

冶金生产技术丛书

金的选矿

吉林省冶金研究所等 编

冶金生产技术丛书
金的选矿

吉林省冶金研究所等 编

*

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
卓城县印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张12 1/8 字数335千字
1978年10月第一版 1988年11月第二次印刷

印数4,251~7,810册

ISBN 7-5024-0380-1

TD·66 定价3.70元

前 言

为了配合黄金矿山生产建设发展的需要,我们编写了这本《金的选矿》一书,供从事黄金选矿的工人、干部和工程技术人员以及其他有关人员使用参考。在编写过程中,我们深入现场,调查研究,着重分析和总结了各种含金矿石的选矿技术和生产实践经验,以及在生产、科研和设计等方面的成果,同时,也适当地介绍了一些国外黄金生产技术。

本书由吉林省冶金研究所负责主编,参加编写的单位有辽宁五龙金矿、吉林省冶金设计院、山东招远金矿及黑河金矿局。执笔者:李为霖、于德生、李世桢、金昌协、宫守俊和陶云杰等同志。

本书在编写过程中,曾蒙中南矿冶学院、黑龙江省黄金公司、黑龙江省冶金研究所、秦岭金矿及各有关厂矿的大力支持和协助,我们在此表示衷心感谢。

由于编写人员经验不足和水平所限,因此书中难免有缺点和错误,希望广大读者批评指正。

编 者

1977年8月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 金的生产概况	1
第二节 金的性质和用途	5
第三节 金的矿床地质	9
第二章 重选法选金	15
第一节 基本概念	15
第二节 重选设备	21
第三章 浮选法选金	45
第一节 浮选原理	45
第二节 浮选药剂	51
第三节 浮选设备	61
第四节 含金矿石浮选实践	75
第四章 混汞法提金	88
第一节 混汞原理	89
第二节 混汞设备与操作	93
第三节 汞膏处理与汞板制作	106
第四节 混汞生产实践	114
第五节 混汞厂的安全措施	116
第五章 氰化法提金	120
第一节 氰化原理	120
第二节 渗滤氰化法	141
第三节 搅拌氰化法	148
第四节 金的沉淀	165
第五节 含氰污水的净化及氰化物再生	173
第六章 一般含金矿石选矿实践	186
第一节 选金流程的选择	186
第二节 石英脉含金矿石	190

第三节	简单硫化物含金矿石	201
第四节	含少量金的有色金属矿石	204
第五节	金-铜矿石选矿实践	208
第七章	复杂含金矿石的处理	216
第一节	金-银矿石的处理	216
第二节	金-砷矿石的处理	225
第三节	金-锑矿石的处理	229
第四节	金-碲矿石的处理	238
第五节	金-铀矿石的处理	242
第六节	金-多金属矿石的处理	244
第七节	金-硒与金-锰矿石的处理	253
第八节	含泥与含碳金矿石的处理	256
第八章	砂金矿选别	265
第一节	砂金矿床的工业类型及其特点	265
第二节	砂金的类别及其在砂砾层中分布	266
第三节	砂金矿床开采方法简介	267
第四节	砂金矿选金工艺	269
第九章	采金船选别	280
第一节	概述	280
第二节	采金船使用条件及其分类	284
第三节	采金船选金设备	289
第四节	采金船的生产检验	303
第五节	采金船生产实践	306
第十章	土法采金	314
第一节	概况	314
第二节	土法开采与选矿	316
第三节	土法选金厂实例	332
第十一章	从副产物中提取金与金的冶炼	337
第一节	从阳极泥中提取金	337
第二节	从黄铁矿烧渣中回收金	343
第三节	从工业废液废料中再生回收金	345
第四节	金的冶炼	355

第十二章 黄金生产技术新动向	365
第一节 硫脲法提金	365
第二节 含金矿石及其精矿的水溶液氯化	367
第三节 用离子交换树脂吸附金	370
第四节 用活性炭吸附金	376
第五节 含金精矿的高温氯化挥发	378
第六节 含金硫化物的压热氧化	382
第七节 金的细菌浸出	385
第八节 从海水中提取金	387
附录	390
附录一 金矿物	390
附录二 银矿物	391
附录三 汞的测定	395
附录四 游离氰化物和保护碱的测定	396
附录五 “三废”排放标准	398

第一章 概 论

第一节 金的生产概况

金，是人类最早开采和使用的一种贵金属。金具有可贵的抗蚀性能、良好的物理机械性能和很高的化学稳定性，所以，它的用途十分广泛。长期以来，金主要用作货币和制造首饰及装饰品。在资本主义国家里，黄金一直当作货币储备，作为金融付款和银行金融界交换的基础。六十年代后期，由于镀金及合金技术的飞速发展，金及其合金在喷气发动机、火箭、超音速飞机、核反应堆、电子器械和宇宙航行等方面获得广泛应用，已成为发展原子技术和宇宙航空技术不可缺少的原材料。美国将金和其他贵金属已列为战略物质。由于金在现代尖端科学技术领域中日益发挥重要作用，所以，目前世界各国都非常重视金的生产，大力进行勘探、开采及选矿、冶炼工作。

金主要来源于脉金矿、砂金矿和含金多金属矿石。据国外报导，世界上金的储量约为3.5~4万吨。其中脉金和砂金矿的储量占75%，其余25%为有色金属含金矿石。

1850年以前，世界上金的生产以开采砂金矿为主，其产量占总产金量的98%。脉金矿只是在本世纪初才开始大量开采，但发展速度非常快，到二十年代其产量就占总产金量的80%。五十年代以后，由于采金船和其他采掘设备的广泛应用，砂金产量所占的比例又有所增加。但是，目前世界上脉金产量仍占总产金量的65~75%。

世界上黄金产量最多的国家是南非（阿扎尼亚）^①，其次为苏联、加拿大、美国、澳大利亚、加纳、津巴布韦（罗德西亚）^①、菲律宾和日本。国外黄金生产除苏联近几年产量有所增加外，主

① 在白人种族主义统治下。下同。

要产金国家的产量由于原矿品位的降低，开采成本的增高，从1970年以后产量都在下降。但工业消耗量却在增长，产销相差很大。国外一些主要产金国家金的储量及近几十年黄金产量的变化情况见表1-1及表1-2。

表 1-1 主要产金国家黄金储量

国 家	南非	苏联	加拿大	美 国	澳大利亚	加 纳
储量(吨)	15,000	6,620	5,000~6,000	3,000~4,000	200~300	70
品位(克/吨)	12~15	5~8	12	10~12	36~69	9~12
国 家	菲律宾	日本	墨西哥	巴 西	尼加拉瓜	总 计
储量(吨)	400	200	1000	40	20	35,000~40,000
品位(克/吨)	3~6	5.7	7~20	10	6~7	—

国外黄金生产国中，南非、澳大利亚、加纳主要来自原生金矿床；苏联、巴西、刚果主要来自砂金矿床，此外，还有一些国家则从含铜及多金属矿床中综合回收大量黄金。例如，日本当前生产的金有65%来源于铜、铅、锌等多金属含金矿石。

世界上就各大洲而言，金的产量很不均衡。非洲不仅储量丰富，而且产量也最高。据1970年统计：非洲占世界总产金量的71.3%，居于首位；其次为欧洲，占14%（包括苏联在内）；而亚洲与澳洲的产金量所占的比例甚小。

黄金由于在现代工业中的作用日益重要，所以，六十年代以后，在资本主义国家之间围绕着黄金展开了剧烈的斗争。美国在第二次世界大战结束时，拥有资本主义世界黄金储备量的70%，然而由于连续不断地经济危机和对外进行侵略战争，使黄金储备大量外流，至今只保持了资本主义世界黄金储备量的33%。当前世界上一些国家的黄金储备量见表1-3。

目前，随着现代工业对黄金需求量的日益增长，在国际金融

表 1-2 主要产金国家黄金产量(吨)

国 家	1940	1950	1960	1962	1964	1966
南 非	436.9	362.8	798.1	792.9	906.0	964.0
加 拿 大	165.9	138.1	171.1	129.9	118.0	101.8
美 国	151.5	74.5	56.0	47.9	45.7	56.0
澳大利亚	51.1	27.0	41.0	33.2	30.0	28.0
加 纳	27.6	21.4	33.3	27.6	28.9	21.3
菲 律 宾	34.6	10.4	14.9	13.2	13.2	13.3
日 本	25.6	4.2	12.3	13.1	14.3	16.2
苏 联	—	—	—	—	—	—
总产量	1122.0	751.0	1265.1	1152.0	1247.0	1285.0

国 家	1968	1970	1971	1972	1973	1974
南 非	966.8	999.7	975.6	908.7	852.3	758.3
加 拿 大	83.4	74.3	68.7	64.7	60.0	52.2
美 国	47.7	53.0	46.4	45.1	36.2	34.8
澳大利亚	24.5	21.4	20.9	23.9	18.4	16.7
加 纳	22.5	22.2	21.7	22.5	25.0	27.6
菲 律 宾	16.4	18.7	19.7	18.9	18.1	18.9
日 本	7.8	7.8	7.7	9.6	10.4	5.0
苏 联	183.5	202.5	344.8	360.2	370.6	420.0
总产量	1260.0	1293.9	1589.1	1550.5	1499.1	1446.9

注：关于苏联黄金总产量数字，各处报导不一，有的相差甚多，本表数字来源于吉林省冶金研究所《国外黄金生产概况》1975,12。

斗争不断加剧的形势下，尽管黄金生产的发展受到许多因素的制约，但黄金生产的规模与发展速度仍有增长的趋势。

金在我国的发现是很早的，是世界上开采和使用金最早的国家之一。在金的应用方面，我国有着悠久的历史，距今三千多年以前，我国古代劳动人民就己能制造精美的金质艺术品。众所周知，在我国已发掘出的殷代墓葬中就有“金叶”和“金块”；在西汉的墓葬中就有世界上罕见的“金缕玉衣”，还发现了战国时代的纯

表 1-3 黄金储备量(1974年6月)

国 家(地区)	数 量(吨)	国 家(地区)	数 量(吨)
美 国	8584	西 德	3658
加 拿 大	680	欧洲其它国家	1667
比 利 时	1312	南 非	575
法 国	3139	非洲其它国家	357
意 大 利	2566	日 本	656
荷 兰	1690	亚洲其它国家	560
葡 萄 牙	869	中 南 美 洲	880
瑞 士	2588	中 东	895
英 国	652	苏 联	2702

度高达 99% 以上的“金饼”。这就足以证明了我国古代在金的应用方面有着非凡的成就。

公元二世纪后，在我国古书中还记载了许多有关金银性质、冶炼及我国金的资源分布情况。在明代（1673 年）宋应星所著的“天工开物”一书中，对我国金、银的产地、采矿、冶炼及精炼方法都作了更为详细的描述。

我国古代采金业几乎全靠繁重的体力劳动，只应用有限而简单的机械。在我国长达两千多年的封建社会里，采金技术一直没有得到更大的发展，直到十九世纪末，我国采金业还是以开采砂金矿为主，生产工艺停留在古老的水平上。

历史上，我国一向是盛产黄金的国家，古代产金数字虽然没有详细稽考，但据其使用数量来看产量是相当可观的。清光绪年间（1888 年），我国产金已达 13.5 吨，占当时世界产金总量的 7%，居第五位。

早在解放战争期间，党和人民政府就很重视黄金生产，迅速地恢复了东北、山东等地的黄金矿山，为全国的解放和经济建设做出了很大贡献。

中华人民共和国成立后，毛主席和党中央对黄金生产的发展尤为重视。1957 年 9 月国务院曾发布指示：“——为了适应工业

生产发展的需要和增加积累外汇储备的途径，决定今后大力恢复和发展黄金生产，要把黄金生产列为国家主要生产的指标之一，……”。1958年，在广大职工的努力下，我国各地不仅新建了一批黄金矿山，而且地质部门，在全国各地又勘探和发现了许多新的黄金资源，为我国黄金事业的发展和建设打下了基础。1965年，为适应黄金生产发展的需要，国家对黄金生产管理机构 and 与其相应的地质勘探、井巷建设、机械制造和科研设计等部门做了调整，为我国黄金生产的发展创造了有利条件，使黄金产量迅速上升。我国黄金工业战线上的广大职工，为发展黄金事业，为适应工业发展的需要和增加积累外汇储备，积极进行勘探、开采以及选矿、冶炼工作，充分发挥了中央和地方两个积极性，不仅相继建成了一批新的黄金矿山，而且老企业的生产规模也都有所扩大。特别是我国独立自主设计与建造的采金船大批投产以及群众集体采金事业有了更大的发展，使黄金生产面貌焕然一新。黄金选矿工艺发展很快，新技术、新工艺、新设备不断地投入生产。一些黄金矿山由土法生产逐步过渡到机械化生产，选金流程、机械设备、生产指标都不同程度地达到了新的水平。近年来，我国黄金工业战线上的广大工人、干部和工程技术人员满怀豪情，正在阔步前进，争取更大的胜利。

第二节 金的性质和用途

一、金的物理及化学性质

金为化学元素周期表中的第1族元素，原子序为79，原子量为197。已知它有质量数为183~201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。

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^{-8} 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%的铅时就变脆。

金的挥发性很小。在1000~1300°C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°C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°C下,于空气中熔化时,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。金在低温或者是高温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——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:铵盐存在下的混酸;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。

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。熔融的亚铁氰化钾和氯化钠、硝酸钠都可与金生成化合物。金虽然在通常条件下,化学性质稳定,但在一定的条件下,金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,烷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,在金属中居于第三位。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。

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°C时，克/厘米 ³	19.31
20°C时，克/厘米 ³	19.32
1063°C熔化时，克/厘米 ³	17.3
1063°C凝固时，克/厘米 ³	18.2
熔点，°C(1968年国际实用温标)	1064.43
沸点，°C	2808
蒸气压，°C(毫米汞柱)	
$10^{-6} \sim 10^{-1}$	953~1574
$1 \sim 10^2$	1786~2412
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°C)	0.0035
线性膨胀系数(0~100°C)	14.6×10^{-6}
导热率(0~100°C)，卡/厘米 ² /厘米/秒/°C	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

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

以在许多世纪以来，它一直起着货币金属的作用。到目前为止，还没有另一种商品可代替它作为“国际货币”来使用。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。

金由于有耀眼的金属光泽，因此，长期以来它主要用于制造首饰和各种装饰品。据统计：1969年，国外用于首饰工业方面的金达962吨，占总消耗量的70%以上。

金还广泛用于电气-电子工业及宇宙航空工业上。金及其合金能焊接对焊缝的强度及抗氧化性要求很高的耐热合金件。例如：喷气发动机、火箭、热核反应堆、超音速飞机等的零件。而各种镀金部件，可在高温条件下或酸性介质中操作。例如：将金镀在人造地球卫星的某些零件和金属帽上、以及镀在电子管、晶体管及检波器的金属表面上。金还广泛用来制造各种接触器、插销、继电器、电子计算机及某些装置上用的高速开关。金还用来包在绝缘材料如石英、压电石英、玻璃、塑料等的表面上，用作导电膜或导电层。贴在玻璃上的薄金箔能有效的反射紫外线和红外线，起着特殊滤光器的作用。

在现代高空飞行中，可用金铂合金制造发动机的火花电极塞。由于金的黄色吸光性好及其反射率为94.4%的特点，在军事上可用来防御导弹以及用来防御来自普通热源的热辐射。

金在医疗部门及一般工业上也得到普遍应用。利用金有极好的抗蚀性能及便于铸造和焊接的特性，在口腔医疗方面很早就用于镶牙。近来，金用于治疗风湿性关节炎，用金箔处理神经受损的烧伤、治疗皮肤溃疡以及用金的放射性同位素¹⁹⁸治疗癌症方面都有所进展。此外，金在一般工业中广泛用于制造仪表零件、笔尖、玻璃染色、光学仪器、刻度温度计以及在人造纤维工业中用来制造金铂合金喷丝头。

三、金的工业消耗量

金由于具有独特的物理化学性质，所以随着现代科学技术的飞跃发展，金的消耗量也在不断增加。美国1960年工业消耗黄

金约 90 吨,1970 年则高达 185.7 吨。英国每年消耗黄金约 35 吨,日本约 12 吨。而在 1970 年以后,世界各国黄金消耗量都有较大幅度增加。表 1-4 为几个资本主义国家用于工业方面的黄金消耗量。

表 1-4 黄金消耗量统计表(吨)

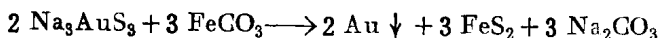
国 家	1971年	1972年	1973年	1974年
美 国	215.3	226.6	209.3	160.0
意 大 利	197.7	332.5	95.0	57.0
西 德	79.1	84.4	80.0	60.0
印 度	179.0	110.3	63.6	5.0
日 本	80.6	96.0	100.9	77.0
其它国家	639.8	500.0	304.6	401.8
合 计	1391.5	1349.8	853.4	760.8

第三节 金的矿床地质

一、金的地球化学与金矿物

金在自然界中的含量很少,在整个地球中的含量约为 $2 \times 10^{-4}\%$ 。在地壳中的含量更少,其克拉克值仅为 $5 \times 10^{-7}\%$ 。

在原生条件下,金呈硫和氯的络合物形式存在,它们借助于热水溶液进行迁移。在适宜的条件下,金的络合物与铁进行化学反应后,金被沉淀下来:



在氧化条件下,金易溶于有游离的环境中。如在围岩中含有氯化物时,它使金溶解,下移到胶结带中而造成金的次生富集。但就一般而论,金是难溶的,在氧化带中金常被残留、富集或原生金矿被风化剥蚀及再沉积后,形成各种类型的砂金矿。

金是亲硫元素之一,在原生条件下金矿物常与黄铁矿、毒砂等硫化矿物共生。但它在自然界中,从不与硫化合形成硫化物,更不与氧等元素化合。在少量的情况下,金与碲化合形成碲化

物，而在个别情况下，金则与锑化合形成方金锑矿。相反，金在自然界却表现出极强的亲铁元素性质，所以金在自然界多以金属键形式出现在自然金属元素矿物中，最主要的矿物就是自然金。

金与银原子直径近同，晶格结构类型相同，化学性质相似，所以自然金中常杂有不同量的银。当银的含量达到一定数量时，则可称为银金矿、金银矿和含金自然银银铜金矿等自然金属元素矿物。

金与铂族元素矿物的原子直径也相差不大，因此，在自然金矿物中有时有铂族元素呈类质同像混入。当其中混入相当量的钯和铂时，可形成钯金矿、铂金矿、铂银金矿、钯铜金矿等。在以铂族元素为主的自然金属元素矿物中，有一定量的金元素呈类质同像混入时，可叫作铂金钯矿和等轴金钨铼矿等。

另外，在某些特定的地质条件下，金与铋结合形成铋金矿。

金在自然界与碲元素化合形成的矿物有碲金矿、亮碲金矿、白碲金银矿、针碲金银矿、碲金银矿、碲铜金矿(AuCuTe_4)和叶碲金矿等。如上所述，在自然界已发现和完全确定的金矿物，就有这二十几种。

金矿物在矿石中含量很少，又多呈显微粒状存在，从而给鉴定和研究它们带来困难。但它们都具有明显的特点，因此，发现与确定它们是否金矿物还是容易做到的。加之，随着微区鉴定手段的发展和应用，正确的鉴定它们的种属、名称也不是很困难的。

金矿物鉴定特点可简要归纳如下：

1. 硬度低。维氏硬度多在 100 公斤/厘米² 以下，少数几种矿物在 200 公斤/厘米² 左右，最大也不超过 250 公斤/厘米²。

2. 具有很高和较高的反射率，多数矿物在 60% 以上。

3. 具有很大和较大的比重。

4. 反射镜下多具有不同程度的金黄色和黄色色调。

5. 自然金属元素金矿物具有良好的延展性。

金元素除了赋存在粗粒和显微粒状的金矿物中者外，也有一

定量的金呈次显微状（放大 1200 倍仍发现不了）赋存在一些硫化矿物中。据报导，在黄铁矿中次显微状金的含量最高可达 780 克/吨。这种黄铁矿在 600℃ 条件下加热数小时后，金就凝聚成微细的金粒。

采用图 1-1 所示金的物相分析流程，从磨矿产品中能够定量的测定出金的下列状态：可混汞的游离金，连生体中的金，酸溶矿物中的金，包裹在硫化物和石英中的金。

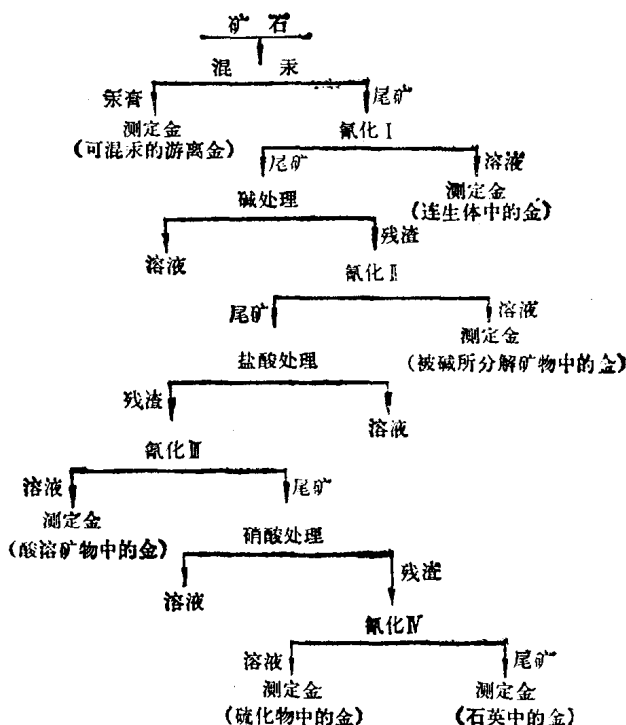


图 1-1 矿石中金的物相分析流程

二、金矿床类型

六十年代以来，各国都普遍地加强了金矿地质工作，并发现了一些新的金矿类型。目前，世界上黄金储量主要来自如下几种矿床类型：