

黄金生产工艺学

全 忠 主编



NEUPRESS
东北大学出版社

成人高等函授教材

黄金生产工艺学

全 忠 主 编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

天 00.25 10.00

(辽)新登字第 8 号

图书在版编目(CIP)数据

黄金生产工艺学/全忠主编. —沈阳: 东北大学出版社, 1994. 7
ISBN 7-81006-847-4

I. 黄…

II. 全…

III. 金-生产-工艺

IV. ①TD863 ②TF831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 07463 号

内 容 简 介

本书是按照“黄金矿山管理”专业函授教学计划及该课程的教学纲要,针对我国黄金矿山的需要而编写的成人高等函授教材。

内容包括黄金矿床的地下与露天开拓、采矿方法,黄金矿石的重选与浮选、氰化与混汞选矿工艺,砂金与金精矿粗炼和精炼,并附有矿山实例及主要的技术经济指标与技术资料和图表。

本书内容丰富,取材实用,通俗易懂,适合自学。可作为黄金矿山管理专业的教材,亦可作为黄金企业事业单位管理干部、工程技术人员的岗位培训教材,还可作为有关院校的本、专科学生学习黄金矿山采、选、冶工程概论课程的教材和参考资料。

东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

沈阳第十印刷厂印刷

东北大学出版社发行

开本: 787×1092 1/16

印张: 32 字数: 798 千字

1994 年 7 月第 1 版

1994 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1~3000 册

定价: 25.00 元

序

摆在读者面前的这本《黄金生产工艺学》是一本别具风格、不同一般的教科书，它打破了按专业界线分门别类编写教科书的传统格局，将黄金的采、选、冶及提纯工艺技术集于一体进行系统论述。这对于读者全面了解黄金生产工艺可收到“一书在手，全局在胸”的效果。但本书并非是一般意义上的“概论”课教材，它对于黄金矿床的地下与露天开采，黄金矿石的重选与浮选、氰化与混汞，砂金与金精矿的粗炼、精炼及提纯的工艺原理、实用技术、新的研究成果，都从理论到实践作了系统的深入浅出的介绍。可以说本书的出版，即是参加本书编写的诸多编者实现跨学科联合的结晶，也是黄金学院诸多学科多年来在教学、科研实践中积累的经验与成果的反映。本书是编者对读者的一份奉献，更是黄金学院在承担人才培养任务中为进一步做好服务工作的一次新尝试，愿它对黄金企事业的经营管理干部和工程技术人员的继续学习、提高管理水平有所裨益。

李卫东

1994年6月

前 言

《黄金生产工艺学》是根据沈阳黄金学院成人教育学院教学及黄金系统培训工作的需要而编写的成人高等教育教材。

本书针对我国黄金中小型矿山企业发展的需要,考虑到黄金工业中各级生产经营管理者的实际情况,系统地介绍了岩金和砂金矿床的地下开采与露天开采;黄金矿石的重选与浮选、氰化与混汞、无氰选矿工艺;砂金与金精矿的粗炼和精炼、提纯工艺等问题。紧密地结合我国黄金生产的实践经验,适当反映国内外黄金生产领域中的科技新成就,力求理论与实际一致,着重阐明基本理论和生产中常用的工艺方法。本书知识面广、实用性强,对生产实践有积极的指导作用。可作为黄金企业事业单位生产经营管理人員和工程技術人員的函授教材或继续工程教育的培训教材,也可作为大专院校与采、选、冶相关专业的教材和参考书。

本书由沈阳黄金学院成人教育学院副院长全忠担任主编,并编写第2、5、6章;陈志强副教授编写第1、3、4、7、8、9章;陈欢工程师编写第10、11、12章;赵国栋副教授编写第13、14、15、16章;李德俊高级工程师编写第17、18章;张存义工程师编写第19章。本书在编写过程中得到了沈阳黄金学院副院长季卫东教授的具体指导和帮助,并对全书进行了审定与修改。王成功副教授对第三篇进行了审定与修改。

沈阳黄金学院成人教育学院院长熊汉斌副教授参与、支持了本书的编写组织工作。在本书编写过程中还得到沈阳黄金学院有关教授、专家的大力支持和关怀,并提供了许多宝贵资料,特致谢意。

由于编者的水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者指正。

编 者

1994年5月

目 录

· 第一篇 黄金生产概论 ·

第1章 绪 论	(1)
1·1 黄金的性质和用途	(1)
1·2 我国黄金生产概况	(3)

· 第二篇 黄金矿床开采 ·

第2章 黄金矿床地下开采概述	(7)
2·1 黄金矿床的工业特性	(7)
2·2 开采单元的划分及开采顺序	(11)
2·3 矿床的开采步骤及采掘技术方针	(14)
2·4 矿石的损失、贫化和矿山年产量	(16)
第3章 凿岩爆破	(20)
3·1 概 述	(20)
3·2 凿岩及凿岩工具	(20)
3·3 炸药及矿用炸药	(27)
3·4 起爆器材与起爆方法	(29)
3·5 浅眼爆破法	(34)
3·6 深孔爆破法	(39)
3·7 控制爆破技术	(41)
第4章 井巷工程	(45)
4·1 概 述	(45)
4·2 水平巷道的掘进与支护	(45)
4·3 天(溜)井掘进与支护	(58)
4·4 井筒工程	(62)
4·5 硐室工程	(73)
第5章 黄金矿床开拓	(75)
5·1 概 述	(75)

5.2	开拓方法分类	(76)
5.3	开拓方法	(77)
5.4	矿床开拓系统	(87)
5.5	开拓方案的选择	(103)
第6章	黄金矿床的地下采矿方法	(105)
6.1	概 述	(105)
6.2	采矿准备与切割	(105)
6.3	回采生产工艺	(111)
6.4	采矿方法各论	(132)
6.5	矿柱回采与采空区处理	(175)
第7章	矿井通风与排水	(185)
7.1	概 述	(185)
7.2	矿井通风方式与系统	(188)
7.3	通风阻力与风量	(193)
7.4	机械通风与自然通风	(195)
7.5	局部通风	(196)
7.6	矿井排水方式与系统	(199)
7.7	水泵房与水仓	(200)
第8章	岩金矿床露天开采	(203)
8.1	露天开采基本概念	(203)
8.2	露天开采的生产工艺	(208)
8.3	露天矿床开拓	(236)
8.4	露天开采境界	(248)
8.5	地下开采与露天开采的过渡	(252)
第9章	砂金矿床露天开采	(258)
9.1	概 述	(258)
9.2	露天机械开采	(263)
9.3	水力机械开采	(273)
9.4	采金船开采	(287)

· 第三篇 黄金选矿 ·

第10章	黄金选矿概述	(321)
10.1	选金的目的和任务	(321)

10·2	选金过程和方法	(321)
10·3	选金的工艺指标	(322)
第 11 章	选金前的准备作业	(324)
11·1	破碎与筛分	(324)
11·2	磨矿与分级	(333)
11·3	金矿石的洗矿	(343)
11·4	金矿石的氧化与焙烧	(347)
11·5	破碎与磨矿工艺流程及生产实例	(349)
第 12 章	重选法	(354)
12·1	概 述	(354)
12·2	重选法原理	(355)
12·3	溜槽选金法工艺	(358)
12·4	跳汰选金法工艺	(364)
12·5	摇床选金法工艺	(370)
12·6	水力旋流器	(374)
12·7	重选工艺流程与生产实例	(376)
第 13 章	浮选法	(380)
13·1	概 述	(380)
13·2	浮选法选金的原理	(381)
13·3	浮选药剂	(383)
13·4	浮选机械	(391)
13·5	浮选工艺条件	(395)
13·6	浮选工艺流程与生产实例	(396)
第 14 章	氰化法	(402)
14·1	概 述	(402)
14·2	氰化法选金的原理	(402)
14·3	浸出药剂	(404)
14·4	影响氰化浸出的工艺因素	(407)
14·5	氰化池浸工艺	(411)
14·6	氰化堆浸工艺	(413)
14·7	氰化搅拌浸出工艺	(419)
14·8	氰化提金生产实例	(431)

第 15 章 无氰工艺	(435)
15.1 硫脲浸出法	(435)
15.2 硫代硫酸盐浸出法	(437)
15.3 细菌浸出法	(439)
第 16 章 混汞法提金	(442)
16.1 混汞提金原理	(442)
16.2 混汞设备与操作	(443)
16.3 影响混汞的工艺因素	(445)
16.4 混汞板的制作	(446)
16.5 混汞作业的安全防护	(447)

· 第四篇 黄金冶炼 ·

第 17 章 黄金冶炼概述	(448)
17.1 金冶炼的原料及产品标准	(448)
17.2 火法炼金原理	(450)
17.3 炼金炉	(454)
第 18 章 金的粗炼	(458)
18.1 氰化金泥的冶炼	(458)
18.2 硫脲金泥的冶炼	(463)
18.3 重砂、电积金的冶炼	(466)
18.4 汞膏的处理	(467)
18.5 银的回收方法	(469)
第 19 章 合质金的精炼	(474)
19.1 火法精炼	(474)
19.2 化学法精炼	(479)
19.3 金的电解精炼	(489)
19.4 银的电解精炼	(493)
19.5 金银铸锭	(497)

主要参考资料	(502)
---------------------	-------

· 第一篇 黄金生产概论 ·

第1章 绪 论

1·1 金的性质和用途

黄金历来倍受人的喜爱,它具有美丽的金黄色泽和耀眼的金属光泽,使得有其美观的外表。除此之外,更重要的是它的许多特点,使其身价百倍。它不仅在人们的生活、社会生活中可作为装饰品和货币,而且在现代科学技术的尖端领域里,作为工业材料被广泛地应用。

1·1·1 物理性质

金的密度大。金的密度在不同温度下有差异,在 20°C 时是 $19.32\text{g}/\text{cm}^3$,在 18°C 时是 $19.31\text{g}/\text{cm}^3$,在 1063°C 熔化时其密度是 $17.3\text{g}/\text{cm}^3$,在 1063°C 凝固时其密度是 $18.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。 1kg 黄金的体积,相当于边长 3.71cm 的立方体,或半径为 2.3cm 的圆球。

金的熔点是 1064.43°C ,由于测量手段不同,熔点在 $1062.7^{\circ}\text{C}\sim 1067.4^{\circ}\text{C}$ 范围内变化。金的沸点是 2802°C 。熔融的液态金会随温度的升高而挥发。“真金不怕火炼”是指在 $1000^{\circ}\text{C}\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内而言。金的挥发速度和金中杂质的性质有极大关系,也与加热时周围的气体性质有关。

金的韧性柔软。金的矿物学硬度为 3.7 。布氏硬度为 $18.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 。延伸率为 $40\%\sim 50\%$,横断面收缩率为 $90\%\sim 94\%$ 。由于具有良好的韧性,金可压力加工成厚度为 $0.23\times 10^{-3}\text{mm}$ 的金箔。

金的延展性良好。通常 1g 金可拉成长度为 320m 的金丝。在现代加工条件下纯金可拉成长度达 3420m 以上的金丝。

金是热和电的良好导体。它的传导性能仅次于银(导热率为银的 74%)和铜。金的导电率也仅次于银和铜,在金属中居第三位。银的电阻率为 $1.6\mu\Omega\cdot\text{cm}$,金为 $2.4\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 。

自然金与金的合金本质不同。金银合金,金铂合金,金钯合金、金铋合金以及与其它金属的合金,都不是化合物而是固熔体,是金属熔化后又凝固成具有均匀结构的固熔体。含有杂质银、铜的自然金,是从水溶液中析出的结晶。

金的色泽与所含杂质有关。纯金含量为 99.999% 时为金黄色,在所有金属中颜色最黄。在自然界中见不到纯金。含有杂质的金和含有其它元素的金合金,颜色变化很大。钯的含量高使金呈灰白色;铜合金的颜色呈红色;含银使金变为青黄色到赤黄色,俗称所谓“七青、八黄、九五赤”,统称为清色金。金银合金中含银在 30% 左右为青黄色;含银在 20% 左右为正黄色;含银在 5% 左右为赤黄色;同时含有铜和银的金合金呈黄色;含镍、铜、锌的金合金呈铂的颜色。“天工开物”中有“七青、八黄、九紫、十赤”之说,中外一些国家至今还沿用。

金银容易被磨损。纯金首饰常年佩带会减轻份量,因此,金首饰和金币一般都要添加银

和铜,以提高硬度和使其色泽更加绚丽。

1.1.2 化学性质

金在元素周期表中位于第六周期 IB 族,与铜、银合称为铜族元素。金的原子序数是 79,原子量为 196.9665(197),属 $49+1$ 型原子。自然金是单同位素体。金的同位素现已发现 23 个,其中只有 ^{197}Au 为稳定同位素。在元素周期表中,由于银是第五周期 IB 族,钌、铑、钯是第五周期 VIII 族,钨、铼、铂是第六周期 VIII 族,与金在周期表中位置是相互紧连着的,在地壳中也通常是伴生的,因此它们在化学性质的许多方面都十分相近。

金具有非常稳定的化学性质。黄金有良好的抗氧化性,在空气中加热直到熔融也不氧化,所谓“金入猛火,色不夺精光”,所以耐腐蚀。常温下金有抗酸(盐酸、硫酸、硝酸)、碱、盐的极稳定特性。这一性质使金长期暴露于空气中而不改变它的颜色和光彩。但金能与王水(三份盐酸,一份硝酸)及氰化物起作用,被腐蚀、溶解。在室温下,湿氯、干溴、溴水、碘化钾中碘溶液、碘酒等对金腐蚀性大。

金的化学性质稳定还表现在,除碲、硒、氯等几种元素外,金与其它元素在通常条件下不容易发生化学反应而生成化合物。但在特定条件下,金也可制成多种化合物,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、氨合物、烷基金、芳基金、雷酸金等。金的化合物也很容易还原成金属金。使金还原能力最强的金属是镁、锌、铁和铝。所以在氰化法提金工艺中用锌粉置换,就是利用这一特性。

1.1.3 金的用途

黄金有美好的颜色和光泽,有独特的物理、化学性能,自古以来就用于装饰和货币。随着科学技术的发展和对黄金认识的加深,金被逐渐应用到科学技术的尖端领域。其主要用途如下:

1. 用于货币和储备

古代,黄金一直作为货币流通。我国从夏代(公元前 20 世纪)起就为了“农工商交易之路通,而龟贝金钱刀布之币兴焉”(《史记·平准书》)。在春秋战国时期的楚国使用“郢爱”金币。以金属货币而言,我国是起源于夏,发展于春秋,统一于秦。秦始皇把货币法定为两种:用黄金做的称上币,用铜做的称为下币。元代黄金不再局限于王公贵族之间的流通,开始和银元宝同时在民间作为货币公开流通。到明朝的英宗皇帝(朱祁镇 1436 年)执政,白银使用较普遍,而黄金作为货币之上的财宝储存。在清康熙年间收黄金作为国际贸易的手段,曾流向国外。

作为流通手段,黄金具有比重大、体积小、运输方便的特点,包含着较多的劳动价值,比率高,耐久,不易损坏,便于贮存。而且具有美学属性。

现在世界上许多国家制造金币,使用了大量黄金。1981~1985 年的五年就使用了 700 多吨黄金。如英国的金镑,美国的双鹰金币,法国的拿破仑金币等。我国从 1982 年成功地发行熊猫金币,每块含金 1 盎司到 $1/20$ 盎司不等,随后又发生肖金币。因金币有收藏价值,需求量很大,在国内外销路甚佳。黄金是社会财富的象征,长期以来,人们和国家把黄金当作财富和保值手段贮藏着。随着历史的前进,黄金不但没有被逐出历史舞台,而且继续在发挥它的货币作用。金是世界货币,是硬通货,是保值金属。至 1983 年来,包括美、德在内的 73 个国家的中央银行将 35000t 黄金作为金融储备,其中美、德、瑞士、法、意、波兰、比利时、俄罗

斯等八个主要国家黄金储备量为 22700t。黄金储备是作为一个国家支付能力和经济实力的重要标志。西方分析家说：“现在黄金是世界上唯一最重要的储备资产”。

2. 用于装饰品和奢侈品

因黄金有易于加工的性能和金黄色的色泽，自古以来就用于作装饰品和首饰。从历史上看，我国这方面是较突出的。如“晏子景公履黄金之褔”，“青丝系马尾，黄金络马头”，“云鬓花颜金步摇”和“翠翅金雀玉搔头”等句都是用来形容用黄金做的装饰品和首饰。

现代的黄金饰品种类更多，首饰业一直是用金大户，消耗量很大。据统计 1937 年全世界用于制造首饰的黄金达 1100t。

另外，我国历史上用于寺庙、古建筑也消耗很多黄金。如我国“天安（魏公元 466~467）中于天宫寺造释迦像，高 42 尺，用赤金十万斤，黄金六百斤”，元世祖时“建大圣万安寺，佛像及窗壁皆金饰之，黄金五百四十两有奇；又缮写金字藏经，凡糜金三千四百四十四两”。我国西藏的布达拉宫的第一座灵塔殿堂三层，塔高 14.85m，塔身全部用金包裹，耗金达 3.7t。

3. 工业用金

如前所述，由于金具有许多优良特性，在现代工业中应用黄金最多是电子工业，在一些采用低电压、小电流的电子仪器中的电子元件、触头、插座、焊料、继电器、印刷集成电路等都离不开金和金合金。1985 年全世界仅在计算机电路制造中，其金用量就达 111t。在现代每部接触式电话系统的电路中就有 33 个黄金触点。在电路上应用黄金作触点，仅在其上涂极薄的金膜，能使其在较低的电压下获得较高的效率。在航空工业中，用金合金制造发动机的火花电极塞。由于金黄色吸光性好，反射率为 94.4% 的特点，在军事上可用来防御导弹和防御来自普通热源的热幅射。

在化学工业中，金用作钢管的镀层，以输送腐蚀性物质。含 3% 钯的金合金以及含 20% 钯的金合金可用在捕收铂催化剂的生产上。在建筑中，金被用来作现代楼房窗户的一种高级绝热介质，玻璃表面镀上一层 $0.13\mu\text{m}$ 的金膜，可以最大限度地使自然光通过，在冬季使室内保温，在夏季能反射阳光。美国很多摩天大厦使用这种玻璃。如果在这种玻璃上通电，则可终年保持清洁透明，视野清晰。这种玻璃在大型客机上作为挡风玻璃，可以防止在其正面结冰或成雾。金膜的热反射作用也可用于太阳能聚集器上。

金在医疗上也得以应用。因为金有很高的化学稳定性和易加工的性能，在牙科用于镶牙，每年用于镶牙业的黄金在 65~75t。金的放射性同位素对诊断和治疗关节炎和恶性肿瘤起一定作用，可用金箔治疗皮肤溃疡和烧伤。在医学上还含有金盐的各种制剂治疗肺结核等。

宇航工业常用低蒸气金焊料熔接电子管零件的真空密闭的缝隙和熔接宇航飞行器的各种部件。镀金用于各种宇航仪表可防太阳辐射，镀金层可反射掉 98% 以上的红外线。美国“阿波罗”号宇宙飞船的仪表上和燃料供给系统的部件上均采取镀金处理。

在尖端的科研技术研究中，用金来捕获慢中子，用放射性同位素金研究试验金属和含金的扩散过程。

此外，金的合金还可用来制造表壳和笔尖，可靠性高，使用寿命长。

1.2 我国黄金生产概况

金是人类最早发现和利用的金属之一。根据考古学者的发现，人类在六千年以前就已认

识和初步掌握了炼制与加工黄金的工艺。

自古以来,我国就是盛产黄金的国家之一。我国地域广大,黄金资源比较丰富,具有悠久的开采历史,据商、周时期采金文字记载和考古发现,那时就已掌握了炼制金器的技术,如在殷代遗址中发现厚仅0.01mm的金箔,在西周卫墓中的发现,说明已掌握了包金、鍍金技术。在春秋战国时期,楚国已使用叫“郢爱”的金币。西汉金饼,汉武帝五铢金钱内含金量均在95%以上,说明当时铸造用的原料主要为自然金。在《史记》中记载:“虞夏之际金为三品,或黄或白或赤”,《汉书》中进一步叙述:“古者金有三等,黄金(金)为上,白金(银)为中,赤金(铜)为下”,说明古代已经以黄金为贵重了。还有如下记载:汉文帝(刘恒)赐周勃五千金,汉宣帝(刘洵)赐霍光七千金,“昭烈得益州,赐诸葛亮、关羽、张飞……等金各五百斤”。汉代一斤金约为15~16.35g。到了唐代,淘洗砂金已相当发达。据北齐《魏书》记载,我国东北地区早在公元504~508年以前就开始开采砂金。据《唐六典》所载对金的加工方法:“金有十四种,曰销金、曰拍金、曰镀金、曰织金、曰研金、曰披金、曰泥金、曰缕金、曰捻金、曰钺金、曰圈金、曰贴金、曰嵌金、曰裹金”。从近年对秦公一号大墓发掘整理文物中,有镌雕双龙的金带钩、镂空镶绿松石的金包、造型精美独特的金兽等50多件,充分反映出我国古代在金银采集、提取、加工和使用等方面取得了巨大成就,创造了炼丹术、点金术和抽丝、打片、包金、错金、鍍金等精湛技艺。

古代黄金生产情况和数量,虽已无从考查,但从上述使用情况看,我国古代已发现砂金资源,并已逐步掌握了一整套从开采、淘洗、熔炼和加工技术,产量也是相当可观的。据我国经济史学家的研究,认为我国至公元8年(西汉后期)时累计黄金产量在190t以上。

明万历年间(公元16世纪70年代至公元17世纪20年代),在广东的广宁、溪洞、英德一带,金的开采是“洞子千多所石,蛮女半淘金”,“一铁炉可养千人,一金潭、银滩可活数百室”。当时是“使募民认税开采”。

从康熙中期到乾隆中期(公元17世纪70年代到公元18世纪70年代),我国的金矿生产曾有过较大的发展。如新疆乌鲁木齐、玛纳斯、阿勒泰、伊宁;青海大通;甘肃安西、敦煌沙洲;宁夏山丹;广西苍梧;广东崖州黎田;湖南会同、平江黄金洞;贵州天柱;云南个旧、保山潞(怒)江等地均有官办的金厂,而“丽水出麸金,澜沧江多出金沙”,是“始自元明,清因之”沿袭开采了几百年的黄金砂矿资源。东北地区的松花江上游,图们江流域和牡丹江流域如延吉、珲春、汪清、和龙、桦甸、东宁等地区,当时招募的民工达十几万人,最著名的是夹皮沟地区、安图古洞河、大沙河。西北地区新疆准噶尔曾有“破丁数万,年产万两”的记载。青海祁连山酸刺沟有“金城”之称号,门源硫磺河矿区有“月进斗金”之说。至19世纪中叶慈禧时期的同治中期,吉林省夹皮沟、安图曾月产1.5~2.5万两。黑龙江漠河、呼玛;吉林通化;辽宁桓仁、建平;河北迁安;山东平渡、招远、沂水;四川冕宁等地的金矿相继开采。如官督商办的漠河胭脂沟金矿开采砂金,极盛时期招募民工达6万人之多,以手工淘洗和木溜槽重选的方法曾逾七万两。金的选冶技术有了发展;1898年湖南平江最早使用新式选矿机;1896年广西桂县采用新法熔炼金矿;山东招远、平渡,广东增城也使用新法采掘金矿。至1888年全国产金量达13542kg(43.3万两),占当时世界产金量(210.6t)的7%,仅次于美国、澳大利亚、新西兰及当时的帝俄,而跃居世界第五位。其后由于鸦片战争的失利和政治经济因素的影响,黄金产量锐减,到1913年产金量仅只5505kg(17.6万两)。

民国初期在黑龙江淘采砂金仍很兴旺,呼玛金矿在1914~1916年的极盛时期,民工达5万余人,年产金量达3万两。黑河一带有罕达气、五道沟,萝北太平沟、桦南七道沟、石头河

子、驼腰子、穆棱八面通等几次掀起淘金热。在抗战初期至中期我国南方、西南、西北的砂金矿曾一度繁荣,但全国产金量一直呈下降之势,1929年趋近代史上最低点,年产黄金仅5~8万两。到1948年全国解放前夕,全国黄金产量约为10万多两。

新中国成立后,我国黄金生产几经波折,1957年以后,党和政府采取一系列政策,黄金生产才逐渐恢复和发展。1975年以后,我国先后制定了一系列优惠政策和办法,对黄金生产起了积极作用,我国黄金生产才走上正轨,1976年以来黄金矿山投资增长了几倍。各地相继建成了一批新的黄金矿山,老企业生产规模也有所扩大。虽然黄金生产起步较晚,但发展较大,全国黄金产量1972年超过历史最高产量后,在“六五”“七五”期间(1980~1990年)产量翻了三番。在黄金资源勘探和生产上,采取大中小金矿并举,脉金和砂金并举,独立金矿和共生、伴生矿并举,老矿区扩大远景和新开矿区找矿并举的方针,后备金矿资源的储量也大幅度增加。我国现有1000多个县发现黄金资源,已有29个省区的429个县生产黄金,并出现了5万两县和10万两县。据西方资料统计:全世界1992年黄金总产量为2216.5t,而我国1992年黄金产量继南非、美国、澳大利亚、独联体和巴西之后居世界第六位,已成为世界主要产金国之一。见表1-1所列。

表1-1 1988~1992年世界黄金产量前十名(t)

国家 年 份	南 非	美 国	原苏联	澳 大 利 亚	加 拿 大	中 国	巴 西	巴 布 亚 新 几 内 亚	印 度 尼 西 亚	智 利	总产量
1988	621.0	210.0	280.0	157.0	154.8	78.0	102.2	36.6	12.3	26.7	1910.2
1989	607.5	265.5	285.0	203.6	159.5	86.0	101.2	33.8	10.8	29.0	2062.6
1990	605.1	294.2	270.0	243.1	167.0	95.0	84.1	33.0	13.3	33.3	2128.7
1991	601.1	293.5	252.0	236.1	176.6	110.0	78.6	60.8	18.4	33.0	2153.8
1992	614.1	322.2	237.0	240.0	157.4	118.0	76.5	71.2	40.4	39.5	2216.5

我国黄金开采,目前以岩金开采为主。不论岩金和砂金,矿山规模以中小型占大多数,采用的矿山设备均以小型为主。国营矿山进行技术引进和更新,当前已采用国外各种先进的采选冶金工艺和设备。如变单一浅孔留矿法,为多种多样的组合方案;开始采用回采率高的采矿技术,如尾砂胶结充填法已在一些矿山初见成效,或采用效率高的VCR采矿法。地方县办或乡镇办的黄金企业,在技术装备和管理上均有较大提高,1984年地方采金量已占全国产金量的52%,到1985年地方产金量比1980年增长了31倍。

在这期间,我国砂金开采突飞猛进。从1960年在黑龙江金矿局所属罕达气金矿出现第一只我国自行设计和建造的50t采金船开采砂金后,相继又采用水枪-砂泵开采砂金,从此结束了落后的一锹、一镐、木溜槽式的手工土法作业的千年历史,开辟了机械化开采砂金道路。1978年以后,随着对外开放,引进国外先进技术,用机械化进行不同砂矿类型的开采。以船采为主,建造各种斗容的采金船百余只(1989年占砂金产量52%),遍及我国14个省(区),采金船数已居世界第二位;还采用露天工程机械开采配合龙江-1型溜槽或鼓动溜槽、盘选机选矿等多种方法开采小型或阶地砂金,占砂金产量20%以上。

黄金选冶技术在新中国成立之前,因黄金生产基础十分薄弱,黄金选矿和冶炼技术十分落后,除少数矿山采用简单而有限的机械生产外,多数黄金矿山和地方民工仍沿袭古老的人工淘金方式,依靠简单而笨重的铁锹镐头钉丝床进行生产。新中国成立后,随着黄金生产的发展,由一般的单一重选,混汞和浮选,逐步发展到采用多种方法的联合工艺。如氰化提金工艺,浮选与氰化联合处理,重选与浮选联合处理,使我国的黄金选冶工艺日臻完善。近几年,

· 第二篇 黄金矿床开采 ·

第 2 章 黄金矿床地下开采概述

2.1 黄金矿床的工业特性

2.1.1 矿石与围岩的工业性质

矿物：是由一种或数种元素在地质作用中形成的自然产物，具有一定的形态和一定的物理化学性质。矿物的绝大多数是固态，也有液态（如石油、盐溶液）和气态（如天然气）。其中最常见的矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿、石英、长石、云母、方解石等。而金往往以自然金的形式存在。它是金矿床中的主要造矿矿物。

矿石：是指凡在地壳内的矿物集合体，根据现代技术经济条件，能以工业规模从中提取满足国民经济要求的金属或矿产品，就叫作矿石。能从中提取金属的矿石叫金属矿石，如铁矿石、铜矿石、金矿石、银矿石等。能从中提取非金属元素、矿物或直接利用的矿石叫非金属矿石，如磷矿石、石棉、云母、石灰石等。

矿石品位：矿石内有有用成分（元素或矿物）的重量与总成分的重量比，叫作矿石品位，一般金属常用百分数（%）表示，如铜矿石为 0.6%，锡矿石为 0.3%，铁矿石为 35%。而贵重金属（金、银、铂）则用 g/t 或 g/m³ 来表示，如金矿石为 5g/t，即每吨矿石中含金的重量为 5g。砂金品位为 0.2g/m³。根据目前工业技术水平，当矿石的品位低于某一数值时，便无利用价值，则这一数值的矿石品位，叫作最低工业品位，又称为最低可采品位或工程平均品位。最低工业品位也是根据当前国民经济的需要和技术经济条件而确定的最低开采品位。矿体边界上的矿石最低品位，叫作矿体的边界品位，是矿体与围岩的分界品位。在圈定矿体（或矿块）的可采范围时，其全体矿石的平均品位不应低于最低工业品位。

矿体：是矿石的聚集体。矿石按其品位高低分为富矿石和贫矿石。在选择采矿方法时，对富矿开采宜采用损失小的方法，而贫矿开采时，应选用费用低的采矿方法，若在一个矿床中品位分布不均，要贫富兼采。

岩石：是各种地质作用产生的矿物集合体。地壳是由岩石组成的。矿体周围的岩石称为围岩。围岩及夹在矿体中的岩石又称为废石矿石与废石的概念是相对的，是随着国民经济的发展，矿山开采和矿石加工技术水平的提高而变化。一般划分矿石和废石的界限取决于下述因素：国家的经济制度，矿床的埋藏条件及矿石储量，企业规模、采矿与矿石加工技术水平以及地区的技术经济条件和外部环境。

在黄金矿床的开采中，原来最低工业品位为 5~8g/t。而低于边界品位 1g/t 的作为废石不予采掘。由于选矿加工条件的变化，氰化堆浸技术的发展，对低于 0.5g/t 的含金围岩也可被利用，使废石变为矿石，则扩大了矿石的范围，充分回收有限的矿产资源。

金属矿石的种类：按矿物组成和性质，金属矿石可分为：

(1) 自然金属矿石。金属的单一元素存在于矿床中的矿石，称为自然金属矿石，如自然金(Au)、自然银(Ag)、自然铜(Cu)、硫磺(S)等。

(2) 氧化矿石。这是指矿石中矿物的化学成分为氧化物、碳酸盐及硫酸盐，如赤铁矿(Fe_2O_3)、红锌矿(ZnO)、软锰矿(MnO_2)、赤铜矿(Cu_2O)、白铅矿(PbCO_3)等。

(3) 硫化矿石。即矿石中矿物的化学成分为硫化物，如黄铁矿(FeS_2)、黄铜矿(CuFeS_2)、方铅矿(PbS)、闪锌矿(ZnS)、辉钼矿(MoS_2)等。

(4) 混合矿石。矿石中含有前三种矿物中的两种以上的混合物。如黄铜铁矿中包裹自然金的矿石。

矿石与围岩的性质及其对采矿工作的影响。矿石与围岩的物理力学性质，对开采工程影响较大的有：硬度、强度、坚固性、稳固性、结块性、氧化性、自燃性、含水性及碎胀性等。

(1) 硬度。是矿石和岩石表面抵抗工具侵入的能力。它取决于矿岩颗粒的硬度、形状、大小、晶体结构及颗粒间胶结物的情况等，凡是用刀具切削或挤压的方法凿岩，硬度愈高凿岩愈困难。矿岩的硬度还影响到坚固性和稳固性及材料消耗与开掘成本等。

(2) 坚固性。矿岩的坚固性也是一种抵抗外力的性能，其所抵抗的外力，是一种综合性的力，即锹、镐、机械破碎、炸药爆炸等作用下的力。

坚固性的大小，常用矿岩坚固系数(f)表示。它反映矿岩的极限抗压强度，凿岩速度，炸药消耗等的平均值。目前国内常用它表示矿岩的极限抗压强度，将矿岩的坚固性分为十级，其系数值介于1~20之间，被称为普氏系数(原苏联学者普罗托基雅可诺夫的分级法)。 f 值的确定方法是：

$$f = \frac{R}{100}$$

式中： R ——矿岩单向极限抗压强度，98.1kPa。

(3) 强度。矿岩强度是在一定条件下或一定范围内承受某种外力作用而不被破坏的性能，即开始被破坏的极限临界应力值。矿岩的强度有抗压强度，抗剪强度，抗拉强度等。

岩石的抗压强度介于20~40至200~300MPa范围，矿岩的抗剪强度只有抗压强度的1/8~1/2，抗拉强度只有抗压强度的1/15~1/50，其数值的大小顺序是：单向抗压强度>单向抗剪强度>单向抗拉强度。因此，为了加强凿岩爆破效果，应当尽可能使矿岩受拉伸或剪切破坏。

(4) 稳固性。是指矿岩允许暴露面积大小及暴露时间长短的性能。影响稳固性的因素很多，除地质构造破坏的程度和水文地质条件外，与暴露面的形状和大小、支护方法等也有极大关系。

为了正确确定地下采矿方法和采空区的支护方法，矿岩稳固性一般分为五种情况：①极不稳固的。是指掘进巷道或开辟采场时，不允许有暴露面积，否则可能产生片帮或冒落现象，在掘进巷道时，须用超前支护方法进行支护。②不稳固的。在这类矿石和岩石中，允许有不支护的暴露面积在50m²以内。③中等稳固的。这类矿岩的允许不支护的暴露面积一般为50~200m²。④稳固的。允许不支护的暴露面积约为200~800m²。⑤极稳固的。允许不支护的暴露面积可在800m²以上。

必须指出，稳固性与坚固性既有联系，又有区别，上述稳固性的各种情况仅表明大致范围，不能作为具体矿山确定暴露面积的大小以及支柱所受岩石压力大小的确切依据。因为稳