

氰化炭浆法提金生产技术

张明朴 主编

前 言

我国黄金资源丰富，是世界上最早生产黄金的国家之一。改革开放以来，黄金生产得到很大的发展，特别是近年来，在国外兴起和发展的炭浆法提金生产技术已广泛地应用到国内黄金工业生产中，成为黄金生产的重要方法之一。

为了适应国内黄金生产新形势的需要，我们编写了这本《氰化炭浆法提金生产技术》，它比较系统地叙述了炭浆法提金生产的发展，基本理论、工艺过程及特点，环境保护及生产管理等，具有系统、全面、实用的特点。

参加本书编写的有张明朴、张宏岑、袁珍新、任子坤等同志，全书经马巧赅同志审核后定稿。

限于编者的水平，书中难免有遗漏及不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 概论	1
第一节 金的性质和用途	1
一、金的性质	1
二、金的计量和成色	2
三、金的用途	3
第二节 金的矿物和矿石	4
一、金的矿物	4
二、金矿床的工业类型	7
三、金的矿石类型	9
第三节 含金矿石的选矿方法	11
一、重选法	11
二、浮选法	11
三、混汞法	12
四、氰化法	13
五、其他选金方法	15
第四节 炭浆法提金的发展及特点	17
一、炭浆法的发展	17
二、炭浆法提金生产的主要工艺过程	18
三、炭浆法的特点	18
第二章 氰化前的准备作业	20
第一节 破碎与筛分	20
一、破碎的基本原理	20
二、破碎机	21
三、筛分机	31
四、破碎筛分流程	34
第二节 磨矿与分级	36
一、磨矿过程的基本理论	36

二、磨矿机	39
三、分级设备	45
四、磨矿分级流程	49
第三节 浓缩脱水	51
一、沉淀浓缩过程	51
二、沉淀浓缩设备	52
第四节 矿浆准备	57
一、矿浆除屑	57
二、矿浆 pH 值调整	58
三、浮选金精矿矿浆准备	58
第三章 氰化浸出	59
第一节 氰化物溶解金的机理	59
一、氰化物溶解金的化学反应	59
二、氰化溶金的动力学	60
第二节 影响金氰化浸出的因素	63
一、氰化物及氧的浓度	63
二、温度	64
三、金的粒度	65
四、矿浆浓度与矿泥	66
五、金粒的表面膜	66
六、pH 值	66
七、浸出时间	67
八、伴生矿物	68
第三节 浸出药剂	72
一、氰化物	72
二、碱	75
第四节 搅拌浸出设备	76
一、机械搅拌浸出槽	76
二、空气搅拌浸出槽	78
三、混合搅拌浸出槽	79
四、浸出槽计算	82
第五节 浸出作业的技术操作	83
一、氰化物浓度及其控制	83

二、氧的浓度及其控制	84
三、矿浆 pH 值及其控制	85
第四章 炭浆法提金	86
第一节 活性炭吸附金	87
一、活性炭吸附金的理论基础	87
二、影响活性炭吸附金的因素	92
第二节 活性炭	100
一、活性炭的种类	100
二、提金活性炭的主要性质	101
三、脱金炭的活化再生	107
四、活性炭的预处理	112
第三节 吸附设备	112
一、吸附作业的主要设备	112
二、主要吸附设备的计算	119
第四节 吸附作业的操作	122
一、矿浆中炭密度	122
二、串炭速度	123
三、减少吸附过程中金的损失	123
四、矿浆浓度	124
五、活性炭的中毒及处理	125
六、矿石中银的回收	125
七、设备的操作使用	126
第五节 炭浸法和磁炭法	126
一、炭浸法	126
二、磁炭法	127
第六节 从载金炭上回收金的方法	128
一、常压碱-氰化物法 (Zadra 法)	129
二、水溶液解吸法 (AARI 法)	129
三、有机溶剂洗脱法 (Heinen 法)	130
四、高压解吸法 (Potter 法)	131
五、非氰化物解吸法	131
第七节 从载金炭上解吸金的机理及影响因素	132
一、从载金炭上解吸金的机理	132

二、从载金炭上解吸金的影响因素	133
第八节 从解吸贵液中提取金	142
一、电积法	142
二、锌置换法	145
第九节 解吸提金设备	149
一、解吸柱	149
二、热交换器	150
三、过滤器	150
四、电积槽	150
五、电加热器	154
六、锌置换设备	154
第十节 金的冶炼	157
一、粗金属冶炼	158
二、金的精炼	162
第十一节 炭浆生产工艺指标	164
一、品位	164
二、浸出率	164
三、吸附率	164
四、解吸率	165
五、电积率	165
六、冶炼回收率	165
七、选冶总回收率	166
第五章 炭浆生产环境保护	167
第一节 氰根的产生和危害	167
第二节 氰中毒的防护与治疗	169
一、氰化物的性质	169
二、氰化物对人体的毒害	170
三、氰中毒的急救方法	172
四、氰毒的防护	173
第三节 含氰污水的净化	173
一、自然降解法	173
二、碱氯法	174
三、二氧化硫-空气氧化法	179

四、其它氧化方法	180
第四节 从含氰污水中再生和回收氰化物	184
一、氰化贫液的直接返回使用	184
二、酸化回收法处理含氰污水	184
三、硫酸锌-硫酸法处理含氰污水	190
第六章 炭浆厂实例	193
一、祈子堂金矿炭浆厂	193
二、赤卫沟金矿炭浆厂	197
三、张家口金矿炭浆厂	201
四、银洞坡金矿炭浆厂	204
五、加拿大代图尔湖金矿炭浆厂	208
六、美国霍姆斯特克矿业公司莱德炭浆厂	211
七、美国平松矿业公司平松矿炭浆厂	215
第七章 炭浆厂管理	218
第一节 生产计划管理	218
一、炭浆厂生产计划种类及编制	218
二、生产计划执行情况的分析与检查	219
三、生产调度工作	220
四、生产计划管理的基础工作	221
第二节 技术管理	222
一、炭浆厂日常技术管理工作	222
二、技术规程管理	223
三、金属平衡管理	223
四、技术检测工作	224
第三节 设备管理	224
一、设备管理的任务和内容	224
二、设备的日常管理、使用及维护	225
第四节 质量管理	225
一、质量管理概述	225
二、炭浆厂工序质量管理	226
第五节 成本管理	229
一、炭浆厂成本的构成	229
二、成本计划	230

三、成本控制与核算	231
四、成本分析	232
第六节 黄金生产封闭式管理	235
一、严格规章制度	235
二、做好生产过程的封闭式管理	235
附录	237
附录 1 金在各种腐蚀介质中的腐蚀程度	237
附录 2 金、银分析允许误差	238
附录 3 游离氰化物和保护碱的测定	239
附录 4 筛网规格	241
附录 5 分级机溢流产物的粒度与产物中—0.074mm 级别含量间的关系	242
附录 6 钢球数据换算	243
附录 7 重量单位换算	244
附录 8 含量与浓度换算	244
附录 9 压力、压强、应力换算	245
附录 10 黄金矿山主要污染物和污染源	246
参考文献	247

第一章 概 论

第一节 金的性质和用途

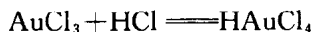
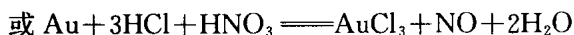
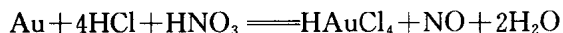
一、金的性质

金在元素周期表中的原子序数为 79，原子量为 196.9665。已知金有质量数为 183~201 的同位素共 23 个，其中只有同位素 197 的金最稳定，可存在于自然界中。

金在常温下为晶体，具有耀眼的光泽。纯金具有瑰丽的金黄色，故称黄金。在自然界中纯金是极少见的。

金的密度在 20℃ 时为 19.32 g/cm³，其布氏硬度为 181.3MPa，摩氏硬度为 3.7，延展率为 40~50%，强度极限为 119.56MPa，金的熔点为 1064.43℃，沸点为 2808℃。金的挥发性很小，在 1000~1300℃ 之间，其挥发量是微不足道的。金具有良好的导电导热性能。

金的惰性很强，无论在空气或水中，在低温或高温时，金都不与氧或硫直接起作用，仍然光彩夺目。金具有很好的抗腐蚀性，常温下金与单独的无机酸不起作用，这是因为在电位序中，金位于氢之后，故不能置换酸中的氢。但王水（三份盐酸和一份硝酸的混合剂）能溶解金，其化学反应式为：



一般说来，含有氯、溴、碘的溶液对金皆有溶解作用。此外，有铵盐存在的混酸，有碱金属卤化物存在的铬酸、硒酸、碲酸与硫酸的混酸，碱金属硫化物溶液，以及硫氰化物溶液、氰化物溶液、硫脲溶液、硫代硫酸盐溶液，有盐酸存在的丙酮溶液等，对

金皆有特殊的溶解作用。

在通常情况下，金的化学性质稳定。但在特定的条件下，金可生成多种化合物。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、烷基金和芳基金等化合物均已制得。

金常以自然金的状态存在。金有正一价 (Au^+) 和正三价 (Au^{3+}) 的化合物出现，而以正三价化合物比较稳定。一价金易分解氧化为三价金和金属金。但正一价金在氰化溶液中稳定，呈 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ，这是氰化法溶解提金的理论基础。

金与银、铜及铂族元素的结晶构造、原子半径、物理化学性质等相似，所以金与它们可形成金属互化物，呈完全类质同像。金与汞最易化合形成汞齐。

二、金的计量和成色

当今世界黄金的计量单位是盎司，1 盎司等于 31.104g。我国黄金的计量单位为 kg 或 t，但多年来习惯用“两”计量，1 两等于 31.25g。

黄金制品的纯度常见有三种表示方法：

(1) 百分率表示法 即在黄金制品每 100 份中纯金所占的比例；

(2) 成色表示法 即在黄金制品每 1000 份中纯金所占的比例；

(3) K 金表示法 即在黄金制品每 24 份中纯金所占的比例。

我国黄金制品，如各种首饰等常用 K 金表示法。24K 金就是说黄金制品含金 100%，18K 金就是说黄金制品含金 75%。

自然金纯度常用成色表示法表示。自然金的成色与其中杂质含量有关，常见的杂质主要是银，而其它杂质（如铁、铜、铂等）含量甚低，所以金的成色计算可表示为：

$$\text{金的成色} = \frac{\text{Au}}{\text{Au} + \text{Ag}} \times 1000\%$$

三、金的用途

金具有可贵的抗腐蚀性能，良好的物理机械性能和很高的化学稳定性，所以它一直是人们普遍喜爱的金属。在人们的社会活动、生活及现代科学技术的尖端领域里，金作为装饰品、货币和工业材料正在被广泛地应用。

自古以来，黄金始终被用于制作首饰和装饰品。首饰业一直是耗用黄金的大户，据统计 1987 年世界制造首饰用金达 1100t。

黄金又是硬通货，是各国信赖的世界货币，是国际贸易中最重要的支付手段。虽然今天已经很少使用金币作为流通手段，但大量的黄金仍然用于储备和支付手段。国际上把国库中黄金储备的多少作为衡量一个国家支付能力和经济实力的重要标志之一。

在医疗上黄金很早就用于镶牙，用金箔治疗处理神经受损的烧伤、皮肤溃疡等，用 $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 治疗风湿性关节炎，用金的放射性同位素“ ^{198}Au ”治疗恶性肿瘤等各种疾病。

在电子工业中，由于黄金具有优异的稳定性、延展性和韧性、良好的导电导热性能，使黄金的用途越来越广泛。金镀在电子管、晶体管及检波器的表面和包在绝缘体（如压电石英、玻璃、塑料等）表面上用作导电膜或导电层。在计算机、收音机、电视机、收录机等方面用涂金集成电路等。1985 年全世界仅在计算机的电路制造中，黄金的用量就为 110t。

在宇航工业中，金铂合金可用于制造现代高速飞机的发动机火花电极塞，金可用于喷气发动机和火箭发动机的镀金防热罩和热遮护板，还可用来防御导弹以及来自普通热源的热辐射。

在化学工业中，金用于输送具有腐蚀性物料的钢管覆层。在人造丝工业中用来制造金铂合金喷丝头。金的盐类（氯化物）用作照相的调色剂和玻璃的染色剂。

此外，金在一般工业中广泛用于制造仪表零件、表壳、笔尖、陶瓷、光学仪器、刻度温度计以及精密仪器的触头等。金的合金制品不仅可靠性高，而且寿命长。

第二节 金的矿物和矿石

一、金的矿物

目前在自然界中已发现的金矿物有 98 种，但常见的只有 47 种，而工业矿物仅有十多种。最主要的是自然金、银金矿和金银矿具有工业意义，其次是金的碲化物，例如碲金矿、碲金银矿，虽然种类较多，分布较广，但数量不多，经济价值不大。已发现的金矿物列于表 1-1。

金的矿物

表 1-1

类别	矿物名称	化学式	附 注
金 银 系 列 矿 物	自然金	Au	含 Au>80%，Ag<20%，含少量 Cu 及 Pt 族元素，密度 15.6~19.3g/cm ³ ，硬度 2~3
	银金矿	Au·Ag	含 Au80~50%，Ag20~50%，少量 Cu 及 Pt 族元素，密度 12.5~16.5g/cm ³ ，硬度 2~3
	金银矿	Ag·Au	含 Au50~10%，Ag50~90%，呈固溶体，密度 11.3~13.1g/cm ³ ，硬度 2~2.5
	自然银	Ag	含 Au≤10%，含 Ag>90%，密度 10.1~11.1g/cm ³ ，硬度 2.5~3，有展性，溶于 HNO ₃
金 铂 族 互 化 物	铂金矿	Au·Pt	含 Au84.6~86%，Pt10.5~15.9%，密度 19.53g/cm ³
	铑金矿	Au·Rh	含 Rh11.6~43%，密度 15.5~16.8g/cm ³ ，性脆
	钯金矿	Au·Pd	含 Au85.2~91.1%，Pd5.8~12.3%，密度 15.7~12.5g/cm ³ ，硬度 3
	铱金矿	Au·Ir	含 Au62.1%，Ir30%，密度 21.6g/cm ³
	金铱铂矿	AuIrOs	含 Au19.3%，Ir51.7%，Os25.5%，密度 20g/cm ³

续表 1-1

类别	矿物名称	化学式	附注
金与其他金属互化物	围山矿	$(\text{AuAg})_3\text{Hg}_2$	含 Au56.91%, Hg39.92%, Ag3.17%, 密度 18.17g/cm ³
	黑铋金矿	Au_2Bi	含 Au65.36%, Bi34.64%, 密度 15.5g/cm ³ , 硬度 1.5~2.0
	铜金矿	AuCu	含 Au75.18%, Cu23.74%, 密度 14.7g/cm ³ , 硬度 3
碲化物	碲金矿	AuTe_2	含 Au43.59%, Te56.41%, 密度 9.2~9.3g/cm ³ , 硬度 2.5~3
	碲金银矿	Ag_3AuTe_2	含 Au25.42%, Ag41.71%, Te32.87%, 密度 8.7~9.4g/cm ³ , 硬度 2.5~3
	针碲金银矿	AuAgTe_4	含 Au24.19%, Ag13.22%, Te62.59%, 密度 8.17g/cm ³ , 硬度 1.5~2
	白碲金银矿	AuAgTe	含 Au43.95%, Te56.41%, 密度 8.62g/cm ³ , 硬度 2.5
	板碲金银矿	AuAgTe	含 Au22.9~31%, Ag16.69~26.36%, Te39.14~46.44%, 硬度 2.5
	亮碲金矿	Au_2Te_3	含 Au50.77%, Te49.23%, 密度 9.94g/cm ³ , 硬度 2.5
	碲铜金矿	AuCuTe_4	含 Au25.5%, Cu8.3%, Te66.2%, 硬度 3.5~4.3
	叶碲金矿	$\text{Pb}_5\text{AuSbTe}_3\text{S}_6$	密度 7.5g/cm ³ , 硬度 1.5
碲化物	方碲金矿	AuSb_2	含 Au44.74%, Sb55.26%, 密度 9.91g/cm ³ , 硬度 3~4
	碲金银矿	Ag_3AuS_2	含 Au35.9%, Ag52.7%, Si0.7%, 密度 7.94g/cm ³

1. 自然金

自然金 (Au)，纯者少见，常含银、铜、铅、铁、钯、铼等的类质同象混入物，所以又称“毛金”。自然金含金大于 80%，含银小于 20%。自然金的颜色与条痕均为金黄色，且随其成份中银的含量增高而逐渐变为淡黄色。自然金呈金属光泽，无解理、不透明，硬度 2~3，密度 15.6~19.3（随含银量的增加而变小）。自然金具有很好的延展性，可压成薄片和抽成金丝。极高的导热导电性。化学稳定性强，在空气中不氧化，不溶于酸，但能溶于王水。王水微浸可染成棕色，遇氰化钾可染成黑色。

2. 银金矿

银金矿属自然金的亚种，颜色黄色至乳黄色，金属光泽，无解理，其他性质与自然金基本相近。银金矿中的含金量为 50~80%，含银量为 20~50%，硬度 2~3，密度 12.5~16.5，遇氰化钾呈棕黑色，含银多时作用微弱。

3. 金银矿

金银矿与银金矿不同，它是自然银的亚种。当自然银中含金 10~50% 时称为金银矿。金银矿呈浅黄至亮黄色，金属光泽、无解理，硬度 2~2.5，密度 11.3~13.1，富延展性，导热及导电性能好。这种矿物较为罕见。

金与银的关系密切，两种金属常常互化，形成完全类质同象系列矿物。原因是两种金属的原子半径极相似 ($Au=1.439\text{Å}$, $Ag=1.44\text{Å}$)，结晶构造类型相同，物理化学性质相似。

金是亲硫亲铁元素。在原生条件下，金常与黄铁矿、毒砂、黄铜矿等硫化物共生。但金在自然界中，从不与硫化合形成硫化物，更不与氧等元素化合。在少数情况下，金与碲化合形成碲化物，而在个别情况下，金则与铋化合形成方铋金矿。

金矿物的粒度在不同类型的金矿床中是不同的，即使在一个矿床的不同矿石类型中，金的粒度差异也往往很大。根据选矿的粒径分类，通常分为四个等级：(1) 大粒金，大于 0.5mm；(2) 粗粒金，0.5~0.074mm；(3) 细粒金，0.074~0.001mm；

(4) 微细粒金，小于 0.001mm

二、金矿床的工业类型

根据矿床地质特征，结合工业利用情况，将金矿床分为下列几种类型：

1. 石英脉型金矿床

这类矿床为主要的脉金矿床类型，分布广数量多，赋存条件多种多样，是我国当前黄金生产重要的资源基础。石英脉型金矿床常成群成带分布，脉长由几米至几千米不等，厚度由几厘米至几十米，沿断裂呈透镜状、脉状断续分布。矿体形态多呈脉状、网脉状、复脉状产出。矿石中金品位一般较富，常伴生银可综合回收。脉矿两侧的围岩也常因蚀变而矿化，成为可采矿石。金属矿物有自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂、有时有方铅矿、闪锌矿、自然银、辉铜矿、辉铋矿、白钨矿和磁铁矿等。脉石矿物主要是石英，其它为方解石、绢云母、绿泥石、重晶石、阳起石、斜长石等。矿床规模由小型至大型均有，往往由几个矿床组成矿田而有较大远景，形成重要的产金地。例如吉林夹皮沟、辽宁五龙、河南灵宝等金矿床。

2. 破碎带蚀变岩型金矿床

这类矿床是我国近年来发现并确定的重要工业类型，总储量仅次于石英脉型金矿床而居第二位。具有规模大、矿体形态稳定、矿化均匀、品位较富和易采易选等特点。金属矿物有自然金、银金矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿，其次为褐铁矿、铜蓝、孔雀石等。脉石矿物以石英、绢云母和长石为主，其次为方解石、绿泥石和重晶石。矿床规模多为中型至特大型。例如山东焦家、河南老湾等金矿床。

3. 斑岩型金矿床

这类矿床是我国重要的金矿床类型之一。围岩以中——酸性浅成侵入岩、次火山岩、角砾岩为主。矿体多赋存于此类岩体的顶部、边部或超出其边部进入围岩中，形成饼状、筒状、漏斗状等不规则形态。围岩蚀变有硅化、青盘岩化，因岩性不同可出现

白云岩化、高岭土化、绢云母化等。常见低温石英及胶状黄铁矿，银金比大于1。金属矿物以黄铁矿为主，有少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白铁矿、磁黄铁矿等。矿石主要呈细脉浸染状、角砾状。矿床规模由小型至特大型。例如黑龙江乌拉嘎等金矿床。

4. 火山岩型金—银矿床

这类矿床因产出时代较新，矿石组分中富含银，所以又称“新金银矿床”。矿床埋藏较浅，延伸小，多呈矿囊产出。矿床规模一般以中小型为主。矿石金品位变化大，矿化极不均匀，贫富悬殊，但银含量较高，最高时为金品位的二十倍。金属矿物主要有低成色的自然金、银金矿、碲金矿、深红银矿、辉银矿、辉锑矿、砷铜矿、黄铁矿、白铁矿等。脉石为玉髓状石英、冰长石、蛋白石、方解石、重晶石、明矾石、沸石和绿泥石等。例如吉林刺猊沟、台湾金瓜石等金矿床。

5. 矽卡岩型金（铜）矿床

这类矿床分布不多，主要成矽卡岩型铜铁矿床的伴生金矿，独立金矿床很少。金与铜铁可以综合回收。矿床规模多以中小型为主。例如山东沂南金矿床。

6. 沉积变质层状型金矿床

美国著名的霍姆斯特克金矿床属此类型。我国黑龙江东风山也已发现，矿床具有沉积变质的特点。矿石除含金、铁外，还富含钴，是我国金矿的新类型。

7. 碳酸盐型金矿床

这类金矿床在国外，例如美国卡林金矿，是一个重要的金矿类型，但在我国所见不多。矿床规模多为中小型，例如河南祈子堂、辽宁小北沟金矿床。

8. 砾岩层状型金矿床

又称变质含金铀砾岩型金矿床，是世界上最重要的金矿床类型，占世界黄金储量50%以上，南非的维特瓦特斯兰德矿床、加拿大的盲河矿床和巴西的雅柯宾娜矿床均属这类矿床。除金外，矿石中的铀常具有重要的工业价值。这类金矿床在我国未有重大发

现，黑龙江小金山矿床，河南祁雨沟金矿床与之类似，但没有经过变质作用。

9. 伴生金矿床

伴生金矿床是我国目前产金量的重要来源之一。比较重要的有斑岩型铜钼矿床、矽卡岩型铜铁矿床、岩浆型铜镍矿床、黄铁矿型铜矿床、热液裂隙充填交代型铅锌矿床。例如甘肃金川铜镍矿、山西中条山铜矿等均属这类矿床。

10. 砂金矿床

全世界已采出约九万余吨金，其中有三分之二以上来自砂金矿。但由于砂金资源耗量大，目前世界砂金年产量已缩减到总产量的20%左右。我国幅员辽阔，砂金资源还有较大的远景。砂金矿床可分为残积型和冲积型两种。最有价值的是冲积砂矿床。冲积砂矿床包括河床砂矿、阶地砂矿和海成砂矿。例如云南金砂江流域、黑龙江黑河一带等。

三、金的矿石类型

金的矿石类型划分目前还没有一个统一方法，根据矿石组成复杂性及选矿工艺要求，大体上分为以下几类：

1. 含少量硫化物金矿石

这类矿石的物质组成比较简单，多为石英脉型或破碎蚀变岩型，是最为常见的金矿石。黄铁矿是主要的硫化物，含量一般为1~5%，有时含有磁黄铁矿及少量的方铅矿、黄铜矿等。金矿物主要为游离的自然金，是唯一的回收对象，其他矿物一般无回收价值或只能作为副产品加以回收。当金与硫化物共生关系密切时，可用简单的选矿工艺流程处理，便可获得较好的选矿指标；当金与石英关系密切时，其可浮性差，可采用不同的选矿方法。对于粗粒金可用重选法和混汞法回收；对于细粒金多采用浮选法得出浮选精矿，再用氰化法处理；对于很细难选的贫矿石，可考虑采用全泥氰化法回收金；而对于被铜、铅等矿物包裹的金，也可采用高梯度磁选法回收。

2. 含多量硫化物金矿石