

HUANGJINKEJICHONGSHU
黄金科技丛书

堆浸提金新进展

DUIQIN TIJIN
XINJINZHAN

国家黄金管理局长春黄金研究所

1990 · 11

堆 浸 提 金 新 进 展

国家黄金管理局长春黄金研究所

1990年 长春

编 者 的 话

为了及时提供最新堆浸技术信息，促进堆浸提金技术的发展，在国家黄金管理局科技处的大力支持帮助下，国家黄金管理局长春黄金研究所组织编辑出版了这本《堆浸提金新进展》。

本文集共收入译文33篇。内容主要围绕科研、设计、生产等几方面，报道了堆浸提金技术的最新进展。

成书过程中，得到了国家黄金管理局马翠云同志的支持与指导，在此谨致谢意！

限于水平，加之时间仓促，书中欠妥和错误之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

1990年9月

本书译校编辑人员

总 审 校

郭硕朋

译 校

黄孔宣 张兴仁 许鹏秋 陈 迟 郭硕朋

责任编辑

郭硕朋 赵洪克

版式设计

何雪妮

内 容 简 介

本书内容主要包括近年来国外在堆浸提金技术上所取得的进展，并从试验研究、工艺设计、生产实践等几个方面加以报道。内容丰富，对了解堆浸提金发展动向和促进堆浸技术在我国黄金生产中的应用大有裨益。

本书对从事黄金工作的科研、技术、生产人员具有阅读和使用价值，亦可供领导及有关院、校的师生参考。

目 录

试 验 研 究

添加氧对金矿堆浸影响的研究	C. M. Kenney (1)
在尾矿区构筑堆浸场的研究	W. J. Attwooll (10)
地膜土壤界面的承压试验	L. A. Hansch (15)
地膜土壤界面的剪切试验	J. D. Deatherage等 (23)
就地浸出矿井完整性试验装置	J. K. Ahlness (29)
润湿剂提高堆浸金回收率	J. S. Roti等 (34)
金矿堆浸中润湿剂的作用	J. R. Arnord等 (41)

工 艺 设 计

金尾矿坝和堆浸场粘土衬垫的设计与构筑	J. P. Hail等 (48)
堆浸场衬垫装置的设计依据	J. D. Welsh (54)
堆浸场衬垫的设计	J. H. Worstell等 (57)
堆浸场设计依据	G. H. Beckwith等 (64)
化学改良土壤衬垫的设计	M. E. Smith等 (74)
堆浸设计中的边坡稳定性问题	T. G. Harper等 (83)
堆浸物料不稳定性的潜在因素	R. T. Tape等 (92)

生 产 实 践

Getchell 金矿堆浸半堆浸物料	J. W. Smith等 (96)
Coeur-Rochester 金矿堆浸液滴淋	A. L. Wilder等 (99)
Coeur-Rochester 金矿堆浸液的管理	P. A. Anderson (104)
Haile 金矿石的制粒	S. E. Phifer (108)
制粒矿石在堆浸矿堆中的工艺性质	D. T. Kinard (111)
陡坡上堆浸场的构筑	N. C. Shaver等 (119)
加拿大冬季堆浸金	K. R. Suttill (123)
投资效果好的尾矿池和堆浸场衬垫	M. W. Cadwallader (126)
Alligator Ridge 金矿提高矿堆高度的可行性评价	C. Strachan等 (132)
堆浸金回收率与矿堆高度的关系	A. Ruzyscki等 (145)

其 它

脉冲振动槽浸法	D. A. Macki等 (151)
---------	--------------------

沥青混凝土堆浸场.....	G. H. Beckwith等(159)
浸染金矿就地浸出的地质因素.....	J. G. Wargo(164)
选择堆浸场衬垫的最佳方法.....	D. R. East等(167)
堆浸和百年的洪水.....	M. Irish(174)
Aurosave吸附法的应用.....	B. E. Holbein等(181)
处理尾矿的Cyanosave法.....	R. D. Elvish等(189)
使用吸附剂V912回收氰化物.....	D. Kidby(195)
和炭相比V912的优点.....	D. Menne(201)

添加氧对金矿堆浸影响的研究

C. M. Kenney

Hazen为Kamyr公司完成的氰化柱浸试验的结果表明,氧对加利福尼亚州低品位金矿(1.3克/吨)堆浸有好的影响。制成粒度为25.4毫米的矿石粒在直径14厘米、高1.8米柱内进行了6个柱浸试验。把氧喷入4个柱内,其中2个柱加盖,剩下的2个柱不加盖,也不喷氧。氰化物溶液通过浸出柱34天,紧接着用水洗涤2天。柱浸试验结果总结如下:

时间 (天)	金平均浸出率 (%)	
	氧	空气
7	79	68
15	86	76
28	90	81
36	91	82

为了确定对其它矿石的影响和对特殊堆浸添加氧的经济性,虽然还需要试验和进一步研究,但是,在目前研究中证明的趋势是令人鼓舞的。

提 要

试验中发现用富氧空气金浸出的速度比用空气的有很大提高。

在滚瓶试验中,用氧和用空气进行24小时的试验,约浸出95%的金。在用空气的6小时浸出试验中,仅浸出金87.9%。在同样时间内,用富氧空气进行浸出试验,金浸出率达93.3%。因此,氧增加金溶解的速度,但不影响最终回收率。

在 $\phi 14$ 厘米柱内的柱浸试验中,用氧也提高金浸出率。浸出36天后,用氧的4个柱的浸出率在89.4~92.3%之间,平均为91.1%,而用空气的两个普通柱浸试验的金浸出率仅为78.2%和85.4%之间。虽然在大部分柱浸试验发现了间断渗滤问题。但是,仅3天以后,已确定了金浸出率的趋势。浸出15天以后,充氧的柱的金浸出率平均为86%,而采用空气的普通柱的金平均浸出率仅为76%。

加盖和不加盖的充氧柱之间金浸出率没有多大差别。但是后来柱内气体分析表明,空气渗透到加盖的柱内。所有试验的氰化钠消耗量小于0.23公斤/吨,与普通柱相比,充氧柱的氰化钠消耗量稍低一些。

用各种料液和矿石进行了几个小规模 $\phi 2.5$ 厘米的渗滤试验,以进一步研究在 $\phi 14$ 厘米柱内进行的几个柱浸试验中遇到的几个渗滤问题。虽然试验结果一般无结论,但是,用制粒矿石和用氢氧化钠控制料液pH值的柱浸试验中发现渗滤最好。这些是在 $\phi 14$ 厘米柱试验中采用的条件。

试样说明和制备

1986年9月22日 Hazen 研究公司收到加利福尼亚采矿公司20吨矿石，最大粒度15厘米。该公司目前正从事堆浸生产。刚收到的矿石用抓取法取样的粒度分布列于表1。用250×500毫米鄂式破碎机，把全部矿样破碎到最大粒度为2.5厘米。表2列出了破碎矿石的粒度分布。用小的前端装载机把破碎矿石混合并分级产生3个代表性产品。

1次分级：为粒度分析、原矿试样和其它实验室试验而破碎的226.5公斤矿石；

2次分级：为柱浸试验而破碎的1814公斤矿石；

3次分级：为今后试验研究而储存的17.75吨矿石。

表1 破碎前抓样的粒度分析

粒 度	重 量%	累计重量%
100mm	18.7	18.7
100~50mm	11.9	30.6
50~25mm	10.7	41.3
25~12.5mm	3.5	44.8
12.5~ 6.3mm	1.2	46.0
6.3~ 6 目	0.9	46.9
6~14目	1.8	48.7
14~28目	6.3	55.0
28~48目	5.0	60.0
48~100目	24.4	80.4
100~200目	7.6	88.0
—200目	12.0	100.0

表2 破碎到最大粒度为25.4毫米的粒度分析

粒 度	重量%	累计重量%
+25.4mm	4.6	4.6
-25.4~+12.7mm	12.3	16.9
+12.7 ~+ 6.4mm	5.8	22.7
- 6.4~6目	3.5	26.2
-6~+14目	5.0	31.2
-14目~+28目	8.8	40.0
+28目~+48目	19.3	59.3
-48目~+100目	13.5	72.5
-100 ~+200目	9.9	82.7
-200目	17.3	100.0

试验说明及其方法

滚瓶浸出试验 在柱浸试验前, 进行 4 个滚瓶试验, 以确定在各种时间和气氛条件下的相对浸出率。如果在采用空气和氧气的几个试验之间金浸出率没有差别的话, 那么可能在以后 $\phi 14$ 厘米柱内的几个柱浸试验中可能将发现大的差别。所有试验的基本条件相同, 45% 固体 (80%—200 目), 1 克/升 NaCN, pH 值约为 10.3。其中 2 个柱在空气中进行 6 小时和 24 小时浸出, 其它 2 个柱浸试验在氧气气氛中进行相同时间的浸出。分析三次每个试验残渣中的金含量。公布三次试金分析的平均值。试验条件和结果列于表 3。

表 3

加利福尼亚金矿石的滚瓶浸出试验

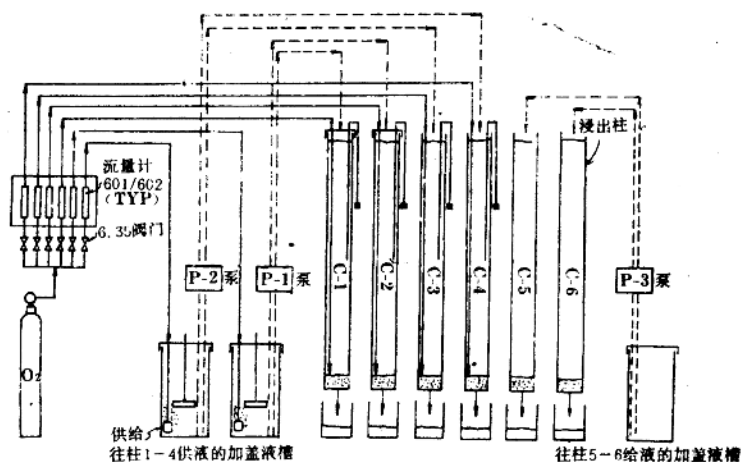
条 件	试验号 1448—87			
	1	2	3	4
结果				
条件: 给矿重量, g	300.00	300.00	300.00	300.00
溶液体积, ml	366.67	366.67	366.67	366.67
磨矿粒度	79%—200 目	79%—200 目	79%—200 目	79%—200 目
固体浓度 %	45	45	45	45
NaCN, g/l	1	1	1	1
pH	10.35	10.25	10.45	10.35
NaOH 添加量, g	0.475	0.475	0.475	0.475
气氛	空气	空气	氧	氧
浸出时间 h	6	24	6	24
结果: 浸渣重量, g	295.92	296.26	296.15	296.32
金*, g/t	0.15	0.06	0.09	0.06
溶液体积**, ml	462.3	518.43	503.46	524.1
金 mg/l	0.80	0.76	0.84	0.87
原矿计算品位, g/t	1.27	1.24	1.33	1.43
试金分析的 g/t	1.18	1.18	1.18	1.18
金浸出率***%	87.94	95.10	93.28	95.73

• 三次分析的平均值 •• 溶液体积包括洗涤水 ••• 根据原矿计算品位而得

14 厘米柱的柱浸试验 在滚瓶浸出试验后, 装配了 6 个内径 4 厘米高 182 厘米的耐热玻璃柱, 以模拟堆浸试验。如图 1 所示, 柱内装有喷氧气管和气体取样管。

从 1814 公斤矿石分级中任意选择 25.4 毫米的矿石 2 桶用于柱浸。从每个桶中轮流取几勺, 并连续装入柱内直到全部装满到高柱顶 10 厘米为止。在每个柱顶喷淋氰化物溶液, 其速度为 3 毫升/分。

柱 1~4 以 100 毫升/分的速度将氧气喷入柱底 (刚好在砂袋过滤层上面)。柱 1—2 在柱顶加盖, 目的是使柱内保持几乎纯氧气氛。稍微提高排泄管, 以便使液体全部流



- 注: 1 箭头表示流动方向 2 柱1—6为 $\phi 15$ 壁厚3毫米耐热有机玻璃柱 3 柱1和柱2加盖
4 柱1~4装有气体取样器 5 所有柱在底部有 20×28 目砂袋 6 1—3为泵
7 所有氧气管道壁厚6.35毫米

图1 加利福尼亚矿石柱浸试验的简图

出,防止气体通过柱的排液管漏掉。

柱1~4的料液用氧气饱和到溶液鼓氧气泡的实际程度。用一台Orion研究的97—05氧电极测量料液内和排出液中的氧浓度。在试验进程中,用一台Beckman GC—2A气体比色板多次分析柱内气体。

在渗滤问题暴露以前,浸出试验连续进行48小时。在几个柱顶没有集存溶液,贵液排泄量比料液加入量少得多。为减轻这个问题,作了几种尝试,包括将柱顶的矿石刺孔,卸掉部分矿石,然后才废弃这个试验系列。据认为,细粒物料中的粘土含量使渗滤困难。在以后的试验中详细研究了这个问题。把柱内矿石卸掉,洗涤、再装入配备出的制粒矿石重新进行试验。

矿石在 0.34米^3 水泥混合器内制粒。混合器内装201.5公斤干矿石,0.33公斤干石灰/吨矿石,2号硅酸盐水泥4.53公斤/吨。干混合物混合15分钟,以保证均匀地混合。当混合器旋转时,喷水(至10%重量)。盖上混合器,让它再转15分钟,使混合物卸到几个盘上之前完全制粒。把制粒矿石用勺一次一次连续加到6个柱内到离顶10厘米为止。在开始加氧化物浸出液之前,让矿石在柱内固化22小时。在固化期间,把氧喷射到柱1—4以便把空气驱走。在固化期间,用塑料袋松散地盖上柱1—2,并在加浸出剂之前,更严格地密封。

几个试验的条件与上述试验的相同。柱1—2装饱和氧的氧化物溶液,并在这些柱的底部喷射氧气。头2个柱的顶盖上,柱3—4顶敞开。柱5~6装入未饱和氧的同样成分的浸出液。气体氧不喷入这些敞顶的柱内。

试验进行了4天,在这4天内,柱5~6渗滤速度慢。当试验继续进行,在其它

几个柱内也发现同样的渗滤问题。由于渗滤问题似乎与柱顶几厘米内的颜色和结构明显变化有关，所以在柱顶用刺孔的方法来减轻难渗的问题。

1986年12月18日，试验32天以后，所有试验开始用水洗来代替浸出液。当流出液中游离氰化物浓度小于1克/升时，停止水洗，让柱排泄。然后每个柱卸矿、称重、干燥和分析浸渣中的金。

将每个柱的浸渣（31.7公斤）破碎至6目，然后混合。分级出15.1公升，磨至—20目。从这15.1公斤中分级出1公斤，然后磨至—100目，用火法试金法分析金。每个柱的浸渣有6个单独试样用火试金法分析金。然后在酸中溶解产出的多尔合金扣。用原子吸收法分析最终溶液中的金。由于这个方法比普通方法可以更准确地测定低浓度的金，所以选择该法。对于每个试验而言，以浸渣试金形式公布所有6个试金分析的平均值。

几个φ14厘米柱的渗滤试验 为了进一步研究在φ14厘米柱浸试验中发现的渗滤问题，进行了一系列小规模试验。装配了6个内径2.5厘米高45厘米耐热有机玻璃柱，以便在各种条件下进行渗滤试验。矿石在6目筛上筛分，以便为这些小规模试验生产更普通的粒度。

在φ2.5厘米的柱内进行了6个试验。试验1—4的矿石在小的转动机制粒，先与熟石灰（1.5公斤/吨）或2号硅酸盐水泥（4.5公斤/吨）混合，然后加10%水。试验条件列于表6中。把制粒矿石样加到4个柱内，让其固化7天。把未制粒矿石加到其余柱内进行5—6试验。在每个柱顶部喷淋料液（用氢氧化钠或熟石灰，调节pH值），试验期间的喷淋速度为1毫升/分。

试验结果

浸瓶浸出试验 试验结果列于表3中。对于几个氧气气氛24小时浸出试验而言，得到了当量金浸出率为95%左右。在富氧试验中，6个小时后，金浸出率为93.3%。而在用空气的试验中，金浸出率仅为87.9%。尽管矿石似乎在空气和富氧的2个试验中很快浸出，但是，在φ14厘米柱内进行的几个浸出试验中，仍发现有明显的差别。

φ14厘米柱浸出试验 表4列出了6个柱浸的试验结果，补充试验数据列在附录表A1—6中。用图表示了金浸出率与浸出流出液和时间的关系，如图2和3所示。用氧的所有柱浸（柱1—4）的金浸出率比普通的未用富氧的柱浸（柱5—6）高。

在所有柱浸试验中虽遇到了一些渗滤问题，但大多数问题是在柱5—6发现的，这些柱总流出液减少。这个因素不影响得到的结论（不管是不是采用富氧），但是，从浸出率与时间的关系上看出存在渗滤速度降低的问题。在图2和3进一步证实了这一点。它表明，前4个柱浸的金浸出率比最后2个柱浸的高。

两个普通柱（柱5—6）浸试验之间最终浸出率差8%可能是由于浸出率低的试验残渣中存在包裹金。在所有试验中，最终氰化物消耗量小于0.23公斤/吨，充氧柱浸试验的氰化钠消耗量稍为低一些。

在用氧的柱浸试验中，加盖与不加盖之间金浸出率没有多大差别。2个加盖的柱顶部附近的气体分析表明，氧浓度为38~44%，而不是预计的100%。表明空气渗透到这

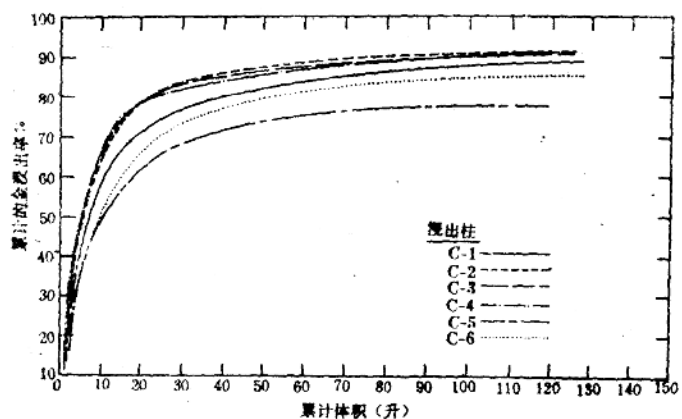


图2 用 $\phi 14$ 厘米柱对加利福尼亚金矿石柱浸试验，金浸出率与液体流出液的关系

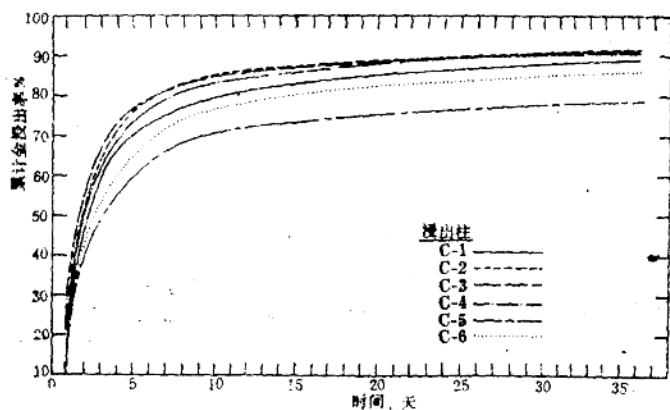


图3 用14厘米柱对加利福尼亚金矿石柱浸试验金浸出率与时间的关系

表4 加利福尼亚金矿石 $\phi 14$ 厘米柱浸试验结果

试验序号 (柱)	总的时间 (day)	总体积 (L)	计算的原位 金品位 (g/t)	浸渣品位 (g/t)	氰化钠 消耗量 (kg/t)	最终金 浸出率 (%)	说 明
1	36	128	1.4	0.15	0.14	89.44	喷氧、加盖
2	36	126	1.3	0.10	0.13	92.34	喷氧、加盖
3	36	125	1.3	0.12	0.14	91.02	喷氧不加盖
4	36	126	1.3	0.11	0.16	91.57	喷氧不加盖
5	36	118	1.5	0.32	0.19	78.22	普通的不喷氧不加盖
6	36	123	1.3	0.19	0.21	85.38	普通的不喷氧不加盖

些柱中，未加盖的柱的顶部氧浓度为预计的21%。4个柱的中心氧浓度为50~60%，因此，在所有充氧柱内存在氧浓度梯度（柱底最高、柱顶最低）。由于加盖柱浸用较高氧浓度没有提高金浸出率，因此，这些试验表明，在工业生产中没有必要把矿堆盖起来，但是，建议进一步进行一些试验，以证实这个结论。

在7、15和28天以及试验结束以后完成了金浸出率的统计分析。在每次试验期间，没有加氧的2个试验中，金浸出率低于4个加氧试验的标准偏差范围。2组金浸出率的平均差从7天的10.76%到试验结束时稍降低至9.29%。其数据列于表5中。

虽然这些数据相当准确地表明，采用氧气有好处（不管是否加盖）。进一步计算氧的数量，表明氧有很重要的作用。

采用2个平均值比较的统计方法，列于表5的数据表明， t 值在3.91~4.17之间。 t 值表明，在这种情况下（自由度为4），氧的影响是很大的，可能达98~99%之间。

表5 $\phi 14$ 厘米柱浸结果概要（统计计算）

试验 序号	参 数	时间（天）			
		7	15	28	36
1	浸出率%	75.43	83.64	88.27	89.44
2	浸出率%	81.18	88.25	91.39	92.34
3	浸出率%	81.33	87.08	90.10	91.02
4	浸出率%	79.20	86.44	90.54	91.57
5	浸出率%	66.00	72.70	77.08	78.22
6	浸出率%	71.06	79.41	84.25	85.38
1—4	平均值	79.29	86.35	90.08	91.09
	标准偏差	2.57	1.96	1.32	1.23
5—6	平均值	68.53	76.06	80.67	81.80
	标准偏差	3.58	4.74	5.07	5.06
	平均差	10.76	10.30	9.41	9.29
	2个平均值比较				
	变量	8.86	8.50	7.73	7.54
	标准偏差	2.98	2.92	2.78	2.75
	t 值	4.17	4.08	3.91	3.91
	可信度%	98~99	98~99	98~99	98~99

$\phi 2.5$ 厘米柱渗透试验 试验条件和结果列于表6。在试验期间，仅前3个柱（试验1—3）连续试验，没有出现渗透问题。通过其它柱的溶液是间断的。虽然结果多少有些不太有规律，但是，制粒肯定有好处。采用氢氧化钠而不用熟石灰来调节料液pH值似乎有益。这些是在 $\phi 14$ 厘米柱浸试验中采用的条件。对这个试样进行补充柱浸试验之前，建议进一步研究柱浸渗透现象。

表 6

Φ2.5厘米柱渗透试验

试验 序号	制 粒	添加剂公斤/吨		料 液				时间* h
		熟石灰	2号硅酸 盐水泥	碱	g/l	pH	NaCN, g/l	
1	制粒	1.5	4.5	NaOH	0.05	10.80	1	64
2	制粒	1.5	4.5	Ca(OH) ₂	0.05	10.80	1	48
3	制粒	0	4.5	NaOH	0.05	10.80	1	64
4	制粒	0	4.5	Ca(OH) ₂	0.05	10.80	1	20
5	不制粒	0	0	NaOH	1.83	12.45	1	16
6	不制粒	0	0	Ca(OH) ₂	1.70	12.30	1	16

* 直到柱被堵塞时间为止

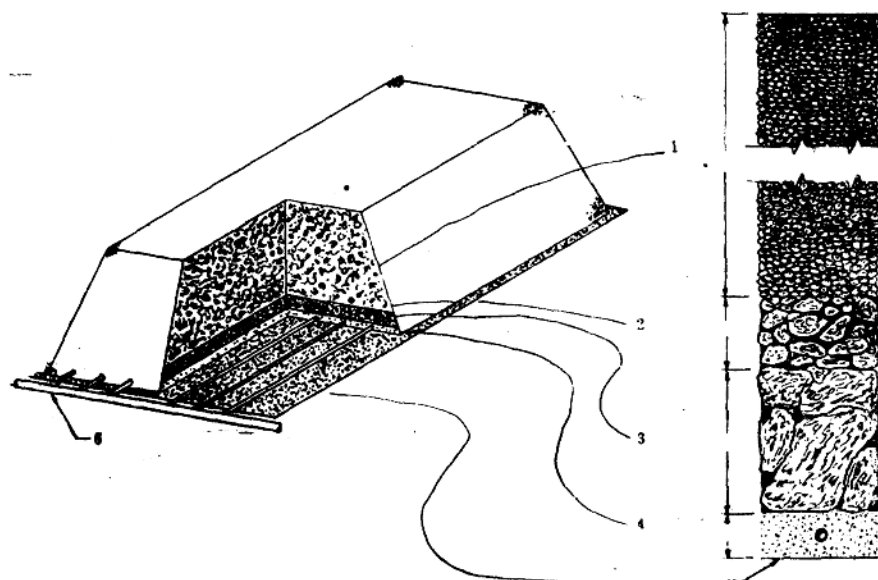


图 4 堆浸场氧的分布

1. 矿石 (5—40mm) 2. 中等岩石 (30—100mm) 3. 大块岩
4. 带有分布管的砂层 5. 塑料薄膜式粘土衬垫 6. 氧分布管

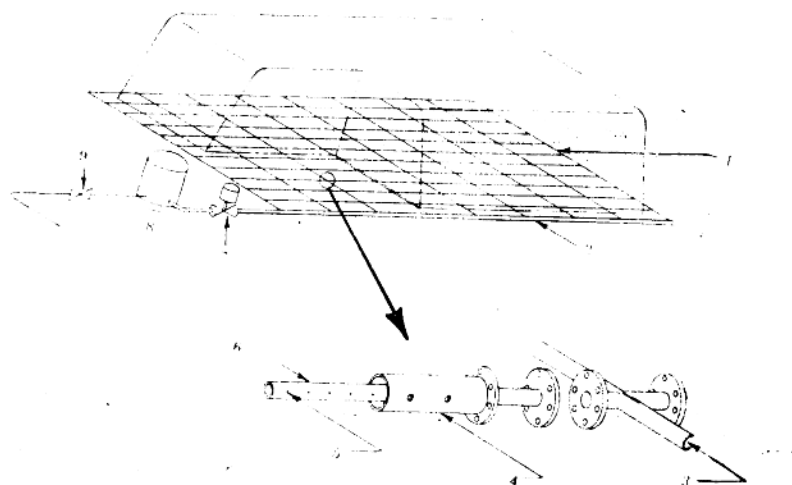


图 5 加氧堆浸

1. 堆浸场 2. 氧集管 3. 来自集管 4. 分布管的保护管 5. 氧流量孔
6. 小直径分布管 7. 氧调节阀 8. 氧储存器 9. 氧供应阀门

黄孔宣 译

郭硕朋 校

在尾矿区构筑堆浸场的研究

William J. Attwood

前 言

Carlton 选金厂在1948—1968年生产期间，已建造了3个尾矿池用于堆存选金厂的尾矿。这些尾矿是在浮选过程中产生的，它们都被细磨到大约70%—200目。这几个尾矿池都被挡在利用采矿废石作为初始岩堤（starter dike）、采用上游充填法建成的堤坝后面，然后使尾矿从土堤的堰顶排放。最上层（最老的）尾矿池被选作金矿堆浸的场址。有迹象表明，离选金厂最近的这个尾矿池，也会定期地随尾矿沿着离开坝的下坡和尾矿池的后部向坝体将尾矿排放到它的上端。尾矿池的低洼处离坝顶大约30米。尾矿坝的高度大致为21米，下流面的倾角约35°。

建议的筑堆方法

建议将堆浸场构筑在尾矿池的地面上，因为它靠近前几年构筑的堆浸场和生产池，并且也是附近唯一比较平整且又是较大的一块场地。

尾矿池的面积大致为150米×245米。在该尾矿池上准备建造的设施包括一个堆浸场和一个生产池（其容积应足以贮存生产溶液和100年暴雨的径流）、以及完整的矿堆减饱和设施。已制定出初步设计，包括将生产池直接布置在有堆浸场坝顶的后面，而堆浸场则占据尾矿池地面的其余部位。为便于富液输送到生产池中，在堆浸场上铺了一层高密度聚乙烯地膜。

在考虑利用这个场地时，对很多土工技术和土木工程问题已作过分析，其中包括：

1. 与堆浸矿堆坡角和加载速率有关的尾矿强度；
2. 与矿堆底部的最终形状有关的尾矿压缩性，及其对贵液回收方案的影响；
3. 在离开现有尾矿坝多远的地方可以构筑堆浸矿堆而仍可保持坝体的稳定性；
4. 可将生产池方便地设置在比堆趾的标高更低处，以便于贵液由堆浸场自流到生产池中；
5. 选择一种能适应预计挠度的衬垫。

土工技术评价

为研究现场的地层面情况，在地层面上进行的勘察工作包括打8个钻探和取样孔、