

金属矿产利用指南

金永铎 冯安生 编著



科学出版社

www.sciencep.com

金属矿产利用指南

金永铎 冯安生 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍了 25 类金属矿的性质、工业指标、选矿、冶炼及用途,反映了当代我国金属矿产综合加工及利用的技术水平,具有很强的实用价值。

本书可供从事金属矿产研究的科技人员及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿产利用指南/金永铎,冯安生编著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-016597-8

I. 金… II. ①金… ②冯… III. 金属矿-资源利用-中国-指南
IV. TD85-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146081 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 6 月第一次印刷 印张:29

印数:1—2 500 字数:640 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

销售电话 010-62136131 编辑电话 010-62137026(BA08)

前 言

矿产资源开发利用是人类社会发展的前提和动力。从石器时代到近代和现代,人类历史上社会生产力的巨大进步,都伴随着矿产资源利用水平的飞跃。

矿产资源是国民经济发展的重要物质基础。我国 94% 的能源、80% 的工业原料和 70% 的农业生产资料均取自矿产资源。更重要的是,矿产开发对其下游产品有着明显的增值效应,这种增长率,少则几倍,多则百倍。

我国矿产资源丰富且品种齐全。在已探明储量的 150 多种矿产中,有 20 多种矿产储量位居世界前列,其中近 10 种排名世界第一,但矿产储量的人均占有量很低。

矿产资源具有不可再生的特性。我们要贯彻执行“充分合理利用矿产资源”的方针,既要开源,也要节流,尽力实现矿产资源综合利用。

人口、资源、环境是当代社会三大课题,矿产资源的开发、利用与人口、环境有着千丝万缕的联系。开发矿产资源是为了社会的持续发展与进步,而不应该破坏环境和危害人类。

本书是一部涉及贵金属、有色金属、黑色金属、稀有金属矿产开发和利用的工具书。书中重点介绍了 25 类金属矿的性质、工业指标、选矿、冶炼及用途,具有很强的实用价值。相信本书的出版,将会对我国矿产资源的利用起到积极的推动作用。

目 录

前言

第一章 金矿	1
第一节 金的性质和用途	1
第二节 金矿床类型和工业指标	4
第三节 金矿选矿	9
第四节 金的冶炼	25
第二章 银矿	37
第一节 银的性质和用途	37
第二节 银矿床类型和工业指标	39
第三节 银矿选矿	41
第四节 银的冶炼	42
第三章 锂矿	46
第一节 锂的性质和用途	46
第二节 锂矿床类型和工业指标	47
第三节 锂矿选矿	48
第四节 锂的冶炼	52
第四章 铍矿	59
第一节 铍的性质和用途	59
第二节 铍矿床类型和工业指标	60
第三节 铍矿选矿	61
第四节 铍的冶炼	64
第五章 钽铌矿	71
第一节 钽铌的性质和用途	71
第二节 钽铌矿床类型和工业指标	72
第三节 钽铌矿选矿	75
第四节 钽铌冶炼	82
第六章 锆铪矿	95
第一节 锆铪的性质和用途	95
第二节 锆铪矿床类型和工业指标	96
第三节 锆英石选矿	97
第四节 锆铪冶炼	100
第七章 锑矿	103
第一节 锑的性质和用途	103

第二节	铈矿资源和矿床工业指标	103
第三节	天青石选矿	106
第四节	铈及铈化合物的制取	113
第八章	铋矿	117
第一节	铋的性质和用途	117
第二节	铋矿床类型和工业指标	118
第三节	含铋矿石的选矿	119
第四节	铋的冶炼	123
第九章	稀土矿	128
第一节	稀土的性质和用途	128
第二节	稀土矿床类型和工业指标	129
第三节	稀土矿选矿	131
第四节	稀土金属冶炼	138
第十章	铜矿	149
第一节	铜的性质和用途	149
第二节	铜矿床类型和工业指标	150
第三节	铜矿选矿	153
第四节	铜的冶炼	157
第十一章	铅锌矿	165
第一节	铅锌的性质和用途	165
第二节	铅锌矿石类型和矿床工业指标	166
第三节	铅锌矿选矿	170
第四节	铅锌冶炼	173
第十二章	铝矿	190
第一节	铝的性质和用途	190
第二节	铝土矿石类型和矿床工业指标	191
第三节	铝土矿选矿	195
第四节	铝的冶炼	197
第十三章	镁矿	207
第一节	镁的性质和用途	207
第二节	镁矿资源和矿床工业指标	207
第三节	镁矿选矿	211
第四节	镁的冶炼	212
第十四章	镍矿	217
第一节	镍的性质和用途	217
第二节	铜矿资源和矿床工业指标	217
第三节	镍矿选矿	219
第四节	镍的冶炼	226

第十五章 锡矿	237
第一节 锡的性质和用途.....	237
第二节 锡矿床类型和工业指标.....	238
第三节 锡矿选矿.....	240
第四节 锡的冶炼.....	245
第十六章 钴矿	250
第一节 钴的性质和用途.....	250
第二节 钴矿床类型和工业指标.....	251
第三节 钴矿选矿.....	253
第四节 钴的冶炼.....	259
第十七章 钨矿	265
第一节 钨的性质和用途.....	265
第二节 钨矿床的类型和工业指标.....	265
第三节 钨矿选矿.....	267
第四节 钨的冶炼.....	270
第十八章 铋矿	277
第一节 铋的性质和用途.....	277
第二节 铋矿床类型和工业指标.....	277
第三节 铋矿选矿.....	281
第四节 铋的冶炼.....	286
第十九章 汞矿	293
第一节 汞的性质和用途.....	293
第二节 汞矿床类型和工业指标.....	294
第三节 汞矿选矿.....	296
第四节 汞的冶炼.....	300
第二十章 钼矿	306
第一节 钼的性质和用途.....	306
第二节 钼矿床类型和工业指标.....	308
第三节 钼矿选矿.....	310
第四节 钼的冶炼.....	313
第二十一章 铁矿	321
第一节 铁的性质和用途.....	321
第二节 铁矿床类型和工业指标.....	321
第三节 铁矿选矿.....	325
第四节 铁的冶炼.....	334
第二十二章 锰矿	357
第一节 锰的性质和用途.....	357
第二节 锰矿床类型和工业指标.....	357

第三节	锰矿选矿·····	360
第四节	锰的冶炼·····	366
第五节	轻化工用锰的生产·····	371
第二十三章	铬矿 ·····	377
第一节	铬的性质和用途·····	377
第二节	铬铁矿床类型和工业指标·····	378
第三节	铬铁矿选矿·····	379
第四节	铬铁合金冶炼·····	381
第五节	铬盐化工·····	388
第二十四章	钒矿 ·····	391
第一节	钒的性质和用途·····	391
第二节	钒矿床类型和工业指标·····	392
第三节	钒矿选矿·····	395
第四节	钒的冶炼·····	396
第二十五章	钛矿 ·····	402
第一节	钛的性质和用途·····	402
第二节	钛矿床类型和工业指标·····	403
第三节	钛矿选矿·····	404
第四节	钛精矿制富钛料·····	410
第五节	钛制品·····	413
第六节	钛化工产品·····	421
第二十六章	典型矿山选矿工艺介绍 ·····	425
附录 ·····		441
1.	固体矿产资源/储量分类表(GB/T13908—2002)·····	441
2.	矿区矿产资源/储量规模划分标准(国土资源部 2000 年 4 月 24 日颁布实施)·····	442
3.	矿山生产建设规模分类一览表(国土资发[2004]208 号文附件)·····	448
主要参考文献 ·····		451
化学元素周期表		

第一章 金 矿

第一节 金的性质和用途

一、金的性质

(一) 金的物理性质

金(Au)位于元素周期表第6周期IB族,属铜族元素。金的原子序数为79,原子量为196.96655。其原子核由79个质子和118个中子组成,属奇-偶型核类,由此决定了金在自然界中的丰度很低。

金在自然界仅有一个稳定同位素 Au^{197} ,但在人工条件下可以有质量数为183~201的放射性同位素。

金的主要物理性质列入表1.1中。

表 1.1 金的主要物理性质

原子量	196.96655
摩尔质量/体积/ cm^3	10.215
热中子俘获截面/ m^2	9.88×10^{-27}
固体密度(18℃时)/(g/cm^3)	19.31
熔点/℃	1064.43
沸点/℃	2707
比热/[$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]	0.131
热容/[$\text{kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})$]	25.34
熔化热(在熔点时)/(kJ/mol)	13.21
升华热(0K时)/(kJ/mol)	384.71
布氏硬度/(kg/mm^2)	18.5
莫氏硬度	3.7
极限强度/MPa	119.6
弹性系数/MPa	77 420
延伸率/%	40~50
横断面收缩率/%	90~94
线胀系数(0~100℃)	146×10^{-6}
电阻率(0℃)/($\Omega \cdot \text{m}$)	2.06×10^{-8}
电阻温度系数(20~100℃)	0.0035
热导率(0~100℃)/[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	315.5

金在常温下为晶体,等轴晶系,立方面心晶格,天然完全好晶形少见,常见不规则粒状、团块状、片状、网状、树枝状、纤维状和海绵状集合体。

纯金呈黄色,含有杂质时其颜色可相应变化,如含银和铂时颜色变淡;含铜时颜色变深。根据在试金石上划下的条痕色泽,可估计金的成色。纯金条痕为赤黄色;含银 20%~30%时为草黄色;含银量超过 30%时则具有黄中带绿的色调;含银超过 50%,则丧失金所固有的黄色而近于银白色。极细的金粉呈黑色,金的胶状溶液呈红色、蓝色或紫色。

金具有耀眼的光泽,白光下反射率平均为 74%,随着银含量的增加,反射率增高。

金的延展性最好。1g 纯金可拉成 3500m 长、直径为 0.0043mm 的细丝,也可压成面积为 1m^2 的薄片。厚 $0.23 \times 10^{-8}\text{mm}$ 的金箔,在显微镜下观察仍显得很致密。

金的挥发性极低。在 1075°C 、 1125°C 、 1250°C 下,在空气中熔化金 1h,金损失率分别为 0.009%、0.10%和 0.26%。

金易与许多元素形成合金,如铅、汞、锡、锑、铋、铜、银、铂、钯、铑等。

(二) 金的化学性质

金的常见价态为 0、+1、+3。 Au^{2+} 和 Au^{5+} 很不稳定,仅见于某些络合物和富含有机质或氯化物的天然水中。 Au^+ 的化合物易分解而歧化为 Au^{3+} 和 Au 。

金的惰性很强,无论在空气或水中,在低温或高温时都不与氧或硫直接起作用。常温下金与单独的无机酸也不起作用,但王水(硝酸与盐酸 1:3 的混合液)能溶解金。

通常含有氯、溴、碘的溶液对金都有溶解作用。此外,有铵盐存在的混酸,在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、硫代硫酸盐溶液,有盐酸存在的丙酮溶液等,对金都有特殊的溶解作用。上述某些溶剂被用于萃取和提炼矿石中的金。含有 Fe_2O_3 、 MnO_2 等强氧化剂的盐酸也可溶解金。

有氧化剂存在时,金在 HCl 和 CuCl 溶液以及 FeCl_3 溶液中都微溶。

Fe_2O_3 、 Na_2S 、 H_2S 、 SO_2 、木炭、离子交换树脂及许多有机物(如草酸、甲醛、葡萄糖、酒石酸等)都可以还原金的化合物而沉淀金。

金在加热时与卤素(X)元素反应生成 AuX_3 型或 AuX 型化合物(X 为 Cl, Br, I)。 AuCl 、 AuBr 和 AuI 都溶于水,并分解



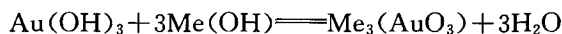
一价卤化金可溶于氢卤酸或碱金属卤化物溶液,形成 $\text{H}[\text{AuX}_2]$ 或 $\text{Me}[\text{AuX}_2]$ 型络合物,然后分解为 $\text{H}[\text{AuX}_4]$ 或 $\text{Me}[\text{AuX}_4]$ 型络合物(Me 为 K、Na 等碱金属)。

三价金的卤化物比一价金稳定,其中 AuCl_3 溶于水, AuBr_3 微溶于水, AuI_3 不溶于水。它们与相应的氢卤酸或碱金属卤化物反应,形成可溶的 $\text{H}[\text{AuX}_4]$ 和 $\text{Me}[\text{AuX}_4]$ 型络合物。

一价金的硫化物 Au_2S 在金的硫化物中最稳定。它不溶于水($K_{sp} < 10^{-3}$),但可形成胶体。它一般不溶于酸,但能溶解于王水之类强氧化剂、碱金属氰化物溶液,并溶解于碱金属聚硫化物溶液,生成 $\text{Me}[\text{AuS}]$ 、 $\text{Me}_3[\text{AuS}_2]$ 等类型的硫金酸盐化合物。 $\text{Me}[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)]$ 型一价金的各种硫代硫酸盐是可以制备的,但不如四重络合物 $\text{Me}_3[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ 稳定。一价金的硫代硫酸盐极易溶于水,形成 $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ 和 $[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ 型络离子。此外,金的硫代亚砷酸盐 $[\text{Au}(\text{AsS}_3)]^{2-}$ 和硫代亚锑酸盐 $[\text{Au}(\text{SbS}_3)]^{2-}$ 络离子,对金在自然界中的迁移也非常重要。

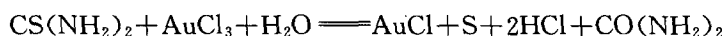
高温下金可与硒、碲化合形成硒化物和碲化物,也可以与锑、铋化合形成锑化物和铋化物。在这些化合物中,Au(Ⅰ)和 Au(Ⅲ)所具有的电子构型分别为 d^{10} 和 d^8 型,这两种氧化态的电位很高,故主要显示共价键。

金(Ⅲ)的氢氧化物具有两性,其酸性比碱性稍强,故称金酸。它溶于碱而形成金酸盐



金与汞易形成汞齐,这是金汞之间的机械混合、浸润和表面反应的结果。金的这一特性主要与金粒表面氧化速度很慢,从而有利于汞向金粒内部扩散有关。混汞法提金即以此为依据。

向 HAuCl_4 溶液中逐渐加入硫脲(NH_2CSNH_2)时,有黄色沉淀出现,加入过量则沉淀溶解,得到的化合物为 $\text{Au}(\text{NH}_2\text{CSNH}_2)\text{Cl}_2$ 。硫脲与金作用先还原三价金为一价金,再与一价金生成络合物



纯金可溶于含氧化剂的酸性硫脲溶液中,金中含银时,其溶解速度更快。硫脲已被广泛应用于金的分离和测定。

二、金的用途

金是一种贵重的金属,主要用于制作装饰品、首饰及镶牙、制笔业。美国 2004 年黄金消费构成为:首饰及装饰品占 92%,电子与电器占 4%,牙科用品占 3%,其他占 1%。在世界上已采矿回收的约 15 万 t 金中,大约 15% 已经遗失或用于不可循环利用的工业用途,约有 32 000t 存在各国银行作为黄金储备,另外约有 9600t 为黄金饰品、硬币。20 世纪 40 年代以来,随着科学技术的发展,黄金已经广泛地渗透到现代科学技术之中,得到了越来越广泛的应用,成为航天、航空、电子、化学等现代工业技术领域的重要材料。在一些工业发达国家,每年工业用金达 130t,约占其黄金总消耗的 10%,其中航空航天和电子工业约占一半。

在航空航天工业中,黄金用于要求焊接强度高,抗氧化性能好的耐热焊料。在波音 747 飞机喷气发动机和航天飞机的火箭发动机上,有 2000 多个不锈钢焊接点使用金镍合金焊料,其中金占 82%,镍占 18%。美国 20 世纪 60 年代发射的阿波罗登月舱的不锈钢盖,也是用金镍合金焊接的。由于金具有延展性、导电性、抗蚀性等优良特性,还可用于飞机的镀金红外装置和热反射器,喷气发动机和火箭发动机的涂金防热罩或热遮护板,飞机、汽车、轮船等涂有薄层金的热挡玻璃等。金还用于宇宙飞船和人造卫星的硅太阳能电池,防止宇宙射线辐射的宇宙服。

在电子工业中,由于金具有优异的稳定性、延展性和韧性,良好的导电、导热性能,可用于高级真空管的涂料,特种用途的电力接头,精密电子仪器中的拉丝导线,电镀金的高频导体,计算机、收音机、电视机、收录机等涂金集成电路等。

在化学工业中,金可作为核化工厂的材料、人造纤维类工厂的钎金喷丝头等。

此外,金还可以作为红外线的反射面,陶瓷和玻璃的着色剂。金的放射性同位素 Au^{198} 在医学上用作示踪原子。日本发现金与锗晶体堆积,可构成超导体薄膜。预计随着科学技术的发展,黄金的应用领域将不断扩大。

第二节 金矿床类型和工业指标

一、金矿床类型

我国金矿床大致可分为如下几类:石英脉型(包括单脉和复脉带)、破碎带蚀变岩型、斑岩型、砂金、铁帽型、砾岩型、微细浸染型等。其地质特征、矿体形态、矿石类型、主要矿石矿物、金含量、伴生组分等详见表 1.2。

二、金的矿物

根据矿物中金的结构状态和含金量,可分为自然金、含金矿物和载金矿物三大类。金矿物中,最重要的是自然金,其次是含金矿物。世界上已发现 98 种金矿物,常见的有 47 种,具有经济价值的金矿物仅十几种。

常见的重要金矿物见表 1.3(表中类别是按晶体化学原则划分)。

自然金纯者少见,常含 Au、Cu、Pb、Fe、Pd、Rh 等的类质同象混合物,所以又称“毛金”,含银较高(Ag15%~50%)的称金银矿,更高者(Ag50%~70%)称银金矿。在低温热液矿床中产出的自然金,一般含银较高;高温热液矿床及次生再沉积的自然金,一般较纯(即含银较低)。金的颜色及条痕均为金黄色,并随含金量而变化:含金高的,颜色及条痕较深(金黄色,纯的约带红色,所以称赤金);若含银多,则颜色及条痕可以大致估计金的纯度。金的密度大(19.3g/cm^3),但随含银量的增加而降低,硬度小(2.5~3.0)。自然界中极少遇到化学纯金。自然金通常与 Ag、Cu 成合金,偶尔与 Bi、Hg 及其他金属成合金。在巴西某些地区,钯也与金呈合金产出。自然金有时含 99.9%Au,但更普通的含 85%~95%Au,其余的为 Ag。

自然金常以不规则的片状、鳞片状、颗粒状、块状等产出,有时也以线状、网状、树枝状及浸染状等出现,偶尔也以等轴晶系的发育完美的晶体出现。

金矿物的颗粒大小极不一致,有些晶粒在显微镜下也难看到,但有的则重达几十千克。

硫化矿床的氧化带发现有自然金新生体,它与褐铁矿、蓝铜矿、铅赭石、铋赭石、锑赭石等共生。包含在金内的银受地面风化作用影响,局部地移出,使金沿着岩石面或裂缝富集。一般从河沙中淘出的金粒,含银比原生矿低。

碲金矿通常与黄铁矿或其他硫化物共生。

含金矿石的主要脉石矿物为石英、碳酸盐、绿泥石、伊利石、石墨及电气石等。

在我国金矿床中,自然金主要以如下几种形式存在:

以自然金或银金矿物充填于其他矿物的裂隙或空隙中。例如,自然金在黄铁矿、白钨矿中呈细脉状充填;自然金或银金矿物在石英中呈隙间充填;自然金在玉髓状石英中呈海绵状充填;自然金充填于胶结压碎的黄铁矿中。此外,其以交替方式或固熔体被其他矿物所包裹,如自然金以固熔体方式被毒砂包裹或呈细粒状被包裹在黄铜矿及方解石中。

呈显微分散球状包裹体,如自然金呈小圆球状及链状显微包裹体散布于辉锑矿中。

呈显微粒状边缘吸附,如在伊利石破碎晶体边缘吸附有微粒状金粒。

表 1.2 金矿床类型及其主要特征

矿床类型	地质特征	矿体形态及规模	矿石类型	主要矿石矿物	金含量/(g/t)	伴生组分	矿床规模	矿床实例
金-铀砾岩型矿床	绿岩带基底的沉积盆地中,砾岩含矿,集中于砾岩下部炭质较多数位,金及硫化物在胶结物中	多层层状,单层厚几厘米到300cm,宽长达十几千米,含金带宽、长可达几十米到几百米	金-铀砾岩矿石	自然金、铂族矿物、沥青铀矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿	2.18~21.40	U、Ag 铂族金属	大型	南非威沃特兰德、卡 尔顿维尔,巴西雅科比 纳,澳大利亚贾鲁卡
石英脉型 金矿床	变质岩、岩浆岩中石英单脉或复脉带的脉体部分及部分围岩含金矿,以分布在绿岩带中为主	脉状,长几米至几十千米,一般厚几十厘米至几百厘米	硫化物矿石	自然金、毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	1.9~2.1	Ag、Cu、 Pb、Zn	小型至大型	河北金厂峪、吉林夹皮 沟,河南银洞坡,辽宁 五龙,山东招远,印度 科拉尔
层状变 质岩型 金矿床	变质硅质岩、电气石石英岩、硅铁中的镁铁碳酸盐层、粉砂岩、炭泥质岩含矿,矿体中常包有石脉、细脉、网脉	层状、似层状,长几十米至2500m,厚1~45m	硫化物矿石	一般是自然金、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂,个别见辉钼矿、辉锑矿	5.6~27.9	Pb、Zn、 Mo、Cu	中型至大型	中国沅陵、四道沟、东 凤山,加拿大赫姆洛, 巴西莫洛韦洛,美国赫 姆斯特克,原苏联穆龙 陶,澳大利亚本迪戈
层状微细 浸染型 金矿床	未变质或浅变质含炭泥砂质碳酸盐岩或砂页岩中,少见于火山岩中。金粒微细,一般硫化物少,矿石难辨识。与汞、锑、砷、钼矿共生	以层状为主,最长可达1000m,最厚可达几十米	浸染型 矿石	自然金、黄铁矿、毒砂、雄黄、雌黄、辉锑矿、辰砂	0.46~9.95	Hg、Ag、 As、Te	小型至大型	中国黔西南地区,美国 卡林

续表

矿床类型	地质特征	矿体形态及规模	矿石类型	主要矿石矿物	金含量/(g/t)	伴生组分	矿床规模	矿床实例
破碎带蚀变岩型金矿床	矿体严格受断裂构造控制,产于中、酸性岩浆岩、混合岩、变质岩中,含矿岩石硅化,黄铁矿英岩化,以分布在绿岩带中为主	脉状,长几百米至千余米,厚几米至几十米,形态较简单	贫硫化物矿石	自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	6~19	Ag	多为中型至大型	山东焦家、三山岛、新城、玲珑,河北峪耳崖,湖南水口山,辽宁华铜,河南灵宝
斑岩型金矿床	矿床产于火山岩发育地区的中酸性侵入岩,次火山岩,角砾岩顶部,边部及围岩中。围岩蚀变发育	饼状、筒状、漏斗状等不规则形态,长几十米至千余米,厚零点几米至几十米	硫化物矿石	自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉银矿、辉铋矿	1.5~15.0	Ag	小型至大型	黑龙江团团圆,吉林刺洞沟,中国台湾金瓜石,美国奥蒂斯,澳大利亚基兹顿,多米尼加旧普韦布洛
火山热液型金矿床	主要产于火山岩或碳酸盐岩及少量碎屑岩中,含银量高,常沿破碎带呈石英、方解石脉或复脉带	多呈脉状、柱状、不规则状单脉长十余米至千余米,厚几厘米至千余厘米	贫硫化物矿石为主	成分复杂,有硫化物、硫酸盐、碲化物、自然元素等,脉石多含玉髓、冰洲石、蛋白石	0.8~80	Ag(含量高)、Cu、Te	小型至大型	中国鸡岭砬子;美国金布格、德勒马、詹姆斯敦,日本大口、串木野,加拿大阿尼柯、伊格尔,原苏联佐德
风化壳型金矿床	产于含金岩石风化壳中,或在含低品位金的硫化物矿化的铁帽中,或在基性超基性岩风化的红土型三水铝土矿石及其下铁质黏土带中	似层状,长可达千余米,厚可达几米至几十米,或可因原生地质体产状不同而呈复杂形成	氧化矿石	金的氯、溴化合物,褐铁矿,或自然金、三水铝石	3.0~14.5	Ag	小型至大型	四川木里耳泽,甘肃白银厂,内蒙古金盆,安徽新桥,澳大利亚帕丁顿
砂金矿床	主要产于河流冲积物或洪积物内,残坡积和湖滨海岸砂矿不重要	近水平层状,规模变化极大	砂矿	自然金及其他一些重砂矿物	0.2~0.5 ¹⁾		小型至大型	黑龙江兴隆沟,内蒙古金盆,湖南洞口、隆回,青海大场,吉林老头沟、哈泥河,美国犹巴,加拿大育空地区,原苏联阿穆尔

表 1.3 常见的重要金矿物

类别	名称	化学式	Au 含量/%	重要组分含量/%	晶系结构	颜色	密度/(g/cm ³)	莫氏硬度	备注
自然元素类	自然金	Au	>80	Ag4~15	等轴	金黄色			最重要
	银金矿	Au, Ag	80~50	Ag20~50	等轴	淡金黄色			重要
	金银矿	Ag, Au	50~20	Ag50~80	等轴		15.6~18.3	2~3.0	重要
	含铂、钯自然金	Au, Pt, Pd	84.60~95.55	Pt0~15, Pd0~12.3	等轴				
	银铜金矿	Au, Cu, Ag	67.7	Ag12.8, Cu9.2	等轴				
金属互化物类	β -汞金矿 四方铜矿	(Au, Ag) ₃ Hg ₂ AuCu	56.91 75.18	Hg39.92, Ag3.17 Cu23.74	六方 四方				
金银碲化物类	碲金矿	AuTe ₂	43.59	Te56.41	单斜	古铜黄色	9.1~9.4	2.5~3.0	重要
	针碲金银矿	AuAgTe ₄	24.19	Ag13.22, Te62.59	单斜	银灰—淡黄	9.09		重要
	碲金银矿	Ag ₃ AuTe ₂	25.42	Ag41.71, Te32.87	等轴				重要
金银硒化物类	硒金银矿	Ag ₃ AuSe ₂	27.2~27.4	Ag47.5~48.6, Se22.8~22.4	等轴				
金银铋化物类	黑铋金矿	Au ₂ Bi	65.36	Bi34.64	等轴				
金银锑化物类	方锑金矿	AuSb	44.74	Sb55.26	四方				
金银硫化物类	硫金银矿	(Ag ₃ Au) ₄ S ₂	44.65	Ag45.02, S9.77	四方		7.95	2.84	

呈环带状,如在石英脉中的自然金与绢云母及褐铁矿呈环带状分布。
呈网格状,如含金硫化物氧化后被褐铁矿所包裹呈网格状分布。

三、金矿床工业指标

由于黄金的特殊价值导致金矿床的工业指标受国际市场黄金价格、外汇汇率的变化、国家的经济政策、开采技术水平、矿床地质条件、矿区地理位置和自然经济状况等因素影响很大。金矿地质勘查规范规定的参考工业指标见表 1.4,可供金矿床地质评价时参考。

表 1.4 金矿床参考工业指标

岩金(岩金矿地质勘查规范 DZ/T0205—2002)

项 目	指 标
边界品位 (质量分数)	$(1\times 10^{-6})\sim(2\times 10^{-6})$,堆浸氧化矿石为 $(0.5\times 10^{-6})\sim(1\times 10^{-6})$
最低工业品位 (质量分数)	$(2.5\times 10^{-6})\sim(4.5\times 10^{-6})$
矿床平均品位 (质量分数)	$(4.5\times 10^{-6})\sim(5.5\times 10^{-6})$
最低可采厚度	0.8~1.5m,陡倾斜者为下限,缓倾斜至水平为上限
夹石剔除厚度	2~4m,地下开采者为下限,露天开采者为上限
无矿段剔除标准	对应工程为 10~15m 不对应工程为 20~30m

砂金矿(砂矿(金属矿产)地质勘查规范 DZ/T0208—2002)

项 目	露天开采						地下开采
	全面开采					分别开采	
	采掘船开采				水枪开采		
	南方		北方(含高寒地区)				
	50~100L	150~300L	50~100L	150~300L			
混合砂边界品位/(g/m ³)	0.05~0.07	0.04~0.06	0.06~0.08	0.05~0.07	0.1	0.3~0.5	
混合砂块段最低工业品位 /(g/m ³)	0.16~0.18	0.14~0.16	0.18~0.20	0.16~0.18	0.3	0.6~1.0	
最小可采厚度/m	30~35	40~60	30~35	40~60	20		
无矿地段(夹石)剔除厚度/m	30~35	40~60	30~35	40~60			
矿体最低可采矿量/×10 ⁴ m ³	150~450	900~2000	100~300	600~1400			
砂矿层边界品位/(g/m ³)						1	
最低工业品位/(g/m ³)						3	
砂矿层采幅高度/m						1.3~1.5	

四、综合评价

金矿床中伴生有用组分多,在岩金矿中常伴生有银、铜、锌、铅、钨、钼、硫、铋、钇等;在砂金矿床中,常伴生金红石、石榴石、钛铁矿、白钨矿、独居石、刚玉等。当金矿床伴生组分达到表 1.5 含量要求时,应注意综合评价和综合利用。

表 1.5 岩金矿床中伴生组分综合评价参考指标

元素或组分	Cu	Pb	Zn	WO ₃	Sb	Mo	S
含量/%	0.1	0.2	0.4	0.05	0.4	0.01	2.0

第三节 金矿选矿

一、重选法选金

重选法是一种古老的选矿方法,并较早地应用于黄金选矿生产中,是一种主要的选金方法,砂金矿基本上都是利用重选法。用重选法从脉金矿中回收金也十分有效。对露天开采的砂金矿而言,还可以用立式离心选矿机选金。

根据重选法所用设备的不同,重选方法很多。常用于选金的重选设备可分为跳汰机、摇床和溜槽三大类。溜槽类包括固定溜槽、圆锥选矿机、螺旋选矿机、螺旋溜槽、淘金盘等。

(一) 跳汰选金

跳汰选金是以跳汰机为选金设备的选金过程。跳汰机是常用重选设备,类型很多,目前我国选金厂多采用典瓦尔型隔膜跳汰机,见图 1.1。

典瓦尔型隔膜跳汰机的工作原理是:当偏心传动机构带动隔膜做往复运动时,跳汰室内的水便透过筛网产生的垂直交变的脉动水流。入选物料给到床层上面,与床层矿石及水组成粒群体系。当水流向上冲击时,粒群呈松散悬浮状态,此时轻重大小不同的矿粒以不同的速度沉降,大密度粗颗粒(床石)沉降于下层。当水流下降时,产生吸入作用,密度大粒度小的矿粒穿过床层间隙进入下层。

(二) 摇床选金

摇床选金是以摇床为主要设备的选金过程。摇床是在水平介质流中进行选矿的设备,由床面和传动机构两个部分组成(见图 1.2),床面由传动机构带动做纵向往复运动。矿石在摇床上的分选是在床面往复运动过程中逐步完成的。促成矿粒运动的因素,除自身重力外,主要是水流和床面差动运动。矿粒在运动中经受垂直于床面的分层作用和平行于床面的分离作用。两项作用的结果是不同矿粒自床面的不同区间排出。摇床根据所选别的矿石粒度的不同,可分为

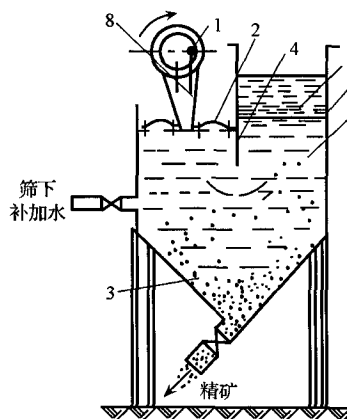


图 1.1 典瓦尔型隔膜跳汰机示意图

1. 偏心传动机构;2. 隔膜;3. 角锥;4. 隔板;
5. 跳汰室;6. 筛板;7. 隔膜室;8. 连杆

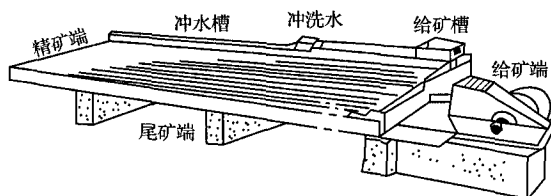


图 1.2 摇床构造形象图