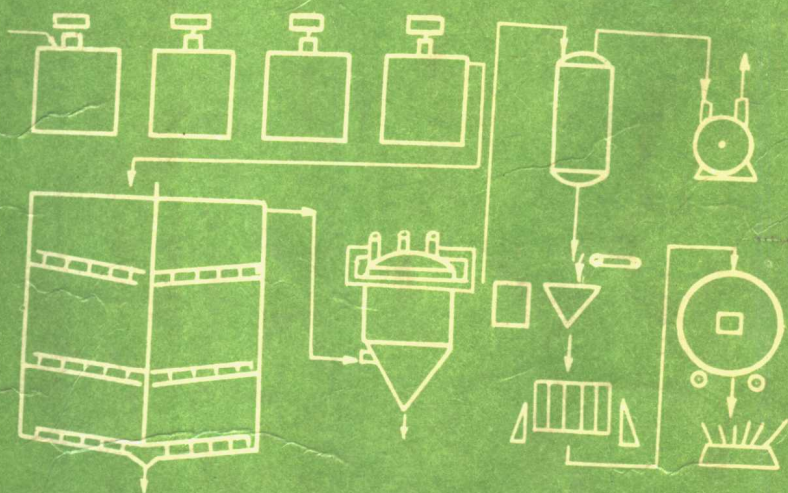


金的氰化与冶炼



4
2

沈阳黄金学院

金的氰化与冶炼

徐天允 徐正春 主编

沈阳黄金学院

前 言

《金的氰化与冶炼》一书是受冶金工业部黄金管理局的委托，作为选金厂氰化与冶炼技工培训的统一教材而编写的。

本书内容的选择主要以冶金部颁发的黄金氰化与冶炼的生产工人技术等级标准，以及相应的初级、中级技工培训与教学大纲为依据。学员的实际文化一般应达到初中水平。

本书也可供黄金矿山生产管理人员、工程技术人员以及大、中专有关专业的教学参考。

参加本书编写的有：招远金矿的徐天允、王志孝、郑承儒、陶云杰、黄润兰同志，金厂峪金矿的侯雨风、赵壁城同志，五龙金矿的李茂发同志，沈阳黄金专科学校的徐正春、刘克诚同志，并由徐天允、徐正春同志任主编。

编写本书过程中，曾得到招远金矿等黄金矿山的大力协助，在此表示衷心感谢。

编 者

1985年11月

修 订 版 序

本书从出版发行以来,深受广大黄金生产战线及有关读者的欢迎,认为本书理论联系实际、内容深入浅出,初版数千册很快销售一空,读者至今仍纷纷来函、来人索售。

本修订版,主要是对第六章进行了改写,改写后的第六章较充分地反映了国内八十年代中期以来黄金生产(如碳吸附法提金、氰化堆浸等)技术的发展情况和技术需要。此外,对原书的版误进行了较全面的更正;其他章、节未变,只是原书的第 151 页至 336 页改为第 179 页至 364 页。

本修订版的编写工作主要由沈阳黄金学院的徐正春副教授负责,并曾得到招远金矿徐天允高级工程师等同志及其它厂矿的大力协助,编者在此深表谢意。

由于编者水及时间仓促,本修订版难免有不妥及错误之处,衷心希望各位读者批评指正。

院 科 研 处

1993. 1 .

目 录

概 论

第一节	金的性质和用途	1
第二节	金的矿物和矿石	3
第三节	金矿石的选矿方法	6
第四节	金矿石的选矿过程和选矿指标	11

第一篇 氰化法提金

第一章 金的浸出

第一节	金在氰化液中浸出的原理	14
第二节	浸出药剂	19
第三节	影响金浸出的因素	24
第四节	伴生矿物对氰化过程的影响	30
第五节	浸出前氰化原矿的准备和予处理	39
第六节	浸出设备及操作	42

第二章 金的洗涤

第一节	基本概念	46
第二节	洗涤效率计算公式及工作分析	48
第三节	洗涤流程平衡	54
第四节	洗涤流程的选择	55
第五节	提高洗涤效率的措施	56
第六节	洗涤流程计算实例	57
第七节	洗涤生产实践	60
第八节	浓密机	62
第九节	多层浓密机	66
第十节	过滤机	72

第三章 金的置换

第一节	锌置换金的原理	75
第二节	锌置换金的工艺条件	76
第三节	锌丝置换法	78
第四节	锌粉置换法	80
第五节	锌置换金的生产实践	80

第四章 国内氰化法提金生产实践

例一：金厂峪金矿·····	94
例二：招远金矿·····	96
例三：新城金矿·····	99
例四：五龙金矿·····	102
例五：赤卫沟金矿·····	105

第五章 含氰污水的处理

第一节 氰化物与环境保护·····	108
第二节 含氰污水处理的方法·····	109
第三节 碱氯化法处理含氰污水·····	116
第四节 酸化法处理含氰污水·····	126
第五节 氰化物的管理、操作与中毒急救·····	135

第六章 氰化法提金的发展

第一节 活性炭吸附法提金·····	138
第二节 离子交换树脂吸附法提金·····	158
第三节 堆浸法提金·····	166

第二篇 氰化法提金工艺计算

第七章 氰化厂工艺流程及指标计算

第一节 流程简单的氰化厂工艺流程及指标计算·····	179
第二节 复杂的氰化厂工艺流程及指标计算·····	184

第八章 氰化厂流程考查

第一节 流程考查的目的和内容·····	191
第二节 流程考查的步骤和方法·····	192
第三节 工艺流程的计标·····	193
第四节 流程计算实例·····	200
第五节 流程考查报告的编写·····	207

第九章 氰化厂工艺设备的选择和计算

第一节 概述·····	209
第二节 浸出设备的选择和计算·····	209
第三节 洗涤设备的选择和计算·····	211
第四节 置换设备的选择和计算·····	218
第五节 氰化厂主要设备的选择和计算实例·····	222
第六节 氰化厂生产辅助设备的选择·····	228

第三篇 氰化厂的设备配置

第十章 氰化厂的厂址选择和总平面布置

第一节	氰化厂的厂址选择	233
第二节	氰化厂的总平面布置	234

第十一章 生产车间的配置

第一节	生产车间的布置形式	238
第二节	设备配置的一般原则	238
第三节	自流运输流槽和管道的坡度	240
第四节	生产车间的原则配置	243
第五节	氰化厂的起重设备	256
第六节	氰化厂的排水	257
第七节	车间内的通道和操作平台	260
第八节	氰化厂配置实例	260

第四篇 氰化厂生产检测与试验

第十二章 样品的采取与制备

第一节	样品的采取	263
第二节	采样设备	267
第三节	试样的制备	270

第十三章 氰化法提金试验

第一节	概述	275
第二节	氰化法提金试验的步骤	275
第三节	氰化法提金试验的内容和方法	278

第十四章 氰化生产过程的检查

第一节	氰化原矿水分及比重的测定	285
第二节	矿浆浓度及细度的测定	286
第三节	矿浆酸碱度的测定	293
第四节	游离氰化物及保护碱的测定	294
第五节	置换贫液中金的快速测定	294
第六节	浓缩机溢流中及各种烟尘中固体含量的测定	295
第七节	氰化过程中 HCN 气体的测定	295

第十五章 氰化厂金属平衡管理

第一节	理论金属平衡和实际金属平衡	296
第二节	金属平衡管理的基础工作	297

第三节	生产过程中在制品的统计.....	299
第四节	金属平衡表的编制.....	301

第五篇 黄金冶炼

第十六章 耐火材料

第一节	耐火材料的种类和性质.....	302
第二节	硅酸铝质耐火材料.....	305
第三节	氧化硅质耐火材料.....	307
第四节	镁质耐火材料.....	308
第五节	其它耐火材料.....	309
第六节	轻质耐火材料和隔热材料.....	312
第七节	耐火材料的选用.....	313

第十七章 燃料

第一节	概述.....	314
第二节	常用燃料的化学组成及发热能力.....	314
第三节	冶金常用燃料的种类和用途.....	317

第十八章 炉温测试

第一节	温标及温度计.....	320
第二节	热电偶.....	320
第三节	光学高温计.....	322

第十九章 炼金原理和原料准备

第一节	炼金原料.....	324
第二节	原料的准备.....	325
第三节	炼金的基本原理.....	328
第四节	炼金炉料的配制.....	330

第二十章 金的冶炼实践

第一节	金的冶炼炉.....	336
第二节	冶炼操作.....	338
第三节	金冶炼的附属系统.....	341
第四节	渣和冰铜的处理.....	343
第五节	炼金管理和金属平衡.....	344
第六节	铅中毒及其防护.....	347

第二十一章 金银精炼

第一节	酸法溶浸分离金银.....	348
第二节	电解法精炼金银.....	351

概 论

金是人类最早开采并使用的一种贵金属。考古工作证明，公元前 3000 年，古埃及人已经采集金并制成金的饰物，那时候的埃及文化还属于石器时代。根据我国的出土文物，发现殷商（约相当于公元前十七～前十一世纪）墓葬中的金叶和金块，战国时代的纯度高达99%以上的金饼、以及西汉墓葬中的金缕玉衣等等，以及根据我国一些古籍的记载，完全可以肯定我国应当是世界上最早开采和使用黄金的国家之一，而且在历史上对金的生产和加工，曾经有过相当高的成就，我国曾经是盛产黄金的国家。据记载，在宋代元丰年间金矿分布于二十五州，元丰元年（公元 1078 年）总收入黄金 10710 两，当年的登、莱两州（今山东省蓬莱和掖县）的黄金产量为 9573 两，相当于全国总产量的89%。又在公元 1888 年（清朝光绪年间），我国年产量达 13000 多公斤，占当时世界年产量总量的 7%、仅次于美国、澳大利亚、新西兰和俄国而居世界第五位。

金主要来源于砂金矿、脉金矿和伴生金的多金属矿。砂金矿是由原生金矿脉或含金母岩因机械的和化学的风化作用，逐渐破碎成为岩屑，并受外力的搬运作用和分选作用，使比重很大而且性质稳定的金粒，在山坡、河溪和湖海滨岸等地方，沉积富集成为有工业开采价值的矿床，称为砂金矿。

由于砂金矿中所含的金多是自然金，而且多数呈单体解离状态存在，易采、易选，所以人类早期采金大多从开采砂金开始。之后，随着砂金资源逐渐减少、而金的需求量日益增加，人们便日益重视并大量开采脉金，并从多金属矿中回收伴生金。

据报导，当今世界金矿资源最丰富，产金最多的国家，是白人种族主义统治下的南非，其次是苏联、加拿大、美国等国家。南非等一些国家的金主要产自原生金矿床；苏联产出的金，有很大一部分来自砂金矿床；而日本的金大多来源于伴生金的铜、铅、锌多金属矿石。我国砂金产量虽占一定比重，但黄金的主要来源是脉金和从多金属矿石中回收的伴生金。

1949 年新中国成立后，为了适应工业生产发展的需要和增加积累外汇储备的途经，国家于 1957 年 9 月发出指示，决定今后要大力恢复和发展黄金生产，并把黄金生产列为国家主要生产指标之一。六十年代，为推动黄金生产的发展，国家不仅对黄金生产管理体制作了调整，并且大力开展金矿地质勘探，矿山建设和科研设计工作。目前，在全国各地先后发现和探明许多新的金矿资源，相继建成了一批新的金矿山，不断扩大老企业的生产规模，积极研究和采用新技术、新设备，使黄金生产工艺流程、机械装备和生产指标都提高到一个新的水平。

第一节 金的性质和用途

一、金的性质

在化学元素周期表中，金的原子序数为 79 位于第六周期，第一付族（IB），和铜、银

一起通称铜族元素。金的原子量为 197，电负性 2.4，同位素的质量数为 183~201，但只有同位素 197 最稳定，可存在于自然界中。

金在常温下为晶体，纯金具有瑰丽的金黄色，故称黄金。但金的颜色随所含的杂质而改变。例如：含银、铂时，颜色变浅；含铜时，颜色变深。

纯金的比重为 19.3，金属光泽；硬度低（布氏硬度 18.5 公斤/毫米²，矿物学硬度 3.7）。金的比电阻低，其导电性能仅次于银和铜而居第三位；金的导热率高，为银的 74%，因而具有良好的导热性能。

纯金有很好的延展性，一克纯金可拉成长达 3420 米的细丝；可压成厚度为 0.23×10^{-3} 毫米的金箔。但是若含杂质，即使极少量，也会明显影响其加工性能。例如金含铅 0.01%，就会变脆。

金的熔点很高，为 1064℃；沸点为 2808℃。金的挥发性很小，在 1000℃ 到 1300℃ 之间的挥发量极微。

金的化学性质很稳定，无论是低温或是高温，都不能被氧直接氧化。金有很好的抗腐蚀性能，常温下，不会和盐酸、硫酸、硝酸等起作用，但容易溶解于由三份盐酸和一份硝酸组成的王水中。能够和金起作用的，还有氯水、溴水、溴化氢、碘化钾或酒精的碘溶液、盐酸的氧化铁溶液，有氧或氧化剂存在时的氰化物溶液，以及硫脲溶液等。金能和许多金属，如银、铂、铜、汞等形成合金或互化物。

金的化合价，常见的为一价和三价。所有一价金的非络合物（除 AuCN 外）都是不可溶的。三价金的化合物要比一价金的化合物稳定些。所有金的化合物都很容易被还原成金属。电位序在金的前面的许多金属，以及 H_2O_2 、 FeSO_4 、 PbO 、 MnO_2 以及碱金属或碱土金属的过氧化物等，都可以作还原剂。

二、金 的 用 途

黄金具有颜色光泽瑰丽夺目，化学性质稳定，重量与外形经久不变，容易加工制造等特殊性能，因而自古以来，就是制造装璜品和首饰的理想材料。世界各国至今仍有大量黄金消耗于首饰珠宝行业。

黄金又是理想的货币材料，到目前为止，还没有另一种商品可以代替它，起着“世界货币”的作用。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。一个国家黄金储备的多少，常常是这个国家财力大小的一种标志。

黄金很早就用于镶牙等医疗部门上，它也是制造仪表零件、钢笔尖、玻璃染色、光学仪器、刻度温度计以及生产人造纤维的合金喷丝咀等的材料。

随着科学技术的迅速发展，工业消耗黄金逐年增加。黄金在电气、电子工业及宇宙航空工业上有着广泛的用途。金及其合金是制造高速开关电接触元件、高精度的电阻元件的很好材料，并可用于高质量焊接、厚膜工艺制作集成电路的厚膜材料，以及电子工业电镀和石油化工催化剂。金也是喷气发动机、火箭导弹、热核反应堆、超音速飞机、人造卫星等现代科技不可缺少的一种材料。

因此，大力发展黄金生产，增加黄金储备，将对我国四个现代化建设有着十分重要的意义。

第二节 金的矿物和矿石

一、金的矿物

金在元素周期表中位于奇数序列，原子量大，因此在自然界中，金的分布稀少。金的电离势高，故金在自然界中，主要呈自然金的形式存在。又因为金和银、铜及铂族元素的原子半径和晶体构造类似，所以金常与这些元素形成金属互化物。此外，金也能和碲、铋、锑、硫和硒元素形成天然化合物。

目前，在自然界中发现的金矿物不多，约有 20 余种。最为常见的是自然金和银金矿。其次是金的碲化物，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，至于金的铋化物和锑化物少见，金的硒化物和硫化物更是罕见。

自然金中极少是纯金，常含有类质同象混入物银，此外还含少量的铜、铂、钯、铑、铱、铋、镍、铁、汞和硒等元素。自然金属六、八面体晶类，但完好的晶体少见，一般都呈不规则的粒状、片状、树枝状集合体。自然金的颜色与条痕均为金黄色，且随其成分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，硬度 2.5~3，比重 15.6~18.3。金粒表面有时覆盖了一层铁和锰的氧化物薄膜，薄膜颜色多呈黑色或黑褐色。

银金矿属自然金的亚种，颜色淡黄至乳黄白色，其它性质与自然金基本相近，银金矿中的银含量大于 15%。另一种矿物金银矿与银金矿不同，它是自然银的亚种，当自然银中含金 10~20% 时称金银矿，呈淡淡的黄白色，其它性质与自然银相似，这种矿物较为罕见。

金与铂族元素(铂、铑、钯、铱)的互化物矿物，主要产于岩浆熔离型铜镍硫化矿床中。金碲化物矿物主要产于中酸性火山岩或次火山岩型金矿床的石英脉中，也可产于富含铜的块状硫化矿床中。金与其它金属互化物矿物，如金汞合金产于金锑矿床，铜金矿产于铬铁矿、红镍矿中。黑铋金矿只有在高温条件下稳定。

金是亲硫、亲铁元素，因此在原生条件下，常与黄铁矿，其次是黄铜矿和毒砂等硫化物共生。另一方面绝大多数的金矿物与石英关系十分密切。所以黄铁矿和石英是金主要载体矿物。

金矿物的粒度在不同类型的金矿床中是不同的，即使在同一个矿床的不同矿石类型中，金的粒度差异也往往很大。

大的自然金可以是巨大的罕见块体，俗称狗头金、猪头金，重量从几十公斤到数千克不等。但据主要金矿床的统计，自然金的粒度一般都在 0.2 毫米以下，某些金矿床金的最小粒度为 0.005 毫米，需要用高倍显微镜观察，至于呈吸附形式产出的次显微胶体金，其粒度范围为 0.2~0.02 微米，呈高度分散状态，必需通过电子显微镜才能发现。

二、脉金矿床的工业类型

脉金矿床的类型十分复杂，但具有工业意义的主要为以下几种。

1. 含金石英脉型金矿床

这类矿床分布最为广泛，也是我国采金的最主要对象。矿床规模由大型到小型不等，而

以中, 小型规模的比较多, 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, 常伴生银可以综合回收。矿脉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、钾金矿、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。

石英脉型金矿床在我国主要分布在山东、辽宁、吉林、河北、河南、内蒙、湖南、广西、陕西等省。如吉林的夹皮沟、二道甸子, 辽宁的五龙, 河北的金厂峪、峪耳崖, 山东的招远, 河南的秦岭, 内蒙的红花沟, 广西的古袍, 湖南的黄金洞等。

2. 破碎带蚀变岩型金矿床

这类金矿床是近年来发现定型的, 其储量正迅速增长, 它具有规模大、矿体形态稳定、矿化均匀, 品位较富和易采易选的特点。目前所发现的这类金矿床, 主要集中分在山东招掖地区, 其中包括: 焦家、新城、三山岛、河东等大、中、小型矿床和矿点, 为我国目前最为重要的金矿基地之一, 就其储量而言, 仅次于石英脉型金矿床而居第二位。

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、铜兰、孔雀石。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。

3. 火山岩型金—银矿床

因产出时代较新, 矿石组份中富含银, 所以又称“新金银矿”。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 20 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、辉铋矿及砷铜矿、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。

我国吉林的五凤、刺猾沟, 辽宁的奈林, 江苏的铜井, 台湾的金瓜石等地, 均有分布。

4. 斑岩型金矿床

过去一直当作含金斑岩铜矿来开采, 矿石中的金作为副产品回收。自从发现团结沟大型斑岩型金矿后, 才把它划为独立的金矿床。

矿床规模一般为大型和特大型。矿物组合除自然金外, 主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉铋矿和辉银矿。脉石有石英、方解石和白云石等。

围岩蚀变通常有绢云母化, 王髓化, 高岭土化, 绿泥石化。

斑岩型金矿床在我国黑龙江、吉林均有发现。

5. 砂卡岩型金(铜)矿床

这类金矿床分布不多, 主要成砂卡岩型铜铁矿床的伴生金矿, 独立金矿床很少。在我国许多砂卡岩型铜铁矿床所伴生的金, 其储量可达中型金矿规模, 是伴生金产量的主要来源, 尤其是长江中、下游一带的这类矿床, 其含金量最富。

矿床规模多以中、小型为主。矿体金品位 5~15 克/吨, 金矿物为自然金、银金矿, 金银矿、含金自然银等。共生矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿、白铁矿和磁铁矿等。金矿物主要呈包体和细脉分布于黄铁矿、黄铜矿、毒砂及磁黄铁矿和脉石中, 或充填于晶隙之间。

金与铜铁可以综合回收。

山东沂南金矿是较典型的矿床实例。

6. 前寒武纪沉积变质层状型金矿床

美国著名的霍姆斯塔克金矿床属此类型，所以有时又称之为霍姆斯塔克型金矿床。我国黑龙江东风山近年来也已发现，矿床具有沉积变质的特点，严格受地层层位控制，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

这类金矿床在我国所见不多，湖南石峡、四川金山、陕西李家沟、吉林金厂、辽宁小北沟、河南坦头山等地有所发现。但在国外，如美国的卡林金矿，是一个重要的金矿类型。

矿体规模多为中、小型，金矿品位一般较低，金常与汞、锑、砷密切共生。自然金的粒度极细，微米大小的金粒，呈不规则浸染状分布于矿石中。

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。南非的维特瓦特兰德矿床，加拿大的盲河矿床和巴西的雅柯宾娜矿床都属这类矿床。

矿床成矿时代较老，产于前寒武纪变质岩中，主要含矿层由石英砾岩组成，自然金成微粒状散布于胶结物中。除金外，矿石中的铀常具有重要的工业价值。

含金、铀砾岩型金矿床在我国未有重大发现，黑龙江小金山矿床与之类似，但此矿床没有经过变质作用。

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，热液裂隙充填交代铅锌矿床。

矿床实例有：甘肃金川铜镍矿、青海锡铁山铅锌矿、山西中条山铜矿等。

三、金的矿石类型

金矿石类型的划分，还没有一个统一的方法，但根据矿石组成的复杂性和选矿工艺的难易程度，原则上可划分为一般易选含金矿石和复杂难选含金矿石两大类。现结合我国金矿资源和选矿实践情况，大体划分为以下几类。

1. 贫硫化物金矿石

这类矿石的物质组成比较简单，多为石英脉型或热液蚀变型。黄铁矿是主要的硫化物但含量少，有时含有磁黄铁矿以及少量方铅矿、黄铜矿等。金矿物主要为游离自然金，是唯一的回收对象，其它矿物一般无回收价值，因此产品单一，可用简单的选矿流程处理，获得较好的选别指标。根据浸染粒度及金与硫化物或石英的共生关系，可以采用不同的选矿方法。对于粗粒金可以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氰化的方法处理；而对于很细难选的贫矿石，可以考虑采用全泥氰化法回收金。

2. 多硫化物金矿石

这类矿石的特点是硫化物（主要是黄铁矿）含量高，金与黄铁矿关系密切，还可能含有少量的其它金属硫化物，如黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿等。一般来说，矿石中的金品位偏低，自然金粒度较小，且多被黄铁矿所包裹，因此一般都采用浮选法选出含金硫精矿，然后进行氰化，分别得出金产物和含大量黄铁矿可用于制硫酸的氰化尾矿。如果矿石中含有锑、砷、碲等有害氰化的元素，则应进行焙烧处理，预先除去这些元素，然后再氰化。

3. 多金属含金硫化矿石

这类矿石中的金主要是少量的伴生金，这些金与黄铁矿及铜、铅等硫化物关系密切，粒度分布不均匀，矿石有较大的综合利用价值，例如含金的铜、铅、锌多金属矿石，金—铜矿石，含金铜镍矿石。虽然金品位一般不高，但由于矿床规模大，伴生金量十分可观，处理这类矿石都采用浮选法，使金顺便富集到各种金属的浮选精矿中，再送冶炼厂回收。如果有粗粒金，可以在磨矿回路中以重选法或混汞法回收，以减少浮选尾矿中金的损失。

4. 含金氧化矿石

这类矿石常具有一般有色金属氧化矿石的特点，通常存在于较浅的表层氧化带中，根据氧化程度不同又可分为部分氧化矿石和氧化矿石，金绝大部分赋存在主要脉石矿物和金属氧化物（例如氢氧化铁）中。金粒表面常被氧化铁薄膜污染，氧化程度越深，污染越严重。

总的看来，氧化矿石比较难选。对于石英脉含金氧化矿石多采用“混汞或重选—氰化”流程，部分氧化矿石可以用浮选法处理。对于含金硫化矿氧化后的矿石，在一般情况下，仍可采用“浮选—氰化”流程处理，但效果不佳，最好采用更为复杂的选冶联合流程。

5. 含金钨锑矿石

金属矿物主要有自然金、辉锑矿、白钨矿、黄铁矿，以及闪锌矿、毒砂、方铅矿、黄铜矿等；脉石矿物主要为石英、方解石、磷灰石等。金主要赋存于黄铁矿、辉锑矿中，少量赋存于白钨矿和石英中。由于大部分金粒很细，所以采用重选—浮选联合流程，综合回收金、锑和钨等有价值成分。

第三节 金矿石的选矿方法

可以用各种方法选别金矿石，而最主要的是重选法、浮选法、混汞法和氰化法。

一、重 选 法

重力选矿法（简称重选法），是在运动的介质（水）中，按矿粒比重和粒度的差异进行分选的分法。

当两个粒度相同而比重不同的矿粒在水中沉降时，其中比重大的沉降速度快，而比重小的沉降速度慢。如果两个比重相同而粒度不同的矿粒在水中沉降时，粒度大的沉降速度大，而粒度小的沉降速度小。显然，如果两个矿粒的比重不相同而且粒度也不相同，则大比重的小矿粒有可能具有和小比重的大矿粒相同的沉降速度（图 0—1），因而影响矿粒按比重分层和分选的效果。

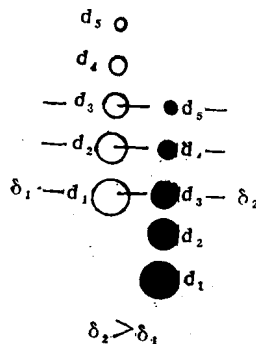


图 0—1 粒群在介质中的沉降

为了使颗粒尽量按比重分层，提高选分的精确度，应当尽量减小入选的粒度范围，也就是预先把矿石分级成几个窄级别，然后分别对它选别。

重选法不适合选分细矿粒，因为细小的矿粒在重力作用下的沉降速度很小，所以选分困

难。为此，可以利用离心力选分细矿粒。因为离心力要比重力大几十倍，甚至几百倍。

由此可见，重选的难易程度不仅与矿粒比重有关，而且也与矿粒的粒度有关。

当在水中重选时，矿粒的选分难易程度可用下式表示。

$$e = \frac{\delta_2 - 1}{\delta_1 - 1} \quad (0-1)$$

式中 e ——重选难易度；

δ_2 ——重矿物的比重；

δ_1 ——轻矿物的比重。

例如自然金的比重为 18，石英的比重为 2.6，求得重选难易度 $e=6.9$ ，因此极容易按比重选分。

和其它选矿方法相比，重选法具有设备简单，成本低，没有污染等优点，是最早用于选金的方法。

黄金矿山中重选法得到广泛的应用，尤其是砂金选矿离不开重选。脉金矿山采用重选法主要回收已经单体分离的粗粒金。目前广泛用于选金的重选设备是跳汰机，摇床和溜槽。

1. 跳汰机

跳汰机的种类很多，现以选金厂常用的典瓦尔跳汰机（图 0—2）说明其构造和工作原理。这种跳汰机有两个区间，一个为矿石跳汰室，一个为隔膜鼓动室。通过偏心传动机构使隔膜作上下往复运动，带动室内的水也作上下交变运动。当水流上升时，跳汰室床层被冲起松散，而当水流下降时，矿粒沉降床层紧密。如此反复运动，使大比重矿粒集聚于床层下部，而小比重矿粒集聚在床层上部，完成了分层作用，达到了选别的目的。

这种跳汰机又叫上动型隔膜跳汰机，规格为 300×450 毫米，其最大给矿粒度可达 16 毫米，选别粒度下限为 0.1 毫米。国内选金厂大多用它于磨矿分级回路中回收粗粒金。

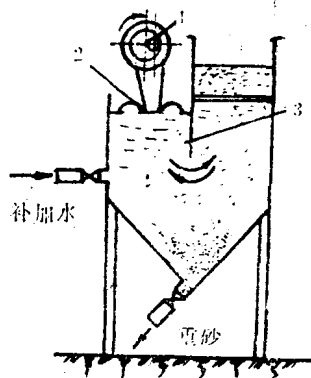


图 0—2 典瓦尔型跳汰机

1. 偏心机构；2. 隔膜；3. 隔板

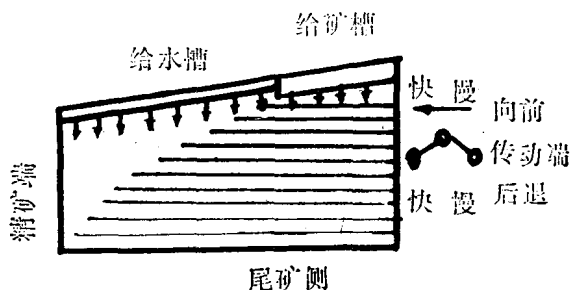


图 0—3 摇床示意图

矿浆由给矿槽给到床面上，受冲洗水的横向水流的作用和床面的纵向不对称往复运动的

2. 摇床

摇床是选别细物料的重要设备。其构造如图 0—3 所示。它有一个近似长方形的床面，床面略微向尾矿侧倾斜，床面上沿纵向钉有来复条或刻有沟槽。床面由传动机构带动，在纵向作不对称的往复运动。即前进时，运动速度由慢变快；后退时，运动速度由快变慢。

联合作用，使比重小的最细的矿泥直接沿床面倾斜方向下流；沉积在床面上来复条之间的矿粒，则按比重和粒度不同而发生分层（图 0—4）。比重小、粒度大的矿粒在上层，其次是比重小、粒度小的矿粒及比重大、粒度大的矿粒，最下层为比重大、粒度小的矿粒。处于下层的大比重矿粒受床面运动的影响大，受横向冲洗水流的作用小；而在上层的小比重矿粒正相反，受横向冲洗水流的作用大，受床面运动的影响小。因此，大比重矿粒的纵向运动速度大，横向运动速度小；而小比重矿粒的纵向运动速度小，横向运动速度大。这样，不同比重的矿粒将沿着各自的合速度方向运动（图 0—5），使比重大的矿粒移向精矿端，比重小的矿粒移向尾矿侧，最终形成按比重不同呈扇形分布的矿带（图 0—6）。



图 0—4 矿粒按比重和粒度分层的理想分布

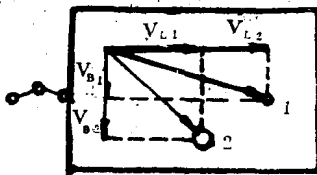


图 0—5 矿粒在床面上的运动轨迹

V_{B1} 、 V_{L1} —小比重粗矿粒的横向及纵向运动速度

V_{B2} 、 V_{L2} —大比重细矿粒的横向及纵向运动速度

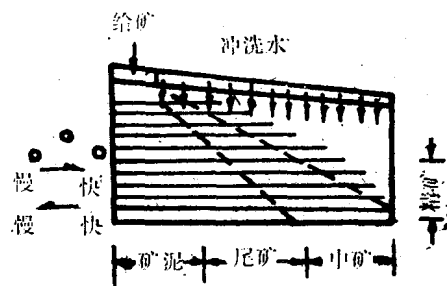


图 0—6 摇床工作原理图

摇床的富矿比很高，可以直接获得最终精矿和废弃尾矿。根据选别粒度，可分为粗砂摇床（ >0.5 毫米），细砂摇床（ $0.5 \sim 0.074$ 毫米）和矿泥摇床（ $0.074 \sim 0.037$ 毫米）。在选金厂，摇床常用来精选从跳汰机得到的含金重砂，可以获得很高的金回收率。摇床的缺点是处理能力低，设备占地面积大，为克服这一缺点，已出现了多层摇床。

3. 溜槽

溜槽是一种最简单的重力选矿设备。它是一个倾斜的狭长槽子，倾角一般为 $3^\circ \sim 4^\circ$ ，最大不超过 $14^\circ \sim 16^\circ$ 。槽底铺有格条或粗糙的软复面（例如灯芯绒、棉毯、毛毯）。矿浆从槽子上端给入（图 0—7），顺槽底向下流动。比重大的矿粒在重力和水流的联合作用下，沉于槽底格条之间，或滞留于粗糙复面上；小比重矿粒则随水流从溜槽末端排出。当大比重矿粒沉积到一定数量时，便停止给矿，进行清溜。因此 溜槽选矿为

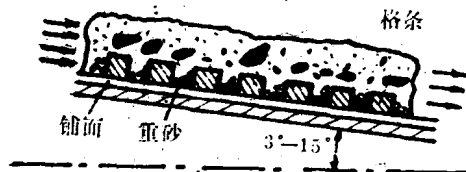


图 0—7 格条溜槽选矿原理图

间歇作业，而且清溜劳动强度大。

在脉金矿山，溜槽可以作为回收粗粒单体金的粗选设备；也可以从混汞或浮选尾矿中，补充回收金。通常格条溜槽适于处理粗粒物料，软复面溜槽适合处理细粒矿石。

二、浮 选 法

浮选法是选金生产中，应用最为广泛的一种选矿方法。浮选效率高，可以处理细粒浸染的矿石。对于成分复杂的矿石，浮选法可以得到很好的选分效果。

浮选法是利用矿物表面物理化学性质的差异来选分矿石的一种方法。为什么在矿浆中，不同的矿粒会选择性地附着在气泡上呢？主要原因是不同的矿物表面具有不同的润湿性。例如玻璃表面很容易被水润湿，而石蜡表面很难被水润湿（图 0—8）。称玻璃为亲水的，而石蜡为疏水的。

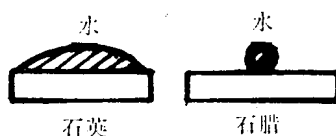


图 0—8 润湿现象

不同的矿物例如黄铁矿、自然金粒表面是疏水的，很容易附着到气泡上，随气泡上浮到矿浆表面；而石英，长石颗粒表面是亲水的，不易附着到气泡上，所以仍然留在矿浆中。

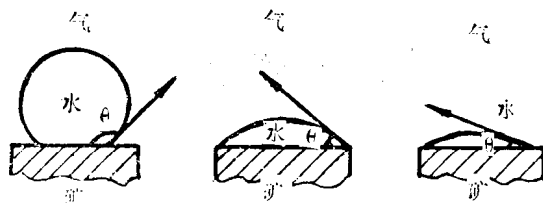


图 0—9 矿物表面润湿接触角

矿物表面润湿性可以用润湿接触角 θ 的大小来量度，从图 0—9 可以看出：润湿接触大时，疏水性强，易浮；接触角小时，亲水性强，难浮。但是矿物表面的润湿性，或者可浮性，是可以利用浮选药剂的作用来改变的。

1. 浮选药剂

浮选药剂在浮选中起着极为重要的作用。根据其用途不同，可分为三大类：捕收剂、起泡剂和调整剂。

(1) 捕收剂。捕收剂的作用是它能选择性地固着在某些矿物的表面上，增强其疏水性，使这类矿物容易附着于气泡上浮。在选金生产中，最常见到的是黄药和黑药，它是自然金和硫化矿物有效的捕收剂。

(2) 起泡剂。浮选时，要求产生大量的气泡用以负载矿粒，气泡的大小要合适而且应有一定的强度。因此，必须向矿浆中添加起泡剂，选金所用的起泡剂主要是二号浮选油。

(3) 调整剂。又可分为抑制剂、活化剂和介质调整剂。

抑制剂用来降低某些矿物的可浮性。活化剂的作用是使某种矿物易于吸附捕收剂而上浮。介质调整剂主要是调整矿浆的 PH 值，调整其它药剂的作用，消除有害离子对浮选的影响，促使矿泥分散或絮凝。

选金厂浮选常用的调整剂例如石灰，它既可用于抑制黄铁矿，也可作为矿浆的 PH 调整剂。又如硫化钠是含金氧化铜矿的活化剂。

2. 浮选机

国内选金厂目前常用的浮选机是机械搅拌式浮选机。