

· 现代选矿技术丛书 ·

提金技术

张锦瑞 贾清梅 张浩 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

现代选矿技术丛书

提 金 技 术

张锦瑞 贾清梅 张 浩 编著

北 京

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了黄金的基本知识,重点阐述了黄金提取常用方法的理论基础和生产实践技术,包括金矿石的重选、金矿石的浮选、混汞法提金、氰化法提金、离子交换树脂法提金、其他提金方法以及难浸矿石的预处理等;并介绍了金的冶炼、金的化验和金尾矿综合利用等内容。

本书可供黄金矿山企业的工程技术人员、设计人员及管理人员参考,也可供高等院校选矿、冶金专业本科生及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

提金技术/张锦瑞,贾清梅,张浩编著. —北京:冶金工业出版社,2013.8

(现代选矿技术丛书)

ISBN 978-7-5024-6370-0

I. ①提… II. ①张… ②贾… ③张… III. ①金矿物—提取冶金 IV. ①TF831.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 199464 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6370-0

冶金工业出版社出版发行,各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2013 年 8 月第 1 版,2013 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;14.25 印张;341 千字;214 页

48.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

我国黄金资源丰富，是世界上最早生产和使用黄金的国家之一，黄金生产已经跻身世界产金大国之列。目前全国有黄金矿山几百家，氰化厂家万余家。2008 年中国黄金产量首次超过南非，至 2011 年已连续 4 年保持全球第一。

随着世界黄金消费及价格的刺激作用，黄金的选矿与提取技术得到迅速的发展。同时，随着黄金矿山开采规模的不断扩大，尾矿逐年增加，产生严重的环境问题。因此，黄金尾矿作为二次资源的综合回收利用技术也得以迅速发展。

为了适应我国黄金生产发展的需要，作者根据当前国内外的有关科研与工程实践新技术，参考近年来的文献资料，编写了本书。书中介绍了黄金的基本知识，着重阐述了黄金提取常用方法的理论基础和生产实践知识，并介绍了黄金尾矿再选及综合利用基础知识。

本书由河北联合大学矿业学院张锦瑞（第 1、2、4、6 章）、贾清梅（第 3、5、7、8、13 章），河北联合大学迁安学院张浩（第 9~12 章）编写。参加编写的还有河北联合大学矿业学院的王伟之、李凤久、赵礼兵等。全书由张锦瑞定稿。

本书参考和引用了有关文献，谨向这些文献的作者致以真诚的谢意。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请各位专家和读者批评指正。

作 者
2013 年 6 月

目 录

1 绪论	1
1.1 金的性质及用途	1
1.1.1 金的物理性质	1
1.1.2 金的化学性质	2
1.1.3 金的用途	2
1.2 金的矿床地质	3
1.2.1 国外金矿床的分类	3
1.2.2 国内金矿床的分类	4
1.2.3 脉金的矿石类型	5
1.2.4 金的矿物	6
1.3 金的工艺矿物学	6
1.3.1 金的赋存状态	7
1.3.2 金在矿石中的配分	7
1.3.3 金粒嵌连关系	7
1.3.4 金粒粒度	8
1.3.5 金的化学成分	8
1.3.6 金粒形状	9
1.3.7 金粒表面薄膜	9
1.4 世界黄金生产量和储备量	10
1.4.1 世界黄金生产量	10
1.4.2 世界黄金的储备量	11
1.5 金矿石选冶方法	12
1.5.1 从矿石中富集金的方法	12
1.5.2 金精矿的焙烧	13
2 金矿石的重选	16
2.1 概述	16
2.2 重力选金方法及选别设备	17
2.2.1 跳汰机选金	17
2.2.2 溜槽选金	19
2.2.3 摇床选金	19
2.2.4 圆筒选矿机选金	20

2.2.5 螺旋选矿机选金	21
2.2.6 圆锥选矿机选金	21
2.2.7 短锥水力旋流器选金	22
2.2.8 选金离心盘	23
2.2.9 复合力场离心选矿机选金	25
2.2.10 多层圆盘重选机	28
2.3 砂金矿重选原则工艺	30
2.3.1 破碎与筛分	30
2.3.2 脱泥	30
2.3.3 选别	31
2.4 采金船及其选金工艺	31
2.5 砂金矿重选工艺及技术发展	32
2.6 砂金矿选金生产实例	33
2.6.1 采金船选金生产实例	33
2.6.2 固定式选金厂的生产实例	33
3 金矿石的浮选	36
3.1 概述	36
3.2 浮选药剂	37
3.2.1 捕收剂	37
3.2.2 调整剂	38
3.2.3 起泡剂	38
3.3 金及含金矿物的浮选特性	39
3.3.1 金	39
3.3.2 碲金矿	39
3.3.3 方锑金矿—辉锑矿	39
3.3.4 油母岩	39
3.3.5 黄铁矿	39
3.3.6 砷黄铁矿	40
3.3.7 磁黄铁矿	40
3.3.8 铜金矿石和混合硫化矿	40
3.3.9 黄铁矿—砷黄铁矿	40
3.3.10 磁黄铁矿—黄铁矿/砷黄铁矿	40
3.3.11 辉锑矿—黄铁矿/砷黄铁矿	41
3.3.12 铜—黄铁矿/砷黄铁矿/磁黄铁矿	41
3.4 影响金浮选的工艺因素	41
3.4.1 pH 值	41
3.4.2 矿浆电位	41
3.4.3 物理因素	42

3.4.4	矿石浮选的化学调浆	42
3.4.5	浮选工艺	43
3.4.6	浮选设备	43
3.5	金矿石的浮选综合流程	44
3.5.1	单一浮选流程	44
3.5.2	重选—浮选流程	44
3.5.3	混汞—浮选流程	45
3.5.4	浮选—氰化流程	45
3.5.5	多种复杂联合流程	46
4	混汞法提金	48
4.1	混汞提金原理	48
4.1.1	混汞的理论基础	48
4.1.2	汞膏的构造与形成	52
4.1.3	影响混汞提金的主要因素	52
4.2	混汞设备及操作	55
4.2.1	外混汞设备及操作	55
4.2.2	内混汞设备及操作	60
4.3	汞膏处理	62
4.3.1	汞膏洗涤	62
4.3.2	汞膏压滤	63
4.3.3	汞膏蒸馏	64
4.4	混汞生产实例	66
4.5	混汞提金的安全措施	67
4.5.1	汞毒	67
4.5.2	对汞毒的防护及安全措施	67
4.6	含汞废气和废水的净化	69
4.6.1	含汞废气的净化	69
4.6.2	含汞废水的净化	69
5	氰化法提金	71
5.1	金氰化浸出原理	71
5.1.1	金氰化的热力学原理	71
5.1.2	金氰化过程动力学分析	74
5.1.3	金在氰化物溶液中的反应速度	76
5.2	影响金浸出速度的因素	78
5.2.1	氰化物和氧的浓度	78
5.2.2	矿浆的 pH 值	79
5.2.3	矿浆温度	80

5.2.4 矿浆黏度	80
5.2.5 浸出液中各试剂组分	81
5.2.6 浸出时间	82
5.2.7 金粒大小、形状及嵌布粒度	82
5.2.8 伴生矿物	83
5.3 浸出方法及设备	87
5.3.1 槽浸法	87
5.3.2 渗滤氰化堆浸	90
5.3.3 搅拌氰化浸出法	96
5.4 氰化污水处理	99
5.4.1 含氰废水的来源及特点	99
5.4.2 碱氯法处理氰化污水	100
5.4.3 氰化废水的酸化回收	102
6 氰化—锌置换法提金	105
6.1 概述	105
6.2 锌置换提金原理及工艺过程	106
6.2.1 锌置换的原理	106
6.2.2 锌置换过程的影响因素	107
6.2.3 锌置换工艺	109
6.3 氰化矿浆的洗涤	112
6.3.1 洗涤方法	112
6.3.2 洗涤流程	112
6.3.3 洗涤设备	113
6.3.4 洗涤效率	119
7 氰化—炭吸附提金	124
7.1 活性炭吸附原理	124
7.1.1 活性炭性质	124
7.1.2 活性炭从氰化溶液中吸附金的机理	126
7.1.3 活性炭的工艺参数	127
7.2 活性炭吸附提金工艺	128
7.2.1 清液吸附	128
7.2.2 矿浆吸附	130
7.2.3 炭吸附设备	131
7.3 吸附方法及设备	133
7.3.1 炭浆法氰化提金	133
7.3.2 炭浸法氰化提金	140
7.3.3 磁炭法氰化提金	141

7.4 载金炭的解吸及炭的再生	142
7.4.1 载金炭解吸方法	142
7.4.2 影响解吸过程的因素	143
7.4.3 载金炭解吸工艺	144
7.4.4 活性炭再生	145
7.5 金的电解沉积	147
7.5.1 基本原理	147
7.5.2 电解沉积工艺	147
7.5.3 电解工艺的发展	148
8 离子交换树脂法提金	150
8.1 概述	150
8.1.1 离子交换机理	150
8.1.2 对离子交换树脂的要求	151
8.2 离子交换树脂提金过程	151
8.2.1 吸附浸出	151
8.2.2 离子交换树脂再生	152
8.2.3 离子交换树脂提金技术的发展	154
8.3 离子交换树脂提金生产实例	155
9 其他提金方法	157
9.1 硫脲法提金	157
9.1.1 硫脲的性质	157
9.1.2 硫脲溶解金的机理	158
9.1.3 硫脲提金法	158
9.2 液氯法提金	161
9.3 高温氯化挥发法	163
9.4 硫代硫酸盐法	167
9.4.1 硫代硫酸盐法提取金银的基本原理	167
9.4.2 硫代硫酸盐法浸出金银的工艺	169
9.5 其他方法	170
9.5.1 水溶液氯化法	170
9.5.2 丙二腈法	171
9.5.3 多硫化物法	171
9.5.4 含溴溶液浸出法	172
9.5.5 细菌浸出法	174
9.5.6 石硫合剂法	175
9.5.7 海水提金	175

10 难浸矿石的预处理	177
10.1 焙烧法.....	177
10.1.1 焙烧机理.....	177
10.1.2 焙烧工艺.....	179
10.2 加压氧化法.....	180
10.2.1 加压氧化法机理.....	180
10.2.2 影响因素.....	181
10.3 细菌氧化法.....	182
10.3.1 细菌浸出机理.....	182
10.3.2 细菌浸出工艺过程.....	183
10.3.3 细菌浸出的发展.....	185
10.4 硝酸氧化法.....	185
10.4.1 硝酸氧化法的化学过程.....	185
10.4.2 工艺实例.....	186
11 金的冶炼	189
11.1 炼金原料及其预处理.....	189
11.2 火法炼金.....	189
11.3 金的湿法精炼.....	191
11.3.1 硝酸法.....	191
11.3.2 硫酸法.....	191
11.3.3 王水法.....	192
11.4 电解法精炼金.....	193
12 金的化验	195
12.1 样品加工.....	195
12.2 金化验的主要仪器设备.....	196
12.3 金的分析方法.....	197
12.3.1 碘量法.....	197
12.3.2 火试金重量法测定金精矿中的金.....	200
13 金尾矿综合利用	203
13.1 金矿山尾矿堆存与危害.....	203
13.2 黄金矿山尾矿的综合利用途径及要求.....	203
13.2.1 尾矿中伴生元素的回收.....	204
13.2.2 黄金矿山尾矿的直接利用.....	204
13.3 金尾矿的再选.....	206
13.3.1 从金矿尾矿中回收铁.....	206
13.3.2 用炭浆法从金尾矿中回收金银.....	207

13.3.3 从金尾矿中回收硫·····	208
13.3.4 金尾矿堆浸·····	208
13.3.5 国外从尾矿中回收金·····	208
13.4 金尾矿制砖·····	208
13.4.1 陶瓷墙地砖·····	208
13.4.2 饰面砖·····	210
参考文献·····	212

1 绪 论

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、良好的物理力学性能和很强的稳定性，所以其用途十分广泛。长期以来，金主要用作货币和制造首饰及装饰品。20 世纪 60 年代后期，由于镀金技术的飞速发展，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得到广泛应用，已成为发展高新科学技术不可缺少的原材料。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、冶炼方面的研究、开发和利用工作。

为了适应工业生产和科学发展的需要以及增加外汇储备，我国将大力发展黄金生产列为国策。国家不仅对黄金生产管理体制做了调整，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了一批新的金矿，不断扩大老企业的生产规模，积极研究、引进和消化新技术、新设备，使黄金生产工艺流程、机械装备和生产指标提高到了一个新的水平。

1.1 金的性质及用途

金位于化学元素周期表第六周期，第 I 副族，是贵金属之一，与铜、银一起通称铜族元素。金的原子数为 79，原子量为 196.9665 (Au^{197})，原子半径为 0.14nm，熔点为 1064.43℃，沸点为 2808℃，莫氏硬度为 2.5~3，金的同位素已发现 23 个，但自然界只有 Au^{197} 的同位体。

金的电负性、电离势和氧化还原电位均很高，从而决定了金属属于惰性元素，在自然界中主要呈自然元素状态存在。

1.1.1 金的物理性质

金具有面心立方体结晶晶格，晶格常数在 0℃ 时为 $4.07 \times 10^{-10} \text{m}$ ，在 25℃ 时为 $4.07855 \times 10^{-10} \text{m}$ 。20℃ 时相邻原子的最小距离为 $2.884 \times 10^{-10} \text{m}$ ，原子直径为 $2.873 \times 10^{-10} \text{m}$ ，离子半径（6 配位数的）为 $13.7 \times 10^{-10} \text{m}$ （I）和 $0.85 \times 10^{-10} \text{m}$ （III）。

纯金具有瑰丽的金黄色，是唯一的黄色金属元素。其颜色随所含杂质而变，含银和铂会使金的颜色变浅，而含铜量增加颜色变深，金粉碎后成粉末或碾成薄金箔等，颜色可呈青紫色、红色、紫色乃至深褐色到黑色。

在室温下用 X 射线测得金的密度是 19.299g/cm^3 ，计算时采用 19.3g/cm^3 。自然金的密度随其成色及杂质种类之不同而异，通常是 $15.10 \sim 18.30 \text{g/cm}^3$ 。

金的硬度低，在纯金上用指甲可划出痕迹。纯金具有良好的延展性（延展率为 40%~50%）。金的延展性在金属中排在第五位，但在压延下加工性能排在第一位，可将

金碾压成 $1\mu\text{m}$ 的金箔,拉成比头发还细的金丝。不过金中若含有少量铅、铋、镉、铟、碲、砷、锡等杂质时会变脆。如金箔中含铋达 0.05% 时,甚至可用手搓碎。

金的熔点为 1064.43°C ,沸点为 2808°C 。金的挥发性很小,在 $1100\sim 1300^\circ\text{C}$ 之间挥发性微不足道。金的挥发速度与加热时周围的气氛有关,在空气中熔化金时金的挥发损失约为 $0.01\%\sim 0.025\%$ 。

金的电阻率 0°C 时是 $2.06\mu\Omega\cdot\text{cm}$,其导电性能仅次于银和铜而居于第三位。金的导热性能也很高,金的热导率为 $0.317\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

1.1.2 金的化学性质

金的化学性质非常稳定,在自然界仅与碲生成天然化合物——碲化金,在低温或高温时均不被氧直接氧化,而以自然金的形态存在。

常见的金的化合价是一价和三价,其标准电极电位(还原电位)很高,分别为 $\varepsilon_{\text{Au}^+/\text{Au}}^\ominus = 1.73\text{V}$ 和 $\varepsilon_{\text{Au}^{3+}/\text{Au}}^\ominus = 1.498\text{V}$,所以金的化学性质相当稳定。无论是在低温或高温下,都不能被氧直接氧化,也不与氢、氮和碳化合。在一般条件下也不与干卤素起反应。

常温下,金不溶于单独的无机酸(如硝酸、盐酸或硫酸),也不被强碱所侵蚀。但溶于王水(一份硝酸和三份盐酸的混酸)、液氯及碱金属或碱土金属的氰化物溶液中。此外,金还溶于硫酸与硝酸的混合酸、碱金属硫化物、酸性硫脲液、硫代硫酸盐溶液,多硫化铵溶液,碱金属氯化物或溴化物存在下的铬酸、硒酸、碲酸与硫酸的混合物及任何能产生新生氯的混合溶液中。化学家 N. C. 巴格拉季恩于 1843 年证实在有氧或氧化剂的存在下,金溶于氰化物盐类的水溶液。U. H. 普拉克辛和 M. A. 科楚贺娃指出在少量酸和氧化剂存在下,金溶于硫脲溶液中。能使金溶解的溶剂还有氯水、溴水、硫代硫酸盐溶液及铵盐存在下的混酸等。金在这些溶液中往往形成络合物而稳定存在。

金虽然在通常条件下化学性质稳定,但在一定条件下,金可生成许多无机化合物和有机化合物。如金的氧化物 (Au_2O 、 Au_2O_3)、氢氧化物 (AuOH 、 $\text{Au}(\text{OH})_3$)、氯化物 (AuCl 、 AuCl_3)、氯亚金酸 (H_3AuCl_4)、氯金酸 (HAuCl_4)、氟化物 (AuF_3)、溴化物 (AuBr 、 AuBr_3) 及络合溴化物 ($\text{Me}[\text{AuBr}_2]$ 、 $\text{Me}[\text{AuBr}_4]$)、碘化物 (AuI)、氰化物 (AuCN)、硫化物 (Au_2S 、 AuS_2 、 Au_2S_3) 以及碳化物、碲化物、硒化物等。浓氨水与氯化金或氯金酸溶液作用,可制取具有爆炸性的雷金酸。然而,金的化合物和络合物往往是不稳定的。有的加热时易分解,某些化合物在光照下就会分解。这些化合物极易被还原,凡比金更负电性的金属(如镁、铝、锌、铁等)、某些有机酸(如甲酸、草酸、联氨等)以及某些气体(如氢、一氧化碳、二氧化硫)等,都可以作为还原剂使金的化合物还原。

金能与许多金属如银、铜、汞等形成固溶体或互化物合金。合金组成及金属含量的不同会引起合金颜色、硬度、塑性等性质的变化。金与汞可以任何比例形成合金,金汞合金称为金汞齐,金汞齐因含量不同可呈固体或液体状态产出。

1.1.3 金的用途

由于金的化学性质稳定,质量和外形不易发生变化以及良好的机械加工性能和夺目的

颜色光泽等一系列特殊性能,自古以来就是制造装潢品和首饰的理想材料。金又是理想的货币材料,因为金同时具有货币的“价值尺度、流通手段、储藏手段、支付手段和世界货币”这五种职能,所以到目前为止还没有一种商品可以代替它作为“国际货币”。一个国家黄金储备多少,常常是这个国家财力大小的一种标志。

黄金具有熔点高、耐强酸、导电性能好等特点,加之它的合金(如金镍合金、金钴合金、金钼合金、金铂合金等)具有良好的抗弧能力和抗拉抗磨能力,因此,黄金被广泛用于电气-电子工业及宇航工业上。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,如:喷气发动机、火箭、热核反应堆、超音速飞机等的零件。1969年人类首先登上月球的阿波罗11号火箭的通信器材和电子计算机就使用了约1t的贵金属材料。各种镀金部件可在高温条件下或酸性介质中工作,广泛用于制造高速开关的电接触元件、高精度的电阻元件,还可包在绝缘材料如石英、压电石英、玻璃、塑料等表面,用作导电膜或导电层。

金具有很好的延展性,可制成纸的几十分之一厚度的金箔。金箔具有非常特殊的光学性能,对红外线有强烈的反射作用,如0.3mm的金箔膜对红外线的反射率达98.44%。因此,可将黄金加工成不同厚度的金箔,使其具有不同的光泽和反射率,用于军事设施的红外线探测仪和反导弹装置中。贴在玻璃上的薄金箔能有效地反射紫外线和红外线,是特殊的滤光材料。

黄金色彩华丽,永不褪色,日常生活中常用于制造装饰品,其中主要用来制造工艺品,世界各国均有许多名贵的金质的或其合金的工艺装饰品,如我国出土文物中的“金缕玉衣”、现代的项链、耳环、戒指、头饰等。

金在医疗部门及一般工业上也得到普遍的应用。如镶牙,治疗风湿关节炎,皮肤溃疡以及用金的放射性同位素¹⁹⁸进行肝脏病的检查和治疗癌症方面都有所进展。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、刻度温度计及在人造纤维工业中用来制造金铂合金喷丝线头等。

1.2 金的矿床地质

1.2.1 国外金矿床的分类

矿床分类是阐明自然规律的一种方法,反映人类对矿床成因和成矿过程的认识程度。正确的矿床分类对了解成矿作用的实质,掌握矿床形成的规律和特征,促进成矿理论的发展,发现新的矿点,查明矿床的实际工业价值以及对其发展远景做出评价等方面都具有重要的意义。

金矿床的分类至今没有一个统一的标准,不同的学者从不同角度研究有不同的分类方法。如艾孟斯(1937年)以岩浆分异演化、岩浆热液成矿的理论将金矿床分为五类;苏联马加克扬(1974年)根据金矿建造和成矿温度将矿床分为七类;博罗达耶夫斯卡娅(1974年)按成矿深度和成矿作用将金矿床分为内生和外生两大类,其中又将内生矿床分为近地表、中深和深成三个亚类。而巴歇(1982年)的分类是建立在地质构造、围岩性质及矿物组合基础上,偏重于成因,且强调金的长期性特征,将金矿床分为三大类,八种类型和十二亚类。

1.2.2 国内金矿床的分类

1.2.2.1 按成矿作用分类

中国地质学会矿床专业委员会贵金属组拟定的中国金矿床成因分类是以成矿作用为分类的基本原则,按物质来源和成矿作用进行分类为一级分类,按围岩建造矿物组合再进行分类分别为二、三级分类。按这一分类方案将中国金矿床共划分为七大类、十六亚类。其中变质热液金矿床(金的产量第一,储量第二)和混合岩化热液金矿床(我国独特的金矿床类型,金的产量第二,储量第一)是我国目前最重要的金矿床类型,工业意义最大。其次是火山和次火山-热液金矿床。

1.2.2.2 按产出地质特征结合工业利用情况分类

地质部1984年颁布的《岩金矿地质勘探规范》将国内岩金矿床按产出地质特征并结合工业利用情况分为石英脉型金矿床、破碎带蚀变岩型金矿床、细脉浸染型金矿床、石英-方解石脉型金矿床四大类。

A 石英脉型金矿床

石英脉型金矿床为主要的脉金矿床类型,该矿床分布广、数量多,是我国当前黄金生产重要的资源基础。

石英脉型金矿床围岩主要是变质岩,中酸性岩浆岩。石英脉常成群成带分布,脉长由几米至几千米不等,厚度由几厘米至几十米,一般零点几米至几米,沿断裂呈透镜状,脉状断续分布。围岩蚀变因岩性不同而有区别,较常见的有硅化、绿泥石化、黄铁矿化、绢云母化等。脉石矿物除石英外,有少量长石、绿泥石、绢云母、方解石、重晶石等;金属矿物以黄铁矿为主,其次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂、黑钨矿、白钨矿、磁铁矿等。金常与一定期次的硫化物有关,矿床规模由小型至大型均有,往往由几个(或较多)矿床组成矿田而有较大远景,形成重要的金产地。

按石英脉的形态可分为三个亚类:

(1) 石英单脉型金矿床:石英脉以规整的单脉产出,有分枝复合;金矿床常与石英脉吻合,或在脉内的一侧或两侧,也有在脉中间部位的,还有的与脉侧强蚀变岩一起组成矿体,如辽宁的五龙矿床。

(2) 石英复脉型金矿床:由若干不规则的石英脉与蚀变的围岩组成脉带,石英脉分枝复合频繁,金矿体赋存于脉带中,矿体包括石英脉和围岩,形态复杂,如河北省金厂峪金矿床。

(3) 石英网脉型金矿床:由许多石英细脉沿微裂隙充代围岩形成强烈硅化的硅质岩。在硅质岩中常有交代不完全的围岩残块,硅质岩的中部或深部往往过渡为石英单脉。产在硅质岩内的金矿体较贫,如云南省墨江金矿床。

B 破碎带蚀变岩型金矿床

破碎带蚀变岩型金矿床是我国近些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。围岩为中-酸性岩浆岩、变质岩、混合岩,矿体严格受断裂构造控制,既产于较大的断裂带,也见于小的断裂带中。围岩蚀变以硅化为主,以黄铁绢英岩化为特征。矿体主要赋存于黄铁绢英岩中,脉石矿物以石英、绢云母为主,金属矿物以黄铁矿为主,矿石多呈细脉浸染状,金多与硫化物连生。构造发育程度高的,矿床规模大,长几百

米至千余米,厚度几米至几十米,形态较简单,矿床规模多为中型至特大型,如山东省焦家、三山岛等金矿床。

C 细脉浸染型金矿床

细脉浸染型金矿床也称斑岩型或次火山岩型金矿床。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、青磐岩化,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 >1 ,金属矿物以黄铁矿为主,有少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、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,如黑龙江省团结沟金矿床。

D 石英-方解石脉型金矿床

石英-方解石脉型金矿床产于中、新生代火山岩中或在碳酸盐岩层及少量碎屑岩中的矿床。矿脉由石英,方解石组成。与火山岩有关的近地表部位银含量常大大高于金。围岩蚀变有广泛的青磐岩化。近矿有硅化、冰长石化、碳酸盐化,但个别矿床蚀变很弱。脉石矿物为玉髓或低温石英、冰长石、蛋白石、方解石。脉内梳状、晶簇状构造发育、复脉多,有两脉交叉处常形成矿柱。矿化极不均匀,金属矿物组合随成因不同由简单到复杂。矿床规模多为中小型。如吉林省鹁鸽砬子金矿床、广西壮族自治区叫曼金矿床。

随着金矿床地质工作的深入开展,国外较著名的矿床类型如卡林型、霍姆斯塔克型、兰德型金矿床在我国也有一定的突破和进展。如贵州省板其金矿床则属于卡林型金矿。此外一些特殊的金矿床亦有发现,如四川康安县境内偏岩子金矿床则为一种罕见的氟镁石型金矿床。

1.2.2.3 从金提取工艺角度分类

若从金提取工艺角度出发,通常还可根据矿床产出地质特征不同分为岩金矿床、砂金矿床和伴生金矿床。我国砂金矿床分布较广,其中有86%的砂金矿分布在黑龙江、吉林、内蒙古、河北、湖南、陕西、江西、甘肃、青海、新疆、云南、四川、广东等省或自治区内,无论是储量和产量都具有重要位置。伴生金矿床可分为斑岩铜钼矿床、岩浆型铜钼矿床、黄铁矿型铜矿床等。尽管伴生金矿床中含金量一般较低,但因其储量和产量大,因此伴生金的综合回收也是我国目前产金的重要来源之一。

1.2.3 脉金的矿石类型

根据我国的实际情况,结合选矿工艺特性脉金矿石可分为贫硫化物金矿石、多硫化物金矿石、多金属含金矿石、含金氧化矿石、复杂含金矿石五类。

1.2.3.1 贫硫化物金矿石

贫硫化物金矿石中金是唯一的有用组分,硫化物含量少且多为黄铁矿,此外有些情况下,伴生铜、锌、铅、钨、钼等。这种矿石多为石英脉型或热液蚀变型,自然金粒度较大,可用简单的选矿方法获得较高的选别指标。根据矿石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,若金粒较粗可采用重选或混汞法回收,细粒金多采用浮选后精矿氰化流程处理,对于粒度细而且含泥高的矿石采用全泥氰化可能更好。

1.2.3.2 多硫化物金矿石

多硫化物金矿石中硫化物主要是黄铁矿和磁黄铁矿,硫含量高,金与黄铁矿关系密

切，一般用浮选富集硫化物和金。由于自然金粒度较小，且多被黄铁矿所包裹，所以精矿氰化提金较困难，尤其矿石中含少量砷、锑、碳等有害元素时，则应预先处理然后氰化，否则金的回收指标不会太高。

1.2.3.3 多金属含金矿石

多金属含金矿石中金主要是伴生金，矿石中往往含有铜、铜铅、铅锌银、钨锑等两种以上的有用金属矿物。这类矿石的特点是硫化物也有相当的数量（10%~20%），自然金除与黄铁矿关系密切外，还与铜、铅等矿物紧密共生，自然金颗粒相对来说较大，但粒度变化区间大，分布极不均匀，而且随开采深度而变化。一般是用浮选法将金富集在有色金属矿物精矿中，在冶炼过程中综合回收金。

1.2.3.4 含金氧化矿石

含金氧化矿石通常存在于较浅的表层氧化带中，金绝大部分赋存在主要脉石矿物和金属氧化矿物（例如褐铁矿）中。由于金粒表面常被氧化铁薄膜覆盖，而使其可选性较差。可视矿石氧化程度的不同、自然金粒度大小的不同采用“混汞或重选—氰化”、“浮选—氰化”而更多采用“全泥氰化”工艺处理。

1.2.3.5 复杂含金矿石

复杂含金矿石中除含金外，还含有相当数量的锑、砷、碲、泥质和炭质矿物，这些杂质给金的选别造成很大困难，其工艺流程复杂化，均属难选矿石之列。一般是先浮选获得金精矿，然后用不同的方法使精矿有害杂质氧化分解，再用氰化法从焙砂或浸渣中提取金和银。若浮选尾矿不能废弃时，可单独用氰化法回收其中的金银。

1.2.4 金的矿物

目前世界上已发现的金矿物和含金矿物有98种，常见的有47种，而金的工业矿物仅有10多种，其中主要是自然金，常含有银并与银构成固溶体系列，如银金矿、银铜金矿、铜金矿等。金与铂族元素呈类质同象混入，有钯金矿、钼金矿、铂银金矿、钯铜金矿、铑铍金矿等。

金与铋结合的铋金矿，与碲结合的碲金矿、亮碲金矿、白碲金银矿、针碲金银矿、碲铜金矿和叶碲金矿等均有发现。

目前只发现一种金和银的硫化矿物——硫金银矿和一种金和银的硒化物矿物——硒金银矿物，没有发现单一的金和银的硫化矿物和金的硒化物矿物。

1.3 金的工艺矿物学

工艺矿物学是指导和服务于选冶工艺研究的矿物学研究，其任务是为确定选冶方法，预测选冶指标，检查选冶效果，以及配合选冶理论研究提供依据。主要的研究内容可以大致概括为以下几个方面：

- (1) 化学组成和矿物组成。
- (2) 有价值元素和有害元素的赋存形态以及各相态的含量。
- (3) 矿物的晶体化学特性、物理、化学、表面物理的表面化学性质，以及如何利用和改变这些性质为选冶服务。
- (4) 矿物的结构构造，即矿物的形态、粒度、分布、相互关系、嵌布类型等以及它们