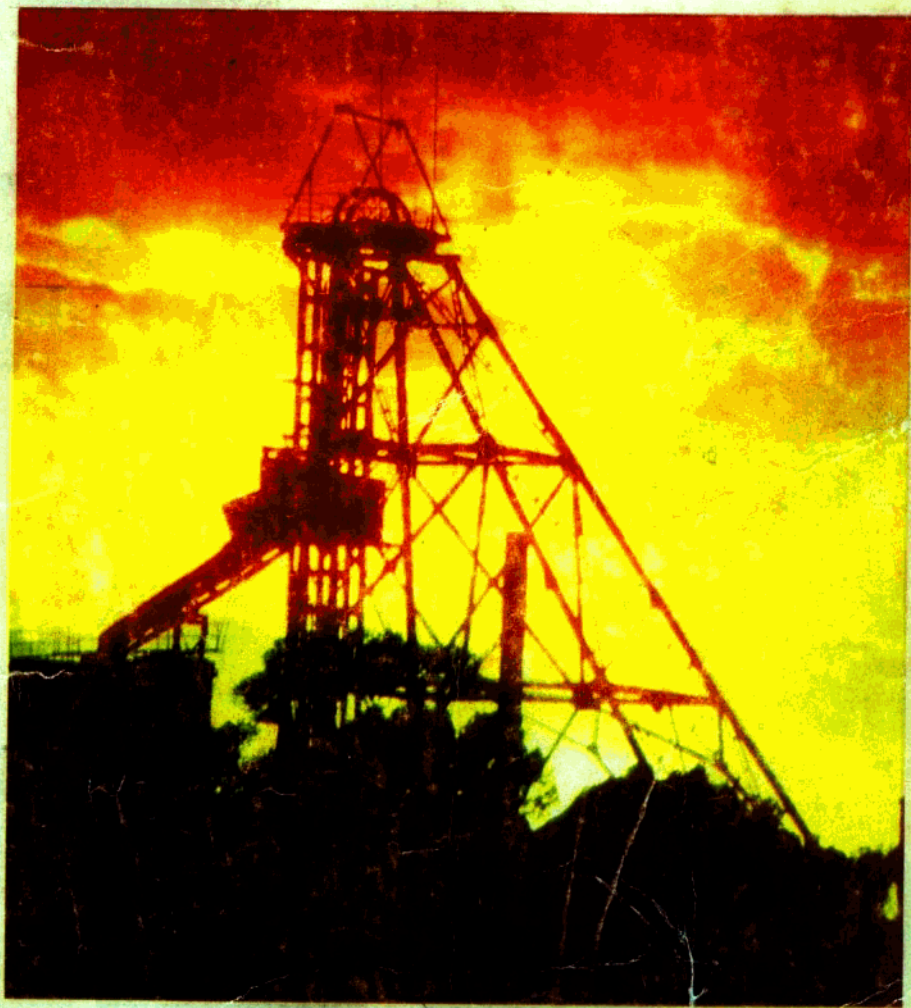


1988黄金技术文集

国家黄金管理局长春黄金研究所编



吉林科学技术出版社

前 言

美国兰道尔国际公司于1988年11月在澳大利亚的佩斯城召开了国际黄金会议。根据国家黄金管理局的指示和要求，我们收集了会议选冶等方面重要论文，共51篇，翻译并编写了《1988黄金技术文集》一书。

全书共分六部分：

一、炭浆、炭浸、树脂法提金；

二、难选矿石的处理；

三、堆浸法；

四、新工艺新技术；

五、氰化化学及污水处理；

六、地质与化学分析。

本书内容丰富，展示了当今国际黄金生产及实验研究中的最新成果，对于了解国外黄金生产现状、研究动向及发展趋势大有益处，并为从事黄金生产、管理、设计、科研等有关人员和大专院校师生提供了有价值的参考资料。

由于水平有限，时间短促，错误和不妥之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

编 者

1990年6月

译校编辑人员

译 校

郭硕朋	田建军	胡宪铭	李 岩	张文胜	张淑兰
麻伯平	李玉敏	谢春生	侯 健	刘清恩	具兹范
郭普今	张百奇	梁晓春	华向宇	刘 杰	郑铁民
梁 敏	金相浩	孙国学	赵国良	薛文平	于牧民
金世斌	吴尚全				

版式设计 何雪妮

总校审 马翠云 张淑兰

责任编辑 张淑兰 赵洪克

目 录

第一部分 炭浆、炭浸、树脂法提金

活性炭上金氯化物的吸附机理	Gloria J McDougall (3)
Aamyr公司的CILO法	Carl L Elmore (7)
$Ku(CN)_2$ 在活性炭上的吸附	W. Jones等 (14)
连续的炭解吸工艺在OKTEDI的应用	AM. Stone, 等 (23)
澳大利亚西部活性炭的污染	S. R. Larooy (28)
CIP工艺中氯化物的损失及炭对氯化物氧化的影响	David M. Muir等 (33)
加压电积提金——解吸回路设计的改进	G. Siddall等 (39)
银金含量比4:1矿石的炭吸附、解吸和电积工艺	
	Michael C. Costello等 (42)
细粒炭在提金工艺中的应用	V. Patrick等 (56)
用Anglo法解吸金时水的节省	S. La Brooy (60)
炭热再生的原理与实践	Jim Avvaammides (64)
Thermex流化床炭再生炉	W. Grimsly等 (67)
在提金工艺中盐水的影响	J. Ariti等 (70)
V912处理精矿的性能——回收金、银及氯化物	Bruece Holein等 (75)
溴化金在选定的几种吸附剂上负载特性	K. J. Reid等 (79)

第二部分 难选矿石的处理

生物浸出法处理难选金矿石的现状	A. Bruyneteyn (89)
用耐高温自养菌的混合细菌对难处理金精矿的氧化处理	
	Jack Barritt等 (92)
奥林匹亚难选金精矿的处理	A. Kntoopoulos等 (96)
采用日本塔式磨矿机处理难选金矿石	Ken G. Baxter (105)
Arseno工艺技术对难处理矿石和精矿的应用	Morris J. Beattie (106)
快速氯化——处理难选含金硫化矿石和含碳金矿石的一种新方法	
	Kenneth A. Brunk等 (112)
津巴布韦KWEKWE焙烧厂的含砷铋金精矿和焙砂的焙烧与 氯化处理	E. S. Makande等 (117)
难处理金矿石的超细磨对浸出提金的影响	Robert C. Dunne (125)

第三部分 堆 浸 法

堆浸场设计的经济影响因素	Donald R. East (131)
--------------	------------------------

粘土聚团作用对堆浸效果的影响	Jonathan H Worstell 等 (134)
雨对堆浸设计的影响	Barry C want (142)
用辊式压力碎矿机提高堆浸回收率	IM, F, sna-Ashar 等 (148)

第四部分 新工艺新技术

应用新型GORE逆流脉冲过滤法从金银含量高的溶液中回	
收金	Gordon R, Smith 等 (157)
煤粉聚金法处理尾矿的半工业试验	C, House 等 (162)
碲金矿浸出的电化学探讨	S, Jayasekera 等 (170)
现代K—工艺技术	O, A, Sehic (173)
金浸出工艺中纯氧的应用	A, K, Arnold 等 (177)
矿石分选在回收金中的应用	Bo Arvidsn (183)
金回收中电解沉积槽的应用	J, Macaulay (189)
索本图Sherritt加压氧化工艺的试生产	T, M, Carvalho 等 (192)
移动式金选厂	Tord Andren (198)
从维特瓦特斯兰德石英脉型矿石中解离金所需的磨碎粒度	
.....	M, Coetzee 等 (206)
微细湿磨法的进展	Gisbert Schall (213)
气流式水力旋流器浮选黄铁矿的新发展	Jannie S, van Dventer (221)

第五部分 氰化化学及污水处理

氰化化学综述	Andrew Griffiths (229)
氰化尾矿的化学处理	W, Staunton 等 (232)
金浸出槽中氰化物的测定	Bernard Corden (235)
DEGUSSA的过氧化物加速浸出 (PAL) 法——一种未来的	
氰化工艺	Jurgen Loroesch (237)
因科SO ₂ ——空气法除氰工艺的工业应用	Eric A, De vuys 等 (242)
在贵金属工艺废液迁移过程中微量元素自然的地球化学净化作用	
.....	Jim, V, Ronse (246)
Golconda公司的Beaconfield金矿从含金尾矿中再生氰化物的实践	
.....	Michael J, Kitney (252)

第六部分 地质与化学分析

西澳大利亚采矿业中高 TDS 水的评价	Timothy W, Trofe 等 (261)
环太平洋地区的黄金资源及其增长	Roy Cox 等 (269)
腊杆菌细菌找矿方法	NaucyL, Parduhn (286)
黄金分析中的溶液萃取	Barry Price (290)
微量金分析方法综述	J, W, Hosking 等 (293)

第一部分

炭浆、炭浸、树脂法提金

活性炭上金氰化物的吸附机理

Gloria J. McDougall

摘 要 尽管使用活性炭回收金在工业上具有重要意义,但从1913年起,活性炭吸附提取 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 离子的实际机理一直是一个有争论的问题。

最近,主要因为使用简单体系,如使用聚合吸附剂和溶剂萃取剂来模拟活性炭对 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的吸附,已发展为一种较为统一的吸附理论。本文着重介绍这方面的进展情况。

前 言

1913年以来,不少研究人员对活性炭从水溶液中提取 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的机理作了大量的研究。虽然活性炭用在炭浆(CIP)工艺和其他回收金的方法中具有重要的工业意义^[1],但有关提金机理仍未能取得一致意见。另一方面,从氯化介质中吸附金以及金在炭粒表面上的吸附,却显而易见是根据还原机理进行的。

在较大程度上,这些意见上的分歧可能是由于活性炭不适合于直接采用诸如X射线衍射、红外线及紫外线可见光谱法进行研究的缘故。曾对不同活化条件下,用各种原料生产出的不同种类的活性炭,以及在不同试验条件下,对吸附有 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 离子的载金炭进行了研究,这种研究是十分复杂的。这样,由于炭的种类和所使用的试验条件的不同,吸附机理就有可能不一样,不可能排除某一方面。

然而,对于这个问题由于采取了有效的研究手段,即在简单的研究体系中使用聚合吸附剂和离子偶溶剂萃取剂、来模拟金氰络合物在活性炭上的吸附作用^[2~4],现今对于吸附机理已有了一个较为清楚的了解。这种研究工作表明,在吸附过程中,吸附作用最初是离子偶机理,这个结论已为Adams和Fleming进一步的研究所证实^[5]。本文的目的是介绍这种最近提出的吸附机理,并用它来解释那些已发表的、表面上看起来有分歧的一些理论。

对现已提出的各种机理的评论

1981年McDougall和Hancock已对所发表的有关文献资料作了极为重要的评述^[6]。最近,McDougall和Fleming也进行了这项工作^[7],并得出这样一种结论:在典型的炭浆(CIP)条件下,吸附最可能是以离子偶机理进行。虽然多年来提出过多种吸附机理,但归纳起来这些理论有下列几种:

1. 亚金氰化物离子偶的吸附。这种离子偶为 $\text{M}^{n+}(\text{Au}(\text{CN})_2^-)_n$,其中 M^{n+} 是表示任何一种阳离子;

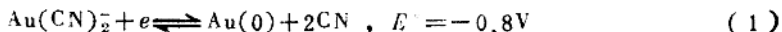
2. $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 阴离子的吸附;

3. 亚金氰化物的吸附和 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 分解为 AuCN ;

4. 亚金氰化物的吸附和金(Ⅰ)还原为金属金或还原为零价和Ⅰ价之间的部分还原状态。

在正常的碱性或酸性提金条件下,机理2和4与下列论证是相矛盾的:

经测量活性炭的还原电位充其量在 -0.1V 左右(相对于SCE),因此,反应(1)在电化学上是不可能的。



另一方面,如果炭吸附 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 阴离子是通过离子交换机理,或是通过静电的相互作用,那么在溶液中就应当有其它阴离子(如 ClO_4^- 离子)和 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 阴离子同时存在,这样就会随同 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 阴离子一道共同被提取出来,从而妨碍金的提取。然而试验表明,与单纯的离子交换行为不同,溶液中的 ClO_4^- 阴离子对金的提取只有很小的影响^[8]。

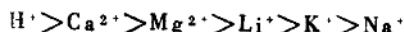
影响活性炭上金氰化物吸附的关键因素

许多学者对活性炭上 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 吸附的影响因素作了研究,并研究提出了各种模拟于吸附过程动力学方面的数学模型。但本文仅侧重介绍有关提取机理,以及那些可能被接受的机理方面的研究结果。这些主要的研究结果是:

1. 吸附介质的pH:金的吸附明显地与pH有关,在酸性条件下,吸附强烈地增加。

2. 吸附温度:吸附反应是放热的(-42kJ/mol),因此,随着温度的提高,金的吸附强烈地减少。这种性质已有效地应用于洗脱工艺中。

3. 离子强度:吸附介质中存在的阳离子种类对吸附能力有着显著的影响,其作用或下列顺序:



4. 其它阴离子的竞争吸附:吸附介质中其它金属氰络合物的存在,对金氰络合物的吸附有着明显的抑制作用。然而小的无机离子的影响是不明显的,但强碱的阴离子、 CN^- 和 OH^- 却有着较大的不良作用,这种有害作用是由于 OH^- 和 CN^- 阴离子与炭的表面起反应,使炭变得更为亲水,这就导致炭的表面对中性的离子偶产物具有较低的亲合力^[4, 5]。

5. 中性分子的竞争吸附:吸附介质中,中性有机分子的存在妨碍着金的吸附,这种影响在同系物中更为明显。中性的无机分子如 $\text{Hg}(\text{CN})_2$ 对金的吸附能力也具有明显的不良影响^[8]。这些研究结果是同下列理论相吻合的:金不是通过离子交换作用,也不是通过静电力的作用机理被提取的。

6. 活性炭的性质:只有那样一些在高温氧化条件下产生出的炭才显示出对金的效率。这类炭具有半导体性质和普遍地被石墨化。化学性质上,活性炭虽具有较为发达的微孔体系和适当高的表面积,但对金氰化物的提取并不太有效,这类炭没有被石墨化和不具有半导体性质或氧化还原性质^[4]。

其它重大的研究

结合活性炭上金氰化物的吸附, 对其它重要问题亦作了研究, 现着重介绍如下:

载金炭的元素微量分析

酸性和碱性条件下, 吸附金氰化物的载金炭的元素微量分析表明, Au与N之比取决于: ①吸附时的pH, ②炭上存在的金的数量。一般而言, 在碱性条件下和低的载金量时, Au:N约为1:2, 说明炭内存在着 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 离子。另一方面, 在酸性条件下特别是载金量很高时, Au:N大约为1:1, 这可能是因为 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 离子转变为 AuCN 的缘故^[5, 8]。

X-射线光电光谱分析

对酸性和碱性条件下载有金氰化物的载金炭的一种广泛的X-射线光电光谱分析表明, 炭上金的氧化态处在金(0)和金(1)之间, 并且它与金的提取条件无关^[8]。

洗脱行为的研究

由于氢氧化物离子与金不能生成稳定的络合物, 因此氢氧化钠溶液不能从含有不溶状态的 AuCN 的炭上洗脱出金。Adams和Fleming最近发表的著作表明^[5], 对于碱性条件下载有 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的炭来说, 金能以 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的形态可逆地进行洗脱。然而, 酸性条件下载金炭的洗脱效率却稍低, 并且是随着载金量的增加而降低的。在这些条件下表明炭上存在着 AuCN , 这些结果与元素微量分析结果相吻合。

模拟体系

为了进一步弄清炭上吸附金的机理, McDougall、Adams和Hancock设计了一系列的试验^[2~4], 以便确定离子偶 $\text{M}^{n+}(\text{Au}(\text{CN})_2^-)_n$ (它作为吸附机理的一部分) 形成的重要性。选用了一种聚合的、带有苯酚甲醛官能团的树脂S761吸附剂和1-戊醇溶剂萃取剂作为模拟体系, 因为它们的表面官能团与那些已提到过的炭的情况很类似。

1A和11A基团阳离子对 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 的提取具有相似的影响, 将这类体系和活性炭吸附进行比较, 其结果示于图1至图3中。

从图中可以看出, 这三种体系具有相似的提取特性和分布系数 $\log D$ 强烈地依赖于阳离子的性质。活性炭上 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 离子的吸附, 离子偶起着关键作用。有关生成的各种不同类型的离子偶的详细资料, 可参阅原来的一些文献出版物。

此外, 这种模拟体系也显示出在温度和pH的影响方面类似于炭的行为, 在选择顺序上也是一样, 金氰化物比银氰化物能更

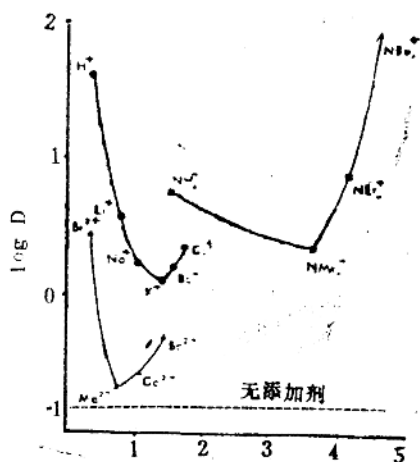


图1 阳离子性质对水和1-戊醇(10A = 1nm)中 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 分布的影响

强烈地被吸附。根据温度升高时离子偶有较高的溶解度这一点，就能很好地说明温度的影响，这样就造成它们的吸附率较低。在强碱条件下，苯酚官能团的电离就会形成带负电荷的表面，介质环境的特点则是具有一个较高的有效介电常数，这样就可对在碱性吸附条件下，S761聚合吸附剂以及炭对中性的金氰络合离子偶显示出较低的亲和力这种现象加以解释^[4]。

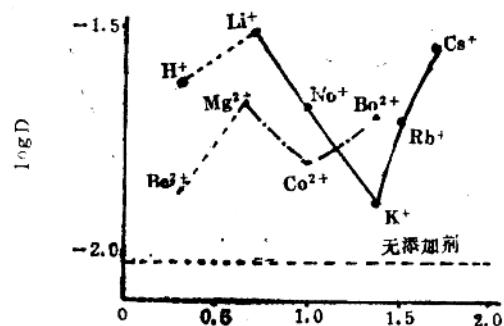


图2 1A和11A基团阳离子对使用S716聚合吸附剂 (10Å = 1nm) 提取Au(CN)₂的影响

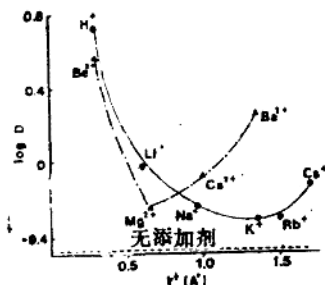


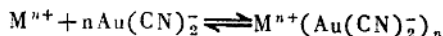
图3 1A和11A基团阳离子对使用Norit R2020活性炭吸附Au(CN)₂的影响

活性炭上金氰化物吸附机理的最新见解

为了采纳本文所列举的各种研究结果，就必须假定存在这样一种涉及二段或三段吸附的机理，这种机理与吸附介质的pH及炭上金的荷载有关。

阶段1：

第一阶段涉及在炭的内表面上中性离子偶的吸附。即：



在碱性条件下，Mⁿ⁺是指Na⁺、Ca²⁺等，而在酸性条件下，被强烈提出的是这种离子偶H(Au(CN)₂)或它们的二聚物。

阶段2：

一旦离子偶吸附在炭的内表面，假设发生了伴随炭的石墨区产生的11-电子向金原子的迁移，也就是(图4)：

这种电子迁移能对载金炭中存在金时所观察到的颇为奇特的氧化态(0.3)加以解释，并且它经由炭向金属氰络合物的迁移成下列电化学顺序：

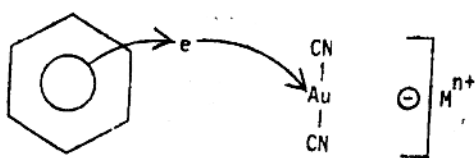
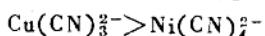


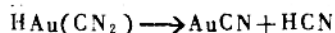
图4

其他的组分明显地与金属阴离子络合物同提

取液中存在的阳离子作用生成的离子偶的性质及溶解度有关。

阶段3：

在酸性条件下，尤其是当有高的载金量时，离子偶离解成不溶的AuCN₄



(2)

往吸附介质中鼓入氧对金的吸附起着有利的作用,这一点可通过吕·查德原理加以解释,这是因为氰化物被氧化成氰酸盐而使HCN除去,并最终生成游离的二氧化碳,这样使得反应(2)朝正方向移动。

参 考 文 献

- 1 McDougall, G. J. and Hancock, R. D. (1980). "Activated Carbons and Gold-A Literature Survey". Minerals Sci. Engng., Vol. 12, No. 2, April 1980, pp 85-102.
- 2 McDougall, G. J., Adams, M.D. and Hancock, R.D. (1987). "Models for the Adsorption of Aurocyanide onto Activated Carbon. Part I: Solvent Extraction of Aurocyanide Ion Pairs by 1-Pentanol." Hydrometallurgy, Vol. 18, 1987, pp 25-133.
- 3 Adams, M.D., McDougall, G.J. and Hancock, R.D.(1987). "Models for the Adsorption, of Aurocyanide Onto Activated Carbon. Part II: Extraction of Aurocyanide Ion Pairs by Polymeric Adsorbents." Hydrometallurgy, Vol.18, 1987, pp 139-154.
- 4 Adams, M.D., McDougall, G.J. and Hancock, R.D. (1987). "Models for the Adsorption, of Aurocyanide Onto Activated Carbon. Part III: Comparison between the Extraction of Aurocyanide by Activated Carbon, Polymeric Adsorbents and 1-Pentanol." Hydrometallurgy, Vol. 19, 1987, pp 95-115.
- 5 Adams, M. D. and Fleming, C. A. (1988). "The Mechanism of Adsorption of Aurocyanide onto Activated Carbon Accepted for Publication in Metallurgical Transactions, B.
- 6 McDougall, G.J. and Hancock, R.D. (1981). "Gold Complexes and Activated Carbon - A Literature Review." Gold Bull., Vol.14, 1981, pp 138-153.
- 7 McDougall, G.J. and Fleming, C.A. (1987). "Ion Exchange and Sorption Processes in Hydrometallurgy, Street and Naden (eds.)." Society of Chemistry and Industry, Wiley, Chichester, 1987, pp.56-126.
- 8 McDougall, G.J., Hancock, R.D., Nicol, M.J., Wellington, D.L. and Copperthwaite, R.G. (1980). "The Mechanism of the Adsorption of Gold Cyanide on Activated Carbon." J.S. Afr. Inst. Min. Metall., Vol. 80, 1980, pp. 344-356.

郭 硕 朋 天 野 译 校

Kamyr公司的CILO法

Carl. L. Elmore

摘 要 简单地说, CILO法和典型的CIP法相比,其主要优点是: 无须单独的浸出系统; 氰化物消耗低; 工艺过程中金属在系统中的积存量较少; 以及可减少由于贵液损失而造成的金损失。

和典型的CIL系统相比, CILO法的优点是可以使槽的大小减少到为原先的四分之一至五分之一; 可减少由于炭磨损而造成的金损失; 氰化物的消耗较低; 可减少金的滞留(tie-up)和炭的积存。

虽然该法需要充氧的矿浆,但对于一种常用矿石而言,在有效的设计系统中,1吨矿石所需氧的费用估计不会超过几分钱。

该法已申请专利,目前已准备全面应用。

本文叙述的是金矿石氰化方面的一种新的进展。我们期待这一新的进展能导致多种金矿石处理方法上的改善。这种新的工艺方法通过Kamyr公司Hazen研究中心的研究已有所发展。简单地说,这是一种在炭浸(CIL)过程中使用氧,而不是使用空气的提金方法。我们将这种适用于氰化浸出处理各种矿石的改良方法称之为加氧炭浸法,或称之为CILO法。

对北美和南非9种金矿石和尾矿试样,采用CILO法进行实验室研究的结果表明,在每一种情况下,金的浸出速度大约是传统炭浸(CIL)处理的4.8倍。相反,不出所料,在CILO试验中氰化物的消耗却明显地少于常规CIL试验中的消耗量。所需氰化物浓度不增加,约为0.3g/L,在南非的生产实践中通常也是采用此浓度。此外,还发现在氧浓度增加的情况下,炭的载金量至少能达到常规炭浆法那样的指标。为证实这一点,南非正在进行半工业性试验。

与现行的氰化工艺相比,CILO法显示出了十分明显的优越性。一个典型的现代氰化厂可设计成带有6个大型的搅拌浸出槽进行氰化浸出24h,随后是6h吸附。在使用CILO法时,就可以完全不用这6个大的搅拌浸出槽,而采用6个小型槽来取代它们。就是说,金的浸出和吸附可以单独在常规炭浆工艺所使用的槽中同时进行。这种方法中每吨矿石所需氧的费用也很少。

我们认为,CILO法能大大改善世界各地氰化工艺的技术经济效果,而且可将这种方法用在设计新厂和现有工厂的改造上。使用这种新工艺能减少基建投资和生产费用,或增加工厂的生产能力,或提高金的回收率,或同时获得上述各种好处。这种方法已申请专利。

基 本 情 况

CILO法的提出最初是在Kamyr的逆流浸出柱中,为了提高金和银的溶解速度而着手研究使用氧的可能性开始的。有关增加氧的压力对氰化过程动力学的影响这方面的研究,在以前的文献中有过评述。文献中提到,常压下,氧在水中的溶解度约为水同氧和空气接触时的4.8倍(即水同氧接触时氧的溶解度是水同空气接触时氧溶解度的4.8倍)。而且大多数情况下,如果氰化物足够时,金的溶解速度大致与氧的浓度成正比。

虽然对氧的作用多年来已经有所了解,有关这方面的论文也发表过不少,但是大规模的工业使用氧来改善氰化过程的动力学,在本方法提出之前,似乎还很少有人提出,即使有也见之甚少。使用氧可能出现的障碍涉及到钝化作用的问题,在有氧存在的情况下,氰化物的消耗可能增加,或者是增加氧的费用。然而,这些问题在我们的试验中并未明显地发现。事实上,通过对比试验,使用氧时氰化物的消耗有明显的减少。

正如下面所述,Hazen进行的有关使用氧而不是使用空气的试验出人意外的在1985年初期取得了进展。我们相信,这种称之为CILO的新工艺方法,将会有效地改进氰化工艺。

实验室试验

最初的CILO试验

为了研究充氧矿浆中的氰化浸出，曾对3个南非矿样进行了滚瓶试验，随后是炭浆法吸附金。将这些矿样在氧气氛中浸出6h，然后加入炭并使滚瓶滚动试验4h时，在这4h的炭浆处理过程中仍保持氧气氛。

这些试验结果很有意义，象下面概述的那样，试验结果表明，金的浸出率比早先进行的24h常规氰化浸出试验所获得的要高。

试 验 号	1	2	3
时间 (h)	6	6	6
炭 (g/l)	20	10	0
浸渣 (g/l)	0.79	0.65	0.75
金的浸出率, (%)	88.9	91.6	89.0
氰化钠消耗, (kg/t)	0.13	0.09	0.03

然而，出乎意料的一个更为有意义的现象是，氰化物的消耗低于常规试验中的消耗量，即使常规试验的炭浆过程是在氧气氛中和具有较高的炭浓度下进行，情况也是如此。何况有关炭催化氧化氰化物的文献也曾认为，在上述条件下可能会增加氰化物的消耗。

这些试验所提出的这种新工艺，虽然同我们以前的试验有较大的偏离，但似乎为我们提供了一种高效方法，也就是在常压或高压下于氧饱和的矿浆中可直接炭浸氰化金矿石。

据我们所知，在金的浸出和活性炭吸附的同时使用氧（而不是空气），先前还未曾有过这方面的实践和披露。这种联合作用的试验还未清楚地进行过，因为有关氰化物氧化的文献曾指出，在这种系统中，由于炭催化氧化作用，氰化物将会迅速地消耗掉。

CILO法与常规炭浸法 (CIL) 的比较

为了查明CILO法的一般适用范围，对大量来自美国、加拿大和南非的金矿石和金-银矿石进行了对比试验。试验的标准条件是：矿浆浓度45%，起始氰化钠浓度为0.3g/L、最初的pH值为11。所有的试验都是在回转瓶中于当地的气压（12.2bf/in²）下完成的。对矿样进行了不同的磨矿，但对于一种矿样都在同一粒度下进行了对比试验。

试验结果概要地列于表1中。在每一种情况下，经5h CILO法处理所获得的金回收率与24h常规CIL法处理结果大致相同，而且在使用尾矿试样进行试验的情况下，20h CILO处理结果与96h的CIL的处理结果金回收率相同。采用氧所获得的金回收率被认为是矿浆中存在的氧所引起，而矿浆在试验以前氧并没有起作用，因此在试验初期溶液未完全被氧饱和。这些试验结果证实早先的见解具有普遍的适用性。这种见解是：当

溶液中存在有足够的氰化物时,金的浸出速度与溶液中氧的浓度成正比。

在CILO试验中的氰化物消耗明显地减少。使用CILO法所需氰化物的消耗量还不到炭浸法试验的一半。这种较低的氰化物消耗可能是因为处理时间短和溶液中的二氧化碳减少的缘故。人们知道,空气中的CO₂在使用充气搅拌进行常规氰化时是造成氰化物消耗的原因之一。为了使该方法中的氰化物消耗减少到最小程度,必须使pH保持在11或者更高的水平,因为炭-催化氧化氰化物的作用,明显地是随pH值降低到11以下而有所增加。

采用矿石试样所进行的上述CILO试验的处理时间是5h,将其与24h的CIL试验进行了对比。

为了进一步查明时间的影响,还进行了一系列补充试验,试验情况概述如下:

浸渣分析表明,在5h至7h的范围内,CILO法金的回收率明显增加。然而,由试验2和试验4的(处理时间均为6h)比较表明,供入空气和充氧的结果有明显的不同。

试 验 号	1	2	3	4
气 氛	O ₂	O ₂	O ₂	空气
时间, (h)	5	6	7	6
浸渣中金, (g/t)	0.75	0.69	0.55	2.30
金回收率, (%)	89.5	89.4	92.0	70.0

表 1 CIL和CILO试验比较 (相对时间系数为4.8)

矿 样	浸出时间 (h)		金回收率 (%)		NaCN消耗 (g/t)	
	CIL	CILO	CIL	CILO	CIL	CILO
矿石A	24	5	90.2	89.5	65	15
B	24	5	95.4	95.7	60	10
C	24	5	90.1	89.6	100	25
D	24	5	79.4	76.8	145	80
E	24	5	83.1	78.4	240	160
F	24	5	79.0	84.2	260	190
G	24	5	59.1	61.9	90	20
H	24	5	98.3	97.2	205	10
尾矿A	96	20	68.1	68.3	260	130
试验平均值		20	82.5	82.5	160	70

CILO另一个可能的应用是为了提高金的回收率,而不是为了减少处理费用。如果使用象常规CIL法中相同的处理时间,若常规炭浸时间增加4.8倍,那么就可以获得相似的结果。由此可见,在相同的时间内就能更接近于最大的金回收率。曾采用3个南非矿石试样和1个加拿大尾矿试样进行了上述试验。

一系列CILO试验结果概要地列于表2。不出所料,当采用常规CIL法处理时间,进行同样时间的CILO法处理时,在每种情况下,都能获得最高的金回收率。

表 2 采用常规浸出时间用CILO法处理时回收率的提高

试 样	处理方法	处理时间 (h)	金回收率 (%)
矿石 A	CIL	24	90.2
	CILO	5	89.5
	CILO	24	93.1
矿石 B	CIL	24	95.4
	CILO	5	95.7
	CILO	24	98.1
矿石 C	CIL	24	90.1
	CILO	5	89.6
	CILO	24	91.6
尾矿 A	CIL	96	68.1
	CILO	20	68.3
	CILO	96	74.2

氰化物浓度的影响

普遍认为只有当溶液中氰化物离子和氧之比超过某一个临界值时, 氰化速度才与氧的浓度成正比。显然, 正象上述 CILO 试验中有效地采用了这种浓度那样, 当试验是在当地气压 (12.2bf/in²)、溶液被氧饱和的情况下进行时, NaCN浓度为 0.3g/L 已是足够的了。

采用南非矿石试样A和NaCN浓度为0.2g/L进行了两次相同的CILO 试验。试验结果概述如下:

试 验	1	2
时间 (h)	6	6
浸渣 (g/t)	0.75	0.75
金回收率 (%)	90.5	90.1
NaCN消耗 (kg/t)	0.06	0.06

NaCN0.2g/L时所获得的金回收率与 NaCN0.3g/L 时所获得的结果相近似。虽然在实践中氰化钠的起始浓度尚不能减少到0.2g/L, 但上述结果却表明, 对于含饱和氧的矿浆NaCN0.3g/L是在临界值之上, 因而是稳妥可靠的。

炭 浓 度 的 影 响

为了查明炭浓度对氧饱和矿浆中氰化物的消耗和金回收率的影响, 对矿石A 进行了三组试验。试验是在矿浆浓度45%、NaCN起始浓度为0.3g/L 的条件下进行, 试验情况及结果概述如下:

试 样	矿石 A	矿石 B	矿石 C
浸渣 (g/t)	0.58	0.14	0.51
金的回收率 (%)	92.0	94.7	89.8
NaCN消耗(kg/t)	0.08	0.16	0.13

这些试验结果表明, 尽管氰化物的消耗明显与炭的浓度有关, 但在所有情况下, 这

种影响是不大的。

虽然在回收率方面差别不大，但却显示出当使用炭时可获得最高的回收率，但这时浓度是较低的。这种情况可以有两种解释：（1）和没有炭的情况相比，低的炭浓度试验在溶液中金的浓度保持很低的情况下进行，因此，加大了金进入溶液的驱动力和使得浸出液中金的任何可能有的损失降低到最小程度；（2）和较高的炭浓度相比，这种低的炭浓度试验可以保持较高的氰化物浓度（因为炭的催化氧化作用较少），因而浸出速度增加。

炭浸出的效果

单级炭吸附效果的试验表明，金或银在炭上的吸附没有明显的差别，这是由于溶液中的氧浓度增加的缘故。

耗氧矿石的效果

在南非，为了回收残留的金，常将尾矿坝的尾渣重新处理。这种尾渣可能含有某些耗氧的物料，它使得矿浆中溶解的氧减少和氰化效率降低。

针对这类矿石进行CICO中间工厂浸出试验，试验结果是金回收率明显增加。我们认为金回收率的提高是由于多种因素造成，包括有机物的氧化、炭的污染减少以及由于有较高的已溶氧的浓度，而使得金的溶解速度普遍提高。

工业过程的应用

在Hazen实验室所进行的试验已证明了CICO法的工艺有效性。为了证明该法在工业上应用的可能，现今正在南非的一个选金厂进行中间工厂试验，初步试验结果表明，所取得的中间试验结果与实验室的结果相似。下一节将对工业应用时的工艺条件加以讨论（不包括该工艺方法可能有的特殊应用）。

工 艺 条 件

图1所示为具有代表性的CICO工业装置流程图。需要保持矿浆中的氧接近于饱和状态，以及在处理过程中最少的使用氧，以得到最佳的效益。

试验表明，由于保持氧气氛和氧是从靠近槽的底部供入，矿浆在第一个CICO槽就能迅速地被氧化。依靠喷射器或空压机，能使大部分喷入的氧从槽顶返回，而少部分可以由氧的贮槽来补充。从第一个CICO槽的顶部排出的气体应被提供用来检验槽内空气中氮的情况（根据经济情况，为了除去大部分氮，可以在进行CICO处理前将矿浆抽成真空，这样就能减少脱氮的需要）。

在以后的CICO槽内只是为了保持必要的氧气氛，或者为了使每个槽完全充满矿浆。根据我们对多种矿石进行的试验结果，在大多数情况下，浸出过程中氧的消耗是不大的。

估算表明，氧气的费用不是重要因素。假定每分钟供入35磅氧气使溶液饱和，同时考虑到气体的抽出（为了脱除氮）和其他损失，实际使用的是这个数量的两倍，也就是