

徐敏时等
编著

79

AU

196.9665

黄金生产知识

冶金工业出版社

TF831

3

3

黄金生产知识

徐 敏 时 等 编著

冶金工业出版社

B 884.77

内 容 提 要

本书是一本黄金生产方面的入门书。它全面介绍了黄金的生产发展历史和现状,黄金的性质和用途,金矿地质、采矿和选矿,金的冶炼及回收等,力图使读者读后对黄金生产有一全貌的了解。文字通俗易懂,适于具有中等以上文化程度从事黄金生产的工人和管理人员阅读。

黄 金 生 产 知 识

徐敏时 等编著

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷38号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 6 1/4 字数 164 千字

1990年 6 月第一版 1990年 6 月第一次印刷

印数00,001~3,500册

ISBN7-5024-0617-4

TD·102 定价3.95元

序 言

金，古代并不是专指黄金，而是金属的总称。在古籍中见有五色金的称谓，即金为黄金、银为白金、铅为青金、铜为赤金、铁为黑金，但没有言及锡。现代人称金银铜铁锡为五金。

在化学元素周期表中，金的化学符号是Au，原子序数为79。金与钌、铑、钯、铱、铂都具有良好的化学稳定性，统称贵金属或铂族金属。

黄金是人类最早发现和使用的金属之一，它以迷人的黄色金属光泽和其他优良特性，赢得人们的喜爱。几千年来，成了财富的同义词，在人类的政治、经济、文化生活中起着重要的作用。

近30多年来，黄金在通讯、电子、航空、宇航、医学等各个领域得到了广泛的应用，日益显示出它在国民经济中具有重要的地位。我国“四化”建设对黄金需求量日益增长，黄金生产也在飞跃地发展，从事黄金生产的矿山和乡镇企业如雨后春笋，职工队伍的新成分日益增多。然而论述黄金生产和使用方面的专著比较少，而入门书和介绍生产知识方面的读物就更少。《黄金生产知识》正是作为一本入门书，用通俗的文字向具有中等以上文化程度从事黄金生产的工人和管理人员介绍有关黄金生产和使用方面的知识。本书涉及到黄金历史、金矿地质、采矿、选矿、冶炼和使用等方面的内容，力图使读者读过本书后能对黄金生产有个全貌的了解。限于作者的水平，书中遗漏错误和不妥之处一定不少，敬请读者和专家们批评赐教，以便再版时改正。

参加本书编写工作的有曹玉琦（第四章第三节）、王亚玲（第二、三章）、徐敏时（其余部分）。全书最后由徐敏时高级工程师（教授级）统一定稿。

作 者

一九八九年四月

目 录

序 言	1
第一章 绪 论	1
第一节 古代黄金生产	1
第二节 金的性质	9
第三节 金的用途	16
第四节 黄金的计量和成色	19
第五节 我国黄金生产简述	22
第二章 金矿地质	24
第一节 金在自然界中的储量	24
第二节 金矿物	26
第三节 块金	28
第四节 金矿床	32
第三章 金矿床开采	37
第一节 采矿术语	37
第二节 脉金开采	39
第三节 砂金矿开采和采金船	46
第四节 金矿开采展望	57
第四章 常规选金方法	63
第一节 选矿术语	63
第二节 选前准备	65
第三节 重选法	86
第四节 浮选法	106
第五节 拣选法	111
第五章 氰化提金法	113
第一节 基本原理	113
第二节 渗滤氰化法	116
第三节 搅拌氰化法	118
第四节 炭浆法提金工艺	123
第五节 炭浸法提金工艺	125

第六节	含金溶液与氰化尾矿的分离·····	123
第七节	金的澄清和沉淀·····	129
第八节	堆浸法·····	132
第六章	混汞提金法 ·····	135
第一节	混汞原理和实践·····	135
第二节	混汞板及其制作·····	142
第三节	汞毒及其防护·····	143
第七章	金的副产品回收和再生回收 ·····	144
第一节	金在有色金属冶金过程中的副产品回收·····	144
第二节	金的再生回收·····	153
第三节	从硫酸烧渣中回收金·····	159
第八章	金的冶炼 ·····	161
第一节	混汞金的炼制·····	161
第二节	氰化金泥的冶炼·····	162
第三节	金的精炼·····	164
第九章	脱水 ·····	166
第一节	浓缩·····	166
第二节	过滤·····	171
第三节	干燥·····	176
第十章	尾矿处理 ·····	177
第一节	尾矿处理方法·····	177
第二节	尾矿库·····	178
第三节	尾矿库的安全·····	182
附录1	常用黄金计量单位重量换算表 ·····	184
附录2	1979~1981年世界主要国家的黄金储备 ·····	185
附录3	金的化学活性 ·····	188
参考文献	·····	194

第一章 绪 论

第一节 古代黄金生产

人类何时发现金和使用金，考古学家还不能提出准确的时间，通常人们把葬有金物的太古墓的下葬日期当作人类开始认识金的正式日子。可见金的发现时间要比这个日子还要早。

在公元前四千年的新石器时代就已经使用黄金了，这可以由在埃及境内发现镶有金柄的石刀得到证实。在随葬品中发现有金项链，其物主葬于公元前4100~3900年间。根据上述考古发现，人类在六千年以前就已经认识黄金和初步掌握了它的炼制技艺。

人类最早发现和使用金，首先是从自然界天然产出的自然金开始的。自然金由于它本身不氧化，具有绚丽的黄色金属光泽，而易于被人们发现；又由于它的可塑性好，便于加工，因此，说黄金是最早为人类使用的一种金属是可信的。

一、我国黄金生产概况

我国在商代中期（公元前14世纪至前13世纪）以前就已经掌握了制造金器的技术。最早发现的黄金实物是商代的产品，距今已有三千多年的历史了。

在河北藁城的商代遗址中，出土有金箔。在河南辉县商代墓中，发现有金叶片。在殷墟中出土有重一两多的金块，还有厚度仅0.01毫米的金箔，这种金箔是经锤锻加工而成的。这说明在商代，我国黄金的加工技艺已经达到一定水平。在西周的卫墓中发现包在铜矛、矛柄和车衡两端的极薄金片，说明当时已掌握了包金技术。在春秋战国时期，还掌握了鍍金技术。在春秋战国时期（公元前770年至公元前221年），楚国使用一种叫“郢爰”的金币，是目前已发现的我国最早的金币。

汉代以前，帝王手中积聚了大量的黄金，一次赏赐多者上几

十万斤^①，少者几千斤。这说明我国古代就发现了不少金矿资源并已逐步掌握了一整套开采、淘洗、炼金和加工技艺。

我国古代生产了多少黄金，很难有一个可靠的数字。外国黄金专家的考证认为在公元500年以前中国共生产黄金170吨，据我国经济史学家的研究认为我国在公元8年时累计黄金量在190吨以上。

19世纪末期，黑龙江省漠河，奉天通化、桓仁，吉林省三姓，直隶迁安，热河建平，山东平渡、招远、沂水，四川冕宁，湖南平江黄金洞等均有金矿相继开采。

清代同治初年(1862年)，黑龙江黑河一带盛产黄金，到光绪八年(1882年)，逐渐集结千余人采金。

清光绪年间，鄂伦春人在黑龙江漠河一带因葬马挖穴得数粒黄金，发现了当时最大的金矿。1887年满清北洋大臣李鸿章和黑龙江将军恭煦主持开办漠河金矿，筹集商股白银16万两，派吉林候补知府李金镛为会办，以官督商办的形式办起了这家金矿。该矿在1896年是极盛时期，年产黄金达7万两，工人达3万多人。

1889年湖南平江县最早使用新式洗选机。1896年广西桂县采用新法熔炼金矿，山东招远、平渡，广东增城也把新法采矿运用于黄金矿山。

清朝末年(1908年)在黑龙江省发现呼玛金矿(包括兴隆沟，韩家园子一带)。当时该矿由地方组织开办。在民国期间(1914~1916年)呼玛金矿是极盛时期，最高年产量达3万两，工人达4万余人。呼玛县的金山镇于1928年被大火烧光之前曾是淘金和炼金的基地。当时在这些地理、气候条件较差的地方，都是人工采选，而且是季节性生产。冬季大雪封山，就停产。

在黑河一带有不少砂金矿于民国时期相继开采。如1925年由私人金矿老板办的兴安金矿(今黑河金矿局罕达汽金矿一带)，1923年开办的逢源金矿(今黑河金矿局五道沟金矿一带)等。这些

① 据考古实物研究，汉代的黄金计量单位斤，约合今重261.12克。

金矿在半个世纪以来,由于受政治和经济因素的影响,时盛时衰。

黑河地区从1862年发现金矿到1934年日本帝国主义的侵略魔爪伸到这一地区为止的半个多世纪,在大小兴安岭一带以手工开采和淘洗砂金产出了大量黄金,个别年份产金量高达12万两。金矿老板为了攫取高额利润,采富弃贫,对金矿资源破坏很大。

抗日战争初期,西南金矿曾一度繁荣,但全国总产量也没有达到清代最高年生产水平。在我国近代黄金史上1888年以来曾有几年年产黄金在43万两以上。这是由于清政府鸦片战争的失利订下丧权辱国的卖国条约,需要向外国侵略者赔款和为了满足满清封建统治者骄奢淫逸的生活曾一度强化了黄金和白银的开采业所致。1913年,年产金量降到了17万两。1929年,我国黄金产量降到近代史上的最低点,年产黄金仅有5~8万两。到1948年大陆解放前夕,全国黄金产量约维持在10多万两。

中国黄金近代史上产金量估计见表1-1。

表 1-1 中国黄金近代史上产金量估计

年 份	1888	1913	1929	1935	1936	1937
产量, 千克	13542	5505	1555	4517	6263	7228
年 份	1938	1939	1940	1941	1942	
产量, 千克	8411	10269	10269	10358	10079	

表1-1中的数据是根据1940年德文版G.贝尔格、F.费利登斯堡所著《金》一书转引的。1888年的黄金产量只是我国近代黄金史上较高年产量之一。作者引用这一年的数字是因为1888年是世界金矿生产的“青黄不接”时期,美国、澳大利亚的金矿已由极盛转为衰落,南非的黄金生产尚未发展起来,这一年的产量数字能反映世界金矿生产史的转折。

根据民国期间当局的调查统计资料,1912~1942年中国近代

表 1-2 中国近代黄金史上金产量

年 份	1912	1913	1914	1915	1916
产量, 两 ^①	80696	97694	128589	106187	103281
年 份	1921	1925	1926	1927	1929
产量, 两	108630	197900	149389	101633	82900
年 份	1930	1931	1932	1933	1934
产量, 两	113986	128505	105884	112419	125426
年 份	1935 ^②	1936	1937	1938	1939
产量, 两	144550	200426	231308	269157	300829
年 份	1940		1941		1942
产量, 两	328601		331472		322540

注: ① 每两重31.25克。

② 1935~1942 年黄金 产量包括当时的外蒙(现蒙古人民共和国)产量。台湾省的产量未统计在内。

黄金史上金产量列于表1-2。

我国台湾省是黄金资源比较丰富的省份。1890年夏发现基隆川筋砂金矿, 1893年发现瑞芳金矿, 1894年发现金瓜石金矿, 1901年9月又在牡丹坑山发现大型富金矿。台湾的选冶技术及装备当时均较先进, 拥有浮选、重选、氰化等各种机械化的选金厂和氰化厂。1908年黄金产量达到1230.079千克(合39362.534两)。产量一直持续了12年, 1915年达到1286.2472千克(41160两), 是台湾省黄金产量的高峰之一。1934年在台湾省建设了大型氰化厂后黄金产量又出现了第二个高峰。台湾在沦陷期间的黄金产量均统计在日本帝国的产金数字之内(表1-3)。

表 1-3 台湾省在近代的产金量，千克

1908年	1915年	1929年	1930年	1931年
1230.079	1286.2472	462.251	487.620	553.920
1932年	1933年	1934年	1936年	1937年
817.073	652.130	1046.197	4687.5	4687.5
1938年	1939年	1941年	1943年	1944年
4687.5	4687.5	3125	2187.5	781.25

建国后，我国黄金生产几经波折，有的年份还达不到建国初期的水平。1957年以来，党和政府采取一系列政策，黄金生产才逐渐恢复和发展起来。1978年以后，我国黄金生产才走上中兴之路。1984年比1978年增长1.4倍。

我国黄金资源丰富，分布很广，遍及全国 800 多个县(旗)。

旧中国对金矿地质勘探工作开展较差。有些省份在建国初期几乎是产金空白省，现今已发展成为重点黄金省，如河南省、陕西省等。我国的地质构造条件多样，金矿点和金的异常分布非常广泛，具有广阔的找金前景。一些老矿山和在老矿山附近开展金矿地质工作的前景也是可观的，具有相当大的潜力。有些地区，特别是西部地区，几乎是找金的处女地。以陕西省为例，旧中国几乎没有留下黄金储量，现在却已查明黄金储量可以百吨计。世界上某些重要的金矿床类型，在我国也已陆续发现，如破碎带蚀变型金矿床等。

“七·五”期间(1986~1990年)，我国黄金找矿工作将有一个大发展。将采取大、中、小型金矿并举，脉金和砂金并举，独立金矿和共生、伴生金矿并举、老矿区扩大远景和开展新区找矿并举的方针，大力发展我国黄金工业。

1983年6月15日国务院发布了《中华人民共和国金银管理条例》，1986年3月第六届全国人大常委会第十五次会议通过《中华人民共和国矿产资源法》，先后制定了一系列优惠政策和办法对我国黄金工业的发展都起了积极的作用。1976年至1984年，黄金矿山基本建设累计完成投资额比前26年（1949~1975年）增长了几倍。国营金矿1984年黄金产量比1975年增长一倍，平均每年递增5%以上。地方乡镇企业在技术装备和管理上均有较大提高。1975年全国地方采金量占全国黄金总产量的17.8%。1983年，地方采金量已占全国黄金总产量的43%。1984年地方采金量已占全国黄金总产量的52%。1985年地方采金量已比1980年增长31.18倍，出现了年产黄金十万两县和五万两县等。

旧中国以民间土法采金、淘金为主和屈指可数的几座机械化选金厂，经过30多年的努力，逐步发展成为包括金矿地质、现代化矿山企业、黄金冶炼和相应的基本建设企业和黄金机修行业在内的现代黄金工业。此外，还有黄金科研、设计和专门培养黄金工业建设人才的专门学校。世界上先进国家的黄金企业采用各种采选冶工艺和设备已在我国逐步推广。在金的分析方面，矿石中百万分之一含金量及一方岩芯中十亿分之一含金量的测定方法，已在我国普遍应用，并达到国际水平。

二、世界黄金生产概况

由于黄金身价与日俱增，世界各国普遍重视黄金的开采，目前有70多个国家生产黄金，加之黄金的特殊地位，几乎大部分国家均有黄金储备，近年来各国的黄金储备量见附录2。

世界的主要产金国家是跨欧亚两洲的苏联，年产金量一直较高，1938~1950年居世界首位。亚洲的产金国家有中国、日本、朝鲜、菲律宾、印度；欧洲国家除苏联外，其他各国的产金不多，比较重要的国家有法国、瑞典和罗马尼亚。非洲的南非是世界上在金矿资源上得天独厚的国家，产金量很长时间居世界首位，有的年份比苏联的产金量还要高出一半以上。此外，还有罗得西亚、黄金海岸；北美洲有美国、加拿大、墨西哥；南美洲的

哥伦比亚，曾被誉为“黄金之国”；此外，还有智利、秘鲁、巴西、委内瑞拉；澳大利亚及澳洲的新西兰、巴布亚新几内亚等。

古代世界黄金产量很难估计。中世纪（公元500~1492年）开采得比较少，这段时间的统计误差对总数不会有太大影响。最近100~150年间的黄金产量是比较可靠的。

根据多学科的专家们的考证，在中世纪以前，生产了1万到1.5万吨黄金，最多不超过2万吨黄金。

中世纪前世界黄金产量的估计见表1-4。

表 1-4 中世纪前世界黄金产量，吨

时 期	欧 洲	亚 洲	非 洲	合 计
公元前4500~2100年 (石器 and 铜器时代)	50	140	730	920
公元前2100~1200年 (青铜器时代)	400	525	1720	2645
公元前1200~50年 (铁器时代)	1810	895	1415	4120
公元前50年~公元500年	1710	542	320	2572
公元500~1492年 (中世纪)	571	903	838	2312
中世纪前合计	4541	3005	5023	12569

公元1493~1930年间的黄金产量，许多研究人员所提供的数据大体相同，约为33000吨到34000吨(见表1-5)。1931~1938年世界黄金产量见表1-6。

公元1931年至1979年的黄金产量约为4万吨。那么人类自古以来到二十世纪七十年代末共约生产黄金九万三千吨。不久前，美国一家杂志曾推测这一历史期间生产的黄金约为12.44万吨(40亿盎司)。

由于黄金在国际金融和现代工业中的重要地位，70年代末又形成了一起新的“淘金热”。苏联、美国、澳大利亚、巴西和我国勘探出不少新金矿。由于金价的上涨，许多过去认为没有开采价值的老矿山也在重新恢复生产。

表 1-5 1493~1930年世界黄金产量

时 期	产 量, 吨	年 平 均 产 量, 吨
1493~1600	755	7.05
1601~1700	912	9.12
1701~1800	1900	19
1801~1810	176	18
1811~1820	116	12
1821~1830	142	14
1831~1840	203	20
1841~1850	548	55
1851~1860	2005	201
1861~1870	1890	189
1871~1880	1732	173
1881~1890	1624	162
1891~1900	3162	316
1901~1905	2427	485
1906~1910	3261	652
1911~1916	3508	702
1917~1920	2957	591
1921~1925	2705	541
1926~1930	3056	611
1493~1930年 合 计	33079	75.52

表 1-6 1931~1938年世界黄金产量

年 份	产 量, 吨
1931	695
1932	751
1933	790
1933	731~859
1935	785~953
1936	1025~1097
1937	1128
1938	1010~1157

西方国家1984年共新建和扩建了生产29种金属和矿物的584座大矿山，其中金矿就有171座，占总数的29%以上。1984年，西方国家的黄金产量为1149吨，其中主要产金国的产金量为：南非683吨，加拿大81.3吨，美国71.5吨，巴西55.1吨，澳大利亚39吨。

第二节 金的性质

一、物理性质

黄金倍受人们的喜爱，长久不衰，除了它美丽的外表之外，更重要的是它的许多特性，使它身价百倍。

金是化学元素周期表中的第IB族元素，原子序数为79，原子量为197.967，自然金是单同位素体。已知它有质量数为183~204的同位素共22个，只有同位素197的金最稳定。

金的熔点是1064.43℃。由于测量手段的不同，熔点在1062.7~1067.4℃范围内变化。金的沸点是2808℃。熔融的液态金会随着温度的升高而挥发。“真金不怕火炼”是指在1000~1300℃的温度范围内而言。金的挥发速度与加热时周围的气氛有关，如在煤气中蒸发金的损失量为空气中的六倍；在一氧化碳中的损失量为空气中的两倍。金的挥发速度和金中杂质的性质也有极大的关系。

金的密度大。手中放一小块黄金，感到沉甸甸的，就是因为金的密度大。金的密度在20℃时是19.32克/厘米³。在不同的温度下其密度也略有差异。18℃时金的密度为19.31克/厘米³，1063℃熔化时为17.3克/厘米³，1063℃凝固状态时为18.2克/厘米³。直径46毫米的金球或边长3.71厘米的立方体重1千克。

金韧性很好，很柔软。在采金场，如拣到一颗黄金豆，常把它轧扁了，用牙咬咬，用手掰掰，看是不是自然金。据说金还有点甜味。这是幸运者怀着喜悦心情对自然金的最初鉴定。金的矿物学硬度为3.7。布氏硬度为18.5千克/毫米²。延伸率为40~50%，横断面收缩率为90~94%。由于具有很好的韧性，金可以

制成极薄（通常可达十万分之一厘米）的金箔，1盎司黄金（31.103481克）制成的金箔可以贴满约3米²的面积。在现代加工条件下纯金可加工成厚度为 0.23×10^{-8} 毫米的金箔，这样薄的金箔在显微镜下观察仍然致密。

金的延展性良好。通常1克金可拉成320米长，在现代加工条件下可拉长到3420米以上。用金丝和丝线交织成各种图案，这就是所谓的“织金”和“繡金”古代帝王和贵族用作服饰。在河北满城出土的著名的金缕玉衣就是用很细的金丝合股编成的，金丝直径经测定为0.14毫米。金缕玉衣的制成年代为西汉中叶，公元前二世纪末。

金是热和电的良导体，它的传导性能仅次于铂、汞、铅和银。

金粉在温度低于其熔点的条件下，必须加压才能使之熔接在一起。

金的结晶属等轴晶系。晶体的形状呈立方体或八面体。晶体经熔化后再凝结时，呈不规则的多角形。冷却得越慢，晶体就越大。

金会因渗入杂质而变脆。铅、砷、铂、镉、铋、碲都会使它变脆，以含铅最为明显。含铅达1%的金合金，如冲压一下就会变成碎块。纯金中加入0.01%的铅，就会使金的良好延展性完全丧失。

金有悦目的草黄色金属光泽。金在所有金属中，颜色最黄。在自然界中见不到纯金。含有杂质的金和含有其他元素的金合金，颜色变化很大。钯的含量高使金呈灰白色。铜金合金的颜色呈红色。含银使金变淡黄至浅绿色，含银量超过25%，银金合金呈土白色。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。这是由于含有其他元素的金的光谱起变化了。人的眼睛对光谱的黄绿区域（0.55微米）十分敏感，因此金合金的反射能力有微小的变化，都使人感到颜色发生变化。金的不寻常的颜色的本质是直接和它的电子结构特性相联系着的。

金很容易被磨损，变成极细的粉末。这也是黄金以分散状态

广泛分布于自然界的原因。纯金首饰常年配带会减轻分量而成为不可挽回的损失。因此，金首饰和金币一般都要添加银和铜，以提高硬度而且会使其色泽更加绚丽。

金银合金、金铜合金、金铂合金、金钯合金以及和其他金属形成的合金都不是化合物，而是固熔体。这些合金与含有银、铜等杂质的自然金也有本质的不同。前者是金属熔化后又凝固了的固熔体，具有均质的结构，而自然金则是从水溶液中析出的。

许多金属能和金形成合金的原因是这些金属的原子半径与金的原子半径很接近。金的原子半径为1.46埃；铋的原子半径是1.46埃；银是1.44埃；铂是1.39埃。

二、化学性质

金在化学元素周期表中和银、铜是同类元素，但它的化学性质却和铂族金属十分接近。

金和三价金间的电极电势为1.5伏。由于这个值很高，无论是稀的或浓的盐酸、硝酸、硫酸单独使用都不能溶解它。在盐酸中如有氧化剂（二氧化锰、氯化铁和铜）存在以及有氯存在又在高温高压下也可使金溶解。金易溶于王水（盐酸和硝酸3:1的混合剂）中。

金与下列酸、碱、盐气体等无相互作用：硝酸（ HNO_3 ），硒酸（ H_2SeO_4 ），硫酸（ H_2SO_4 ），盐酸（ HCl ），高氯酸（温度低于370K），酒石酸，柠檬酸，醋酸，硫化氢，碱溶液（ NaOH 或 KOH ），氯（温度为410~420K以下）、空气。

金与下列试剂有相互作用：氯水，溴水，溴化氢（ HBr 在室温下作用不大），碘溶液（ $\text{KI} + \text{I}_2$ ，室温），酒精碘溶液（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{I}_2$ ，室温）盐酸氯化铁溶液（ $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ ，在室温下作用不大），氰化物溶液（在有氧和氧化剂时），氯（温度高于420K），王水，乙炔（ C_2H_2 ，温度为753K时），硫代尿素（硫脲） $\text{NH}_2 \cdot \text{CS} \cdot \text{NH}_2$ ，硒酸、碲酸和硫酸的混合酸等。

在一定条件下，某些酸、碱、熔化的各种盐类及卤素介质也会对金产生腐蚀现象。现将各种介质对金的腐蚀情况列于表1-7。