

# 山东金矿工艺 矿物学概论

刘成义 编

冶金工业出版社



# 山东金矿工艺矿物学概论

刘成义 编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

山东金矿工艺矿物学概论/刘成义编.-北京:冶金工业出版社,  
1995.5

ISBN 7-5024-1630-7

I. 山… II. 刘… III. 金矿物-矿物学, 工艺 IV. TD91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 12337 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

北京西城优美印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 5 月第 1 版, 1995 年 5 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 印张: 9.25; 242 千字; 285 页; 1-600 册

定价: 12.00 元

## 编 者 的 话

我国是世界上最早开采黄金的国家之一，目前也是世界主要的产金大国。1984年我国黄金产量已居世界第六位，1979年底我国黄金资源已居世界第四位，占世界金储量的5.68%，仅次于南非、前苏联、美国。

我国黄金产量中，来自岩金的产量约占总产量的69%，产自伴生金的约占21%，来自砂金的占10%。

我国金矿分布广泛，全国各省（区）均有金矿产出，但其分布很不均衡，多集中于东部和北方地区。按金矿类型来看，岩金矿床主要分布在山东、黑龙江、吉林、河南、河北和湖南；砂金矿多分布在黑龙江、四川、陕西、内蒙古、吉林等省和自治区；伴生金矿多分布在江西、甘肃、湖北、安徽和辽宁等省。

山东是我国最大产金省之一，也是岩金的主要产地，居全国第一。其中最重要的是胶东金矿区，金矿床主要分布在招远-掖县地区，其次为牟平-乳山和沂南-沂水地区。

招远-掖县地区主要有著名的石英脉型招远玲珑金矿田和掖县的焦家、新城、三山岛等巨大破碎带蚀变岩型矿床。

牟平县有金牛山金矿，为富含黄铁矿的含金石英脉型。

与开发其他矿床一样，在一个金矿床的开发之前，重

要的是从许多方案中选择最为经济的工艺方案。而这种最佳工艺的选择决定于对矿床中矿石矿物学的研究，特别是把岩石、矿物学与矿石矿物工艺特性相结合的工艺矿物学的研究。

工艺矿物学研究，是指导和服务于选冶工艺的，其任务是为确定选冶方法、预测选冶指标、检查选冶效果，并为最终确定经济合理的选冶工艺流程提供依据。

工艺矿物学主要研究内容大致可概括为五个方面：

(1) 矿石的化学组成和矿物组成及其相互关系。  
(2) 矿石中有价和有害元素的赋存状态，以及各相态的含量。

(3) 矿物的晶体化学特性，物理和表面化学特性，表面物理和化学特性，以及如何利用和改变这些特性为选冶工艺服务。

(4) 矿物的形态、粒度、分布、共生组合和嵌布特性，以及它们与碎矿、磨矿、分选和冶金的关系。

(5) 矿物在选冶工艺过程中的性状及变化情况。

对于金矿石来说，自然界金大部分呈自然金和银金矿产出。但是，金的赋存状态和分布却很复杂。尤其在脉金矿石中，金常与各种硫化物、砷化物和碲化物等共生，或者被多种硫化矿物和脉石矿物（如石英）包裹，或者在矿石中同时存在着对选冶有害的组分（如炭质物、有机物、粘土以及铜、砷、碲等组分）。金的颗粒一般细小分散，可呈裂隙金、晶隙金、包体金以及显微或次显微金等形式。

因此，研究金的赋存状态、粒度大小；研究金的载体

矿物、金矿物的包裹体和连生体；研究金颗粒的延展性、表面覆盖膜等物理和化学特性；研究伴生的表面活性物质、有害组分；研究金矿石中可综合回收的有价值组分等等，必将对选冶工艺起到重要的指导作用。

如粗粒的单体金，一般可用重选和混汞法回收；细粒、微粒金可用浮选和氰化法回收，尤其是裸露连生的金或矿石严重泥化的细粒金或微细分散金，氰化法更为有利。

但是，对于用一般氰化法难于回收的金，如与砷、硫等共生的金矿石、含炭的金矿石，以及被硫化物、石英等完全包裹的细粒金等，则需要考虑细磨、选冶前预处理（如焙烧、微生物氧化等），以及选择强化的选冶工艺（如物理和化学的联合选矿、化学选矿、加压氧化）等，才可能取得较好的回收效果。

本文从山东金矿床的类型、成因、矿石工艺类型划分出发，对山东金矿石工艺矿物学进行了研究，评述了提高金回收率的途径，并针对选冶现状、存在问题，提出了相应的对策。

在本书编写过程中，得到了全省各金矿有关单位及有关人员的大力支持，乔繁盛高工（教授级）对第一、二章作了全面修改，定稿过程中赵涌泉高工（教授级）对此书作了审定，在此一并表示衷心感谢！

编 者

# 目 录

|   |       |
|---|-------|
| <b>第一章 概论</b> .....                     | (1)   |
| 第一节 金的发展简况.....                         | (1)   |
| 第二节 世界金的生产.....                         | (3)   |
| 第三节 我国的黄金资源.....                        | (6)   |
| 第四节 金的性质及用途.....                        | (8)   |
| <b>第二章 金矿床和金矿物</b> .....                | (15)  |
| 第一节 金矿床的成因 .....                        | (15)  |
| 第二节 中国内生金矿床成因类型, 矿石、<br>矿物和金的赋存状态 ..... | (24)  |
| <b>第三章 金矿石工艺类型划分</b> .....              | (43)  |
| 第一节 矿石工艺类型划分原则 .....                    | (43)  |
| 第二节 金矿石工艺类型的划分 .....                    | (44)  |
| <b>第四章 金矿石工艺矿物学研究</b> .....             | (49)  |
| 第一节 矿床地质特征和类型 .....                     | (49)  |
| 第二节 金在胶东主要岩石中的分布特征 .....                | (63)  |
| 第三节 金矿石物质组成 .....                       | (65)  |
| 第四节 金矿物.....                            | (130) |
| 第五节 工艺产品的考查.....                        | (163) |
| <b>第五章 有关选矿工艺问题</b> .....               | (221) |
| 第一节 含金矿石性质与金的富集.....                    | (221) |

|            |                               |              |
|------------|-------------------------------|--------------|
| 第二节        | 从工艺矿物学的角度评述提高<br>金回收率的途径····· | (225)        |
| 第三节        | 黄金选矿现状、存在问题与对策·····           | (229)        |
| <b>第六章</b> | <b>金工艺矿物学研究实例·····</b>        | <b>(244)</b> |
| 第一节        | 乳山金矿的金工艺矿物学研究·····            | (244)        |
| 第二节        | 仓上金矿的金工艺矿物学研究·····            | (262)        |
| 主要参考文献     | ·····                         | (285)        |



# 第一章 概 论

## 第一节 金的发展简况

据现有资料记载，金是南美洲、墨西哥、伊朗、美索不达米亚和中国人认识的第一种金属。人们最早用金和铜一起制作日常用具和武器。

非洲开始采金的时间最早，公元前 5000 年就从努比亚开采黄金并输往埃及。由于西非塞内加尔地区丰富的金资源及金的开采，促进了它同其他非洲国家以及欧洲国家贸易的繁荣。

公元前 2500~358 年，古罗马帝国采金规模很大，如在古希腊的卡斯新德尔大规模开采过金银矿。

公元前 11~5 世纪，西班牙南部已大量开采砂金。在特兰西瓦尼亚和西喀尔巴阡山脉已开始开采脉金。

中国也是最早开采黄金的国家之一，采金历史可追溯到 2000 多年前。而我国早在 3500 年前就已使用了黄金，金银制品为我国古代文化艺术写下了灿烂的篇章。

在古代，由于生产工具落后，人们开始对主要是用简易的溜槽或者兽皮通过洗选从砂金矿中得到金，当时人们还不知道提纯金的方法，生产出来的金多为含金、银及其他组分的成色不一的合金。

后来，古埃及开始采用灰吹法进行黄金的精炼，大约在 2000 多年前实现了用汞回收金（混汞法），并能制造出 0.01mm，甚至 1 $\mu$ m 厚的金箔。

随着商品经济的发展，金和部分银承担了货币的职能。但在中世纪经济中，大多数情况下是实物交换性质的，商品交换的作用小，因此在这数百年间，开采金和银的技术一直处于落后的水平。

从16世纪美洲被发现之后，采金工业开始发展起来。1681~1760年巴西作为当时世界主要产金国，金产量显著增长。欧洲金储备由550t增至1192t。此后，墨西哥、玻利维亚、秘鲁、俄国等金、银的生产均有大幅度增长。特别是19世纪20年代到50年代俄国发现和加强开采许多砂金矿，大大提高了金的产量。1948年美国加利福尼亚也发现了非常富的砂金矿。

经过几十年，由于富砂金矿枯竭，采金工业出现了低潮。在此期间，砂矿开采技术和洗选的机械化促进了贫砂矿的开采，并建造了机械化处理脉金矿的碎矿、混汞工厂。不能进行混汞处理的硫化物矿和精矿进行氧化焙烧，并用氯化法回收金。

19世纪90年代，南非发现并投产了世界上最大的含金脉矿山——威特沃特斯兰德。此后俄国在乌拉尔、阿尔泰和外贝加尔也发现了数十处脉金矿床。世界采金业又开始急剧发展和持续上升。

砂金矿的枯竭及脉金矿雄厚的储量，要求研制更加完善的回收脉金的方法与设备。1887年发现氰化溶液溶解金，1888~1889年英国人马克·阿普泰尔(Mak Aптып)和福雷斯特(Фopeст)兄弟发明了氰化法，1890年首先在南非建立了氰化提金的工业规模工厂。

20世纪世界黄金开采的发展极不平衡。第一次世界大战导致了采金工业的急剧下降，一直到1934年，世界金产量才恢复到1914年的水平。1940年资本主义国家每年产金量约1140t。第二次世界大战再次引起金产量的急剧下降，许多金矿关闭。战后的通货膨胀、物价和工资上涨，资本主义国家采金工业受到更大影响。

1966~1970年，资本主义国家黄金开采达到最高水平，当时每年开采量约为1300t黄金。

目前资本主义国家和发展中国家每年开采量大约为1200t黄金，大约10000t银。

## 第二节 世界金的生产

据统计，在发现美洲之前的中世纪，世界金产量为2312t，其中欧洲占571t，亚洲903t，非洲838t。到发现美洲时为止，世界金总开采量已达12500t以上。

从1943年到现在，世界金的总开采量已超过8万吨。

资本主义世界金产量的75%左右来自南非，而占第二位的是加拿大。美国是资本主义世界中第三个产金国。澳大利亚从前相当大的采金业已日渐衰落。

中美洲、墨西哥和尼加拉瓜的采金量不大，而南美洲的哥伦比亚、巴西和秘鲁开采量都较大。

亚洲主要产金国是中国、印度、日本和菲律宾。非洲的加纳和刚果也有一定产量。

1990年世界黄金生产持续上升。1988~1990年世界一些国家和地区黄金产量列于表1-1。

表 1-1 一些国家和地区的金产量（千盎司）

| 国家或地区 | 1988年 | 1989年 | 1990年 |
|-------|-------|-------|-------|
| 南非    | 19865 | 20225 | 20680 |
| 美国    | 6601  | 8594  | 9427  |
| 澳大利亚  | 5046  | 6494  | 7073  |
| 加拿大   | 4110  | 5143  | 5614  |

续表 1-1

| 国家或地区   | 1988 年 | 1989 年 | 1990 年 |
|---------|--------|--------|--------|
| 巴 西     | 3489   | 3489   | 4165   |
| 巴布亚新几内亚 | 1054   | 1250   | 1447   |
| 菲律宾     | 979    | 1056   | 1125   |
| 哥伦比亚    | 973    | 871    | 956    |
| 智 利     | 793    | 793    | 793    |
| 津巴布韦    | 476    | 476    | 476    |
| 扎伊尔     | 402    | 402    | 402    |
| 加 纳     | 389    | 429    | 506    |
| 厄瓜多尔    | 328    | 395    | 478    |
| 墨西哥     | 293    | 277    | 274    |
| 韩 国     | 250    | 250    | 250    |
| 日 本     | 235    | 226    | 224    |
| 多米尼加    | 206    | 173    | 257    |
| 西班牙     | 182    | 190    | 172    |
| 秘 鲁     | 146    | 146    | 164    |
| 玻利维亚    | 157    | 157    | 157    |
| 印度尼西亚   | 146    | 146    | 146    |
| 斐 济     | 137    | 142    | 147    |
| 委内瑞拉    | 124    | 124    | 124    |
| 瑞 典     | 107    | 117    | 120    |
| 利比里亚    | 22     | 22     | 22     |
| 埃塞俄比亚   | 20     | 20     | 20     |

续表 1-1

| 国家或地区        | 1988年 | 1989年 | 1990年     |
|--------------|-------|-------|-----------|
| 塞拉利昂         | 13    | 13    | 13        |
| 中非           | 11    | 11    | 11        |
| 法属圭亚那        | 11    | 11    | 11        |
| 哥斯达黎加        | 10    | 10    | 10        |
| 赞比亚          | 10    | 10    | 10        |
| 圭亚那          | 10    | 10    | 10        |
| 葡萄牙          | 9     | 9     | 9         |
| 博茨瓦纳         | 8     | 20    | 24        |
| 台湾           | 8     | 8     | 8         |
| 肯尼亚          | 5     | 5     | 5         |
| 洪都拉斯         | 4     | 4     | 4         |
| 坦桑尼亚         | 3     | 3     | 3         |
| 马达加斯加        | 3     | 3     | 3         |
| 苏丹           | 3     | 3     | 3         |
| 加蓬           | 3     | 3     | 3         |
| 索罗门群岛        | 2     | 2     | 2         |
| 布隆迪          | 1     | 1     | 1         |
| 德意志联邦共和国     | 1     | 1     | 1         |
| 苏里南          | 1     | 1     | 1         |
|              | 1988年 | 1989年 | 1990年(预计) |
| 上述国家或地区黄金总产量 | 47218 | 57764 | 65945     |
| 比前一年的增长率     |       | 12%   | 6%        |

续表 1-1

| 国家或地区      | 1988 年 | 1989 年 | 1990 年 |
|------------|--------|--------|--------|
| 苏联         | 9500   | 9600   | 9900   |
| 中 国        | 2809   | 3005   | 3162   |
| 朝 鲜        | 160    | 160    | 160    |
| 南斯拉夫       | 120    | 120    | 120    |
| 匈牙利        | 20     | 20     | 20     |
| 罗马尼亚       | 65     | 65     | 65     |
| 以上国家的黄金总产量 | 12674  | 12970  | 13481  |
| 比前一年的增长率   |        | 2%     | 4%     |
| 世界总产量      | 5892   | 65734  | 69426  |
| 比前一年的增长率   |        | 10%    | 6%     |

由于各国资源特点不同,黄金生产有的来自砂金,有的来自脉金。脉金矿床金品位一般在 $5\sim 12\text{g/t}$ ,最低在 $3\text{g/t}$ 左右。近年来由于堆浸技术的发展, $0.5\sim 2.0\text{g/t}$ 的脉金矿也被利用。砂金矿品位一般在 $0.2\sim 0.5\text{g/m}^3$ 。

70年代以来,世界金产量的 $75\sim 85\%$ 来自脉金,砂金只占 $15\sim 25\%$ 。

### 第三节 我国的黄金资源

我国黄金资源十分丰富,三十个省、市、自治区都有黄金矿藏,已发现黄金矿点的县达830多个,占全国2130个县的 $40\%$ ,黄金矿点达3000多处。从长白山到阿尔泰山、大雪山(又名金山)的许多大小山脉都有脉金分布。就矿床类型来说,世界上7种有远景的金矿床,我国已经发现了5种。我国砂金资源分布广泛,黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、青海、西藏、四川、云南、贵州、广

西、广东、湖南、江西等省、自治区砂金分布都很广，仅黑龙江一省含金河流总长就达 29000km。湖南湘、资、沅、澧四大水系拥有众多的支流，流域面积超过 50km<sup>2</sup> 的支流就有 800 多条，其中含金河流约占 1/10。在四川省内的长江、金沙江、大渡河、岷江、嘉陵江、涪江等流域，有 115 个县有不同程度的砂金分布。

中国西北部的秦岭-祁连山区是一个砂金矿区。陕西省南部秦岭南坡的汉水流域，包括河南省西部和湖北省北部，自上而下砂金产地很多，特别是支流流入汉水的会合处，砂金尤其丰富。

祁连山区域内黄金分布很广，祁连山以南经过柴达木盆地到金沙江的上游（玉树）都有砂金的分布。

云南省在历史上也是著名的产金区域。

我国的脉金资源也十分丰富。辽宁省和吉林省的东部，河北省的东北部（燕山地区）是我国著名的金矿产区，石英脉金矿产地有 500 多处以上，含金品位在 6~60g/t，其中最著名的有吉林夹皮沟金矿、二道甸子金矿、河北的金厂峪金矿和辽宁的五龙金矿等。

在山东半岛之东北部有着名的招远金矿、金牛山金矿、焦家金矿、新城金矿。各矿石的含金品位一般在 5g/t 以上，最高地段可达 300g/t 以上。

我国的宝岛台湾省是世界著名的产金地区之一，台湾省的北部有着名的金瓜山金矿，它是在 1891 年被发现的。

我国东南各省也有较大的石英脉金矿床，广西有着名的大明山金矿、田阳金矿、苍梧-藤县金矿。广东近年还发现了远景甚大的连山金矿、粤西的封开金矿。

湖南省有着名的黄金洞金矿、漠滨金矿；沅陵的冷家溪黄金矿、柳林叉金矿、湘西金矿；近年来又发现了规模较大的新邵龙山金矿以及常宁水口山的龙王山金矿。

近几年来已开发的河南秦岭金矿是我国几大金矿之一。

四川的康定、冕宁等地都盛产黄金。

云南省的脉金主要分布在南部，尤以墨江的金矿著称。

新疆的金矿在北部以脉金为主，南疆昆仑山以北，塔里木盆地的南缘地带也有不少金矿产地。

西藏金矿资源的开发仍属初期阶段，但经过地质调查，在西藏西北部的罗多克一带以及阿拉太、托克扎龙等处均证实有丰富的金矿资源。

此外，我国江西、安徽、湖北、甘肃、青海以及东北各省一些斑岩铜矿、矽卡岩铜矿、黄铁矿型铜矿都伴生有大量的金，有的竟构成金储量几十吨，甚至上百吨的大型矿床。

近年来我国地质工作者发现了从青海省玉树至云南省河口的规模巨大的矿带中也有着极其丰富的黄金资源。

#### 第四节 金的性质及用途

##### 一、金的物理化学性质

金为化学元素周期表中的第一族元素，原子序数为79，原子量为197.2，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。

**金的延展性极好** 1g纯金可以拉成长达3420m以上的细丝，可压成厚度为 $0.23 \times 10^{-8}$ mm的金箔。这种金箔在显微镜下观察仍是非常致密的。金中若含极少量杂质（如铅、铋等），其机械性能会明显降低，如含0.01%的铅时就变脆。

**金的挥发性很小** 在1000~1300℃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。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，在炭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℃下，于氢气条件下熔化时，



经 25min 后, 其损失量相应为 0.055、0.09、0.105 和 0.25%；而在 1075、1125 和 1250℃ 下, 于空气中熔化金时, 经 1h, 其损失量相应为 0.009、0.10 和 0.26%。此外, 金的挥发速度与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能被氧直接氧化。常温下, 金与单独的无机酸(如盐酸、硝酸、硫酸)均不起作用, 但混合酸(如王水)则能很好地溶解金。能使金溶解的溶剂还有: 铵盐存在下的混合酸、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、碲酸和硫酸的混合酸对金也有特殊的溶解作用。

在金的化合物中, 金离子通常为一价和三价。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、氰化钾、氯化钠和硝酸钠都可与金生成化合物。虽然在通常条件下金的化学性质稳定, 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。如: 金的硫化物、氧化物、氰化物、卤化物、硫氰化物、硫酸盐、硝酸盐、氯化物、烷基金和芳基金等化合物。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  $2.4\mu\Omega/\text{cm}^3$ 。金的导热率为银的 74%。金不仅能与其他贵金属组成合金, 而且还能与许多其他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,  $\times 10^{-6}$ ;

初始电离电位, 9.22V

热离子功函数, 4.25eV

热中子俘获截面, 98.8 靶