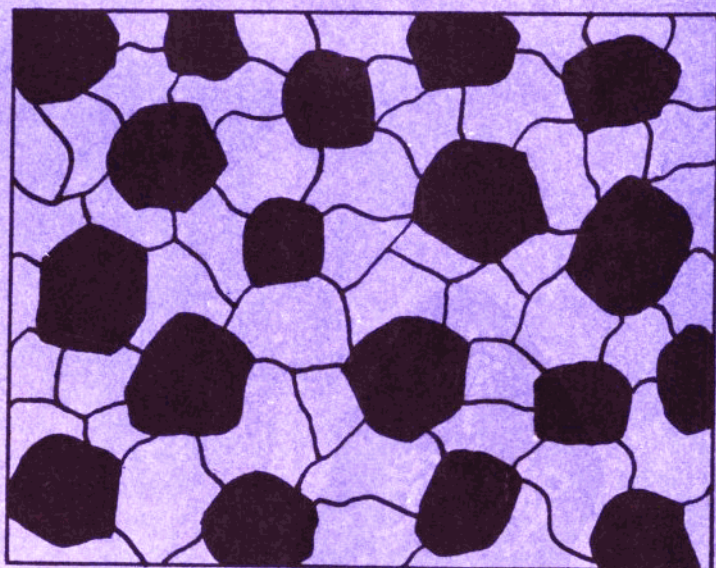


张振儒 等 编 著
中南工业大学出版社

金 矿 研 究



金 矿 研 究

张振儒 等编著

中南工业大学出版社

内 容 简 介

本书共分18章,详细介绍了金的用途、储量、产量、销售情况及国内外的研究动向和水平,金的结晶化学、地球化学性质,赋存状态和金矿物学的研究以及金矿床的成因、分类、成矿模式和找矿方法的研究等。

该书全面系统地总结了国内外金矿地质研究的最新成果,可供金矿地质人员、矿山生产人员、选冶及地质科研人员和高等地质院校师生参考或作教材。

金 矿 研 究

张振儒等 编著

责任编辑:梅敦诗

插图责任编辑:刘楷英

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本: 787×1092/16 印张: 15.625 字数: 400千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 0001—1000

*

ISBN 7-81020-248-0/TD·017

定价: 5.00元

编 者 的 话

黄金不仅是现代国防工业和珠宝首饰、工艺制品、货币等的珍贵原料，而且是国际贸易结算手段的基础，称硬通货。一个国家的货币信誉与这个国家的黄金储备密切相关；所以说，加速金矿的地质普查找矿工作，突破新的类型，找到更大更富的金矿床是当务之急，编写本专著的目的，亦在于此。希望本书能起到“抛砖引玉”的作用，为我国黄金地质的科研及找矿工作起到积极作用和良好的找矿效果。

本专著由张振儒教授及廖凤先高级实验师编写第一～九章及第十五～十八章。湖南省黄金公司高级工程师李健炎，湘西金矿高级工程师林庆熙，工程师陈玉洪及张振儒编写第十～十三章。王大伟教授编写第十四章。全书由张振儒教授定稿。

本专著的出版工作得到了中南工业大学校、系各级领导、教务处、出版社及湖南省黄金公司、湘西金矿、湖南省地质测绘印刷厂等单位在经济上的大力支持、关怀和帮助；全国广大金矿地质工作者及各高等院校为本书编写提供了大量地质资料，对此表示衷心的感谢，由于笔者水平所限，书中错漏之处难免，敬请广大读者批评、指正。

编 者

1989年6月

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、金的发展简史	(1)
二、金的用途	(1)
三、世界金的储量、产量、销售情况简述	(2)
四、黄金的价格、开采品位及成本	(4)
五、世界及我国金矿床规模划分	(6)
六、世界及我国黄金工业的现状与水平	(7)
七、我国黄金工业与世界水平的差距及问题	(11)
第二章 金的结晶化学及地球化学性质	(13)
一、金的结晶化学性质	(13)
二、金的地球化学性质	(13)
第三章 金矿物的命名、分类及其研究方法	(28)
一、概 述	(28)
二、金矿物各论	(28)
三、金矿物的研究方法	(40)
第四章 金的成色研究	(42)
一、金的成色概念	(42)
二、影响金成色的因素	(42)
三、研究金矿物成色的意义	(46)
四、金成色的研究方法	(47)
第五章 金矿物的标型特征研究	(49)
一、矿物的标型特征概念	(49)
二、自然金矿物的形态标型特征	(49)
三、金的成色标型	(51)
四、金的物理性质标型	(53)
五、金矿物的结晶构造标型	(53)
第六章 金的赋存状态研究	(54)
一、研究金的赋存状态的目的意义	(54)
二、金的赋存状态分类	(54)
三、金的赋存状态及其研究方法	(56)
第七章 金矿床中包裹体的研究	(70)
一、概 述	(70)
二、包裹体研究在金矿床中的应用	(71)
第八章 金矿床中同位素的研究	(79)
一、概 述	(79)

二、硫同位素研究.....	(81)
三、铅同位素研究.....	(85)
四、氢、氧同位素研究.....	(91)
五、碳同位素研究.....	(94)
六、铷、锶同位素研究.....	(96)
第九章 金矿床的成因及分类	(99)
一、金矿床的成因.....	(99)
二、金矿床的分类.....	(104)
第十章 典型金矿床类型及实例	(113)
一、岩浆型金矿床的成矿特征及实例.....	(113)
二、砂卡岩型金矿床特征及实例.....	(114)
三、岩浆热液金矿床特征及实例.....	(117)
四、火山及次火山热液金矿床特征及其实例.....	(124)
五、地下热卤水渗滤金矿床特征及实例.....	(127)
六、变质热液金矿床特征及实例.....	(132)
七、沉积—变质金矿床的特征及实例.....	(137)
八、其它变质岩层中的变质热液金矿床.....	(138)
九、古老变质麻岩型金矿床.....	(138)
第十一章 砂金矿床的分类特征及实例	(140)
一、概 述.....	(140)
二、砂金矿床的类型及其特征.....	(141)
三、砂金矿的成矿建造及其特点.....	(145)
四、块金(狗头金)的形成机理.....	(146)
第十二章 铁帽型金矿床的研究	(148)
一、概 述.....	(148)
二、铁帽型金矿床的类型.....	(148)
三、影响铁帽型金矿床形成的因素.....	(150)
四、金在氧化带的迁移方式.....	(150)
五、金在氧化带表生溶液中的沉淀机制.....	(151)
六、铁帽型金矿床的成矿机理.....	(153)
七、铁帽型金矿床实例.....	(155)
八、铁帽型金矿床的评价.....	(156)
九、铁帽型金矿床在我国的找矿远景及分布.....	(157)
第十三章 伴生金的研究	(158)
一、概 述.....	(158)
二、我国伴生金矿床的类型.....	(159)
三、伴生金矿床的特征及赋存规律.....	(160)
四、伴生金矿床的研究内容及方法.....	(162)
第十四章 金矿成矿模式的研究	(164)
一、金矿成矿模式概念及基本要素.....	(164)

二、国内外几种主要金矿类型的成矿模式.....	(167)
第十五章 金的成矿时代和成矿区.....	(185)
一、概 述.....	(185)
二、金的成矿期.....	(185)
三、金在各个地质时期的演化规律.....	(188)
四、金的成矿区.....	(189)
第十六章 金的找矿标志及找矿方法.....	(191)
一、概 述.....	(191)
二、找金矿床的地质标志.....	(192)
三、找金矿的方法.....	(199)
四、关于我国今后黄金找矿工作的几点意见.....	(212)
第十七章 遥感地质研究在金矿找矿及勘探上的应用.....	(217)
一、概 论.....	(217)
二、反射光谱测量方面的新应用.....	(217)
三、航空传感器与航天传感器在寻找金矿床上的应用.....	(219)
第十八章 金的采样、加工及分析方法.....	(221)
一、概 述.....	(221)
二、金的分析方法.....	(221)
三、金矿样品的采样及加工.....	(237)
参考文献.....	(240)

第一章 绪 论

一、金的发展简史

黄金是最早开采和使用的一种贵金属，人类开采和利用这种宝贵金属，已有五千年历史了。黄金一直保持着昂贵的价格，在国际贸易中长期以来作为国际通用货币的支付手段和储备，故称为硬通货，衡量一个国家经济实力的大小，往往以黄金储备的多少来衡量，由此可知，黄金资源的开发利用具有重大的政治和经济意义。

在我国新石器时代（约4000年前）人类已认识了黄金（中国大百科全书，1982年）。但是，我国至今发掘出的考古文物中，最早为商代早期（距今3000—3500年），在河北省崇城县台西村商代宫殿遗址14号墓中，就有“金块”、“金片”；在河南省郑州发掘的商代早期墓葬中出土的有珥形金饰；在河南安阳小屯的殷墟中出土的有“金块”、金箔、金叶等金器，其中金箔厚度仅 0.010 ± 0.001 毫米，由此可认为，我国劳动人民早在3000—3500年前，就掌握了加工制作金箔的锤炼与退火处理技术，故我国古代人类认识黄金的时代就应更早了。

在战国时代，发现纯度高达990以上的金饼及金币，在山东曲阜发掘的春秋大墓中，有鎏金长臂猿。在西汉墓葬中，发现有“金缕玉衣”。在魏晋时，山西大同北魏平城遗址，发掘有鎏金高足银杯四件。隋朝，河北定县塔基中发现鎏金方形铜凿。唐代，陕西卧县柳林背阴村出土有鎏金刻花银盘、银碟、银碗、三足罐等。宋代，在宁夏六盘山区，出土有鎏金人物楼阁镜。元代，江苏镇江金坛出土有鎏金莲花和梅花银盏。明代，山东邹县朱檀墓出土有鎏金刻花银柄毛刷，湖北圻春县圻州镇出土有鎏金玉胜钱。1673年宋应星著“天工开物”一书中，对我国金、银产地，开采，冶炼及精炼的方法都作了详细描述；到清光绪年间（1888年），我国产金13.5吨，占世界总产量的7%左右，居世界第五位。因此，我国劳动人民在找金、采金、冶炼及应用黄金等方面，都有悠久的历史，并积累了丰富的经验。

解放后，黄金的地质普查找矿工作及开采和生产都得到了相应的发展，投入黄金勘探的地质队伍有5800多人。另外，为了加强黄金生产，成立了黄金指挥部，开动了84台钻机，其中砂钻25台，专门从事黄金的普查找矿及勘探工作，探明了较多的黄金储量；但尚未突破世界上工业价值最大的兰德型金矿、卡林型金矿。我国1978年据国外估计生产黄金17吨左右，居世界产量的第九位，1987年估计生产黄金65.2吨，居世界第六位，因此，相比之下，步子还迈得不大。为了满足四个现代化建设的需要，我国黄金资源的开发利用亟待解决。

二、金的用途

金是人类最早利用的一种贵金属，按其历史发展过程，其用途大致可分为三个阶段。公元前1000年，金主要用作制装饰品，如金盏、金杯、金带钩、金花瓶、金戒子、金项链、金手镯、金耳环等等，以显示皇宫贵族的权势，历史上称为装饰时期。公元1000年后至1916年，由于知其化学性稳定强，诱人的天然颜色（金黄色），美丽的光泽等，一直起着货币金属的作用，国际贸易中，亦作为重要的支付手段，称为“硬通货”，故历史上称这段时期为“货币”时期。1916年至今，由于镀金及合金技术的飞速发展，金在电子工业上用途愈来愈广，金镀在电子管、晶体管、及检波器的表面和包在绝缘体上（如压电石英、玻璃、塑料等）用作导电膜或导电层；用于高温焊接用的金合金及在计算机、收音机、电视机收录机等方面用涂金集成电路等；在航天工业中，金用

于喷气发动机和火箭发动机的镀金防热罩和热遮护板，飞机、汽车、轮船上用的镀有薄层金的热挡风玻璃，现代高速飞机中可用金铂合金制成发动机的火花电极塞，贴在玻璃上薄金箔，能有效地反射紫外线和红外线，起着滤光器的作用。由于金对黄色吸光性好及其反射率高（94.4%）的特性，在军事上可用来防御导弹以及防御来自普通热源的辐射。金在医疗部门亦得到广泛的应用，利用金的极好化学稳定性、抗蚀性（与 HNO_3 、 H_2SO_4 、 HCl 都不起作用）、易加工铸造等特性，在口腔医疗方面用作镶牙，用金箔处理神经受损的烧伤，治疗皮肤溃疡， $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 用于治疗风湿性关节炎；用金的放射性同位素“ ^{198}Au ”治疗癌症。在化学工业中，金也有独特的用途，如核化工厂用的衬料，人造纤维工业中用 Au-Pt 合金的喷丝头；金的盐类（氯化物），用作照相的调色剂和玻璃的染色剂。此外，钟表、陶瓷、玻璃、钢笔等的生产也需要用到大量的金。近年来（1984年4月），日本原子能研究所助理研究员萩浜良三发现金与锗晶体层堆积，可构成超导体薄膜，他把厚 $10\text{\AA}$ 的金与厚 $13\text{\AA}$ 的锗整齐地层层排列，组成堆积超金格薄膜。这种薄膜在 $T=181\text{K}$ 时，可从正常导电态进入超导态。在 $T=1.73\text{K}$ 时，又可从超导态回到正常态。 $T=1.67\text{K}$ 时，又可进入超导态。故金的用途愈来愈广。60年代后期，由于金广泛应用于宇航技术及电子工业，成为不可缺少的材料，美国已将金及其它贵金属列为战略物资。一个国家经济实力的大小，往往用国库中黄金储备的多少来衡量。由此，金的开发利用在四化建设中占有重要的位置。在这个时期，称为金的“工业时代”。

三、世界金的储量、产量、销售情况简述

（一）世界黄金的储量

据1987年资料统计，世界黄金储量约40000—64115吨，主要来源为脉金，砂金和多金属矿床中的伴生金，其中脉金及砂金占75%，伴生金占25%，从各大洲来看，非洲储量最丰富，欧洲次之，亚洲及澳洲较少，现将主要产金国黄金储量、品位列表（1-1）如下：

表1-1 世界主要产金国家黄金储量及品位表

国名	南非 (阿扎尼亚)	苏联	加拿大	美国	澳大利亚	墨西哥	中国*	巴西	日本	菲律宾	总计
储量 (t)	16485 18000	7775 10000	5000 6000	3000 4000	1200 1500	1000 1100	1500 2000	700 1000	200 250	620 700	38180 44550
品位 (g/t)	12—15	5—8	12	10—12	36—69	7—20	3—8	10	5.7	3—6	10.37 16.77

*估计数字

我国政府虽没有正式公布黄金总储量，但据国外一些报导，根据我国主要产金省区生产情况推测，我国拥有黄金总储量在1500—2000吨左右，居世界第五位。

（二）世界黄金产量

1850年以前，世界的开采以砂金为主，占总量的98%，脉金在本世纪初到20年代才兴起，占总产量的80%，至1950年以后，由于世界采金船和采掘设备的广泛应用，砂金产量又有增加，目前脉金产量占65—75%，砂金及伴生金产量占25—35%。从世界产金量来看，非洲最高，居首位；其次是欧洲（包括苏联），亚洲及澳洲产金甚少。现将世界上主要产金国家的黄金产量列表（1-2）如下：

表1-2 1970—1988年世界主要产金国家黄金产量表

国家 年 产量(吨)	南 非	苏 联*	加 拿 大	美 国	巴 西	中 国*	澳大 利亚	巴布亚 新几内亚	菲 律 宾	加 纳	日 本
1970	999.7	202.5	74.3	53			21.4		18.7	22.2	7.8
1971	575.6	344.8	68.7	46.4			20.9		19.7	21.7	7.7
1972	908.7	360.2	64.7	45.1	9.5		23.9	12.7	18.9	22.5	9.6
1973	852.3	370.6	60	36.2	11		18.4	20.3	18.1	25	10.4
1974	758.3	420	52.5	34.8	13.8		16.7	20.5	18.9	27.6	5.0
1975	713.4	282	51.4	32.4	12.5		16.3	17.9	16.1	16.3	4.7
1976	713.4	301.8	52.4	32.2	13.6		15.4	20.5	16.3	16.6	4.6
1977	699.9	312.6	54	32	15.9		19.2	22.3	19.4	16.9	4.8
1978	706.4	249.0	54	31.1	22		20.1	23.4	20.2	14.2	4.9
1979	705.4	335.8	51.1	29.8	25		18.6	19.7	19.1	11.5	4.4
1980	675.1	340.2	50.6	30.2	35		17	14.3	22	10.8	4.2
1981	657.6	358.6	53.0	42.5	35	52.87	18.4	17.2	24.9	11.6	3.5
1982	664.3	337.4	62.5	43.5	34	55.9	27.4	17.8	26	12	3.8
1983	622.1	257.9	66.9	55.5	48.9	51.8	26.7	16.7	18.4	12	
1984	683.3	269.0	86	66.0	61.5	53.8	39.1	18.7	34.3	11.6	
1985	673.3	270.0	90	79.5	72.3	57	58.5	31.3	37.2	12.0	
1986	640	273.0	105.7	118.3	67.4	61	75.1	36.1	38.7	11.5	14
1987	607.0	274.9	116.5	154.9	83.3	65.2	110.7	33.9	39.5	10.5	56.0
1988	621.0	300	128.5	205.3	100.2	70	152.3	32.6	42.7	11.6	

金矿产量综合表，因各国历年的统计（或估计）数据不一，故有一定的误差。

从上表（1-2）可知，世界产金量最多的国家是南非（阿扎尼亚），其次是苏联、美国、加拿大、澳大利亚、巴西、中国、巴布亚新几内亚、菲律宾、加纳和日本。从最高黄金产量国家（南非及苏联）来看，黄金产量有下降趋势，原因是金矿床原矿品位下降，开采深度增加，成本增高。近十年来，由于黄金价格猛涨，国际及国内出现了一股生产黄金热，一些主要生产黄金的国家，采取了一系列措施来发展黄金生产。例如，开展新的成矿理论研究，在找矿手段上广泛应用新技术、新方法，积极研究改进黄金的采、选、冶提取工艺，研究处理低品位的金矿石，恢复一些已闭坑的老金矿山的生产，强化开采或建成一批中、小型金矿以及研究利用低品位尾砂矿等，因此使黄金生产逐年上升（表1-3）。其中70%来自原生矿，30%来自砂金。我国黄金生产，近五年来亦在不断增长（表1-4），其增长率较快，但基数低，远远不能满足四化建设的需要，故应当加强黄金资源的普查找矿和开发利用工作，这是我们地质工作者光荣而艰巨的任务。国家对找金矿亦有奖励政策，如找到一吨黄金，奖励

表1-3 世界黄金总产量及近五年来的增长率表

年 代	1983	1984	1985	1986	1987
黄金总产量 (吨)	1399	1428	1505	1557	1732.27
同前一年比 的增长率(%)	2.1	2.1	5.4	3.5	11.2

表1-4 我国黄金总产量及近年来增长率表*

时 间 (年)	1983	1984	1985	1986	1987
黄金总产量 (吨)	51.8	53.8	57.0	61.0	65.2
同前一年比 的增长率(%)		3.8	6.3	7	6.9

(*国外估计数字)

断增加,如美国1960年消耗黄金90吨,而1970年上升为185.7吨,英国每年消耗黄金约35吨,日本约80吨。1975—1982年世界黄金消耗量有大幅度的增加,按使用量依次为珠宝首饰业、官方货币、电子工业、牙科医用、其它工业及纪念章等(详见表1-5)。

表1-5 世界黄金按用途的消耗量统计表

(单位:吨)

项 目 \ 年	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1985*	1986*	1987*
珠宝首饰 工 艺	532	932	979	1005	737	514	758	867	1128	1104	1138
电子工业	65	71	73	87	93	89.3	87.9	80	115	124	124
牙科医术	65	76	81	90	87	60.8	60.9	56.9	53	51	48
其它工业	48	63	68	75	75	65.7	63.5	59.2	54	56	57
纪 念 章	16	47	50			40	28.2	39	14	12	15
铸 金 币	221	184	136	294	302	245.3	217.4	166.4	105	327	207
共 计	947	1373	1387			1015.3	1215.9	1268.5	1469	1674	1590
投 资 (或储存金条)	178	80	220				450~550		310	220	275
总需求量	1125	1453	1607	1256	992	1544	1665.9	1554.8	1779	1894	1865

注:郭贤才,1987年9月资料。*陈文明编译资料(1989年4月)。

2. 黄金的储备:一个国家经济实力的大小,往往用国库中的黄金储备多少来衡量,由于我国过去不重视黄金地质工作,故对金矿的找矿、开发利用发展速度较慢,黄金储备较少,仅占世界的第十一位与我国的国际地位很不相适应,兹将1980—1985年十八个国家黄金储备列表1-6如下(总的趋势是世界黄金储备在下降,原因是黄金用量在增加)。

四、黄金的价格、开采品位及成本

(一) 黄金的价格

近十多年来,金的价格变化较大(图1-1),自1976年以后开始上涨,到1979—1980年达到

一万元,国家投资150万元。我们应当多找金,找富金,找大的金矿床,为实现和超额完成“七·五”规划的宏伟目标而贡献力量。

(三) 黄金的销售及储备情况

1. 黄金的销售情况:

由于黄金具有美丽的金黄色,诱人的强金属光泽,极高的化学稳定性,良好的导电、导热性及延展性等,故广泛应用于各个领域,特别是随着现代科学技术(宇航、超导材料、电子计算机等)的发展,金的用量不

表1-6 十八个国家黄金储量表

单位: 万盎司

国 别 \ 年	1980	1981	1982	1983	1984	1985
美 国	26432	26411	26403	26339	26279	26265
联 邦 德 国	9518	9518	9518	9518	9518	9518
法 国	8185	8185	8185	8185	8185	8185
意 大 利	6667	6667	6667	6667	6667	6667
日 本	2423	2423	2423	2423	2423	2423
加 拿 大	2098	2046	2026	2017	2014	2011
英 国	1884	1903	1901	1901	1903	1903
中 国	1280	1267	1267	1267	1267	1267
印 度	859	859	859	859	874	940
澳 大 利 亚	793	793	793	793	793	793
罗 马 尼 亚	371	359	355	362	373	382
印 度 尼 西 亚	239	310	310	310	310	310
巴 西	188	220	15	54	147	310
埃 及	243	243	243	243	243	243
墨 西 哥	206	226	206	231	242	236
匈 牙 利	207	168	65	153	206	233
南 斯 拉 夫	185	186	186	186	186	186
尼 日 利 亚	69	69	69	69	69	69
世界总计黄金储备	94250	94303	93901	93051	92847	92971

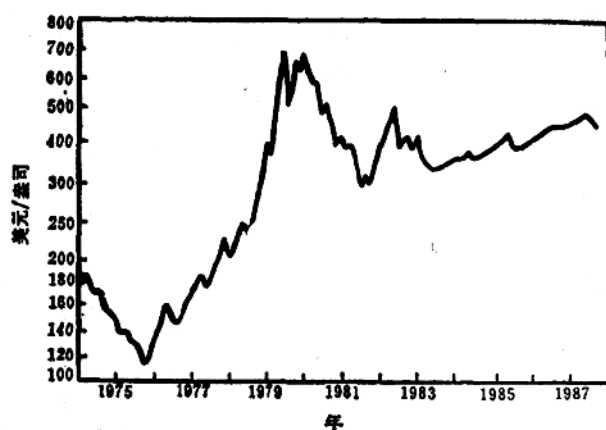


图1-1 1975—1988年世界黄金价格变化曲线

*1盎司 (Ounce) = 31.1035克

最高峰(700美元/盎司), 1981年后开始下降, 1983年又开始回升, 1987—1988年稳定在460美元/盎司*左右。

(二) 开采品位

由于近十多年来黄金价格的上涨, 以及金矿开采技术和回收工艺的发展, 提高了机械化程度, 因而开采品位有所下降, 一般国外已下降到2克/吨, 南非兰德型金矿已下降到1.5克/吨。在我国, 目前脉金的最低工业品位为5克/吨, 砂金的最低

工业品位为0.2—0.3克/米³，但金的工业品位确定，与金价格的高低、开采技术条件、金的选冶回收工艺条件、矿床中伴生有用元素的含量多少等有关，随着这些因素的变化而变化。例如我国湘西金矿，因有伴生元素Sb、W能综合利用，故金的工业品位可降到3克/吨。

(三) 黄金的生产成本

随着开采品位的下降及世界通货膨胀而提高，南非平均每年提高成本21%左右，美国平均提高20%左右，但各国的实际成本相差很大。例如南非平均金的生产成本为211美元/盎司，而美国却高达342美元/盎司。我国因工人工资低，虽然开采技术条件、选冶及金的回收工艺水平低于国外，但生产黄金的成本仍旧比国外低。1986年后，按我国十个主要生产金的矿山统计数字平均为57元/克，由此可见，我国的黄金生产经济效益是显著的。

五、世界及我国金矿床规模划分

(一) 世界金矿床规模的划分标准

按金矿床中金的金属量储量作为划分标准（见图1-2），0.1—1吨为小型金矿床，1—10吨为中型；10—100吨为大型金矿床，100—1000吨为巨型金矿床，大于1000吨储量的金矿床为特大型金矿床。就世界范围来看，小、中、大型金矿床为主，尤其是中小型金矿床为最常见，巨型及特大型金矿床少见（表1-7）。

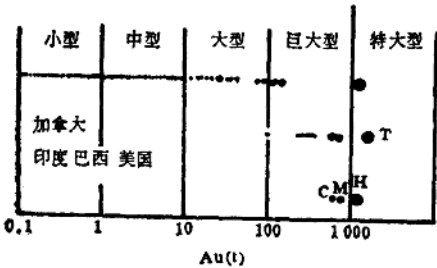


图1-2 世界金矿床规模划分标准

C(印度: Champion); M(巴西 Morro Volho); H(美国Homestake); T(加拿大 Timmins)

(二) 我国金矿床规模划分标准

根据地质出版社1973年9月“矿产工业要求参考手册”金矿床规模划分标准是小于1吨为小型金矿床；1—10吨为中型金矿床，大于10吨为大型金矿床，这样比较合理，便于与世界金矿床规模对比；但1983年后将金矿床规模划分

表1-7 世界著名的巨型及特大型金矿床表

国 别	矿 床 名 称	储 量(吨)	规 模 类 型
美 国	麦克劳克林	100	巨 大 型
	金 坑	127	巨 大 型
	霍姆斯坦克	>1000	特 大 型
加 拿 大	波丘潘金矿	1600	特 大 型
	梯敏(Timmins)	1700	特 大 型
	赫姆洛金矿	597	巨 大 型
澳 大 利 亚	卡尔古利金矿	1130	特 大 型
南 非	兰德型金矿床	已生产黄金30000(吨)	特 大 型
苏 联	穆龙套金矿床	每年生产黄金80-120(吨)	特 大 型
日 本	菱 刈	120	巨 大 型
巴布亚新几内亚	波 格 拉	287	巨 大 型
	利 海 尔 岛	311	巨 大 型

标准改变,小于5吨的金矿床为小型金矿床,5—20吨为中型金矿床,大于20吨为大型金矿床,这种划分标准笔者认为虽提高了划分规模的标准,但与世界金矿床规模类型无法对比。我国金矿床规模类型分布与世界金矿床规模类型分布相似,多为中小型金矿床,大矿较少,而巨大型及特大型金矿床尚未见有报导,还需要我们广大地质工作者共同努力,更多更好地去发现巨大型及特大型金矿床。

六、世界及我国黄金工业的现状与水平

(一)概 况

世界上主要产金国家有南非、苏联、加拿大、美国、澳大利亚、巴西和我国。

1. 南非以脉金为主,矿体大,储量多(占世界储量的50—60%),品位高,可综合利用铀,矿床埋藏深,地下开采为主,如兰德型金矿床。开采方法主要以长壁法、房柱法为主。金的回收工艺流程包括预先筛选、重选、氰化、尾矿用硫酸浸出铀,氰化工艺比较成熟完整,浸出率达95—98%,金的回收率94—96.8%。

2. 苏联:穆龙套金矿床位于新疆毗邻的南天山海西褶皱带,年产80—120吨的脉金矿床。此外砂金矿床的开采亦很受重视,据报导有135艘采金船,近年来苏联研制电力采金船(长35米,宽16米,装有170个斗容量为600升的挖斗,挖掘深度50米),每艘船一个采季节可采砂矿200万立方米,近年来又利用露采低品位砂矿,矿山选金厂不断引进新技术,注意运用氰化法、氯化法、硫脲法等使黄金产量上升为世界第二位(275吨左右)。估计1990年黄金产量将为310吨左右。

3. 加拿大:主要为脉金矿(占80%),伴生金19.5%,砂金0.5%,1981年对安大略省苏必利尔湖北岸赫姆洛太古代绿岩带中浸染状层控型金矿床(储量600吨)突破后,使储量增加1/3,达到1500吨左右。黄金开采以地下坑采为主,采矿方法多用深孔崩矿法、机械分层充填法、溜矿法、长工作面水平分层充填法等,许多选矿厂已完全实现机械化和自动化,在选矿厂自动化基础上进行连续分析,每15分钟显示分析结果一次,及时指导生产。

4. 美国已生产黄金11600吨,主要来自脉金(6500吨,占56.1%),其次为砂金(3600吨,占31.0%)及伴生金(1500吨占12.9%),1985年产量为79.75吨,1986年上升到108吨,1987年为133.73吨,1990年估计上升到150吨。美国黄金产量的增长主要原因是新发现了能露采的金矿床及堆浸法提金新工艺的结果(Woodall,1988)。此外,美国最大的金矿床霍姆斯塔克(Homestake)金矿床,已采用V.C.R法进行回采,大大提高了生产率(达34.8吨/工班),该矿又把混汞、氰化流程改为碳浆法;捷特切尔为美国第二大金矿,该矿处理含砷矿石,在生产上采用沸腾焙烧后氰化流程,使黄金回收率大大提高。

5. 澳大利亚:已采出黄金6300吨,主要来自脉金(4600吨),占总产量的73%,砂金为次,为1700吨,占37%,其1986年产量为75吨,1987年为85吨,提增13.3%,其增长速度较快,主要原因是利用炭浆法及炭浸法的黄金选矿新工艺,可处理低品位(1.5—5克/吨)的金矿石。

6. 我国金矿床种类繁多,但规模中、小型的居多,大型者少,超过百吨的巨大型金矿床很少发现,据统计超过10吨的矿床总数仅占7.7%,1—10吨的矿床总数占36.4%,而小于1吨的矿床数占55.9%。近年来在胶东地区发现了“焦家式”、“玲珑式”及三山岛大型金矿外,在广东河台、豫陕交界小秦岭金矿均属大型金矿床,使我国金的储量及产量有较大幅度的增长(1987年产量为65.2吨),较1986年增长6.9%,占世界第七位。

(二) 金的采矿技术现状

近年来世界黄金工业的采矿技术也有一些新的进展,主要表现在下列几方面:

1. 地下矿山井坑掘进方面:

(1) 竖井掘进: 南非采用多层吊盘作业,掘进速度为60—170米/月,我国目前平均为20—30米/月。

(2) 天井掘进: 国外已采用钻机掘进天井,速度快,达到2.3—3.6米/小时,并且作业安全,井壁平滑稳固,成本低,但设备费用高。目前,我国仅在个别矿山进行试验。另外国外有吊罐法和爬罐法进行掘进的,月进尺在100米以上,我国部分黄金矿山也有用吊罐法掘进的,月进尺60—100米左右,但普遍黄金矿山多采用普通掘进法,平均月进尺20米左右。

(3) 平巷掘进: 近年来国外多采用凿岩车,配以液压凿岩机和铲运机出矿,实现了机械化。我国一般采用7655YT-25型凿岩机、华-I型装岩机,运输设备采用1.5—7吨架线电机车,掘进2.2×2.2米断面的平巷,平均功效为0.24米/工班。

2. 金矿床的采矿方法:

(1) 充填法: 由于适应性和灵活性较广,不论矿体形态如何,均可回采到边界,并能找到矿体的延续部分,有利于控制品位,贫化损失小,回采率高,是回采高品位贵金属的一种较理想采矿方法,特别发展了机械化分层充填工艺之后,有的矿山采用了液压凿岩、台车凿岩、铲运机出矿,大大提高了生产效率,使充填法的使用比重显著增加。例如加拿大多姆金矿的机械化分层充填法,采用Joy上向式凿岩台车,配两台AL67M型凿岩机凿岩,美国瓦格纳公司产的ST—2D型柴油铲运机和加拿大Javis Clark公司出品的EHSTIA和IS100E电动铲运机出矿,出矿功效由电耙的25.7吨/工班提高到56吨/工班。我国黄金矿山,目前采用这种机械化程度较高的分层充填采矿法尚少。

(2) V.C.R.法: 该法是根据C.W.利文斯顿的漏斗爆破理论由加拿大工业公司 and 国际金属公司合作研究出来的一种新的采矿方法,1972年在加拿大国际金属公司莱瓦克矿试验成功,迄今为止的实践证明,V.C.R法是目前地下硬岩矿山最安全的采矿方法之一,在采矿成本和劳动生产率也可与其它方法媲美。美国霍姆斯塔克金矿,1977年也开始进行V.C.R法的试验工作,使用潜孔钻机,炮眼网度为2.4米×2.4米,深度为42.7—53.3米,台班效率为4.75米,使用Tovex Extra水胶炸药,单位耗药量为0.75公斤/吨,劳动生产率高,成本低,与该矿原来的采矿方法比较(见表1-8),我国黄金矿山尚未推广此种方法,仅在金厂峪金矿进行此种方法的试验。

表1-8 美国霍姆斯塔克金矿床各种采矿方法的成本和劳动生产率对比表

项 目	采场无支护的 水平分层充填法	中深孔分段 采 矿 法	V.C.R.法
1980年实际采矿成本和 附加费(美元/吨)	10.65	4.79	9.47
1980年劳动生产率 (吨/工班)	15.1	28.8	34.8
1981年实际采矿成本和 附加费(美元/吨)	16.47	13.02	6.21

(3) 无爆破采矿方法: 目前南非用无爆破采矿法, 该法特点是: ①可节省人力和材料。②24小时可连续采矿, 但多适用于开采岩石不稳固的矿体。③利润大, 使用设备有旋转多刃岩石切削机、回转锤采矿机和高能液压冲击锤破碎采矿机、往复链式运输机和振动式运输机等。

3. 采用以铲运机为主体设备的无轨采矿技术: 世界各国的黄金矿山, 已采用铲运机装运矿石, 铲运机可分柴油驱动机和电动驱动机两类。电动铲运机的优点是①消除了柴油机废气对井下的污染, 大大减少了通风需要量。②噪音小。③运转时间长而不用维修, 生产率可比同级柴油运矿机高20%以上。④在分层充填法条件下柴油铲运机轮胎消耗费用为0.84元/吨, 而电动铲运机轮胎消耗费为0.49元/吨。缺点是①运输受电缆卷筒长度的限制, 目前一般为200米, 最长300米, 而且只能在线路较固定的情况下应用。②灵活性小, 受空间条件限制。美国霍姆斯塔克金矿在深孔崩矿法采场中, 使用了 1.7m^3 电动铲运机, 放在矿口进行矿石装载作业, 效果很好。我国金厂峪金矿全面采场中, 也试用EHST-1型电动铲运机进行出矿, 出矿能力达60—80吨/台班。

4. 采空区支护和顶板支护: 国外金矿山的采空区, 一般都进行处理, 通常采用尾砂事后充填或用坑内废石就近进行充填, 这样既减少了尾矿坝建筑和废石外运的工作量, 又进行了空矿处理, 有利于地压管理。国外在顶板不稳固的矿山, 一般都采用支护措施。加拿大采用涨壳式锚杆进行支护, 锚杆长2.4米, 直径16毫米, 锚杆网度为 0.6×1.5 米, 有的锚杆之间还加钢带连接, 钢带规格长 $\times$ 宽 $\times$ 厚为 $1500 \times 100 \times 3$ 毫米。美国霍姆斯塔克金矿, 在V.C.R法采场中进行长锚索支护, 效果很好, 节省了大量木材, 降低了贫化损失, 保证了作业安全, 简化了生产工艺, 有利于采场的机械化, 节省了劳力, 长锚索的支护费用平均每米为17.8美元, 或每吨矿石为1.3美元, 与传统的木材支护相比直接成本降低16%。我国湖南桃源湘西金矿采用长锚索支护, 焦家金矿也采用锚杆支护。1980年后, 在金矿床中全面推广使用, 其种类已由楔缝式发展到涨壳式、管缝摩擦式和砂浆锚杆等, 均取得了较好的效果。

(三) 金的选、冶技术及现状

1. 选冶方法: 目前我国金的选冶方法主要采用下列几种:

(1) 重选: 主要用作粗选金矿, 常与混汞配合使用, 在砂金矿及群众采金中占重要地位。主要设备有溜槽、跳汰、摇床等组成重选工艺流程。据报导, 我国单机作业选矿回收率为: 固定溜槽60—80%, 胶带可动溜槽80—90%, 国产跳汰机80—90%, 荷兰圆型跳汰机与短型跳汰机为96—98%, 摇床85—97%。国外的设备配套和大型化、机械化、自动化水平等都较高, 故生产效率及指标较好。苏联、加拿大等国在浮选和氰化前采用短锥水力旋流器选金取得较好的效果。还有采用重介质选矿法选金的, 今后我国应在洗选设备逐渐配套使用, 以提高选矿处理量和有效的回收细粒金, 同时对工艺流程逐渐完善, 最大限度地提高选矿回收率。

(2) 混汞法: 磨碎的金矿石以及重选精矿, 采用混汞法处理, 这是较普通应用的方法, 但是由于汞蒸气剧毒及对环境的污染, 混汞法的应用受到限制, 近年来在生产实践中偏重于采用内混汞法。美国采用混汞法处理脉金矿石比例较大, 达25—30%。我国应用混汞法历史悠久, 占有一定的比重, 近年来注意防治汞害和对环境的污染采取了一些必要措施。

(3) 浮选—氰化法: 浮选用于处理含金黄铁矿及含金毒砂的矿石以及粗粒自然金多的矿石等, 最适宜的浮选粒度范围为15—300微米, 当金的粒度为50微米或更小时, 用氰化法最合适, 浮选和氰化联合使用。其中浮选出的含金黄铁矿精矿或含金黄铜矿、含金毒砂等精矿, 进行直接氰化(或进行处理焙烧高压氰化等), 浸出含金氰化溶液用锌丝或锌粉置换得金。

故浮选-氰化法是现代提金的主要方法，它广泛应用于苏联和其它国家的工业实践中。世界上依这种方法从矿石中回收金在70%以上，是比较成熟的经典方法。在我国，氰化也与浮选配合使用，但浮选精矿或尾矿进行氰化要依矿物性质而定，为了使贵金属在氰化液中溶解正常进行，国外许多氰化厂都广泛采用阶段浸出，并且得到了较好的效果，如帕米尔波丘公司选厂的浮选氰化法，采取四浸四洗流程，氰化总回收率为98.92%，我国山东玲珑金矿选厂，过去采用一浸一洗氰化流程，处理铜、硫、金分离的尾矿，总回收率仅达86.67%，目前改为二浸二洗氰化流程，使氰化总回收率达92.03%，提高了5.36%，并将铈丝置换法改为铈粉置换法，提高置换率1.05%，其它技术经济指标也得到改善，提高了经济效益。

(4) 炭浆法提金工艺：自1973年世界上第一个炭浆法提金厂在美国霍姆斯塔克金矿问世以来，现在在美国、南非、加拿大、澳大利亚、菲律宾和智利等国，已有五十多座炭浆法提金厂。炭浆法提金工艺适宜于处理低品位、含泥高和细粒浸染嵌布型金矿石，需要细磨而难于进行固液分离的含金矿石。炭浆法提金工艺与传统氰化流程比较，普遍认为由于前者无需固液分离作业，所以具有设备少、厂房小以及投资与生产成本低等优点，因此世界各国都积极应用此法，据报导可节约基建投资50%，操作费用为常规厂的2/3，成本降低35%左右，目前进一步研究利用浸出容器，同时进行氰化和吸附，有可能降低炭浆法设备台数，提高回收率，称为炭浸法。我国1980年进行小型试验，1981—1982年在团结沟金矿进行扩大性试验，其浸出率为91.15%，吸附率为99.68%，电解率为99.9%，金总回收率为90.25%，金实际总回收率为87.19%，目前已正式投产。

(5) 堆浸法：该法适用于处理很低品位的金矿石及银矿石，这种方法与炭浆法类似，二者都是在浸出后用炭吸附、解吸、电积和炭再生。堆浸法虽然回收率没有炭浆法高，但是具有投资和生产成本都很低等优点，美国1971年开始应用后，很快扩大，特别在中小金矿更广泛使用，该法可处理品位低于0.7克/吨的金矿石，金的回收率达65—85%，银为45—60%。我国一些小型金矿也开展了生产，故对处理低品位金矿是很有前途的一种方法。

(6) 硫脲提金法：硫脲是一种无毒而腐蚀性小的溶剂，它在氧存在的条件下能从含金矿石及精矿中提取金。近20年来，国外对硫脲法从含金矿石中回收金做了大量工作。该法与氰化法相比，优点是无毒及无环境污染。缺点是药剂消耗量大，经济上不合算，是一种致癌物质。故今后尚得进一步研究降低消耗提高经济效益等。我国在河北峪耳崖金矿、张家口金矿、广西龙水金矿都进行了该法生产。此外，国外尚有离子交换树脂浆化法提金，水溶液氯化法、高温氯化挥发法，热压氧化浸出法、萃取法、电化学法、细菌浸出法、含金矿石用巯基Ⅷ族金属盐处理后磁选法、海水提金法、碘化再生金法等提金工艺，但值得进一步研究使用。

2. 在多金属矿石中伴生金银的回收：在国外很重视从有色金属矿石中回收金、银的工作，据目前统计，金产量来自伴生金的约占15—25%，在有些国家占有重要地位，如巴布亚新几内亚的金都来自伴生金，菲律宾占62%、澳大利亚占59%，美国占40%，苏联占25%，日本也重视伴生金银的回收工作。当前金的生产65%来自Cu、Pb、Zn多金属矿床中的伴生金。国外金的回收率一般在60—70%之间，银的回收率为70—80%，而我国综合回收情况，金回收率为50—60%，银回收率为60—70%。我国伴生金占总储量的43.76%。我国有色金属资源丰富，种类繁多，并普遍含有金、银矿物。例如我国长江中、下游主要几个铜矿基地，如江西铜业公司、铜陵有色金属公司、大冶有色金属公司，这些铜矿石中大都含有低品位的Au及Ag，对这部分资源的综合利用应引起足够的重视，特别要对现有企业进行挖潜、革新