闭式管理；堆浸场必须具有防洪、防暴雨设施，三废排放应达到国家标准，防止污染环境；坚持小型试验，可行性研究、设计等建设程序。全国黄金、有色、地质、核工业和科学院等系统的广大科技人员纷纷深入堆浸生产第一线，开展技术推广和技术服务工作。

这一阶段，在全面推广应用堆浸法提金技术的基础上，重点进行了 1~5 万吨级规模的大型堆浸工业试验。同时，我国的堆浸法提金技术也取得了较大的突破性进展，跨上了新的台阶，此阶段的特点是：

(1) 堆浸处理的矿石品位低。河南省毛堂金矿万吨级堆浸处理的矿石平均品位 1 克/吨左右。吉林省二道岭金矿大型堆浸试验处理的矿石平均品位仅为 1.44 克/吨，扩大了可利用的低品位金矿资源。

(2) 堆浸矿山的生产规模大型化。吉林省二道岭金矿堆浸生产能力已达到 6 万吨/堆，1990 年新疆萨尔布克已完成了 10 万吨/堆的大型堆浸工业试验。

(3) 堆浸生产中采用了许多先进技术及新型材质的设备。露天开采、筑堆实行机械化作业如采用大型推土机，前端装载机和多段皮带运输机上矿、筑堆、极大地提高了采、运、碎、堆的效率、试验出各种规格的高强度聚氯乙烯塑料膜板、以及新型红泥塑料薄膜作为底垫，防穿透性好，现场施工粘接方便。引进、消化了国外 80 年代的塑料旋转、摇摆式喷头，溶液喷洒均匀，呈大液滴状，雾化程度小，研制成各种新型炭吸附装置，如大型自动卸炭吸附柱，阶梯式布置的吸附柱等设备，其特点是处理量大，操作方便。

(4) 对含泥高的矿石及粉矿，应用了制粒堆浸技术。新疆哈密骆驼圈子金矿在万吨级堆浸工业生产中，采用自行设计的移动式圆筒制粒机，日处理能力已达到千吨。通过加入适量的氰化钠，石灰和水泥混合制粒，固化后入堆，改善了矿堆的渗透性，加快了浸出周期，提高了金的浸出率。湖南龙王山金矿对含泥量高达 37% 的粉矿，采用圆盘制粒机制粒，在半工业试验中取得金浸出率 84.35%，总回收率 78.92% 的先进指标。制粒堆浸工业试验的成功，为我国低品位含金氧化矿粉矿，含粘土质高的矿石开发利用开拓了广阔前景。

我国广大科研人员还进行了新型无氰浸出剂，阶段浸出-电解工艺，改进喷淋供氧工艺等试验研究，取得了可喜的进展。

但是，同国外相比，我国的堆浸法提金技术仍存在一定差距，主要表现在大型堆浸生产机

械化水平低，特别是缺乏大型专用筑堆设备，限制了堆浸生产规模的扩大，使处理低品位金矿的经济效益差，影响充分发挥堆浸提金技术的优越性。堆浸制粒技术还没有普遍推广应用，因而限制了含泥高的低品位金矿石的开发利用。试验证明，矿石的渗透性是决定堆浸生产成败的关键因素。采用制粒技术，可大大提高金的浸出率，缩短堆浸周期，扩大堆浸法提金技术的应用范围。

今后应一方面继续大力推广堆浸法提金技术，加强对堆浸生产的统一领导、规划、制订堆浸工艺规范，优选、定型国产堆浸设备，促进堆浸生产沿着健康的轨道发展。另一方面，应集中力量，集中资金，选择典型矿山，组织进行超大型规模的堆浸技术攻关，适当引进国外先进技术及设备，推行现代化管理，使我国的堆浸生产迅速跃入世界先进行列。

第二节 国外堆浸法提金技术的特点及发展方向

一、国外堆浸矿山的主要模式、特点及技术水平

1971年，美国卡林金矿公司（Carlin Gold Mining Co.）首次采用堆浸方法处理Cortez金矿的低品位氧化矿，实现了世界上70年代黄金生产工艺的重大变革。随后，美国以内华达州为中心，在许多地区建立了几十个堆浸场，堆浸法提金技术得以迅速发展。1980年，美国在小型试验和半工业试验的基础上，将制粒技术应用于堆浸工业生产，标志着堆浸法提金技术的完善与成熟，堆浸法提金技术的应用扩展到世界上许多黄金生产国，极大地促进了世界黄金生产的发展。

目前，美国已拥有近百座堆浸矿山，堆浸产金量由1982年的7.75吨增长到1986年的41吨，约占当年美国黄金总产量的三分之一。1989年，美国堆浸产量已占黄金总产量的二分之一左右。可见美国不仅是世界上应用堆浸法提金技术最早的国家，也是应用堆浸法生产黄金最多的国家。美国的堆浸法提金技术代表着世界先进水平。

1. 国外堆浸矿山的主要模式及特点

美国的堆浸生产主要处理低品位含金氧化矿、废石及尾矿。除了在已发现的单一低品位、大储量的金矿资源地区建立大型堆浸厂外，大部分堆浸厂同普通氰化炭浆，锌置换选金厂设置在同一黄金矿山。

堆浸厂处理低品位贫矿石，氰化厂处理高品位富矿石。堆浸贵液可直接流入炭浆厂的炭吸附装置内，与氰化浸出合并，统一进行炭吸附和解吸电解处理。炭浆厂的部分废液添加一定药剂后，输往堆浸场作浸矿剂喷淋，形成一个闭路循环系统。堆浸贵液也可流入独立的炭吸附系统，然后将载金炭定期送往炭浆厂炼金。这种堆浸厂与氰化厂结合的布局模式，既可提高氰化厂的矿石入选品位，又可降低堆浸厂的矿石入堆品位，这不仅可以提高矿山资源的利用率，延长矿山服务年限，而且，可节省大量的动力、设备，达到提高经济效益的目的。

对于新建矿山，则一般先建起堆浸场与炭浆处理车间，在矿山基建时期就通过堆浸处理地表氧化矿及探矿产出的矿石，这可缩短投资回收期，并为今后大规模的矿山建设提供可靠的依据。

美国黄金堆浸生产的主要特点：

(1) 低品位。堆浸的矿石品位一般在0.55~3克/吨，边界品位可达0.3克/吨。据对美国

1986~1988年新建的10座大型堆浸矿山统计,矿石平均品位为1.78克/吨。

(2) 大型化。堆浸矿山的年处理矿石能力从几十万吨到几百万吨,单堆矿量最多可达百万吨以上,最大的堆浸矿山年产金近10吨。堆浸大型化,可最大限度地降低处理矿石品位,降低生产成本。

(3) 机械化与自动化。堆浸矿山从地质勘探、采矿、破碎、运输、筑堆、喷淋、炭吸附、解吸电解到炼金工艺的各道工序,已全部实现机械化。如地质勘探已普遍使用移动式反循环旋转冲击钻,提高了钻探效率。美国已设计制造了专门筑堆的大型移动式运输布料机。制粒设备、喷淋设备、炭吸附高压解吸电解设备已大型化、标准化和系列化。

电子技术已应用于工程设计、试验测试、项目管理等方面,保证了堆浸工艺生产过程中的监控与预测,加强了堆浸矿山的现代化管理。

(4) 科学化。堆浸矿山的建设严格遵循小型试验(滚瓶试验),柱浸试验,半工业生产试验,工业生产的科学程序。为了避免失败,尤其重视可行性研究,根据矿石的性质、储量、品位及建设资金来选择具有最佳技术经济效益的工程方案。

2. 国外堆浸法提金生产的主要经验

(1) 破碎。根据矿石性质及工艺要求,实行不同的破碎工艺流程。据对美国31个堆浸矿山调查,主要分三种情况。废矿石堆浸一般不破碎(占30%);二段破碎,破碎后矿石粒度为30~50mm(占53%);三段破碎,破碎后矿石粒度为9~19mm(占17%)。

实践证明,破碎是保证矿石具有良好渗透性,提高金的浸出率的关键技术环节之一。

(2) 底垫。堆浸场的底垫及贫、贵液池、防洪池的衬垫均已采用高强度聚乙烯类材质,厚度一般为0.5~1.5mm,其优点是延伸性、抗刺破性好,适于现场粘接,可反复使用。

(3) 筑堆。堆高一般3~9米,原矿堆浸的矿堆可高达46米,破碎后的矿堆达到30米。筑堆的方式有多堆法、多层法、斜坡法等。普遍采用汽车、前端装载机、推土机运卸矿石筑堆。并及时松动,防止矿堆被机械压实。越来越多的公司采用专门设计的移动式皮带机或履带式筑堆机筑堆,即降低了运输成本,又减轻了矿堆的压实程度。

(4) 制粒。广泛应用制粒技术处理粉矿及含粘土高的矿石,这是国外应用堆浸技术的一大优势。基本方法是向矿石中加入一定量(3~6公斤/吨)水呢、石灰粘合剂,并添加适量氰化钠溶液,使矿石保持8%~12%湿度,固化8~24小时,形成团矿。通过制粒处理,提高了矿堆的渗透性,供氧充分,预先氰化溶金,大大提高了金的浸出率。

主要制粒设备有:圆筒式制粒机,圆盘式制粒机,多段式皮带制粒机等。使用皮带式制粒机可将粉矿制粒后直接送堆浸场,但对于含粘土高的矿石,应采用圆筒式制粒机。

(5) 喷淋。管网全部采用高强度聚乙烯塑料管,多采用旋转摇摆式喷头,这种喷头喷射半径大,喷洒液滴大而均匀,不易雾化,安装方便。为防止结垢,可向溶液中加入防垢剂。

1986年后,又研制出滴淋系统,它主要由Wobblers型滴淋发射器及接管组成。发射器沿管长方向每隔800~900mm布置,溶液流通为10升/平方米·小时。滴淋系统具有许多优点,投资省,比喷淋系统省25%左右。据资料介绍,对8360平方米堆浸场安装二种系统的试验比较,喷淋系统投次118美元/平方米,而滴淋系统仅为87美元/平方米。滴淋系统还可改善矿堆表面的渗透性,减少溶液损失,这一点特别适合于寒冷及干燥地区的堆浸,因为此系统可埋入矿堆内部。1988年后,美国堆浸矿山普遍应用推广了滴淋系统。

(6) 炭吸附与解吸电解。大多数堆浸场采用炭吸附工艺吸附贵液中的金,也有部分厂家利

用锌置换沉淀工艺。树脂法工艺正在试验中，有可能成为一种新方法。

炭吸附系统均以逆流连续方式使炭与贵液充分接触，具体布置方式有阶梯式吸附系统、密封吸附系统及大型塔式吸附系统。

阶梯式系统耗资多，操作方便，适于大型堆浸厂。密封吸附系统占地面积小，具有灵活性。塔式吸附系统生产成本低，现研制出移动式炭吸附、解吸、电解一体化设备，其特点是吸附与解吸作业在同一设备中进行。

二、国外堆浸法提金技术的新进展与发展趋势

近年来，国外堆浸法提金技术随着堆浸生产的发展也不断取得新进展。美国、加拿大、澳大利亚等国家的矿业部门，大学及科研院所都在致力于各种堆浸新工艺、新药剂、新设备的研究。

(1) 阶段堆浸—直接电解工艺。美国矿山局雷诺研究中心，研究用氰化物溶液制粒预处理，浸出液按阶段通过几个矿堆，提高堆浸贵液品位，然后用圆型高效电解槽直接电解沉积金。这项工艺如获成功，可省去炭吸附、解吸工序，实现堆浸法提金工艺的重大突破。

(2) 为了缩短浸出周期，提高金的浸出率，美国卡林金矿向矿堆内部鼓入空气，增加氧气浓度，加快了金的溶解速度，使堆浸周期由原来的 45 天降至 32 天。此项工艺，可延长寒冷地区的堆浸生产周期，并减少炎热地区的堆浸生产成本。

(3) 无氰浸出剂。国外一直进行各种无氰浸出剂的研究工作，其目的不仅要寻找出无毒、安全的浸出剂，而且要提高浸出速度。

研究中的主要无氰浸出剂有硫脲、硫代硫酸盐、溴类化合物及其它化学萃取剂等。

硫脲浸出工艺已研究多年，国内外已建起多座小型硫脲工业试验厂。硫脲堆浸工业试验研究正在进行中。

溴类化合物的优点是浸出速度快、无毒。美国研制出的 Bio—d 型浸出剂，在 4500 吨级规模的堆浸场进行试验。溴类化合物有可能成为一种理想的金的堆浸浸出剂。

(4) 难浸矿石的堆浸工艺。难浸矿石，主要指矿石中含有砷、铜、硫、有机炭等有害杂质，难于用常规氰化方法直接浸出。

微生物浸出法适于处理含金的硫化矿、砷黄铁矿等矿石。主要应用含细菌的酸性溶液喷淋矿堆，使细菌氧化硫化物和砷化物从而解离出金，再用碱性溶液洗涤矿堆，而后进行堆浸生产。小型试验表明，此方法可将浸出率从 20% 提高到 70% 左右。目前，美国、西班牙、加拿大已有数座微生物堆浸工业试验厂投产。

次氯酸钠预处理炭质金矿的堆浸试验已取得了新进展。试验表明，用次氯酸钠溶液进行预处理，可氧化矿石中的炭质成分，使金的浸出率达到 85% 以上，但次氯酸钠的消耗量也较大。最有前途的方法是用次氯酸钠喷淋制粒，再进行常规氰化堆浸，可望获得先进的技术经济指标。

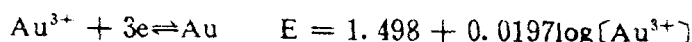
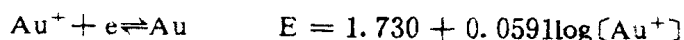
第二章 堆浸法提金的理论基础

第一节 金矿的氰化浸出

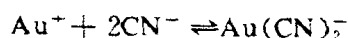
金矿堆浸氰化的过程主要包括矿石中金的溶解和含金的浸出液从矿堆中分离出来两个步骤。而采用氰化物溶液作为浸矿剂将矿石中的金浸出的化学热力学和反应机理与常规氰化提金理论基本相同。堆浸得到的浸出液则是依靠重力的作用和堆浸台的倾斜结构自然地从矿堆流出，实现液固分离。

一、金矿氰化浸出的热力学

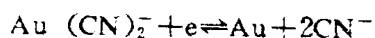
金矿的氰化浸出过程是在含氰化物的水溶液与固相金粒的界面上进行的。首先，金被氧化，继而是其氧化产物 Au^+ 、 Au^{3+} 与氰根 CN^- 络合生成相应的 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 、 $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ 金氰络离子并溶解进入液相。当没有氰化物存在时，金的还原电位 E 的数值很大，表明金离子从溶液中以分子状态析出的推动力很大，而且金属分子在水溶液中相当稳定，难以被氧化溶解。



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（如 NaCN ）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：



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



当温度为 25°C （室温）时

$$\begin{aligned} E_{\text{Au}(\text{CN})_2^-/\text{Au}} &= 0.50 + 0.0591 \log [\text{Au}(\text{CN})_2^-] \\ &\quad - 0.118 \log ([\text{CN}^-]_{\text{总}} - 2[\text{Au}(\text{CN})_2^-]) \\ &\quad + 0.118 \log (4.93 \times 10^{-10} + [\text{H}^+]) \end{aligned}$$

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 $[\text{H}^+]$ 的函数。但当总氰化物浓度和金氰络离子浓度为一定值时， E 仅是 $[\text{H}^+]$ 的函数，也就是体系中 pH 值的函数，可用 $E - \text{pH}$ 图来表示，见图 2-1。

作图条件： $C_{\text{NaCN}} = 10^{-2}$ 摩尔/升（0.05% NaCN ）

曲线(1) $a_{\text{Au}(\text{CN})_2^-} = 10^{-4}$ 摩尔/升 (20 克/米³ Au)

曲线(2) $a_{\text{Ag}(\text{CN})_2^-} = 10^{-4}$ 摩尔/升 (10 克/米³ Ag)

曲线(3) $a_{\text{Au}(\text{CN})_2^-} = 10^{-5}$ 摩尔/升 (2 克/米³ Au)

曲线(4) $C_{\text{NaCN}} = 10^{-1.7}$ 摩尔/升 (0.1% NaCN)

$a_{\text{Au}(\text{CN})_2^-} = 10^{-4}$ 摩尔/升 (20 克/米³ Au)

直线(5) 是反应 $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$

直线(6) 是反应 $\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{O}_2$

直线(7) 是反应 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$

直线(8) 是反应 $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$

直线(5) ~ (8) 是活度均为一个单位时的平衡线。

图 2-1 中 (1)、(3)、(4) 曲线是表示在不同的金氰络离子浓度和不同的氰化钠浓度条件下, Au

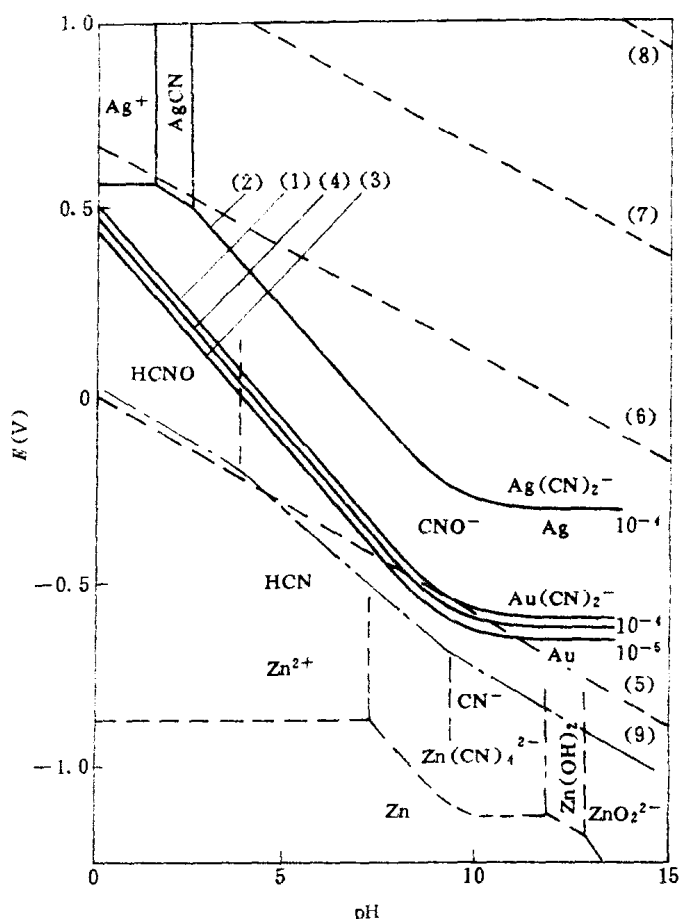


图 2-1 在 25°C 时氰化浸出过程 E-pH 图

(CN)₂⁻/Au 反应的还原电位随 pH 变化的情况, (2) 曲线表示 Ag(CN)₂⁻/Ag 反应的还原电位随 pH 变化的情况, 在图中这些曲线处于 (5) 线 (水溶液中氢的还原电位与 pH 的关系) 之上和 (7) 线 (水溶液中氧的还原电位与 pH 的关系) 之下, 即处于水的热力学稳定区, 体系不与水的离子和分子发生作用, 所以 Au(CN)₂⁻ 在体系中是稳定的。从图 2-1 中可以看出: pH 值增高体系中金的还原电位降低, 金的稳定区域缩小, 金容易被浸出转入溶液; 反之 pH 值降低金的还原电位升高, Au⁺ 被还原的趋势大, 而不利于浸出。pH 值低氰化物易发生水解生成无用的 HCN, 减少总氰根离子的浓度, 增高金的还原电位, pH 值升高, 水解作用减弱, 当 pH 增加到 9.4 时氰化物已不发生水解, 几乎全都是游离 CN⁻ 的状态, 因此还原电位几乎不随 pH 值变化。当金氰络离子浓度 [Au(CN)₂⁻] 降低或者氰化物浓度 [CN⁻] 增加时, 平衡曲线向降低还原电位的方向平移并保持相同形状, 这说明增加 [CN⁻] 或降低 [Au(CN)₂⁻] 对金的浸出有利。但当平衡曲线向下平移至与 (5) 线相交则在某一 pH 范围将出现金的还原电位低于氢的还原电位, 在这种条件下, 体系中将发生反应产生氢而 Au(CN)₂⁻ 将被氢还原为金属金。

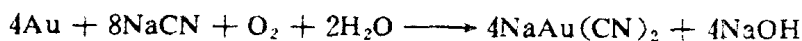
银的平衡曲线位于金的平衡曲线之上, 形状相同, 说明在相同条件下, 银的还原电位比金大, 因而在相同条件下, 银较难被浸出。

二、金矿堆浸氰化过程的机理

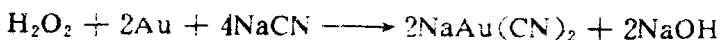
热力学分析的结果表明：使用氰化物作为金矿的浸矿剂在理论上是可行的，并且浸出反应的趋势和限度很大。但对于工业生产来说更重要的是追求高的反应速度，以便在最短的时间内以最低的生产成本获得最大金属回收率，因此必须对反应的机理即反应是怎样进行的以及反应的过程主要是由哪一步骤所控制的进行研究。

自从1890年开始用氰化法提金工业生产以来，该法一直是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：

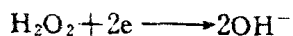


波特兰德的过氧化氢论则认为金在氰化物溶液中的溶解分两步进行，其化学反应式如下：

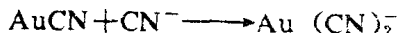
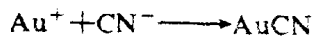


其中过氧化氢是中间产物，这也被试验所证明。然而上述两步的总反应式便是埃尔斯纳反应式，说明这两种理论在本质上是一致的。实质上金在氰化物溶液中的溶解类似于金属的腐蚀过程：溶液中的氧被还原为过氧化氢和羟基离子，金失去一个电子并与氰根离子络合成金氰络离子进入溶液中。

阴极反应为： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^-$



阳极反应为： $\text{Au} \longrightarrow \text{Au}^+ + \text{e}$



上述电极反应式也恰恰是波特兰德反应式的分步进行。

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。

使用氰化物溶液作为浸矿剂的堆浸法提金过程的化学反应亦如上述，但堆浸法的特点是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。

三、堆浸氰化过程的影响因素

1. 氰化物浓度的影响

由于氰化浸出反应主要是受扩散步骤所控制，因此氰离子的扩散流的大小直接影响浸出反应的速度，特别是当溶液中氰离子浓度较低时影响更加明显，而氰离子的扩散流是随其浓

度的增大而增大的,所以当溶液氰化物浓度较低时(0.05%以下)金的浸出速度随氰化物浓度的增加而直线上升,如图2-2所示。

实践的情况亦表明:当其它条件相同时达到相同的浸出率,使用0.1%的氰化钠溶液所需的浸出时间是使用0.025%氰化钠溶液所需浸出时间的1/4,其关系曲线见图2-3。

当氰化物浓度增大至0.15%时,再增加氰化浓度便不能加快浸出反应速度,因为此时反应速度取决于氧的扩散,若不增加氧的浓度而继续增加氰化物浓度反而有轻微的阻碍作用。这可从电位-pH图得到解释。通常堆浸提金过程中氰化物的浓度根据矿石的成分和浸出的不同阶段控制在0.025%~0.1%之间。

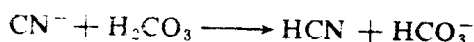
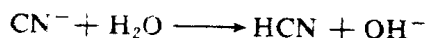
2. 氧的浓度的影响

从金的溶解过程的机理看,反应速度受扩散步骤控制,溶液中氧的扩散速度无疑是很重要的,而氧的浓度大小也决定了氧的扩散流大小,特别是当氰化物浓度足够高时,溶解速度取决于氧的浓度。但单纯提高氰化物或氧的浓度是不能达到理想的溶解速度的,甚至是一种浪费。研究表明,为了使浸出速度达到最大值,关键是保持浸矿液中游离氰化物与氧的含量同步增加并且使它们的摩尔比等于6为最佳。就堆浸法而言,由于采用自然充气,要求保证此条件是困难的,因此必须尽量保持矿堆的通气良好,有条件时也可采用机械通风,并加强浸出液的循环,以保证有足够的氧参加反应。

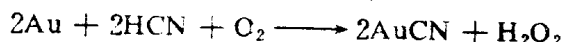
3. 浸出液pH值的影响

从热力学方面看,随着浸出液中pH值增高金的还原电位会降低,有利金的浸出,还由于氰化物

在水溶液中易发生水解反应生成HCN,同时氰化物也易被大气中的CO₂分解放出HCN:



而HCN易于挥发污染周围环境,浪费大量的氰化物。另外,当HCN在溶液中达到饱和状态时金会生成不溶解的AuCN而降低金的浸出率即:



因此,必须经常保持溶液的碱性。但碱性过高会降低金的溶解速度,对浸出不利。所以过程中应仔细控制浸矿液的碱性以获得高的浸出速度,常常用石灰或氢氧化钠控制浸矿液的pH值为10~11。

4. 矿石中矿物组分的影响

堆浸氰化的原料是原矿。赋存在原矿中的各种矿物成分都可能在不同程度上影响金的浸

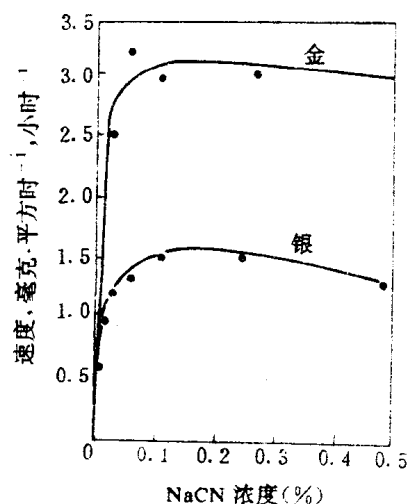


图2-2 氰化物浓度对金、银浸出速度的影响

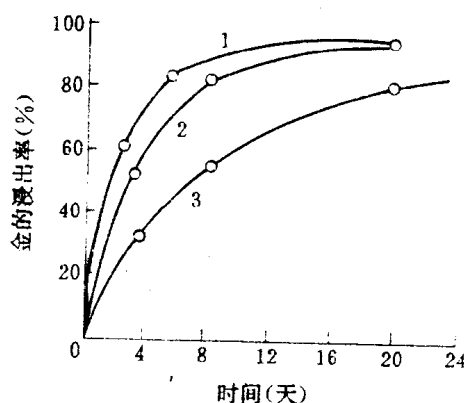


图2-3 溶液中不同NaCN浓度对金浸出率的影响

1. NaCN浓度0.1%; 2. NaCN浓度0.05%;
3. NaCN浓度0.03%。