

黄金选矿技术

86年6月2日

河南省黄金公司

河南省地质科技咨询服务公司

一九八五年十一月

技术资料征订启事

我国幅员辽阔，矿产资源丰富，为贯彻党中央的“有水快流”方针，面向经济建设，以服务乡镇矿山企业和个体采矿户为主，我公司组织了近五十位专家、工程师，编写了黄金、大理石等数十种矿产的找矿、勘探、开采、选矿、加工等一整套应用性技术资料，并提供矿产品及加工品的销售价格和市场供求状况等较新经济信息，为各方致富起牵线搭桥作用。以下九份技术资料，长达200余万字（含邮资1套25.40元），深信会给读者增加丰富的科技知识，而掌握科学技术的人将会给家乡、国家创造巨大的财富。

《大理石花岗石开采及切割技术》（每册3.0元，已发行）

《地方常见矿产开采技术》（每册2.8元，86年3月发行）

《地方常见矿产评价方法》（每册2.8元，86年3月发行）

《怎样找矿》（每册2.5元，86年3月发行）

《地热矿泉水评价及开发利用》（每册3.0元，86年5月发行）

《矿物饲料及其配制》（每册3.0元，已发行）

《如何写好公文报告》（每册2.5元，已发行）

《六十一一种矿产工业要求及经济技术参考手册》（每册2.8元，已发行）

订购款请通过邮局邮汇至郑州市金水路28号省地质科研所王迎建、若购款超过30元，可信汇至中国人民银行郑州分行金办0705072郑州矿业开发公司。

黄金选矿技术

（内部发行资料）

印刷单位：许昌县第二印刷厂

第一版21万字

每册定价3.0元（含邮资）

《黄金选矿技术》编写单位及人员

主 编：河南省黄金公司

编写人员：马巧馥 王玉田 袁振新

巫汉泉 张明朴 丁声贵

吴柳庄

责任编辑：虞孝林

校 核：马巧馥 虞孝林

图片加工：林世芳

河 南 省 黄 金 公 司

河南省地质科技咨询服务公司

一九八五年十一月

目 录

第一章	绪论	(1)
第一节	世界黄金生产概况.....	(1)
第二节	黄金选矿现状及发展趋势.....	(3)
第三节	金的性质和用途.....	(8)
第四节	金矿石与矿床特征.....	(13)
第二章	重力法选金	(18)
第一节	重选的基本概念.....	(18)
第二节	重选设备.....	(25)
第三节	重选工艺的应用.....	(58)
第三章	混汞法选金	(69)
第一节	混汞原理及工艺.....	(69)
第二节	混汞法的操作与事故处理.....	(70)
第三节	混汞生产实例.....	(76)
第四节	混汞的环境保护.....	(79)
第四章	浮游选矿	(82)
第一节	浮选原理.....	(83)
第二节	浮选药剂.....	(88)
第三节	浮选设备.....	(93)
第四节	浮选流程.....	(103)
第五节	金的浮选.....	(104)
第六节	影响浮选工艺的因素和操作.....	(110)

第五章	氰化法提金	(116)
第一节	氰化原理.....	(116)
第二节	渗滤氰化法.....	(122)
第三节	搅拌氰化法.....	(126)
第四节	全泥氰化—炭浆法提金.....	(139)
第五节	氰化法提金选矿实例.....	(148)
第六节	氰化提金的环保措施.....	(154)
第六章	堆浸法提金	(163)
第一节	矿石可浸性试验.....	(166)
第二节	影响堆浸的因素.....	(172)
第三节	堆浸提金工艺的操作.....	(180)
第四节	堆浸提金实例.....	(204)
第七章	常见金矿石的混合选矿工艺	(216)
第一节	石英脉型金矿石.....	(216)
第二节	简单硫化物含金矿石.....	(221)
第三节	复杂含金矿石的处理.....	(226)
第八章	黄金的冶炼	(232)
第一节	粗金属冶炼.....	(232)
第二节	精炼.....	(244)
第九章	砂金	(257)
第一节	砂金矿床及其特征.....	(257)
第二节	砂金的开采方法.....	(261)
第三节	砂金的选别工艺及设备.....	(268)

第一章 绪 论

人类开发利用黄金，至今已有六千年的历史了。早在公元前四十世纪时，人们就在现今的非州、欧州和亚州开采黄金，到中世纪时，在美州和大洋州，也相继开采黄金。据估计，自人类开采黄金以来，到一九八〇年为止，世界累计黄金产量已达9.9万吨，其中近二百年生产了8.7万吨，占总产量的83%；近一百年生产了7万吨，占总产量的70%。若按地区统计：非州生产了黄金4.85万吨，占49%；美州2.3万吨，占23%；欧州1.19万吨，占12%；亚州0.79万吨，占8%；大洋州0.76万吨，占7.6%。

黄金是一种极贵重的金属，很早就用来制做货币和装饰品，直到现在仍然是国际贸易结算手段和货币信用的基础。随着科学技术和国际交往活动的发展，金除了主要作为货币储备和珠宝工艺品外，在核反应堆、喷气飞机、火箭、电子及人造纤维等工业上也得到广泛应用。

第一节 世界黄金生产概况

世界黄金储量估计约五万吨，主要分布在南非、苏联、美国、加拿大等国，占世界储量90%以上。黄金产量近三十年来每年均保持在千吨以上，一九七〇年达到创纪录水平（1638.3吨），近几年黄金产量虽有所下降，但仍保持了年产1200吨以上的较高水平。

一九七〇年以来世界黄金产量

1970年	1638.3吨	1976年	1435吨
1971年	1614吨	1977年	1428.5吨
1972年	1579吨	1978年	1231.7吨
1973年	1536吨	1979年	1213吨
1974年	1450吨	1980年	1273吨
1975年	1378吨	1981年	1268.4吨

一九八二年世界黄金总产量1275吨、其中南非664.3吨，占52.1%，居世界第一位，苏联337.4吨，占26.46%，居世界第二位，中国居世界第六位。世界黄金主要生产国产量见表1-1。

表1-1 世界黄金主要生产国产量 单位：吨

	1977	1978	1979	1980	1981	1982
南 非	699.9	706.4	705.4	675.1	657.6	664.3
苏 联	312.6	249	335.8	340.2	358.6	337.4
加 拿 大	54	54	51.1	50.6	53	62.5
美 国	32	31.1	29.8	30.2	42.5	43.5
巴 西	15.9	22	25	35	35	34.8
澳 大 利 亚	19.2	20.1	18.6	17	18.4	27.4

南非黄金企业，主要受英美资本集团控制，采、选、冶具有很高的技术水平，选矿工艺大多数采用予筛选、重选、氰化、尾矿用硫酸浸出铀等。氰化工艺比较成熟完善，浸出率一般在95—98%，金回收率94%以上。

苏联黄金产量，砂金占有很大比例。砂金多采用采金船和可移动的选金联合机组，七十年代后新建了许多金矿山和选金厂，产量增长较快，采用了新技术，氰化法得到广泛应用，并研究了硫脲法。

加拿大的金矿山规模小，工艺完整，采选技术比较发达，技术装备水平也比较高，劳动生产率很高，而且非常重视老矿山的改造。

美国约有25个大型金矿山，最大的是霍姆斯特克金矿，该厂是世界第一个应用炭浆法的矿山。捷特切尔为美国第二大金矿，该矿处理含砷矿石，采用沸腾焙烧氰化的流程。卡林金矿是目前世界上机械化和自动化程度最高的金矿之一。

自一八〇〇年以来，到一九八〇年底止，估计世界累计生产黄金87298吨，其分配情况是：珠宝、装饰品和宗教物品用金19842吨，私人储存和投资20588吨，苏联储存1804吨，各国中央银行储存29110吨，国际性组织储存6096吨，工业消耗和损失9454吨

到一九八〇年底为止，世界上一些国家和地区的黄金储备近58000吨，其中：官方储备黄金最多的是美国，达8226吨，私人储备黄金最多的是法国，达6251吨，印度和美国的私人储备黄金相当，为3732吨。

第二节 黄金选矿现状及发展趋势

(一) 选矿工艺现状

近几年来，我国黄金选矿发展迅速，工艺方面除采用传统的浮选、重选、混汞和精矿氰化法提金外，在全泥氰化、炭浆、堆浸以及硫脲提金等方面都有重大突破，并建立了相应的选金厂，进行了较大规模的生产实践。

当前，世界黄金选矿工艺有如下特点：

破碎磨矿方面：

一般选厂的破碎系统常采用两段或三段破碎，这种工艺

投资、大成本高、处理含粘土多的矿石易堵塞设备。但有些国家，采用大型自磨机和半自磨机直接处理原矿。为提高自磨系统的处理能力，需要在磨矿车间安装一台破碎机，用来处理自磨机排除的砾石。

南非有些选矿厂球磨机的转速超过临界转速的90%，并越来越多的使用橡胶衬板。

矿石予选方面：

矿石在入选前，用光学分选和放射学分选的办法将废石予先选出，以提高入选矿石的品位。这种技术是根据矿物和脉石的颜色与亲水性的差别进行分离的，分离效果好，成本低，处理能力大。分选机每小时可处理200吨矿石，分选粒度为2.5~8厘米。

南非装有多台放射性矿石分选机，用来分离金铀连生矿石中的金和脉石。有些矿山采用单段筛分来分离脉石，也取得了较好的效果。

重选方面：

氰化或浮选前，许多选金厂多用重选或混汞来回收粒度大于200微米的金粒。因此跳汰在选金厂得到广泛应用。试验研究指出，金在氰化前的粒度应控制在10微米以内。

南非一些选金厂采用倾斜摇床回收细粒金，也采用混汞和绒面槽来捕集金，但在现代大生产能力的选厂中，已不使用那些效率低的设备了。

苏联捷列诺夫在这方面做了大量工作，并提出利用离心力场技术，如水力旋流器如何在选厂由分级用到选别细粒金。苏联已研制出六种不同类型、规格的短锥水力旋流器，并已投入生产。在分级机溢流后用串连的短锥旋流器，或用短

锥旋流器加摇床富集短锥旋流器的精矿，都可回收50%的金，这样可使氰化处理简化，并降低尾矿损失。

浸出方面：

为简化选冶工艺，充分回收资源，减少废气对环境的污染，用湿法回收金银引起了人们越来越广泛的重视。

对含金硫化物和含砷硫化精矿采用加压浸出，即在有氰化物存在条件下进行两段浸出，第一段使硫化物氧化分解为硫酸盐，然后浸出金。南非和加拿大对这类矿石用细菌浸出的方法也取得了显著的效果。

对含金重砂精矿用强化氰化浸出后电积法回收金，而不采用混汞。

对含有大量硫化锰的银精矿，为提高银的回收率，在氰化浸出前对矿石用食盐、 SO_2 或离析焙烧，进行预处理，以提高浸出效果。秘鲁和美国的内华达州，已建立了这样的选矿厂。

为减少砷和 SO_2 对环境的污染。近年来，对含金硫精矿的焙烧—氰化工艺进行了改革，改进了温度控制（焙烧温度降到 600°C 以下）和二氧化砷收尘装置的设计。某些金银氰化厂用 SO_2 破坏尾矿和废液中的氰化物。

炭浆法方面：

现在世界上许多国家已把炭浆法用于实际生产中，如美国、南非、加拿大、澳大利亚、菲律宾等，我国也有一座小型炭浆厂投入生产。炭浆法将成为一种常规方法。炭浆不仅可节省基建投资，而且能提高金的总回收率。其主要优点是省去了液固分离作业和不必采用较多的过滤或逆流倾析系统，特别是在处理固液难分离的高泥质矿石而金氰络合物又

被细泥颗粒吸附时，炭浆法就会显示出更大的优越性。其另一优点是优先吸附矿浆中的金，避免了传统方法出现的贱金属污染。

据不完全统计，现世界上有40—50家炭浆厂。第一家采用炭浆法的是美国霍姆斯特克选厂，他们在提高金回收率方面和降低炭磨损方面，取得了很好的效果。

堆浸法方面：

常规氰化法投资大，工艺复杂，用它来处理低品位金矿石时，经济上不合算，工艺上受到限制。

美国矿务局里诺研究中心于一九六九年首先发表了堆浸提取废矿石中金的试验报告，一九七一年起陆续在一些金矿山推广应用。近几年来，美国的小型金银矿山采用堆浸法提金的很多，仅内华达州的维吉尼亚地区新建的37个金矿大都采用堆浸法。我国近两年也开始采用堆浸提金技术，并且取得了较满意的技术经济效果。

堆浸提金技术发展很快，目前主要用于处理含金0.5~3克/吨的低品位矿石和废石，有的也用于处理含银100克/吨的银矿石，一般能回收45~60%的银和65~80%的金，年处理量规模大的超过百万吨矿石，小的有几千、几万吨。

硫脲法方面：

氰化法是从含金矿石及精矿中提取金的一种主要方法，但氰化物有剧毒，它不仅危害人体健康，而且污染环境。最近引起人们极大注意的浸出法，是用酸性硫脲溶液浸出金和银。

硫脲浸出比常规的氰化法有显著的优点：1、无毒；2、增强了溶金的速度；3、一些有害物质的存在，如铜、锌、砷、

锑、炭、对金与硫脲络合过程影响很小；4、银的浸出速度快，浸出率高。

当前，人们认为硫脲浸出的唯一缺点是酸和硫脲的消耗过大。实践证明酸和硫脲的消耗主要取决于矿石的性质，而且可以通过硫脲的重复使用降低其消耗。

我国某选厂已建成硫脲法提金车间。

（二）发展趋势

从选矿工艺上看，发展趋势是继续向着选矿各种方法（重选、浮选等）的联合和选冶流程的联合（选矿、水冶、焙烧）发展，以不断改革创新。特别是七十年代低品位矿石的堆浸和炭解吸电解法的出现，使黄金矿石处理方法上发生了飞跃，愈来愈多的低品位金矿得到合理利用。

此外，从氰化矿浆中直接用活性炭吸附金的工艺已大量投入生产，成功的解决了泥质氧化金矿石的处理工艺。正在研究的用离子交换树脂从氰化矿浆中直接吸附金的工艺，很有发展前景。

我国所采用的硫脲提金一步法工艺试验表明，它比炭浆法具有流程短、设备少的优点，并简化了冶金过程。

从选金设备上看，选别设备趋向大型化、自动化。如大型的自磨机、半自磨机、大型浮选槽、高效短锥旋流器、高效浸出槽、等等。

另外，由于地方采金业的发展，小型的包括手提式的选金设备，不断完善更新，如各种小型铺面磨槽、螺旋淘金盘等。

我国选金设备的发展，不仅强调大型化，还注重配套、高效、节能。

第三节 金的性质和用途

(一) 金的性质

金为化学元素周期表中的第一族元素，原子序为79，原子量197。已知它有质量数为182~201的同位素，但只有同位素197的金最稳定。纯金为金黄色，金的颜色随杂质的含量而改变。例如：银与铂能使金的颜色变淡，铜能使颜色变深。胶体状的金，根据其分散程度及微粘结构的不同，而显现出不同的颜色。由于金的比重很大，所以很容易从矿石中用水淘洗出来。

金的延展性极好。1克纯金可拉成长达3420米以上的细丝，可压成厚度为 0.23×10^{-3} 毫米的金箔。这种金箔在显微镜下观察仍旧是非常致密的。金中若含极少量杂质（如铅、铋等），其机械性能也会明显降低。当含0.01%铅时，就变脆；含银及铜，金的硬度增高。因此，金的制品多是用金铜的合金制成。金在熔化的铜、铅、锌等金属中易富集，所以当熔炼矿石时，金的提取率很高。

金的挥发性很小，在1000~1300℃之间，金的挥发量是微不足道的。金的挥发速度与加热时周围气氛有关。例如：在煤气中蒸发金的损失量为在空气中的六倍；在一氧化碳中的损失量为在空气中的两倍。因此，在碳覆盖层下熔炼金会因挥发而造成金的损失。例如：金在1250、1300、1350和1400℃下，于氢气流中熔化时，经25分钟后，其损失量相应为0.055、0.090、0.105和0.250%；而在1075、1125和1250℃下于空气中熔化金时，经1小时，其损失量相应为0.009、0.10和0.26%。金的挥发速度和金中杂质的性质也有极大关系。

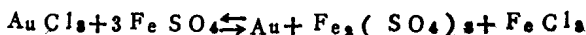
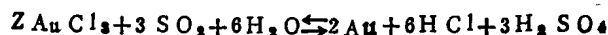
金的化学性质非常稳定。金在低温或者是真湿时，都不被氧所直接氧化。常温下，金与单独的无机酸（如盐酸、硝酸、硫酸）均不起作用，但混酸一如王水（三份盐酸和一份硝酸）能很好的溶解金。能使金溶解的溶剂还有：铍盐存在下的混酸，碱金属氯化物或溴化物存在下的铬酸；氰化物溶液；硫氰化物溶液；硫脲溶液；硫代硫酸盐溶液。硒酸、碲酸和硫酸的混酸对金也有特殊的溶解作用。

金的化合物非常不安定，容易分解出金属金，所以金在大自然界中呈游离状态。在金的化合物中，通常遇到的金是一价和三价。三价金的化合物较一价金的化合物稳定。熔融的亚铁氰化钾与氯化钠、硝酸钠都可与金生成化合物。金的化学性质虽然稳定，但在一定条件下可生成许多无机化合物和有机化合物。金的硫化物、氧化物、氰化物、卤化物、硫氰化物、硫酸盐、硝酸盐、氨合物、烧基金和芳基金等化合物均已制得。浓氨水与氧化金或氯金酸溶液作用，可制得具有爆炸性的雷酸金。

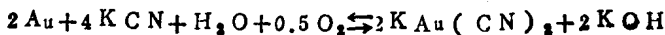
金与氯作用生成两种化合物： AuCl 及 AuCl_3 。

将金粉未置于含氯的气体中加热到 $140\sim 150^\circ\text{C}$ ， AuCl 分解。均可产生 AuCl_3 。

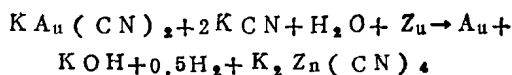
AuCl_3 溶于水，可用 SO_2 等使金从溶液中生成金属粉末沉淀出来，化学反应按下式进行：



当有氧存在时，金溶于氰化钾（或氰化钠）生成复盐：



这种复盐溶液用锌可使金沉淀出来。



金具有良好的导电及导热性能。金的导电率仅次于银和铜，在金属中居第三位。比电阻为2.4微欧/厘米³。金的导热率为银的74%。金不仅能与其它贵金属组成合金，而且还能与许多其它金属组成合金或化合物，因此，金也能富集在这些金属当中。常见的合金有：金银合金、金铜合金、金银铜合金。此外，还有所谓的金汞合金即金汞齐。用混汞法提金时，可得到硬固性的液态混合物金汞齐，此汞膏可用压滤的办法分成固态物和水银。

金的物理常数如下

质量磁化率， $\times 10^6$ （厘米·克·秒单位制）	-0.15
初始电离电位，伏	9.22
热离子功函数 电子伏	4.25
热中子俘获截面，靶	98.8
比重，18℃时，克/厘米	19.31
20℃时克/厘米	19.32
1063℃熔化时，克/厘米	18.2
熔点，℃（1968年国际实用温标）	1064.43
沸点，℃	2808
蒸气压，毫米汞柱	
953~1575℃	$10^{-8} \sim 10^{-1}$
1786~2412℃	$1 \sim 10^2$
强度极限 仟克/毫米 ²	12.2
延伸率，%	40~50
横断面收缩率，%	90~94
布氏硬度，仟克/毫米 ²	18.5
矿物学硬度	3.7
比热，卡/克·度	0.316

电阻温度系数 (25~100℃)	0.0035
线性膨胀系数 (0~100℃),	14.6×10^{-6}
导热率 (0~100℃) 卡/厘米 ² ·秒·℃	0.74
电阻率, 微欧·厘米	2.06
熔化温度时的熔化热, 卡/克	16 (3.16 仟卡/克原子)
0°K时的升华热, 仟卡/克原子	92

黄金制品的纯度可用三种方法表示:

百分率 意思是在每一百份中黄金所占的份额;

成色 意思是在每一千份中黄金所占的份额;

开 意思是在每二十四份中黄金所占的份额。

表 1—2 黄 金 常 见 品 级

% 黄 金	欧 制		开 制	
	含 金	金器标号	含 金	金器标号
100	1000/千分	999	24开	24 K
91.7	917/千分	917	22开	22 K
75	750/千分	750	18开	18 K
58.5	585/千分	585	14开	14 K
41.6	416/千分	416	10开	10 K

(二) 金的用途

金由于它的化学性质稳定, 重量与外形都不易发生变化, 所以是人类最早开采和使用的一种金属, 被称作金属之王。长期以来, 黄金主要用于首饰业、货币、镶牙、陶瓷、金笔制造等方面。在资本主义国家, 黄金一直用于货币储备, 作为付款和银行金融界的交换基础。

七十年代以后, 由于科学技术和合金技术的发展, 使黄金的消费已逐渐转向现代工业部门, 这种趋势日益增强。黄金及其合金越来越广泛地用于电子、宇航、仪器仪表, 人造纤

维，化工与国防等工业部门。

据不完全统计，世界民间部门将黄金主要用于珠宝、电子、牙科，见表 1—3。

表 1—3 世界民间部门黄金主要用途 吨

	1978	1979	1980	1981	1982
珠宝饰物	1012	740	128	598	716
电子工业	90	100	90	89	81
牙科用金	89	87	62	62	58
奖章、纪念章等销售量	51	34	16	27	22
官币销售量	288	290	186	191	133
金条储存量	113	172	11	279	294

据美国报导，黄金还有下列新用途

1. 新型的电话机、收音机和电视机，用固体电路作为微型组件，这些组件必须采用黄金，以保证其连接和切断的可靠性。

2. 在航天飞机、喷气式战斗机和导弹的电子系统制造中，黄金能可靠地保证指令从发出的地方通过连接器传送到接受器，而不会有一秒钟的中断。

3. 摄影机和直接影色成像机的高超性能，是因为采用了黄金电 的灵敏电路。

4. 黄金喷涂玻璃，在夏季可把太阳的热幅射挡回，冬季可把热源反射到室内，因此，建房时可选用较小的空调系统和较小的供暖设备。

5. 黄金可用在核聚变能源的两条开发线路上。

6. 含金的药物可以有效地治疗某些类型的风湿性关节炎。