

国外金矿选冶技术新进展

(译文集)

中国科学院化工冶金研究所
中国科学院兰州文献情报中心 编

国外金矿选冶技术新进展(译文集)

中国科学院化工冶金研究所编
中国科学院兰州文献情报中心

兰州大学出版社出版

(兰州大学校内)

中国科学院印刷厂印刷 甘肃省新华书店发行
兰州文献情报中心印刷厂

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 14.5

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

字数: 328千字 印数: 1—1500册

ISBN7-311-00223-0/T·4 定价: 9.50元

序

黄金作为一个国家发行货币的储备是财力的重要反映，对它的生产和研究开发一直受到各国的重视。近年来黄金价格上涨，形成世界范围内新的“黄金热”。寻找和开采新的金矿床及开发黄金选冶新过程的工作十分活跃。一些过去无法经济利用的低品位或复杂难处理的黄金资源重新受到重视。金的富集、分离及冶炼技术取得了引人注目的新进展。

我国的黄金生产和科研近年来也有了显著的发展。1985年黄金产量可属世界前列，预计到1990年还要翻一番。越来越多的科技人员进入这个领域工作。吸收国外先进经验、充分利用最新研究成果，无疑是迅速发展我国黄金生产、提高黄金科研水平的迫切任务之一。为了适应这一实际需要，中国科学院化工冶金研究所的科技人员编译了这本译文集。本文集是中国科学院兰州文献情报中心在科学院黄金科技领导小组支持下组织的系列出版物之一。

文集中收入的文章，大部分取自国内很难找到的最新资料，其中1987~1988年的占50%左右；部分来自学术交流中对方赠送的资料。文集选材注重技术的先进性和我国实际需要的迫切性。如复杂金矿的预处理是我国黄金工作的迫切课题之一；炭浆法、堆浸及微生物预处理等在我国尚属起步阶段，经验较少；非氰化提金切合我国环境保护的需要。文集还能为我国研究炭浆法与常规氰化法各种型式的联合流程，为深入开展难选难冶矿石如高硫、高砷、微细粒浸染型矿石以及铁帽型金矿石的研究，为改进黄金选冶技术的工艺流程等都将起到促进作用。

本文集的辑译出版，意在为发展我国黄金生产和提高选冶技术水平略尽绵薄。读者如能从本书有所受益，则是编译者们的最大欣慰。由于水平所限，译文中如有不恰当之处，尚祈指正。

中国科学院学部委员

中国科学院化工冶金研究所研究员

陈家镛

1988年11月1日

编 者 的 话

最近几年来,我国黄金科研蓬勃发展,无论在金矿成矿理论研究、金矿地质勘探,还是在采矿、选矿和冶炼技术研究等方面都取得了新的进展。尤其在选冶技术上,中科院研制的加压酸浸氰化法提金新技术已达到国际水平。广大黄金科研人员在微细粒金矿选矿、堆浸、微生物脱砷、非氰化提金、活性炭吸附、硫脲法提金、液膜处理含氰废水、离子交换树脂分离等研究领域所做的工作和实验都获得了可喜的成果。

为了学习和引进国外的先进技术,结合我国黄金科研的实际需要,我们选编了这本译文集。希望能为我国黄金事业的发展,迅速提高黄金选冶技术和生产水平起到促进作用。

文集中收集的学术交流论文和近期有价值的文献资料共25篇。具体涉及炭浆法、树脂浆法、难选难冶矿石的处理、低品位矿的浸出,非氰化法的新技术等内容。还收集了世界主要黄金生产国如美国、南非、澳大利亚等国的工厂实践经验及最新发展,以满足冶炼厂实际工作者的需要。同时还选收了少量黄金化学分析和工艺矿物学方面的文章。总的来看,文集选材新颖,论证翔实充分,基本反映了国外黄金选冶技术和生产工艺的最新进展及研究动向。相信本书的出版能为黄金科研、设计、生产和管理人员提供丰富的情报信息和以资借鉴的研究方法。

本文集属中国科学院兰州文献情报中心在科学院黄金科技工作领导小组支持下,继《国外金矿地质研究新进展》(第一集)之后,组织的又一本系列出版物。它由中国科学院化工冶金研究所湿法冶金室的部分同志参加选题和译校。中国科学院兰州文献情报中心主任刘全根等为本书的出版做了大量的组织工作。制图由化冶所的编辑室刘筠承担。程雪琴、谷治成任编辑。在此一并表示感谢。

由于译编水平有限,错误在所难免,敬请各位读者批评指正!

1989年3月

目 录

序

编者的话

金.....	(1)
从澳大利亚看黄金冶金的最新发展.....	(5)
南非工厂回收金实践的进展.....	(20)
炭浆法与树脂浆法化学的某些方面.....	(29)
从活性炭解吸金的AARL法.....	(45)
用于从氰化矿浆及溶液中回收金的活性炭的热再生.....	(55)
从工程公司观点看炭浆厂的设计.....	(63)
用于从碱性氰化物溶液中吸附金的新型磷酸脂类树脂的合成.....	(70)
含金硫化物的水相氧化.....	(82)
用加压浸出法处理难冶金浮选精矿.....	(87)
硫化矿中金银的生物浸取.....	(96)
炭质金矿.....	(103)
炭质金矿堆浸的次氯酸钠预处理.....	(109)
美国金银浸出实践.....	(114)
在控制条件下用硫脲从氧化金矿中浸出金和银.....	(138)
酸性硫脲从黄铁矿精矿中浸取金的动力学.....	(148)
氰化钠与硫脲浸取金银矿的比较.....	(157)
用氨性硫代硫酸盐浸取法从流纹岩矿提取金和银.....	(162)
氰化浸取矿浆中金的溶剂萃取.....	(174)
直接电积金.....	(177)
用聚硫醚泡沫吸附银、金和钯.....	(185)
无焰原子吸收光谱法测定砷锑矿中的金.....	(189)
用纤维素离子交换剂 (Hyphan) 预富集原子吸收光谱法测定衡量 Ag (I) 、 Au (III) 、 Pa (II) 和 Pt (VI)	(193)
某些难处理卡林型金矿的工艺矿物学.....	(198)
难处理金矿及其选矿的矿物学研究——特别着重于含砷矿石.....	(212)

金

今年,不少 Mintek (南非矿产技术委员会)的研究人员致力于有关金的各种课题的研究,内容包括炭浆法(CIP),炭浸法(CIL),树脂载浆法(RIP)以及其他浸取新方法。此外,还试验了多种处理顽金矿的技术。

炭 浸 法

Mintek在炭浆车间(CIP)进行过四组中间试验,每组试验历时约6~8周。最后试验所得载金炭的金含量达20,000g/t以上。由湿法冶金室所提供的预测模型,成功地模拟了实验过程特性。

对西南非金矿用CIP法回收金的可行性,是以间歇实验进行评价的。研究工作包括矿石可磨性的判定,浸取所需的磨矿程度,矿浆沉降速率,金浸取率,炭浆平衡,以及炭吸附金的速率等。

Mintek所得的CIP实验结果,应用于City Deep的工厂设计。根据在Rand Mines 采选厂(RM3)内 Mintek 吸附中间工厂操作实验数据,以及 Mintek 所开发并改进过的流程,对工厂设计提出若干建议。

对于用炭浸法(CIL)从Barbrook浮选尾矿中回收金的可行性,也进行了一系列间歇实验和中间工厂实验。若掌握了矿石的矿物学性质及其化学性质,则金浸出速率,试剂最佳添加量,平衡条件,以及炭吸附金的动力学性质即可确定。此外,还对离子矿中炭的吸附效应(gold-robbing effect)及其可能的解决办法,也进行了研究。

在RM3厂,对于矿石在氰化及CIP之前,如何处理筛选后的物料还是有问题的。原料中还含有纤维、劣煤、灰土、硅石以及一些细石灰。这些难处理物料最好的预加工和处理方法是先筛去粗料,然后将小于600 μ m的物料经氰化和CIL处理;而大于600 μ m的物料,先进行焙烧再氰化浸出。

在某些CIP厂中,已发现一些有机物及无机物会减缓吸附速率并降低炭的负载量。业已查明,在RM3的矿坑中,有细菌氧化而生成的一些无机物。Mintek已研究出测定物料和负载炭中细菌生物量的方法。这些物质的定量分析乃基于溶剂萃取和色谱分离法。

高纯度压制炭Norit R3515在RM3的CIP车间中使用良好。所用矿浆流量为500 L/h。六个槽中的炭浓度均为16g/L,金的平均提取率在98%以上,炭的载金量高于700ppm。对于金含量低的物料(含金0.4ppm),Norit炭的性能竟与以前试验所用的高纯度椰壳炭相似。

活 性 炭 的 再 生

再生活性炭所消耗的能量,估计约有70%以上用于炭的除湿。目的在于降低这部分能耗而设计的再生炉,采用预干法使循环使用的活性炭的活性得以提高,从而改善了设备的性能。因此,设计了一种置于现有炉窑之前的干燥器,用于Rimboul炉再生炭的干燥。

测量与控制

CIP和CIL技术的另一优点,在于它们比一般传统流程更便于实现自动控制。这是由于CIP及CIL技术适用于大型装置。若以大型设备来代替许多小型的、平行的操作单元,显然,检测点就少了,这就可能实现主要操作变量的闭环控制。关于测量和控制方面的研究工作,主要有三部分:开发和试验所需的测量技术及仪器设备,动力学过程计算模型的建立与运算,以及炼金厂过程控制的决策工程等。

所研制的用于提金过程的仪表有如下几种:Kegold浸出率指示仪,根据电导仪原理而设计的石灰量测定仪,泥浆过滤探头,以及超声炭浓度计等。

树脂载浆法

树脂载浆技术(RIP)曾在中间工厂进行研究。所研究的主要单元操作和设备是:锥形底Pachuca槽中的空气搅拌性能,空气提升泵以及弧形筛和线性带筛机等。

用于监测氰化和吸附过程的移动式实验车,正在RIP中间工厂中试验。结果是令人鼓舞的。对仪器而言,环境清洁,安全可靠无疑是此实验车的一大优点。Golden Jubilee Mine的表生矿,由于含有异常多的腐植酸和灰黄霉酸,使之在采用氰化及CIL联合流程时,金浸出动力学性质差,炭吸附性能也不好,从有机物的毒化作用来分析,用阴离子交换树脂要比用活性炭好得多。因此,在Mintek就用树脂来代替活性炭做实验。结果表明,用同一种矿石进行炭浆浸出,无论是间歇实验或中间工厂连续实验,从这类矿中提取金,用树脂实是远比用活性炭有效得多。

对于提取金所用的树脂,目前正在研究一种强碱性树脂的洗涤和再生的新流程,包括用硫氢酸盐来洗涤和用硝酸铁来再生树脂。实验时发现,控制洗涤速率和洗涤率的最重要因素,乃是电解槽的性能。若进入塔中的金溶液浓度高,则由于平衡关系,洗涤速率及洗涤率均下降。

浸取

近年来,从矿石中浸出金新方法的研究,发展迅速。其主要原因是环境保护对传统氰化法的压力,以及由于用氰化物不能有效地浸取某些难处理金矿。研究得最多的是用硫脲在酸性溶液中,以铁为氧化剂浸取金,生成阴离子络合物。对于硫脲一金及硫氰酸盐一金的络合物,试验过用活性炭从其水溶液中吸附金,而且还研究了影响吸附速率及负载容量的重要因素。

最近,正在研究用硫代硫酸盐,硫脲和硫氰酸盐以代替氰化物来浸取金。硫氰酸盐比其它两种试剂更有优越性。最主要的优点是硫氰酸盐离子的稳定性好,并在酸性溶液中能与金形成络合物。

就地浸出 (in Situ leaching)

堆浸模拟实验的中间工厂建于现场,以便试验各种堆料。可以断言,在堆浸前先脱泥可改善细颗粒中金的回收。因为细粒部分很容易直接用氰化法和炭浆法有效地加以处理。其缺点是脱泥浸堆可能不如含细颗粒的浸堆那么稳定。

曾对Pilgrims Rest地区的原矿及其它七种堆浸矿样进行堆浸实验研究。对于未筛分过但部分粉矿进行造团的物料,以及筛选过物料作堆浸柱实验,结果是金的收率均可提高8%左右。但用重选法来回收某些矿样中粗粒金的实验,结果不成功。

对两个采场的金矿,进行现场浸出。经为期三个月的实验之后,建议采用如下方法:活性炭吸附,在沸点及常压下洗脱有机物,以及用锌沉淀法回收金。

选矿工艺

一种处理量为30t/h线性螺旋磁选机的设计、制造及安装工作已告完成。该机附有所需的泵,管线,阀门,搅拌器及仪表等,并已投入运行,处理了五批浮选尾矿。试验验证了一些设计和操作问题,并对磁选机作了修改。

曾用Leeds自动浮选槽,对金矿中的各矿物组成对黄铁矿浮选性能的影响,进行了实验。所研究的矿物包括石英,黄褐页岩及脉石(Talcaceous gangue)等。结果发现细石英粉的泡沫夹带会降低精矿品位。黄褐页岩也会影响精矿品位及黄铁矿收率。加捕集剂可改善浮选速率以及黄铁矿的总收率。

最佳流程

根据对代表不同地区八个矿样的实验结果,提出了最佳流程。这些矿样取自计划要建厂的矿区。所建议的流程包括:磨矿至80%—75 μ m,重选,氰化,炭浆浸出和尾矿浮选。

有一吨经破碎过的低品位表生矿样交付试验。结果说明,物料无需任何进一步破碎即可堆浸浸出,金回收率达60%以上。

矿物学研究

Mintek研究了Witwatersrand金矿的矿相性质。此矿石有可能会从氰化物溶液中吸附金。尤其是页岩更是如此。研究结果强调,细炭粉即使在低浓度的金溶液中,也能大量地吸附氰化物溶液中的金。

自从开发了用于图象分析仪的自动测金程序之后,开始研究金矿微观检测的统计特性。应用此技术,积累了有关的统计数据。可能造成图象分析仪分析结果出现偏差的原因之一是所谓块金效应(nugget effect)。当所检测样品的光亮部分太少时,就会有此现象。

顽金矿(refractory gold)

一般而言,某些金矿之所以难以处理,是由于在硫化矿中有很细的分散的微粒金,也可能由于矿物中有夺金物质的存在或其它化学因素而影响金的浸出。对东Transvaal地区某矿选矿产品的研究结果发现,微粒金主要与砷黄铁矿共生。矿石在破碎时,砷黄铁矿颗粒是有选择地被破碎的。另外,超细硫化物的浮选性能相当差,这些矿物会与其所伴随的金,一起都损失在尾矿中。若要设计一座冶炼厂,则需确定一些设计参数。而这些参数要借助于顽金矿的矿物性质与选矿性质之间的关系来确定。因此,研究了地下矿,钴矿以及变质顽金矿样。

顽金矿的细菌浸出

Mintek对细菌浸出研究总的目的,是研究难治硫化金矿在细菌氧化时的一些科学与工程问题,并研究如何改善其生产工艺。此外,Mintek为获取实验数据,正在运行一个细菌浸取工厂。实验数据用于建立浸出速率的数学表达式。这些数学模型可以解释实验结果,并可作为放大设计的依据。

实验一般采用普通的浸取细菌进行研究。有一些种类的细菌,是从地下矿床中,在最佳温度(约50℃)条件下分离出来的。目前正研究其浸出速度,并探索其工艺上有什么优越性。

对于含金黄铁矿和浮选精矿,都进行了细菌浸出实验。结果说明,对于黄铁矿细菌浸出渣,在氰化浸出时,氰化物的消耗量相当大。原因是在细菌浸取过程中,矿物发生改性。对于浮选精矿的细菌浸出,发现将矿物细磨,在浸取时用石灰控制PH值,则浸出效果最好。

顽金矿的磨碎

细磨烧渣而后浸取,可改善金的浸出。因此,将烧渣及黄铁矿矿样送到欧洲各类破碎厂去磨碎,然后再运回Mintek进行分级及氰化处理。实验结果说明,用球磨机破碎矿石最为适宜。在一定程度范围内,磨碎介质的密度对金的浸出有影响。浸出率随介质密度的增大而增加。

在研究了双盘碾磨机对金浸出影响之后,其效果就可与焙烧法的金收率相比较。所设计的具有高剪切速率的双盘碾磨机,是用砂子作为磨碎介质。可以发现,在给定条件下,双盘碾磨机可改善金的回收率。

火法冶金过程

对于Witwatersrand黄铁矿,一个包括高温分解,高压浸出,硫回收以及氰化处理等步骤组成的新流程,得到实验室规模良好的实验验证。本课题最近的工作是解决流程中高温分解过程的放大问题,包括建造一座中间实验规模的电热流化床反应器。

在东Transvaal,实验以铁作为捕集剂,用100千伏安转移弧等离子炉来处理焙烧后的浸取渣。实验物料系由两个矿区提供。根据炉渣中金含量分析,说明由渣中的氧化铁“就地”还原而生成的铁,作为捕集剂,要比把铁直接加到熔体中的效果好得多。若把熔融的铁与熔渣相混合,其效果也不理想。然而,在较低温度下,用浮选的方法将浸出渣中的金,富集于硫化精矿中的实验,却获得令人鼓舞的结果。

[范正译 曹家桢校]

译自《Mintek Annual Report, 1987》

从澳大利亚看黄金冶金的最新发展

DAVID M. MUIR

摘 要

本文综述了关于金浸出、活性炭性质和活性的近期及正在进行的研究,从活性炭上洗脱金的进展,溶液中回收金的方法。重点放在澳大利亚的工作及其对黄金冶金的影响上。讨论了选择性溶剂萃取剂,离子交换树脂及氰化物替换试剂的前景。

前 言

炭浆法(CIP)技术引入提金工业使得处于停滞状态的研究重新活跃起来,并增加了人们对黄金冶金的兴趣。在过去十年间,提金工业利用其它领域的科学和技术取得了许多新的进展。五年前,澳大利亚厂家开始采用炭浆法技术,并逐步掌握了炭浆法的特点。他们很快认识到,澳大利亚与南非和美国的条件不同,每个工厂或矿体需要自己的精炼技术。自1982年以来,南非的几个车间采用了CIP技术(Mintek, 1985),同时其它国家和澳大利亚也取得了进展(Canning, Jones和Woodcock, 1985),这为那些试图处理低品位和复杂金矿的生产者们扩展了研究范围(Wall, Hornhy和Sethi, 1987)。产业部门通过澳大利亚矿业研究协会(AMIRA)和西澳大利亚采矿业研究学会(WAMPRI)向一些应用研究项目提供资金,研究涉及到各个不同方面的工艺过程,包括活性炭中毒和再生,以及金的洗脱(Hosking和Muir, 1984)。

根据定义,提金过程包括金浸出,金在活性炭上富集,金的洗脱和回收等许多方面。本文将依次简略地说明提金过程的每个方面,重点放在澳大利亚工作上,并展示出黄金冶金的未来方向和发展。

浸 出 过 程 研 究

一、游离金的CN⁻浸出

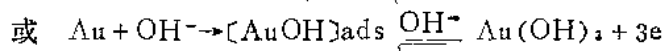
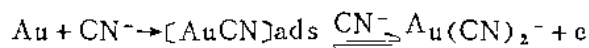
尽管金的氰化浸出并非最新进展,但是却显示出基础研究与工厂实践相互联系的重要意义。冶金学家成功地应用金的氰化浸出已有一百多年,然而只是在最近20年中,科学家才能解释为什么金的CN⁻浸出速率如此缓慢,并且因矿石不同而变化。现已确定,金的浸出速率通常受扩散控制,但是,根据条件的不同,其它因素如CN⁻和O₂的扩散或O₂在矿物上的还原也可能限制金的浸出速率。由于氰化物或氧化物薄膜使得金钝化,显著提高浸金速率是不可能的。

20年前Cathro和Koch在CSIRO(联邦科学与工业研究组织)提出的金浸出机理涉及到两个分别发生在阳极和阴极上的过程,金经由钝化膜在某一部位溶解,氧在其它部位被还原(图示1)。他们发现的现象中有特殊意义的是某些重金属杂质通过破坏钝化膜能够增加金的浸出速率(Cathro和Koch, 1964; Catho, 1964; Fink和Putnam,

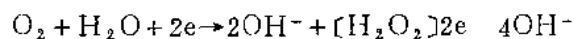
1950)。最近几年Nicol进一步完善了这一金的浸出机理。

图示1 金浸出机理

阳极过程



阴极过程



电化学家通过特定电位下金的腐蚀电流，能够解释重金属的作用。外加典型的工作电位，只需微量的Pb和Hg ($\sim 10^{-6}\text{M}$) 就能增大金的溶解速率(图1)。

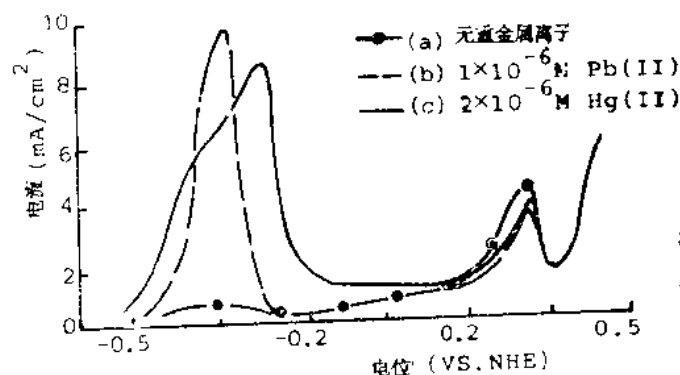


图1 CN^- 溶液中金的氧化线性伏安图

目前冶金学家已经知道，由于金上钝化膜的生成，使用更多的 CN^- ， H_2O_2 ， O_2 或加压对提高金浸出速率作用不显著，而加入重金属则可能有利。然而许多矿浆已含有微量的重金属，或者溶液中重金属也可能已被除去；因此，每种矿石必须经过试验。例如，在W.M.C.Kambalda提金厂，在浸出槽中加入 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Hood, 1984)，但是由于水中含有硫酸盐会生成 PbSO_4 沉淀，重金属的效果如何并不清楚。

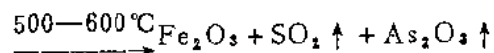
二、顽金矿的浸出

金包裹在黄铁矿或毒砂中，或以锍化物形式存在的顽金矿正变得越来越有价值。尤其是Kalgoorlie矿，含有相当量的金锍化物。Murdoch大学目前对金锍化物反应活性的研究是非常有意义的。金锍化物与 CN^- 不反应而能与 Cl_2 反应，再次表明金和锍的氧化物钝化膜存在。它们的电化学相当复杂。然而，焙烧通常可以分解锍化物。

总之，处理顽金矿有多种方法。。在过去几年间，根据矿物的种类所采用的五种方法均取得了不同程度的成功(图示2)。

图示2 顽金矿的处理

- 细磨后 ($< 36\mu$) 直接氰化浸出
- 氧化焙烧



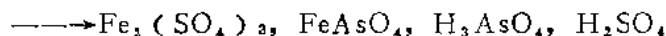
• 热分解



• 加压浸出



• 细菌浸出



对于某些矿石，金的暴露是没有问题的。黄铁矿经过细磨后，直接氰化处理效果就很好 (Espicell等, 1986)。但是，传统上只是简单地把矿石焙烧以便将矿石和砷氧化，使细小分散的金暴露出来进行氰化处理 (Arriagada和Osseso-Assare, 1984)。然而，氧化焙烧或许并不能将金完全暴露，甚至经过焙烧后金浸出率会意想不到地低。在西澳大利亚，Avraamides等 (1987) 和Aylmore (1987) 正在重新研究这一问题，认为这与焙烧温度，焙砂的烧结程度及孔隙度有关。并且发现，随着焙烧温度的升高，焙砂的孔隙度减小 (Arriagada和Osseso-Assare, 1984; Aylmore, 1987)。在Mintek (南非矿产技术委员会)，近期的研究工作也支持这一发现，结果表明，焙砂经重新研磨氰化处理后，金的浸出率可有较大的提高 (Dunne和Liddell, 1984)。Corrans正在用当地的焙砂对此作深入研究 (Corrans, 1987) Dum (1986) 最近的研究指出，矿石或地下水的含盐量可以导致在焙烧炉中形成易挥发的金氯化物，并造成金在烟气中或焙烧炉壁上损失。

氧化焙烧中存在的问题是，焙烧是放热过程，因此很难控制焙烧温度。于是在Murdoch和Mintek目前正在研究另外一种方法 (Dry和Coetzee, 1986; Swash和Ellis, 1986)，将黄铁矿在控制条件下热分解成磁黄铁矿，反应生成了单质硫，避免了从焙烧炉中逸出 SO_2 所造成的污染问题。用热分解方法除去毒砂和黄铁矿晶体中的硫，很容易观察到发育完好的多孔结构 (Swash和Ellis, 1986)。

加压浸出和细菌浸出作为控制条件下氧化黄铁矿，移放出游离金的方法已受到许多国家的重视。主要由加拿大Sherritt公司发展起来的加压浸出 (Berezowsky和Weir, 1984; Weir和Berezowsky, 1986) 无疑是一种快速有效的预处理方法，留下不溶的氧化铁及砷酸铁残渣。然而，细菌的浸出虽然处理过程缓慢，但却是一种迅速发展的新技术，适用于某些矿石 (Bruynesteyn和Hackl, 1985; Bruynesteyn, Hackl和Wright, 1986; Lazer, Southwood和Southwood, 1986)。Murdoch大学的Kandemir对细菌浸出作了初步的研究，现已建立了一个地方公司，以试验和评价用该法工业规模处理澳

表1 处理 Porgera 矿 (P. N. G) 工艺方法的比较

工 艺 方 法	金 浸 出 率
直接 氰 化 处 理	32%
氧化焙烧后氰化处理	77%
细菌浸出后氰化处理	87%
加压浸出后氰化处理	97%

大利亚精矿(Aron, 1986—Mining Monthly Oct.)。

比较用于Progera矿的各种预处理过程,结果表明加压浸出金的浸出率最高(表1)。

一般来说,经氧化预处理后氰化浸出金的数量与硫化物氧化程度成正比关系(图2)

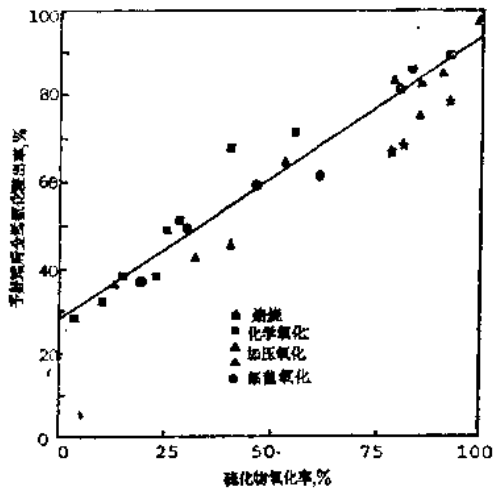


图2 从经各种氧化预处理后的黄铁矿浸出金

由于焙砂的烧结,氧化焙烧后金的浸出率常常较低,而因为矿石矿物学的特性,细菌浸出时金的浸出率也比较低。加压浸出证明是非常有效的方法,但是通常其生产费用最高(Haines, 1986)。

从表2可以看出,对于各类矿石,经加压浸出预处理金的浸出率高,而直接浸出金的浸出率均较低。

然而,正如Haines (1986)所指出,选择何种工艺方法不仅取决于直接投资和生产成本,而且还要考虑其它因素,诸如环境污染、技术风险、副产品的价值、以及生产的安全性(尤其在处理含砷矿过程中)等。

表2 金精矿加压浸出(Berczowsky和Weir, 1984)

Au $g t^{-1}$	%As	%S	金的氰化浸出率	
			直接氰化浸出	加压处理后氰化浸出
77	0.9	16.3	22%	98%
74	8.9	21.8	18	98
39	0.4	28.2	55	98
49	5.0	15.7	43	92
24	4.6	16.5	7	98

活性炭研究

一、金在活性炭上的吸附

金一经浸出进入溶液后,问题即在于如何使金选择性地富集在活性炭上。这又是冶金学家先知道怎样做,科学家才开始探究其原因。最近五年间,AMIRA黄金小组一直致力于探讨活性炭吸附金的实用性,研究生们则在研究活性炭的某些基本特性(La Brooy等, 1984; Perentich和Kinsella, 1984; Hughes等, 1984; Tsuchida, Ruane和Muir, 1985; Tsuchida和Muir, 1986; La Brooy等, 1986)。

现今使用的活性炭基本特征是坚硬、呈兼有大小不同孔的石墨结构。活性炭具有表面氧化物活性点,能与氰亚金酸盐离子交换放出 OH^- ,并且也能吸附象 Ca^{2+} 和 H^+ 这样的阳离子。

图示3 活性炭上活性点 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 吸附和解吸的离子交换机理

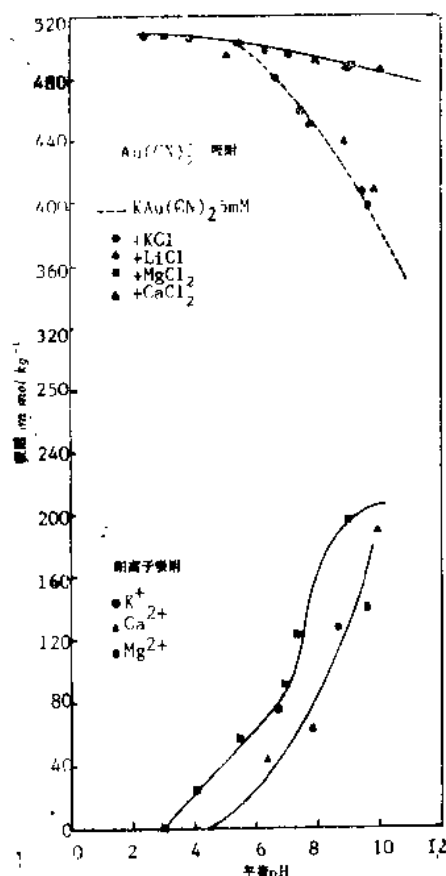
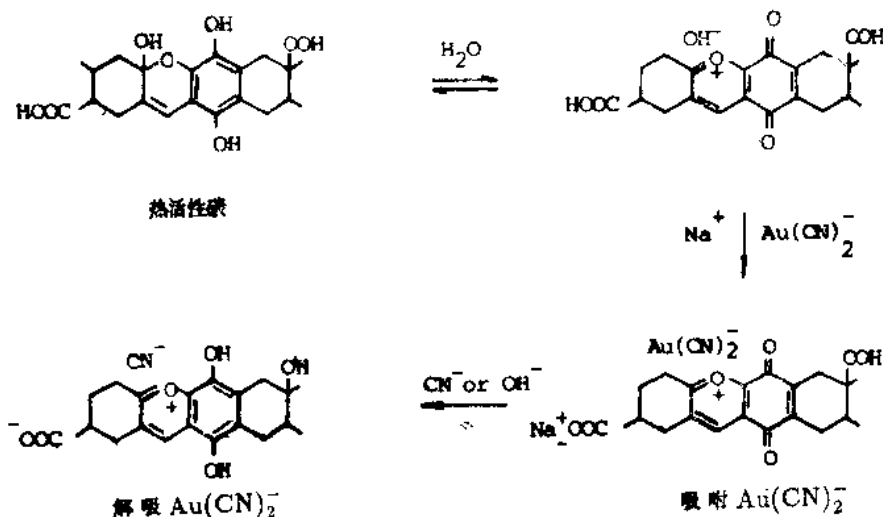


图3 PH及本底盐对活性炭吸附 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的影响 (Tsuchida, Ruane和Muir, 1985)

目前已知，在750℃再生活性较在550℃可形成更多的吸附 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 活性部位。活性炭吸附了 CN^- 、 I^- 一类的还原性离子后，炭电位会降低 (Hughes等, 1984)。活性炭对 CN^- 被空气氧化成为碳酸盐也有催化作用，下面将会讨论。

活性炭在活化过程中可形成羧酸、酚、内酯、醌、氢过氧化物和色烯酚等功能团。这些基团决定了活性炭的离子交换及氧化还原性质。氰亚金酸盐经与 OH^- 离子交换后，吸附在色烯酚上， Ca^{2+} 吸附在酚基团上，而 CN^- 在过氧化物部位上降解 (Tsuchida, Ruane和Muir, 1985; Tsuchida和Muir, 1986)，如图示3所示。

溶液PH值对 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 及其配对阳离子的吸附都有显著影响。正如Tsuchida等 (1985) 所表明， $\text{PH} > 10$ 时，氰亚金酸盐吸附较少，而阳离子吸附大。 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的吸附提供了过量的正电荷，因此在有 CaCl_2 或 MgCl_2 存在时，氰亚金酸盐可作为离子对被更多地吸附在活性炭上。

二、活性炭的污损

AMIRA 黄金小组集中研究了金的吸附动力学，因为这直接影响到工厂应用 (Hos-

king和Muir, 1984; La Brooy等, 1984; La Brooy等, 1986)。

如图4所示, 在间歇实验中用下面的速率方程, 在整个4小时期间都具有非常好的线性关系。

$$\Delta[Au]_c^t = K[Au]_s^t t^n$$

这里 $[Au]_c^t$ 分别表示在时间 t 时活性炭上和溶液中金的浓度, n 是接近1的因子。

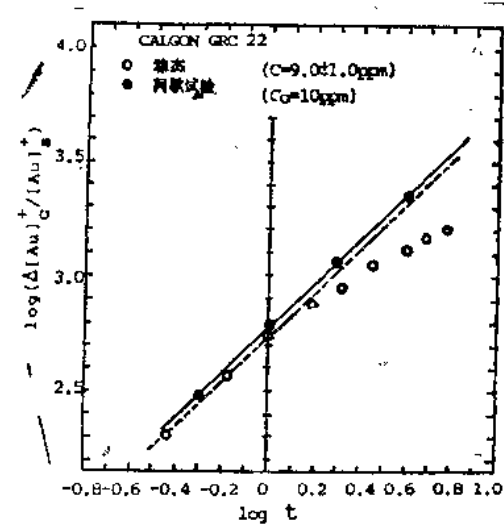


图4 使用Murdoch 方程确定炭动力学活性的曲线(1g炭/L溶液, 瓶转速100r.p.m.)

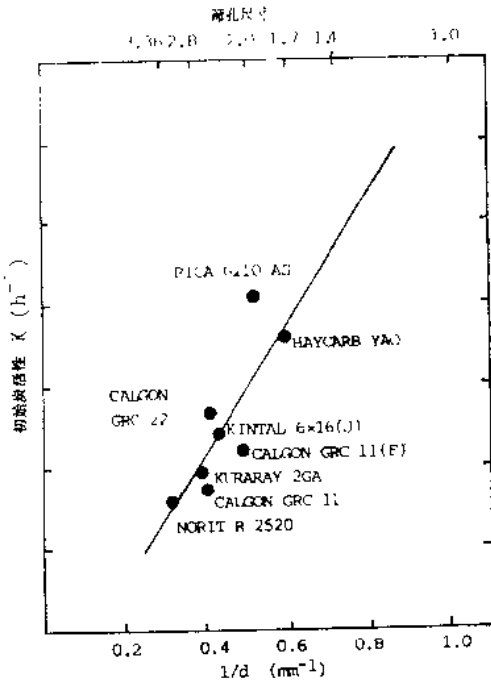


图5 不同炭样的动力学活性与炭平均粒径倒数的关系曲线

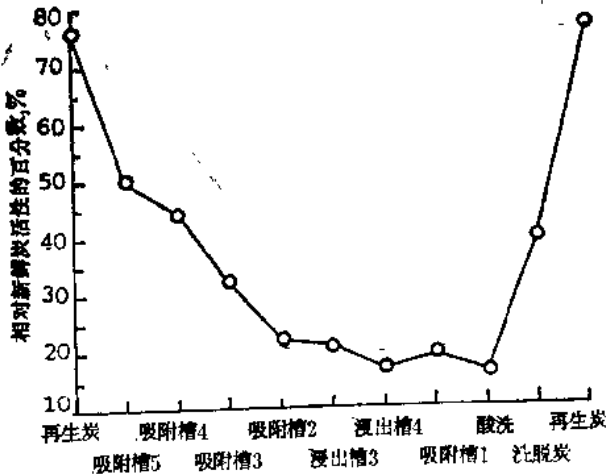


图6 工厂回路中各点炭样的典型动力学活性曲线 (以Calgon GRC 22新鲜炭的活性为基准)

该方程较先前由Fleming和Nicol 提出的方程有更好的线性关系(La Brooy等, 1986), 并且易于评价炭的活性。调查各种工业用炭, 其结果令人吃惊, 炭活性的主要区别取决于炭平均颗粒大小。图5显示出炭的尺寸与活性的直接关系。平均颗粒小的炭较平均颗粒大的炭活性高。

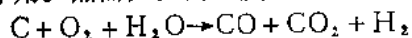
然而, 在所有工业流程中, 每经过一个工段, 活性炭的活性迅速变差, 典型情况如图6所示, 其原因是复杂的。已知, 低PH、较高温度, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 的存

在, 以及颗粒细小诸多因素均能增大炭动力学活性。相反, 过量的 CN^- , CaCO_3 和硅的积累, 黄原酸盐、油类、起泡剂、腐殖酸的吸附, 以及活性点的降解均能降低炭的活性 (La Brooy等, 1986)。至于无机污秽物, 可能会发现, 在高PH下 CaCO_3 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 尤其易被吸附, 并且在低 CN^- 浓度下铜也会被吸附 (La Brooy等, 1984)。硅和铁不可避免地以细石英, 粘土或焙砂而存在, 它们能堵塞炭孔。

用5~10%盐酸洗虽然能除去许多上面所说的污秽物, 但是不能完全恢复炭的活性。La Brooy等 (1986) 最近指出, 有机污秽物危害甚大, 尤其是浮选剂, 起泡剂和腐殖酸。所幸大多数有机废物会在活性炭加热过程中烧掉, 但是有一些需要温度达到750℃才能完全除去。

三、活性炭再生

毋庸置疑, 在再生过程中, 炭的活化温度对除去有机废物和恢复炭活性起着决定作用; 大多数工业用炭没有充分再生 (Hosking和Muir, 1984)。重新活化不仅可除去有机废物, 而且可将炭孔扩大, 并且再生出表面氧化物活性点。但是, 最近的研究表明, 控制温度、加入的水或蒸汽及盐量是重要的 (La Brooy等, 1986; AMIRA Avraamides等, 1987)。该过程的主要反应是水煤气反应, 温度高于800℃反应迅速, Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 对反应有催化作用。然而, 炭的温度也决定了所生成的功能团类型。



通过适当掌握关键参数, 使得改进的回转窑, 以及电阻炉 (Rintoul) (Cole, Von Broembsen和Laxen, 1986) 和管式竖炉 (Anon, 1986—Mining Monthly Sept.) 不断发展。目前, 大多数提金厂使用回转窑, 它控制炭温有困难。炭温随着同炭一起加入的水多少而变化。所以Avraamides等 (1987) 比较不同回转窑的操作情况是很有意义的。

洗 脱 研 究

一、载金炭的洗脱

在最近十年期间, 对洗脱过程进行了许多深入的研究, 由于传统的Zadra工艺

表3 载金炭的洗脱工序

工艺方法	洗脱剂	温度℃	时间 (小时)	参考文献
Zadra	1%NaCN 1%NaOH	98	48~72	Zadra, Engel和Heinen, 1952 Adams和Nicol, 1986
加压Zadra	1%NaCN 1%NaOH	140	8~12	—
Arglo	去离子水*	120	8	Davidson和Schmidt, 1985
Duval	20%E ₂ OH 1%NaCN 1%NaOH	95	8~12	Heinen, Peterson和Lindstrom, 1976
Micron	MeOH回流* 或AN回流*	70~100 80~100	6~8 4~6	Muir, Hinchliffe和Griffin, 1985
Murdoch	40%AN/H ₂ O 1~5%NaCN	70	4~6	Muir等, 1985

* 用2~5%NaCN, 2%NaOH预先浸泡活性炭

(Zadra, Engel和Heinen, 1952) 历时几天才能完成, 所以所有的研究都在想方设法对该工艺进行改进。Admas和Nicol(1986)最近对洗脱动力学研究结果表明, NaCN是较NaOH更为有效的洗脱剂, 并且溶液中离子强度高会阻滞金的解吸, NaCN的最适浓度大约为1% (W/V)。

迄今为止, 加压的Zadra, Anglo, Duval和Micron工艺方法业已工业化, 而Murdoch大学设计的一种改进的溶剂洗脱体系还正在发展中。使用各种洗脱剂, 上述所有工艺过程的洗脱时间都不超过12小时(表3)。

Anglo法由于总成本低正逐渐取代Zadra法得到认可, 但是所用的水质对该工艺过程至关重要(Ruane, 1982), 这对于干旱地区更是如此。另一方面, 西澳大利亚Micron法在金的回收阶段经济上有利(见下面), 并且适用于被有机物污染的活性炭。譬如在南非, 这一工艺过程正被装置在提金厂中铂的溶剂萃取回路上。Micron系统(图7)独特的优点是, 使用少于一个床体积的回流溶剂从载金炭上提取金, 并且金富集在蒸馏塔中。

有机溶剂有利于洗脱金的原因是, 它能提高CN⁻的反应活性和稳定溶液中的氰亚金酸盐(图示4)。在Murdoch正是掌握了有关溶剂的丰富的基础知识, 才发现了乙腈较甲醇洗脱金更有效(Muir, Hinchliffe和Griffin, 1985; Muir等, 1985)。

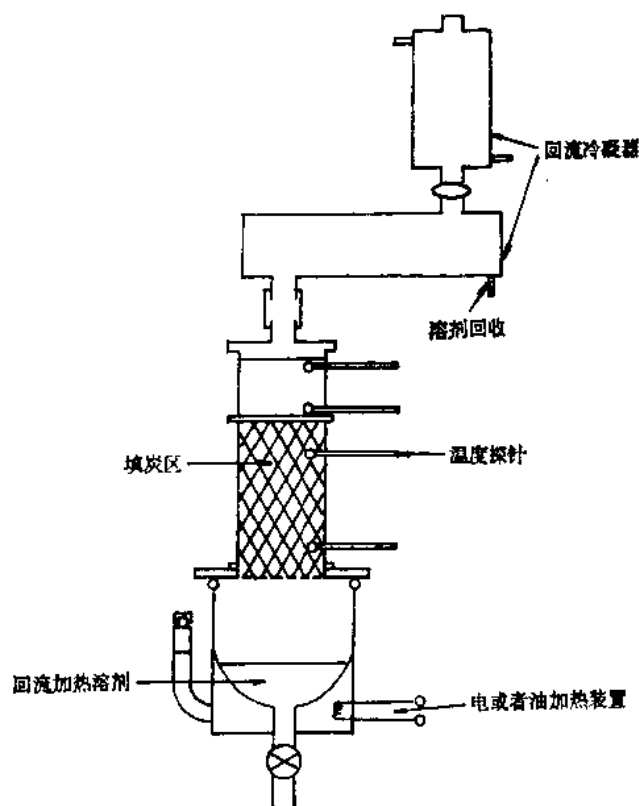


图7 (a) Micron金洗脱装置

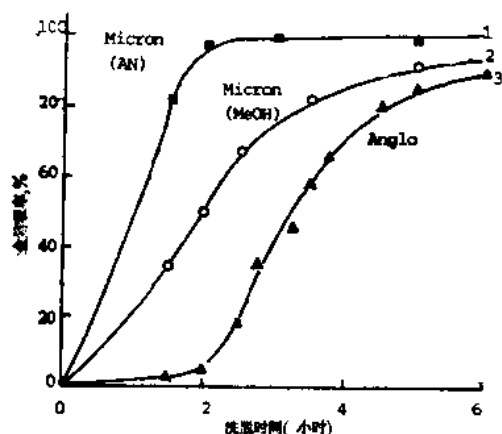


图7 (b) 载金椰壳炭($2060\text{gt}^{-1}\text{Au}$)的洗脱曲线
(取自使用Micron法和Anglo法的W. M. C. Kambalda工厂)(Muir, Hinchliffe和Griffin, 1985)