

浙江溪口现代选矿技术 研讨会论文集

纪念《国外金属矿选矿》杂志创刊30周年

《国外金属矿选矿》编辑部

1993年10月

目 录

黄金提取技术的发展和展望	(中国科学院化工冶金研究所) 邓彤 (1)
黄金提取冶金过去、现在和将来	(长沙矿冶研究院) 肖松文 梁经冬 邱良邦 (5)
论伴生金银选冶技术	(北京矿冶研究总院) 朱观岳 (9)
国外黄金氰化浸出的发展状况	(西北有色金属研究院) 阎应科 (14)
澳大利亚的黄金生产及选冶技术	(地矿部河南省中心实验室) 巫汉泉 杨彩云 (20)
微生物氧化法处理难浸金矿石	(冶金部情报总所) 黄孔宜 (24)
毒砂与有色金属硫化矿浮选分离的理论与实验	(北京矿冶研究总院) 纪军 (30)
粉碎节能理论与辊压机	(北京矿冶研究总院) 吴建明 (36)
国内外动筛跳汰机的发展及其前景	(东北工学院) 孙春宝 孙玉波 (43)
闪速浮选的理论与实践	(北京矿冶研究总院) 夏晓鸥 (47)
国外旋流设备的新进展	(包头稀土研究院) 任俊 王文梅 (58)
水力旋流器式浮选机的研究进展	(东北工学院) 褚良银 罗倩 (63)
分选水力旋流器的研究与应用	(长沙矿冶研究院) 罗中平 (73)
移动式选矿厂	(北京矿冶研究总院) 曲立 (77)
湖北省鸡笼山金矿赴芬兰设备验收组考察报告	(湖北省鸡笼山金矿) 李宏等 (84)
选矿压滤技术和设备的发展新趋势	(长沙矿冶研究院) 张宏福 (89)
矿物表面磁性的电化学调整	(武汉钢铁学院) 蒋朝澜 毋伟 (108)
含铜、钼、钴、铁共生矿选矿综合利用的研究	(北京矿冶研究总院) 郭历华 (114)
蓝晶石类矿物的选矿工艺与理论述评	(中南工业大学) 董宏军 陈葦 (武汉工业大学北京研究生部) 毛钜凡 (121)
石墨的类型、性能、选矿和使用	(冶金部洛阳耐火材料研究院) 钱承欣 (125)
国外高岭土选矿及深加工	(武汉工业大学) 袁继祖 (127)
风化壳淋积型稀土矿提取技术的进展	(北京矿冶研究总院) 罗家珂 (132)
大分子浮选剂的作用原理与应用	(中南工业大学) 胡岳华 邱冠周 王淀佐 (142)
选矿尾矿水电化学处理与利用的研究	(武汉化工学院) 孙家寿 (165)
探讨铜锌分离电化学新工艺	(北京矿冶研究院) 芦荫芝 (172)
国内外矽卡岩型铁矿石的综合利用	(青岛冶金矿山大学) 孙长泉 (175)
碎磨流程方案选择专家系统的研究	(中南工业大学) 陈葦 (中国矿业大学) 张法荣 (180)
高效旋流器—新型絮凝剂混凝沉降尾矿浓密工艺研究	(中南工业大学) 杨小生 陈庭中 吕桂芝 陈葦 (大冶铁矿) 胡广耀 胡承凡 王旭 (186)
石墨层间化合物的开发与应用前景	(武汉工业大学) 田金星 丁荣芝 (191)
聚氨酯弹性体在选矿中的应用与发展前景	(马鞍山钢铁研究院) 马华麟 (198)
弱磁场磁选设备的进展	(中南工业大学) 孙伟 冯定五 (204)
对弓长岭选矿厂 $\phi 2.7 \times 3.6$ 米一次球磨机最佳磨矿浓度的探讨	(鞍山钢铁公司弓长岭选矿厂) 卢兴国 (207)
助滤剂的研究进展	(东北大学) 胡筱敏 吴学珠 王崇任 (212)
激光选矿的现状和我们的研究	(昆明工学院) 杨一 石惠民 (218)
充填浮选柱的混合、清洗及选矿特性研究	(武汉化工学院) 李定或 丁一刚 (北京科技大学) 卢寿慈 (223)

黄金提取技术的发展和展望

邓 彤

(中国科学院化工冶金研究所)

提 要 对黄金提取技术的新发展作了简要评述,对其今后的发展方向作了展望。

关键词 黄金提取 评述

70年代以来,世界黄金业欣逢难得的良机。黄金价格挣脱人为控制,直接受制于市场供求关系,造成了一段时期内金价暴涨,极大地刺激了黄金生产的发展。在发展过程中,黄金面临两大挑战。首先,可直接氰化提取的金矿资源日渐减少,新发现的重要金矿床又多为难浸矿,传统的氰化法无法有效提金,因而迫切需要相应地开发新的提金技术。其次,环境法规日趋严格,迫使人们在技术上不断革新,降低成本,以便在满足严格的环境要求的条件下仍可赢利。如果说金价上涨带来的利润刺激了对投资黄金业的兴趣,那么黄金业面临的挑战则推动了为实现利润所必需的新技术的发展和应用。这就形成了这次新黄金热的两个重要特点,一是黄金业投资及黄金产量的成倍增长,二是利用其它科学技术领域的成就积极开发提金新技术并成功地应用于黄金生产。本文拟简要评述黄金提取技术的新发展。

1 金回收技术的革新

炭浆法(CIP)的大规模工业应用是70年代以来推动黄金生产发展的最重要的技术革新⁽¹⁾。过去从母液中回收金的常用方法是锌粉置换(Merrill Crowe法)。此法虽实践多年且证明有效,但也有一些明显的缺点:(1)锌粉置换前需经固液分离和澄清,产生含金清液。这是一个高成本作业,效率却不

高。不仅要消耗大量的水逆流洗涤,而且最终还有多达2%的溶解金随固体渣损失。(2)含金液需经减压脱气除去其中的氧,才能进行锌置换。CIP法可用活性炭直接从矿浆中吸附金,再通过级间筛回收活性炭,省去了固液分离和脱气作业,在经济上较之传统的锌置换法有着明显的优越性,投资与操作费用节省约20%~50%,且溶解金的损失也少得多。此外,CIP法对溶液中的杂质及操作参数不像锌置换法那样敏感,因而操作控制较简便。

CIP法的关键技术之一是从活性炭上脱附金。用活性炭吸附金虽已取得专利近百年,但由于缺乏脱附金的有效方法,只能将载金炭焚烧后从炭灰中回收金,其成本太高,难以工业应用。50年代美国矿务局Zadra教授的开创性工作提供了化学脱附炭上金的方法后⁽²⁾,才使活性炭回收金的设想得以在CIP中实现。载金炭的化学脱附方法也在不断改进,尤其是南非AARL实验室发展的AARL脱附法⁽³⁾,可取代Zadra法。

CIP法工业化过程中一个重要发展是1973年美国Homestake金矿安装了一个CIP厂,日处理2000吨泥矿,使CIP法从实验阶段走向工业化。此后CIP迅速推广。先是在南非,后是在澳大利亚继而遍及世界各产金国。不仅处理泥矿,还用于处理任何含金物料。同时,由于级间筛及其它设计上的改进,

解决了限制生产能力的瓶颈问题，CIP厂的规模可进一步扩大。现在CIP法已成为新建金矿的首选方法，世界产金量的50%以上是用CIP法生产的。

另一种利用活性炭回收金的方法是炭浸法（CIL），它与CIP的区别在于，CIP是在浸出完成后再加炭吸附金，吸附时间大约为浸出时间的1/5，而CIL是将活性炭加在浸出槽中，即金的浸出和吸附同时进行。这样就省去了CIP法中的炭吸附槽，节省了投资和操作费用。但CIL法是在浸出尚未完成时进行的，溶液中金浓度较低，因而吸附效率也低。为补此不足，CIL法的投炭量一般要比CIP法高约25%。此外，CIL法的浸出和吸附不能单独优化，缺乏灵活性。

直接从矿浆中吸附金的思想导致另一种过程即树脂在浆（RIP）法的开发及应用。该法在西方世界虽尚在早期阶段，但在前苏联已应用多年，美国60~70年代也已用于铀工业。树脂在吸附速度和饱和载金量上都优于活性炭，且从树脂上脱附金也远比从活性炭上容易。树脂还不像活性炭那样易被矿浆中的有机物污损，因而无需定期热处理恢复活性。此外，树脂可在较高浓度下操作而不发生碎裂，因而用树脂的吸附槽体积不到CIP的1/5。树脂的这些优点，使其比使用活性炭在经济上有明显的优越性，投资与操作费用大大节省。西方世界迄今虽然只有南非Golden Jubilee金矿一家采用RIP法，但正是由于从CIP改为RIP，才使这家金矿从濒于破产的边缘变为赢利大户〔4〕。

此外，溶剂萃取回收金技术虽尚处于襁褓之中，但几年来的进展使人刮目〔5〕。

2 堆浸成为处理低品位氧化矿的基本手段

堆浸虽早已用于氧化矿中提取铜和铀等金属，但成功地用于低品位金、银矿石则是近20年的事〔6〕。主要得力于美国矿务局60年

代后期以来的开发工作，在此以前堆浸提金几乎总是失败。1971年美国Cortez公司在内华达州投产了第一家工业规模的金堆浸场。堆浸生产成本低，可以很快投产，可以处理低品位矿石。美国Peñasco公司的Florida Canyon堆浸品位0.8克/吨，Amax公司的Wind Mountain金矿堆浸矿石平均品位0.7克/吨，Coeur d'Alene公司Rochester金矿堆浸品位0.37克/吨。堆浸规模可大可小，日堆矿石多至数十万吨，少至几吨不等。在美国，日堆万吨矿石是标准堆。堆浸的主要进展有：发展制粒技术，以滴淋代替喷淋。目前正在试验在恶劣气候条件（如降雨量大或极其干燥及极冷或极热等）下发展堆浸，试验通气加快浸出速度以及用细菌氧化堆浸原生矿等。根据美国一些黄金公司的经验，品位低于0.6克/吨的矿石可不经破碎直接堆浸，0.6~1克/吨的矿石破碎至一定粒度后堆浸，品位更高者可粉碎后制粒堆浸。

3 难浸金矿预处理技术取得实质性进展

难浸（refractory）金矿石是指直接用常规氰化法无法满足回收的金矿石，因此难浸的本意是指难于直接氰化。造成金难浸的原因可归结为矿物学的与化学的两类。前者表现为微细金粒（通常小于几微米）在主矿物中的物理包裹而难以与浸出剂接触。这种包裹金不能用物理手段如细磨解离，而必须使用化学方法或其他手段。对非硫化矿物尤其是硅酸盐包裹金，目前尚无良策，所幸这种情况不多。最常见的包裹金的主矿物有黄铁矿和砷黄铁矿，其他如磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、雄黄、雌黄、辉铋矿等也时有所见。后一种难浸矿则指矿石中含有干扰氰化的有害物质，如碳质物吸附氰化液中的金，而铜矿物及磁黄铁矿则消耗氰化物或氰化所需要的氧。

对于物理包裹的难浸金矿，有效的办法

是在氰化前进行预处理。这是近年来研究和开发的热门课题,并且取得了实质性进展,主要表现在以下几个方面^[7]:

(1) 湿法加压氧化成为广泛采用的成熟技术。湿法加压氧化是50年代发展起来用以从硫化物中提取有色金属的有效技术。由于加拿大Sherritt Gordon公司等的卓有成效的开发和推广工作,该方法已作为有力的氧化手段用以处理含硫含砷金矿石或精矿^[8]。美国加利福尼亚州Homestake公司于1985年率先在其McLaunglin金矿建成日处理2700吨的加压氧化厂,预氧化硫化矿石。氰化提金率据称可从直接氰化的5%~80%提高到1986年的92%(设计90%)。其结果很令人鼓舞,许多金矿竞相效法。最近几年,国外几家新投产的高硫高砷大型金矿,几乎都不约而同地选择了湿法加压氧化。目前已投产的湿法加压氧化预处理厂还有美国First Miss公司的Getchell金矿(1989)、American Barrick公司的Goldstrike金矿(1990)与Mercur金矿(1988,采用碱性介质),以及巴西Gencor公司的Sao Bento金矿(1987)。此外还有几个金矿,如希腊的Olympias金矿,巴布亚新几内亚的Porgera金矿和Lihir岛金矿等也正在建设或即将投产。

虽然用于预处理难浸金矿的酸性加压氧化法是直接从浸出有色金属硫化矿的Sherritt Gordon过程移植来的,但二者处理目的和对象的性质不同,造成了操作条件和过程细节上的差别。如果说在有色金属硫化矿加压氧化过程中生成元素硫是Sherritt Gordon过程的主要优点之一,在难浸金矿氧化渣中的元素硫则有碍氰化,因此难浸金矿加压预氧化中需要把硫彻底氧化为硫酸根,这就要求提高氧化温度和压力。典型的操作温度是180~220℃,压力1500~3000千帕。硫氧化为硫酸根的直接后果有二,有利有弊。有利的是氧化放热大大提高,据估算,含硫3%左右的给料,只要2~3级热交换,氧化过程

中即不必从外界供热。因此,该法不仅可处理精矿,还可直接处理原矿。不利的是产生的硫酸需要大量石灰和石灰石中和,不仅提高了成本,也增加了渣量。

(2) 焙烧技术仍在发展。焙烧法是处理硫化矿最古老、最简单的方法,虽然越来越严格的环境法规限制了它的发展,但近年一些新建厂仍在采用。1987年美国就有两个处理硫化金矿和碳质金矿的焙烧厂获准兴建。若允许焙烧废气不必净化除二氧化硫时,焙烧是最经济的方法。一般认为,只要当地有一个小小的硫酸市场,选择方案时就不应排除焙烧法。焙烧技术的发展则反映在循环硫化床焙烧炉的采用和双硫化焙烧炉组在不同条件下焙烧矿石。

(3) 细菌氧化初步进入工业应用阶段。现在已知国外有3家细菌氧化生产厂:南非的Fairview矿,巴西Sao Bento矿和美国内华达州的Tonkin Spring矿。其中Tonkin Spring矿是1986年投产的,日处理10吨含120克/吨Au, 29% S和8% As₂S₃的精矿。据称金的回收率可从直接氰化时的35%提高到引入细菌氧化后的95%以上。但是,作为高硫高砷金矿的预处理技术,细菌氧化法还未充分经受工业生产的考验,还不能算是一种成熟技术。例如Tonkin Spring矿的1500吨/天细菌氧化厂建成后一直未能正常投产,短期内将影响细菌氧化法的推广。此外,某些长期的有害影响,如细菌繁殖对机械设备的影 响,细菌内包含金属(类似碳质物吸附溶液中的金)以及对CIP的影响等尚难估计。近年来细菌氧化的进展还包括发展高温细菌。据报道,兼性嗜热细菌可在50℃温度下氧化铁与有色金属的硫化物,而嗜热菌如硫化裂化菌和双向酸杆菌则能在50~70℃甚至更高温度下进行浸出反应。另一个进展是造堆生物氧化正在多处试验。生物氧化作为含氧化物的堆浸渣的去毒手段也日益引人注目。细菌氧化作为低品位硫化矿堆浸的一种手段正

在研究和开发中。

焙烧、湿法加压氧化和细菌氧化是当前预处理高硫高砷难浸金矿的3个主要技术,其相对优劣难以一概而论,在很大程度上取决于原料性质,一般说来,焙烧和湿法加压氧化在投资和操作费用上都不相上下,二者比较而言,焙烧简单,而且所含的硫可作为硫酸回收,如果有市场,还可出售 As_2O_3 产品,但金的回收率有时并不十分理想,环境问题也较突出,且受制于硫酸市场。而湿法加压氧化则操作比较复杂,金以外的其它元素需要有其它回收过程,且金的回收率很高,渣中的砷化合物也很稳定。细菌氧化的金回收率虽不及湿法加压氧化,但其经济上的优势仍然十分明显,可惜目前采用的风险仍嫌太大。希腊Olympias矿在进行预处理方案评价时对各种方法的技术、经济、环境等诸方面的详细讨论^[9],很有参考价值。

还有其他一些预处理方法,如Redox法、Caro酸法、Cashman法等。这些方法处在不同的开发阶段,但都未达到工业应用阶段。

与以上进展相反,对于含有碍氧化的化学物质的难浸矿的研究和开发工作却进展甚微。对碳质金矿虽提出过多种方法,如物理方法分离碳质物、加油剂掩蔽炭质物的吸附性、各种氧化手段破坏炭质物吸附金的能力等,都无一能满意解决问题。近年来Newmont公司开发了闪速氯化技术,其关键是一种新设计的浸取器,据称可非常有效地分散氯气,从而提高氯气的利用率和氧化速度。该过程虽曾在文献中多次提及,但其细节和实质则语焉不详。对含铜金矿的处理,近年来的兴趣主要在氨性氰化上,即使用氰化物与氨的混合溶液浸出金。该法在澳大利亚的Parisdump用来从含铜浮选尾矿中回收金,并将在毛里塔尼亚的Akjoujt用以浸出Torco离析焙烧的含铜尾矿中的金。但对该过程的实质尚缺乏充分认识,因而处理不同物料时波动颇大,且浸出率一般不超过80%。最

近的研究对其浸金过程的机理取得了新的认识^[10],有助于进一步改善该过程。

4 非氰提金技术的工业应用尚需假以时日

近年来,对非氰试剂尤其是硫脲和硫代硫酸盐的提金研究曾一度十分活跃,试图取代剧毒的氰化物,以适应环境规定的严格化趋势。但在提金效果和经济性上迄今无一可与氰化物媲美。而且由于工业界已能满意地处理氰化废液以符合环境要求,对非氰试剂的热情已迅速降温。硫脲被认为在处理预氧化渣上有优于氰化物之处,因为它不必滤出和洗涤氧化液中的酸和铁离子,但即使如此,其工业应用仍需假以时日。

5 结 语

机遇和挑战刺激了黄金生产热,黄金产量增长及技术发展的速度都是前所未有的。随着处理难浸金矿的比例不断增加,预处理技术将会继续发展,其应用会日趋广泛,尤其是细菌氧化技术的发展潜力还很大。充分利用低品位金矿石成为增产黄金的一个重要方面,而堆浸则是其标准实践。在金回收手段中,炭浆法将继续取代铈置换法,而树脂在浆法将会不断完善而成为回收金的有效新方法,获得日益广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] McDougall, G. J. and Fleming, C. A., In Ion Exchange and Sorption Processes in Hydrometallurgy. M. Streat and D. Naden SCI, Chichester, (1987) 19, 56-126.
- [2] Zadra, J. B. 等, USBM, RI 4843, 1952.
- [3] Davidson, R. J. and Veronese, V. J. SAIMM, (1979) 79(15), 437-495.
- [4] Fleming, C. A. and Seyenore, D., Proc. Randol Gold Forum (Squaw Valley, Calif.) (Sept. 1990), 237-242.
- [5] Miller, J. D. and Mooiman, M. B., Separation

(下转第13页)

黄金提取冶金在过去、现在和将来

肖松文 梁经冬 邱良邦

(长沙矿冶研究院)

提 要 本文简要回顾了黄金提取冶金的发展史,首次明确提出将其计分为物理方法提金、传统氰化法提金、发展的氰化法提金3个历史阶段,并指出了黄金提取冶金技术的发展方向。

关键词 黄金 物理方法 氰化法 堆浸 就地浸出 细菌浸出

金是一种特殊的贵金属,是人类最早开发和利用的金属之一。由于金以自然金属状态存在,易采易选易加工,有惹人喜爱的金黄色和良好的物理性质,并能长期保存,经久不变。因此早在公元前4000年新石器时代随葬品中就发现有金,实际上黄金的生产和利用应比这更早。

黄金长期用于装饰和铸币,世界各国历来用黄金作为国际贸易结算手段和本国货币信用的基金。货币曾是过去黄金最重要的用途,直至本世纪70年代才退出世界货币舞台,在世界发展历程中黄金产生了举足轻重的影响。

1 金的提取方法简介

1.1 重选

重选是提取黄金最古老的方法。它利用金的比重与脉石矿物比重差异进行分选,选出已经解离的单体粗粒金。公元前3800年以前古埃及提取金就是采用在斜板上水力淘洗的方法^[1],后来人们进一步发展了一系列适合于金分选的重选设备^[2~4]。重选法工艺简单、成本低廉,对粗粒金比较有效,现在仍作为化学提金工艺过程中的辅助方法^[5]。

1.2 混汞法

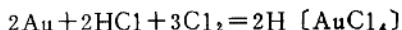
混汞法是另一古老的提金方法,大约始创于我国秦末汉初^[6]。它是基于液态金属汞

对矿浆中金粒选择性润湿,使其与其它金属矿物及脉石分离,以汞齐形式回收并蒸馏分离获得金^[4]。它在19世纪下半叶的南非被作为标准的提金方法^[3]。它能有效回收单体解离了的粗粒金,目前国内外(如我国河南)仍用于回收粗粒金^[5]。由于有剧毒,对环境污染严重,对人体健康十分不利,且混汞法劳动强度大,现已基本停止使用,最终将被完全取代。

1.3 氰化法

氰化法是最早的化学提金方法^[7]。18世纪中叶就产生了硫化矿型贵金属矿石的氰化焙烧—浸出法,19世纪中期人们开始使用氯气浸出法提金,后由于氰化法出现而停止使用。但是到本世纪70年代又重新引起人们的重视,在原有基础上发展了高温氰化挥发焙烧法^[4,8,1]、电氰化浸出法^[4,8,9]。

氰化法提金的化学机理为:



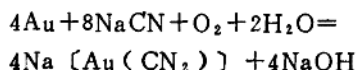
氰化法浸出速度快,能使金的碳质物质失去活性,但是若原料中存在还原物质(硫化物),便导致氯气消耗量太大,另外酸性含氯溶液有极强的腐蚀性,对设备有很高要求^[8,10]。

值得一提的是,用液氯或次氯酸盐氧化处理含碳难浸金矿自70年代早期在美国卡林金矿成功地应用于生产以来,被证明是难浸

金矿有效的预处理方法[10~17]。

1.4 氰化法

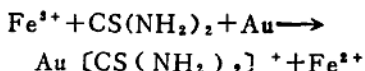
19世纪末,英国人John MacArthur等首先获得用氰化物处理金银矿的专利[18,19]。随后在新西兰(1889年)、南非(1890年)建立了工业氰化提金厂,从而产生了黄金提取技术的第一次革命[20]。自此,氰化法成为黄金提取的经典方法。其化学反应机理为:



氰化法具有工艺成熟,回收率高,适应性强等优点。其不足在于氰化物剧毒,污染环境,浸出速度较慢。

1.5 硫脲法

硫脲法是人们正在研究中的无氰浸出法中,被认为最有发展前途且已经工业应用的提金方法[2,4]。浸出一般在酸性介质($\text{pH} < 1.5$)中进行,通常用 Fe^{3+} 作氧化剂,反应机理为:



硫脲法具有浸出速度快、毒性小、再生净化工序简单的特点。但硫脲价格昂贵、生产成本高、作业操作不稳定,而且在硫脲液中金回收工艺还存在技术上的问题留待解决[4,9]。

2 黄金提取冶金技术的历史发展

Hodges在一本书[21]中写到:“没有哪一个领域的技术进步是匀速甚至持续向上的,通常是在长时间的停滞期后,突然出现突破性的技术革新,接着是另一个长冬眠期,随后再次爆发技术革新”。黄金提取技术的发展也是如此。从公元前4000年前古埃及采金至现在,黄金提取冶金技术发展可以分为3个阶段,这3个阶段在可利用资源范围、技术方法、产量等方面都有不同的特点。

2.1 物理方法提金阶段

公元前4000年古埃及采金至19世纪80年代末为物理方法提金阶段。这一阶段由于技

术水平低下,开采处理的资源主要为已经单体解离的易选冶的地表砂金矿,技术方法则为重选、混汞法等物理方法[22]。由于技术水平和可利用资源有限,这一时期黄金产量不大。

2.2 氰化法提金阶段

19世纪下半世纪,由于下面3个因素的推动[23]:(1)在世界范围内,特别是澳大利亚、加拿大、南非许多大型金矿的发现,(2)工业革命导致工程技术的重大发展,(3)西方资本主义国家金单本位制货币制度的形成,从而导致了黄金提取冶金技术的第一次革命。1887年英国人John MacArthur等公布了第一个用KCN溶液处理金银矿的专利[18],随后马上在新西兰(1889)、南非(1890)、美国(1891)应用到生产上[22]。基本的氰化浸出一锌屑置换提金工艺直至1950年还几乎没有变化,后来也只在分级、浓缩澄清等方面有所改进。

在这一时期,由于氰化提金技术的应用,可利用资源范围从第一阶段物理方法的粗粒单体已解离砂金矿扩大到细粒砂金和丰富的脉金(氧化砂)资源,黄金生产规模得到迅速扩大,产量比前一段急剧增长。

2.3 发展氰化法提金阶段

70年代,由于金价的上涨和许多大型低品位浸染型金矿的发现,金提取冶金技术发展进入了一个新的时期。具有代表性的是碳浆法和堆浸技术的应用推广,经过近一个世纪的努力,人们终于在1973年美国的霍姆斯特克建成并投产了世界上第一座碳浆法提金厂[3,22],随后马上在世界范围内得以推广;同时由于碳吸附金技术解决了从稀溶液中回收金的问题,堆浸技术被成功地应用于低品位金矿的处理,随后又发展了制粒堆浸技术[22]。这一阶段其它的技术发展还有:

(1)树脂吸附法回收金(前苏联1967)[22],

(2)硫脲等非氰化浸金法[24],

(3) 难浸金矿预处理技术[25~34];

(4) 双氧水等助浸技术(南非1987)
[35~37];

这一时期,提取技术呈现多样化,与经典氰化法提金阶段相比,技术并不只是量的增加而是内容的明显丰富,一次质的飞跃。以前不能处理的低品位矿(0.5~3克/吨)、微细粒难处理金矿都能用较合适的方法处理;黄金产量在经历70年代的低谷之后,80年代稳步高速增长,年产量在70年代末达到2000吨。尽管黄金已经退出世界货币舞台,但在国际货币资产中仍起重要作用,是各国储备资产、国际收支中的最后清偿手段和保值手段,影响着世界经济的发展[38]。

图1示出了黄金提取冶金技术发展的历程。

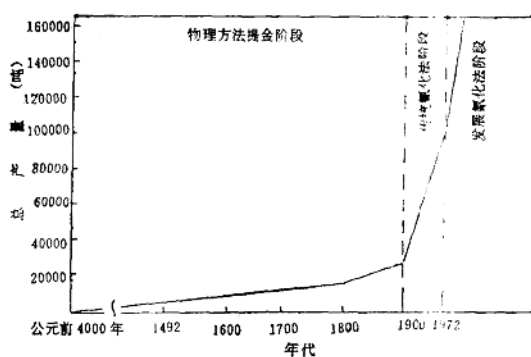


图1 黄金提取冶金技术发展历程

总结以上得出:从公元前4000年古埃及采金开始,黄金提取冶金技术的发展并不是匀速向上,而是经历过2次突破性的革命,在技术方法、可利用资源范围以及产量等方面发生质的飞跃,才发展到目前的技术水平。

3 黄金提取冶金技术的未来 [20,39,40]

3.1 黄金提取冶金技术现状简评

如上所述,目前黄金提取冶金技术主要可归纳为:

(1) 氰化浸出一锌粉置换法、碳浆

法[41]、树脂吸附法回收金。

(2) 堆浸技术[42];

(3) 硫脲非氰化浸出[24];

(4) 难浸金矿焙烧、加压氧化预处理技术[25~34];

(5) 纯氧、双氧水助浸技术[35~37]。

总之,技术的发展强化了氰化浸出效果,提高了金的回收率,降低了成本,显示了较好的经济效益;在无氧无毒浸出剂和难浸金矿处理方面都取得了明显的进展,为进一步发展指明了方向。

3.2 黄金提取冶金技术发展面临的挑战

随着世界的发展和进步,矿冶工业在原料、能源、环保、经济性方面遇到越来越大的挑战。M. C. Fuerstenaw在[20]文中将湿法冶金领域面临的重大挑战表述为5个方面,实际上每个方面都与黄金提取有关。

最大的挑战是难浸矿石的处理。目前其处理方法主要是经焙烧、加压或化学氧化后氰化浸出。焙烧法环境污染严重,加压或化学氧化法经济效益不佳,适应性差,有必要探索寻求更合理的处理方案。

另一重要挑战则是提高堆浸作业的回收率,目前回收率一般不足70%,大量金资源在过程中流失。

3.3 黄金提取冶金技术的未来

堆浸(Dump leaching)和就地浸出(Insitu leaching)及与之密切相关的微生物浸出新技术将是未来最有可能的黄金提取冶金技术。

堆浸作为从低品位金矿中提金已成为成熟的工艺,就地浸出则在提取铀、铜方面已有成功的经验。其优点可以表述如下[43];

(1) 毁坏地面少,对环境的影响较小;

(2) 投资和生产费用较低;

(3) 具有常规工艺方法无法达到的金属回收率;

(4) 增加了矿石储量。

细菌浸出在金属提取中起着日益重要的

作用,细菌在铜矿堆浸中起的作用已被掌握并应用多年[44,45]。约从1960年起人们就对各种金属细菌提取进行了广泛研究[20]。细菌氧化处理难浸金矿已有小规模工业生产[46~50]。细菌氧化具有固定资产投资少、生产成本低、污染少等优点,是难浸金矿处理的理想方法。

细菌氧化及提取黄金最适宜的工业方法是堆浸或就地浸出。两者的有机结合将是黄金提取冶金未来最理想的技术。不过,由于矿石性质千差万别,具体工厂情况,具体的技术将更加丰富多样,但以堆浸或就地浸出为基础的微生物氧化和提取黄金技术将占据最重要的地位。

参 考 文 献

- (1) D. W. Fuerstenau, 国外金属矿选矿, 1990(3), 35~39.
- (2) J. C. Yannopoulos, The Extractive Metallurgy of Gold Van Nostrand Reinhold, New York 1990, 12.
- (3) G. G. Stanley, The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa, 1979, 1, (4, 7, 9)
- (4) 肖余华, 金银选矿(上、下册), 中南工业大学矿物工程系教材, 1989.
- (5) 谢纪元, 国外金属矿选矿, 1991(7-8), 54~58
- (6) 孙殿, 金银冶金, 冶金工业出版社, 1986
- (7) Robert, S. Shoemaker Precious Metals: Mining Extraction and Processing Edited by V. Kudryk, D. A. Corrigan and W. W. Liang, 1984, The Metallurgical Society of AIME, 3~10
- (8) 中南矿冶学院冶金教研室, 氧化冶金, 冶金工业出版社, 1978(第一版)
- (9) A. R. Udupa, 国外金属矿选矿, 1992(1), 34~44
- (10) 刘汉喜, 黄金, 1989, 10(4), 24~29
- (11) W. J. Guay, US Patent, 4188208, 1980, 2.
- (12) W. R. Nice, Can. Min. J. 1971, 92(6), 41~49
- (13) B. J. Scheiner, E. R. Lindstrom and A. T. Henrie RT 7597(1972)
- (14) B. J. Scheiner, Journal of Metals, 1971, 23(3), 37~40
- (15) K. A. Brunk and R. L. Aewood in Process Mineralogy VII Application to Mineral Technology and Mineral Exploration with Special Emphasis on Disseminated Carbonaceous Gold Ores ed. A. H. Vassiliou et. al. (The Metallurgical Society of AIME 420 Commonwealth PA 15086 1987) P15~17
- (16) B. J. Schiener, 同上, 3~12
- (17) D. S. Bass, 同上, 29~39
- (18) J. S. MacArthur, British Patent 14714(1887)
- (19) J. S. MacArthur, US Patent 403202(1889)
- (20) M. C. Fuerstenau, 国外金属矿选矿, 1990(9), 14~22
- (21) H. Hodges, Technology in the Ancient World Knopf N. Y. 1974.
- (22) J. A. Cisle, Can Metal Quartly, 1988, 27(4), 287~291.
- (23) 林与权等, 资本主义国家的货币流通与信用, 中国人民大学出版社, 1980年, 第二版.
- (24) G. Deshems, CIM Bull, 1986, 79(895), 76~83
- (25) C. Jha, Mahesh, 黄金, 1989, 10(8), 55~58
- (26) Patrick, K. Taylor等人, 国外黄金参考, 1992(9), 10~24.
- (27) A. Kontopoulos, 黄金提取技术, 中国科学院化工冶金研究所编译, 北京大学出版社, 1991, 4, 10~24.
- (28) Robert, B. Coleman, 同(27), 25~34
- (29) S. L. Chrysoulis, L. J. Gabri, R. S. Salter, Proc. Int. Symposium on Gold Metallurgy, CIM, 1987, 235~244.
- (30) G. P. Demopoulos, V. G. Papangelakis, "Recent advances in refractory gold processing" Paper presented at the Annual meeting of CIM Quebec City Quebec 1989, 5, 1~4.
- (31) G. P. Demopoulos, "Gold extraction from refractory ores" paper presented at the professional Development Seminar in Mineral Processing of Refractory Gold Ores' Dept. of mining and metallurgical engineering McGill university 1985, 5, 1-3.
- (32) Z. C. Wall等, Mining Magazine, 1987, 5, 394~401.
- (33) A. J. Brown, "Economics of recovering gold from refractory Sulfide concentrates" paper presented at the first International Symposium o

(下转第13页)

论伴生金银选冶技术

朱 观 岳

(北京矿冶研究总院)

提 要 综述了伴生金银选冶技术的新进展,指出了近期应重点抓好的几项工作及相应采取的措施,对我国伴生金银生产和选冶技术的发展具有实际意义。

关键词 伴生金银 选冶 湿法冶金

黄金、白银是国民经济发展中的重要金属,是一个国家国民经济基础的重要标志之一,金、银最重要的用途之一是作为一个国家的储备,在国际贸易中作为重要的支付手段。

黄金、白银传统用于铸币、装璜、首饰及各种高档器皿和奖章等。黄金、白银被人们称为“工业维他命”其用途十分广泛,是工业、农业、航空、航天、电子和影像等领域不可缺少的重要材料,是现代技术3大支柱的重要支柱。因此,推进黄金、白银的生产和科研工作意义极为重大。

目前我国金的产量在南非、美国、独联体、澳大利亚、加拿大之后,占世界第6位。一些重要产金国家,其伴生金的产量都很可观,比例大致是:美国40%,独联体25%,菲律宾62%,澳大利亚59%,日本65%,巴布亚新几内亚100%。

白银产量主要是墨西哥、秘鲁、美国、独联体、加拿大、澳大利亚,我国占第7位。

我国金银资源较为丰富,而有色金属矿中伴生金银的储量和产量都占有重要地位。据地质平衡表储量统计,伴生金储量占金总储量的38.49%,其中90%来自铜矿,10%来自铅锌矿。伴生银的储量占银储量的74%,独立银矿占银总储量的12%,共生银矿占银总储量的14%。

伴生金主要来自江西铜业公司、大冶有色金属公司、铜陵有色金属公司、白银有色金属公司、中条山有色金属公司和红透山等6大企业,约占伴生金总产量的60%,以长江中、下游地区比较集中。

我国伴生银保有储量大于2000吨的省(区)有11个,累计保有储量占全国总储量的84%。这些省(区)是:江西、广东、广西、青海、云南、内蒙古、甘肃、四川、江苏、陕西和湖南。

从资源条件看,有色企业发展黄金生产前景很好。银矿地质资源除了一些金矿有少量的伴生银外,一般均伴生于铅锌铜矿中,我国白银的发展,主要靠有色企业。

1 伴生金银选冶技术现状

1983年以前我国伴生金银的回收只是停留在随着主产品铜、铅、锌的选矿过程自然富集在精矿中。经冶炼、电解过程,金、银与贵金属都富集到铜、铅阳极泥中综合回收。这种顺其自然,回收多少算多少的被动局面,使金银回收水平势必不会很高。

中国有色金属工业总公司成立以来对金银生产和科研工作很重视的,针对主要矿山存在的一些问题开展了科研工作和技术改造,并将金银列为总公司的主要产品进行考核,加强了有色行业的管理工作,伴生金银

的选冶技术有了长足的进步。

1.1 伴生金、银生产和建设取得较大进展

“七五”期间,有色金属伴生金银的生产建设和科研工作取得了较大发展。有色精矿伴生金含量5年平均递增8.31%,全国精矿含银量5年递增8.23%。精矿含金银产量的增长速度,既高于总公司成立之前,也高于同期矿山铜铅锌矿含量的增长速度。国内有色料成品金实际产量5年平均递增5.13%,白银生产5年平均递增5.67%。主要体现在:

(1)金银产量有了大幅度增长,增长速度创建国以来最高水平;

(2)一批金银基本建设和技术改造项目进展较快,特别是一批银矿相继开工建设和投产,生产能力大幅度增加;

(3)对现有矿山伴生金银进行了大量查定和补勘工作,建立白银地质勘探基金,为白银生产的长期稳定发展准备新的资源,初见成效;

(4)科技进步快,一批科技成果用于生产实践,转化为生产力;

(5)强化了金银生产技术管理,建立健全了各项管理制度,金银生产实现了制度化。

1.2 伴生金银选矿试验研究工作的进展

“七五”期间共开展伴生金银研究课题140余项,已有67项通过鉴定并为生产建设采用,其工业试验指标,回收率一般可提高5%~10%以上。生产统计结果表明,有色系统通过依靠科技进步和加强管理,伴生金银生产实际回收率提高5%,约增产金500千克,白银50吨。通过攻关发展了铅、锌、铜选矿工艺和设备,在提高伴生金银回收率的同时,铅、锌、铜回收率也有较大幅度的提高。

铅锌矿中回收白银技术上有突破,人们针对各矿的矿物特性,从工艺流程、药剂和设备等方面进行了较系统的研究,从实验室到工业试验和生产中均取得了较好成绩。原来铅锌矿中伴生银选矿回收率平均只有65%左右,与国外先进水平相比较低。现在已有

凡口、西林、八家子、银山、天台、大姚、大井、水口山、锡铁山、小铁山等选厂通过科研工作和技术改造,银回收率都已达70%以上。有些选厂银的回收率超过85%,跨入国际先进行列。

伴生金的选矿也有新进展,选矿回收率提高5%以上。伴生金有90%来自铜矿,其中江西铜业公司、大冶有色公司、白银有色金属公司、中条山有色金属公司、铜陵有色金属公司和红透山铜矿6大企业就占全国伴生金产量的60%。其金银的产值、利税、效益都在企业中占有重要地位。

为提高选矿过程中金银回收率,科研单位与生产企业紧密配合对原生产工艺进行了技术改造,采取的有效技术措施为:

(1)根据各矿的特点和金银矿物的赋存状态合理选择选矿工艺流程,改变了过去以主产品铜铅锌选别的流程结构,现在采用的工艺能较全面地考虑到主金属矿物与金银矿物的最佳工艺流程。如凡口铅锌矿和天台银铅锌矿已局部或全部采用了分步混选新工艺,使银铅锌选别指标有较大幅度的提高。凡口铅锌矿银回收率由84.09%提高到88.13%,天台银铅锌矿银回收率由63%提高到90.67%。

(2)加强磨矿工艺研究,开展细磨、再磨,提高了金属回收率。如西林铅锌矿改进磨矿工艺,铅精矿中银的回收率提高8.01%,使银回收率稳定在75%~80%。

(3)掌握适宜的矿浆pH值,选择组合药剂制度有利于金银回收率的提高。有色金属选矿厂往往为了照顾主金属的选别,而大量使用石灰,但高碱度的矿浆不利于金银矿物的选别,一般应控制pH在8~9之间。近年来,研制了对金银矿物捕收性能强、选择性好的浮选剂,在工业生产中应用较为有效的有丁胺、苯胺组合类、P-60、BK-301等组合药剂。如狮子山采用上述措施,金回收率提高8.9%,银回收率提高6.16%;铜绿山矿

金回收率提高3.64%，银回收率提高2.71%，丰山铜矿金回收率提高9.72%、银回收率提高5.89%；德兴铜矿金回收率从57.5%提高到64%。

(4) 浮选机机型更新改善了金银矿物选别，对老式“A”型浮选机更新改造，新研制的SF型、JJF型、GF型、CHE—X型高效浮选机已在一些选厂中逐步推广使用。

1.3 阳极泥回收金银处理技术

我国伴生金银回收的技术路线是通过精矿的熔炼、电解使金银进入铜、铅阳极泥中，然后再行处理。铜阳极泥主要为金银的富集载体，铅阳极泥中主要回收银。

铜阳极泥处理技术有：传统火法流程，火法焙烧—湿法提金工艺、选冶联合流程和全湿法流程，各流程均有其特点和适应性。铅阳极泥基本采用火法流程，济源冶炼厂则是铅电解后，湿法处理铅阳极泥回收金银等有色金属。目前我国一些大型冶炼厂在处理阳极泥回收金银时，主要是采取传统的火法流程。该流程具有对进料成分适应性强、处理量大，回收率高，产品稳定等特点。但综合利用程度差，生产周期长，中间产品积压多，环境污染较为严重。在大、中型冶炼厂中沈阳冶炼厂、上海冶炼厂、常州冶炼厂、白银冶炼厂、株洲冶炼厂指标较好，其金回收率为98.28%~98.64%，银回收率为97.01%~98.20%。

针对火法工艺存在的缺点，自70年代以来研究了湿法工艺处理阳极泥。在—批中、小型工厂采用湿法工艺取代了传统的火法工艺，生产实际表明湿法工艺不仅在中、小工厂可行，大厂也可根据其情况加以考虑。

湿法工艺的特点是：

(1) 湿法流程直收率高，回收率基本接近直收率；

(2) 生产周期短，经营费低，资金周转快，企业经济效益好；

(3) 劳动条件好，易实现机械化，彻底

消除铅害等；

(4) 综合回收好，选用适当生产流程可回收硒、碲、铅、砷、镍及铂族金属等。

如富春江冶炼厂、烟台冶炼厂、重庆冶炼厂、太原冶炼厂、济源和江西有色冶炼厂分厂等一批企业采用湿法工艺技术，经济指标较好。其中富春江和烟台冶炼厂金回收率为98.26%~98.65%，银回收率为98.22%。

贵溪冶炼厂是我国引进国外技术先进技术和设备的大型现代化冶炼厂，而阳极泥车间是我国自行研究和设计的，湿法工艺生产金银和综合回收其它有色金属，也取得了良好的技术经济指标。金回收率为96.04%，银回收率为95.16%，为大型冶炼厂采用湿法工艺从阳极泥中回收金银等有色金属提供了有益的经验。

此外，云南冶炼厂采取选冶联合处理铜阳极泥也取得了很好的效果，金回收率达98.51%、银回收率达98.44%。

2 当前伴生金和白银回收的任务

当前应在科技进步的基础上，重点抓好5大铜业公司和重点铅锌矿山。坚持以矿山为基础的方针积极发展金银原料生产，只有不断扩大矿山的金银生产能力，为冶炼提供充足原料，才能确保金银的持续、稳定的发展。同时要对冶炼企业金银产量大，而回收率低的问题，加强技术工作，认真采取措施，以科技进步来带动有色行业金银的技术进步，抓住当前有利时机，加快改革开放的步伐，集中精力把经济建设搞上去。使有色金属生产上新台阶、金银技术再创新水平，保证“八五”计划任务全面完成或超额完成。

2.1 当前应抓好的几项工作

(1) 加强科研工作，认真组织攻关，并把科研成果尽快转化为生产力。同时要有计划地引进先进技术和关键设备，解决一些技术难题。根据科研规划提出8个方面的攻关内容：

①加强对现有有色企业伴生金银的技术改造和科技工作;

②解决银矿的采矿技术问题;

③复杂高砷高硫含金银矿及微细粒金银矿石的科技攻关;

④加强对锌精矿中回收金银的处理工艺研究;

⑤金银选冶新工艺、新药剂、新设备的研究;

⑥开展对高品位银精矿及高银铅精矿处理工艺的研究;

⑦金银二次资源的回收和利用;

⑧海洋金银资源的开发研究。

(2)采取措施,解决一些铜电解厂金银回收率低,金银损失大的问题,加强金属平衡,大力压缩库存料。

我国冶炼厂金最高回收率为98.4%~98.6%,银最高回收率为98.2~98.4%,但有些厂的金银回收率较低,金回收率为95%,银回收率89%~92%;个别厂金回收率只有82%~95%,银的回收率为83%~92%。应采取坚决措施,解决金银回收率低的问题。

冶炼厂库存料含金量很大,超过规定的企业要采取措施不断进行压缩,积极处理呆滞料,加强资金流通。

(3)进一步加强金银管理工作,提高金银资源的综合利用程度,为国家多产金银、多创外汇,提高企业的经济效益。

各企业要建立健全各种规章制度,尤其是金银产量大、回收率低的企业要认真采取措施解决存在的问题。

(4)确保一批新建银金矿按时顺利投产和达产。在建的14个银矿,还有德兴铜矿3期、银山铅锌矿等项目,有的已经基本建成,有的已接近收尾、有的将要建成。还有新开工一批银矿和伴生金银矿山的建设项目,这些项目是发展金银生产的重点,担负着金银生产的重要任务。应尽量缩短工期、加快进度、尽早建成投产达产。

(5)加强金银地质勘探工作,适时提供符合建设条件的地质资源。金银发展的突出矛盾是可供建设的地质资源不足,特别是急需提供一批大型银矿和伴生金较高的矿。充分用好金银地质勘查基金,加强伴生金和白银的地质工作,确保伴生金和白银生产的持续、稳定、协调的发展。

2.2 金银科技工作几点建议

(1)大力加强科研工作,推进企业技术进步,进一步提高金银回收率,是见效快、投资少的途径。

(2)加强难题攻关,早日攻克高砷和微细粒金银资源的回收和开发难题。研制或引进加压和砷冷凝设备,引进消化吸收工作应由科研、设计和现场人员共同组织考查、参加引进工作。

(3)研究金银选冶新工艺、新药剂和新设备,以及难处理金银矿加压工艺及其设备,炭浆法提金银工艺、低品位大型化堆浸工艺、无氰提金银推广应用,闪烁浮选机在磨矿回路中回收粗粒金,现场pH自动测定与控制、金银X荧光在线分析等。

(4)大型银矿要抓好建设初期采矿、选矿和冶炼工艺的研究。注意降低采矿贫化率和损失率,提高选、冶回收率。要因地制宜推广无氰提金银的新工艺,保护环境。

(5)研究和解决目前有些企业存在着精矿品位与金银回收率之间的矛盾。要努力寻求铜、铅、锌精矿品位和铜铅锌、金银选矿回收率的关系,找出最佳方案,按研究成果组织生产,以提高综合回收水平和企业经济效益。

(6)积极从黄铁矿烧渣和老尾矿中回收金银,这方面已取得一定进展,并获得可喜成果,科研与实践表明,这不仅是可能的而且是可行的,其经济效益和社会效益显著,并扩大了回收金银的范围。

(7)推广应用新药剂和浸金银新溶剂,采用新型高效的浮选药剂将会明显提高分选

效率,提高金银选矿回收率。新的无氰溶剂对金银浸出率和环境保护都有积极的意义,对于经济效益和社会效益好的药剂和溶剂要积极推广使用。

(8)重视金银基础理论研究和应用科学研究,提高科研人员的科技水平做好知识更新工作。

3 结 语

发展金银生产是国家的需要,是我们有色行业义不容辞的责任,也是提高有色金属企业经济效益的重要途径。

我们要继续依靠科技进步,坚持以矿山为基础的方针积极发展金银原料生产,为冶炼提供充足的原料,继续提高伴生金和白银的选冶回收率。同时认真组织好重大难题攻

关,使我国伴生金和白银的选冶科技水平进入国际先进行列。以科技进步带动有色行业金银企业的技术进步。

同时还要有计划地引进、消化和吸收国外的先进技术和关键设备。用好发展金银各项优惠政策,推动金银生产的发展,使把我国金银生产和选冶科技水平再上新台阶,早日成为世界金银生产大国。

参 考 资 料

- (1)朱观岳.伴生金银选冶技术新进展.北京矿研究总院学报,1992,81.
- (2)武 恭.艰苦奋斗孔矣工作使金银生产登上新台阶,金银工作,1992,1.
- (3)朱 雷.为完成“八五”金银生产建设计划而努力奋斗.金银工作,1992,5.
- (4)Berezowsky, R. M. G. Setal, JOM, 43(2) (1991), 9-15.
- (5)Kontoupoulos K等人. "Precious Metals'89", 179-209.
- (6)Deng T and Muir, D. M., in "Proc. ICHM '92", Oct.23-26, Changsha, 423-428.
- (7)陈建梁.国外融资技术与金融市场,复旦大学出版社,1991,4.P39~44.
- (8)余兴远.国外金属矿选矿,1992(9)P25~29
- (9)D. W. Fuerstenau. 国外金属矿选矿,1990(3) 35~39
- (10)赵捷,乔秉盛编.黄金冶金,原子能出版社,1988
- (11)G. Ramadorai, R. K. Mishra, Arsenic met. Fundam Appl. Arizona us. metall. Soc. AIME, 1988, P161~171
- (12)J. Loröesch等. E&MJ. 1991(6)36~37
- (13)J. Loröesch等. E&MJ. 1988(8)138~143
- (14)J. Loröesch等. Mining Eng. 1989(9)P963~965
- (15)中国科学院化工冶金研究所编译.黄金提取技术,北京大学出版社,1991,4.
- (16)R. B. Bhappu Interfacing Technologies in Solution Mining. Edited by W. J. Schlitt and J. B. Hiskey SME-SPE AIME Lucas-Guinn Co. Hoboken NJ. 1982 P1~
- (17)S. R. Zimmerly, D. G. Wilson, J. D. Prater, US. Patent 2829964. (1958)
- (18)E. E. Malouf, J. D. Prater, Journals of Metals, 1961, Vol 13, P353
- (19)严武译.国外黄金参考,1990(1)P17~18
- (20)金秋译.国外黄金参考,1990(1)P16~17
- (21)陈莉达译.国外黄金参考,1990(6)P10~11
- (22)蔡显弟译.国外黄金参考,1990(6)P11~12
- (23)采金技术,1990(3)P36~38

国外黄金氰化浸出的发展状况

阎应科

(西北有色金属研究院)

摘要 本文介绍国外黄金氰化浸出的研究及生产状况,特别是难选金矿石提取技术,主要包括:氧化—浸出,加压氧化,焙烧及细菌氧化浸出工艺;同时,对堆浸、树脂矿浆法,管道浸出过程的研究和应用作了评述。

关键词 黄金 氰化 浸出 焙烧 堆浸

1 前言

黄金是硬通货,也是必不可少的金属材料,因此,黄金生产一直受到各国的重视。提取金的主要工艺有氰化浸出,砂金重选和金属冶炼副产品回收等。氰化浸出生产金的方法占有极为重要的地位。

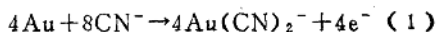
1840年,爱克顿(Elkington)最早在专利中论述了氰化钠溶液和金属金的作用机理,但没有处理矿石。40年后福瑞斯特(Foerrests)等研究了氰化钠处理金银矿石浸出过程并应用于生产,该技术于1887年获得英国专利(No.13,174)。1889年,在新西兰科鲁恩(Crown)矿建成了世界上第一座氰化提取金工厂,接着金的氰化浸出在南非和美国应用(1)。在100多年的生产实践中,氰化法主要从不能汞齐化或重选难以分离的金矿中回收金。然而,对于高品位大量消耗氰化物又不能直接氰化的矿石,氰化法的应用受到限制,所以,处理难以氰化的矿石是各国研究的重点。对于这些难处理矿石的研究主要分为火法和湿法,火法主要是将矿石预焙烧后进行氰化;湿法包括加压氧化浸出、细菌氧化浸出、氰化浸出、硝基及无氰浸出等工艺。虽然,火法焙烧的方法较湿法在环境上极为不利,但是对于处理含碳高的矿石,火法焙

烧是极为有效的(2)。本文就国外近年对难选矿石处理的研究和生产状况作简单介绍。

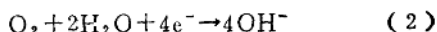
2 添加氧化剂的氰化浸出

金的氰化过程主要反应是自然金和 CN^- 的作用,金被络合形成可溶的氰金络离子进入溶液并与矿渣分离。用化学式表述如下(1)(2)(3)。

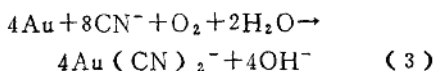
阳极反应:



阴极反应:



总反应:

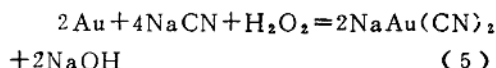
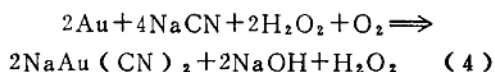


反应说明,金的溶解是电化学过程,有 O_2 存在时才能进行, O_2 的溶解量愈大反应(3)进行得愈快愈完全。从这一原理出发,国外很多工厂都采用向浸出槽中通入空气或纯氧的方法来增加氰化液中的氧含量。应用该法的国家有南非,澳大利亚,加拿大,美国等。澳大利亚30个金矿生产的统计表明,通入空气可提高金回收1%~3%,同时减少硫化矿氰化浸出时氰化物消耗量30%(3)。该方法在我国也有应用,如在浸出槽中通入空气或在球磨机中加入氰化物等,主要均是提高

氧在氰化物溶液中的溶解量。

向氰化物溶液中鼓入空气大约有 100 年的历史,随着提取金的科学化及人们对氧在浸出中重要性的认识,进而用纯 O_2 代替空气,近几年又使用液态氧化剂,包括 H_2O_2 , Cl_2 (液), Br_2 和 Fe^{3+} 等[1]。1987 年在南非佛拉威尔金矿 H_2O_2 第一次应用于工业,近几年澳大利亚、南非、北美等许多金矿也使用 H_2O_2 浸出金或促进金的氰化。

对加入 H_2O_2 的作用机理,加拿大杰 Jürgen Lorösch 等做了研究,并应用于黄金氰化生产中。将 H_2O_2 作为液态氧化剂加入氰化液中参与金的浸出过程,该工艺可称为双氧水促进浸出法,简称 PAL (Peroxido-Assisted Leach)。该浸出体系允许加入不与 H_2O_2 和氰化物反应的强氧化剂, H_2O_2 的作用较通入空气和纯氧更能促进 Au 的溶解浸出,从而增加金的浸出速度,缩短浸出时间,同时防止了氰化的 HCN 酸挥发损失,减少了氰化物与硫化物的作用消耗。化学过程如 (4)、(5) 式:



研究和试验证明,反应 (5) 较 (4) 要快,使用 PAL 工艺可缩短浸出时间(由 160 分钟减少到 40 分钟),而且提高了金的回收率。例如此法在北美使用,将硫化矿浮选后浸出,浮选精矿含金 3 千克/吨,银 8 千克/吨,用原工艺(氰化法)处理浸出 5~9 天,金和银的回收率分别为 98% 和 90%,而采用 PAL 工艺后,在 1/4 的时间内金银的回收率均达 98% 以上。

PAL 工艺由于缩短了浸出时间,改变了金的溶解反应,可大大减少氰化物消耗量。北美矿山应用证明, PAL 工艺节约氰化物 3/4, 因为 H_2O_2 直接参加反应,不需要强搅拌,故减少了氰化物转化为 HCN 的损失,处理硫

化矿,特别是黄铁矿, H_2O_2 将矿物表面的硫氧化,防止生成 SCN^- 消耗氰化物。加拿大安大略金矿应用 PAL 工艺,第一个氰化浸出槽的氰化物消耗量为 0.25 克/吨,原工艺为 0.55 克/吨,氰化尾液含氰化物浓度很低,节约了氰化物 50%。

PAL 工艺可以使工厂设计简化,因为氰化浸时间缩短为原工艺的 1/4。

通入纯氧气搅拌浸出和 PAL 是不同的,前者应用于澳大利亚、南非、加拿大处理氰化程度不高和氰化物消耗量不大的金矿石,提高金回收率 1%,后者主要是处理氧化程度高和氰化物消耗量大的硫化矿石。由于 H_2O_2 价格低廉,在经济方面极为有利[4]。

氰化浸出过程大量消耗氧和氰化物的矿石还有黄铁矿、含铜碳酸盐、孔雀石、兰铜矿、各种含砷硫化矿以及各种含有有机物的矿石。

3 焙烧技术

火法焙烧一般用于处理浮选精矿,以便于氰化浸出。当有砷黄铁矿时,焙烧分两步进行,首先在 400~450℃ 进行非氧化焙烧将矿石中的砷转化为三氧化砷挥发,其次在 650~750℃ 进行氧化焙烧将硫转化为二氧化硫排出。经焙烧后的金被解离,有利于氰化浸出。整个焙烧工艺的关键是控制炉内的大气压和温度,多孔钙盐的形成有利于金的浸出。对于含碳高的金矿石,在高温时碳燃烧挥发,而钙则不能形成多孔钙盐而影响氰化浸出。实践证明,焙烧是当前处理含碳金矿的最好方法,然而,焙烧条件必须严格控制,因为,焙烧后没有燃烧的碳更具有活性,在氰化浸出中捕收或吸附金而降低金的回收率。

焙烧设备从反射炉和回转炉发展到沸腾焙烧炉,沸腾焙烧炉有利于时间、温度的准确控制。

焙烧法除砷脱硫在美国一直不许使用(建设新厂),在加拿大和其他国家,焙烧