

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

128



冶金工业出版社

B

38411

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

(北京北校街大街景院路电话39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。金与钨、铼、钼、铌、钽、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	125
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)，黑龙江漠河一带盛产黄金，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。

在漠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(今漠河金矿局罕达汽金矿一带)，1923年开办的逢源金矿(今漠河金矿局五道沟金矿一带)等。这些

① 据考古实物研究，汉代的黄金计重单位斤，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	1565	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	105684	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 （石器和铜器时代）	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“铺金”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波长起变化了。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，而是固溶体。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溶体，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与银、铜是同族元素，但它的化学性质却和铂族金属十分接近。

金和三价金离子的电极电势为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（二氧化铋、氯化铁和铜）存在以及有氧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。

表 1-7 各种介质对金的腐蚀

介 质	温 度 °C	试验时间 时	腐蚀速度 毫克/ (分米 ² ·昼夜)
HF	室 温		0
10%的磷酸	100	5	2.4
冰醋酸	100	4	1.4
10%的硫酸铜	100	5	0.0
干 氯		23	7.8
湿 氯	100	—	865.0
饱和氯水	100	18	1510.0
干 溴	100	21	1770.0
湿 溴	100	21	672
饱和溴水		23	1750
干 碘	室 温		微 量
湿 碘	室 温		0.0
醇中的含碘溶液 (浓度5%)	室 温	24	12.0
王 水	22		腐蚀很快
王 水	100		同 上
湿硫化氢	室 温	1080	0

表 1-8 金在各种介质中的行为

介 质	温度, °C	评 价
H ₂ SO ₄	室 温	几乎没有影响
H ₂ SO ₄	100	同 上
发烟硫酸	室 温	同 上
过二硫酸	室 温	同 上
硒 酸	室 温	同 上
硒 酸	100	同 上
70%的硝酸	室 温	同 上
70%的硝酸	100	同 上
发烟硝酸	室 温	轻微影响
王 水	室 温	腐蚀很快
40%的HF	室 温	几乎没有影响
36%的盐酸	室 温	几乎没有影响
36%的盐酸	100	同 上
溴氢酸 (密度为1.7克/厘米 ³)	室 温	同 上

续表 1-8

介 质	温度, °C	评 价
碘氢酸 (密度为1.75克/厘米 ³)	室 温	几乎没有影响
氯 酸	室 温	同 上
氯 酸	100	同 上
醋 酸	—	同 上
柠檬酸	—	同 上
酒石酸	—	同 上
氟氢酸溶液 (有氧时)	—	腐蚀严重
磷 酸	100	几乎没有影响
氟	室 温	同 上
氟	100	同 上
干 氯	室 温	微量影响
湿 氯	室 温	腐蚀很快
氯 水	室 温	腐蚀很快
干溴 (溴液)	室 温	腐蚀很快
溴 水	室 温	同 上
溴	室 温	微量影响
碘化钾中的碘溶液	室 温	腐蚀很快
醇中的碘溶液	室 温	腐蚀严重
氯化铁溶液	室 温	微量作用
硫	100	几乎无影响
硒	100	几乎无影响
湿硫化氢	室 温	几乎无影响
硫化钠 (有氧时)	室 温	腐蚀严重
氟化钾	室 温	腐蚀快
阳极金在含氟卤酸或氟化物的溶液内	室 温	腐蚀严重或腐蚀很快

表 1-9 金在一些溶盐中的腐蚀结果

溶 盐	t , °C	重 量 损 失 毫克/分米 ² ·昼夜
KHSO ₄	440	0.0
KCN	700	3600
NaCN	700	384
1KCN + 2NaCN	550	480
KNO ₃	350	0.0
NaNO ₃	350	0.0
NaOH ^①	350	9.6
Na ₂ O ₂	350	2000
Na ₂ CO ₃ ^①	920	48

① 在还原气氛中。

金在各种介质中的行为列于表1-8。金在一些溶盐中的腐蚀结果列于表1-9。

金的化学性质稳定。除碲、硒、氯等几种元素外，金与其他元素在通常条件下不容易发生化学反应而生成化合物。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。常见的伪金是铜和锌合金制成的。首饰业使用这种合金制成亚金首饰，其颜色类似18K金的颜色，新的时候与金的外表很相似，时间一久发生氧化而原形毕露。特定的条件下，金也可以制成多种化合物。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、雷酸金等均可制成。

金的化合物很容易还原为金属金。使金还原能力最强的金属是镁、锌、铁和铝。在氰化法提金工艺中就是利用这一性质使用锌粉置换的。

有机物质也能还原金，如甲酸、草酸、对苯二酚、联氨、乙炔等。

金化合物的还原剂很多。高压下的氢和电位序在金之前的金属以及过氧化氢、氯化亚锡、硫酸铁、三氯化钛、氧化铅、二氧化锰、强碱和碱土金属的过氧化物都可以作还原剂。还原能力较差的是铋、砷、汞、镍和钴。铬、钼、钨、钛和铂不能还原金。

有时，还原后的金不纯，是混合晶体或含有金属还原剂的金化合物。如用铜还原金时，就会析出AuCd。

金的微粒在胶状溶液中带负电。在电解过程中，金的微粒沉积到阳极上，形成黑色膜。

三、其他特殊性质

金已有22个放射性同位素。这些同位素可用中子、质子、重氢核、 α 粒子和 γ 射线轰击稳定的同位素Au¹⁹⁷或铂、铀、汞的靶子取得。只有原子量为197的这种金同位素才是稳定的。其原子核有79个质子和118个中子，外层有79个电子。

在低能情况下，俘获由 γ 射线释放的电子是天然金最重要的核反应。

从科技应用的角度看，金的放射性同位素Au¹⁹⁸和Au¹⁹⁹是最有价值的。

金的放射性同位素在医学诊断和治疗某些疾病方面得到了广泛的应用，其中包括对恶性肿瘤的治疗以及对生理体系的功能状态和代谢过程方面的研究。在治疗上常采用单位活性为30~50居/克的金属金和单位活性为15~30居/克的胶体金制剂。金的胶体有生理惰性，既不参与新陈代谢又无毒。

表 1-10 金同位素及其半衰期

同 位 素	半 衰 期	同 位 素	半 衰 期
Au ¹⁸³⁻¹⁸⁴	276秒	Au ¹⁹⁵	31秒；1.85昼夜
Au ¹⁸⁵	420秒	Au ¹⁹⁶	13小时；5.55昼夜
A ¹⁸⁶	720秒	Au ¹⁹⁷	7.4秒
A ¹⁸⁷	900秒	Au ¹⁹⁸	2.67昼夜
Au ¹⁸⁸	600秒	Au ¹⁹⁹	3.15昼夜
Au ¹⁸⁹	2520秒	Au ²⁰⁰	2880秒
Au ¹⁹⁰	2700秒	Au ²⁰¹	1560秒
Au ¹⁹¹	3小时	Au ²⁰²	25秒
Au ¹⁹²	4.1小时	Au ²⁰³	55秒
Au ¹⁹³	3.9秒	Au ²¹⁴	25秒
Au ¹⁹⁴	18小时		

采用金同位素治疗恶性肿瘤是基于它具有放射射线的能力。从治疗的角度看，同位素 Au^{198} 具有2.69昼夜的半衰期。这样，患者便可在两个半衰期内（约5.5昼夜）获得全部射线的四分之三。 Au^{198} 放在肿瘤上照射的时间，其射线量足以破坏对射线最敏感的癌细胞。

表1-10介绍金同位素的半衰期。

第三节 金的用途

一、古代黄金用途及其发展

古代，黄金一直作为货币流通。我国在春秋战国时期就有金币计量行使。当时楚国使用一种金币叫郢爰，郢爰是目前已发现的我国最早的金币。以金属货币而言，我国的正式金属货币起源于周，发展于春秋，盛行于战国，统一于秦。外国的货币学家和考古学家认为外国第一枚金币是公元前七世纪在吕底亚诞生的，是用含金73%、含银27%的合金冲制的。

我国唐代，黄金大量用于馈赠、奉献、赏赐、赌博、路费、储蓄等等。在魏晋时代（公元220~420年）黄金的使用曾一度衰落，甚至丧失其作为货币的地位，但在南北朝中期和唐代又得到了恢复。

宋朝，黄金较唐代的用途更为广泛，黄金还用来赔偿、借债、折款纳税、回收纸币等。

元代，黄金不再局限于在王公贵族之间流通，开始和银同时在民间作为货币公开流通。

明朝初年曾禁令金银的私相买卖，但仍然作为货币使用。到了英宗皇帝执政（公元1436年），白银的使用已比较普遍，黄金则作为货币之上的一种财宝。

清初，社会上还有大量的黄金流通。康熙年间作为国际贸易的手段也曾经流向国外。

由于金具有良好的延展性可制成金箔，我国佛教兴起之后，多作为佛像的装饰。佛像贴上一层金箔，称为金身。

雄伟高雅的古代建筑也要用黄金装饰，在关键的部位起“画龙点睛”的作用。俄国伊萨基辅大教堂的圆屋顶和室内装饰都采用结着金法着金，据记载耗金达280千克。苏联克里姆林宫内的勃拉戈维申斯克教堂的圆顶也镀有一层金。我国西藏布达拉宫中的第一座灵塔殿堂三层，塔高14.85米，塔身全部用金包裹，耗金3721.3125千克，五世达赖的遗体就存放在灵塔内。

金最早的用途之一是作首饰。首饰是人类自我装饰和室内陈设装饰的总称。首饰业一直是耗用黄金的大户。十九世纪电解液镀金法和电极镀金法的发明，出现了大量镀金首饰和餐具，黄金开始较多地闯进了平民的生活领域。

二、金的工业用途

黄金的需求比较复杂，其用途大体上可分为工业用金和非工业用金。

由于金具有许多优良特性，所以在现代工业中也占有一席之地。但是，由于它稀少和昂贵，加之又直接或间接地起货币的作用，因而限制了它在工业和科技部门的应用。

工业用金的范围大体上可分为下述几个行业：首饰业，电子工业和通讯技术，玻璃工业，钟表业，自来水笔业，建筑装饰业，医疗事业，航空工业，宇航工业，制作金币和奖章业，等等。

严格说来，首饰业、镶牙、制作金币和奖章用金都不应该列入工业用金的范围。但各国在统计用金的范围时都是按此归口。为了便于说明问题，仍按这一分类介绍用金的分类。

二十世纪七十年代，世界工业用金的统计见表1-11。

黄金在现代工业中的应用也就是近30~35年的事情，其用量也仅占总用金量的15%左右。高昂的黄金价格和在国际金融界的特殊作用，促进了黄金代用品的制造，但完全具备黄金性质的代用品现在还没有找到。正是黄金的特殊地位限制了它在现代技术部门更加广泛地应用，而不是黄金无用。

如上述，黄金具有极高的抗腐蚀介质的稳定性，它的原子核

表 1-11 世界工业用金统计表

行 业 或 部 门	1970年		1971年		1972年	
	千 克	%	千 克	%	千 克	%
首饰业	1063620	79.5	1057400	78.9	992090	77.2
电子工业	93300	7	90190	6.7	108850	8.6
镶牙业	65310	4.9	71530	5.3	71530	5.6
其他工业部门	62200	4.6	68420	5.1	71530	5.6
金币和奖章	52370	4.0	52870	4.0	40430	3.1
合 计	1337300	100	1340410	100	1284430	100

行 业 或 部 门	1973年		1974年	
	千 克	%	千 克	%
首饰业	488270	62.0	223920	51.4
电子工业	130620	16.6	93300	21.4
镶牙业	74640	9.5	62200	14.3
其他工业部门	71530	9.1	52870	12.2
金币和奖章	21770	2.8	3110	0.7
合 计	786830	100	435400	100

具有较大的捕获中子的有效截面，金对红外线的反射能力接近100%，这些良好的性能使金在电子技术、宇航工业、通讯技术和化学工业中占有重要的位置。

在电子工业中，90%的金都用在镀层上。电子工业和它有关的部门是技术用金的大户。在这些部门里，金被广泛用于压力焊接或超声波焊接集成电路、接插件、制造细导线、焊接晶体管元件等。

金的同位素对治疗恶性肿瘤起一定作用。同位素 Au^{198} 具有适宜的半衰期，放射线足以破坏癌细胞。

同位素 Au^{198} 在试验金属扩散过程方面得到了广泛的应用。

在研究化学和物理吸附的作用和确定各种化合物的溶解度方面也使用放射性金属金。利用金的示踪原子还可以无损伤地辨认古玩的真伪。

微电子工业中广泛使用具有不同电阻率的金基材料。

宇航工业常使用金焊料。使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。镀金用在各种宇航仪表上可以防止太阳的辐射，因为镀金层可以反射掉98%以上的红外线。美国“阿波罗”号宇宙飞船上的仪表等都采取镀金处理。如在喷气式发动机的油嘴上和宇航飞行器的燃料供给系统的部件上均镀有金。这是利用了金具有高反射率并兼有低辐射率的性能。薄金膜的防辐射功能在许多工业部门的设备上得到应用。建筑物的玻璃窗镀一层0.13微米的金膜可以把红外线反射回去，室内在夏季相当凉爽。这种薄膜在反射光下呈褐色，而在入射光线下呈天蓝色。如果玻璃上通上电，玻璃窗会长期保持清洁透明。船舶上的望远镜玻璃镀上一层金，可以在一年四季都保证视野清晰。

在化学工业中，金用于输送具有腐蚀性物料的钢管覆层。3%钯和金的合金以及20%钯和金的合金可用在捕收铂催化剂的生产上。在人造丝生产中制造喷丝头时金铂合金可以替代铂铑合金。

在测量技术上，控制温度时，特别是控制低温，需要有准确的测量手段。在这种测量低温的情况下，几乎都采用金钴合金和金铬合金。

在制造表壳和自来水笔尖上，人们都以金合金制品为上乘。

在科研方面金用于捕获慢中子。用金的放射性同位素研究金属和合金中的扩散过程。

牙科医生每年还要使用黄金供镶牙用。在医学上还使用含金盐的各种制剂，用于治疗肺结核等疾病。

第四节 黄金的计量和成色

一、黄金的计量

自古以来，黄金的计量随着历代度量衡的变化而多有变异。世界各国也不相同。

公元前 221 年，秦始皇统一全国后，把黄金作为货币中的上币，其计量单位为溢。1 溢等于 20 两。秦以 16 两为 1 秦斤，24 铢为 1 两。据出土文物考查 1 铢重 0.68 克，那么 1 溢约合今重 326.4 克。

《汉书·食货志》中提到：“黄金方寸，而重一斤。”这里所指的“方寸”和“斤”并不是 1 立方寸的黄金重 1 斤。据考证，《汉书》中所指的“方寸”是指金版的宽和广为周尺的 1 寸（约 2.31 厘米），厚约为周尺七厘（约 0.1617 厘米）；“斤”是“𦔁”字的省略写法，“𦔁”是指经过斤斧断制成的金属小块，据出土实物称量，一“斤”（𦔁）的重量约为 15~16.35 克。

汉代初期，黄金的计量单位仍用秦制“溢”。当时对功臣的赏赐多用黄金，一次赏赐上百溢。汉兴时常把 1 斤金叫 1 金，当时 1 金黄金值一万个三铢铜钱。1 个三铢铜钱约重 3.04 克。

两汉时 1 金黄金的重量比秦时 1 斤黄金重量减少了 20%。两汉时 1 金（1 斤）黄金重量相当于 261.12 克。

新中国成立后国务院统一了度量衡单位，金以千克和吨计量，但多年来习惯用两计量，1 两等于 31.25 克。

当今世界使用的黄金计量单位繁多，通常用盎司，也有用喱，磅，本尼威特，公吨，短吨的。帝俄时代还使用俄磅等重量单位。

为了便于读者对当今世界各国对金的计量有一个全面了解，现将常用的金计量单位换算关系列于附录 1 中。

二、成色表示法

任何一种金制品，包括金锭，都应铸有表示该金制品纯度、国家、炼金厂和制成日期的标记。黄金的成色有几种不同的表示方法。

黄金可与多种金属形成合金。在这些金基合金中含金量的多少就是它的成分或称成色。对金合金和金锭往往只表示含金量，而对其他添加金属的含量或杂质不予表示。金合金的颜色随添加金属的种类和比例而变化。常用金合金的颜色见表 1-12。

表 1-12 常用金合金的颜色

合 金 颜 色	合 金 中 金 属 含 量, %		
	金	银	铜
绿 色	75	25	0
浅绿黄色	75	21.4	3.6
浅 黄 色	75	16.7	8.3
鲜 黄 色	75	12.5	12.5
浅 红 色	75	8.3	16.7
橙 黄 色	75	3.6	21.4
红 色	75	0	25

除表中列出的颜色外，还有深红色的，含78%的金和22%的铝。

民间从色泽上判断成色有个谚语：七成者青；八成者黄；九成者紫；十成者足赤。自古有“金无足赤”之说，这确是事实。目前，即使是6个“9”的高纯度金也含有微量的铜、锌、锡等杂质。通常的表示法是以百分比表示金含量。还有把金含量按重量分成1000份的表示法，这种方法是苏联在1927年建立的冶金标记制，如在金件上加583的标记，即表示此金件含金58.3%。

在首饰业、金币和金笔制造业中常用“开”(K)表示黄金的成色。K金按其含量由高到低分为：24K，22K，20K，18K，14K，12K，10K，9K，8K等。1K的含金量为4.1666%。这样就可以算出金制品的含金量，如24K金含量为99.998%，视为纯金；22K金含量为91.6652%；20K金含量为83.332%；18K金含量为74.9988%；8K金含量为33.3328%。

K(开)的来源与表示宝石的重量单位“克拉”有联系。因为“克拉”和“K”都来自Carat或Karat这个词。本来，金的成色单位亦称“克拉”，如称24克拉金，18克拉金，8克拉金，等等。为了有别于宝石的重量单位，人们采用“K”作为金成色的单位符号，取Karat的第一个字母“K”来表示，又赋予K以准确的含金量标准，而“克拉”则用作宝石的重量单位，现今宝

石重量单位 1 克拉为 200 毫克。

1926 年以前苏联曾沿用旧俄制的成色表示法，它表示在 96 份合金中含有多少份纯金。直到今天，在苏联仍有用“96 金”表示法的。这种方法多半用来标示铸造金币用的金块。

据《苏联大百科全书》1955 年版，现将各种制度的黄金纯度列于表 1-13。

表 1-13 几种黄金纯度表示法的关系

公 制	俄 制	K 金 制	配加金属	备 注
1000	96	24		纯 金
958 ^②	92	23	铜	最高纯度的首饰合金
916	88	22	铜	不列颠金币合金
900	86.4 ^①	21.6	铜	国际金币合金
750 ^②	72	18	铜、银	贵重首饰制品合金
583 ^②	56	14	铜、银	首饰合金
500 ^②	48 ^①	12 ^②	铜	廉价首饰制品合金
375 ^②	36 ^①	9	铜、银	同 上

① 在该制度中金含量的成色数在实际上并不使用。

② 苏联国家标准规定用于首饰制品的金合金。

第五节 我国黄金生产简述

我国黄金矿产资源丰富，大陆有 29 个省、自治区和直辖市都有黄金资源，台湾省也有丰富的黄金资源。台湾省的黄金资源是仅次于石油和煤炭的重要矿产之一。

解放后随着黄金工业的发展，到 1985 年仅大陆各省、自治区和直辖市就有 429 个产金县和几十个重点黄金矿山企业。大中小型选金厂和氰化厂分布在全国二十六个省市，有几十万职工队伍。各县从事采选黄金的人数达 23 万之多，其中建有机电化选矿厂或采金船的矿山企业人数达 5 万多人。

目前，我国的重点产金省区有：山东、河北、河南、黑龙江、辽宁、内蒙古、吉林、湖南、广西、陕西等。

现按矿石类型对我国金矿及选金厂的情况简述如下。

1. 砂金矿。几乎均使用采金船，在船上进行跳汰或溜槽粗选和摇床精选。此外，有的集体采金者使用小型竖井和洗选机组、人工淘洗器械。

2. 含金黄铁矿型。采用浮选法，如金厂沟梁金矿，金牛山金矿。金厂沟梁金矿曾进行过氯化挥发提金工艺的试验，但未在生产上应用。

3. 含金黄铁石英脉型。采用混汞、浮选和浮选精矿氧化。这类矿山较多，有五龙四道沟金矿，招远金矿灵山分矿，金厂峪金矿，焦家金矿，新城金矿，东南金矿，海沟金矿，宽河金矿，红花沟金矿等。

4. 铜金石英脉型。采用混汞-浮选，浮选氰化法，如招远金矿（玲珑），南京铜井铜矿，小西南岔金矿，夹皮沟金矿，二道沟金矿等。

5. 多金属含金石英脉，主要采用混汞-浮选、重选、氰化等联合选矿方法。如文峪金矿、秦岭金矿等。

6. 含金氧化矿石英脉型。采用碳浆法，如张家口金矿，潼关金矿，灵湖金矿、赤卫沟金矿等。

7. 含钨锑等多种金属的金矿型，采用浮选法。如湘西金矿。

峪耳崖金矿和广西某金矿曾用硫脲提金做过半工业试验，此种方法在我国仍处于工业试验阶段。其特点是浸取黄金的溶剂用硫脲代替氰化物，对环境保护，创造新的工作环境是一项有意义的课题。在国外，主要是苏联在这方面做过大量的研究工作。对其成果应借鉴于我国工业实践（见第八章）。

第二章 金矿地质

第一节 金在自然界中的储量

据统计，金在地球中的总量为 48×10^{14} 吨。但金在地球中的分布是很不均匀的。

在地球的核心部分(离地面2900~6400公里，厚3500公里)，金的平均含量为0.005%。若地核体积为1710亿立方公里，则含金量可达68100亿吨。

在地球的过渡带(离地面1200~2900公里，厚1700公里)，平均含金量为0.5~1克/吨。其含量占地球含金量的0.18%。

在地壳中，金的平均含量为0.0035克/吨，含金量达960亿吨。现在的开采技术还不能在离地面太远的地下工作，即使技术上可行，经济上也不一定合理。如果以离地面3000米作为可采深度计算，那么还有约30亿吨的黄金可采。当然，这是计算得来的数字。

根据元素的地球化学分布规律，通过地质变化，金构成一些有固定结构的矿物，并在地壳中极其不规则地分布，而使这些矿物的含金量超出地壳平均含量的千万倍，这才使人们能够发现和利用金。

前章已说过，人类自古以来到本世纪七十年代末共生产黄金约九万三千吨，人类从自然界中得到的黄金是极小一部分。但在现有的技术、经济条件下认为是可采的黄金资源也并不很多。在地壳中已探明的储量约6万吨。

国外主要产金国家黄金储量见表2-1。

在海水中，金以胶状溶液存在，混浊的海水中含金量比澄清的海水中略高。据分析海水含金量一般在 $0.000001 \sim 0.00004$ 克/米³之间。如果平均按 2×10^{-5} 克/米³计算，全部海水(约14亿立方公里的体积)中含金总量近3000万吨。但是，世界各海域海水中的含金量均不一样，有的海域高达20毫克/米³。那些含金量高

表 2-1 主要产金国家黄金储量

国 家	南 非	苏 联	加 拿 大	美 国	澳大利亚	加 纳
储量, 吨	15000	6620	5000~6000	3000~4000	200~300	70
品位, 克/吨	12~15	5~8	12	10~12	35~69	9~12

国 家	菲 律 宾	日 本	墨 西 哥	巴 西	尼 加 拉 瓜	其 他	总 计
储量, 吨	400	200	1000	40	20	25000	
品位, 克/吨	3~6	5.7	7~20	10	6~7	8~10	51550~ 68650

的海域将成为黄金生产的后备资源。

近年来, 美国和瑞典还在印度洋、红海的高盐分水域发现海底沉积了大量金属泥, 查知属含金、银等贵金属的海底热液矿床。

除了地球之外, 金在自然界中还以另外的形式存在。

人类的头发中含金量为 0.0043%, 牙齿含金量为 0.0001~0.0003%, 鱼肉的含金量为 $1.2 \times 10^{-6}\%$ 。现已发现, 陆地动物机体内的含金量较水族动物的含金量为高。

在其他生物中, 有一种叫木贼草的植物, 当它生长在富含金质的土地上对金表现出奇特的“占有欲”。这种植物体内可含有 0.006% (60克/吨) 的金。把它烧成灰时, 含金量可提高十倍。因此, 木贼草是金矿床的指示性找矿标记。

在鸟类和鸡、鸭、鹅的胃里也发现过细粒金, 这也是因为它们生活在富含黄金的地方吞噬食物及含金砂粒而积存的。

科学家们征实在太阳的大气中有银存在, 并推测金也可能存在。

科学家对陨石中的含金量作过分析和计算。这些陨石按其成分可分为三种: 一是完全由镍铁质构成的, 含金量最高可达 4 克/吨; 二是以硫铁为主要成分的, 含金量平均达 0.5 克/吨; 三是完全由硅酸盐类矿物构成的, 几乎不含金。

1985年, 美国和欧洲经济共同体联合发射的一颗国际紫外线

探测卫星，探测到位于双子座以东、狮子座以西的巨蟹座中，有一颗明亮的星，大小约为太阳的三倍。科学家的研究表明，它的表面由多达1000亿吨的黄金构成。这个数字，相当于地壳中已探明尚未开采的黄金储量的一百六十万倍，真可谓实实在在的“金星”。这颗星虽然拥有如此丰富的黄金，但目前人类还无法获取，因为它距地球太远，有几百光年。

第二节 金 矿 物

常见的金矿物约有20多种，其中以金银互熔系列最为常见。自然金和银金矿具有工业意义。金的碲化物分布较广，但数量不多。其他金矿物较为稀少。

桂林冶金地质研究所对金矿物做过系统的研究，现将已发现的金矿物列于表2-2。

在原生条件下，金呈硫和氯的络合物存在。金的络合物遇铁发生化学反应使金沉淀。

在氧化条件下，围岩中含有的氯化物会使金溶解而造成金的次生富集。金是难溶的，在氧化带中金常被残留、富集而形成各种砂金矿。

从表2-2可见，金是亲硫元素之一。在原生条件下，金矿物常与黄铁矿、毒砂等硫化物共生。在少数场合，金与碲化合生成各种碲化物。在个别情况下，金还与锑化合成脆金锑矿。

金和银的关系密切，两种金属常常互化、共生在一起。原因是两者的原子半径相同，晶格结构类型相同，化学性质相似。在自然界中金银系列矿物产出较常见。

金与碲化合生成多种金碲化物，但储量甚少。

金矿物由于产出条件不同，其产出的粒度相差极为悬殊，称谓也不尽统一。现简述如下。

金的产出粒度。金的几何形态往往在选金的过程中改变了。

矿石中自然金的浸染粒度极不均匀，一般粒径在0.2毫米以下，常有随硫化物含量的增加而变细的趋势。按选矿学的粒径分

表 2-2 金 矿 物

类 别	矿物名称	化 学 式	附 注
金属互化物(金自然固熔体)	金—银系列矿物	自然金 银金矿 金银矿 自然银	Au Au·Ag Ag·Au Ag 可含少量Ag、Cu及铂族元素。密度15.6~18.3克/厘米 ³ ，硬度2~3，有展性，含铁杂质而具磁性，良电导体 含Ag20~50%，少量Cu及铂族元素 含Ag>50% 含Au≤10%
	金铂族互化物	铂金矿 铈金矿 钯金矿 铱金矿 金铱铈矿	Au·Pt Au·Rh Au·Pd Au·Ir AuIrOs 含Pt可达10%以上，密度19.5克/厘米 ³ 含Rh30~40% 含Pd5~11% 含Ir30%。可能是Au和Ir的混合物。密度21.7克/厘米 ³ 含Os25.5%、Ir51.7%
	金与其他金属互化物	金汞合金 黑铋金矿 铜金矿 含铜金矿	Au ₂ Hg ₃ Au ₂ Bi Au·Cu 含Ag可达7%，软性颗粒或圆珠，密度15.5克/厘米 ³ ，液体物质，晶体 正方形，含Au64.5~65.1%密度8.2~9.7克/厘米 ³ ，硬度1.5~2，只溶于王水 含Cu20~30%，可含Ag10~15%，Au和Cu的天然固熔体 含Cu10~30%，含Ag<8%
	碲化物	碲金矿	AuTe ₂ 单斜晶系，可含少量Ag·Cu·Sb，密度9.1~9.4克/厘米 ³ ，硬度2.5~3，性脆，熔点为464°C
		针碲金矿	(Au,Ag)Te ₂ 密度8.6克/厘米 ³ ，硬度2，性脆
		碲金银矿	Ag ₂ AuTe ₂ 高温变体呈等轴，低温变体斜方单斜晶系，密度8.7~9.4克/厘米 ³ ，硬度2.5~3，从微展性到性脆。用硝酸分解而生成Au的沉淀物
		针碲金银矿	(Au,Ag)Te ₂ 单斜晶系。密度8.1~8.2克/厘米 ³ ，硬度2，性脆
		白碲金银矿	(Au·Ag)Te ₄ 斜方晶系，不含Cu
		板碲金银矿	(Au,Ag)Te ₄ 硬度2.5，稀少
		亮碲金矿	Au ₂ Te ₃ 三斜晶系，即三二碲金矿
		斜方碲金矿	AuTe ₂ 斜方晶系，可含大量银
		Kostovite	AuCuTe ₄ 单斜晶系
	碲化物	叶碲金矿	Pb ₅ Au(Te-Sb) ₅ 斜方或四方晶系，分子式不准确，密度7.5克/厘米 ³ ，硬度1.5，有可塑性和挠性，溶于王水
硫或砷化物	砷金碲矿	AuSb ₂	等轴晶系，常呈自然金的层壳，密度9.9克/厘米 ³ ，硬度3~3.5，性脆，罕见
	硫金银矿	(Ag·Au·Fe) ₃ S	我国发现的新矿种，结构未定

类通常分为四个等级：大粒 (>0.5 毫米)；粗粒 ($0.5\sim0.074$ 毫米)；细粒 ($0.074\sim0.001$ 毫米)；微细粒 (<0.001 毫米)。粒径大于 0.2 毫米时，肉眼可以看见，称为明金或可见金。粒径在 $0.2\sim0.0005$ 毫米之间者，使用光学显微镜方可见到，称之为显微颗粒金；粒径小于 0.0005 毫米，即 0.5 微米者，必须使用电子显微镜才能察见，称之为次显微颗粒金。显微及次显微颗粒金通称为暗金或不可见金，通常采用冶金方法回收。

在明宋应星《天工开物》有一段记述：“凡中国产金之区大约百余处，难以枚举。山石中所出大者名马蹄金，中者名橄榄金，带胯金，小者名瓜子金。水砂中所出大者名狗头金，小者名麸金、糠金。平地掘井得者名麴沙金，大者名豆粒金，皆待先淘洗后冶炼而成颗块金”。这些通俗的名称后来在民间一直沿用。

砂矿中淘洗出来的麸金，每2200颗约重一两（31.25克），而比麸金或糠金更细小的金粉，通常叫粉金或灰灰金，粒度小于 $0.1\sim0.05$ 毫米，每280颗粉点约重一分（3.125克），这些粉金需用混汞法回收成汞齐。

无论是脉矿还是砂矿产出的马蹄金或狗头金，均称为块金。如1976年8月在湖南省资水中游车峙矿区发现一块马蹄金（亦称“锅巴金”）是从40公斤重的整块矿石中取出4.35公斤明金。

第三节 块 金

在上节中讲到，金可以成色较高的金属状态产出。通常称之为“自然金”。大块的自然金，就是我们说的“块金”俗称“狗头金”，“马蹄金”。

这种大块的自然金，质地并不十分纯净，一般都含有少量其他金属，以含银最为普遍，其他是铜、铁和铂。

块金特别稀少，只有极其偶然的机会幸运者得到这种意外的收获。如果有人找到块金，消息不胫而走。报纸和电台也广为传播。自古以来，已经积累了不少有关块金的各种资料。有些资料由于没有与实物并存，看来也言过其实。例如，比鲁尼在他的《矿

物学》一书中提到在当时的阿富汗南部的扎鲁巴找到过2.5吨重的金块。这可能是寻找和开采黄金的整个历史上绝无仅有的事了，连比鲁尼本人也不大相信这是事实，也没有说明发现的年份。

据A.O.奥泽尔斯基1843年的资料记载，第二块2.5吨重的块金是1145年在波里米亚发现的。据推测，这是一个含金量很高的

表 2-3 国外已发表大块金一览表

发 现 地 点	年 份	重量, 千克	名 称	文 献 及 作 者
悉尼地区 (澳大利亚)	1872	275/100 ^①	板状霍尔特曼	B.И.索波列夫斯基
同 上		285	同 上	费·林德格连
加利福尼亚 (美国)	1873	108.5		吉·萨里蒙
同上	不详	88.4		同 上
巴拉腊特		95.2	快乐的稀客	同 上
(澳大利亚西部)	1869	71		B.И.索波列夫斯基
	1858	83.95		德·斯·尼龙别里; 《中国之金》朱夏
澳大利亚	不详	75.4		
北海道 (日本)	1901	71	日本人	B.И.索波列夫斯基
卡拉维拉斯 (美国)	1954	72.9		吉·萨里蒙
巴拉腊特 (澳大利亚)	1858	69 ^①	希望者	B.И.索波列夫斯基
维多利亚 (澳大利亚)	1870	60.7		吉·萨里蒙
金格鲁埃尔 (澳大利亚)		65.7	闪光的	吉·萨里蒙
	1857	54	巴尔克利	B.И.索波列夫斯基
巴拉腊特	1868	50	加拿大人 1号	吉·萨里蒙 B.И.索波列夫斯基
加利福尼亚 (美国)	1870	48		吉·萨里蒙
新南威尔士 (澳大利亚)	1851	45.3	汉德列维奇	吉·萨里蒙
西澳大利亚	1899	45.3		同 上
维多利亚 (澳大利亚)	不详	44.7	列季需泰姆	吉·萨里蒙
维多利亚 (澳大利亚)	1857	42	多诺里	B.И.索波列夫斯基
维多利亚 (澳大利亚)	不详	40	加拿大人 2号	B.И.索波列夫斯基
加利福尼亚 (美国)	1954	36.3	奥利费马丁	吉·萨里蒙
俄 国	1842	36	大三角	
加利福尼亚 (美国)	不详	35.6	波塞当 2号	B.И.索波列夫斯基

① 表中的分数表示发现的不同块金，而是含金包裹体的矿块，分子表示矿块的重量，分母表示纯金的重量。

表 2-4 1980年以来我国发表的块金基本情况

	发现地点	日期	重量, 克	品位 %	发现人	文献资料及提供信息单位或个人
1	黑龙江省呼玛县兴隆沟	1982年 9月22日	3347.5	60	岳书臣	《人民日报》
2	湖南省益阳市郊区公社大海塘大队	1983年 6月14日	2160.8	92	邱先梅 陈梅科 陈作良	《科学天地》1983.6
3	青海省湟中县柴达木盆地东北的牙沙图地区	1983年 6月20日	3561	85	张宪魁 李启功 刘占全	《冶金报》
4	湖南省益阳市郊区	1983年 7月12日	1511.49	91	曹锦云 等 6 人	湖南省黄金公司
5	辽宁省岫岩县石灰窑公社	1983年 9月2日	283	50	于春芹	辽宁黄金公司
6	山东省栖霞县金矿	1984年 10月12日	2730	75	王国芳	烟台市黄金公司
7	山东省招远县张星乡石对头村	1985年 5月28日	1087.5		孙连教	山东省招远县黄金公司
8	四川省甘孜藏族自治州白玉县绒盖乡	1985年 7 月	4125			1985年7月8日 《经济日报》
9	四川省白玉县孔隆沟集体采金点	1986年 7月28日	4718.75			1986年8月8日 《冶金报》
10	青海省祁连县天孟河	1986年 12月9日	7709.55	—		据“新华社”报道
11	四川省甘孜藏族自治州白玉县	1987年 1 月	6300	—	当地农民	据1987年1月6日 《北京日报》
12	青海省大通回族土族自治县	1986年 12月	7740	—	当地 三农民	据1987年6月27日 《冶金报》

续表 2-4

	发现地点	日期	重量, 克	品位 %	发现人	文献资料及提供信息单位或个人
13	青海省大通回族土族自治县	1988年 5月6日	2100	—	农民 马尔沙	据1988年5月16日 《北京晚报》
14	山东省牟平县解甲庄镇沟头店村在辛安河金矿采金船过采区的尾矿中	1988年 6月19日	3700	70	于宝金 父子	据1988年7月22日 《中国地质报》

石英包裹体或是许多小块金的集合体，而当时人们把整个块体当成了一个金块。这个块金没有保存下来，又无据可查，也只能当成一种推测而已。当然，也不能排除找到这么大的巨型块金的可能。

在更晚些时候，人们传说在当时的捷克斯洛伐克境内，曾发现过60~70千克重的块金。在秘鲁、古巴和其他国家的境内也曾找到过大金块。但这些都没有可靠的资料。

据专门研究找金历史的B.И.索波列夫斯基推断，已发现的重量超过10千克的块金大约有8000~10000块。

国外已发现的超过30千克的块金如表2-3。

我国在各历史时期也发现一些块金。据记载，我国发掘出的第一大金块是在西部发现的，重44千克。《宋史·五行志》载称，西晋“永嘉五年（公元311年），益阳芦获冲出生金，重九斤八两，状类灵芝祥云。”又《齐东野语》载称：“政和中（公元1111~1119年），益阳小溪流出生金数百斤，其间大者一块重至四十九斤”。

建国以来到1988年为止的第一大块巨金重达7740多克，是青海省大通回族土族自治县三位农民于1986年12月在当地发现的。

1980年以来，我国发现的块金基本情况见表2-4。

块状自然金的发现不仅有很大的经济价值，而且有重要的科学价值，通过它可以探索自然金的成因和金矿的成矿规律，进一

步指导找矿。

第四节 金 矿 床

一、脉金矿

脉金矿（亦称岩金矿）是指具有工业开采价值的含金矿脉。主要的含金脉矿有：含金石英脉及含金较富的近脉围岩，在太古界变质岩中的复脉带型脉金矿，破碎带蚀变岩型脉金矿，斑岩型脉金矿。

脉金矿是目前产金的主要来源。对脉金矿的分类有多种方法。按矿脉的数量可以分为单脉型和复脉型。按构造可分为整合型和交错型。按矿脉中主要有用矿物或元素可分为单产型和共生型，如单一含金矿脉和金银铜铅硫或金锑钨共生矿脉，单产型矿脉是仅金一种矿产符合工业开采的要求；共生型则是除金之外有一种以上矿产都符合工业开采的要求。按矿脉中次要伴生矿物或元素的含量分为：贫硫化物型、低硫化物型、中硫化物型、高硫化物型四个含硫量级。

此外，通常又以脉体延长和延深的规模和脉与脉之间关系作为矿脉分类的标准，通常分为：1) 大脉型；2) 小脉型；3) 细脉带型；4) 网脉型。

大脉型是稳定延伸既长又深的似层状单脉或复脉大体平行所组成的脉系。

小脉型是较稳定延伸短而浅的透镜状、串珠状小脉集中组成的脉系。

细脉带型是一系列平行排列的含金硫化物细脉不稳定延伸所组成的脉系。

网脉型是主脉、支脉与异向细脉不规则、不稳定延伸和交织所组成的脉系。

上述四种形态的脉体可以共同存在于某一脉金矿床的不同部位。

火山沉积变质岩是脉金矿化的有利围岩，当受成矿热液的反

复作用时，每沿含矿石英脉的上、下盘或容矿裂隙的两侧，在围岩中发生带状蚀变现象。在各种热液蚀变过程中，岩石的成分和结构均有改变，一部分物质被携入，另一部分被带出。近矿围岩金矿化无疑是蚀变热液带入的，当构造-岩性十分有利时，也能局部形成具有工业意义的矿体。

围岩蚀变作用实际上是矿化作用的开始和继续。蚀变类型主要有：硅化、黄铁矿化、绢云母化、钠长石化、绿泥石化、碳酸盐化、伊利石化（水云母化）、叶蜡石化。这些均属于泥质岩中常见的热液蚀变。毒砂化常与黄铁矿化相伴而生，退色化在含铁、含碳较高的围岩中最为强烈，具有明显的分带性。

硅化作用是金矿最普遍、最重要的围岩蚀变类型。含二氧化硅高的含矿热液沿裂隙流通，引起岩石中硅质矿物的重新结晶，或以石英形态交代绢云母或生成微细的石英脉顺贯、斜切围岩片理引起岩石颜色变浅、结构致密。靠近矿脉处硅化强烈，愈远愈弱，但分带现象不明显。

黄铁矿化在金矿围岩蚀变中也极为普遍。五角十二面体粗粒黄铁矿是矿化早期的蚀变产物，粒径通常大于2毫米，晶体常具压碎、压扁、拉长和自生加大现象，但含金量不高。晚期黄铁矿结晶不完整，少许呈立方体，粒径一般小于0.5毫米，呈细脉状，条带状、浸染状产出，多与金矿化同时析出结晶。

绢云母化主要出现在泥质居多的围岩中，表现为绢云母含量的剧增和岩石结构的改变。绢云母在蚀变过程中交代石英和白云母，呈鳞片状、纤维状、提高定向排列的程度或呈束状密集在靠近矿脉的围岩中。绢云母的结晶鳞片在蚀变后大有所增。

绿泥石化迭加在退色化板岩中，颜色灰绿到黑绿，致密块状或片状。绿泥石化常与水云母化、叶蜡石化、碳酸盐化伴生。

叶蜡石化产于近矿蚀变板岩裂缝面中，镜下呈花瓣状，沿周边交代方解石及石英或充填其间隙，常与绿泥石化、水云母化伴生，与金矿化关系不密切。

伊利石化（水云母化）产生于晶洞、脉壁及岩石的解理面，

颜色灰白至浅黄绿色，呈鳞片状、硬度小、有滑感，具蜡状光泽，遇水有粘性，常与绿泥石化、绢云母化共生。

碳酸盐化在矿脉的围岩中发育较普遍，但蚀变强度不及硅化和绢云母化。常见的蚀变类型有白云石化和方解石化，大多由细粒集合体形成灰白色斑点浸染于板岩中或呈细脉顺片理灌入。

蚀变围岩俗称白荒，金矿化的围岩中金粒微细，通常赋存和富集在石英脉下盘围岩3~5厘米厚度以内和网状脉发育的部位。

蚀变板岩金矿化按金的赋存状况，通常分为四种类型：1) 含金黄铁矿浸染型；2) 含金石英细脉，方解石细脉浸染型；3) 自然金泥质吸附型；4) 混合或过渡型。

二、砂金矿

砂金矿床是由砂、砾石和其他含有用矿物和金及残积物组成。这种矿床是由含金的岩石经风化和机械富集作用而形成。由于容易被人类发现、开采和选炼，砂金成为早期人们获取黄金的重要资源。世界上已采出的黄金有三分之二取自砂金矿床。

砂金矿在我国目前阶段仍然是重要的金矿类型和开采对象，在地质储量中仍占有一定比例，约占13%。在世界范围内，近年来，脉金产量占第一位，砾岩金居第二位，伴生金占第三位，砂金已退居第四位。七十年代末期，世界上大多数产金国从砂金中产出黄金的数量仅占总量的1.5~2%。

砂金矿的开发往往会发现脉金和伴生金的矿床。

我国开发砂金矿的优越性在于大多数省份均有砂金资源，点多面广，采选冶简便，投资少，见效快。

砂金来源于脉金和其他含金矿石或岩石。当含有自然金的地质体露出地面，经受风化分解为岩屑和金粒后，受到水流的冲刷、搬运和富集，把密度很大、化学稳定性很强的金粒沉积在山坡、溪河、湖滨、海滨地带，形成含金的疏松的碎屑沉积物，其中具有开采价值的就构成了砂金矿床。

砂金矿床按其形成的地质作用可分为残积矿床、坡积矿床、水成矿床、冰碛砂矿床、风成砂矿床、海成矿床。

砂金矿床形成时代早于第四纪，原本疏松的沉积物已固结为坚硬的岩石，这种砂金矿称为古砂金矿床或砾岩金矿床。

残积砂金矿床是各地内生金矿的疏松含金风化壳，是残留原地的“本山金”矿床。风化壳是在常温、常压下由于空气、水、生物等的作用而产生的。最上层是含有机物的少量土壤层，中、下层由岩块、岩屑夹杂泥砂组成。残积物的岩石成分随地而异，几乎都是原生矿石和围岩，因此板岩、千枚岩、变质砂岩和脉石英最为普遍。大多数脉石英是含金石英脉风化崩解的产物。残积砂金往往是发现原生金矿的直接标志。含金的硫化物矿床氧化带，应视为残积砂金的一个亚类。

坡积砂金矿床是含金堆积物经雨水冲刷和重力滑动，停积在山坡和山麓的“铺山金”。

水成砂金矿床是由典型的河流冲积而成。这种矿床亚类型有：冲积砂矿、洪积砂矿和湖积砂矿。这种砂金矿床形成的机理是在以矿物性质相似为基础的水力分选作用下使金粒、重矿物和冲积物其他物质在大自然的选矿机上完成一次选矿过程，从而打破了简单的粒度分配关系而使含金矿物及重矿物富集在河床的非湍流地带。含金沉积物皆以河床砾石为主要组分，混有少量泥砂。冲积砂金经常富集在砂砾层的近底部位。金粒的形状、粒度和成色相当均匀。

图2-1所示为残积砂矿、坡积砂矿和水成砂矿中亚类冲积砂

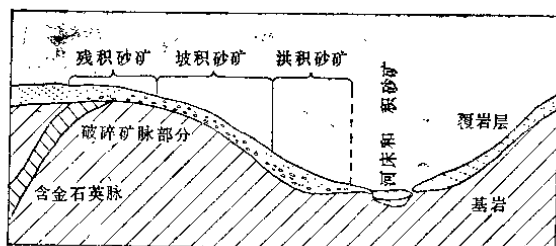


图 2-1 主要砂金矿床的形成位置图

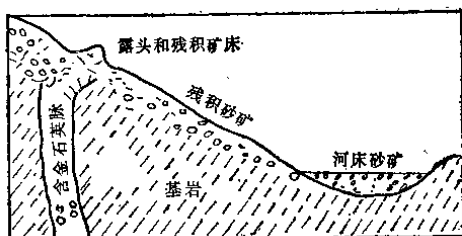


图 2-2 砂矿床的演变过程中过渡阶段的剖面图

矿和洪积砂矿形成相对位置的示意图。图2-2为砂矿床演变过程中过渡阶段的剖面图。

冰碛砂矿床是由第四纪冰川或冰水形成，含金堆积物与冰川作用有直接关系。冰碛物由黄色或红色粘泥夹杂漂砾组成。漂砾具有冰川擦痕或压痕，小的象黄豆一样大，大的象鸡蛋一样大小，巨砾直径可达2~3米。

风成砂金矿床则是含金堆积物在风的作用下而形成的。

海成砂矿床通常赋存在潮汐而以下的海底。这类矿床成因复杂。达类矿床又分为海滩砂矿、水下坡积砂矿、近海静水砂矿。

第三章 金矿床开采

第一节 采 矿 术 语

采准 在完成开拓工程的基础上，掘进一系列巷道，将阶段划分为矿块，在矿块内为行人、通风、运料、凿岩、放矿等创造条件的采矿准备工作。采准巷道布置和类型随采矿方法而各异，常见的采准巷道有阶段运输平巷，穿脉巷道，通风、行人、运料天井，凿岩平巷，凿岩天井，切割天井，拉底巷道，电耙巷道，装矿巷道，放矿溜井等。

开拓 矿床开采包括基建开拓工程和生产采矿工程两大项。矿山地下开拓是掘进一系列巷道或沟道以通达矿体，建成完整的采矿生产系统的工程。

切割 在金属矿山完成采准工程的矿块中，为回采矿石开辟自由面所开凿的自由空间：如将采场底部拉空的拉底空间，将采场某部位垂直方向切空的切割槽和受矿用的漏斗和堑沟等。

阶段 地下采矿时，将井田沿垂直方向按一定高度划分成若干具有走向全长的开采矿段。在阶段的下部，一般布置运输巷道；阶段上部布置回风巷道。阶段的垂高，称阶段高度，简称段高。

水平 开采水平的简称。地下开采时，把井田沿倾斜方向按一定高度划分为开采范围。开采水平常以标高命名，也可按开采顺序编号。

开采顺序 矿床应按一定的顺序开采。通常分为三类：1) 井田内水平、阶段的开采顺序；2) 水平、阶段内沿走向的开采顺序；3) 矿脉之间的开采顺序。

落矿 将矿石以合格块度从矿体上采落下来的作业。

出矿 将采下的矿石从落矿工作面运到阶段运输水平的作业。出矿效率直接决定矿块的生产能力。采落矿石中的不合格大

块，需在出矿前或出矿过程中进行二次破碎。

矿柱 矿柱是为保护地貌、地面建筑物和主要井巷，分割采区和矿井，防水、防火，留下不采或暂时不采的部分矿体。根据矿体埋藏深度、倾角、岩石性质、被保护对象和所需时间等因素，确定矿柱的形状和尺寸。按用途分为：保安矿柱、护巷矿柱、境界矿柱、断层矿柱和防水矿柱等。

凿岩 用凿岩机具在矿岩中钻凿炮眼或炮孔的工序。目前主要用机械凿岩法，根据钻具动作方式分冲击式、旋转式和旋转冲击式。

爆破 矿山采掘作业的主要工序。在金属矿山中，使用浅眼、深孔和硐室三种爆破方法。

回采率 在计算的区域内采出的工业储量与报销的工业储量（即该区域内的工业总储量）的百分比叫回采率。根据计算范围的大小，可分为工作面、采区（矿块）、阶段和全矿回采率。金属地下矿山常用有用成分回采率，即采出工业储量中的有用成分含量与报销工业储量中的有用成分含量的百分比来表示资源的利用程度。如能直接测定采出矿石量、损失矿石量和混入废石量，可直接算出回采率和废石混入率，如不能直接测定，则用下式间接计算：

$$\text{废石混入率} = \frac{c-a}{c-b} \times 100\%$$

$$\text{矿石回采率} = \frac{T}{Q} \left(1 - \frac{c-a}{c-b} \right) \times 100\%$$

式中 Q ——工业储量；

c ——工业储量的品位；

T ——采出矿石量；

a ——采出矿石的品位；

b ——混入废石的品位。

贫化率 由于废石混入或高品位矿石损失，使采出矿石品位低于开采前工业储量中矿石品位的现象叫矿石贫化。工业矿石

品位与采出矿石品位之差同工业品位的比值以百分数表示称**贫化率**。废石混入是矿石贫化的主要原因。混入采出矿石中的废石量与采出矿石量的比值以百分数表示称**废石混入率**。当混入矿石中的废石不含和矿石相同的有用成分时，废石混入率等于贫化率。废石含品位时，贫化率小于废石混入率；高品位矿石损失和有用成分析出时，贫化率大于废石混入率。

石门 与地面不直接相通的岩石水平巷道，其长轴线与矿体走向斜交或直交。

穿脉 金属矿山中，从脉外平巷与矿体直交的水平巷道。

天井 在金属矿山的矿块内，为开采需要，沿矿床掘进直立或倾角较大的巷道。按用途分为凿岩、切割、通风、行人、充填等天井。

上山和下山 也称上山道和下山道，都是矿床开采中不与地面直接相通的倾斜巷道。上山用于开采某水平以上的矿体；下山则用于开采某水平以下的矿体。上山和下山可布置在矿体或岩石中。根据用途和服务范围而命名。

电耙巷道 一般设在矿山中，采场采下的矿石由电耙搬运到放矿溜井，然后装入矿车。

平硐 直接与地面相通的水平巷道。通常按用途分主平硐、副平硐、阶段平硐和通风平硐等。

平巷 与地面不直接相通的水平巷道，其长轴方向与矿体走向平行。平巷布置在矿体内的称**脉内平巷**，布置在岩石中的称**脉外平巷**或**岩石平巷**。为全阶段服务的平巷，称**大巷**(或**主平巷**)，如**运输大巷**。根据其主要任务，平巷还可分为**通风平巷**、**充填平巷**、**运输平巷**等。

硃 为开采距地表十米以上的砂矿而掘凿的小型竖井。硃采即为砂矿的地下开采法之一。

第二节 脉 金 开 采

原生脉金矿床产状各异，厚度不一，厚的可达数十米，薄的

仅有几厘米，厚大矿体的金矿不多，而薄细矿脉者居多，通常把小于1米的矿脉称为薄矿脉。金矿的开采原则之一是所用的采矿方法要尽可能减少损失。

脉矿的开采方法通常分为地下采矿方法和露天采矿方法。对金矿而言，由于储量小和矿脉薄，很少有采用露天法开采金矿的，大多采用地下采矿法。乌拉嘎金矿局是我国第一座大型露天脉金矿，于一九八三年建成投产。美国和加拿大曾有两座金矿采用过露天采矿法开采黄金。至于开采与其他有色金属伴生的黄金矿则不在此例。

地下采矿法是从地下的矿块内采出矿石所进行的采准、切割和回采工作的总称。

采矿方法很多，分类也很繁杂，常用的是以地压管理为依据的简要分类。现列表于表3-1。选其中几种适于金矿开采的方法详述于后。

表 3-1 采矿方法分类表

自然支护采矿法	人工支护采矿法	崩落采矿法
全面采矿法 房柱采矿法 留矿采矿法 横撑支柱采矿法 分段矿房采矿法 阶段矿房采矿法	支架采矿法 干式充填采矿法 水力充填采矿法 胶结充填采矿法	壁式崩落采矿法 分层崩落采矿法 无底柱分段崩落采矿法 有底柱分段崩落采矿法 阶段崩落采矿法

自然支护采矿法亦称空场采矿法。回采过程中形成的采空区，靠矿柱和围岩本身的稳固性维护；有的用支架或采下的大块废石做辅助或临时支护。本法适用于矿石和围岩都稳固的矿体，如河南省金洞岔矿区的矿体。

人工支护采矿法用充填材料或其他支架维护采空区。适用于围岩不稳定、矿石贵重和地表需要保护的矿体。如山东焦家金矿所用的采矿法。

崩落采矿法 随回采工作面推进，有计划地崩落围岩填充采空区。用这类采矿法时应允许地表塌陷。在我国黄金矿山几乎不采用此法。

选用采矿方法应考虑地质条件、矿山技术条件和经济因素，以满足安全、经济、高效和优质的要求。

20世纪50年代，我国黄金矿山几乎全用全面采矿法、房柱采矿法、留矿采矿法等。60年代以后一些大中型黄金矿山开始兴建和陆续投产，采用水力充填法和试验采用胶结充填法。70年代末期采用杆柱房柱采矿法。80年代在三山岛金矿才开始采用柴油无轨自行设备的各类采矿法。

留矿采矿法 此法是自然支护采矿法中的一个分支。方法的实质是将采下的大部分矿石暂留在矿房内，工人站在矿石堆上作业，主要用于开采围岩和矿石都稳固的急倾斜薄矿体及中厚矿体（图3-1）。本法结构简单，采准工作量小，易于掌握。中国广泛用于开采急倾斜薄和极薄金矿床。将矿块划分矿房和矿柱，在矿柱中掘进天井，从天井下部向上每隔4~5米掘联络道与矿房连通，供通风、行人、运料之用。在矿房下部开掘放矿漏斗，自漏斗水平开始拉底，形成回采工作面。开采薄矿脉时，常用横撑支柱或框式支架架设天井、平巷及底部放矿结构，不留底柱和间柱。矿房自下而上用浅眼分层落矿。每次落矿后通过底部放矿漏斗口放出约1/3崩落下来的矿量，称部分放矿。其余暂留矿房内，使矿石堆表面与工作面之间保持高2米左右的工作空间。部分放矿后，平整矿石堆表面，继续落矿，直到矿房回采完毕，然后将暂留矿石全部放出，称最终放矿或大量放矿。在回采矿房过程中，暂留的矿石经常移动，因此对围岩只起部分支撑作用。围岩容易片落时，将增大矿石贫化。减少矿房尺寸，用锚杆加固顶板或用支架支撑围岩，可减少片落。

在采用留矿法等空场采矿法时，应注意及时回采矿柱和处理采空区。因为随采矿工作的进展，采空区面积不断扩大，地压也不断增加，所留矿柱受风化影响及长期受载，强度逐渐降低，最

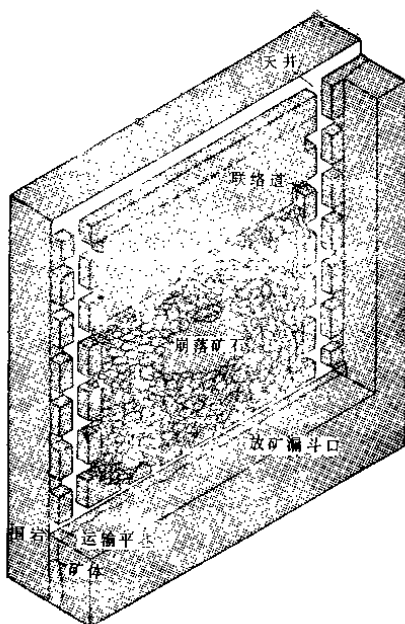


图 3-1 留矿采矿法

后可能导致矿柱破坏和围岩大面积垮落，产生强大的空气冲击波和地压活动，造成事故。

对金矿石或地表不允许崩落时，用充填法处理采空区。用废石或水砂充填矿房时，一般采用分段崩落法回采矿柱，用胶结料充填矿房时，可用空场法或充填法回采矿柱。离主要矿体较远，围岩又允许崩落的孤立盲矿体可用封闭法处理采空区，即在通往生产区的所有巷道内，构筑坚固的密闭墙，将采空区封闭，任其自然垮落。

充填采矿法 属人工支护采矿法类。在矿房或矿块中，随着回采工作面的推进，向采空区送入充填材料。用这种方法控制围岩崩落和地表移动。还可以利用形成的充填体进行回采工作。此法适用于开采围岩不稳固黄金及其他稀缺贵重金属矿体。充填法的优点是适应性强，矿石回采率高，贫化率低，作业较安全，可以利用选矿厂的尾砂或废石当充填材料。缺点是成本高，劳动生产率和矿块生产能力都较低。

根据所用充填材料和输送方式的不同，充填采矿法可分为三种：（1）干式充填法。充填为采矿场的废石，经破碎后用机械、人工或风力输送到采场。（2）水力充填法。充填材料是砂、碎石、选矿厂尾砂或炉渣等。用管道借水力输送到采场。（3）胶结充填法。充填材料是水泥等胶凝材料和砂石、尾砂和炉渣配制成浆状胶结物料，经管道送入采场，使在采空区内凝固成具有一定强度的充填体。由于黄金资源的稀缺和越采越向地下更深的地方开采，以及环境保护要求严格，各国都加强了充填新工艺研究工作。

20世纪70年代，广泛采用自行无轨设备和斜坡道采准布置，用梯段工作面长采场或包括几个形块的盘区回采（图3-2）。在回

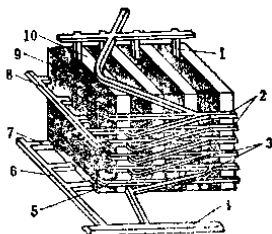


图 3-2 充填法盘区回采采准巷道布置

- 1—通风充填天井；2—分段平巷；3—斜坡道；4—机修硐室；
5—联络巷道；6—阶段运输巷道；7—穿脉运输巷道；8—分段
巷道；9—矿房；10—矿柱

采工艺方面应用上向高分层崩矿，锚杆和金属网支护顶板，低价高强度胶结充填材料等新技术，使充填采矿法得到进一步完善。

充填采矿法又可分为上向分层充填法、下向分层充填法、壁式充填法、削壁充填法和方框支架充填法。

上向分层充填法 将矿房或矿块在垂直高度上水平地或倾斜地划分分层，由下向上逐层开采，如图3-3所示。每采完一个分层，随即进行充填。同时在充填体中顺路构筑放矿溜井和行人天井（兼作泄水井用）。在矿块中布置充填天井，用来下放充填料；有时兼作提运设备、材料、通风和行人用。回采过程是凿岩、崩矿、出矿、架设行人天井和矿石溜井，建造隔墙，充填和铺盖胶结

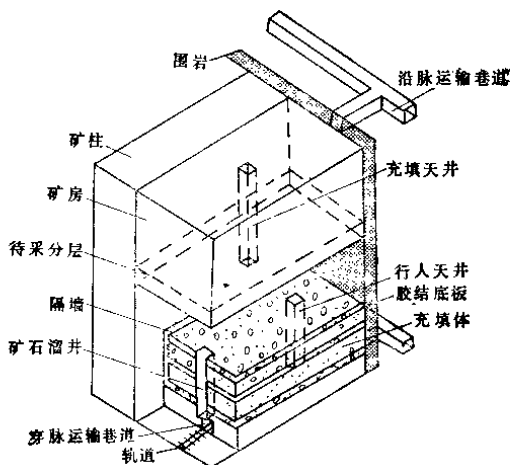


图 3-3 上向分层充填采矿法

底板等。水力充填时每一分层充填料上部均铺盖强度较大的胶结底板，以减少出矿时矿石的贫化和损失并提高出矿效率。该法用于开采矿石稳固而围岩不稳固的矿体。矿石和围岩均不稳固时，可用微倾斜（倾角 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ）进路回采，使水力充填或胶结充填

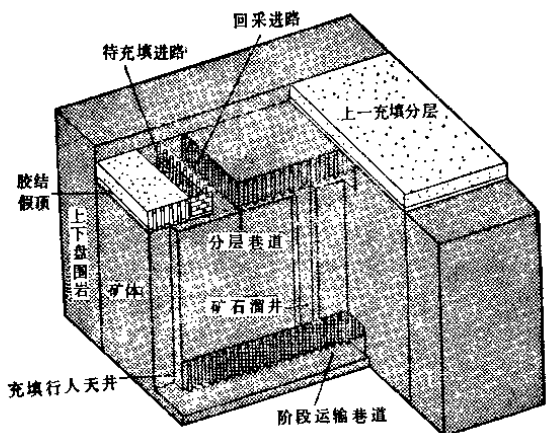


图 3-4 下向分层充填采矿法

材料能自流接顶。矿石中等稳固时，也可用锚杆加固顶板矿石。

下向分层充填法 回采顺序是由上向下逐层回采、逐层充填，如图3-4所示。回采分层水平或倾斜($10^{\circ}\sim 15^{\circ}$)布置，不留顶底柱。矿块中布置矿石溜井和充填、行人天井。采下矿石经溜井放至下部阶段运输巷道。充填料自上部阶段运输巷道经充填天井下放到采场。随分层回采，在充填体中顺路构筑充填、行人天井。回采分层时，先掘进切割巷道与充填、行人天井和溜井连通。自切割巷道用进路或长壁工作面回采矿石。进行充填作业前，在回采进路上和侧面构筑滤水墙和密闭墙。本法适用于开采矿石和围岩均不稳固的矿体。

壁式充填法 回采工作面长度较长，工作面两端有可供运输、通风和行人的巷道。回采工作面向前推进时，必须不断支护，采空区要随工作面推进及时进行充填。回采工作面内矿石运输方向与工作面矿壁平行。金矿脉多数为薄矿脉通常按矿层全厚一次开采称单一开采。对于倾角 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的矿脉采用壁式充填法

较为合宜。

削壁充填法主要用于极薄矿脉或称细脉，可以降低贫化率。为了形成回采工作空间，须崩落上盘或下盘围岩。矿石和围岩分次崩落，利用崩下的围岩作充填材料。崩矿前在充填料上严格铺垫好隔离物，防止高品位粉矿掺入充填材料（爆落下的围岩石块）中。崩落下的矿石从矿石溜井运出，崩下的围岩应足够充填采空区。矿石和围岩之间有弱面时，可改善矿石贫化和损失指标。如围岩尚有一定厚度的金矿化，在爆破时应当充分考虑这一因素，避免资源的浪费。

方框支架充填法 此法适用于开采矿体极不规划，矿石和围岩都不稳固的金矿床或其他高价矿体。用方框支架和充填材料来维护采空区。回采时，每次将体积与方框体积相等的矿石崩落并立即架设方框支护顶板，然后向方框中填入干充填料，以保证安全。溜井和行人通风天井在方框中架设。矿石可在工作面进行手选，选出废石填入方框作充填料。实际上是用木材（如果用木料去制作方框）去换取矿石。不是特殊需要一般很少再采用这种方法。

在上述各种充填采矿法中，如矿块划分为矿房和矿柱，回采时要同时考虑矿房采完后矿柱的回采。在安排年度采掘技术计划时，要按比例地安排矿柱的回采，综合利用金矿资源，把总损失率降到最低限度。

第三节 砂金矿开采和采金船

砂金矿床一般埋藏不深（约30~50米），通往砂金矿床的路也比较容易走，矿床剥离和开采或开拓准备工程耗资不大，经济效益较好。一百多年前，世界上黄金产量有90%是开采砂金矿床获得的。只是因为后来在大多数国家砂金矿被采得几乎殆尽这才开始转向开采脉金矿。

1850年前，世界黄金产量实际上都是从砂金矿床开采出来的。1851~1875年，从砂金矿床开采出的黄金占总开采黄金量的

88%，1876~1890年占54%，1906~1920年占10%，1921~1931年占7%，1970年占2.9%，1972~1973年占2~2.5%，1974~1975年占1.5~2%。我国砂金矿床资源得天独厚，1984年从砂金矿床采金量为总采金量的10%左右。

开采砂金矿床首先要进行矿床开拓，然后根据矿床的具体条件选用相应的采掘设备。主要的设备是采金船。此外，机械化磙采也是砂矿床开采的常用方法。

一、砂金矿床的开拓和采矿

砂金矿床的开拓通常有下述几种方法。

(1) 基坑开拓法 沿矿体边界或在矿体附近，开掘安装采金船的坑。基坑的尺寸由采金船的规格决定，深度由采金船漂浮所需水深决定。此法适用于开采河漫滩的砂金矿床。

(2) 筑坝开拓法 修筑若干横穿河谷的永久性或临时性挡水坝，提高水池水位，使采金船能进入比河漫滩还高的采区工作。挡水坝的数目及其间距决定于所需水位上升高度和矿床纵向坡度，坡度愈陡，则所需坝数愈多。此法用于开采坡积砂金矿床或采金船不能正常漂浮的区段（图3-5）。

(3) 联合开拓法 上述两种方法的联合运用。

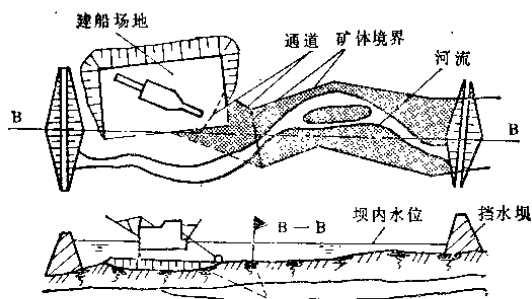


图 3-5 筑坝开拓法示意图

以上三种开拓方法是为船采作准备的。开拓作业完成之后进行采矿。采矿方法按工作面推进方向可分三种：1) 横向采矿法，适用于倾斜不大而宽阔的砂矿床。采矿时沿矿体横向分成条带开采。本法又分为单工作面横向法和相邻工作面横向法。2) 纵向采矿法，适用于窄而长的砂矿床。采矿时沿矿体纵向分成条带开采。本法又分为单工作面纵向法和平行工作面纵向法。3) 根据矿体的赋存条件，上述两种方法的综合运用。

船采是从地表掘凿竖井通达砂金矿体。由人力或机械将砂矿采出并提升至地表的一种砂矿地下采矿法。本法从清代一直沿用至今。

二、采金船

采金船是一种采选联合设备。它是一艘平底船。船上装有多斗挖掘机、选金设备和尾矿排放设备（见图3-6）。采金船有的漂

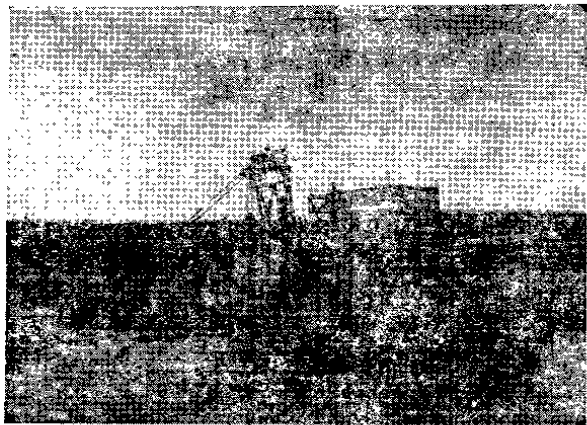


图 3-6 采金船外形图

浮在江河湖泊之上，有的漂浮在为本身开拓出来的基坑里。采金船在工作时一面要把前面的采场扩大，一面要把选金后的尾矿排

放填积在船后。采金船一般适用于低于地下水位的宽的河谷砂金矿床。这种砂矿床的金都是细粒金，个别也会选到小颗自然金，每颗重达0.5~10克。有时，也可能拣到大块的自然金。

1. 采金船生产工艺

采金船采金工艺过程如图3-7所示，链斗自水下挖掘出的矿砂经装矿漏斗送到洗矿圆筒筛中。筛下产品和水经矿浆分配器，分配给各选矿设备。筛上的砾石和泥团经过砾石溜矿槽排到皮带运输机上运送到船尾的采空区形成砾石堆；选后的尾矿经尾矿槽或管道排到采金船的后方，形成尾矿堆。

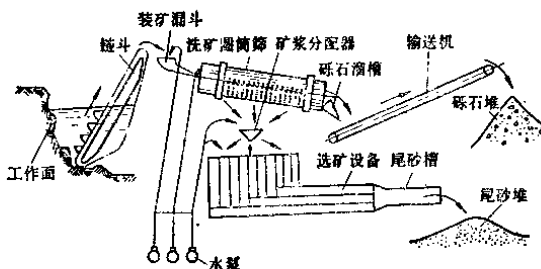


图 3-7 采金船生产工艺示意图

国内外一些典型砂矿床选出的黄金粒度组成大体一致。其筛析组成如表3-2。

在砂金储量比较丰富的国家，如苏联、美国和中国均采用采金船从事砂金矿床开采。

2. 采金船的类型和规格

采金船按移行方式分为：钢绳式（首绳式）、桩柱式、混合式（首绳—桩柱式）；按挖掘深度分为：浅挖（<6米）、中挖（6~18米）、深挖（18~50米）、超深挖（>50米）。按挖掘设备划分有：1）链斗式，在闭合斗链上装许多挖斗，用斗链的旋转和斗桥的往复摆动进行挖掘，使用最广泛。链斗式又可分为间断式和

表 3-2 砂金精矿筛析粒度组成

粒度, 筛目	+60	60~100	100~120	120~150	-150
金的重量百分数, %	58.1	15.3	2.9	2.4	21.1

连续式两种。2) 单斗式, 又分为铲斗式和索斗式, 铲斗式是在船上装有一个较大的铲斗, 约 $2\sim 10\text{米}^3$, 可挖掘较坚硬的砂矿; 后一种在船上安装 $1\sim 4$ 个抓斗, 可在较窄的场所工作, 适应变化较大的深度, 多用于较深的海洋砂矿开采。3) 吸扬式, 一种漂浮在水上的泵站, 用来开采松散的海滨砂矿和用于剥离工程。这种采金船又分为绞吸式、耙吸式和斗轮吸扬式等。此外, 也有按船上使用的主要选矿设备称谓的, 如溜槽式采金船。

目前, 采金船通常都是在链斗式采金船的基础上发展起来的。它有一串挖斗装在一个无极链上。五十年代在苏联一些人工采金场使用一种小型采金船, 即一种小型单斗式采金船, 其挖斗容积为 $25\sim 50$ 升。

采金船的规格通常以一个挖斗的容积来表示, 如 25 升、 50 升、 100 升、 150 升、 200 升、 250 升、 300 升、 600 升等。挖掘深度通常在水面以下 $9\sim 50$ 米。大型超深挖采金船的挖掘深度可达 50 米以上。挖掘矿层厚度为 $9\sim 10$ 米、工作时间为 $80\sim 85\%$ 、处理中等硬度的砂矿。处理软的原矿砂时, 生产能力增加 $50\sim 100\%$; 挖掘硬矿石时, 生产能相应减少 50% 。

目前, 世界上各国的采金船中大型船不多。最多的是中型的。挖斗容积在 $150\sim 250$ 升范围内的属于中型的。大于 250 升的船属于大型船。迄今已知世界上最大的深挖采金船, 其排水量达一万吨, 挖斗容积为 800 升。美国常用采金船的生产能力列于表 3-3。

自从1960年我国自己建造的采金船问世以后经过二十多年的发展壮大, 在有条件的砂金矿区均采用采金船采选砂金。采金船主要用于开采内陆砂金矿。内陆砂矿大多是河谷冲积砂矿, 河谷砂

表 3-3 美国常用采金船的生产能力

挖斗容量, 升	生产能力, 米 ³ /日	挖斗容量, 升	生产能力, 米 ³ /日
85	1.5~1.9	283	5.7~6.5
119	2.5~2.7	382	6.5~7.6
142	2.7~3.1	425	7.6~9.2
170	3.1~3.4	510	9.2~11.5
205	3.8~4.6		

表 3-4 国产采金船的技术规格

型 号 或 斗 容	50升	100BW	150HC	250升	300升
挖斗容积, 升	50	100	150	250	300
斗链节距, 毫米	500	615	730	835	900
斗链速度, 米/秒	0.267	0.294	0.389	0.557	0.435
每分钟卸斗数, 个/分	30	30	82	35~40	20~30
平均生产能力, 米 ³ /小时	45	90	140	240	280
最大挖掘深度, 米	6.5	7.5	9.5	12	17
水上挖掘高度, 米	1.5	1.5	1.5	3	2
水下挖掘深度, 米	5	6	8.0	9	15
挖斗架长度, 米	15	19.5	27.5	31.2	39
平底船尺寸:					
长, 米	18	27	38	42.8	48
宽, 米	10	13.4	15.4	20.0	18
高, 米	1.6	1.9	2.5	2.7	3.4
吃水深度, 米	1.1	1.14	1.8	2.2	2.5
总排水量, 吨	158	470	765	1450	1500
总装机容量, 千瓦	136	378	680	1082	1100
同时开动电机容量, 千瓦	90	220	450	648	740
调动方式	桩柱式	桩柱式	桩柱式	桩柱式	首绳-桩柱式
主选设备	固定溜槽	固定溜槽	圆型跳汰机	固定溜槽-跳汰机	圆型跳汰机
挖掘特性 (主驱动电机)	交流	交流	交流	直流	直流

矿通常赋存于二、三级水系中。这时采金船生产用水可以得到满足。如果对阶地砂矿床进行船采, 则要用泵向采池供水。采金船对气候的适应性很强。在中国由南北均可使用, 唯独对永久冻土

和南方的卡斯特构造地区进行船采有困难，需要做采前处理。

现将国产采金船的技术规格列表3-4。

3. 采金船的主要设备

(1) 采金船的挖掘设备。如前述，挖掘设备是采金船上的主要工作设备之一，就是用它把矿砂挖出传送到船上来，由它完成采矿作业。它是由主驱动装置（斗链的驱动装置）、上滚筒和上滚筒轴、下滚筒、挖斗链、斗架、斗链托辊组成。

主驱动装置是挖掘设备的驱动机组。它由电动机、减速器、联轴器、皮带传动装置和制动器等组成。它驱动上滚筒轴及上滚筒，带动斗链运转。斗架托辊对斗链起着支承及减小运动阻力的作用。采金船在完成挖掘作业时，随着挖掘深度的变化，斗架可绕其上支点在垂直平面上转动，转动角度一般为 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。挖入斗中的矿砂，随着挖斗沿斗架提升，上升到上滚筒处以后，便被卸入洗矿的圆筒筛中。

国产采金船挖掘设备的主要性能列于表3-5。

(2) 受矿漏斗。它是一个与主桁架的构件相连接的倾斜的金属槽，槽上装有防护的封闭盖板，用来防止卸矿时砂水飞溅到采金船各处。漏斗的工作表面均衬上可更换的衬板，衬板多用耐磨性材料，如高锰钢等。在受矿漏斗中装有高压水管网，用来对挖出的原矿进行第一次碎散，也是用来冲洗挖斗，使之充分卸

表 3-5 国产采金船挖掘设备的主要性能

项 目 号	斗容 升	斗距 毫米	斗链速度 米/分	卸斗数 个/分	电机功率 千瓦	上滚筒转数 转/分	斗数 个	电机
50	50	450~500	16.02	20~31	22; 2	5.0	38	交流
100	100	615~630	20.8	30~32	40; 2	5.3	73	交流
150BW	150	720	22.8	32	75; 2	5.35	83	交流
150HC			—	32		5.45		交流
150HE	150	730	22.6		135~155		83	
250	250	952	0~33.6	0~42	100; 2	3.33~6.66		直流
300	300	900	30~40	0~40	280			直流

矿。在一些设备完善的采金船上，在受矿漏斗中还设有砾石排除器，清除粘在挖斗刃口上的矿砂的装置和斗链卸矿处漏斗边缘和斗链边缘之间间隙的调整装置。

在主选矿流程中首先对原矿进行破碎、分级，主要是在旋转圆筒筛中进行。然后进入溜槽、跳汰机，有时也使用螺旋选矿机等选矿设备完成粗选过程。粗精矿再使用精选溜槽、跳汰机、摇床、混汞筒等设备选出金精矿、自然金或汞金（金汞合金或称汞齐）。为了与主选矿设备配套，还要有相应供水水泵、斗式提升机、脱水设备等等。

为了从砾石中回收大颗粒自然金和小颗粒金，通常采用电子自然金捕集器和跳汰机。

在受矿漏斗处有巨砾排除器，主要是用来保护受矿漏斗和圆筒筛及下道工序的各种设备免遭损坏。

（3）巨砾排除器（图3-8）。它由一个铰接在受矿漏斗的翻转筛，驱动翻转筛的气缸，能调节倾斜角度的格筛和能排除巨砾的垂直导管组成。在无巨砾进入挖斗时，把翻转筛吊起。当发现挖斗中有大块砾石，就开动翻转筛，使它下降到对准卸矿的挖斗并固定好使之在挖斗的巨砾卸出时把它截在翻转筛上，然后从格板上滑下，落到中间倾斜格板上，砾石在格板上下滑的过程中受冲洗水的洗涤，把粘在上面的矿砂洗下来。而洗光的砾石则落入垂直的导管而被弃于船外的采场。排除巨砾的垂直导管尺寸视采金船的规格及本地常出现的巨砾尺寸而定。对600升的采金船，常装设 $\phi 2.2$ 米的导管。

关于旋转的圆筒筛及主要的重选设备将在本书第四章详述。

（4）采金船上的供水装置。采金船既然是一个小型采选场，那么采选作业的一切工艺条件都应当具备。采金船上的生产用水如何解决呢？说来也容易，因为船离不开水，水源就是船只工作的江河湖泊。船上装备有水泵和输水管网。供水系统要保证选矿用水、生活用水、锅炉装置用水和防火用水等。

（5）排送尾矿装置。排除采金船的尾矿是用一条主皮带运

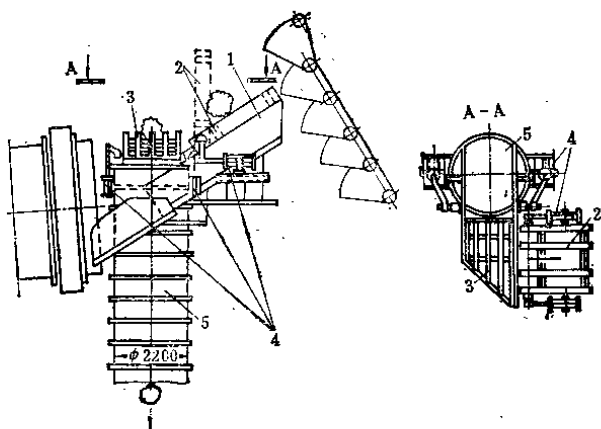


图 3-8 600升采金船受矿漏斗处巨砾排除装置

1—受矿漏斗；2—受矿漏斗上的格筛；3—排除砾石至导管中 专 设的中间格筛；4—驱动格筛的风动气缸；5—排除巨砾的垂直导管

输机及其传动机构。对于大型采金船还增设有中间皮带机。皮带机的用途就是把来自旋转圆筒筛已冲洗过的尾矿和砾石用皮带机送到船尾已采过的采场。皮带廊要采取封闭和保温措施，特别是我国北方每年十月份就已经冷了。如图3-6所示在船尾伸出很远的圆筒形构造物就是排放尾矿的主皮带运输机及圆筒形皮带廊。皮带机不仅磨损严重，而且在承接砾石处还受到冲击荷载的作用。为此，在接受巨砾的冲击处要加几副减震托辊（图3-9）。

为了升降主皮带运输机，船上装有专门的绞车，在600升采金船上安装有两台绞车。

4. 采金船的主要参数

(1) 采金船的生产能力 其理论生产能力是根据挖斗容量和每分钟挖斗的卸斗数计算得来的。美国阿拉斯加用的采金船，其生产能力只有理论生产能力的45%，其工作时间仅占日历时间的75~80%。我国目前通常按下列公式计算船的生产能力。

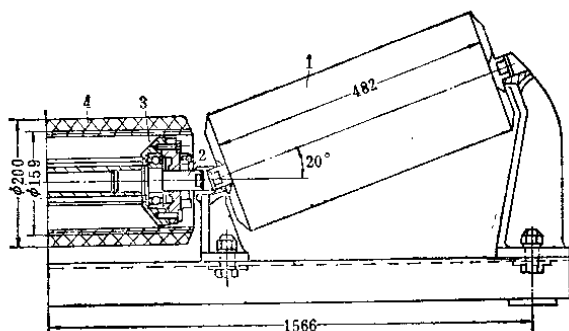


图 3-9 大型采金船主皮带运输机的减震托辊结构图
1—托辊总成；2—托辊的半轴；3—滚珠轴承；4—双层橡胶贴面

$$Q_{\text{小时}} = \frac{60 \times n \times V \times K}{\rho}$$

式中 Q ——采金船小时生产能力，立方米/小时；
 n ——斗链卸斗速度，斗/分；
 V ——斗容，米³；
 K ——平均满斗系数；
 ρ ——土岩平均松散系数。

$$Q_{\text{日}} = g Q_{\text{小时}}$$

式中 g ——采金船日纯采掘时间，小时。

$$Q_{\text{年}} = G Q_{\text{日}}$$

式中 G ——采金船年工作日，日。

在我国主要砂金矿区，满斗系数 K 根据采掘的矿层不同有所差异。挖掘表土层， $K=1$ ，含金砂层 $K=0.6$ ，基岩 $K=0.2 \sim 0.3$ 。由于某些矿体要先剥离表土，又受永久冻土的影响，平均满斗系数 K 值常取 $0.5 \sim 0.7$ 。

现将我国黑龙江省黑河、呼玛、桦南等金矿局有代表性的矿的生产能力列于表3-6，供参考。

表 3-6 150升BW型采金船设计生产能力

金 矿	土岩平均松散系数 ρ	挖斗平均满斗系数 K	设计生产能力Q小时 米 ³ /时
黑河罕达汽矿	1.4	0.7	144
呼玛兴隆矿	1.1	0.5	131
呼玛韩家园子矿	1.16	0.5	124
桦南金矿	1.2	0.7	168

(2) 耗电量 与矿岩性质和挖掘深度有关。根据统计资料挖掘深度为7米及水面以上的边坡高度0.9米,采金船的耗电量为0.8千瓦小时/米³;在挖掘深度为16米和水面以上边坡高度3米的作业条件下,耗电量增加到3.15千瓦小时/米³。美国康雷(Con-rey)砂金矿的四条船,在平均挖掘深度8.5米和13.8米的作业条件下,耗电量为1.42~2.08度/米³。采金船上耗电量最大的是挖掘设备,占全部电力的35~50%。

(3) 耗水量 这与矿岩的性质和采金船的类型有关。挖掘疏松而非固结性的砂矿时,耗水量为7米³/米³,而挖掘粘土带时耗水量达14米³/米³。在挖斗卸矿时用高压喷水枪来加速卸矿,那么用量将要增加一倍。选矿设备的用水量与在地面选矿厂所用的同类型选矿设备没有出入。如每平方米溜槽的耗水量为80~200升/分。据统计资料一条采金船的用水量由50~250升/秒不等,出入相差5倍。

(4) 成本 这是一项很难精确核算的工作。采金船作业条件变化大。就是同一条采金船,在一段时间内所遇到的矿石性质差异很大,成本出入很大。有时生产能力相差三、四倍。要想降低采金船的成本,必须努力提高选金的回收率和提高产金量。提高产金量要在提高回收率的前提下延长工作时间。由于受气候条件的限制,我国北方的采金船在冬季不得不停船。如果原矿含金量高,扣除冬季作业的开支,仍有较好的经济效益,在技术上有可能是使采金船每年生产300天。1984年我国黑龙江省一些采金船成

本约为400元/两(12.8元/克)。

三、采金船重砂的处理

采金船处理矿砂的同时,回收金和伴生的重砂矿物。这些重砂矿物的密度均在3.5以上,平均粒度在1.5毫米。它们和粗金精矿一起作为采金船的一种产品集中起来,到岸上的精选厂进一步选别、分离成为一种单独的产品。重砂矿物的组成随矿床不同而各异。通常它们的组成是磁铁矿、钛铁矿、独居石、石榴子石、金红石、白钨矿等各种重矿物。

在岸上的精选厂集中把金、铂等贵金属回收之后,重矿物则单独用重选或重选-磁选-电选再精选处理。

通常根据市场对重矿物需求,选成几种产品,如铁精矿、钛铁矿、锆英石精矿和独居石精矿。由于采金船的处理能力小,产出的重矿物产品也相应的少。这些重矿物产品的精矿也只作为砂金矿床的综合开发方向进行一些工作。对采金船生产和与它配套建设的岸上精选厂并不能期望从重砂产品中获得较高的经济效益。

我国黑龙江省黑河市一金矿做过重砂产品分离试验。采用磁选-重选-电选联合流程。重砂分四级入选,重砂矿物产品在分级前用混汞法先把其中的金加以回收。最后选出铁精矿、锆英石精矿、钛铁矿精矿。其回收率分别为:铁精矿为79.20%,锆精矿为59.59%,钛精矿为38.7%。

采金船所产砂金,均在精选厂用火法熔炼成金锭,汞金也经蒸汞处理后熔炼成金锭。“砂金和汞金的炼制和金的精炼”请阅第八章的有关章节。

第四节 金矿开采展望

高品位金矿和大型金矿床的储量在世界各国都不是很多,就连黄金资源最富有的南非也感到大型金矿床有日益减少的趋势。前章已经提到世界已探明尚未开采的黄金储量约有六万吨。在现在的技术经济条件下不能开采的黄金资源不少,但这些资源是可

表 3-7 金矿参考性工业要求

项 目	脉 金 矿	砂 金 矿	说 明
边界品位	3克/吨	0.1~0.15克/米 ³	矿与非矿的界限
工业品位	5克/吨	0.2~0.3克/米 ³	工业矿体的下限
可采厚度	0.6米	0.2~0.5米	单层矿体的下限
可采宽度		40~60米	机采砂矿混合矿层的宽度
夹石剔除厚度	2米	40~60米	机采砂矿无矿地段的宽度

望而不可及的。

由于黄金对人类文明和经济生活仍有重要的作用，因此必须扩展黄金开采的新领域。

我国现行的技术政策对金矿的参考性工业要求如表3-7。

伴生金没有统一规定，作为副产品回收，最低含量为0.04~0.9克/吨。

随着国民经济对黄金日益增长的需求和开采技术水平的提高，工业要求也会随之降低。低品位金矿石和砂矿也将被列入工业储量。就是说过去的贫矿，现在也要加以开采利用。这就要求在采矿、选冶工艺技术上、高效能的工艺装备上都要有新的进展，甚至是突破。

下面就几种有前途的特殊采矿法作一介绍。

浸取采矿法 中国是最早使用浸出法的国家，早在一千年前，就用浸取法采铜。其原理和工艺是用酸、碱或盐做溶剂、溶浸金属矿物，使其中的有用金属转入溶液，再进行提取。这种方法又称化学采矿法。不谈前面的采矿工艺，后一步过程属于化学选矿法或水冶过程。

由于某些细菌能加速浸取过程，这种方法又叫细菌采矿法。在20世纪50年代末期至70年代曾对铜矿进行过一些井下细菌浸出试验。对黄金的浸取是在20世纪60年代以后，美、苏、加和南非等国做过研究和试验并取得明显的效益。这对开采小型的独立矿床的贫金矿、回收废旧矿井残留矿石和处理含矿的老废石能起到作用。对金矿石而言，溶剂主要是氰化物、硫脲等剧毒和有毒溶

剂，与一般的酸、碱、盐不同，必须在开矿工艺上解决贵液的渗漏和流失问题，加之黄金的浸取时间要求相对的长些。采用此法的难度大，一些采矿工艺尚未完善。

露天浸取法 实际上就是现已采用的堆浸或称堆淋提金法。目前，在我国已广为应用，主要是用来回收低品位金矿石中的金。使用的溶剂仍然是氰化物。本法是将采出的贫矿和含金废石在露天堆成矿堆，用氰化物浸取黄金。堆浸地点应选在有坡度的不透水地面上，使浸出液（氰化物溶液）能自流到集液池。矿堆结构应具有合适的孔隙度和渗透性，利用空气流通和溶液渗透；同时要用泵将浸取液反复循环浸取以保证浸取时间。

露天浸取法应用于低品位砂金矿而又能相应地解决安全防护和环境保护问题将是一个重要的研究课题和方向。

利用地下的井巷，将浸取液注入爆破破碎的贫矿体，溶浸其中的金，将贵液汇集到井下集液池，然后排出地表，从中提取金。这也仅仅是研究方向。

利用激光装置和液压装置取代爆破工程，采用高效能的联合采矿机，降低采矿成本，将会打开利用贫金矿的局面。

大陆架和海底采金 海水中金的资源令人“望洋兴叹”，可是对大陆架（离大陆200米远的海洋部分）和海底金矿资源，人们才刚刚开始探索。在大陆架和浅海底部赋存有大量固体、液体和气体矿床，人类早有发现。早在3000年前，希腊人就曾把在自己海岸边的矿井延伸到海底开采。20世纪初，一些国家开始以工业规模开采滨海砂矿，但规模甚小。随着科学技术进步和陆地高品位易采矿产资源的日益减少，海底采矿才日益被重视起来。

海底固体矿产资源，按赋存条件和开采方式分为：浅海海底堆积砂矿、海底岩层中的固体矿床、深海海底堆积的锰结核和多金属海泥。目前，多开采前两者。深海采矿还处于研究和试采阶段。

浅海海底砂矿有金、铂等贵金属的砂矿床。这部分砂金矿床，利用采金船进行开采，使用深挖式和超深挖式采金船，常用

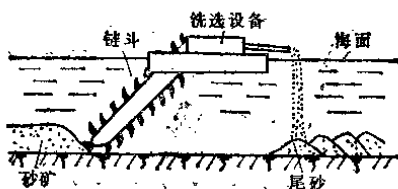


图 3-10 多链斗采金船浅海开采示意图

多链斗采金船 (图3-10)。

水力采金船也是浅海开采常用的采砂船，适于开采砂及砾石，也适用于浅海采金。此船利用砂泵或水射流将海底砂矿以砂浆形式通过管道吸到采金船上的洗选设备中。水浅时砂泵置于船上，水深时砂泵置于水中或与水射流联合使用。对胶结的砂层用高压水射流器或用装有旋转刀具的挖头预先松散。泵吸入式水力采金船的作业深度一般为9~27米；与水射流联合使用时作业深度可达68米。其开采示意图见图3-11。

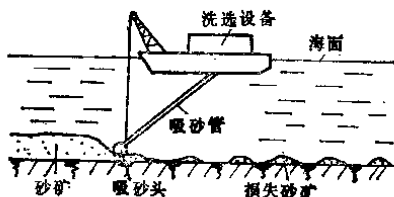


图 3-11 水力采金船开采示意图

压气升液式采金船 此船是将压气送入吸砂管下部，使气泡与管内砂浆混合，降低砂浆比重，利用管内外压差升举砂浆。它不仅用于浅海，还可用于深海开采多金属海泥。对胶砂层须预先

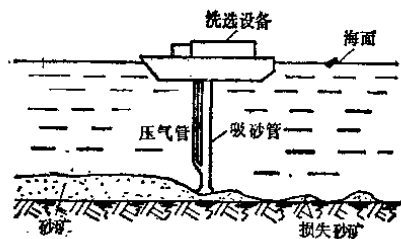


图 8-12 压气升液式采金船开采示意图

松散。

图3-12为压气升液式采金船开采示意图。

抓斗采金船受海水深度影响小，灵活性高，可采海底不平的和粒度不均匀的砂矿，但生产能力低，也常用于海底取样（图3-13）。

近年来开始用潜艇在海底取样，观察海底情况，并用无人推土机在海底集砂，以提高采金船生产能力和回采率。

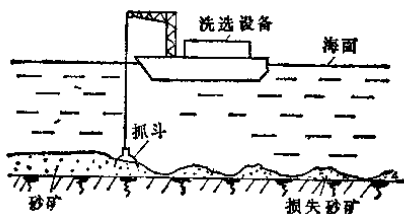


图 3-13 抓斗采金船开采示意图

在浅海大陆架基岩中开采金矿床 在大陆架已发现有与海岸连接的矿床。应该说在浅海或在深海都有可能赋存独立的金矿床。目前主要是开采岸边矿床延伸至海底的部分。常用的开拓方法是自大陆开掘井巷通到海底。海水不深时可堆造人工岛构筑立

井。我国和英、日、加、美、智利等很多国家都在开采海岸附近的海底矿床。所采用的采矿方法应保证顶底板岩层不产生通至海底的裂隙，以防止海水涌入。此外，还须加强顶底板监测和水质化验工作，以便及时采取安全措施。

深海海底采矿首先用于开采锰结核。1873年英国首先在大西洋发现锰结核。20世纪60年代，一些工业发达国家开始调查深海海底资源，并研究开采技术。在深海的某些海域发现含金、银、铜、铅、锌等多金属软泥。这对扩大黄金资源具有意义。近年已建立起八个跨国财团，约有100多家公司从事勘探和试采工作。我国近几年也开始着手调查研究工作。

第四章 常规选金方法

第一节 选矿术语

精矿 通过选矿得出的有用成分富集的产品。对金矿选矿而言，精矿中富集尽可能多的金。每一选矿设备、选矿作业或选矿过程都可得到自己的精矿。最终精矿是选矿厂的最终产品。它的矿物化学组成、粒度及含水量均需满足冶炼厂及下一道工序的要求。

中矿 品位介于精矿和尾矿之间，需进一步处理的选矿中间产品。中矿被送至另一选矿设备或选矿作业再选，或经磨矿再返回到本设备或本作业再选。也有将某种特定的中矿直接送冶炼厂冶炼或用水冶或化学选矿处理的。

尾矿 选矿作业产品中有用成分含量最低的一种产品。当其有用成分降低到当时技术经济条件不宜于再处理时的产品是最终产品。随着技术的发展，尾矿有可能重新利用。

尾矿库 堆存尾矿的设施。

品位 矿石或选矿、冶炼产品中有用成分（元素或化合物）的百分含量。原矿品位的高低表示原矿的贫富程度，精矿品位则反映某种回收成分（或元素、金属）被选入精矿中的贫富程度。

选矿比 选矿过程中原矿重量与精矿重量之比。它是选矿过程效率的一个量度。

选矿产率 选矿产品的重量占给矿重量的百分数。由产品品位计算得到的产率称为理论产率。

$$\gamma_{\text{精}} = \frac{\alpha - \delta}{\beta - \delta} \times 100\%$$

式中 $\gamma_{\text{精}}$ ——精矿产率，%；
 α ——给矿品位，%；
 β ——精矿品位，%；

δ ——尾矿品位，%。

选矿富集比 精矿品位与原矿品位的比值，表示选别过程中有用成分的富集程度。

选矿效率 表示选别过程效果好坏的综合指标。无选别作业时，其值等于零；当达到最佳理想分选效果时，其值为100%。目前，较常用的选矿效率的计算公式有两种，即

$$E = \frac{\varepsilon - \gamma_{\text{精}}}{1 - \alpha / \beta_{\text{精}}} \times 100\% \quad (1)$$

和

$$E = \frac{\beta(\alpha - \delta)(\beta - \alpha)}{\alpha(\beta - \delta)(\beta_{\text{精}} - \alpha)} \times 100\% \quad (2)$$

式中 E ——选矿效率，%；

ε ——选矿回收率，%；

$\beta_{\text{精}}$ ——欲选的纯矿物中有用成分的百分含量，%。

式(1)适用于原矿和精矿品位以及富集比都不高的低品位矿石的粗选和预选作业。式(2)适用于原矿品位低而精矿品位高的金矿石或有色和稀有金属矿石的选别。对于原矿品位高而富集比不高的铁、锰、铬等矿石，两式均可采用。

选矿回收率 选矿过程中精矿里所含待回收有用成分的重量占原给矿中该有用成分重量的百分数。用来评价给矿或原矿中有用成分回收的程度。作业产品有作业的回收率，过程产品有过程回收率，全厂最终产品有最终的回收率。回收率分为理论回收率和实际回收率。

理论回收率是在尚未取得实际计量资料时，按选矿过程中给矿与产品间应保持重量与有用成分含量平衡的原理，按下式计算得来的：

$$\varepsilon = \frac{\beta(\alpha - \delta)}{\alpha(\beta - \delta)} \times 100\%$$

用取样、分析、计量得出的实际数据按下式计算精矿实际回收率：

$$e = \frac{\gamma_{\text{精}} \beta}{\alpha}$$

式中 $\gamma_{\text{精}} = (Q_{\text{精}}/Q_{\text{给}}) \times 100\%$ ， $Q_{\text{精}}$ 及 $Q_{\text{给}}$ 分别为精矿及给矿的重量。由于计量、取样、分析的误差和选矿过程中原中尾矿的机械流失，理论与实际回收率的值往往有差异。理论回收率通常大于实际回收率，即理论回收率等于实际回收率加上未计入的损失。未计入的损失包括选矿厂给矿和产品的称重偏差、取样和分析的偏差、选矿过程中物料的机械损失等。

破碎比 破碎机给矿的最大粒度与破碎产品的最大粒度之比。

第二节 选 前 准 备

无论是脉金矿还是砂金矿，在进入选别设备之前都需要完成几项准备作业。否则选矿过程将无法进行。

选前准备作业包括粉碎（破碎和磨矿）、筛分和分级，有时还要进行洗矿。

一、破碎与筛分

1. 破碎 将矿山采出的矿石碎裂到粒度为5~25毫米的过程。破碎方式则有折裂、劈裂、压碎、冲击、研磨等（图4-1）。

我国黄金矿山的规模均在1500吨/日以下，地下采出的矿块最大尺寸为300~600毫米。目前，破碎机的破碎比最大为8~10。

破碎机的种类很多。

工业上粗碎通常采用颚式破碎机和旋回破碎机；中细碎作业通常采用圆锥破碎机，也有采用辊式破碎机的。

（1）颚式破碎机 工作部件为一块动颚板，一块固定颚板。当矿石给入破碎腔中动颚板的往复运动使矿块受到冲击力、压力和折断力作用而达到破碎。颚式破碎机有简单摆动式（双肘板）和复杂摆动式（单肘板）两种主要型式。图4-2为颚式破碎机作用原理图。

目前，最大型简单摆动式颚式破碎机给矿口的规格（即长×

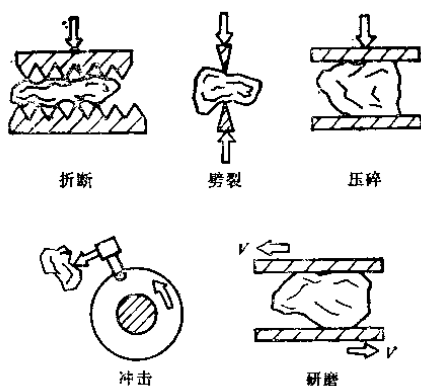


图 4-1 破碎方式

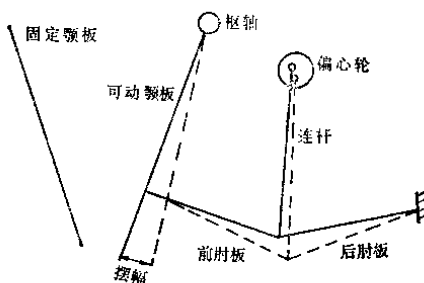


图 4-2 颚式破碎机作用原理图

宽)为2100×1500毫米。我国选金厂只相当于中小型有色金属选矿厂的处理能力。破碎工序多选用中小型破碎机。

河南省焦作群英机械厂生产的颚式破碎机适用于选金厂破碎作业。其主要规格见表4-1。

(2) 旋回破碎机 工作部件是两个反向配置的截头圆锥形

表 4-1 群英机械厂生产的中小型颚式破碎机的主要技术规格

型 号	PE-250	PE-250H	PE 400
给矿口尺寸(宽×长), 毫米	250×400	250×400	400×600
最大给矿口尺寸, 毫米	210	210	350
排矿口调整范围, 毫米	20~80	20~80	40~100
生产能力, 米 ³ /时	4~14	4~14	8~20
偏心轴转速, 转/分	300	280	250
配用电机型号	Y180L-6	Y180L 6	Y250M-8
功率 千瓦	15	15	30
转速, 转/分	970	970	730
重量(不包括电动机, 千克)	2800	1900	6343
外形尺寸(长×宽×高), 毫米	1420×1310 ×1335	1108×1090 ×1392	1700×1732 ×1652
抗压强度极限, 千克/厘米 ²	2500	2500	2500

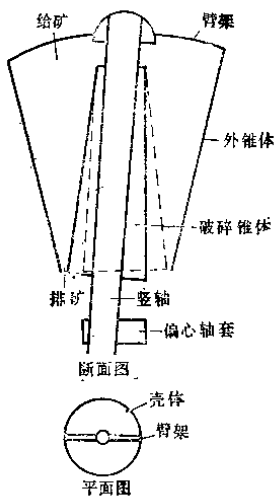


图 4-3 旋回破碎机的工作原理图

环体，两圆锥环体间所形成的空间是破碎腔。矿石在腔内受动锥摆动产生的冲击力、劈裂力而破碎。选金厂由于生产规模小很少采用这种破碎机。图4-3是旋回破碎机的工作原理图。

(3) 圆锥破碎机 工作部件是两个同向配置的截头圆锥体，给矿口的宽度远小于旋回破碎机，多适用于中、细碎作业。它可以在运行中排出进入破碎腔中的不可碎物，但铁块等不可碎物过大也会卡住造成设备事故；在设备运行中可调节排矿口的大小保证破碎产品的粒度。

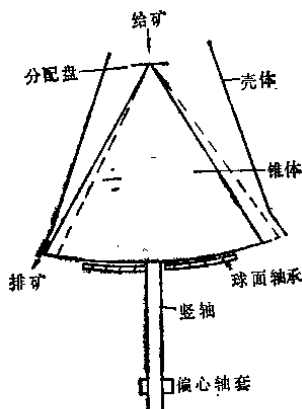


图 4-4 圆锥破碎机的工作原理图

圆锥破碎机本是改型的旋回破碎机。圆锥破碎机与旋回破碎机的主要区别就是竖轴短，而且不象旋回破碎机那样悬吊着，而且支承在圆锥体下部一个球面轴承上（图4-4）。内锥体和外壳体配置的形状也不同，见图4-5。

圆锥破碎机通常分为两种类型。一种是正常中碎用的标准型；另一种是细碎用或三段破碎用的短头型。两者的主要差别是破碎腔的形状不同，见图4-6。标准型圆锥破碎机的衬板是阶梯

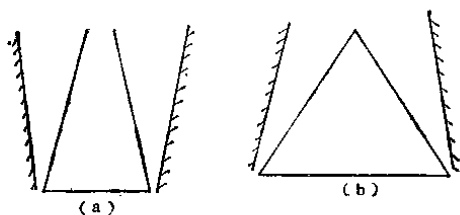


图 4-5 内锥体和外壳体的形状
(a) 旋回破碎机, (b) 圆锥破碎机

形的, 其给矿粒度可以比短头型的粗一些。标准型破碎机的产品粒度在0.5~6.0厘米之间。短头型比标准型的锥度陡, 有助于防止待破碎细物料堵塞。短头型圆锥破碎机的给矿口比较窄一些, 其排矿处的平行带较长。其产品粒度也小一些, 在0.3~2.0厘米之间。在选金厂尽可能控制排矿粒度小一些。

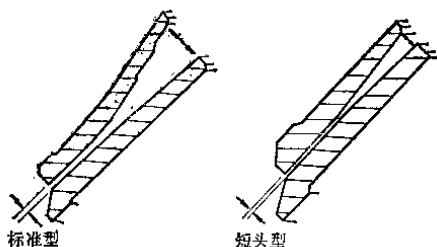


图 4-6 标准型和短头型圆锥破碎机破碎腔及排矿口的剖面图

2. 筛分 筛分是破碎后的产品和开采出的砂金矿按粒度大小分类的过程。在筛分过程中, 矿石通过筛面按粒度分成粒度级。小于筛孔尺寸的矿粒漏过筛孔成为筛下产品, 大于筛孔尺寸的矿粒留在筛面上成为筛上产品。影响筛分效率的主要因素有: 原给矿的性质、设备结构和操作因素等。

破碎作业常与筛分作业联合进行。在待破碎的矿石中，经常含有一些小于该破碎阶段要求达到的粒度的矿块或矿粒，在给人该段破碎机之前需预先用筛子（或筛分机）把这部分已达到要求的矿块筛出来，这道工序称预先筛分。破碎后的产品中常含有一定量的过大矿块，则用筛把它们筛出来好进行再破碎，这一工序称为检查筛分。在选矿厂破碎机常与筛子构成闭路系统工作。选矿厂常用的三段破碎流程图如图4-7。

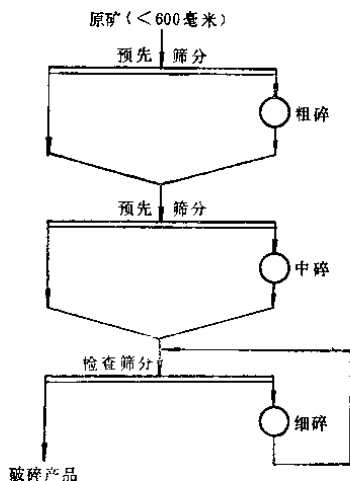


图 4-7 选矿厂常用的三段破碎流程

制、英国矿冶学会 (I.M.M.) 筛制、德国筛制 (DIN) 和国际筛制。

泰勒标准筛制是以筛面上 1 英寸 (25.4 毫米) 长度所有的正

方形筛孔数目（网目mesh）来标称的；以筛孔为0.074毫米的筛网（称200目）为基准筛，以 $\sqrt{2}=1.414$ 为筛比；套筛的筛孔尺寸范围由0.038~7.925毫米。国际筛制是以0.075毫米筛孔为基准筛，以 $10\sqrt{10}=1.259$ 为基本筛比。在一些英文著作中常使用英国矿冶学会筛制，现列表与泰勒标准筛制对照以利了解其内容（表4-2）。

表 4-2 泰勒筛制和英国矿冶学会（I.M.M.）筛制对照表

网 目		孔径，英寸		孔径，毫米	
泰 勒	I.M.M.	泰 勒	I.M.M.	泰 勒	I.M.M.
8	5	0.093	0.1	2.362	2.540
10	8	0.065	0.062	1.651	1.574
14	12	0.046	0.0416	1.168	1.056
20	16	0.0328	0.0312	0.833	0.792
28	20	0.0232	0.025	0.589	0.635
35	30	0.0164	0.0166	0.417	0.421
48	40	0.0116	0.0125	0.295	0.317
65	60	0.0082	0.0083	0.208	0.211
100	100	0.0058	0.005	0.147	0.127
150	120	0.0041	0.0033	0.104	0.084
200	150	0.0029	0.0025	0.074	0.063

工业用筛按结构特点可分为两大类，即固定筛和运动筛。

工业用筛按用途可以是起预先筛分和检查筛分作用的，把达到粒度要求的产品筛出来，提高下一破碎段的生产能力和保证产品质量，也有起破碎、洗矿和脱水作用的，也有按入筛物料的粒度范围专供粗、中、细粒级物料过筛用的，有的筛分作业本身就是选别作业，物料按粒度分级后就是产品。

固定筛有固定格筛，固定弧形筛，胡基筛等。

固定格筛在选金厂是最常用的，一般用作大块矿石的预先筛分。从矿山采矿场运来的矿石先经过固定格筛，大块的筛上产品进入粗碎机，筛下产品与粗碎机的破碎产品合并进入第二段破碎

作业。固定格筛通常是用钢轨或重的钢棒平行地组装在框架上，钢轨之间形成大小均匀的长方形孔隙或上宽下窄的四边形筛孔。

固定格筛的安装角度通常为 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，倾角太小使矿石滞留筛面上，特别是矿石含水高或在夏季不仅会堵塞筛孔，甚至会造成粗碎机的事故。对粒度在20~100毫米的矿石，安装倾角可以放小到 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。总之，安装角度要大于来矿的自然安息角。

在处理量250~1000吨/日的选金厂，最大的给矿块度约为300毫米左右。固定格筛可以作为粗碎的预先筛分。

固定弧形筛是在选矿厂及其他矿物工程上作极细粒级湿式分级的。

弧形筛是水平安装的曲面筛。矿浆呈切线给入筛面上，然后与筛孔成垂直方向沿筛面下流。薄的矿浆层在筛上分级，粒度约等于矿浆层厚两倍的矿粒将通过楔形筛孔成为筛下产品，大于上述粒度的矿粒则成为筛上产品。矿浆层厚度通常是筛孔宽度的四分之一。分离粒度约等于筛孔尺寸的二分之一。因此，这种筛子的分离粒度可以小到50微米。

这种弧形筛（图4-8）的缺点是细粒级的矿浆在通过筛孔后仍因惯性而沿筛面的背面，顺着凸起部分往下流，这样会降低筛分效率和从筛板的背面粘着一层细矿粒或矿泥。为此，有的弧形筛装有周期动作的敲击装置以清除粘着的矿粒。巴特尔弧形筛（图4-9）是一种改进型的弧形筛。这种筛面的曲率变化，使粘着在筛面背面的细粒不断地改变方向而易于脱落。此外，在筛面曲率变化的背面加一条带，这样可以提高筛分效率。

胡基筛是一种圆筒圆锥型分级器。圆筒筛装在圆筒部分中。矿浆由给矿管给入圆筒筛的中心部分，中心轴低速旋转，筛子的圆锥部分有冲洗水管。小于圆筒筛筛孔尺寸的矿粒将作为溢流经周边筛下产品槽排出，筛上产品则经锥底排出。这种筛子在选金厂较少使用。

运动筛通常有旋转圆筒筛、摇动筛、振动筛、机械击振的细筛和概率筛。

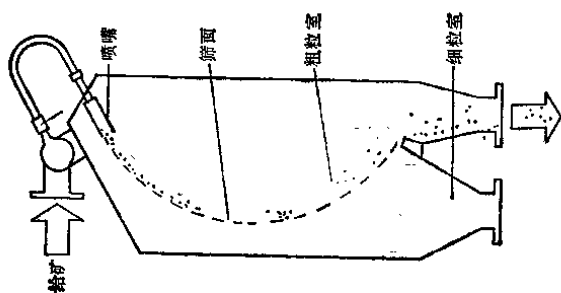


图 4-8 固定弧形筛

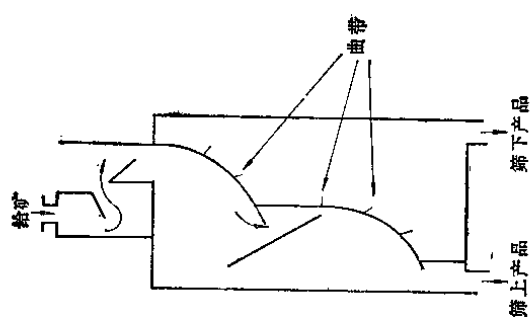


图 4-9 巴特尔弧形筛

旋转圆筒筛是一种古老的筛子，在砂矿选厂和采金船上用作原矿的碎解、洗矿和筛分，也有用作脱泥的。

旋转圆筒筛可用于干式筛分和湿式筛分，在采金船上均系湿式作业。圆筒筛呈微倾斜安装。

圆筒筛有单层的和多层的。一种筛孔尺寸的单层筛很难满足砂金生产最初工序的要求，因为采出的砂矿要经过碎解和筛出大块砾石，如果采用细筛网的圆筒筛，筛网磨损过快。这种设备配置方式的缺点是占地面积大。在采金船多使用双层圆筒筛，直接承受原给矿的内圆筒，筛孔较大，可以将大块砾石先筛出来。双层筛和多层筛的缺点是更换筛网比较困难，占用时间长。但为了节省占地面积和把碎解、洗矿、筛分三道工序集中在一套设备上完成，在采金船上使用双层筛效果尚好，特别是在冬季停产期间有充裕的检修时间和选用优质筛板和筛网，可以克服双层筛的缺点。

为了强化碎解和洗矿的作用，在采金船上的圆筒筛的内壁上沿纵向安置有直的或斜的角钢条带。此外，在圆筒筛内安有压力喷水管，喷出的压力水对碎散砂矿起重大作用（见图 4-10）。喷

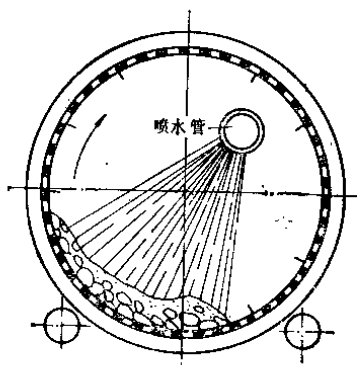


图 4-10 圆筒筛内的喷水装置

水管中喷出高压水的压力通常为196~392千帕。砂矿在圆筒筛中一面旋转，一面承受高压水的冲洗。有时在圆筒筛的外壁处也装水管，冲洗粘着在圆筒筛外表面的细矿砂，这样可以减少筛孔的堵塞。圆筒筛处理粒度5.5~6毫米的矿砂，在采金船上则用于处理挖斗采出的原砂矿。

在大型选金厂，圆筒筛因筛面利用率低筛孔易堵塞和操作不便而很少采用。

摇动筛 这是一种在水平方向作往复运动的筛子，有水平安装的，也有微倾斜安装的。每分钟摇动60~800次，处理粒度12~0毫米的物料。在选金厂很少采用。

振动筛 在选金厂最广泛采用的就是各种类型的振动筛。其筛分粒度范围为250毫米至250微米，通常在选金厂破碎流程中与各段破碎机形成闭路循环。筛分效率可达90%。为了筛分大块矿石和洗矿可以选用重型振动筛；筛分中、细粒矿石，可以选用自定中心振动筛；脱水和脱介质则选用直线振动筛和共振筛。

共振筛的筛框是水平安装的，筛框在连接于重型平衡机架的橡胶减振器之间自由振动，机架具有和振动筛相同的自然共振频率。偏心装置使筛子产生运动，而橡胶减振器则约束筛子的运动并贮存能量，能量再传递给活动的筛框。筛子的运动传递给装在橡胶垫上的平衡机架。这一运动引起共振。共振运动又返回给筛分机架。因此，共振筛能量消耗少。减振器还能引起筛面的急剧返回运动，从而造成筛分料的良好筛分效果。但是这种筛子对工作条件要求严格，给矿要均匀，干式筛分时水分含量不得超过3%，设备要经常保持良好的安装状态以产生共振等等。这些过于严格的条件限制了在选金厂使用这种筛分机。

为了满足细粒级筛分的需要，60年代发展起来一批细筛。上述弧形筛是其中的一种。此外，还有一些筛框背面带击振装置的细筛。已研制出筛分效率高并能防止筛孔堵塞的双频振动筛。双频振动筛使用两台电动机产生振动，一台装在给矿端，以低速高振幅使矿粒在筛面上均匀分布；在排矿端装另一台电动机，以高速

低振幅运转，减少筛孔的堵塞。

概率筛和等厚筛是70年代以来研制成功的筛分设备，具有处理量大，占地面积小等优点。

概率筛的工作原理是基于矿粒通过比其最大粒径大的筛孔有一个可定量的概率。概率筛多用于选煤厂筛分难处理的高水分的粉煤。对含泥量较高的金矿石也可通过试验用于相应的筛分作业。

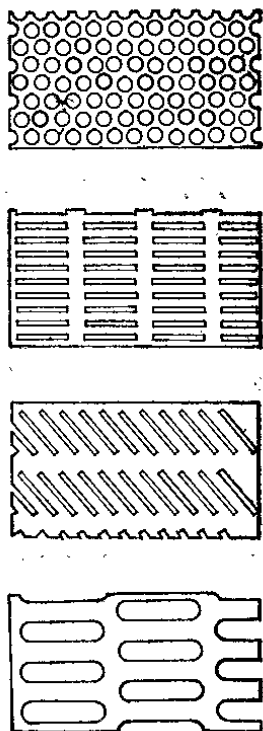


图 4-11 常用冲压筛孔形式

筛面 根据用途选择合适的筛面。在重型筛分机上常采用冲孔筛板，其形状如图4-11所示。中、细粒筛分多使用筛网，常见的形状如图4-12所示。

许多细粒筛分机的筛网是用楔形金属丝编成的。和长方形断面的筛网相比，这样的筛网使用同等的材质，有效筛分面积大，筛网相对寿命长，而且矿粒堵塞筛孔的情况好些。

编织筛网的金属丝材料常用普通钢、不锈钢、铜或青铜。我国选金厂多用普通钢丝绳或报废的钢丝绳的单股钢丝编织。事先编好备用的筛网可随时更换。

有些选矿厂还使用非金属筛网，如聚氨基甲酸酯橡胶筛网。这种筛网既耐磨又能降低噪音，其寿命比不锈钢筛网高五倍。

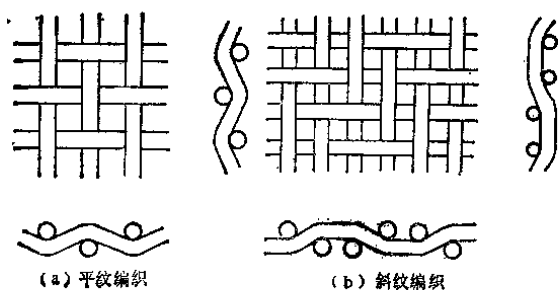


图 4-12 常见筛网形状

(a) 平纹编织；(b) 斜纹编织

3. 破碎筛分流程 由破碎机和筛分机组成的工序叫做破碎筛分流程。目前，我国选金厂采用的破碎筛分流程很多，大多根据具体情况选定。

常用的破碎筛分流程主要有两种：两段一闭路破碎流程（如图4-13a）和三段一闭路破碎流程（如图4-13b）。除个别条件较差的民办选金厂外，一般不采用开路碎矿。所谓闭路破碎，即破碎产品经筛分后，粒度不合格的部分（即筛上产品）又返回该破

碎作业重新进行破碎。破碎筛分流程的选择要与磨矿分级流程统一考虑并据矿石性质的不同而异。所谓开路破碎，即破碎产品不再返回该段破碎作业进行再次破碎。破碎筛分流程必须从经济上和工艺上合理加以选定。

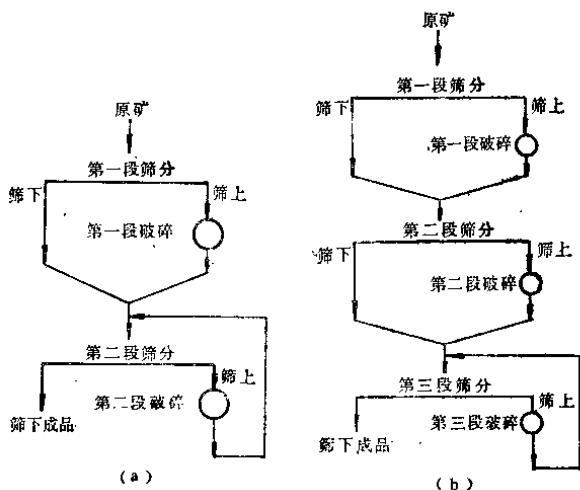


图 4-13 破碎筛分流程

二、磨矿与分级

1. 磨矿 磨矿作业是以研磨和冲击为主，将矿石磨至粒度 $10\sim300$ 微米大小的作业。它实际上是破碎作业的继续，同时是矿石进行分选以前的最后一次加工。它使矿石中的有用矿物全部或大部分达到分离状态，以便在分选作业中回收其中的有用成分。

磨矿作业是在磨矿机中完成的。磨矿机是圆筒形的，筒体内壁衬有衬板，筒体内装有研磨介质。

磨矿机衬板用螺栓固定在筒体及端盖上。衬板的材质多为高

锰钢、石墨钢及其他耐磨合金钢等。衬板的表面形状各种各样，见图4-14。选金厂第二段和第三段磨矿机都采用衬胶的衬板，有的选金厂在第一段磨矿机上也用衬胶的衬板，因为这种衬板寿命长、减少车间噪音，能提高磨矿机的运转率和降低磨矿成本，有利于工人的健康。

磨矿机研磨介质有钢球、钢棒、砾石等。装钢球的叫球磨

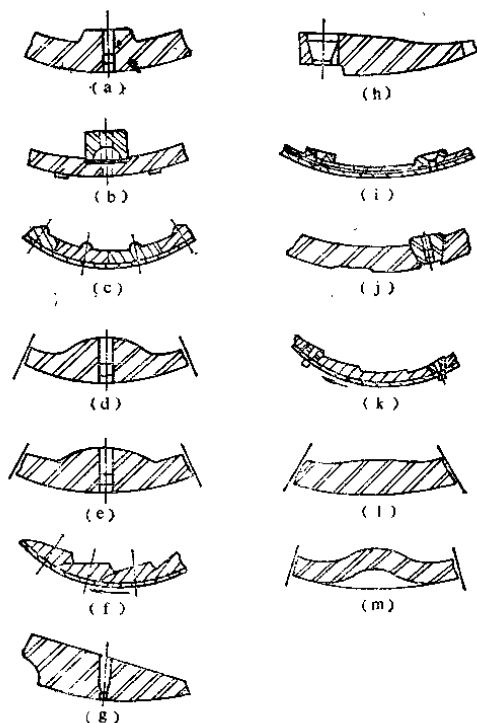


图 4-14 衬板表面形状

机，装钢棒的叫棒磨机；装砾石的叫砾磨机，不装介质的则叫自磨机。研磨介质是在磨矿过程中陆续加入的，以补充损耗。

不管是哪一类磨矿机，其基本作用原理都是一致的。现以球磨机为例来说明。如图4-15所示，当筒体转动时，介质随筒体升到一定高度，然后落下，将被磨的物料粉碎。

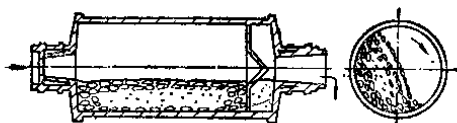


图 4-15 磨矿机工作原理示意图

除处理某些砂矿外，所有选矿厂几乎都有磨碎作业。磨矿作业的基建和生产费用，占金属矿选矿厂总费用的30~60%。每磨碎一吨矿石要耗电7~30度以上，占整个选矿厂耗电的45~65%。

目前选金厂常用的磨矿机有以下类型：球磨机、棒磨机、砾磨机和自磨机。

球磨机 在选金厂使用得最广泛。绝大多数球磨机与分级机（个别与筛子）形成闭路作业。球磨机排矿按粒度要求经分级后分成粗砂（返砂）和细粒（溢流）；溢流送下道工序；粗粒（返砂）返回球磨机再磨。这种闭路作业既能保证磨矿产品粒度合乎要求，又能提高磨矿机的处理能力。提高分级效率及控制适宜返砂量，对发挥磨矿机效率和减少产品过粉碎有重要作用。影响球磨机工作的因素还有很多，诸如被磨矿石性质、给矿粒度和要求的磨矿产品细度等。矿石愈硬、给矿粒度愈粗、要求产品粒度愈细，磨矿机产量愈低。此外，磨矿机的规格、衬板型式、排矿方式、磨矿介质的质量、尺寸、配比、装入量、补加介质的制度、磨矿机筒体转速、磨矿浓度、给矿的均匀程度均不同程度地影响球磨机的生产技术指标。

球磨机按排矿方式又分为溢流型（图4-16）、格子型（图4-

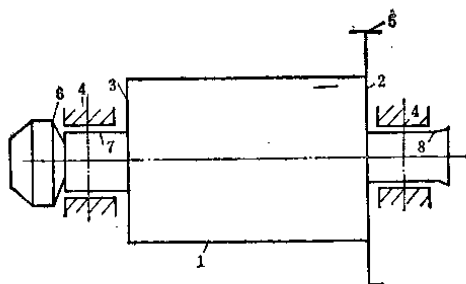


图 4-16 溢流型球磨机示意图

1—筒体；2、3—端盖；4—主轴承；5—大齿圈；6—给矿器；7—
给矿漏斗；8—排矿漏斗

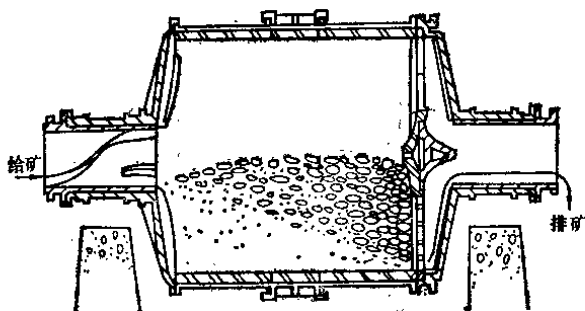


图 4-17 格子型球磨机工作示意图

17) 和周边型。格子型的矿浆面比溢流型的低，且排矿快。

棒磨机 多用于粗磨，给矿粒度20~30毫米，产品粒度3~0.3毫米。其特点是棒以全长磨碎矿石，粗粒未被磨碎前，细粒较少受到破碎，因而产品粒度比较均匀。图4-18为溢流型棒磨机工作示意图。

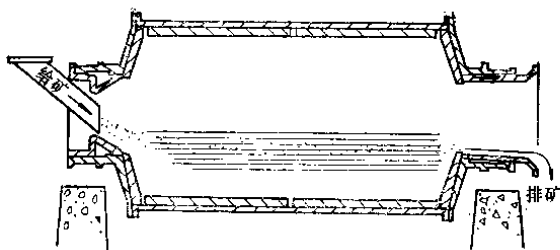


图 4-18 溢流型棒磨机工作示意图

砾磨机 以砾石作为磨矿介质。含金矿石湿法冶金前的细磨采用砾磨机。由于砾石的比重小于钢球和钢棒，其处理能力也低。

2. 分级 分级是选矿厂选前准备及选矿过程中的重要作业。分级是根据矿粒由于粒度不同在介质中具有不同沉降速度的原理而使矿粒分级成不同粒级的过程。分级的目的与筛分相似，主要用于对0~2毫米的矿粒进行分级。在磨矿循环中常进行预先分级和控制分级，以提高磨矿机效率并改善磨矿产品的粒度组成。分级有时用作含泥矿石的脱泥设备。在重选作业特别是在摇床选别之前把矿石按粒级分级入选，这可以提高选矿效率。

分级有干、湿之分，但干式分级多用于干燥缺水的地区。湿式分级亦称水力分级。

常用的分级机有机械分级机、水力分级机、离心分级机、干式分级机、水力旋流器、细筛等。

目前在选厂广泛采用的机械分级机是螺旋分级机。如图4-19所示，它是在一个倾斜的半圆形槽内安装有纵向长轴，轴上有螺旋叶片，通过传动机带动它长轴旋转的机构。分级机的上端有传动机构，下端有螺旋提升装置。分级机的下部是沉降区，在沉降区细粒随溢流排出，粗粒沉于槽底，被螺旋运向上端，返回磨矿机中再磨。

根据螺旋在槽内的位置不同，螺旋分级机分为高堰式、低堰式和浸没式三种。高堰式用于粗粒（大于0.15毫米）物料的分级；浸没式溢流面积大，适于细粒（小于0.15毫米）物料的分级；低堰式不常用。从外型看，高堰式的下部螺旋叶片露出液面，而浸没式则不露出。

螺旋分级机的规格一般以螺旋直径表示，如 $\phi 2400$ 毫米螺旋分级机。

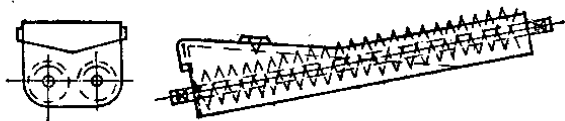


图 4-19 螺旋分级机

水力旋流器是在选金厂常用的分级设备，利用离心力加速待分级物料的沉降速度。旋流器对细粒级的分级比机械分级机效果好，特别是金在矿石的浸染粒度很细，要求磨矿细度很高时，则使用水力旋流器与磨矿机形成闭路作业。在氰化作业和硫脲提金作业时要求浸出料的细度达到95%小于0.074毫米和小于0.045毫米，分级设备均采用水力旋流器及水力旋流器组。

水力旋流器是上部为圆筒形，下部为圆锥形的容器。圆锥的底部是开口的排砂口。圆筒顶部有一个切向给料口，圆筒顶部有盖板。一个轴向溢流管穿过盖板。轴向溢流管插入筒体内一段叫做旋涡溢流管，用以防止给矿短路而直接跑进溢流。

矿浆由泵或从恒压箱通过切向方向从给料口给入旋流器，矿浆受离心力的作用产生旋涡运动，粗粒和比重大的被抛向器壁而逐步流向排料口排出。由于拖曳力的作用使细粒拉到垂直轴线周围的低压区而向上流动，最终经溢流管排出（图4-20）。

影响水力旋流器性能的因素有：给矿口、溢流管、沉砂口、给矿矿浆压力和稀释度。在选择旋流器时首先选定其处理能力，

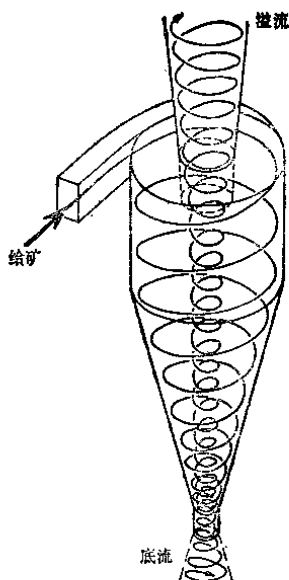


图 4-20 水力旋流器分级示意图

使给矿口、溢流管、沉砂口均为可调的。

细粒分级要求小型旋流器，而适应大处理量的需要，则将几台旋流器并联组合，即水力旋流器组。这在一些生产厂是常使用的。

3. 磨矿分级流程 由磨矿机和分级机组成的磨碎工序称磨矿分级流程。

分级作业通常分为：预先分级、检查分级和控制分级。预先分级的目的是从入磨之前的磨矿机给矿中分离出给矿中已合格的矿粒，以免使这部分矿粒入磨造成过粉碎，浪费能源和磨矿机的有效容积。检查分级是从磨矿产品中分出粒度已达到要求的合格

产品。有时预先分级和检查分级可以合并起来。对检查分级作业的溢流再进行分级作业称控制分级。其目的是对产品细度要求更加严格。

磨矿机可以开路作业，亦可闭路作业。图4-21即表示磨矿机的作业方式。

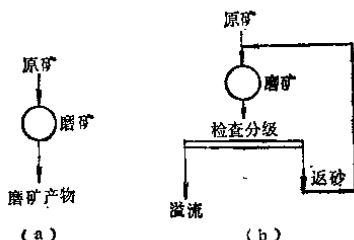


图 4-21 磨矿作业方式

a—开路磨矿；b—闭路磨矿

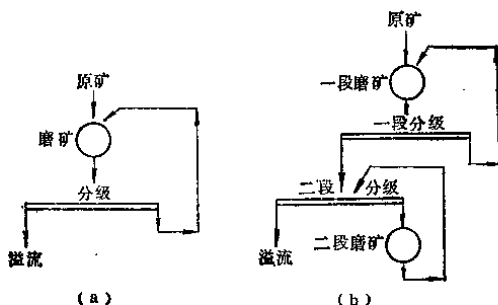


图 4-22 磨矿流程

a—一段磨矿流程；b—两段磨矿流程

磨矿流程和破碎筛分流程一样，也按磨矿的段数分为一段磨矿流程和两段，甚至三段磨矿流程。

一段和两段磨矿流程的类型较多(图4-22)。选金厂采用最多的是两段磨矿流程,第二段磨矿机的预先分级和检查分级合并为一起的两段全闭路磨矿流程(图4-22b)。采用一段闭路磨矿流程(图4-22a)和三段闭路磨矿均较少。金在矿石中浸染粒度细的矿石根据试验采用三段闭路磨矿流程,或粗精矿再磨作业。

第三节 重 选 法

重选是人类最早发明的一种选金方法。

重选的基本原理就是利用各种矿物密度的不同进行分类富集而获得较高质量的金属矿物或其他目的矿产品。在一定的介质或介质流中,通常是在水中进行,这将加快和更好地完成选矿过程。目的矿产品与其他矿物的密度差愈大,富选的效果就愈好。黄金的密度大,与通常的石英质的脉石密度差大,因此重选法早为人们在选金时成功地使用。

根据现代选矿学家的研究,用重选法分选矿物的难易程度可用下式计算。

$$e = \frac{\delta_2 - \rho}{\delta_1 - \rho},$$

式中 e ——分选的难易程度;

δ_1 ——密度小的矿物密度,克/厘米³;

δ_2 ——密度大的矿物密度,克/厘米³;

ρ ——选矿介质的密度,克/厘米³。

e 值可按表4-3的经验数值判定。

采用重选法选金时要事先分级,按粒度分为若干粒级,按粒级选用合适的重选设备并构成合理的重选工艺流程,这样将会收到良好的富集效果。选前的分级设备常使用筛分机、水力分级箱(或机)和水力旋流器等。

重选通常按所用介质的不同和所用设备的不同分或若干分类。

按介质分,可分为风选,以空气为介质,也叫干式重选;水

表 4-3 矿物按密度 (克/厘米³) 分选的难易程度

ρ	>2.5	$2.5\sim1.75$	$1.75\sim1.5$	$1.5\sim1.25$	<1.25
难易度	极易	易	中等	难	极难

选, 这是最常用的, 以水为介质; 重介质选, 以重液和重悬浮液为介质。在选金作业, 除在少数缺水地区使用风选外, 绝大多数使用水选。重液及重悬浮液选金尚未广泛采用。

按使用的重选设备分, 可分为跳汰选、溜槽选、摇床选 (或称淘汰盘选)、离心选等。

一、跳汰选

跳汰选是以跳汰机为主要选金设备的选金过程。跳汰选的原理是利用垂直交变水流使经过准备的人选金矿石多次交替地松散和靠紧, 达到按密度分层和富集。在跳汰机中密度小的产品在上层, 随矿浆流从上部流出, 密度大的产品在下层由下部出口排出。

其适用的选矿范围为25 (60)~0.074毫米, 处理能力最高可达250吨/时。

1. 跳汰机的基本构造和原理

跳汰机是常用的重选设备。它有不同的类型。通常有活塞式跳汰机和隔膜式跳汰机。如按外形分类有梯形跳汰机和圆形跳汰机。

活塞式跳汰机有固定筛跳汰机和可动筛跳汰机。隔膜式跳汰机分上动型隔膜跳汰机、下动型隔膜跳汰机和侧动型隔膜跳汰机等。

现以将活塞式跳汰机的基本结构及动作原理说明于后。图4-23是活塞式跳汰机中固定筛跳汰机的原理图。跳汰机机体的主要部分是固定水箱1, 水箱被隔板2分成两部分, 右面是活塞室, 左面是跳汰室。活塞3在活塞室中, 借偏心轮4作上下往复运动, 这样就使筛板5处的水, 产生上下交变的水流。矿石给到筛板5

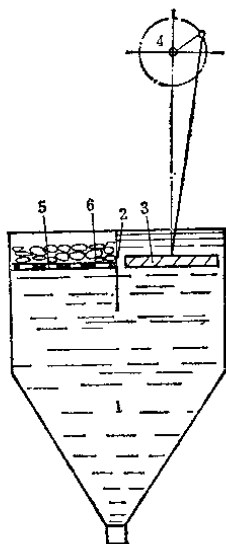


图 4-23 固定筛跳汰机原理图

1—固定水箱（跳汰机体）；2—隔板；3—活塞；4—偏心轮；5—筛板；6—床层

上，矿粒在上下交变水流的作用下按密度分层。密度大的在下层成为重矿物层，而密度小的在上层成为轻矿物层。

图4-24所示的是可动筛跳汰机的原理图。浸在水中的筛板作上下运动。当筛板向下运动时矿粒在悬浮过程中按不同沉降速度下降；当筛板向上运动时，造成相对的下降水流，使矿粒完成分层。

我国采金船上广泛采用圆形隔膜跳汰机（图4-25）。其工作原理与活塞式跳汰机相似。

2. 跳汰机工艺参数

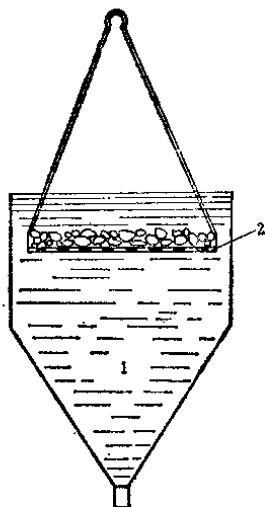


图 4-24 可动筛跳汰机原理图

1—固定机体；2—可动筛板

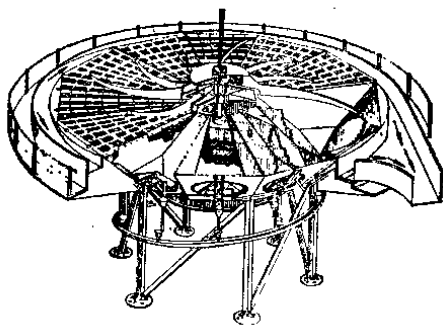


图 4-25 圆形跳汰机

跳汰机的主要工艺参数是：给矿量、给矿浓度、水流的冲次、冲程、筛下补给水量、床层石料的粒度、密度和厚度以及交换和补给的制度等。尽管在选矿及选煤生产中跳汰机有向大型化发展的趋势，但对金的重选而言，选型应适应于选金厂或采金船的生产能力。

选择介质的冲程可以遵循下列一些原则。

- 1) 粗粒物料比细粒物料需要较大的冲程；
- 2) 密度较大的人选矿石，需要较大的冲程；
- 3) 床层愈厚，需要愈大的冲程；
- 4) 使用的筛下水较少，则冲程要大些。

冲程选定之后，要根据所需的上升水速来确定与之相适应的冲次。最适宜的冲次应保证在下降期末床层完全紧密，而当床层紧密后又能立即开始松散。

通常，冲程和冲次都通过试验和实际经验来选定，根据矿石性质的变化也应做必要的微小调整。当给矿密度为 2.5克/厘米^3 、且粒级比较窄的时候，适用于各平均粒度的大概冲程和冲次列于表4-4。

表 4-4 跳汰机的冲程、冲次和给矿粒度的关系

平均粒度 毫米	40	20	10	6	3	2	0.7
冲程，毫米	80	55	37	25	13	10	5
冲次，次/分	130	135	140	170	230	240	280

床层的厚度及组成对跳汰结果有很大的影响。床层的厚度决定于物料的性质。当大密度重颗粒与小密度颗粒的密度差别大时，床层可薄。密度差别小时床层应厚。床层愈厚，颗粒愈难通过，此时重矿物的质量愈高。床层薄时，重矿物质量降低，但轻矿物的质量纯净。作为处理金矿石时，床层薄，上层产品，含金品位低，便于把上层产品当作尾矿排出。从跳汰机的筛上排矿时，大密度矿粒层（自然床层）的厚度是影响产品质量的重要因素之一。

其厚度用重矿物自跳汰机筛板上排出的速度来调节，并保持至少为最大颗粒尺寸的三倍，中矿层一方面要使精矿通过，另一方面也要防止脉石混入。所以也要有适当的厚度。顶层（脉石层）由于不断地被水流向机尾搬运，故其厚度和物料流的速度有关，流速快就薄，流速慢就厚。

全床层的厚度，通常用颗粒的数目来表示。对于粗粒物料，至少要有最大颗粒的 7 倍。希望得到高质量的重矿物时，要达到 20 倍以上。

在处理细粒物料而采用透筛排料法排出重矿物时，在筛上须铺有人工床层。

人工床层是整个床层的一部分。由于它的粒度较大，密度较高，故不论何时它都是处于最底层。在上升期，人工床层同样被水冲开，但是松散程度较小，在下降期，则较其他颗粒先落到筛板上并阻止细而轻的物料较多地通过筛孔。如此，人工床层将会调节产品的排出量。

人工床层的选料要看入选物料的性质而定。处理金矿石时，通常用大颗的大密度纯净矿物作床料。

细粒大密度的重矿物，先通过人工床层，然后才能透过筛孔。因此，人工床层的粒度和厚度对排矿速度和分选结果有显著的影响。床料的粒度愈大，则床层的孔隙愈大，颗粒小的大密度矿物就容易透过；床层愈厚，则矿粒需要较长的时间才能透过。一般床料的粒度为人选矿石最大粒度的三倍以上。床层厚薄要根据跳汰作业在整个选金流程中的地位和作用而定，最薄为 20 毫米左右，最厚可占整个跳汰床层之半。此外，床料的形状也影响分选的结果。近乎球形的床料，人工床层各处的孔隙大小几乎相同，细粒重矿物的通过速度也就均匀。人工床层料的粒度和厚度应根据入选矿石的性质和对选矿产品的要求按试验数据而定。

跳汰机的给矿速度对产品的质量也有一定的影响。最基本的一条要求就是给矿要均匀。同时必须使给入的矿石均匀地分配到整个筛面上。给矿的骤然增加和减少都会影响跳汰机的产品质量。

跳汰机的水源有二种，其一是随入选矿石给入跳汰机中的筛上水；其二是从筛下给入的补加水。

筛上水保证入选矿石沿给矿槽和跳汰机的筛面移动并将轻产品排出，筛上水愈多，也就是入选原矿浓度愈低，则轻产品的排出速度愈快。排出速度快会造成分层不完全，分选质量欠佳。因此，要选择合适的筛上水量。

筛下水可以增加床层的松散程度和减少吸入作用的强度。当选别宽粒级的原矿时，必须减小筛下水量，以便一方面降低上升水流的速度，防止大密度的细颗粒被冲到溢流中去，另外可以加强下降水流，使密度大的细颗粒透过床层。当选别窄级别的原矿时，为了使床层松散，应增大筛下水量。筛下水量过大，会破坏正常的跳汰过程。因此，筛下水量必须根据实际经验作必要的调节。

跳汰机的用水量（含筛上水和筛下水）视矿石粒度、密度、床层厚度、筛孔尺寸、水的冲程及冲次等而定。

跳汰机的生产率通常以每平方米筛面每小时的处理量（单位生产率）来计算。

对砂金矿的初选，通常是为了排出部分尾矿和获得需进一步处理的低品位金精矿，跳汰机的单位生产率为 $10\sim 20$ 吨/（米²·时）。跳汰机在磨矿机和分级机的回路中用来处理原生金矿石时，其单位生产率为 $20\sim 50$ 吨/（米²·时）以上。

生产率通常随给矿粒度的增大而提高。

二、摇床选

摇床选矿是金矿石的一种重要选别方法。其主要设备是各类摇床。

1. 摇床的基本结构

摇床通常是由横向倾斜床面和传动机构组成（图4-26）。床面有敷胶皮、塑料膜的，还有涂中国漆的。我国多用杉木作床面和床条的原料。这种木材做成的床面不变形，特别是在固定木床条时可以保证床面的工艺质量。

按处理粒级的不同，使用各种不同床面的摇床（图4-26）。摇

床分为粗砂床、细砂床（俗称绒床）和刻槽床。粗砂床和细砂床主要在床面、床条形状、尺寸和布置方式有差异。刻槽床，顾名思义是在床面上按一定的尺寸和布置方式刻有沟槽，主要用来处理微细粒（ -0.074 毫米）的金矿石。

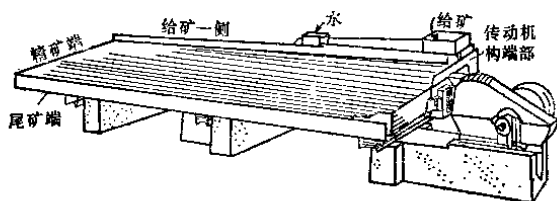


图 4-26 摇床示意图

2. 摇床选的基本原理

原矿给入摇床的给矿箱中然后均匀地分布在床面上。矿粒在机械振动、矿浆横向流、床面的倾斜和床条或沟槽间涡流的联合作用下松散、析离、分层、分带。上层矿粒密度小、粒度大，下层矿粒密度大、粒度小，上层矿浆流速快，上层的矿粒横向移动也较快，被较快地流入含金量小的尾矿排出端。床面下层的矿浆流速小，其中密度大的矿粒与床面摩擦受机械搬运力大，纵向移动速度大。于是不同粒度和密度的矿粒便以床面上不同的运动轨迹而分离，见图4-27。

图4-28为金矿石在摇床上分选时的带状图。从该图可以看出，摇床的分选效率高，尤其是富集比高。游离金带的金品位可高达80%以上，而原给矿中的金品位仅为8克/吨左右。如果暂不考虑回收率的因素，富集比可达10万。摇床选可以得到多种产品。设备单位面积处理量小、用水比大是这种选矿设备的缺点。50年代以来，各国出现了各式多层摇床，其中有悬挂式多层摇床和座落式多层摇床。但由于不便于看管和维修等问题，在我国使用得不

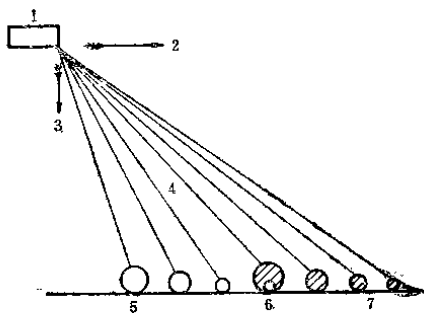


图 4-27 给入摇床面上原矿的分选原理图

1—给矿箱；2—推进方向；3—水流方向；4—对角线方向；
5—脉石；6—中矿；7—精矿



图 4-28 摇床面上金矿石分选带状图

1—单体金；2—铅银带；3—黄铁矿带；4—分选带；5—脉石（尾矿）带

太普遍。

3. 摇床的主要工艺参数

摇床的主要工艺参数是床面的冲次、冲程、横向倾角、冲洗水量、给矿量和给矿浓度。

摇床面的冲程和冲次 冲程和冲次是两个相互联系的因素，它们主要随处理矿石的粒度而定。当处理粗粒矿石时，采用较大的冲程和较低的冲次。当处理细粒矿石时，采用较小的冲程和较高的冲次。现在采用的摇床冲程调节范围为8~30毫米，冲次的调节范围为280~350次/分。处理经分级后的矿石，通常采用下列数值：对于粗粒矿石（2毫米以下），冲程25毫米，冲次230次/分；对于中粒矿石，冲程20毫米，冲次250次/分；对于细粒矿石，冲程15毫米，冲次275次/分；对于矿泥，冲程13毫米，冲次350次/分。最适宜的冲程和冲次通常是结合具体的矿石性质用试验确定。

床面的横向倾角 床面的倾角影响水流流过床面的速度。选细粒矿石时应当减小水流的速度，应采用较小的倾角。在选粗粒矿石时，要加大倾角。床面倾角的调节范围通常在 $0 \sim 10^\circ$ 之间。对于各粒级矿石，其倾角可参考下列数值：对于粗粒矿石（小于2毫米）采用 $3.5 \sim 4^\circ$ ；对于中粒矿石（小于0.5毫米）采用 $2.5 \sim 3.5^\circ$ ；对于细粒矿石（小于0.1毫米）采用 $2 \sim 2.5^\circ$ ；对于矿泥（小于0.074毫米）采用 2° 左右。

用水量 摇床的用水量包括随原矿一起给入的给矿水和直接给入摇床分水箱中的冲洗水。给矿的正常浓度为25~30%，这一浓度已足够使矿浆在床面上流动和分层。给矿浓度与给矿粒度和含泥量有关，如果给矿粒度小而含泥量大时应该采用较小的给矿浓度。浓度过小也会降低摇床的生产能力。如给矿浓度太低（如处理水力分级机的溢流），应预先浓缩脱除过多的水分。

冲洗水的用量在很大的范围内变化。最低用量应能保证所有的矿粒被水覆盖并且水流应能把小密度的矿粒冲下床面。冲洗水的用量与床面的倾角有关。当床面倾角大时，可以减少冲洗水用

量。冲洗水用量和床面倾角的合理选定，要根据用水条件和对精矿质量的要求，权衡轻重而定。要求床面上精矿、中矿、尾矿带分带清晰，倾角就得小，冲洗水用量也大。冲洗水用量通常在下列范围变化：矿石粗选时约为 $0.2\sim 1.3\text{米}^3/\text{吨}$ ，矿石精选作业约为 $1.5\text{米}^3/\text{吨}$ ，在选矿泥时可达 $10\text{米}^3/\text{吨}$ 。采用厂内回水做冲洗水时，应注意回水质量，否则对矿床摇床的各项指标均有影响。

生产能力 小于5毫米的粗粒矿石进行粗选时，一台摇床的生产能力可达12吨/时，而小于2.5毫米矿石进行粗选时，生产能力仅为7.5吨/时。对于粗精矿的精选时小于2.5毫米矿石的生产能力为3吨/时。若在一台床面一次得出两种最终产品，对于小于2毫米的矿石，生产能力则更低，只有1吨/时。对于小于0.2毫米的矿石粗选时的生产能力为2吨/时，而精选时则降到0.4吨/时。总之，摇床的富集比高，一次可获得多种产品，但生产率是低的。

三、溜槽选矿

溜槽选矿是属于斜槽选矿法的一种。在选金作业中，溜槽选矿是一种古老而迄今仍在使用的—种方法。

1. 溜槽的分类

溜槽根据其结构和选别对象分为两类：1) 选原矿的粗粒溜槽；2) 选矿泥的矿泥溜槽。粗粒溜槽通常是窄而长的水槽，在槽底装有挡板或其他铺底物，槽中的水层较厚并以较大的速度流动。矿泥溜槽的长度不大，槽内的水层较薄，速度亦小。在矿泥溜槽的底上铺有方格橡皮布或纺织物，有时也只是粗糙的槽底无铺垫物。

溜槽通常用作粗选设备。在溜槽上获得粗精矿。粗粒溜槽主要用来选砂金。开采出的砂金矿经选前准备后即进入粗粒溜槽。进入粗粒溜槽的砂矿粒度可达 $100\sim 200$ 毫米或更粗些。我国采金船上所用的粗粒溜槽已改用钢材制造，槽底铺上层横条状沟纹的皮带。无论是木材或钢材制作的溜槽，目前在我国黄金企业均可就地制造。这种设备处理砂金矿石仍能获得较好的选矿指标。其缺

点是耗用大量的人工。因此不少砂金选矿多用圆形跳汰机取代它。

2. 粗粒溜槽

目前所用的粗粒溜槽都是间断作业的。第一阶段是选矿；第二阶段就是停止选矿把沉在槽底上的砂金精矿取出来的作业。这样完成一个循环。人工操作量最大的是第二阶段即从槽底把砂金精矿清洗出来的作业。

(1) 溜槽选的基本原理

选砂金时，在不使金子被冲走的前提下，尽量加大流速，使从圆筒筛下来的原矿经分配器直接进入粗粒溜槽就不要再进行其他选前准备了。在选脉金矿石时，在一段磨矿排矿下面设溜槽。在槽底有装挡板的、呢料、毛毡、格条状皮带的，这样在挡板附近造成强烈的涡流，使沉在挡板凹处的大密度矿粒呈松散状态，即形成松散床层。该层的相对密度较大，脉石矿粒不易穿过。而密度大的砂金矿粒则可穿过该床层，在挡板的凹处积聚起来并使该床层压紧，直到涡流不足以使该床层松散时，则必须中止给矿，进行清洗作业，否则原矿中的砂金矿粒即被冲走，溜槽的选矿指标将降低。在溜槽的选金过程中，由于含金矿粒的密度大，松散床层很快就会压紧成为紧密床层。如果选矿作业和清洗作业频繁交替势必也影响效率。为此，在选金作业，溜槽尽可能在水速较大的条件下工作。水流速度小又不能形成松散床层，只有在适当的水流速度下使用机械或人工耙动床层。这也是选金作业使用溜槽的一个缺点或不足。如果有条件进行预先分级效果当然会好些。图4-29为砂金选矿用溜槽的构造和工作示意图。

选砂金用的溜槽是传统的木板制造的，有时为了控制尾矿中流失黄金，也在尾矿排出口装上这种木溜槽，定期回收一部金精矿，对提高金总回收率有一定好处。如作为尾矿的控制选矿设备，其长度则根据具体情况而定，有时长达100米以上。其宽度也根据选金厂的生产能力，一般为0.9~1.8米，槽的深度通常为0.75~0.9米。槽的坡度通常为0.02~0.08。尾矿控制用选矿溜槽可与正常的尾矿排放系统相接。

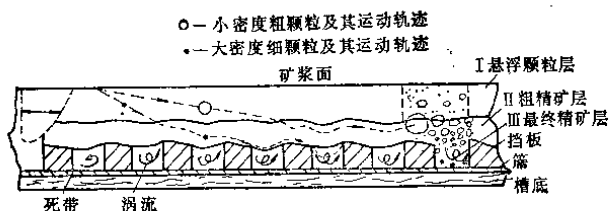


图 4-29 砂金选矿用溜槽的构造和工作示意图

（2）溜槽槽底的挡板和铺物

槽底的挡板和铺物对选金过程有很大影响。铺物的种类和排列方式不仅影响捕收砂金的效率，而且影响溜槽的操作条件和指标，如流速、清洗次数和精矿产率等。选择挡板或铺物的一般原则是：挡板或铺物与矿流的厚度之比不大于1，通常为0.4~0.6。流速愈小，挡板或铺物的高度亦应降低。挡板应当结实、铺物应有韧性防止给矿中有较大的砾石撞击。如果给矿中有胶结的粘土块，为了使之能够碎散，挡板应能起到阻碍粘土块运动的作用。阻力小的挡板或铺物，可使溜槽的耗水量减少，但这种挡板捕收金矿粒的效率亦低。另外，挡板或铺物不应造成很大的死角。因为在死角内的矿粒得不到选分，而降低金精矿的质量。

图4-30所示为常用的挡板和铺物。

直条挡板（图4-30a）是由截面为75×75毫米的方木条或直径为50~75毫米的圆木条组成的。两相邻木条间的距离为38~75毫米。木条的两端用50×50毫米的横木条钉牢。挡板通常制成长1.8米的分段。这种挡板装在溜槽上用于捕收粗粒金子，可得到良好的结果。用这种溜槽，其耗水量较小，但是这种挡板磨损很快。可以考虑用废皮带切成条来代替之。

横条挡板（图4-30b）是由尺寸20×20~50×50毫米的方木条组成的。木条横向排列，间距为25~50毫米，横木条的两端用顺向木条固定。挡板的宽度与溜槽的宽度相同，由300至1000毫米。挡板装成长1.2至1.8米的分段。为了使木条不致过早磨损，

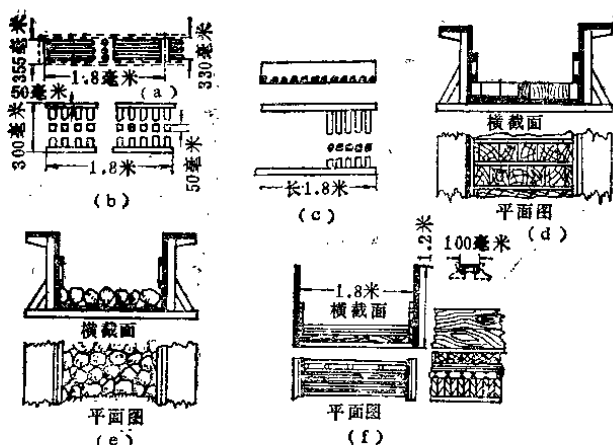


图 4-30 选金溜槽挡板和铺物类型

可在木条的顶部包一层铁皮或用其他材料代替。为了减少磨损铁皮在迎水流的方向向下折转10~20毫米。

图4-30c所示是另一种横条挡板。这种挡板是用弧面的木条代替方木条。在安装时以高的侧边迎向水流，这样能保证在挡板凹处的矿粒得到更好的松散。

木块挡板（图4-30d）是边长为200~400毫米的方木块或不同高度的圆木块组成的。木块横向排在槽底上，其间距为25~37毫米。这些木块用长木条固定。这种挡板捕收金子的效能较好。由于木块挡板较高，对运动矿流的阻力较大，要求溜槽有较大的坡度。

石块挡板（图4-30e）是由平滑的石块组成的。把石块的棱角朝下并将高端迎向水流排列在槽底上。为了固定石块，在槽底上装有横木条。石块挡板虽然很耐磨，使用时间长，但在清洗和重新排列时，就要花时间了。使用这种挡板时，溜槽的坡度较大，因此耗水量也大。石块挡板常用于选别含金量很少的尾矿扫

选作业，通常每季度才清洗一次。

钢轨挡板（图4-30f）多半是纵向排列在溜槽内，有时也有横向排列的。钢轨间距一般为100~150毫米。钢轨用木垫板固定或用特制的生铁垫板卡紧。钢轨挡板的特点是寿命长，可用废钢轨来做，成本也低。处理粗粒矿石时坡度要小，但碎散作用不强。为了弥补这项不足，钢轨挡板的排列方式是：在槽头有一段是横向排列，以后是纵向排列。

挡板的型式很多，各生产单位都有自己的制作经验。总之，挡板应该造成粗糙的底面。为了捕收细粒金子，需要有比较均匀而一般粗糙度的表面。粗粒的金子易于被阻留在能造成强烈涡流的横向挡板的凹处。在选择挡板时还应考虑挡板拆时的方便。

用溜槽选金时，液固比为3:1~10:1的矿浆自溜槽上端给人，直到在槽底结成足够的一层沉积物时才中止给矿，然后进行清洗。在清洗作业开始之前先用清水冲洗一下，使沉积下来的尾矿顺水流走。然后由下而上依次取出挡板或铺物，然后往槽内放入少量清水，用刮板沿槽底逆水流向上耙动，使小密度的矿粒顺水流带走，而大密度的矿粒和金子留在槽底。所得到的精矿仔细地槽取出，然后送往精选作业。

如果原矿内含有细粒金，则常被水流带到溜槽的尾部。为了回收这部分金粒，往往在主溜槽尾部装上总宽度为主溜槽宽度5~20倍，长约6~15米的副溜槽。在副溜槽内水流速度减缓，水流厚度也薄了，在这里可以收得细粒金。

3. 矿泥溜槽

矿泥溜槽的种类很多，按其结构大体可分为两类：1）固定式；2）机械传动式。固定式溜槽有匀分槽（见图4-31）、圆槽（见图4-32）等，这些固定式溜槽在我国钨锡选矿厂具有悠久的历史，选金作业也有使用。机械传动式溜槽主要有自动溜槽和皮带溜槽。

（1）自动溜槽

自动溜槽由5个尺寸为1.8×1.8米的盘组成。盘框是钢材制

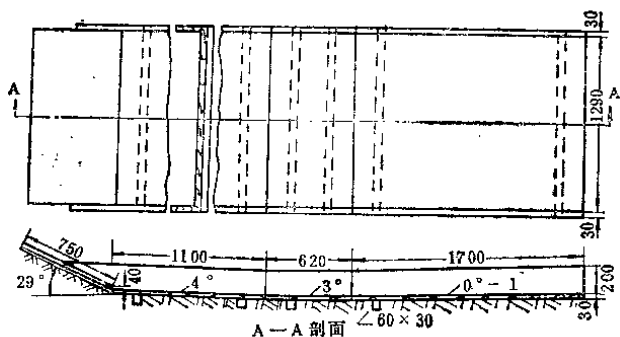


图 4-31 匀分槽

成的，盘面是木板制成的。在盘面上复有一层方格橡皮板或光面橡皮布。每块盘都支承在水平轴上。工作时盘的倾角为 9° 。溜槽的给矿和清洗都是自动进行的。一个工作循环所需的时间为5分35秒。

自动溜槽可以处理0.4~0.01毫米各粒级的矿泥，最有效的选别粒级为0.074~0.018毫米的矿泥。选别前要严格分级。

(2) 皮带溜槽

皮带溜槽有振动的和不振动的两种。在选金厂多使用不振动的皮带溜槽。图4-33所示为不振动皮带溜槽的简单原理图。

皮带溜槽由无极橡胶带2组成，皮带在传动鼓轮1和下部鼓轮7上循环运动。皮带用中间托滚8支撑，皮带是特别的或由普通皮带上复有一层呢料，呢料上钉有横向木条，其断面尺寸为 5×10 毫米，间距为30毫米。移动机架下端的位置，可以调节溜槽的倾角。

经给矿斗5给入溜槽皮带上的矿浆沿皮带下流，此时大密度的金粒沉积在皮带上，而小密度的矿粒和极细的矿泥被带到溜槽的尾端从尾矿排出槽口排出。为了提高精矿质量，在溜槽的头部装上喷水管3，以洗出混在重矿物中小密度的矿粒，在皮带下面

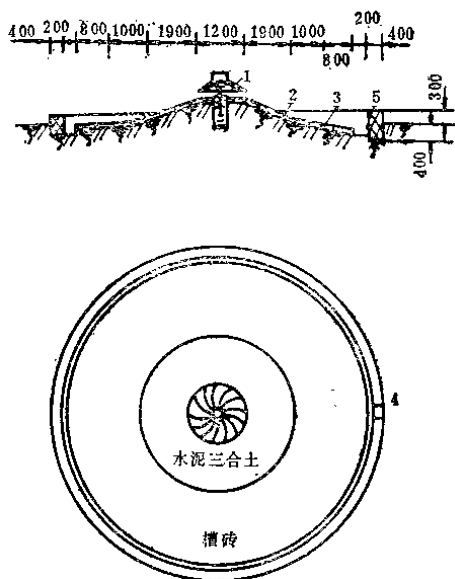


图 4-32 固定式圆槽

1—自动给矿盘；2—给矿斜面；3—选矿斜面；4—溢流口；5—溢流沟

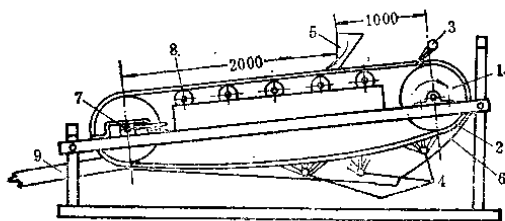


图 4-33 不振动的皮带溜槽示意图

装有喷水管4，把残留在皮带上的精矿冲洗到精矿槽6中。

在我国锡选矿厂广泛使用的细泥皮带溜槽对回收细粒金有效。这种细泥皮带溜槽的主要部分是一无极的平胶带，带面与水平作 $13^{\circ}\sim 17^{\circ}$ 倾斜，由传动轮带动低速运转。矿浆给到离传动轮一定距离处。密度大的矿粒沉至带面随胶带向上运动，在传动轮附近用冲洗水将混杂的脉石粒洗出，由顶端排出；密度小的颗粒随矿浆流向下方，由尾端排出。

(3) 尖缩溜槽（或称扇形溜槽）

尖缩溜槽槽长约1米，给矿端宽125~400毫米，向排矿端逐渐尖缩至25~9毫米左右，槽面作 $16^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 倾斜放置。含固体重量50~65%的矿浆由上端给入，向下流动时，随槽面变窄矿浆层逐渐增厚，矿粒在流动中按密度分层，由截取板截取精矿和中矿和尾矿。

图4-34是尖缩溜槽的示意图。

(4) 圆锥选矿机

圆锥选矿机是按照尖缩溜槽的原理演变而成的。这是一种高

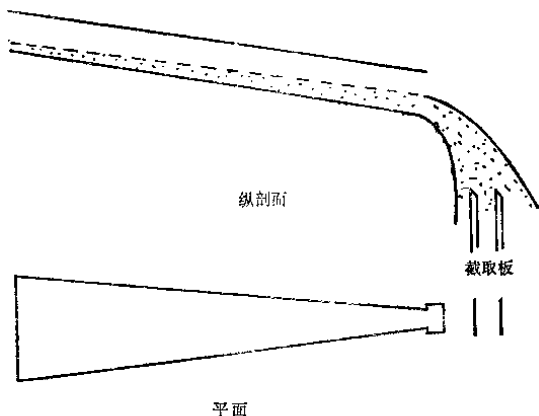


图 4-34 尖缩溜槽示意图

处理量的重选设备。在圆锥上的矿浆流动不受限制，即不受边壁效应的影响，这是优于尖缩溜槽之处。矿浆由中心给入正置的给矿锥，沿锥面向底部周缘流动，抵周缘后垂直下落到倒置的选别锥。随矿浆由周缘向中心流动，选别锥表面逐渐缩小，矿浆层逐渐变厚。矿粒在流动过程中按密度分层，由中心处的截取器将轻、重产品分开。圆锥选矿机（图4-35）的直径通常为2~3米。每台设备的处理能力高达60~100吨/小时（直径2米）和200~300吨/小时（直径3米）。这种设备要求给矿浓度要高达55~70%（固体重量），适于处理粒度均匀、含泥少的海滨砂矿。

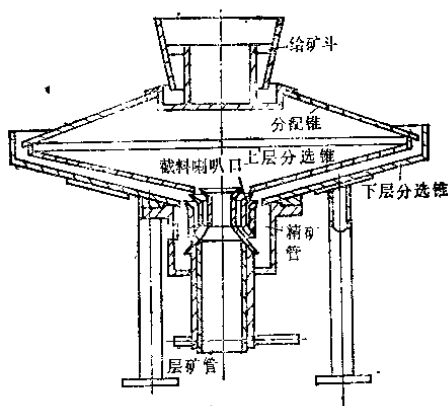


图 4-35 圆锥选矿机

赖克特圆锥选矿机是六十年代初期由澳大利亚研制成功的。圆锥选矿机（图4-36）有几个垂直重叠的圆锥，可以完成几段选别。锥体由玻璃纤维制成，安装在高6米的圆形架上。圆锥直径为2米者，机内无运动部件。该机通常安装双锥和单锥加精矿溜槽。溜槽把精矿由圆锥的中心排矿区排送到外部接矿槽，同时也起精选作用，类似于尖缩溜槽。

给矿矿浆沿圆锥的周边均匀给入。当矿浆流向圆锥中心时，

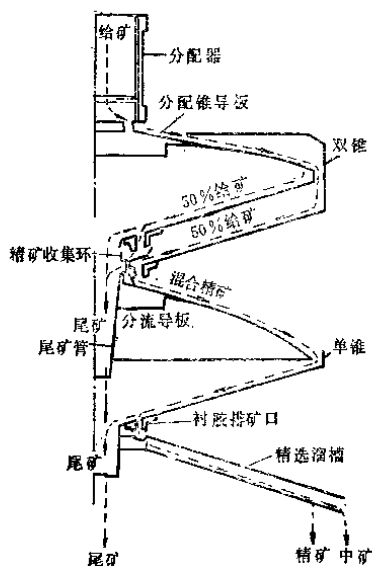


图 4-36 赖克特圆锥选矿机剖面图

精矿（重矿物粒子）分选入流膜的底部，由分选圆锥底部的环形槽（收集环）排出，流膜的另一部分越过该环形槽，作为尾矿从中心尾矿管排出。分选效率比较低，因此在一个单机内重复几次选别作业。用于粗选作业通常是由四个双-单锥阶段串联组成的。每一阶段选别均处理上一阶段的尾矿。上三阶段选别作业产出精矿，第四阶段选别作业的重矿物粒子只能当成中矿。

在国外，赖克利圆锥选矿机广泛用于金矿，主要是砂金矿的预选；也有用来作为高品位尾矿的预选的。由于它的处理量大，也用来处理钨、锡、磁铁矿等。在许多场合，圆锥选矿机优于螺旋选矿机和摇床。

第四节 浮 选 法

一、浮选法的发展沿革

中国古代曾利用矿物表面的天然疏水性来净化朱砂、滑石等矿质药物，使矿物细粉飘浮于水面，而无用的废石颗粒沉下去。在淘洗砂金时，用羽毛蘸油粘捕亲油疏水的金、银细粒，当时称为鹅毛刮金。明宋应星《天工开物》记载，金银作坊回收废弃器皿上和尘土中的金、银粉末时“滴清油数点，伴落聚底”。这就是浮选法选金的最初应用。

18世纪人们已知道固体粒子粘附在气泡上能升至水面的现象，随着人们对金属需求量的增加，急于找到一种方法回收矿石中细粒金属。19世纪末，随着人们对矿物表面性质的认识深化，出现了薄膜浮选法和全油浮选法。

20世纪初，泡沫浮选法应用选别有色金属和黄金矿。1922年用氰化物抑制闪锌矿和黄铁矿，发展了优先浮选法。

浮选法的发生和发展也促进了黄金选矿业的发展，特别是对脉金矿的利用和在有色金属矿石中综合回收黄金创造了条件。目前，浮选法已成为处理金矿石生产黄金的重要工艺。我国许多脉金矿山选矿厂是以浮选工艺为主或以单一浮选工艺装备起来的。浮选厂的金回收率达到90%以上且可综合回收以金为主的低品位多金属。

小于10微米细颗粒金是很难用重选法回收的。浮选利用矿物表面物理化学性质的差异可以选收细粒，甚至微细粒矿物。超细粒浮选或荷载体浮选和离子浮选可以回收微细粒金。

建国前中国有几座黄金浮选厂和副产回收金银的有色金属浮选厂。目前，黄金浮选工艺已广泛用于金选矿厂，即使是乡镇小矿和个体采金户均能成功于运用浮选法选收黄金。

二、浮选基本原理

矿物颗粒自身表面具有疏水性或经浮选药剂作用产生或增强疏水性。疏水就是亲油和亲气体，可在液-气或水-油的界面发生

聚集。经过一系列工艺处理后的金矿粒虽然密度大却能与气泡和浮选剂亲合而被浮于浮选机的矿液表面，将作为泡沫产品回收。

图4-37是泡沫浮选过程示意图。

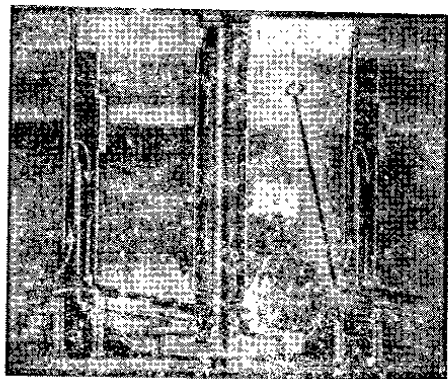


图 4-37 泡沫浮选过程示意图

这是目前常用于黄金浮选的一种方法。它适于选别0.5毫米至10微米的金矿粒。当入选矿粒小于10微米时需要采用特殊的浮选法。常用的有用絮凝剂使细粒金或含金矿物絮凝成较大颗粒，脱出脉石细泥后再浮去粗粒脉石，这是絮凝-浮选。荷载体浮选是用粒度适于浮选的矿粒作荷载体，使微细粒金粘附于荷载体表面并随上浮而成金精矿。用油类使细矿粒团聚进行浮选的油团聚浮选和乳化浮选。利用高温化学反应使矿石中金属矿物转化为金属后再浮选的高温浮选对金矿石不常采用。关于使用泡沫浮选法回收金泥，我国将用于工业领域。

三、浮选剂

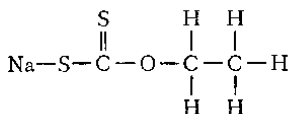
浮选时使用各种药剂来调节入选矿物和浮选介质的物理化学性质，从而扩大金矿物或含金矿物与脉石间亲疏水性的差异，使之更好地分选，达到提高金回收率的目的。常用的浮选剂分三大类：捕收剂，起泡剂，调整剂。

1. 捕收剂 自然界中除煤、石墨、硫黄、滑石和辉钼矿等矿物颗粒表面疏水、具有天然的可浮性外，大多数矿物均是亲水的，金矿物也是如此。加一种药剂能改变矿物颗粒的亲水性而产生疏水性使之可浮，这种药剂通常称之为捕收剂。捕收剂通常是极性捕收剂和非极性捕收剂。极性捕收剂由能与矿物颗粒表面发生作用的极性基团和起疏水作用的非极性基团两部分组成。当这类捕收剂吸附于矿粒表面时，其分子或离子呈定向排列，极性基团朝向矿物颗粒表面，非极性基团朝外形成疏水膜，从而使矿粒具有可浮性（见图4-38）。

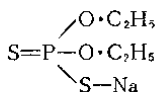


图 4-38 浮选捕收剂作用示意图

与铜、铅、锌、铁等硫化矿物伴生的金，在浮选时常用有机硫代化合物作捕收剂。例如，烷基（乙、丙、丁、戊基等）二硫代碳酸钠（钾），又称黄原酸盐，俗称黄药。如 $\text{NaS}_2\text{C}\cdot\text{OCH}_2\text{CH}_3$ ，其结构式如下：



在含金多金属矿石的浮选时，多采用乙基黄药和丁基黄药。烷基二硫代磷酸或其盐类，如 $(\text{RO})_2\text{PSSH}$ ，式中R为烷基，俗称黑药。其结构式如下：



烷基二硫代氨基甲酸盐和黄原酸盐的酯类衍生物等也是硫化矿物常用的捕收剂。也是浮选含金多金属硫化矿的常用捕收剂，常与黄药类同时使用。

非离子型极性捕收剂的分子不解离，如含硫酯类，非极性捕收剂为烃油（中性油），如煤油、柴油等。

2. 起泡剂 具有亲水基团和疏水基团的表面活性分子，定向吸附于水-空气界面，降低水溶液的表面张力，使充入水中的空气易于弥散成气泡和稳定气泡。起泡剂和捕收剂联合在一起吸附于矿物颗粒表面，使矿粒上浮。常用的起泡剂有：松树油，俗称二号油、酚酸混合脂肪醇，异构己醇或辛醇、醚醇类以及各种酯类等。

3. 调整剂 可分为五类：1) pH值调整剂。用它来调节矿浆的酸碱度，用以控制矿物表面特性、矿浆化学组成以及其他各种药剂的作用条件，从而改善浮选效果。在氰化过程中也同样要调节矿浆pH值的。常用的有石灰、碳酸钠、氢氧化钠和硫酸等。在选金时，最常用的调节剂是石灰和硫酸。2) 活化剂。能增强矿物同捕收剂的作用能力，使难浮矿物受到活化而浮起。使用硫化钠活化含金的铅铜氧化矿，然后用黄药等捕收剂浮选。3) 抑制剂。提高矿物的亲水性和阻止矿物同捕收剂作用，使其可浮性受到抑制。如在优先浮选过程中使用石灰抑制黄铁矿，用硫酸锌和氰化物抑制闪锌矿，用水玻璃抑制硅酸盐脉石矿物等、利用淀粉、栲胶（单宁）等有机物作抑制剂达到多金属分离浮选的目的。4) 絮凝剂。使矿物细颗粒聚集成大颗粒，以加快其在水中的沉降速度；利用选择性絮凝进行絮凝-脱泥及絮凝-浮选。常用的絮凝剂有聚丙烯酰胺和淀粉等。5) 分散剂。阻止细矿粒聚集，处于单体状态，其作用与絮凝剂恰恰相反，常用的有水玻璃、磷酸盐等。

浮选剂的种类和用量随矿石性质和浮选条件及流程特点面各异，可用试验单位提供药方（或称药剂制度），在生产实践过程中也可根据上述各种条件的变化而加以改变。

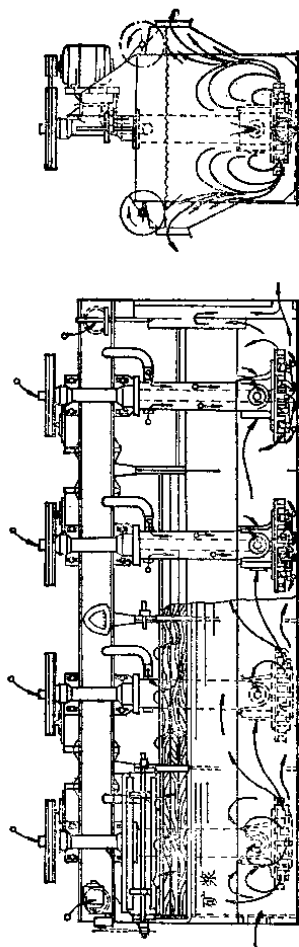


图 4-39 串联的浮选槽

四、浮选设备

浮选设备主要是浮选机以及为实现浮选工艺的其他设备。矿浆经过搅拌充气，在各种浮选剂的作用下矿粒与气泡粘附，气泡上升、形成矿化泡沫层，被刮板刮出或溢出，这一系列浮选过程均是在浮选机中完成的。浮选机多由多槽串联而成(图4-39)。按搅拌和充气的方式不同浮选机可分为5种。1)机械搅拌式。如图4-37所示搅拌和充气均是由机械搅拌器来实现的，有离心叶轮，也有的是星形转子和棒形转子等类型。搅拌器在浮选槽内高速旋转，驱使矿浆流动，在叶轮腔内产生负压而吸入空气。2)充气机械搅拌式。除机械搅拌外，再补充向浮选槽内充入低压空气。3)充气式。靠压入空气进行搅拌并产生气泡，如浮选柱和泡沫分离装置等。4)气体析出式。用降低压力法或先加压后降至常压的方法，使矿浆中溶解的空气析出，形成微泡。5)压力溶气式。利用高压将充入的空气预溶于水，然后在常压下在浮选槽内析出，形成大量微泡。

目前，在我国金选矿厂最常用的浮选机是国产的机械搅拌式浮选机。

第五节 拣选法

拣选分为人工拣选和机械拣选。人工拣选就是人类在几千年来采用的最原始的方法——手选。工人凭自己对矿物的知识选出需要的矿块或是拣出不值得进一步处理的石块。

随着矿山开采业的发展和选矿业的技术进步，手选已经失去了它在现代选金厂的重要地位。只有采到高品位的富金矿块时，用人工手选剔除明显的废石和低品的矿块，以确保富金矿块的质量。因为这种数量不大的富金矿块不经过机械选矿而直接给冶炼厂作为富金矿块出售。这种金矿石品位通常在100克/吨到1000克/吨以上。

在现代选金厂，还有设置手选工序拣出矿石中的大块木材、混入的铁件或其他杂物。

机械矿石拣选，通常是指使用光电拣选机、电子拣选机、电导拣选机和中子吸收拣选、光激中子拣选等。但并不是所有的机械拣选方法和拣选机均适用于选金矿石。70年代在南非的金矿曾使用RTZ型光电拣选机选别金矿。该选金厂处理的矿石，金多赋存在白色或灰色的石英石中，而浅绿、橄榄绿至黑色的石英石中则几乎不含金或含金甚微。该厂正是利用矿石和脉石颜色上的差异使用光电拣选机废弃脉石，获取金的粗精矿。光电拣选机的工作条件要求严格。原矿在进入光电拣选之前要经过洗矿，洗净矿石表面上附着的矿泥，否则会影响光反射的质量，也就影响分选效果。洗净后的矿石要经过振动给矿机均匀地给入光电拣选机。

目前，我国使用机械拣选处理金矿石仍处于试验研究阶段。

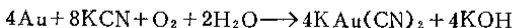
第五章 氰化提金法

氰化提金法是从金矿石中提取金的主要方法之一。堆浸（或称堆淋）、渗滤氰化法、搅拌氰化法、炭浆法、炭浸法都属于氰化提金法的范畴。

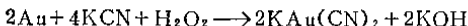
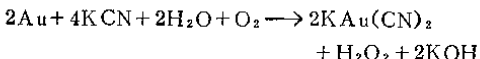
第一节 基本原理

一、反应机理

金在稀薄的氰化溶液中，在有氧存在时可以生成一价金的络合物而溶解。其基本反应式为：



金被氰化溶液溶解时发生两步反应：



金的表面在氰化溶液中被逐渐由表及里地溶解。溶液中氧的浓度与金的溶解速度有关。试验结果表明，在高浓度的氰化溶液中，金的溶解速度决定于氧的含量。而当溶液中氰化物浓度低时，金的溶解速度决定于氰化物浓度。金的溶解速度有其极限值，此速度称为极限溶解速度。

溶液中溶解氧的浓度（即溶液的充气程度）和游离氰化物浓度对金的溶解都起作用，而两者之比有一最佳值。只注意加强搅拌而获得理想的充气，而溶液中游离氰化物的量不足，氰化效果不会好。反之，如果加入过量的氰化物，而氰化溶液含氧量低于最佳值，这样不仅浪费了氰化物，氰化浸出金的效果也不会好。在生产上要同时检验溶液中游离氰化物和溶解氧的含量，两者摩尔比为6时是理想的。

金在不同的氰化物和溶解氧的浓度下的极限溶解速度列于

表5-1。

表 5-1 金在不同氰化物和氧浓度下的氧限溶解速度

金 属	温 度 °C	大 气 压	溶液中[O ₂] × 10 ⁻³ 摩/升	溶液中[CN ⁻] × 10 ⁻³ 摩/升	$\frac{[CN^-]}{[O_2]}$
金	25	1.00	1.28	6.0	4.69
	25	0.21	0.27	1.3	4.86
	35	1.00	1.10	5.1	4.62

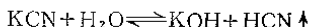
二、保护碱的作用

在氰化过程中氰化物除正常耗用外，还有损失。损失的原因有机械损失和化学损失。

机械损失的原因通常是：浸出槽中矿浆装得过满外溢或污漏，矿浆飞溅；浸出后矿浆脱水和洗涤不充分和含氰污水带走等。

化学损失的原因主要是：氰化物的水解；溶液中有CO₂和因硫化物氧化所生成的硫酸和碳酸也会与氰化物作用生成挥发性的HCN；矿石中铜、锌、硒、碲等矿物都会消耗氰化物生成硫氰化物及相应的络盐。

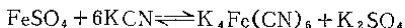
氰化钾等氰化物在水解时发生下述反应：



生成的HCN一部分从溶液中挥发出来。当把石灰、苛性钾或钠加入溶液中会使氰化物的水解减弱，会使上式向左方向反应。

由于加碱可以中和矿石中硫化矿物氧化生成的酸类，从而阻止HCN的生成。

矿石中的黄铁矿氧化时生成H₂SO₄，此外还生成FeSO₄，FeSO₄也会消耗氰化物。其反应式为：



氰化溶液中加入碱和充氧，硫酸亚铁被氧化成Fe₂(SO₄)₃，Fe₂(SO₄)₃与碱作用生成Fe(OH)₃的沉淀。由于碱和氧的存在而减少了KCN的消耗。

正是由于加碱，使氰化物的化学损失减少，因此把加入氰化溶液中的碱称为保护碱。

保护碱的加入量应适度，过多会降低金的溶解速度。在生产厂矿，通常把pH值控制在11~12的范围内。为了降低生产成本。常用石灰（ CaO ）作保护碱。选金厂的氰化工段，常配制成浓度为0.03~0.05%的石灰乳加入氰化溶液中。

选金厂的实践证明，金的最高溶解速度是在氰化物浓度为0.05~0.1%的范围内。处理浮选精矿的氰化作业比原矿石全泥氰化作业要用较高的氰化物浓度。

三、氰化物的选用

氰化法提金工艺最主要的药剂就是氰化物。常用的氰化物有 NaCN 、 KCN 、 NH_4CN 和 $\text{Ca}(\text{CN})_2$ 。在选用氰化物时要考虑选用的氰化物对金的相对溶解能力、稳定性、所含杂质对工艺的影响、价格及供货的可靠性等。

氰化物对金的相对溶解能力决定于单位重量氰化物中氰根（ CN^- ）的含量，同时也决定于氰化物中金属的原子价和氰化物的分子量。常用氰化物的相对溶解能力见表5-2。氰化物的稳定性是指它们在含有二氧化碳的空气中被分解成HCN气体的稳定程度。按稳定性的大小可以排成下列顺序： KCN 、 NaCN 、 NH_4CN 、 $\text{Ca}(\text{CN})_2$ 。在工业生产上最常使用的是氰化钠。

选金厂还广泛使用一种廉价的氰化物，称为氰熔物。氰熔物是氰化钙 $[\text{Ca}(\text{CN})_2]$ 、食盐和焦炭的混合物在电炉熔融后制得的。氰熔物的有用成分为45% $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ，其他均为杂质。这些杂质有可溶性硫化物、碳和不溶的杂质等。使用氰熔物前要清除这些杂质，即强力搅拌氰化物溶液，往溶液中添加铅盐使硫化物变成硫化铅沉淀，澄清后的溶液用于氰化浸出作业。

按金溶解的基本反应式，理论上溶解一克纯金需0.49克 NaCN ，但实际生产中氰化钠的耗量均为理论数的200倍以上。当然，实际消耗量比起理论消耗量高如此之多，是因为实际消耗量包括了氰化过程中氰化物的机械损失和化学损失。

表 5-2 主要氰化物的相对溶解能力

氰化物名称	分子式	分子量	金属的原子价	获得同等溶解能力时的相对消耗量	对KCN的相对溶解能力, 以KCN为100
氰化铵	NH_4CN	44	1	44	147.7
氰化钠	NaCN	49	1	49	132.6
氰化钾	KCN	65	1	65	100.0
氰化钙	$\text{Ca}(\text{CN})_2$	92	2	46	141.3

第二节 渗滤氰化法

渗滤氰化法是氰化提金法中较为简单易行的一种, 它可土可洋。只要矿石性质合适, 可以先土后洋, 逐步完善。它常用来处理砂矿、烧渣等。矿石中含有粘土、矿泥等细泥状物料在渗滤氰化之前, 首先要脱泥。

一、渗滤氰化过程

渗滤氰化是在渗滤浸出槽中进行的。把待浸出的矿石装满浸出槽, 然后加入氰化溶液浸出。氰化溶液渗滤过矿石层使金溶解。待浸的矿石应为小于10毫米的砂矿或矿砂。经过渗滤浸出的含金溶液(称贵液)透过比槽底稍高的假底(即滤底)经槽壁上的管道流出。贵液排出管位于槽底和滤底之间(见图5-1)。矿石经氰化溶液处理后再用清水洗涤把残留在矿石间隙中的含金溶液洗出。

从渗滤浸出槽中排出的贵液送入置换沉淀槽(或箱), 用锌丝或锌粉把金置换析出。析出金后的脱金溶液称贫液, 送入贫液池, 补加适量的氰化物, 可作为下一批新矿石浸出用。用清水洗涤后的矿石即渗滤氰化的尾矿, 清除后, 在浸出槽完或下一作业循环。

往浸出槽中加料应均匀分布以保证渗滤质量和尽可能高的浸出率。加料有干法和水力法两种。干法装料系指含水小于20%的矿石装入浸出槽中。水力装料法是矿石先用水稀释后用砂泵扬送或沿流槽自流到渗滤浸出槽中。多余的水将在渗滤槽装满料时从槽顶周围的环形溢流沟排出。停止装料后, 槽内的水渗出滤底,

从贵液排出口排出废液。装满料后再开始新的渗滤氰化循环。在装料时通常把一定数量的石灰装入渗滤氰化槽中。

渗滤氰化槽可以是水泥槽或铁板槽（图5-1）。槽底通常向贵液排出口端微倾斜。槽的形状有长方形、正方形和圆柱体形等。槽的容积和尺寸根据生产规模选定。渗滤槽的高度由1.5米到4米不等。槽容积由15吨至150吨矿石不等。

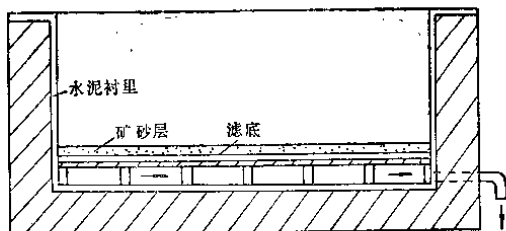


图 5-1 渗滤浸出槽

二、氰化物浓度和渗滤法金的浸出回收率

用渗滤氰化法浸出时，通常分批添加氰化溶液。第一次用浓氰化溶液， $0.1\sim 0.2\% \text{KCN}$ ，第二次用中等浓度的氰化溶液， $0.05\sim 0.08\% \text{KCN}$ ，最后用稀氰化溶液 $0.03\sim 0.06\% \text{KCN}$ 。氰化物的浓度、溶液的总添加量和每批氰化溶液的添加量通常根据试验来确定，这与矿石的性质和每批处理的矿量有关。每处理一吨干矿石耗用氰化物（ KCN 或 NaCN ） $0.25\sim 1$ 千克，有的难浸矿石可能更高。保护碱石灰的耗量为 $1\sim 2$ 千克。

影响渗滤法提金浸出回收率的因素很多。矿石中金粒的大小，磨矿细度，脱泥和分级的质量，渗滤速度，硫化物的含量，氰化溶液的数量和氰化物的浓度，操作的好坏，氰化尾矿的洗涤程度，保护碱的用量，槽内料层中的充氧程度等等，这些都不同程度地影响金的浸出回收率。

用渗滤浸出法处理石英脉含金矿石时，浸出回收率可达90%左右。

我国砂金矿使用渗滤氰化法处理采金船精选后的重砂。

采金船粗精矿经精选后产出一种重砂。这部分重砂仍含有1.5~36克/吨的金，如不采取措施回收其中金，而作为精选厂的尾矿堆存或作为建筑材料使用，将造成金的永久损失。仅黑龙江省几个金矿的统计每年将产出5万吨以上的重砂。工业试验证明，采用渗滤氰化法和活性碳吸附可以有效地从含金重砂中回收金而且有一定经济效益。

第三节 搅拌氰化法

搅拌氰化法是日前常用的氰化浸出作业。此法适于处理粒度小于0.3毫米的含金矿石，机械化程度高，浸出时间短、浸出率较高。

一、搅拌氰化过程

经磨矿和分级后的矿浆进入浓缩机脱水，提高浓度之后送入搅拌浸出槽或空气搅拌的巴丘克浸出槽。往浸出槽中添加适量的氰化溶液进行浸出。浸出后过滤，将含金溶液（贵液）滤出，固体即是氰化尾矿。贵液送往置换沉淀设备中，用锌粉或锌丝沉淀置换金，这种沉淀金通常称为金泥，因其中含有许多杂质还需要进一步处理，炼制成金锭（见第八章）。氰化尾矿视氰化原料而定。如果氰化原料是浮选作业的多金属含金精矿或含金黄铁矿，那么氰化尾矿还有利用价值或在下面的流程单独处理。如果氰化原料是单一的金矿石并含有粘土及其他矿泥，则采用全泥氰化法或称完全搅拌氰化法处理。

按照浸出方式，搅拌浸出法有连续式搅拌氰化法和间歇式搅拌氰化法之分。除对难选金矿石采用多段浸出者外，通常均采用连续式浸出方式。

二、搅拌浸出槽

搅拌氰化法作业的代表性设备就是搅拌浸出槽。搅拌浸出槽根据搅拌方式的不同分为机械搅拌式浸出槽、空气搅拌式浸出槽和空气-机械联合搅拌式浸出槽。

机械搅拌式浸出槽（图5-2）的搅拌装置有不同 类型，如叶轮、螺旋桨、涡轮等。这种浸出槽很像调和矿浆用的搅拌槽或调和槽。目前，我国选金厂普遍使用这种型式的浸出槽、矿浆从给矿管或流槽给入浸出槽，在槽内经浸出后从排出管排往下一个浸出槽。浸出槽数根据矿浆处理量和浸出时间而定并按矿浆自流方式配置。矿浆经过充分的搅拌可以吸入空气，使矿浆中含有充足的氧而保证浸出过程的顺行。

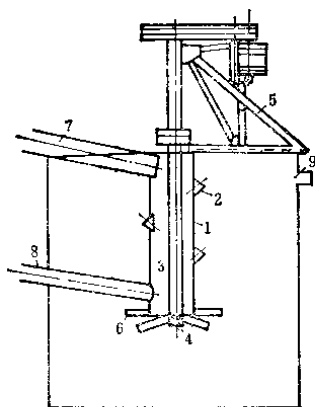


图 5-2 机械搅拌式浸出槽

1—矿浆接受管；2—矿浆流通用支管；3—竖轴；4—叶轮或螺旋桨；5—支撑架；6—盖板；7—给矿管；8—给矿和加药管；9—排矿管

空气搅拌式浸出槽是利用压缩空气的气动作用来搅拌矿浆。最常用的空气搅拌式浸出槽是巴丘克浸出槽（图5-3）。

几种常用的空气搅拌式浸出槽——巴丘克浸出槽的规格列于表5-3。

巴丘克槽的优点是能大大减小液固比，矿浆中金的溶解也较

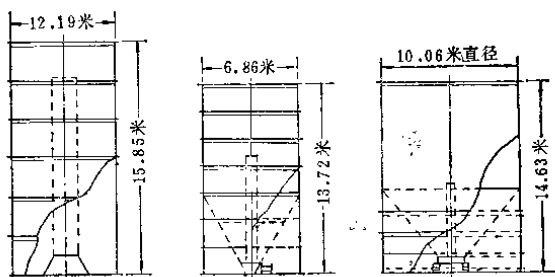


图 5-3 巴丘克浸出槽的结构示意图

表 5-3 巴丘克浸出槽的规格

项 目	法 定 单 位	英 制 单 位
直径×高度	4.57×13.72米	15×45英尺
	6.86×13.72米	22.5×45英尺
	10.06×14.63米	33×48英尺
	12.19×15.85米	40×52英尺
矿浆面距槽顶的 距 离	0.61米	2英尺
	0.76米	2英尺6英寸
	1.00米	3.28英尺
搅拌所需压缩 空气量	每50米 ³ 矿浆需1米 ³ 空气或 每35吨固体料需1米 ³ 空气	1英尺 ³ /50英尺 ³ 矿浆或1英尺 ³ /1.1 短吨固体料

快，浸出回收率与机械搅拌浸出槽比也稍有改善。因此，目前许多国家的氰化厂仍然使用巴丘克浸出槽。有的氰化厂使用巴丘克浸出槽处理尾矿库中积存的高品位尾矿。供浸出槽的压缩空气中的氧可以氧化待处理尾矿中的有机物。巴丘克槽的安装费用和经营费用并不高。

氰化厂巴丘克浸出槽的配置如图5-4，矿浆应能自流。

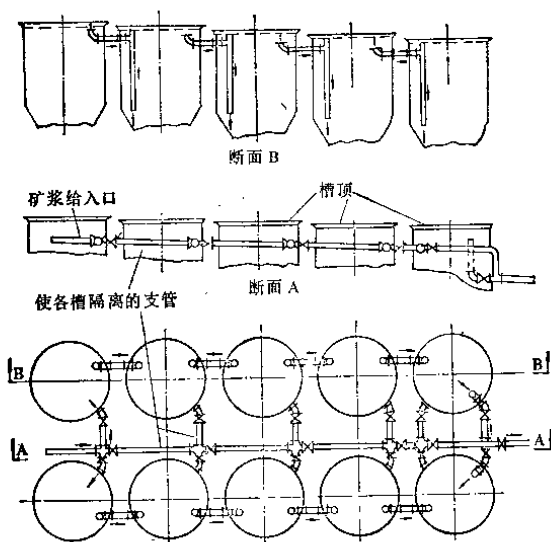


图 5-4 氰化厂巴丘克浸出槽的配置

图5-5是氰化厂使用空气搅拌式巴丘克浸出槽的原则流程，表5-4列出部分生产条件。

空气-机械联合搅拌浸出槽是在槽的中心部位安装有空气提升器和机械耙动装置。还有一种是在槽的周边安有空气提升器，槽的中心安装有循环管和螺旋桨等机械搅拌装置。

这类联合式浸出槽也同样具有金的溶解速度快和氰化物耗量少等优点。

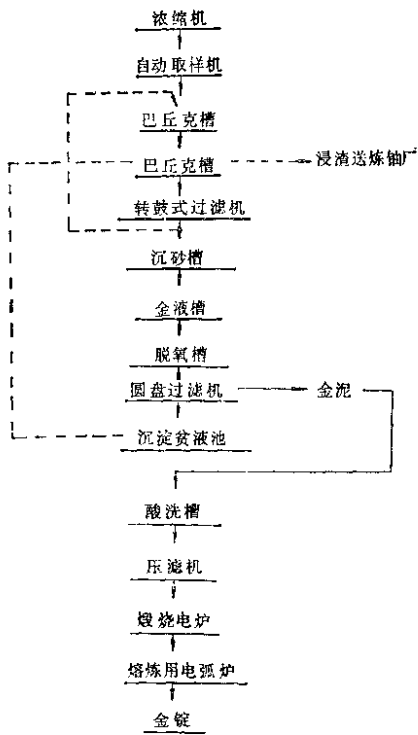


图 5-5 氰化厂空气搅拌氰化法的部分原则流程

表 5-4 空气搅拌氰化法的部分生产条件

浓缩机 给矿的 密度	浓缩机 排矿的 密度	巴丘克 槽给矿 的密度	搅拌 时间 小时	氰化物浓度 % KCN		石灰浓度 % CaO		过滤机 生产能力 吨/米 ² ·日	洗涤比
				给入	排出	给入	排出		
1.11	1.638	1.436	19.50	0.025	0.019	0.020	0.013	3.28	0.7:1

第四节 炭浆法提金工艺

炭浆法提金工艺是氰化法提金的一种，也是以氰化物浸取金为基础的。

炭浆法一般是指氰化浸出完成之后一价金氰化物 $[KAu(CN)_2]$ 再用炭吸附的工艺过程。它是近十几年才发展起来成为金的水冶新工艺。

炭浆法主要适用于矿泥含量高的含金氧化矿石。这种矿石使用上述常规的氰化法很难得到良好的技术经济指标。首先由于矿泥含量高，固液分离困难，现有的过滤机均不能使贵液和矿渣有效地分离。

炭浆法工艺过程是将含金矿石破碎、磨碎之后进行氰化浸出；矿浆经充分浸出之后，加活性炭吸附矿浆中的金，载金炭经过清洗和解吸，分为含金较高的贵液和解吸炭，贵液经电解产出金粉，金粉经熔炼即成为金锭。解吸炭经再生后按比例配在新活性炭中，在过程中重复使用。

我国于80年代初期开始对炭浆法进行研究并于1985年1月和10月相继在河南省灵湖金矿和吉林省赤卫沟金矿在工业上采用。经过一年多的生产实践证明效果良好。

现将河南省灵湖金矿采用的炭浆法工艺简述于下。

灵湖金矿矿石属于典型的含金氧化矿。曾采用浮选、重选等方法做过试验，金回收率不理想，仅达到70%左右。用常规的全泥搅拌氰化法做试验，浸出率比较高，但由于矿石泥化较严重，固液分离困难，也不宜于在工业上采用。最后经长春黄金研究所和灵湖金矿的共同努力，采用炭浆法工艺在工业生产上取得了较好成果。该矿的原矿品位为8克/吨左右，总回收率达到93~94%。

该矿炭浆法工艺流程共有九道主要工序：碎矿、磨碎、浸出、吸附、解吸、电解、炭再生、熔炼、尾矿污水处理等。其原

则流程如图5-6。

炭浆法的关键工序在于逆向串炭。在炭吸附的过程中，在吸附槽中装有格式筛和矿浆提升器。用它实现活性炭和矿浆的逆向流动，吸附矿浆中已溶的金。桥式筛可以减少活性炭的磨损，因为活性炭保持其原始的棱角状态对吸附金有利。目前桥式筛的筛孔易被活性炭堵塞，要用压缩空气清扫。炭吸附工序的设备和操

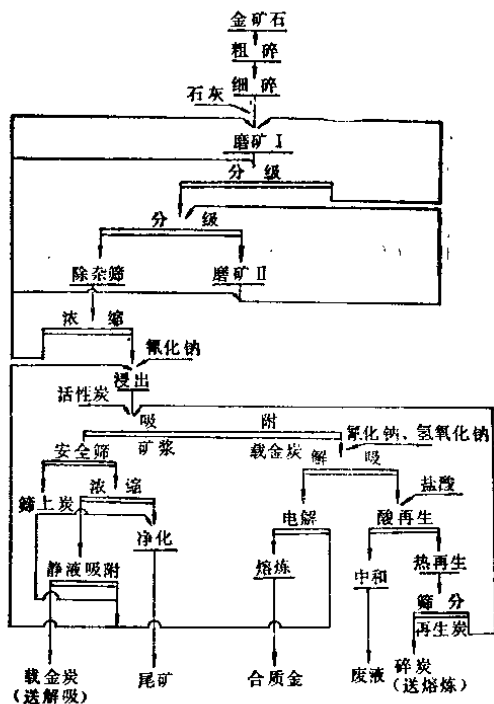


图 5-6 炭浆法工艺流程图

作的顺利进行是本工艺的关键。

活性炭的选择要遵循技术上适用、价格低廉和货源充足的原则。在国外多采用椰壳炭。我国广东、广西、福建等南方省区虽然也出产椰子，但椰壳除少部分作为工艺品的原料外，生产椰壳炭者不多，很难在炭浆法大规模推广后做到货源有保证。大量从国外进口又会增加成本。经试验在现有的煤质炭、木质炭和果壳炭中，吸附金的效果以果壳炭为佳。果壳炭中有椰壳炭、杏壳炭及其他果壳炭。从吸附容量和强度看，椰壳炭优于杏壳炭，从吸附速率看杏壳炭又优于椰壳炭。我国杏壳炭的资源比较丰富，使用杏壳炭作为工业生产的吸附剂是有前途的。在南方省区建炭浆厂采用世界通用的椰壳炭也是无可非议的。

第五节 炭浸法提金工艺

炭浸法和炭浆法一样是近几年来发现的一种湿法冶金新工艺。炭浸法和炭浆法的原理相同，迄今两种工艺相似而互为补充，互相渗透。国外的冶金学家认为两种工艺的差异在于：炭浆法是浸出和炭吸附两道工序分先后单独进行，而炭浸法则是浸出和炭吸附两道工序合二为一，同时进行。

矿石中含砷、锑、铜等杂质高和耗氧金矿石使用炭浸法较炭浆法更为优越。因为对于这种金矿，采用炭浆法不如采用炭浸法有利于金的回收。

第六节 含金溶液与氰化尾矿的分离

搅拌氰化法浸出结束后，需要把含金的溶液从氰化矿浆中分离出来。含金溶液则作为贵液进入置换沉淀作业，而固体料则为氰化尾矿。为了使金回收得充分，在固液分离过程还要对滤渣（固体料）进行洗涤，防止被滤渣带走一部分金，分离和洗涤同时完成，通常有三种方法：倾析法、过滤法和流态化法。

一、倾析法洗涤

倾析法洗涤根据搅拌浸出方式可分为间歇倾析法和连续倾析

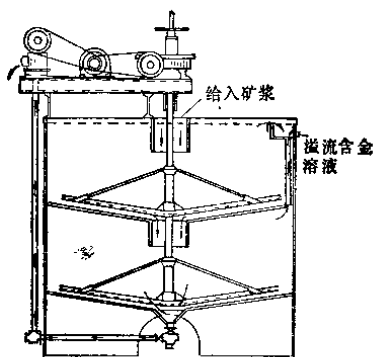
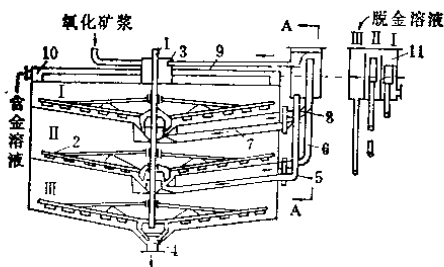


图 5-8a 二层浓缩机示意图



层间闸门 (断面)

图 5-8b 三层浓缩机连续倾析洗涤原理图

1—中心传动轴；2—耙架；3—进浆口；4—排出口；5—洗涤液管；6—溢流管；7—洗涤液管；8—溢流管；9—洗涤液管；10—溢流槽；11—洗涤液箱

心传动式多层浓缩机一样，只是在浓缩机旁装上一套洗涤液箱和在机内安装一套洗涤液管。图5-8a和b分别是我国常用的二层和三层倾析洗涤浓缩机的洗涤原理图。

二、过滤法洗涤

过滤法洗涤是用过滤机完成分离和洗涤作业，通常使用连续式真空过滤机完成这一过程。只有对难过滤的泥质氰化矿浆才采用间歇式压滤机和框式过滤机。使用这种设备可以延长对滤饼的洗涤时间，以保证较高的洗涤率。

氰化矿浆给入过滤机中，含金溶液（贵液）则作为滤液排出。滤饼则要用氰化钠稀溶液和清水进行洗涤。洗涤液的量一般为滤饼含液量的两倍，这样才能洗涤干净，要保证总洗涤率在99%左右。

含泥的氰化矿浆在过滤洗涤时更应注意洗涤效果，必要时

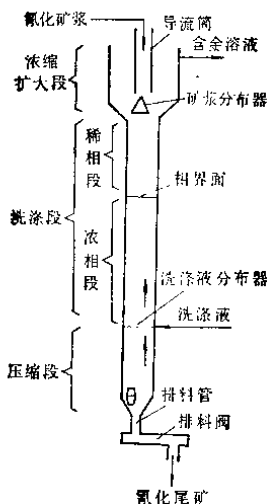


图 5-9 洗涤柱的洗涤过程示意图

增加一次洗涤。这类矿浆在过滤过程中会破坏滤饼中的絮团，使用氰化钠稀溶液洗涤会继续溶解未被溶解的金。

三、流态化法洗涤

流态化法洗涤是在洗涤柱中完成的。洗涤柱是一个细高的圆柱体。⁹浸出終了后的氰化矿浆给入洗涤柱并按重力沉降原理进行浓缩脱水，同时按逆流原则由下而上用洗涤液洗涤沉降中的各相段的矿浆。含金溶液由上部溢出，沉淀物从下部排料管排出（图5-9）。

氰化矿浆从导流筒给入经矿浆分布器均匀地分布于洗涤柱中，矿浆在沉降过程根据浓度的稀稠分为稀相段、浓相段和压缩段。洗涤液从浓相段的终端、压缩段的始端给入洗涤柱。在洗涤液给入处沿洗涤柱的横断面装有洗涤液分布器使洗涤液均匀地按逆流原则由下而上且洗涤浓相段和稀相段内的矿浆。在压缩段是经洗涤后而浓度较高的固体粒子，即氰化尾矿。这种洗涤方式在我国选金厂仍处于试运行阶段。

第七节 金的澄清和沉淀

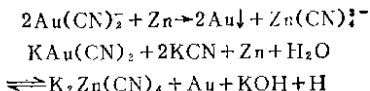
氰化矿浆经过滤法或倾析法洗涤后分离出的贵液（含金溶液）在进入置换沉淀作业之前要加以澄清。目的是清除其中的细泥和悬浮物。这些杂质对下一步置换沉淀作业有害。常用的设备是框式过滤机、压滤机、砂滤箱和沉淀池（槽）。对含细泥较多的氰化矿浆，在洗涤作业就应当使用框式过滤机把澄清这一工序省去。在沉淀槽（贮存槽）的贵液经简单地澄清后送往置换沉淀作业。

从贵液中把金银沉淀出来有多种方法。最常用的方法是用金属锌丝或锌粉把金置换沉淀出来。此外有碳吸附、离子交换树脂吸附和电解沉淀法从含金溶液中沉淀金银。

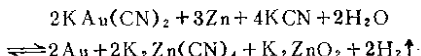
一、锌置换沉淀金的基本原理

在贵液中的锌会溶解于溶液中，而使金沉淀出来。

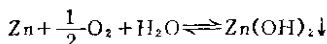
贵液中的离子 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 与Zn作用的反应式为：



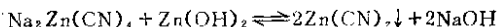
通常写成下式:



使用金属锌置换沉淀金时,溶液中必须有足够的氰化物和碱。否则,含金溶液中的溶解氧使已沉淀的金粉再溶解而使锌氧化成 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 沉淀:



还有溶液中的 $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$ 会分解成不溶的氰化锌沉淀:



这些氢氧化锌和氰化锌的白色沉淀物会罩在金属锌的表面形成一薄膜,这就妨碍了从贵液中置换析出金。贵液在沉淀金之前利用脱气塔脱除溶解氧将会有利于金的置换沉淀。

往沉淀箱中加入少量醋酸铅或硝酸铅有助于锌的溶解而更好地置换沉淀金。

置换沉淀金的作业应在高于 10°C 的温度下进行。

贵液中含有可溶性硫化物、汞、铜等杂质均有碍于金的置换沉淀。

二、金属锌置换沉淀法

金属锌置换沉淀金通常是以锌丝或锌粉的形式加入沉淀箱的。锌丝是用金属锌锭用车床车成的丝。

锌丝在贵液中放置20分钟即可使金99%以上被置换出来。定期取出沉淀的金泥,留待下一步处理。

锌丝置换法自1888年一直沿用至今,长达一个世纪之久,这是因为置换设备简单,不用动力,操作也容易。

近十多年来,在各国的生产厂矿广泛使用锌粉代替锌丝置换沉淀金。锌粉的单位重量表面积大,因此有利于充分而迅速地置

换沉淀金。

采用锌粉置换法时，先把锌粉和贵液混合，然后用过滤机或锌粉置换沉淀器使含锌金沉淀物与贫液（脱金溶液）分离。

锌粉置换沉淀金的设备联系图见图5-10。锌粉置换沉淀和过滤在置换沉淀器中进行。器内有四个罩有滤布并散射状固定在槽铁架上滤框。滤框以U形钢管为骨架，其一端封死，另一端接脱金溶液的支管。脱金溶液的总管环绕在沉淀器的四周，它的支管

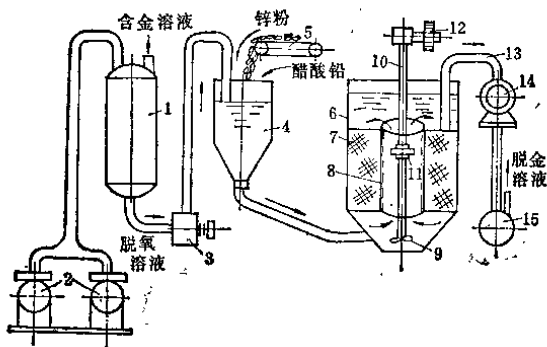


图 5-10 锌粉置换沉淀金的设备联系图

- 1—脱气塔；2—真空泵；3—浸没式离心泵；4—混合槽；5—锌粉添加器；6—锌粉置换沉淀器；7—布袋过滤框；8—槽铁架；9—螺旋桨；10—中心轴；11—小叶轮；12—传动装置；13—支管；14—脱金溶液总管和真空泵；15—离心泵

与每个滤框相通。总管与真空泵和离心泵相连。带螺旋桨的中心轴以低速旋转，中心轴中部的小叶轮也起搅拌作用，都是防止锌浆在过滤时产生分层现象。

按图5-10所示的流程，锌粉和脱气后的含金溶液给入混合槽，锌浆通过槽底管道自流入锌粉置换沉淀器中，在沉淀器中由于真空泵的吸力使金泥沉积在滤布上，而脱金溶液则透过滤布作为滤液从支管到总管而排出。为了使真空泵开动之后比较迅速地在滤布表面上形成含锌金泥沉淀层，必在沉淀器工作前加入一层

重量相当于含锌金泥沉淀层重量一半的锌粉。从滤框上取下金泥是间歇进行的。如果需要连续置换沉淀，必须有二至三个置换沉淀器交替使用。

锌粉的粒度要求 -0.04 毫米97%。锌粉易于氧化，保存和运输过滤应严加注意，锌粉含锌应在95~97%以上。锌粉中通常含1%Pb，这对置换过程有利，会加快金的置换沉淀。

如果由于置换过程的需要，在混合槽的上方安装硝酸铅或醋酸铅的滴液管。必要时加入铅盐溶液以改善锌粉的沉淀能力。

由于锌粉置换法比锌丝置换法有明显的优点。1979年以来，我国选金厂大部分已推行锌粉置换沉淀法。

锌粉置换沉淀法比起锌丝置换沉淀法的优点是：1) 锌粉的价格比较低，用量比较少，在同样条件下锌粉用量仅为锌丝用量的 $1/10 \sim 1/4$ ；2) 金银置换沉淀得完全，可获得较高回收率；3) 金泥中含锌量少，下一步金泥处理作业也简化了；4) 整个过程可以实现机械化、自动化。

在大中型选金厂锌粉置换法具有明显的优点。在条件较差的小型厂或在试验阶段，采取锌丝置换沉淀法也是简便易行的。

第八节 堆 浸 法

堆浸法是处理低品位金矿石的一种方法。堆浸法（亦称堆淋法）也是氰化浸出法的一种。这种方法多用来处理氧化矿石、井巷开拓过程采出的副产矿石或“废石”，但仍含有低品位的金。也用来处理含金的尾矿和有色金属冶炼厂和化工厂的含金烧渣等。

堆浸法实际上是把含金矿石堆放在不渗透的场地上用氰化溶液进行浸透浸出。把矿石中的金银溶解后沿场地上预先设计好的沟槽流入贵液贮池。这些含金银的贵液用活性炭进行炭吸附，然后进行解吸以回收金。贵液至产出金锭的过程与氰化法相同。

一、浸出场地的选择和建造

不渗透的浸出场地的选择和建造至关重要。如果选址不当或建造质量欠佳，含金贵液流失，等于丢了金子。

堆浸场地多就地选址，有时就选在矿山坑口附近或“废石”堆旁。建场地的材料也就地取材。用泥土、粘土、选购塑料薄膜或沥青，建造不透水的衬垫，要做到堆浸场地不透水。待处理的矿石就堆放在这一场地上。生产规模可以根据供矿情况、场地大小、堆浸后废石或尾矿运送和卸矿、存放的方案而定。

堆浸场地都要多次重复使用，要使用人造薄膜。

作为一次使用的场地，可用天然粘土作衬垫，喷洒碳酸钠溶液，这可以提高粘土的不透水性。

二、堆浸工艺

有了场地把几百吨，甚至成千上万吨的低品位金矿石堆成1.2~12米高的矿堆。含氰化钠的溶液用喷淋器均匀地全面地喷淋在矿堆上。矿堆顶面罩上一层网状系统，确保喷淋均匀。堆浸场地有微倾斜、周围设计有带塑料衬里的排水沟，使溶解金的贵液流入储液池。

我国在本世纪七十年代已在辽宁、河南、山东、陕西等省的金矿进行堆浸法的半工业试验，取得良好效果。过去，常采用园林行业中的喷水器作堆淋的喷淋氰化物溶液的器械，喷淋效果欠佳。中国地质机械仪器总公司吸收国外的先进技术改制成功一种旋转摇摆式喷淋器获得成功。这种喷淋器的最大特点是，旋转、摇摆灵巧，喷淋液的覆盖面积大，液滴大小适中，喷淋均匀。当水压在4900~14700Pa时，喷淋半径可达3.5~7米。水压小于11760Pa时，不产生雾化现象。因而氰化钠损失较小，有利于环境保护。这种新型喷淋器在陕西省太白金矿试用，效果良好。

原矿或原料的粒度组成、最低浸出品位、浸出工艺条件通常要用试验决定。

堆浸的矿石如系多孔的氧化矿石，则不需要粉碎。大于300毫米的矿石则需要破碎。粉矿和细粉状含金物料有时还要经过制粒（球团）。^④块度太大，氰化物不能充分溶解矿石中的金，物料过细，堆淋也无法进行。

氰化物溶液含氰化钠0.05%，pH为11。调节pH值常用

NaOH，尽管价格高些。不能用石灰，因为石灰容易产生结垢。为了保证高浸出率，常往氰化物溶液中充氧。

堆浸法获得的金银回收率低于搅拌氰化法，但投资和生产经营费用均低，因此对处理这些被认为是废石和废料的含金物料很有利。

三、堆浸实践

由于国际金融市场上金价几年来均保持在每盎司（31.1035克）400多美元，许多国家采用高机械化露天开采品位低于2克/吨的低品位金矿，用堆浸法处理这些矿石。用常规的金矿采选方法，原矿品位在3克/吨时，采选厂几乎无利可图了。西方一些国家，如美国、加拿大、澳大利亚、巴西等，从1985年以后就投产了一些机械化露天开采的大型金矿，同时采用堆浸法，结果黄金年产量大幅度增加，收到良好经济效益。美国于1986~1987年间投产了几十座金矿，其中有一半是开采低品位金矿。美国银河资源公司于1986年建成了一座年产300万吨金矿石的大型采选厂。原矿品位为0.69~1.68克/吨。该厂生产成本为每盎司黄金150美元。

第六章 混汞提金法

金矿石经选前准备金粒单体分离和部分表面裸露与汞作用形成金汞合金（汞齐，或汞膏）而选收金的方法称混汞提金法。

混汞法是一种古老的提金方法，简便易行而且经济效益高。除古代和条件较差、矿石性质特殊的场合外，混汞法一般只作为选金过程中的一道工序。因为靠一种混汞法很难把矿石的金提取得比较理想。根据矿石性质的不同用混汞法提取金的回收率占20~80%。如配之以浮选法、重选法、氰化法组成联合选金流程，金的回收率可以达90%以上。

我国脉金矿山和重有色金属矿山选矿厂常采用混汞法作为提金的一道工序。有些砂金矿也使用混汞法提金。

混汞法通常分为内混汞和外混汞两种方式。内混汞是指往磨矿设备中加汞，矿石在磨碎进程中完成混汞作业；外混汞是指在磨矿设备外面在混汞板和混汞器中完成混汞作业。我国选矿厂使用外混汞法的较多。

第一节 混汞原理和实践

金与汞易于结合而生成汞齐是因为汞对金的选择性润湿能力强，润湿金粒后又能很快地向金粒中扩散。扩散的过程就是汞齐化的过程。这种金汞齐通常是金汞融合物 $\text{Au}_{19}\text{Hg}_4$ 和 $\text{Au}_{19}\text{Hg}_3$ 。在常温下，金在汞中的溶解度不大，在20℃时金在汞中的溶解度为0.06%。

汞对金的选择性润湿能力优于许多贱金属。主要的原因是金的表面不易被氧化，而其他金属颗粒遇空气后很快就形成一层氧化薄膜，这层氧化膜妨碍被汞润湿和向金属内部扩散的汞齐化过程。银和铂仅次于金也具有较好汞齐化的能力。因此，使用镀银板或银板作混汞板既保证金的优先混汞，又可滞留少量多余的汞

在混汞板上迎接滚滚流来的待混汞金粒。

化学纯汞的汞齐化能力不如含少量金和银的汞。这是因为汞中溶解有少量金和银能降低汞的表面张力，从而改善了汞的润湿性能。在生产实践中常把压滤汞膏回收的汞按一定比例掺在化学纯汞中在混汞过程中重复使用。这种回收汞含金约为0.1%。

金粒的表面新鲜和汞的表面洁净是混汞作业成败的关键。当金粒的表面被污染时，混汞的效果就差，甚至混汞回收率降得很低。金粒常由于下列原因造成污染：1）矿石在采场、运输和选前准备过程被油类污染；2）矿石中含有石墨、滑石和含碳物质或被上述物质所污染；3）矿浆中的微泥在金粒表面罩上一层附着膜；4）硬坚的杂质颗粒在磨矿过程中压入金粒中。

汞表面的洁净程度对混汞作业的效果也至关重要。混汞作业使用汞的质量在加入过程之前是可以保证的。但是在混汞过程中，矿浆中的油污和含微泥量大也会污染汞表面，从而恶化金和汞润湿和扩散的效果。实际上，是汞齐化过程遭到破坏。

混汞作业在室温下进行。提高温度虽然对提高混汞作业回收率有益，但随着温度增高汞的蒸发量也大，对整个生产也不见得有利。

混汞作业所用的设备随混汞的方式不同而各异。内混汞通常在磨矿设备内在磨矿时完成混汞作业。常用的设备有碾磨机、捣矿机、专用的小型球磨机和棒磨机及混汞筒。外混汞通常在混汞板和各种型式的捕汞器中进行。

在磨矿设备中进行内混汞就是每隔15~20分钟往磨矿设备添加适量的汞。汞膏从磨矿机的排矿槽中回收。磨矿机与分级机形成闭路循环时，则应在磨矿机的排矿槽、分级机溢流堰下部安装的溜槽和分级机的返砂槽处定期回收汞膏。这种方法清理汞膏比较麻烦，汞膏的流失比较严重，也不便于管理。

内混汞筒是一种处理砂金精矿使金与其他重矿物分离的有效设备。我国珲春金矿曾采用混汞筒处理摇床金精矿。

图6-1是常用的内混汞筒。苏联在采金船上使用内混汞筒处

理含重矿物的金精矿。为了净化金粒表面，往内混汞筒中按比例添加钢球，可以提高混汞时金的回收率。

苏联生产的混汞筒技术规格示于表6-1。

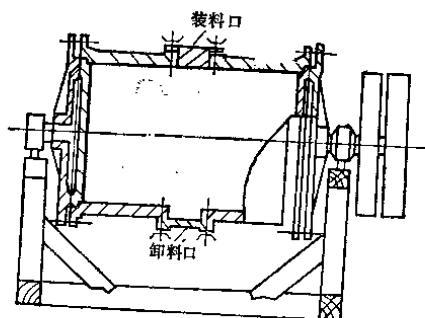


图 6-1 内混汞筒示意图

表 6-1 苏联内混汞筒的技术规格

型 式	内部尺寸			一次作业 装矿量 千克	转数 转/分	功 率 千瓦	机重 千克	装球量 千克	球的直径 毫米
	直径 毫米	长度 毫米	容积 米 ³						
轻型	700	800	0.3	100~150	20~22	0.5~0.75	420	10~20	38~50
重型	0-31	600	800	0.233	100~150	22~38	0.3~2.1	1500	150~300
		750	900	0.395	200~300	21~36	1.7~3.75	2000	300~600
	0-36	800	1200	0.60	300~450	20~33	3~6	2600	500~1000

在内混汞筒中作业的加汞量通常为给矿含金量的5~9倍。混汞给矿的粒度愈细，因其表面积大和干汞膏中含汞量高，加汞量也相应增多，其变化情况见表6-2。汞和给矿同时加入。经验证明，给矿在内混汞筒中经钢球磨剥一段时间之后再加汞，效果更好。在不加汞的磨剥阶段，转数可适当提高到30~35转/分，加汞后的转数可参照表6-1所列数据。

表 6-2 内混汞筒中的加汞量

给矿粒度, 毫米	干汞膏中含金量, %	提取1克金的加汞量, 克
+0.5	35~40	6
-0.5~0.15	25~35	8
-0.15	20~25	10

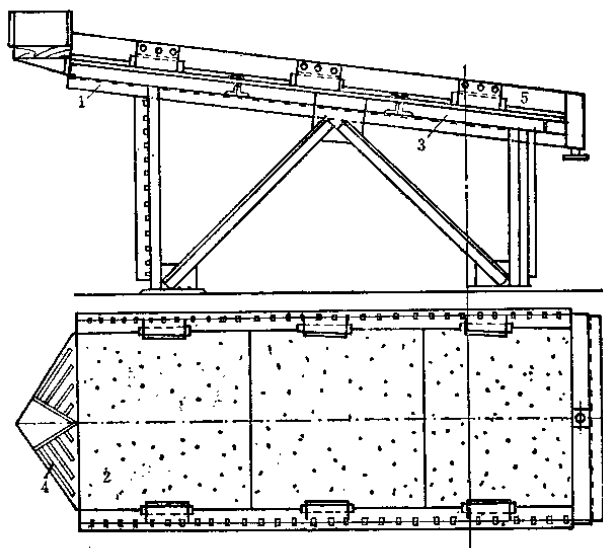


图 6-2 平面式固定混汞板

1—支架；2—镀银汞板；3—床面；4—矿浆分配器；5—侧帮

内混汞筒为间歇作业，每次的混汞时间要通过试验确定，有的含金料只需要1~2小时，有的则需要10小时以上。一次作业完毕后，混汞筒的排料经溜槽和混汞板处理，分出汞膏和重矿物。

外混汞多采用各种型式的混汞板。混汞板有固定式和振动式。

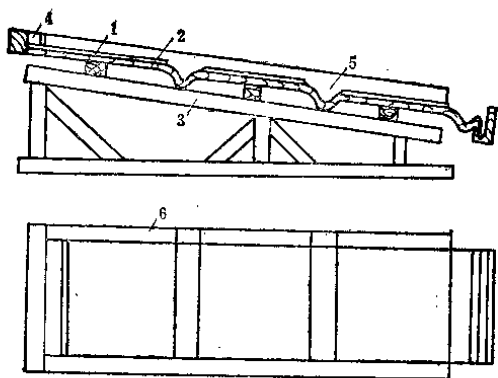


图 6-3 带中间捕集沟的固定式混汞板

1—镀银汞板；2—床面；3—支架；4—矿浆分配器；5—捕集沟；
6—侧帮

固定式混汞板又分平面式、阶梯式和带中间捕集沟的三种型式。

平面固定混汞板见图6-2。这是我国最常用的混汞板。

图6-3所示是带中间捕集沟的固定混汞板。中间捕集沟的功能是捕集粗粒游离金，但很少收到效果，往往是粗砂淤塞其中，给交班前清理汞膏带来麻烦。

阶梯式固定混汞板是把混汞板分成多段，每段有30~50毫米的高差，利用每一段的落差使游离金落在矿流底层与汞板有良好的接触。混汞板安装在磨矿机的排矿端，安装时有一定倾斜角，其倾斜度与给矿粒度和矿浆浓度有关。矿石的密度为 $2.7 \sim 2.8$ 克/厘米³时，不同固液比的矿浆与混汞板的倾斜度和粒度的关系可参见表6-3选定。

当矿石密度大时，可加大倾斜度并根据矿石性质通过试验加以调节。

矿浆经磨矿机排口排出后经排矿箱缓冲后进入矿浆分配器流入混汞板。矿浆在混汞板上应沿宽度均匀分布，厚度为5~8毫

表 6-3 混汞板倾斜度与矿浆浓度的关系⁽¹⁾

磨矿细度	矿 浆 固 液 比					
	3:1	4:1	6:1	8:1	10:1	15:1
网目	混汞板倾斜度, %					
-10	21	18	16	15	14	13
-20	18	16	14	13	12	11
-35	15	14	12	11	10	9
-65	13	12	10	9	8	7
-150	11	10	9	8	7	6



图 6-4 汞板连接法

1—螺栓；2—压条；3—汞板；4—床面

米。混汞只作为整个选矿流程中的一道工序时，每日处理1吨矿石需混汞板面积 $0.1\sim 0.2\text{米}^2$ 。

混汞板的配置力求宽度大些。长度适当，在保证混汞面积的条件下有3~4米即可。过多地增加混汞面积和混汞板长度均无益于混汞效果。镀银铜板为便于镀银和安装均剪裁成宽400~600毫米、长800~1200毫米的板块。镀银汞板应搭接安装（图6-4）。

镀银汞板用到局部露铜时就要更换。

振动式混汞板有两种类型：1）汞板悬吊式；2）汞板装置在挠性支柱上的。

这种振动式混汞板处理能力大，占地面积小，只适于处理含细粒金和大密度硫化物矿石。目前，只有国外的选金厂使用。

我国中原某金矿的一座选矿厂系低品位多金属含金矿石选矿厂。该厂采用混汞浮选工艺回收金及其伴生铜、铅、银、硫等元素。该矿1983年以前处理的矿石是石英脉类型含金硫化矿，主要矿物有：黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿；其次是黝铜矿、辉

铜矿、铜蓝、白铁矿和白钨矿等。脉石矿物是石英、长石、黑云母、角闪石等。原矿中铜的平均品位0.12~0.15%，铅的平均品位0.2~0.3%，硫的平均品位1.4~1.6%，金的平均品位为6~7克/吨。金多赋存于金属硫化矿物的裂隙中，平均粒径20微米，波动于1~44微米之间。

该厂在一段磨矿的排口处设置混汞板，混汞后的矿浆进入一段分级机。分级机溢流进入混合粗选作业。一段磨矿的磨矿细度为50~55%—200目。该厂曾在二段磨矿排矿口处设置第二次混汞板，但收效甚微。混汞作业回收的金根据原矿中金的赋存状态有很大出入。混汞金占金总回收率由33到50%，通常只有35~40%。包括浮选回收率在内的金总回收率为90%左右。

按巡回检查制度，汞板每15分钟检查一次，看有无油污，一段磨矿机添加石灰量（过大也会影响混汞作业金的回收率）同时补加汞。该厂汞的消耗量为10克/吨，包括混汞作业以外的机械损失。

发现汞板油污应立即查找原因予以消除，并及时更换油污的汞板。该厂曾因碎矿机漏油事故而造成混汞作业粒金未收，回收率等于零。

每八小时刮取汞膏一次，这样既有益于汞金回收，也便于管理。汞膏通常呈两种金汞化合物 $Au_{19}Hg_4$ 和 $Au_{19}Hg_3$ 存在。刮取汞膏时，两列汞板轮流交替刮取。刮取的汞膏要充分洗涤，洗去夹杂的矿砂及其他硫化物。必要时加汞稀释或用肥皂水清洗。

该厂的汞金含金20%以上，经挤压脱出一部分汞后送往炼金室定期炼成合质金锭，含金量达70%以上。这种金锭每月送往当地县银行。定期在中国人民银行的炼金厂重新熔炼和用电解法提纯并综合回收其中的银及其他铂族元素。

在停产检修期间应注意矿浆管道的清理，因为有少量的金汞膏会被矿浆流带走而沉积在矿浆管道和泵池的死角处。

第二节 混汞板及其制作

混汞板通常采用紫铜板、镀银铜板和纯银板。我国大多数选金厂的混汞作业采用镀银铜板。少数有色金属选矿厂副产回收黄金，为了省去镀银工艺，采用过纯银板。虽然混汞作业的金回收率略低，但金均分别被浮选作业选入铜精矿等产品中，其中的金亦可在冶炼厂中得到回收，对金总回收率没有影响。

用紫铜板作汞板，多系小厂的临时措施。

镀银铜板系采用厚3~5毫米的电解铜板。电解铜板在选作混汞板之前要按工艺设计选好每块铜板的尺寸，然后进行退火，使铜板表面软化而粗糙，然后由人工加工使每块铜板保持平整，消除局部硬化。

镀银铜板的优点是能降低汞的表面张力，改善润湿效果能更好地回收金，避免紫铜板上形成氧化铜薄膜影响混汞作业的进行，镀银铜板上先形成一层银汞齐具有耐磨和耐腐蚀性能有益于金的混汞。

电解铜板经整形处理后，要与退火作业同时净化表面，边角去掉毛刺便于安装和更换。

铜板整形、表面处理完之后进行镀银。

镀银的电镀液是银氰化钾的水溶液。配制100升的电镀液需要5千克电解银，12千克氰化银（纯度为99%），9~11千克硝酸（90%），8~9千克食盐和100升蒸馏水。

制备电镀液首先要制取硝酸根。按银1 硝酸1.5和水0.5的比例混合，加热到100℃，蒸干后得到硝酸银的结晶。

利用制取的硝酸银再制取氯化银。用水稀释结晶的硝酸银，在搅拌下加食盐水，得到氯化银的白色沉淀物。过滤，用蒸馏水冲洗氯化银至中性。

用蒸馏水制成氰化钾的水溶液，加入氯化银。当溶液中银的浓度达50克/升、氰根的浓度达70克/升时，这种溶液就是电镀液。

电镀槽通常是根据铜板的尺寸和镀银板的数量，用塑料板加工成长方形的。电镀槽的容积通常约为 0.5米^3 。电镀的直流电源通常使用硅整流器供给。电解槽电压为 $6\sim 10$ 伏，电流密度为 $1\sim 3$ 安/厘米²，阳极使用电解银板，电解温度以 20°C 为宜。铜板的镀银层厚度应为 $10\sim 15$ 微米。

在生产上，如发现使用的镀银板镀层被矿浆磨剥露铜，应及时更换。换下的露铜的汞板稍加整形后再进行镀银。当镀银铜板重复多次使用时，应注意消除镀银板表面镀银层较大面积的厚薄不均现象。

第三节 汞毒及其防护

汞以液态金属汞、蒸气、盐类形态侵入人体，在有混汞作业的车间工作都有可能受到汞的侵害而中毒。按中毒的程度，医学上分为四期。通常是根据尿汞的含量判定属于哪一期患者。一期患者在24小时尿汞量在 0.01 毫克/升以下。初期无自觉症状。二期以上患者就有症状，通常是头晕、神经过敏、齿齦发炎、肌肉颤抖、多汗无力、慢性结肠炎，严重者，智力减退、贫血、患汞毒性脑病等。急性汞中毒会造成神经性系统的永久性损伤，甚至危及生命。

混汞作业的车间和有蒸汞作业的炼金室应当严格执行安全技术操作规程，使汞蒸气和金属汞对人体的影响限制到最小程度。

装汞的容器应是密闭的。补加汞的器皿用毕亦要密闭。工作时穿工作服，在刮取汞膏时要戴橡皮手套和口罩，以防汞直接接触皮肤。在有汞的工作间不能存放食物、不能吃食物和吸烟。

第七章 金的副产品回收和再生回收

在重有色金属矿石中常伴生有贵金属。在选矿过程中金等贵金属进入选矿厂的成品——精矿。如铅精矿通常含有大量的银，有时含有金。因此，在炼铅过程中必须提取金银。在炼铜过程中的铜电解工序也必须回收金银。

第一节 金在有色金属冶金过程中的副产品回收

一、铜冶金中金银等贵金属的回收

从选金厂或有色金属选矿厂送往冶炼厂的硫化铜精矿常含有贵金属、稀有金属和其他少量重金属。硫化铜精矿中常含有下列金属：铜、铅、锌、砷、锑、铋、钴、镍、镉、钼、钨、硒、碲、金、银等。此外，在炼铜时还按一定比例配入一定量的金精矿、含金焙砂和起熔剂作用的含金石英砂和石英质金块矿。

反射炉炼铜时，有价金属的分布见图 7-1。在铜熔炼的过程中进入冰铜的有价金属有：95%以上的金、银，60%左右的铅、锌、碲，50%左右的铜、硒，30%左右的砷、锑。进入烟尘的铋占20~50%以上。其他金属则比较分散。在吹炼和火法精炼过程中，金、银几乎全部留在阳极铜中，其他有价金属大部分进入烟尘。

在电解精炼过程中，阳极中几乎全部的金、银、硒、碲、铅、锡、铂族元素和大部分铋、锑进入阳极泥，阳极泥对粗铜的产率为5%。金银可在处理阳极泥时回收。

铜冶金过程中，阳极泥中含有炼铜炉料中95%以上金银。阳极泥是在水溶液电解金过程中，附着在残阳极表面或沉淀在电解槽底的不溶性泥状物。阳极泥为灰色，粒度约为100~200目，其中各组分多以金银等金属、硫化物、含金硒碲化合物、氧化物、单质硫和碱式盐形态存在。

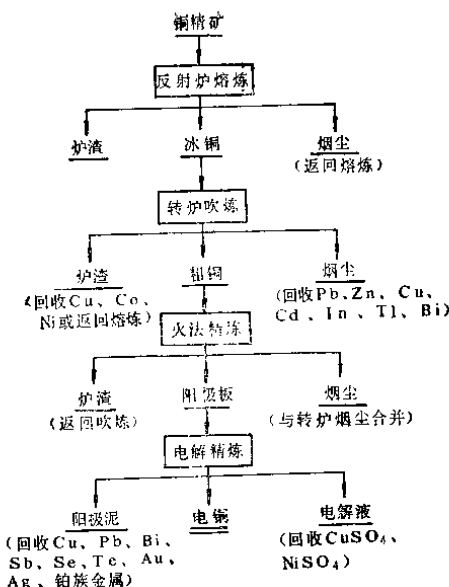


图 7-1 反射炉炼铜过程中有价金属分布图

在阳极泥中富集有金银等贵金属、稀有金属和其他有价金属。从阳极泥中回收这些有价金属将获得较大的经济效益，而且也是生产黄金的重要方法之一。提高稀、贵金属的回收率是提高金等贵金属产量的重要途径。冶炼厂从炉料开始到炼出金锭为止金的冶炼总回收率仅达90%左右。研究阳极泥处理的新工艺具有实际意义。我国铜铅冶炼厂或车间，处理铜、铅阳极泥，除传统流程外常采用以下两种流程。

1. 选冶联合流程（见图7-2）。取消了传统流程中的贵铅熔炼并减轻了金银合金氧化精炼的负荷。本流程先用稀硫酸和氯酸钠浸出阳极泥，使铜、硒溶解，然后用浮选法从浸出渣中选出含金银约60%的精矿，再配入苏打、石英砂、氧化铁等熔剂熔炼成金

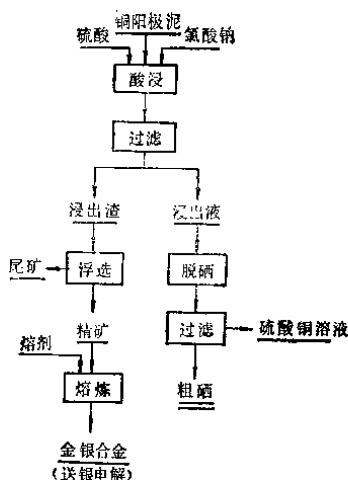


图 7-2 处理铜阳极泥的选冶联合流程

银合金。

2. 处理阳极泥的湿法流程 (见图7-3)。阳极泥脱硒后, 可用湿法流程处理。其主要工序有: 1) 在空气搅拌的条件下, 用硫酸溶液浸出铜并加入盐酸使溶出的银生成不溶的氯化银 (AgCl), 含铜的浸出液经浓缩结晶, 产出硫酸铜; 2) 脱铜后的阳极泥用碳酸钠和氨水浸出, 银成络氨盐 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}]$ 进入溶液, 并使铅转变为碳酸铅; 3) 银浸出液用水合肼 ($\text{H}_2\text{NNH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 还原, 产出银粉; 4) 浸出银后的氨浸渣用硝酸溶液浸出铅; 5) 往分离铅后的脱铅渣加入盐酸、食盐和氯酸钠溶液溶解金, 含金溶液用 SO_2 还原, 析出金粉; 6) 还原金后的溶液用锌块置换得到铂、钯精矿。

我国铜冶炼厂电解阳极泥的成分见表7-1。

二、铅冶金中金银等贵金属的回收

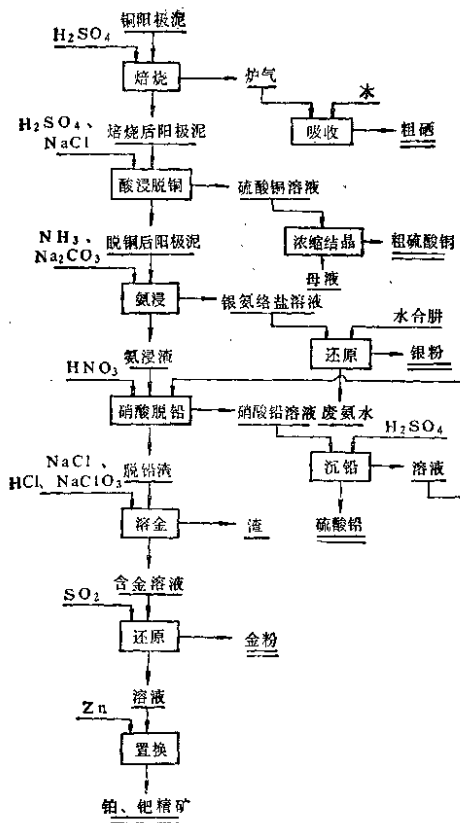


图 7-3 处理铜阳极泥的湿法流程

炼铅原料大部分是硫化铅精矿，小部分是铅锌氧化矿。此外，在特定的铅冶炼厂配加部分含金铅精矿和含金的铅锌精矿。

表 7-1 铜电解阳极泥成分, %

厂 家	Au	Ag	Se	Te	Pb	Cu
A厂	0.3	6	2.6	0.7	—	19.6
B厂	0.8	22	4	0.7	10	18

这些原料中所含的有价金属几乎全部可以在冶炼过程中回收。我国硫化铅精矿中常含有下列有价金属：铅、锌、铜、砷、锑、铋、镉、汞、金、银、硒、碲、铟、锗、铊。炼铅工艺主要采用烧结-鼓风炉熔炼。有价金属的分布见图7-4。

在烧结过程中，95%以上的汞进入烟气，70%的铊，30~40%的镉、硒、碲，及一小部分砷、锑、铋等金属也进入烟尘。其余留在烧结矿块及返料中。在鼓风炉熔炼的过程中几乎全部的金银和大部分铜、砷、锑、铋、锡、硒、碲进入粗铅，95%以上的锌、锗，50%以上的铟进入炉渣，80~90%的镉进入烟尘。在火法初步精炼过程，粗铅中的铜、锡、铟大部分进入浮渣，金、银、铋等金属留在铅内。在铅电解精炼过程，比铅更正电性的金属如金、银、铜、锑、铋、砷、硒、碲等不溶解而留在阳极泥中，比铅更负电性的金属如铁、锌、镍、钴和铅一道溶解，进入电解液，但不在阴极析出。

进入阳极泥中的金银，和铜冶金中得到的阳极泥一样，经过处理阳极泥的流程而回收金银。

我国铜铅和铅冶炼厂铅电解工段阳极泥的成分列于表7-2。

三、锌冶金中金银等贵金属的回收

炼锌的主要原料是硫化锌精矿。硫化锌精矿中的有价金属也含有金、银等稀贵金属。在硫化锌精矿中含金量较低。目前炼锌主要采用湿法和火法（鼓风炉法和竖罐法）。

在湿法炼锌过程中常用热酸浸出黄钾铁矾法（或针铁矿法）。

在流态化焙烧过程中，90%以上的汞进入烟气，冷凝后进入酸泥，可从酸泥回收。金银等有价金属都留在焙砂中。

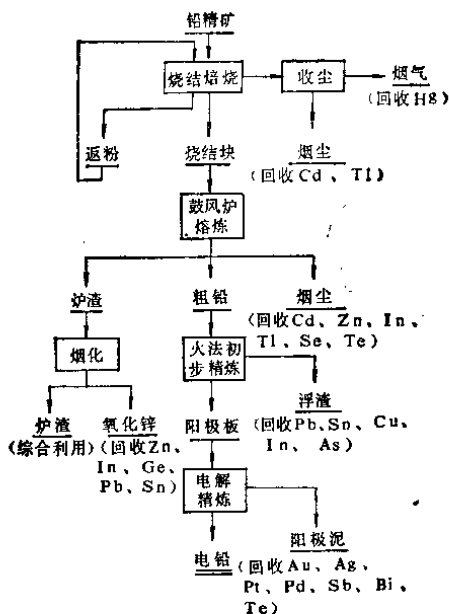


图 7-4 炼铅过程中有价金属的分布

表 7-2 铅电解阳极泥成分, %

元 素 厂 家	Au	Ag	Tc	Bi	Pb	Cu	Sb
铜铅冶炼厂	0.01	10	0.4	10	12	—	—
铅冶炼厂	0.04	9	0.5	15	10	1.0	30

在焙砂的中性或酸性浸出过程中金银留在渣中。

在回转窑处理浸出渣烟化过程，金银仍留在窑渣内，可用窑渣回收金银。

竖罐炼锌过程有价金属的分布见图7-5。金在蒸馏后进入残

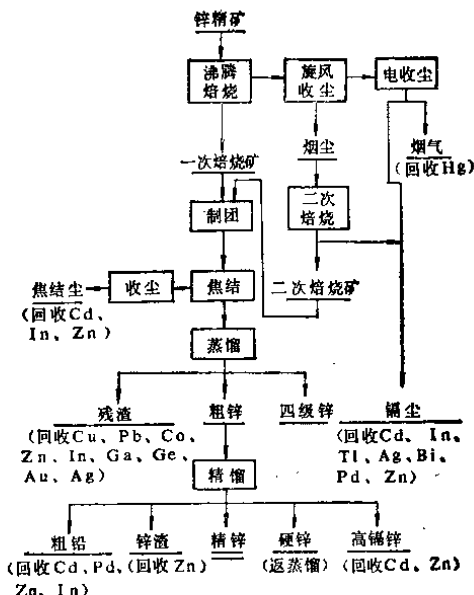


图 7-5 竖罐炼锌过程有价金属的分布

渣，蒸馏残渣可用选矿和旋涡熔炼等方法处理。如含金量甚微或不稳定，也只有积存到一定程度再作为新的资源开发利用。

四、铅锌混合精矿的冶炼过程中金银的回收

铅锌鼓风炉的应用，使原料中金银的品位高于单一的锌精矿。因此，金银等贵金属的回收已引起重视。低品位多金属含金矿石在选矿过程中容易生产出含金高的铅锌混合精矿。而进一步再将这种混合精矿用选矿方法分离成单独的含金铅精矿和锌精矿，又要符合国家标准，将使选矿流程冗长，成本增高。因此，在铅锌混合精矿冶炼过程应尽可能考虑金银的综合回收。这一过程中有价金属在流程中的分布见图7-6。

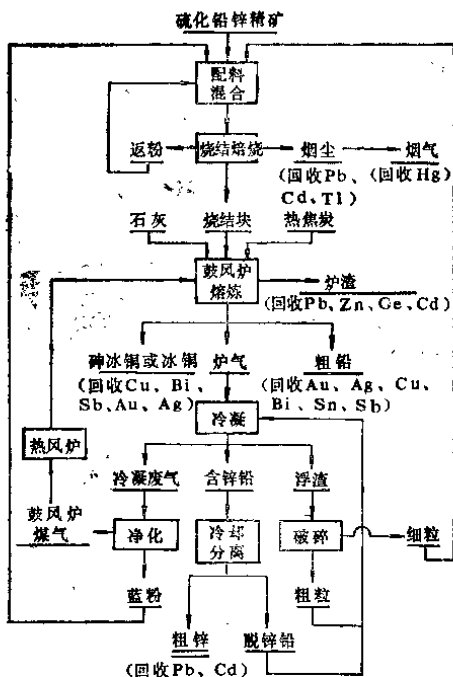


图 7-6 鼓风炉炼铅锌过程中金的分布

烧结机的烟尘，冷凝器的浮渣，洗涤器收集的蓝粉亦称返粉，一般均返回配料工序。

熔炼时，烧结矿中的金、银、铜、铋、锑等金属大部分富集于粗铅，在粗铅精炼时分别回收；熔炼过程中产出砷冰铜（黄渣）或冰铜时，铜和小部分金、银进入其中，可在处理时回收。粗铅中大部分金银可按铅冶金过程中回收金银的方法处理。

五、镍冶金中金银等贵金属的回收

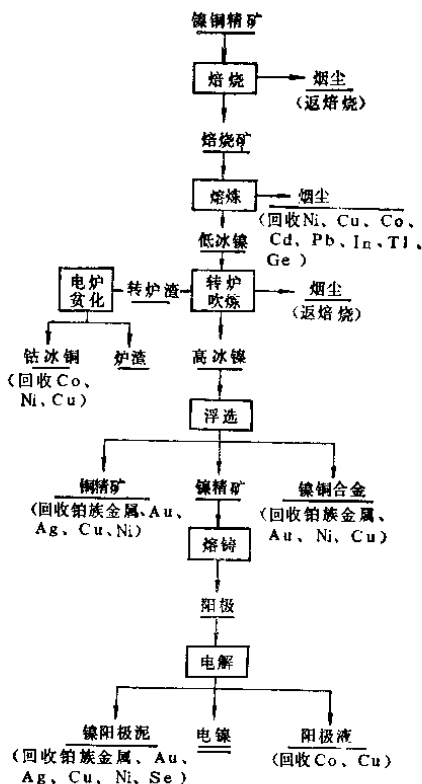


图 7-7 金川炼镍过程有价金属的分布

硫化镍金矿是炼镍的主要原料，其中常含有下列主要金属：镍、铜、钴、钢、铈、硒、碲、铂、铈、钨、铋、钨、铋、金、银。金川有色金属公司不仅是我国的镍基地，也是贵金属的冶炼基地。图7-7为该公司炼镍过程中有价金属的分布。

表 7-3 镍电解阳极泥的成分, %

元 素 厂 别	Au	Ag	Cu	Ni	Fe	Pt	Pd	S
镍冶炼厂	0.06	0.08	5.3	6	2.5	0.3	0.07	55

在电炉熔炼过程, 镍、钴、金、银和铂族元素富集于低冰镍; 稀散金属富集于烟尘。转炉吹炼低冰镍时, 镍、铜、金、银和铂族元素富集于高冰镍。控制吹炼的氧化程度, 可使钴大部分进入转炉渣或高冰镍。高冰镍浮选分出镍精矿、镍铜合金和铜精矿, 大部分金和铂族金属进入镍铜合金, 一部分进入镍精矿。镍铜合金是回收铂族金属的主要原料。镍精矿中的金、银和铂族金属富集在镍电解的阳极泥中。镍电解阳极泥的成分见表7-3。

第二节 金的再生回收

以废旧金属制品和工业生产过程中的金属废料为原料炼制而成的有色金属及其合金称为再生有色金属或称二次有色金属。金银等贵金属也同样存在再生利用的问题。

贵金属废料往往与其他有色金属同时得到回收, 在再生回收过程中应本着综合利用的原则, 综合考虑予以充分回收。

含金废料的种类大体上可分为如下几类:

1. 合金类 电子工业上废弃的镀金触头及其他各种金合金件的废品、报废件, 如牙科金合金等。

2. 废液类 镀金槽废液, 镀金件冲洗水, 金化验室中的各种含金废水等。

3. 粉尘类 金笔厂、首饰厂和金箔厂的抛光灰、废屑, 选金厂分级机处木屑的含金烧灰, 炼金室的烟囱灰及其他含金烧灰, 硝酸银生成的极泥等。

4. 垃圾类 拆除有镀金、贴金部位的古建筑垃圾, 金冶炼车间的垃圾, 炼金炉报废的耐火砖及坩埚等。包括金匾、金字、贴金的神像。

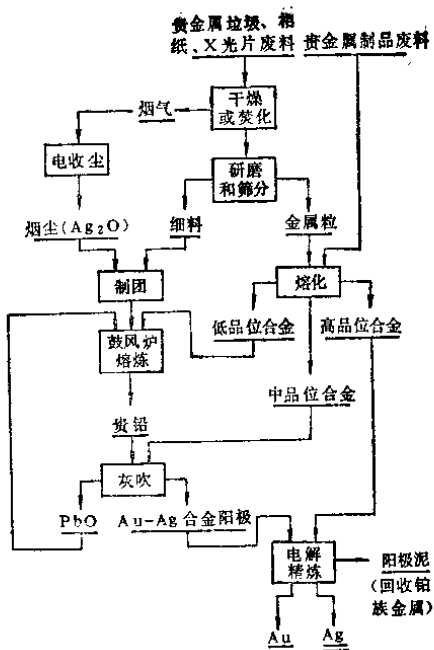


图 7-8 回收再生贵金属火法流程

5. 生活用品类 各种描金的废陶瓷器皿、玩具、无考古学价值的收购的织金和绣金的古衣物等。

从各地收来的大宗含金废料如能按原来的金件加工方法分类（如镀金件、贴金件、金锡合金废件、含金硅质合金废件、金铂合金废件等）可以分别采取不同的方法处理。否则，只能集中起来按火法流程或湿法流程回收。

图7-8为回收再生贵金属的火法流程。

如果是在产生含金废料的工厂自行组织金的再生回收，废料的分类通过厂内正常的管理进行，废料积存到一定数量处理一

次。这样可因地制宜采取回收方法。

一、含金废液的回收方法

镀金槽中的废电镀液可用电解法和置换法回收其中的金。

1. 电解法 其实质就是把废液导入电解槽中，废液预先加热到90℃，以不锈钢板作电极，电压在5~6伏之间。当金在阴极上沉积到一定厚度时，刮取下来，经熔炼后得金锭。这是最简单的开槽电解法。其缺点是间歇作业，生产率低。

如废液量大亦可采用闭槽电解，使废液电解过程形成流程。

2. 置换法 把含金废液先用盐酸酸化，通常pH值为1~2。酸化后的含金废液用蒸馏水稀释5倍。如待处理的废液是冲洗水则不必再稀释了。用锌丝和锌粉置换。将金泥收集起来，用蒸馏水冲洗至中性，再用浓硫酸处理，然后用热水清洗至中性，烘干，熔铸成金锭。

金分析室和金合金元件厂产出的王水腐蚀液则用还原法回收，滤出的金泥，送去熔炼铸锭。

二、金合金类废料回收方法

金锑和金铝合金的废料可用王水将其溶解，蒸发浓缩驱除硝酸，然后静置沉淀、过滤。滤出的滤渣，经分析如含银再回收银。滤液要经二氧化硫或硫酸亚铁还原使金沉淀。得到金泥用水洗后烘干铸锭。其流程见图7-9。

金铂和金钯合金的废料也同样用王水溶解，溶解完成后蒸发浓缩，驱赶二氧化氮气体，直至过程完结，将溶液冷却过滤。

滤液和洗液合并，加入固体氯化铵（试剂纯）至无色沉淀止。过滤后的沉淀物用5%氯化铵溶液洗涤至无色。滤渣即为铂，经煅烧后成白色海绵铂，再用高温熔融为金属铂锭。

滤液中为液态的三氯化金，可用 SO_2 还原沉淀出金，水洗、烘干、熔铸成锭。

其回收流程见图7-10。

含金硅质合金废料可用氟氢酸混合液脱硅提金。取6份 HF ，1份 HNO_3 ，混合后稀释3倍，即为脱硅用的氟氢酸混合剂。用

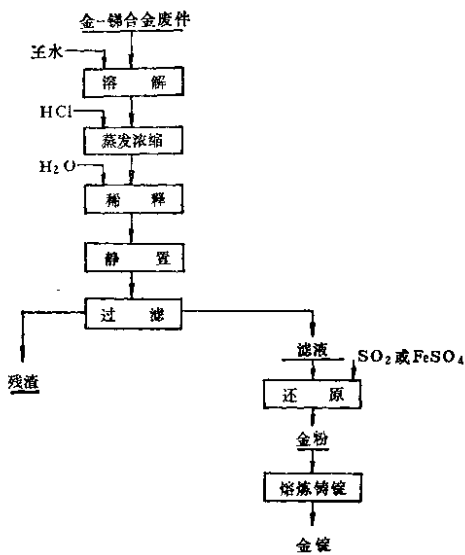


图 7-9 从金镍和金铜合金废件中回收金的流程

混合剂浸泡使金从硅片上脱离后再用1:1的硝酸煮沸，除去金片上的杂质。金片用水洗，烘干，熔铸成锭。

其回收流程见图7-11。

三、含金粉尘中金的回收方法

从金笔厂、金箔厂、首饰厂收集的抛光灰和下脚废料等可按一定比例配上熔剂等，在坩埚中炼成贵铅、然后用灰吹法得粗金。如果抛光灰中含有铂、铱等金属可按从金-铂合金废料回收金的流程湿法回收，仅在王水溶解后加一道过滤作业，滤渣即为铱粉，因为铱不溶于王水。

含金垃圾及生活用品等最好是送再生贵金属厂统一处理。至

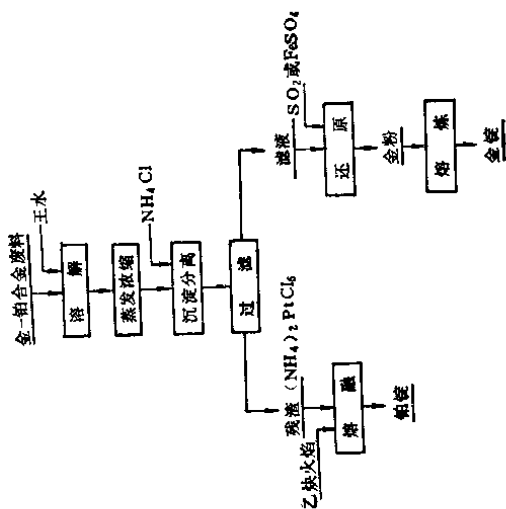


图 7-10 从金铂合金废料中回收金的流程

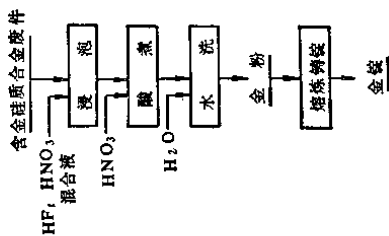


图 7-11 从含金硅质合金废料中回收金的流程

于金冶炼车间的垃圾、炼金炉报废的炉衬等可以返回金冶炼厂配料车间。

镀金件和贴金件废料能单独分类也可以用简便的方法回收。

四、镀金件废料中金的回收方法

回收方法通常有两种：1) 火法熔退灰吹分金；2) 化学退镀。

火法熔退就是在铅的熔点 327°C 以上的温度下用铅提金，生成贵铅，然后用灰吹法，有条件的厂家可用电解法回收金。

灰吹法是炼银过程中分离银铅的方法。此时可利用金铅、银铅可以互熔、金银又能形成金银合金的性质，将获得的贵铅按比例加入银，这种贵铅既含金又含银。利用铅的熔点较低，吹以空气使铅氧化进入炉灰中，然后进行水淬得金银合金粒。此后再用硝酸法分金。所获金粉可熔铸成锭。

化学退镀法首先要配制退镀液。退镀液是在1升中加75克 NaCN 和75克间硝基苯磺酸钠的溶液。把镀金废件放入温度为 90°C 的退镀液中，镀金会在1~2分钟内退镀完毕。如果退镀液中发生金饱和状态，则需用新配制的退镀液。镀金废件退镀后用水冲洗洗净后，即完成了退镀过程。含金的退镀液中加入5倍的洗涤水，用盐酸调节 pH 值至1~2。然后用锌丝或锌板置换退镀液中的金。沉淀的金用水洗和硫酸煮沸清除杂质后，再用水冲洗后得金粉，烘干，熔铸成锭。

化学退镀的含金溶液亦可用电解法回收金。小规模再生回收，不一定添置一套电解设备。

五、贴金废料中金的回收方法

贴金废料的回收方法与基底材料的性质有关。

1. 煅烧法 本法只适用于小件的铜及黄铜的贴金件。用浓盐酸稀释硫磺呈浆糊状，涂于废件上，在通风处放置30分钟后，在 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 之间加热煅烧30分钟。这时贴金片与基底金属之间形成了一层硫化铜和铜的鳞片。将贴金件迅速投入水中。金片和铜鳞片与基底金属件脱离。过滤后得到的滤渣含有少量的铜。

2. 电解法 大块和小块的铜底贴金均可处理。大件贴金废件可挂在钩子上,小件可放在特制的盒中作为阳极,用铅板作阴极。电流密度控制在 $120\sim 180$ 安/米²之间,槽电压逐渐升高由5伏到25伏。金将成为阳极泥沉于槽底。所得的阳极泥可按有色金属冶炼厂阳极泥的处理方法回收。

3. 浮石法 对较大件的贴金废件,由于运输不便或基层材料无回收价值,可用浮石刮取贴金。然后用湿海绵从浮石上和刮取后的废件上回收微细粉末。在专用的容器中洗涤海绵,容器中的沉淀物即为金粉及浮石粉。这种回收方法的回收率取决于工人的细心程度和责任感。

第三节 从硫酸烧渣中回收金

黄铁矿或硫精矿供制酸厂生产硫酸。在硫酸厂焙烧提硫后剩下的工厂废弃物即硫酸烧渣。硫酸烧渣的主要成分是铁,含铁一般为40~50%。作为炼铁的原料仍嫌品位欠佳,需要再加工使铁含量达60%以上。部分烧渣中含有一定量的有色金属和金。烧渣中的金则作为金的原料。我国对从硫酸烧渣中回收金的研究工作已进行了多年,近年来取得了可喜的成果。

烧渣中的金含量一般较低。选金厂提供给硫酸厂的制酸用硫精矿也多系经过本厂的选冶流程处理后的含少量金的硫精矿。其含金量均在0.5~2克/吨以下。个别的有色金属选矿厂出售的硫精矿和化工矿山产出的黄铁矿含金稍高也只在5克/吨以下。如含金再高均采用简单的选冶工艺先提金后出售硫精矿。因此,从黄铁矿烧渣中回收低品位金是比较困难的。尽管如此,由于硫酸烧渣在全国化工系统的产量大,每年几百万吨,从中回收金还是有意义的。目前所采用的回收方法仍然用重选、浮选进行粗选富集,粗精矿(或富中矿)进行集中氰化处理。

硫酸烧渣中金的赋存状态不同于黄铁矿和硫精矿中金的赋存状态。因此,处理方法不同。烧渣从焙烧炉中排出后,通常先用水冷却,然后脱水,磨碎,强烈冲洗和化学处理。

冲洗和化学处理的目的在于除去硫酸铜、酸、金属氯化物和铁盐等杂质。冲洗作业包括分级、浓缩和过滤。这些工序不仅可以降低氰化物的单耗而且会提高金的浸出率。

烧渣的碱洗可使烧渣矿浆中的酸被中和，分散的铁被氧化，当含有砷和锑的化合物时可使之溶解。碱洗的时间根据烧渣的性质需2~24小时。

我国某地硫酸厂黄铁矿烧渣选金试验流程如图7-12。

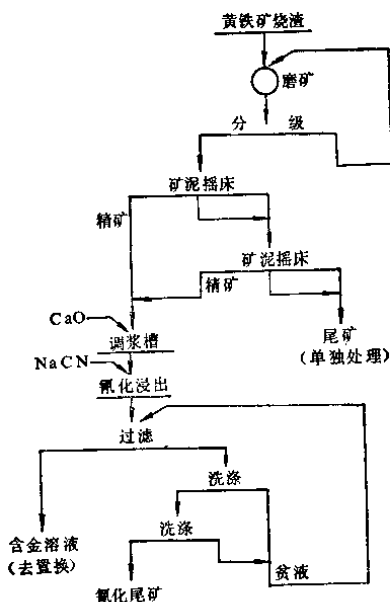


图 7-12 我国某硫酸厂黄铁矿烧渣选金试验流程

该硫酸厂的黄铁矿烧渣经水淬冷却后只进行粗磨，细度达到-200目占42.5~49.6%即可进行氰化浸出。由于矿泥摇床的尾矿仍含有少量金，金总回收率仍不甚理想，仅达80%。

第八章 金的冶炼

第一节 混汞金的炼制

用混汞法生产出的金汞合金（汞膏）要集中起来在炼金室进行冶炼铸锭。汞膏要先进行蒸馏脱汞。汞膏的蒸馏脱汞通常在电热蒸馏炉内进行。在用电不方便的地方，也可以使用燃煤炉。

图8-1所示是常用的汞膏蒸馏炉。

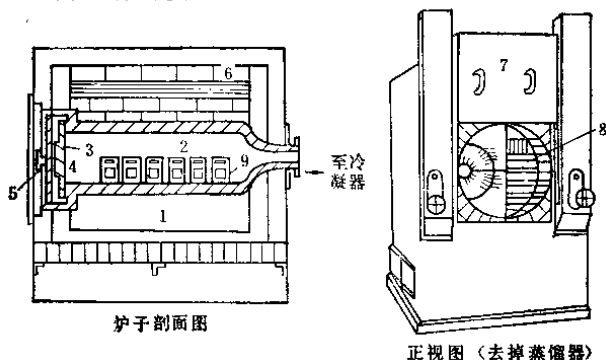


图 8-1 汞膏蒸馏炉

1—炉身；2—蒸缸；3—密封蒸缸门；4—密封垫；5—夹具螺丝；

6—耐火砖衬；7—炉门；8—电热器；9—汞膏皿

蒸馏器是一铸铁圆筒，平放在耐火砖砌的容器内，把压榨后的汞膏放在船形模中，然后关闭铸铁的筒形炉门。开始时缓慢升温，汞膏中的汞被蒸发，汞蒸气由出口经冷凝器冷凝而又变成液态汞。用桶接汞供混汞作业重复使用。蒸馏器内的温度保持在 600°C 左右，汞的沸点是 357°C 。冷凝管出口已不再有汞流出，说明汞已经蒸完。根据汞膏的数量和接汞桶中蒸出汞的量也可以估算出蒸汞过程是否已经完结。蒸馏结束后，使蒸馏器冷却，随即

打开炉门，用钳子把盛有海绵金的船形皿取出。海绵金配以一定量的熔剂炼成金块。炼制这种金块可在石墨坩埚中进行，也可以在小型反射炉和小型转炉中进行。金块可直接销售给当地的银行。由各省、县的银行定期集中起来在直属银行的黄金冶炼厂集中电解生产出纯金并综合回收其中的银和其他铂族金属。

矿山企业的炼金室熔炼产生的炉渣可在本企业循环使用，或返回磨矿流程，或是供给黄金冶炼厂再回收金。废炉衬也同样处理，所有炼金室或熔炼车间的废弃物、木制设备、工作服及其他可燃物，定期报废烧成灰后，供给冶炼厂回收金。用坏了的金属制的工具、盘、内衬和铸件，放在酸溶液中浸泡，得到矿泥亦可作为回收金的原料。更换下来的耐火砖、炉衬等经破碎后可在摇床上回收金粒。就连扫地的灰尘、杂物、车间墙壁上的灰尘和鼓风机上的沉积物也不能轻易丢掉，都要返回磨矿车间回收点滴的黄金。

第二节 氰化金泥的冶炼

与汞膏、砂金相比，氰化金泥的杂质含量最大。因此，在冶炼前要进行预处理。用锌丝或锌粉置换产生的金泥含锌量较高，同时也含有铜、铅、铁、钙、二氧化硅等杂质。这种金泥要进行酸洗。酸洗的目的主要是清除其中的锌、有机物和硫化物中的硫。表 8-1 为用锌丝置换的氰化金泥酸洗前后主要成分的变化情况。

表 8-1 金泥清洗前后的组成，%

组 成	处 理 前	处 理 后	组 成	处 理 前	处 理 后
金	19.30	52.00	钙	2.63	—
银	1.88	4.58	硫化物中硫	4.19	2.63
铜	0.47	1.49	硫酸盐的硫	痕迹	8.75
铅	8.74	24.23	二氧化硅	0.90	1.36
锌	48.17	4.32	有机物	2.64	—
铁	0.10	0.20	其 他	10.93	0.32
镍	0.05	0.12			

况。

锌粉置换的金泥含锌虽少，最好也经过酸洗后再送去冶炼。

金泥先过筛除去大块锌丝等杂物，用10~15%的稀硫酸洗涤，用压滤机过滤脱出贫液。滤饼金泥放到搅拌器中，加稀硫酸进行酸洗，直至将金泥中的锌等杂质溶解为止。静置12小时后抽出滤液，再过滤以回收滤液中的细粒金泥。搅拌器中沉淀的金泥烘干后可作为熔炼粗金。酸洗后的滤液可以加碳酸钠生成碳酸锌，碳酸锌经煅烧得氧化锌，氧化锌则作为炼金车间的副产品。

酸洗后的金泥、汞膏和砂金均可在坩埚、小型反射炉和小型转炉中熔炼。产品即金银合金块。下一步精炼多采用电解法。

在选金厂，金泥的产率比较高，使用坩埚熔炼效率较低，耗用大量的坩埚，工人劳动强度也比较大。因此，金泥的熔炼多采用小型转炉或反射炉。酸洗后的金泥先与熔剂混合，然后在1200~1350℃的温度下熔炼。杂质经造渣后由炉内排出。排渣的熔融体在特制的铸模中铸成金银合金。

炼金采用的熔剂有：硼砂、碳酸钠、硝石、萤石和石英砂。表8-2列出含锌金泥在熔炼时添加熔剂的配比。

表 8-2 含锌金泥熔炼时的配比（重量比）

组 成	含石英少的金泥	含石英少含锌高的金泥	含石英多的金泥
金泥	100	100	100
碳酸钠	4	15	35
硼砂	50	50	35
石英砂	3	15	—
萤石	—	—	2

我国金矿有用自制小型转炉熔炼金泥的，其规格为 $\phi 1.5 \times 1.8$ 米，内砌耐火砖，以柴油为燃料。这种小型转炉温度可达1250~1400℃。从烘炉到铸出金锭共需98小时。

用火法炼金多炼成金银合金和其他金基合金。纯度不高，最后仍需经过电解精炼。用火法炼金，砂金炼制成型后，金品位达

85~95%，汞膏脱汞后的海绵金炼制成型后，金品位达60~80%
金泥经炼制成型后金品位达10~50%。

上述火法炼金过程的金冶炼回收率仅达96~98%。

第三节 金的精炼

一、贵铅熔炼法

早在古代就知道了从贵铅中提取金、银的灰吹法。灰吹法是最老的炼金方法。贵铅是铅与贵金属形成的铅合金。在近代，贵铅熔炼仍是处理铜、铅阳极泥的一个重要过程，是从各种废旧器件中回收金、银的主要方法之一。

二、金的电解精炼法

金、银和铜等有色金属大多用电解精炼制取。此时以粗金作阳极，纯金属薄片作阴极（始极片），在适当的电解液中完成电解精炼作业。金电解精炼的主要技术条件为：

阳极纯度	94%
阴极纯度	99.99%
电解液的主要成分	$\text{AuCl}_2 + \text{HCl}$
特征	交直流电并用
阴极电流密度	500~700安/米 ²
槽电压	0.4~0.8伏
直流电耗	300~400千瓦·时/吨

所得到电解金用50%硝酸煮沸3~4小时，再在氨水中浸泡3~4小时，达种电解金的含量高达99.96~99.99%。采用电解精炼法，金的冶炼回收率达99%。

近些年来，一些黄金矿山企业凡有金银合金（合质金）产品的，多组建电解炼金工作室，生产高品位纯金和回收银。银可以供本厂使用，提高了效益，因为目前我国合质金中的银在出售给银行时不计价。

在黄金矿山企业常用的电解法炼金和回收银的工艺流程如图8-2。

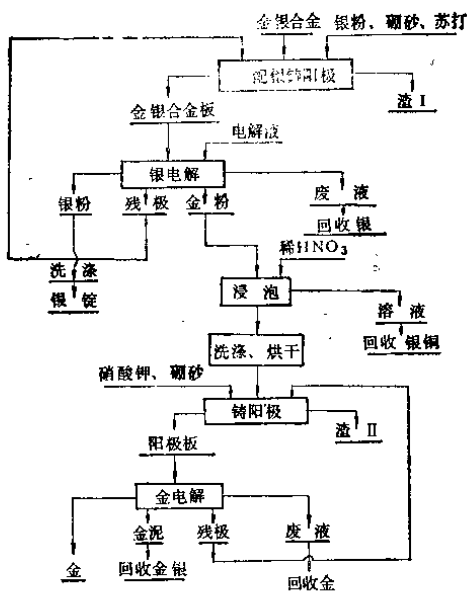


图 8-2 矿山企业常用电解法炼金和回收银的工艺流程

第九章 脱 水

大多数选金厂都有脱水工段，有时尾矿处理作业也需要脱水。

脱水实际上就是固体和液体(水)的分离作业。在选金厂通过脱水设备得到固体的金精矿。有时液体又是富含黄金的贵液，固体成为尾矿或其他有用矿物的精矿。这是与一般的选矿厂有所区别的。脱水设备根据工艺需要配置在选冶流程的某一环节。

脱水通常分成三步：1)浓缩；2)过滤；3)干燥。

第一节 浓 缩

浓缩是靠重力使颗粒沉降出来的过程，它是选金厂脱水的第—道作业，是在连续工作的浓缩机中进行的。连续式浓缩机(图9-1)由圆形池子和池内的一套和几套旋转的径向耙臂组成。在圆形池子的上部有一环形溢流槽，把澄清水排出。在池中靠重力沉降而浓缩的矿浆从池底的中心排管放出来。每一旋转的耙臂上都装有一套耙叶，耙叶为圆弧状与池底保持一定的距离，在旋转中把已浓缩的固体颗粒刮向排出口。排出口用闸门控制，当浓缩矿浆达到一定浓度将发出讯号或使耙臂(架)自动提升，以免因过负荷而遭到损坏。

浓缩机的规格通常以圆形池子的直径称谓，直径由2米到200米，深度由1米至7米。大型浓缩机多用于大型选矿厂尾矿脱水。

圆形池子用钢材和混凝土做成。在选金厂作精矿脱水用的是用钢材制造的。大型混凝土池的池底多浇灌成与耙臂相适应的坡度。浇灌混凝土池底建造斜底并不费事。用钢材做的池底通常都是平底。

选金厂由于规模较小，很少采用大型浓缩机。小型浓缩机的耙动机构通常支承在横跨浓缩池的桁架上。耙臂固定在传动轴

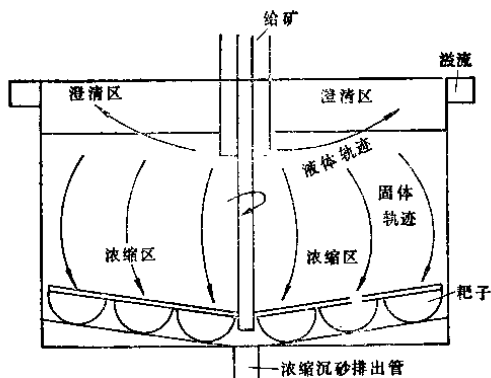


图 9-1 连续式浓缩机内料流动向

上。这种浓缩机称中心传动式浓缩机（或称桥梁式浓缩机）。
(图9-2)

周边传动式浓缩机(图9-3)也是选金厂常用的浓缩设备。这种类型的浓缩机只有一根长耙臂，其一端支承在中心支柱上，另一端固定牵引轮，轮子沿浓缩池壁顶部的钢轨行驶。牵引轮由电动机传动行驶。电动机安装在耙臂端部并与耙臂一起沿圆形轨道转动。

浓缩机中耙动机构的转动速度比较慢，通常为8米/分。

处理量一定，浓缩机的澄清能力取决于其直径的大小，应当有足够的澄清表面积，当然澄清表面积愈大愈有利于颗粒重力沉降，溢流水就愈清。因此，浓缩机规格的正确选择首先要保证有适当的澄清表面积，要使水分的上升速度在浓缩机的任何高度均不超过固体颗粒的沉降速度。

给入浓缩机中的矿浆沿机体的高度分成四区。最上面的A区是澄清水区；B区是给矿区；C区为过渡区；D区是矿浆压缩区，

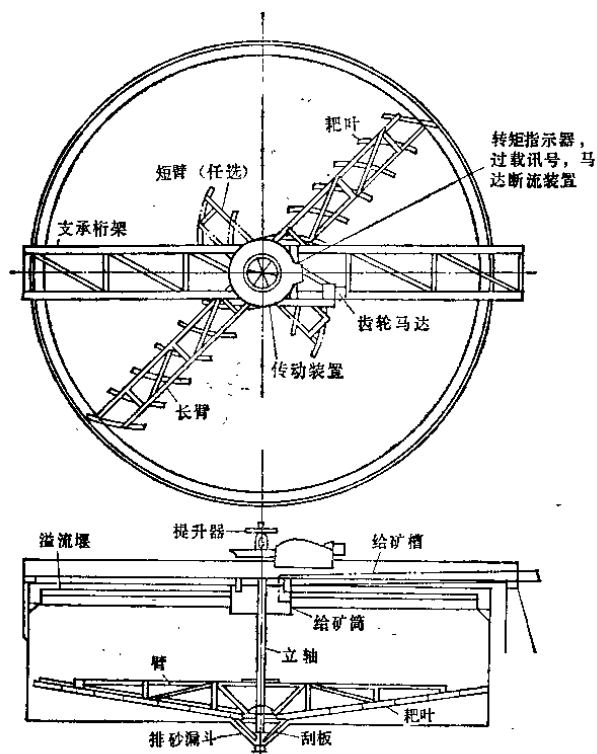


图 9-2 中心传动式浓缩机

浓度较高。(图9-4)

浓缩机占地面积大。为了节约占地面积，选金厂有时采用多层浓缩机(图9-5)。多层浓缩机就是若干浓缩机叠加垂直安装而成。浓缩机各层可独立工作，但共用一个中心轴来传动耙架。

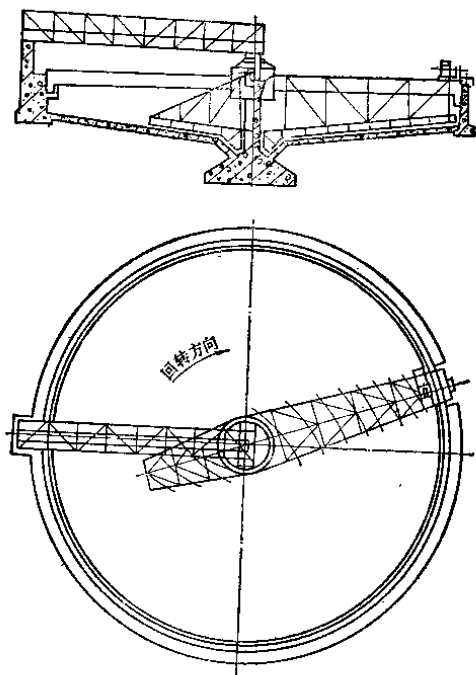
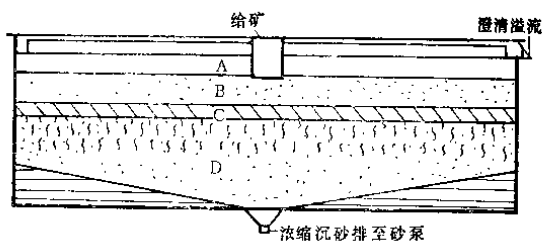


图 9-3 周边传动式浓缩机

选金厂常往浓缩机中添加凝聚剂或絮凝剂来加速浓缩过程。凝聚剂是无机盐、淀粉或占阿胶一类的天然聚合物，它是沉降的助剂。絮凝剂则能使极细颗粒形成团絮体而加速沉降，目前最广泛使用的絮凝剂是聚丙烯酰胺。

浓缩机是利用重力沉降过程实现浓缩。目前，采用离心沉降过程的离心机也逐渐在生产上出现。离心沉降过程就是使颗粒受离心力的作用而加速沉降的过程。离心分离可用于分离通常在重



连续式浓缩机断面，图示沉降矿浆的四个区

- | | |
|--|---|
|  A区：澄清水或溶液 |  C区：矿浆浓度由B至D的过渡区 |
|  B区：给矿浓度矿浆区 |  D区：矿浆压缩区 |

图 9-4 浓缩机中四种浓度区

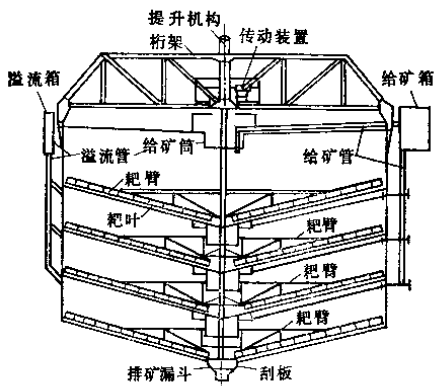


图 9-5 多层浓缩机示意图

力场中稳定的乳浊液。

离心分离可以采用水力旋流器或离心机。(参阅第四章)旋流器内的高剪切力对浓缩作业无大效应。

卧式螺旋离心机在矿业中用途较广，因它能连续排出固体颗粒。

离心机(图9-6)主要由一水平装置的圆锥形转筒，筒内有旋转螺旋。矿浆通过旋转螺旋的中心管给入筒体。矿浆离开中心管就受到高离心力的作用，使固体颗粒在圆筒内表面沉降下来。沉降速度与旋转速度有关，旋转速度通常介于1600~8500转/分。分离出的固体颗粒由螺旋运至筒体锥形端排口排出。分离出的水达到池面时，从筒体另一端排口溢流出来。

离心机的几何尺寸根据工艺要求设计。圆筒部分的长度决定澄清能力。如果溢流的澄清度是主要的，则应加大圆筒长度。

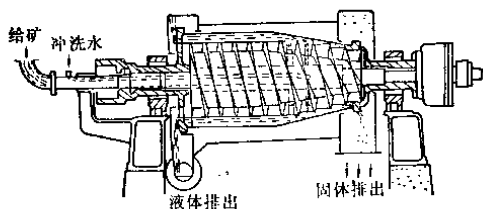


图 9-6 连续排矿卧式螺旋离心机

离心机的筒体直径通常为15厘米至150厘米，长度约为直径的两倍。处理量决定于给矿浓度和给矿粒度，约为0.5~50米³液体/小时或0.25~100吨固体/小时。给矿浓度可为0.5~70%固体；给矿粒度介于12毫米至2微米。在离心力场中浓缩，絮凝均受到限制，由于漩涡作用会破坏絮团。

第二节 过 滤

过滤是选金厂常用的过程，通常在浓缩作业之后继续脱除浓

缩产品的水分。

过滤在日常生活中也是常见和常做的工作。如在做豆腐时用滤布滤出多余的水分，就是过滤。滤布就是过滤介质，豆腐就相当于滤饼。制造过滤介质的材料不一定是棉布，可以是毛呢、尼龙、丝绸、玻璃纤维、人造丝、亚麻布、黄麻布、金属或其他多孔橡胶板等。但最常用的还是棉织布。

在选金厂常用的过滤机有压力过滤机和真空过滤机。

压力过滤机通常是经过加压使矿浆中的水被挤压出来，由于固体颗粒的不可压缩性而被疏干。压力过滤机多数为间歇作业式的。

压力过滤机常用的有两种：一种是框式压滤机：另一种是箱式或称凹板式压滤机。

框式压滤机(图9-7)由机板和机框交替组成。用滤布将中空框与机板隔开。每一对板之间形成一个密封室。矿浆从中空框给入。水通过滤布从机板槽面流出并经连续沟槽排出。固体颗粒形

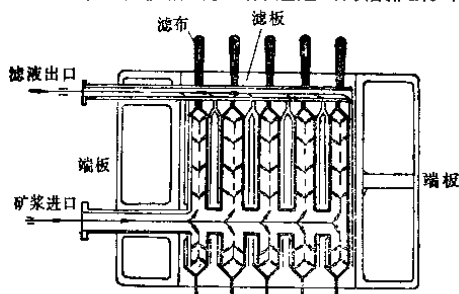


图 9-7 框式压滤机

成的滤饼留在框上。当框上积满滤饼时，应加水洗涤，减去压力，板框相互分开，排除框上的滤饼，这样完成了一个过滤周期。

箱式压滤机(图9-8)或称凹板式压滤机是由凹形过滤板组成

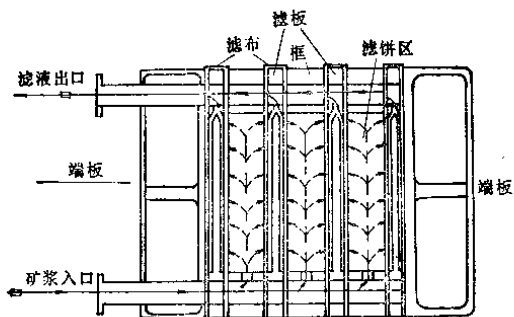


图 9-8 箱式压滤机

的。相邻的机板间即单个的过滤室。每一机板有中心孔，使各个过滤室相通，带中心孔的滤布套在机板上。矿浆被送入沟槽。通过滤布的水由机板上的小孔排出。固体颗粒形成的滤饼沉积在过滤室中。

压滤机常用于氰化厂。金泥的洗涤过滤常选用手工排矿的压滤机。

真空过滤机有间歇式和连续式。间歇式过滤机常用的有叶片过滤机。这类过滤机虽然操作简单，但占地面积相当大。在选金厂很少采用。还有一种卧盘式真空过滤机也是属于间歇式的，在选金厂不常用。

连续式真空过滤机在选金厂特别是在采用常规浮选法、重选法的选金厂最为常用。这类过滤机通常有三种型式：圆筒型、圆盘型和卧式。

圆筒型过滤机是一水平安装的过滤圆筒，下部浸入过滤机的给矿槽内。从浓缩机的底流送入过滤机给矿槽中的矿浆由搅拌器保持均匀的浓度，防止在给矿槽内沉淀。沿过滤圆筒的周边分成若干室，每室均设有一些排水管。排水管在圆筒均归结于一个终端，形成一圈排水孔，孔上盖上回转阀，阀与真空相通。过滤

圆筒的外表面紧密地铺一层滤布并固定之。圆筒以 $0.1\sim 0.3$ 转/分的低速旋转。

当圆筒转动时，每一隔室均经过同一作业循环。这一作业循环包括过滤、疏干和排卸滤饼，如图9-9所示。在这一基本作业循环中还可以增加滤饼洗涤和滤布冲洗等工序。

每一作业循环的时间可以根据过滤矿浆性质和工艺要求来决定，循环时间的长短取决于圆筒的转速、圆筒浸入矿浆的深度和回转阀的布置。

从过滤圆筒上排卸滤饼有几种方法。最常见的是反向喷气，当滤布被吹气松开时滤饼被排矿溜槽旁的固定刮板刮出。刮板不接触滤布，尽管如此，滤布反复地受抽真空吸水和喷气释放滤饼而在固定处折损较快。还有一种为折带式排矿并冲洗滤布的圆筒过滤机，很受用户的欢迎。滤布本身在运行时可以脱离机体并通过机体外部装设的滚轮卸下滤饼，然后再返回矿浆槽附在圆筒上。这种排矿方式的优点是可以排卸较薄的滤饼，过滤效率高，滤布经过洗涤，过滤效果好，即滤饼水分低。在金选矿厂可以免除干燥作业。因为金精矿的价值高，在运往冶炼厂装车时均使用包

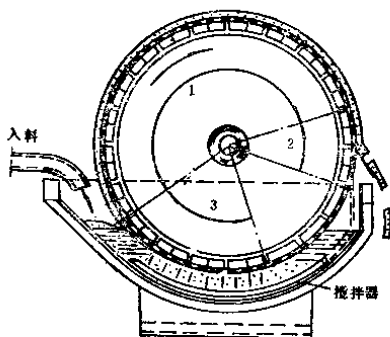


图 9-9 圆筒型真空过滤机示意图

1—疏干区；2—排卸区；3—过滤区

装，与其他散装车皮的精矿不同。

过滤机所需要的抽真空和喷气，还需要有真空泵及一整套装置形成体系。圆盘型及圆筒型连续式真空过滤机典型配置见图9-10。

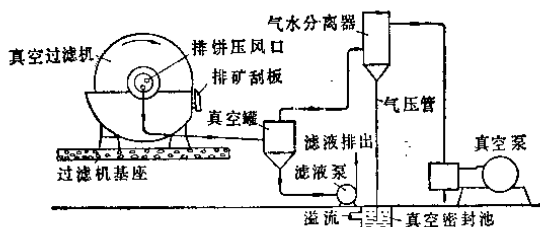


图9-10 真空过滤机系统的标准配置图

从图9-10可看出，真空泵的工作是在洗涤和疏干时通过滤饼抽取水和空气。滤液(通常为水)通过过滤机的终端排水管进入真空罐，气体经管道进入气水分离器而后返回真空泵，形成气流循环。滤液经滤液泵排出。过滤的矿浆是金精矿，滤液通常排放到沉淀池，靠重力沉降定期回收少量的金精矿。

圆盘型过滤机的工作原理与圆筒型过滤机相似。过滤表面是装在水平机轴上的一排圆形过滤盘。滤饼就在每个圆盘的两侧形成。圆盘一部分浸入给矿槽中，圆盘低速旋转，当离开给矿槽的矿浆液面时通过吹气和刮板把滤饼卸出。圆盘同装在水平机轴上，相邻两盘的中心距为30厘米。因此，和圆筒型过滤机相比同样的占地面积可获得更多的过滤面积，缺点是不便于对滤饼进行洗涤。

近年来，在国外还使用螺旋运输机排出滤饼的浅盘过滤机、水平带式过滤机、磁力真空过滤机和对极细粒精矿的蒸汽加热过滤机等。

带式过滤机最适用于处理要求有效洗涤的快速沉降重质浓缩

矿浆。

第三节 干 燥

干燥是选金厂精矿产品脱水的最后一道工序。特别是在冬季和北方的选金厂，金精矿的水分最好降至5%以下。这样，必须经过干燥作业才能达到。当然水分过低而造成粉尘损失也是不利的。

干燥作业多在热力回转窑中进行。

干燥可用直接加热法，也可用间接加热法。直接加热法即热气体直接流经干燥机内的金精矿，间接加热法是热气体从筒体的外部加热干燥机内的金精矿。第三种是复式加热法。

在我国南方的选金厂多采用两段脱水，备有足够容积的自然干燥场地控制金精矿的水分按期包装外运。水分在5~8%的金精矿应放在精矿库内保存或在精矿表面喷洒一层溶液形成表膜，防止飞扬损失。

在选煤厂对浮选精煤使用流态化床层干燥机及管式干燥机进行干燥。在这类干燥机中，物料和干燥介质接触好，干燥速度快，适于不耐高温的物料，适于化学选矿的精矿的干燥。

第十章 尾矿处理

选金厂的尾矿量占原矿的比例很大，在90%以上。尾矿的概念是相对的，尾矿中常含有一些有用成分可在较高技术水平条件下回收。尾矿中含有大量药剂，其中有些对人体、牲畜、农田等有害。如果将含有重金属离子和药剂的尾矿以矿浆的形式排入江湖海河或任意存放，就会造成附近水域、土壤甚至地下水资源的污染，从而带来一系列严重问题，并影响企业的兴衰。因此，尾矿处理涉及到合理利用资源和环境保护的原则和法律问题，必须予以充分重视。

第一节 尾矿处理方法

选金厂根据选矿方法的不同对产出的尾矿分别采取对策加以处理。

1. 堆淋法处理后块状废石可以因地制宜堆放在山谷中或按石质及块度作铺路材料或其他用途的石料。

2. 选金厂的尾矿中含有其他有用组分可资利用，可以将这种尾矿作为另一工厂的原料。

3. 在金矿采用充填采矿法开采时，则使用尾矿作为采空区的充填料。最理想的充填工艺是全尾矿充填。这一工艺目前仍处于试验研究阶段。目前在生产上采用的都是利用尾矿中的粗砂部分作为采空区的充填料。选矿厂尾矿排出后送尾矿制备工段经分级后把粗砂部分送井下采空区，而细砂部分另想办法堆存。这种处理尾矿的方法在国内外均已采用。选金厂的尾矿很少具有自行粘结的特性，为保证采空区的充填质量常加少量水泥使之固结，称之为胶结充填。尾矿分级后的细粒部分仍需要堆存。通常要筑尾矿坝建设尾矿库存放。此外也有用药剂处理尾矿水后把尾矿压入附近的海底或湖底。当然矿山要有这种地理条件。如加拿大西部矿

山公司和海岛铜矿就是这样处理尾矿的。十多年的实践证明，细尾砂经处理后压入水底对水质和水产资源并没有影响。

4. 筑坝建库堆存尾矿。

第二节 尾 矿 库

一般情况下，多在山谷间或在洼地的周围筑坝，将选金厂尾矿排入其中而进行沉淀堆积。这种堤坝称为尾矿坝。而尾矿库则是由排水设施、尾矿坝、尾矿三者组成。其中排水设施系指排除尾矿库的雨水或山溪水流的山坡截洪沟或山溪排水管路，排除尾矿库内雨水、尾矿澄清水的排水设施，以及排除尾矿中的渗透水、坝底部的涌水的盲沟及排水管路等。

尾矿库的形式有三种：1) 山谷型。在谷口一面筑坝；2) 山坡型，利用山坡阶地两面和三面筑坝；3) 平地型，在平地四周筑坝。从经济实用的角度看以山谷型尾矿库为好。在设计尾矿库的容量时应以选金厂的服务年限和存放全部尾矿量为依据。

尾矿坝是尾矿设施中最重要的组成部分，关系到尾矿库的安危。在坝址选择上应尽量靠近选金厂，使尾矿的输送距离最短，而且尽可能减少扬送高度。坝址以下的土层和岩石应结构可靠，筑坝前应作工程地质评价。

尾矿库的初期坝可用土、石材料筑成，应当透水，即使用土筑坝，其外坡底部应有透水的石料堆成的透水体并铺有按一定级配组或的砂石反滤层，以保护初期坝体的稳定。

尾矿库仅靠初期坝(基坝)围成的库容是满足不了选金厂服务年限内堆存尾矿用的。初期坝是在选金厂基建时期建成的，其尾矿容量仅能满足堆存选金厂半年至一年的尾矿量，以后的尾矿库容要靠生产企业自行利用尾矿和附近的粘土堆坝来解决。

生产实践指出，尾矿中小于37微米的细尾砂不宜于作为尾砂堆坝的材料。如果粗粒级尾矿经分级作为井下充填料使用，那么利用尾矿堆坝时就必须要在尾矿坝处再用旋流器分级，粗粒级留在靠近坝体部位，细粒级则作为旋流器的溢流向尾矿池的尾部流

动。细尾矿浆在流动的过程也自然分级，稀而细的尾矿流得最远。在尾矿池的尾部则有一段是澄清水区。

库内靠近坝体内坡堆存的尾矿，既是新堆坝的基础，又是堆坝(或称子坝)的材料或部分材料。

增高坝体加大库容有许多方法。常用的方法有上游筑坝法、下游筑坝法，中线筑坝法(或称中间加高法)。

1. 上游筑坝法 初期坝建筑在最下游点(图10-1)。子坝则在基坝之上向上游一侧按一定的坡度逐次增高。尾矿经管道进入初期坝的顶部，必要时经旋流器分级，经支管均匀地排放到尾矿库内。当初期坝形成的库容填满时，子坝则利用粗粒级尾矿堆成又加高坝体，从而增加了新的库容。如是利用尾矿堆积子坝直至达到设计高度。子坝堆成时要经过压实，并调整尾矿排管的位置。

山谷型尾矿库多采用上游筑坝法。我国许多选厂采用这种方法。

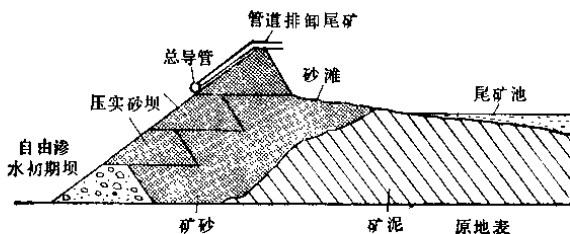


图 10-1 上游筑坝法建成的尾矿库

应当特别注意的是，子坝的堆积高度超过一定极限会发生崩塌，造成大量尾矿外流。出现这种情况将会给下游居民带来灾难。因此，要通过试验决定子坝的堆积高度。只要尊重科学，此法不失为一种经营费用低廉的筑坝法。

再者，要严禁在尾矿坝的外层种植根深的植物，以免坝体吸

吮大量的水，增高坝体的润湿程度而降低坝体的稳定性。为环境保护的目的，可在坝体外层覆上一层优质表土，种植一层根浅而发达、吃水量小的植物，以达到与周围环境的协调。

尾矿粒度较细则需要经旋流器分级利用粗砂筑坝(图10-2)。

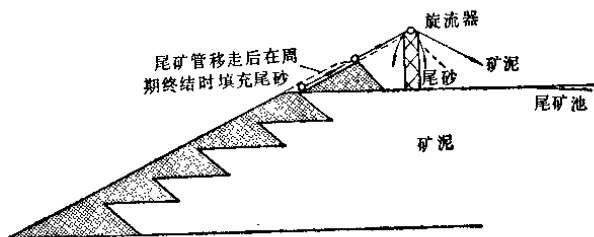
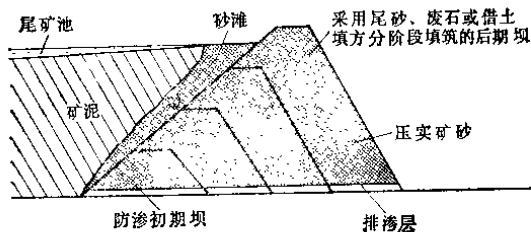


图 10-2 旋流器分级的上游筑坝图



1图 10-3 下游筑坝法建成的尾矿库

2. 下游筑坝法(图10-3) 利用粗粒尾矿在初期坝的基础上中心线向下游方向移动的堆筑后期坝的方法。大型尾矿坝均采用这种方法加高后期坝和增加库容。在选矿厂投产初期利用尾矿堆坝，在量上满足不了要求，这就需用在附近找取土点以土或采场运出的废石填方。这种筑坝法固然安全可靠，只是尾矿处理费用增高，并且要有人长期地在筑坝。

3. 中间加高法 用这种方法加高尾矿坝，坝中心线与初期坝一致。利用粗粒尾矿筑坝时比起下游筑坝法尾砂用量少和在短

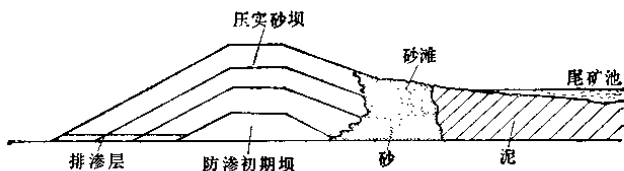


图 10-4 中间加高筑坝法建成的尾矿库

期内形成一定的库容(图10-4)。

用中间加高筑坝法加高尾矿坝时,坝体上游坝体的表面(内坡面)应保持一定的坡度,切莫过陡急于求成而影响后期坝的稳定。

如果矿山开拓有废石产出,可以用来填筑尾矿坝。在某种情况下混合使用废石和尾矿砂筑坝也是经济安全的。但是矿山坑口采矿场必须距离尾矿库近。如果运距大就要做经济比较,是就地用土填方补偿粗粒尾砂的不足,还是从采矿场运来废石那种方案划得来。

回水利用设施也是整个尾矿设施中的重要环节。从环保和经济的角度应尽可能多地利用尾矿库的澄清水,尽可能减少选矿厂的新水供给比例。用浮选法处理多金属含金矿石,使用回水的比例和地点将受到限制。尾矿澄清水处理得再好也会带来一定的污染物而干扰浮选过程。

有的选金厂的尾矿在送往尾矿库之前先使用石灰进行处理,中和酸类,使重金属离子沉淀为不溶性氢氧化物,在有氰化作业的选金厂还可以破坏氰化物。有的以氰化法为主的选金厂,尾矿在出厂后,使用臭氧法和碱性氯化法脱除尾矿水中的氰化物、硫酸盐和胺类药剂。尾矿在库中存放一段时间阳光曝晒和流入库内的地表径流水和雨水的稀释也会改善水质。在水资源比较紧缺的地区更应设法充分利用尾矿澄清水的重复使用。在尾矿库的尾矿水澄清水安装浮动泵站可以根据水量和澄清程度泵取一定量的尾矿澄清水送往选金厂的贮水池。新水池和回水池可分为两格,在送往选金厂之前可以控制一下新水和回水的比例。回水中可能还会带一些固体,回水池应定期清理并随时监测回水质量。

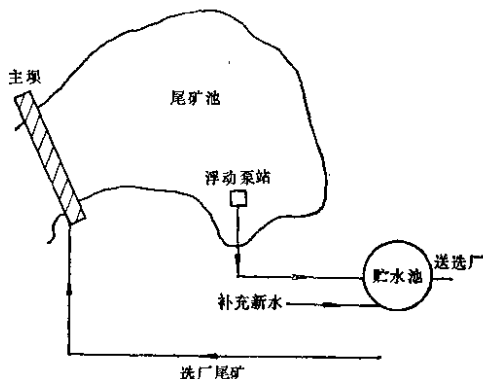


图 10-5 选金厂尾矿回水系统示意图

图10-5是选金厂尾矿库回水系统示意图。

第三节 尾矿库的安全

尾矿库与水库有类似之处，库内有水。因此，坝体本身要确保安全可靠，还要有防洪设施。

尾矿库必须考虑防洪。在雨季，库内不仅存放尾矿浆带来的水，而且在尾矿库汇水面积内的水都会以地表迳流的渠道进入尾矿库。典型尾矿库内水量的增减见图10-6。在尾矿库的设计时就应按设计规范计算洪水量。为了防止意外，由于洪水季节地表迳流量大，则应修筑截流沟渠，把一部分地表迳流水在上游截出库外。在一些老的尾矿库，沿尾矿库的纵坡方向修建一些排水井，井井相连，并通过井下的排水管或排水沟渠把多余的澄清水排往库外。尾矿堆到一定高度则从尾矿坝端向上游顺次序封闭已经完成任务的排水井。在设计和施工这种排水设施时应充分考虑排水管道系统承受堆积尾矿的压力。一旦排水系统被压垮，将会使整个排水系统报废。

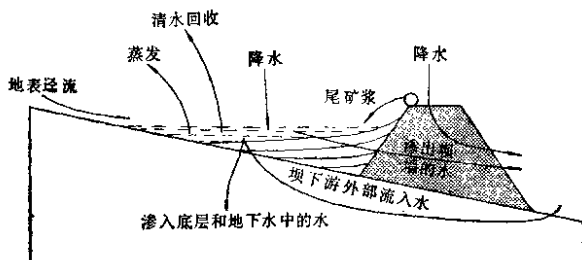


图 10-6 典型尾矿库内水量增减去向图

初期坝旁修筑防洪道。在尾矿库的中后部设立备用的浮动泵站。

无论是采用上游法或下游法和中间加高法筑坝，必须对堆筑子坝的尾砂的粒度组成按试验的成果严加控制，小于37微米的细粒尾砂占比例过高会影响子坝的稳定性。

尾矿库在生产过程中坝的高度要高出实际排放在库内的尾矿堆存面1~2米以上，以保证尾矿坝有一定的安全超高。如果尾矿堆存面的高度与尾矿坝的坝顶高度相差无几了，这将是危险因素。一场暴雨就有可能使尾砂从坝顶外溢，特别是在利用尾砂堆筑子坝阶段更应注意保有安全超高。

尾矿坝均为透水坝。尾矿库中的水不断地通过坝体(坝墙)排走一部分，排水线以下的坝体均含水或被水润湿。通常称这一排水线为润湿曲线。润湿曲线愈低，坝体愈稳定，如果润湿曲线已上升到最高一层的子坝的坝顶，则说明尾矿水已淹没到子坝的顶部，尾矿坝将是被水泡酥了的砂堆，随时将会崩塌。为了保证安全，尾矿浆的排放应从坝顶均匀地向库内上游方向排放，把尾矿水尽量往库内压，使坝的内坡离积存尾矿水的位置有相当的距离，根据尾矿库的纵坡长度通常为50~120米为宜。对小型尾矿库，这一长度也相应变短。这段干坡(即表面无积水)的长度与润湿曲线的高度成反比。

附录 1 常用黄金计量单位重量换算表

(附国际公认的缩写符号)

重 量	金衡两	本尼威特	金衡盎司	常衡盎司	金 衡 磅	克
1金衡两 (gr.)	1	0.041666	0.0020833	0.00228571	0.000142857	0.0648
1本尼威特(dwt.)	24	1	0.05	0.0548571	0.00342857	1.5552
1金衡盎司(t.oz.)	480	20	1	1.0971428	0.0685714	31.104
1金衡磅 (t.lb.)	5760	240	12	13.165714	0.822857	373.248
1常衡盎司(av.oz.)	437.5	18.2292	0.911458	1	0.0625	28.35
1常衡磅(av.lb.)	7000	291.666	14.58333	16	1	453.6
1毫克 (mg)	0.015432	0.000643	0.00003215	0.000035274	0.0000022046	0.001
1克 (g)	15.432	0.643	0.03215	0.035274	0.0022046	1
1千克 (kg)	15432	643	32.15	35.274	2.2046	1000

**附录 2 1979~1981年世界
主要国家的黄金储备^①(百万盎司)**

	1979	1980	1981	1982
世 界 ^②	944	952	951	
亚 洲				
南 朝 鲜	0.29	0.30	0.30	
日 本	24.23	24.23	24.23	24.23
緬 甸	0.251	0.251	0.251	
泰 国	2.46	2.49	2.49	
马来西亚	2.13	2.32	2.33	
菲 律 宾	1.70	1.92	1.66	
印度尼西亚	0.280	2.394	3.104	
尼 泊 尔	0.15	0.15	0.15	
孟加拉国	0.054	0.054	0.054	
印 度	8.560	8.594	8.594	
斯里兰卡	0.06	0.06	0.06	
巴基斯坦	1.82	1.82	1.85	
阿 富 汗	0.964	0.965	0.965	
伊 朗	3.903	...	...	
科 威 特	2.539	2.539	2.539	
沙特阿拉伯	4.57	4.57	4.57	
巴 林	0.15	0.15	0.15	
卡 塔 尔	0.269	0.475	0.713	
阿拉伯联合酋长国	0.58	0.58	0.68	
阿 曼	0.187	0.209	0.274	
也门民主人民共和国	0.04	0.04	0.04	
阿拉伯也门共和国	0.007	0.009	0.009	
叙 利 亚	0.83	0.83	0.83	
黎 巴 嫩	9.22	9.22	9.22	
约 旦	0.816	1.021	1.067	
巴勒斯坦	1.231	1.194	1.193	
塞浦路斯	0.459	0.459	0.459	
土 耳 其	3.77	3.77	3.77	

	1979	1980	1981	1982
欧 洲				
冰 岛	0.05	0.05	0.05	
丹 麦	1.64	1.63	1.63	
挪 威	1.18	1.18	1.18	
瑞 典	6.07	6.07	6.07	
芬 兰	0.99	0.99	1.27	
苏 联	—	—	—	
匈牙利	1.777	2.069	1.685	
德意志联邦共和国		95.18	95.18	95.18
奥地利	21.11	21.11	21.11	
瑞 士	82.28	82.28	82.28	
荷 兰	43.97	43.94	43.94	
比利时	34.21	34.18	34.18	
英 国	18.84	19.03	19.00	
爱尔兰	0.383	0.357	0.359	
法 国	81.85	81.85	81.85	81.85
西班牙	14.61	14.61	14.61	
葡萄牙	22.13	22.17	22.14	
意大利	66.71	66.67	66.67	
马耳他	0.366	0.434	0.456	
南斯拉夫	1.721	1.855	1.856	
罗马尼亚	3.535	3.712	3.591	
希 腊	3.81	3.83	3.85	
非 洲				
埃 及	2.47	2.43	2.43	
利比亚	2.464	3.078	3.578	
突尼斯	0.170	0.187	0.187	
阿尔及利亚	5.58	5.58	5.58	5.58
摩洛哥	0.704	0.704	0.704	
塞内加尔	0.29	0.29	0.29	
马 里	0.019	0.019	0.019	
布基纳法索	0.011	0.011	0.011	
象牙海岸	0.045	0.045	0.045	
加 纳	0.219	0.253	0.309	
多 哥	0.013	0.013	0.013	

	1979	1980	1981	1982
贝宁	0.008	0.011	0.11	
喀麦隆	0.030	0.030	0.030	
乍得	0.11	0.11	0.11	
中非	0.011	0.011	0.011	
埃塞俄比亚	0.286	0.309	0.260	
索马里	0.015	0.019	0.019	
肯尼亚	0.08	0.08	0.08	
布隆迪	0.013	0.017	0.017	
扎伊尔	0.252	0.298	0.358	
刚果	0.11	0.11	0.11	
加蓬	0.13	0.13	0.13	
赞比亚	0.217	0.217	0.217	
马拉维	0.013	0.013	0.013	
津巴布韦	0.26	0.35	0.47	
南非	10.03	12.15	9.29	
大洋洲				
澳大利亚	7.93	7.93	7.93	
新西兰	0.05	0.02	0.02	
巴布亚新几内亚	0.05	0.06	1.66	
斐济	0.01	0.01	0.01	
北美洲				
加拿大	22.18	20.98	20.46	264.03
美国		264.32	264.11	
墨西哥	1.948	2.062	2.256	
危地马拉	0.522	0.522	0.522	
萨尔瓦多	0.508	0.516	0.516	
洪都拉斯	0.014	0.016	0.016	
尼加拉瓜	—	—	—	
哥斯达黎加	0.087	0.087	0.029	
巴哈马	0.017	—	—	
海地	0.018	0.018	0.018	
多米尼加共和国	0.113	0.131	0.142	
南美洲				
哥伦比亚	2.317	2.787	3.366	
委内瑞拉	11.46	11.46	11.46	
苏里南	0.054	0.054	0.054	
厄瓜多尔	0.414	0.414	0.414	
秘鲁	1.168	1.398	1.398	
巴西	1.70	1.88	2.20	
玻利维亚	0.683	0.759	0.829	
智利	1.524	1.704	1.702	
阿根廷	184	185	185	
巴拉圭	0.035	0.035	0.035	
乌拉圭	3.310	3.422	3.392	

① 据《世界经济统计手册》。

② 不包括苏联及东欧国家。

附录3 金的化学活性

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子) ①		最低温度时 (°C) 固熔体含量, % (原子) ②	共晶温度 (°C) 及金 含量, % (原子) ③	化 合 物 (相)
	元素在金中	金在元素中			
H	$\sim 8 \times 10^{-4}$ (900)	—	$\sim 4 \times 10^{-4}$ (700)	—	AuH
Li	40 (630)	0.7 (151)	19Au (20)	151(5.1); 436(29); 508(40); 631(65)	Au ₂ Li ₄ , AuLi, AuLi ₂ , AuLi ₃ , Au ₄ Li ₃
Be	0.2 (<580)	2~3 (<585)	0.2Be	602(62); 595(26)	Au ₂ Be, Au ₃ Be, AuBe, Au ₂ Be ₃ , AuBe ₃ , AuBe ₅
B	—	—	—	—	AuB ₂
C	—	—	—	—	—
N	—	—	—	—	Au ₃ N ₄
O	—	—	—	—	Au ₂ O ₃ , Au ₂ O ₅
F	—	—	—	—	AuF ₃
Na	—	—	—	80(2); 876(83)	Au ₂ Na, AuNa, AuNa ₂
Mg	22 (860)	0.1(576)	0.1Au (576)	780(35); 827(67.5); 576(7); 780(30)	Au ₂ Mg ₃ , Au ₂ Mg ₅ , AuMg, Au ₂ Mg, Au ₃ Mg ₅ , AuMg ₆
Al	15.5 (530)	0.08~0.1	6.0Al (300)	525(77.5); 1642(0.7)	AuAl ₃ , Au ₂ Al, AuAl, Au ₃ Al ₂ (或Au ₄ Al ₃), Au ₄ Al

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子)①		最低温度时(°C) 固熔体含量, % (原子)②	共晶温度(°C)及金 含量, % (原子)③	化 合 物	(相)
	元素在金中	金在元素中				
Si	—	2×10^{-5} (1000)	370(81.4 ± 0.3)	—	Au ₂ P, Au ₂ S ₃	
P	—	—	—	—	AuCl, AuCl ₂ , AuCl ₃ , AuCl ₄	
S	4.96(1048)	—	—	—	Au ₂ K, Au ₂ K ₂ , AuK, AuK ₂	
Cl	—	—	—	—	Au ₂ Ca, Au ₂ Ca ₂ , Au ₃ Ca, Au ₃ Ca ₂ , AuCa ₁₁ , (或Au ₂ Ca ₁₀), Au ₂ Ca ₂ , AuCa ₂	
K	—	—	—	57 (3.0)	AuSc, AuSc ₂	
Ca	1.8(800)	4.5(885)	4.5Au(500)	658(12); 764(69.7); 804(86.8); 807(69)	Au ₂ Ti, Au ₂ Ti ₂ , AuTi, AuTi ₂	
Sc	8.8(1040)	—	—	780(6.3)	Au ₂ V, Au ₂ V ₂ , AuV ₂	
Ti	13.0(1123)	—	0.85 (500)	832.5(4.4); 1310(38) 1367(26); 1385(41)	—	
V	17.5 (970)	15.0(1200)	10.0Au (800); 13.0V (20)	—	—	
Cr	48.7(1150)	—	25.5Cr (400)	—	—	
Mn	22.0 (620)	4.0 (1220)	15.0(20)	620(78); 620(68); 1095(30)	AuMn, AuMn ₂ , AuMn ₃ , Au ₂ Mn, Au ₃ Mn, Au ₄ Mn	
Fe	15.6	4.1 (1170)	11.5Fe(300); 0.5Au(500)	>803(2.3)	—	
Co	23.5 (996)	2.5 (1300)	0.3Au (500) 0.2Co (400)	998(27)	—	
Ni	100	100	7Ni, 2Au(300); 29Au (812)	—	Au ₂ Ni, AuNi, AuNi ₂	

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子) ^①		最低温度时 (°C) 固熔体含量, % (原子) ^②	共晶温度 (°C) 及 金含量, % (原子) ^③		化 合 物 (相)
	元素在金中	金在元素中				
Cu	100	100	—	—	—	AuCu, Au ₂ Cu, AuCu ₃
Zn	33.6 (500)	4.5 (418)	1.5Au (100); 15.0Zn (100)	642(63.5); 626(43); 423(3)	—	Au ₂ Zn, Au ₃ Zn, Au ₅ Zn ₃ , AuZn ₅
Ga	2.61 (351)	—	15.5Ga (200)	451(43.6); 341(71.4)	—	Au ₂ Ga, Au ₃ Ga, AuGa, AuGa ₂
Ge	2.8 (450)	3.82 × 10 ⁻⁴ ④ (600)	0.2Ge (200); 2 × 10 ^{-1.2} ⑤(200)	356(73)	—	—
As	~0.2(611)	—	(400)	665(~50.0~60.0)	—	—
Se	12.05(1020)	—	—	—	—	AuSe
Br	—	—	—	—	—	AuBr, AuBr ₂ , AuBr ₃ , AuBr ₄
Cs	—	—	—	580(58.3); 27(~10)	—	AuCs
Ba	—	—	—	—	—	Au ₂ Ba, Au ₃ Ba, Au ₅ Ba ₃
La	<0.2(780)	—	—	798(98.9); 1054(70); 1148(62.7); 561(~16)	—	Au ₃ La, Au ₂ La, AuLa, AuLa ₂
Ce	—	<0.2(780)	—	~808(91.5); 1029(70); 995(61.3); 520 (16)	—	Au ₂ Ce, Au ₃ Ce, AuCe, AuCe ₂
Pr	0.55	1.56 (757)	0.1Au (598)	808(88.9); 1050(72); 1140(68); 619(17.7)	—	Au ₂ Pr, Au ₃ Pr, AuPr, Au ₂ Pr ₂
Nd	0.2 (780)	—	—	—	—	AuNd, Au ₂ Nd, Au ₃ Nd
Sm	<0.8(780)	—	—	—	—	AuSm, Au ₂ Sm, AuSm ₂
Gd	0.7 (809)	—	0.6Gd (780)	—	—	Au ₂ Gd, Au ₃ Gd, AuGd, AuGd ₂
Tb	1.0 (780)	—	—	—	—	AuTb, Au ₂ Tb, Au ₃ Tb, Au ₄ Tb

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子)①		最低温度时 (°C) 固熔体含量, % (原子)②	共晶温度 (°C) 及 金含量, % (原子)③	化 合 物 (相)
	元素在金中	金在元素中			
Dy	2.1 (730)	—	1.79Ho (600)	778(Au + Au ₃ Ho)	AuD ₇ , Au ₂ D ₇ , AuD ₇ , Au ₃ D ₇
Ho	3.56 (750~800)	—	—	—	Au ₃ Ho, AuHo, Au ₂ Ho, AuHo, AuHo ₂
Er	5.3 (730)	—	—	—	Au ₂ Er, AuEr, Au ₄ Er, AuEr, AuEr ₂
Tm	6.0 (780)	—	—	—	Au ₂ Tm, AuTm, Au ₄ Tm, AuTm ₂
Yb	5.0 (809)	—	—	546(17), 809 (89) 1061(57), 1131(73.5)	Au ₄ Yb, Au ₃ Yb, Au ₂ Yb, AuYb, Au ₄ Yb ₂ , Au ₃ Yb ₂ , Au ₂ Yb ₂ , AuYb ₂
Lu	7.7 (890)	—	6.5 (780)	—	Au ₂ Lu, Au ₄ Lu, AuLu, AuLu ₂
Rb	—	—	—	730 (86) 34 (1.0)	Au ₃ Rb, Au ₂ Rb, AuRb
Sr	—	—	~50Au (300)	520(16.5), 850(~56) 875(~77.5), 890(~93)	Au ₆ Sr, Au ₂ Sr, AuSr ₂ , AuSr ₃
Zr	7.23(1065)	—	0.7Zr (500)	1250 (55.0), 1063 (94.1)	Au ₄ Zr, Au ₃ Zr, Au ₂ Zr, Au ₁₀ Zr ₃ , Au ₂ Zr ₅ , AuZr ₁₂ , AuZr ₁₃
Nb	57 (1570)	36 (1570)	10.5Au (500) 5.5Nb (500)	950(55.5), 1450(35.5)	Au ₂ Nb, Au ₃ Nb ₁₁ , Au ₂ Nb ₃ , AuNb ₃
Mo	1.25(1054)	—	0.7Mo(200)	1058	—

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子) ^①		最低温度时 (°C) 固熔体含量, % (原子) ^②	共晶温度 (°C) 及金 含量, % (原子) ^③	化 合 物 (相)
	元素在金中	金在元素中			
Ru	<0.5 (~1065)	—	(20)	—	—
Rh	1.5 (1068)	0.3 (1068)	—	—	—
Pd	100	100	—	—	—
Ag	100	100	—	—	—
Cd	32.5 (627)	3.5 (309)	1.5Au(20); 17.5Cd(20)	309(7.9); 540 (40) 612 (57)	Au ₃ Cd, AuCd, AuCd ₅
In	10.3 (700)	—	9.9In (230)	495(45); 454(62)	Au ₃ In, AuIn, AuIn ₂ , Au ₃ In ₄
Sn	6.8 (498 ± 10)	—	5.9Sn (~300)	217(6.0) 278(71.0)	AuSn, Au ₃ Sn ₂ , AuSn ₄ , Au ₁₉ Sn, Au ₁₉ Sn ₁₇
Sb	1.12 (600)	—	0.34Sb (~300)	360(66)	AuSb ₂ , AuSb ₃
Te	<0.1	—	—	447(47.0); 416(12)	AuTe ₂
I	—	—	—	—	AuI
Hf	—	—	—	—	Au ₃ Hf, Au ₂ Hf, Au ₃ Hf ₂ , Au ₁₀ Hf, AuHf ₂
Ta	11.3(1300)	—	8.5Ta(500)	—	AuTa, AuTa ₂ , AuTa ₃

续附录 3

与金结合 的元素	固熔体最大值, % (原子) ①		最低温度时 (°C) 固熔体含量, % (原子) ③	共晶温度 (°C) 及金 含量, % (原子) ④	化 合 物	(相)
	元素在金中	金在元素中				
W	—	—	—	—	—	—
Re	0.1 (~1000)	—	—	—	—	—
Os	—	—	—	—	—	—
Ir	>0.1	~2	—	—	—	—
Pt	100 (>1252) 33 (1000)	100 (>1252) 18.6 (1000)	5Au (100); 25Pt (100)	—	Au ₃ Pt, AuPt, AuPt ₃	—
Hg	19.9 (419)	0.1329 (20)	16.1Hg (225)	—	Au ₂ Hg, Au ₃ Hg, Au ₄ Hg, AuHg ₂	—
Tl	0.9 (800)	—	0.1Tl (200)	131 (29.2)	—	—
Pb	0.1 (700~950)	0.08 (200)	0.04Pb (500); 0.03Au (170)	218 (15.6)	Au ₂ Pb, AuPb ₂ , AuPb ₃	—
Bi	0.064 (900)	—	—	241 ± 0.5 (13.4 ± 0.2)	Au ₂ Bi	—
Th	—	—	—	810 (91); 1250 (70)	Au ₂ Th, Au ₃ Th, Au ₄ Th, AuTh ₂	—
U	—	3.0 (1105)	2.0Au (500)	855 (12.5); 1105 (90)	Au ₃ U, Au ₂ U	—
Pu	—	>1	—	635 (1.3); 790 (90)	Au ₃ Pu, Au ₂ Pu, Au ₃ Pu, Au ₄ Pu, AuPu	—

① 括号中数字表示温度, °C。

② 括号中数字表示温度, °C。

③ 括号中数字表示金含量。

④ 原子数/厘米。

参 考 文 献

- [1] 徐敏时, 有色金属, 1979.
- [2] 徐敏时, 冶金报, 1980, 12.
- [3] 石毓符, 中国货币金融史略, 天津人民出版社, 1984.
- [4] 山本勇三, 産金, ダイアモンド社, 东京.
- [5] 岩崎重三, 金, 内田老鶴園, 1936.
- [6] 朱 夏, 中国的金, 商务印书馆, 1956.
- [7] 朱纯德等, 中国钱币, 1—4 (1983), 1—4 (1984) 1—4 (1985).
- [8] 《化学发展简史》编写组, 化学发展简史, 科学出版社, 1980.
- [9] 中南矿冶学院选矿教研组、东北工学院选矿教研室, 重力选矿, 冶金工业出版社, 1960.
- [10] 黎威斯, 湖南金矿地质概论, 湖南省科学技术情报研究所, 1978.
- [11] 文物编辑委员会, 文物考古工作三十年, 文物出版社, 1979, 第1~8页.
- [12] 邹 衡, 夏商周考古学论文集, 文物出版社, 1980年, 图版44.
- [13] 中国大百科全书总编辑委员会, 中国大百科全书(矿冶), 中国大百科全书出版社, 北京, 上海, 1984. 9.
- [14] 塔加尔特, 《选矿手册》(中译本) 1~4 卷冶金工业出版社, 1958~1965.
- [15] 冶金部长沙矿山研究院等, 《充填采矿法》冶金工业出版社, 北京, 1978.
- [16] 《留矿采矿法》编写组, 《留矿采矿法》, 冶金工业出版社, 北京, 1977.
- [17] 解世俊, 《金属矿床地下开采》, 冶金工业出版社, 北京, 1979.
- [18] 吉林省冶金研究所, 《金的选矿》, 冶金工业出版社, 1978.
- [19] 东北工学院有色重金属冶炼教研室, 《铅冶金》, 冶金工业出版社, 1976.
- [20] [英] B. A. 威尔斯著, 胡力行等译, 《选矿工艺学》, 冶金工业出版社, 1985.
- [21] Fuerstenau M. C., Flotation, American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., N. Y., 1976.
- [22] Pryor E. J., An Introduction to Mineral Dressing, Mining Publications, Ltd., London, 1955.
- [23] Погемкин С. В., Благородный 79 й, «Недра», 1978.
- [24] Jones R. S., Gold content of water, plants and animals. Washington, 1970, 15p.
- [25] D. W. Fuerstenau, Gravity Concentration Technology, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1984.
- [26] Modern Mineral Processing Flowsheets, Denver Equipment Company.
- [27] E/MJ Operating Handbook of Mineral Processing, 1977.
- [28] С. И. Полькин, Обогащение руд, Металлургиздат, 1953.

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名=黄金生产知识

作者=

页数= 1 9 4

S S 号= 1 0 7 6 4 4 5 8

出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录

第一章	绪论
第一节	古代黄金生产
第二节	金的性质
第三节	金的用途
第四节	黄金的计量和成色
第五节	我国黄金生产简述
第二章	金矿地质
第一节	金在自然界中的储量
第二节	金矿物
第三节	块金
第四节	金矿床
第三章	金矿床开采
第一节	采矿术语
第二节	脉金开采
第三节	砂金矿开采和采金船
第四节	金矿开采展望
第四章	常规选金方法
第一节	选矿术语
第二节	选前准备
第三节	重选法
第四节	浮选法
第五节	拣选法
第五章	氰化提金法
第一节	基本原理
第二节	渗滤氰化法
第三节	搅拌氰化法
第四节	炭浆法提金工艺
第五节	炭浸法提金工艺
第六节	含金溶液与氰化尾矿的分离
第七节	金的澄清和沉淀
第八节	堆浸法
第六章	混汞提金法
第一节	混汞原理和实践
第二节	混汞板及其制作
第三节	汞毒及其防护
第七章	金的副产品回收和再生回收
第一节	金在有色金属冶金过程中的副产品回收
第二节	金的再生回收
第三节	从硫酸烧渣中回收金

第八章	金的冶炼
第一节	混汞金的炼制
第二节	氰化金泥的冶炼
第三节	金的精炼
第九章	脱水
第一节	浓缩
第二节	过滤
第三节	干燥
第十章	尾矿处理
第一节	尾矿处理方法
第二节	尾矿库
第三节	尾矿库的安全
附录 1	常用黄金计量单位重量换算表
附录 2	1979~1981 年世界主要国家的黄金储备
附录 3	金的化学活性
参考文献	