

树脂矿浆法 与炭浆法

国家黄金管理局长春黄金研究所 编译



东北工学院出版社

黄金科技丛书

树脂矿浆法与炭浆法

国家黄金管理局长春黄金研究所 编译

东北工学院出版社

(辽) 新登字第 8 号

内 容 提 要

本书是一部理论性较强、学术水平较高的黄金科技丛书。书中对树脂矿浆法和炭浆法的阐述内容全面，资料翔实，既有基础理论，又有生产实践。

全书共分 9 章，主要内容包括：澳大利亚的炭浆或炭浸厂的生产现状，树脂矿浆法基础理论，树脂矿浆法与炭浆法的优缺点比较，树脂提金厂生产实践，炭浆厂和炭浸厂的设计依据，炭浆或炭浸设备中炭与矿浆的相互作用，炭浆和炭浸厂设计的基本数据，影响炭浆系统从氰化矿浆中吸附金效率的因素。

目前，这类书的出版在我国尚属空白，本书可供教学、科研、生产和设计等单位使用。

黄金科技丛书

树脂矿浆法与炭浆法

国家黄金管理局长春黄金研究所 编译

东北工学院出版社出版发行 大连海运学院印刷厂印刷

(沈阳·南湖)

(大连凌水桥)

开本：787×1092 1/32 印张：6.5 字数 146 千字

1992 年 5 月第 1 版

1992 年 5 月第 1 次印刷

印数：1—1000 册

责任编辑：郭爱民

责任校对：识 途

封面设计：唐敏智

版式设计：杨华宁

ISBN 7-81006-404-5 / TD · 20 定价：6.50 元

编译者前言

国家黄金管理局出国考察团赴澳大利亚考察，带回了《Short Course on Resin-in-Pulp and Carbon-in-Pulp》(译名为《树脂矿浆法与炭浆法》)一书。按照国家黄金管理局的指示和要求，我们选择了其中的部分篇章，翻译并编写成为现在的这本书。

本书理论性强，学术水平高，既有基础理论，又有生产实践，内容翔实，展示了当今国际上树脂矿浆法的试验、研究和黄金生产中的最新成果，对于了解国外树脂矿浆法黄金生产现状、研究动向及发展趋势颇有益处，并为从事黄金生产、管理、设计和科研等人员和大专院校师生提供了有价值的参考资料。

全书共分9章，第1、3、5章由张淑兰译，分别由张佰奇、郭硕朋和具滋范校；第2章由胡宪铭译，麻佰平校；第4章由麻佰平译，郭硕朋校；第6、9章由郭硕朋译，张淑兰校；第7、8章由侯健译，分别由冯国臣、丁育清校。全书最后由张淑兰审校。

因篇幅所限，原文中每章后所附的参考文献在译文中均略去，在此敬请读者鉴谅。

由于译者水平有限，加之时间短促，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编译者

1991年7月于长春

目 录

编译者前言

1 澳大利亚的炭浆或炭浸厂的生产现状	(1)
2 树脂矿浆法基础理论	
2.1 基础理论	(6)
2.2 树脂技术的沿革	(14)
2.3 金属氰络合物在离子交换树脂上的吸附 和解吸的试验室研究	(18)
3 树脂矿浆法与炭浆法的优缺点比较	
3.1 概 述	(55)
3.2 影响选用树脂矿浆法和炭浆法的因素	(57)
3.3 半工业试验厂和工业生产中树脂-矿浆法 与炭浆法的比较	(72)
4 树脂提金厂生产实践	
4.1 概 述	(87)
4.2 结果与讨论	(88)
4.3 结 论	(116)
5 炭浆厂和炭浸厂的设计依据	
5.1 前 言	(118)
5.2 预浸充气	(118)

5.3	浸出金需要充气	(119)
5.4	浸出模拟试验	(120)
5.5	浸出阶段数	(123)
5.6	炭浆和炭浸模式	(125)
5.7	浸槽的形状和配置	(126)
5.8	搅 拌	(128)
5.9	槽间筛	(129)
 6 炭浆或炭浸设备中炭与矿浆的相互作用		
6.1	引 言	(130)
6.2	浸出过程	(131)
6.3	活性炭的性质	(133)
6.4	吸附机理	(135)
6.5	炭的污染	(137)
6.6	铜氰络合物的竞争	(139)
6.7	炭上的沉淀	(140)
6.8	矿粒的影响	(142)
6.9	氧的影响	(142)
6.10	荷载炭的解吸	(147)
6.11	热再生	(149)
 7 炭浆和炭浸厂设计的基本数据		
7.1	基本模型	(151)
7.2	停留时间分布	(152)
7.3	平衡系统	(155)
7.4	炭的污染	(157)

7.5 测定参数	(158)
8 影响炭浆系统从氰化矿浆中吸附金效率的因素	
8.1 炭浆法简介	(160)
8.2 炭浆法串联模型	(161)
8.3 小型炭浆试验	(163)
8.4 模型预测	(164)
8.5 参数灵敏度的研究	(170)
8.6 搅拌条件	(170)
8.7 炭的粒度	(172)
8.8 平衡因素	(172)
8.9 粒内扩散	(175)
8.10 炭的周期转移	(180)
8.11 结 论	(180)
9 操作方法对炭浆或炭浸厂效率的影响	
9.1 工厂操作的监控	(182)
9.2 操作依据	(187)
9.3 可供选择的设计	(192)

1 澳大利亚的炭浆或炭浸厂 的生产现状

M. Costello

Minproc 公司在澳大利亚和其他国家迅速建设和投产 50 多个炭浆和炭浸厂，其经验简要介绍如下：

1. 物料的准备

(1) 对氧化矿而言，在不使用浓密机的情况下，两段破碎、常规球磨机磨矿和水力旋流器分级均取决于既简单而又可行的物料制备方法。

(2) 对坚硬矿石来说，一段碎矿配合半自动磨矿系统球磨机磨矿法获得了不同效果。有成功的例子，也有失败的例子。大多数企业，用足够的时间或试样准确地确定地而半自动磨矿系统的必需参数是不常见了，在这些条件下，常选择三段破碎和常规球磨机磨矿。

2. 分 级

在不使用浓密机的情况下，水力旋流器分级法有可能达到 $50\mu\text{m}$ 粒级，而采用高效浓密机时，水力旋流器分级法有可能达到 $45\mu\text{m}$ 粒级。

3. 浸 出

近来，最有意义的进展是认识到大型 (2000m^3) 机械筛 (Kambakia 或 Trommels) 和炭再生需要大量氧气，导致金的损失增加。

(1) 于 1984 年用 Nicol Fleming 和 Cromberg 公司的浸出模式, 进行浸出和吸附模拟试验, 来确定溶液中的金回收率。

(2) 在选择适于浸出厂的浸出槽规格过程中, Minproc 公司就已采用完善地搅拌方式和逆向流动。有两个矿区已证实了这一点。

① 在第 8 号典型槽中, 搅拌度和不理想状态偏差是小的。

② 因为金矿颗粒较重, 所以它们在旋流器底流中滞留时间较长, 研磨颗粒比实验室棒磨或球磨试验的细。试验工作提出单体解离要求是保守的。根据试验室试验给定选矿工作条件, 尽管仅采用逆流延长时间, 而在生产中会遇到这样问题。

4. 吸 附

直接选用炭浆法或炭浸法或炭浆、炭浸混合方法, 一直存在问题。根据 Fleming 于 1980 年和 Nicol 等人于 1984 年发表的 kn 吸附模式的理论研究, 通常采用炭浆法。然而, 在作出这种选择时, 会对下列因素产生影响:

(1) 用户倾向于用一种特殊装置, 因此要求工程设计这种装置。

(2) 考虑到市场竞争性和最初投资费用最小的影响, 将迫使用户和工程师不考虑其他方案, 而能够选择最初投资费用最小的方案。

(3) Minproc 公司的绝大多数选厂都是混合炭浸厂, 而不是常规的单一炭浆厂。

(4) 通常, 寻找炭载金选择性的经验方法是:

增加的炭荷载能力等于溶液中理论上溶解金最大值的

1500 倍。

采用经验方法是一般不考虑炭浆法或炭浸法之间的选择性，而是采用混合法。混合法选厂的设计合理，通常为 2 段浸出 6 段吸附，或 2 段浸出 5 段吸附系统，这样在接触炭之前，已完成 6—7h 的浸出作业。一般情况下，溶液中溶解的金超过 80%，既从溶液到炭上的传动力，混合炭浸厂与炭浆厂相比没有多大的区别。

(5) 根据其他经验，在使用炭浆法的情况下，吸附装置规格的选择是固定的，也就是说，使矿浆逆流接触炭滞留时间为 1h。

(6) 在使用炭浸法或混合炭浸法的情况下，吸附槽规格的选择要受矿浆流速，总滞留时间及规格相等的槽总个数限制。按照模拟试验提出所需的炭量要求，不能依次排列它们的顺序。

(7) 在预计出炭总需要量和炭浓度太低的情况下（例如， $3\text{kg}/\text{m}^3$ ），而且输送炭的最终逆向流速太高，一般情况下，采用炭的最低浓度为 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(8) 基于生产厂家的经验，贵金属总量限制在 $7500\text{g}/\text{t}$ 时，对于金银混合选厂的炭负载能力已经确定了。

5. 洗 提

(1) AARL 洗提法已成为使用中的标准方法。

(2) 当矿石只含金时，采用橡胶衬里的简单柱洗涤系统，操作温度为 110°C 。

(3) 采用两个洗提柱系统，其一，在室温下采用橡胶垫衬里洗提柱进行酸洗，其二，当洗涤效果好，并省洗涤液（或银负载高）时，在 120°C 下，采用不锈钢洗涤柱是最理

想的。

(4) 在用户喜欢用 AARL 洗提法，并在节约饮用水是必要的情况下，使用 AARL 快速洗提法，以一半洗提液进行再循环。

使用饮用水必须保持用水量少，或用户一定要坚持使用这种工艺规程时，应采用 Zadra 循环法。

(5) 使用 Micron 甲醇洗提法规程指出，这种方法需要热再生，目前，在使用小型可移动式密封装置时，只能采用这种方法。

6. 电沉积法

(1) 金被电沉积到低碳钢棉上为一般用户所欢迎的回收金方法。

(2) 金被电沉积到不锈钢棉上，接着进行电解是 Minproc 公司设计 9 种方法之一。

7. 最终回收金

(1) 如上所述，电解精炼法是在某种程度上工业已验证的提炼法，并在最终熔炼前生产出金薄片。

(2) 酸洗出低碳钢棉上的金仍然是可行的，而电解精炼法和阴极直接熔炼法越来越行得通。

(3) 已确定，如果用盐酸进行浸出荷载银的低炭钢板阴极，那么银的损失不大。

8. 氰化物回收

Minproc 公司已对可行的技术作了一次审查，而且在这个阶段中舍弃了某些被认为不完善的进展。我们现已提交的一份方案中却包括了该过程。

9. 氰化物

Minproc 公司在加利福尼亚州的 Colosseum 厂采用因

科 SO_2 法。我们提供的部分资料表明，应用本方法的效果良好。

10. 选厂模拟试验和最佳条件

(1) 有两次我们要求 Minproc 公司使用数学模型着手进行炭浸厂生产的实际浸出作业和吸附行为试验，然后使用模拟试验资料，以及选厂生产资料。在上述所介绍的资料中已提到与某一选厂有关的这方面的试验结果和一些数据。

(2) 有些试验必须进行预测和数学模拟，以确定选厂的真实情况，正如 AMZRA 发表的资料那样，不同系统里的活性炭性能变化很大。如果可能的话，尽量考虑数学模型整套工艺。

2 树脂矿浆法基础理论

C.A.Fleming

2.1 基础理论

2.1.1 提 取

现代合成离子交换树脂都是由一个惰性的碳氢聚合基体组成（一般是与二乙烯基苯交叉连接的聚苯乙烯）。用化学方法将官能团附着在这个基体之上，这种聚合物基体是一种三维的网状结构。这种结构在遇到水溶液时便膨胀，从而吸水并能使水溶液中的离子通过所形成的凝胶体扩散到活性基团的活性点上。

这些活性基团可以是阴性的，也可以是阳性的。这种基团与阳离子或阴离子的相互作用几乎必然是荷电性的或具有静电作用，因此交换反应速度快，具有可逆性，并且通常是受扩散控制的。树脂对一种离子和另一种离子的选择性，主要是离子的大小、荷电量和极化率的函数。

阴离子交换树脂中的活性基团，对于强碱性树脂可以是胺基团，而对弱基树脂，又可以是一、二或三胺基基团。阳离子交换树脂中的活性基团既可以是羧基酸（弱碱性），也可以是磺酸（强碱性）。强酸和强碱性树脂在 pH 值大于 5 的情况下才能离子化，弱碱性树脂则在 pH 值小于 9 时离子化。弱碱性树脂的这一性质对金的吸附过程可能是一个限

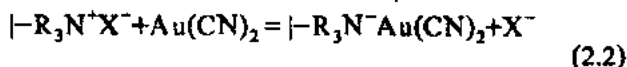
制。

湿法冶金过程中贵液里的金一般以阴离子络合物的形式存在。这样，在金的湿法冶金领域，阴离子交换树脂要比阳离子交换树脂更为重要。这一点将进一步详细论述。一个重要的特例是一价金的硫脲络合物，这种络合物带有一个正电荷（硫脲是一种中性配合基），它可以用阳离子交换树脂容易地从水溶液中交换提出来。硫脲在金矿石的浸出中的应用正方兴未艾。可以相信，将来可能会有重要的意义。硫脲的浸出反应在酸性溶液中（pH 值为 1—2）进行。因此，要获得良好的提取效率，就要求有强酸性树脂。三价铁离子一般是氧化剂（尽管臭氧和过氧化物也是有效的氧化剂），在溶液中常有过量的二价铁和三价铁阳离子。强酸性树脂对一价硫脲金阳离子相对铁阳离子具有一定的选择性，有可能对金进行良好的提取和分离（Becker 等，1983）。事实上，强酸性树脂的提取能力极强，以致用酸解吸时遵循方程式（2.1）进行。甚至是在酸浓度很高的情况下，解吸也不完全（Becker 等，1983）。



式中，T 为 NH_2CSNH_2 ，|—代表有机基体。阴离子交换树脂技术的经验表明，无论是与金的连续电解相结合或者使用的混合有机溶剂进行解吸，阳离子交换树脂都是非常有效的。

因为氰化工艺在金的湿法冶金中的重要性，阴离子交换树脂远比阳离子交换树脂要受人重视。强碱性树脂按方程式（2.2）交换金氰络合物离子：

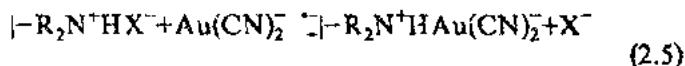


方程 (2.2) 的平衡常数被定义为质量分布率

$$K_{\text{sn}} = \frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-] [\text{X}^-]}{[\text{Au}(\text{CN})_2^-] [\text{X}^-]} \quad (2.3)$$

式中的小短线代表树脂相中的离子，其位置是由树脂对于其相对应离子 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ，以及相化合离子相对亲合性所决定的。

在 pH 值高于 9—10 时，弱碱性树脂为自由基状态（未离子化）。在这种情况下，不具有离子交换特性。在中性或酸性溶液中，胺被质子化，离子交换按下列方程进行：



反应式 (2.5) 中的平衡常数为：

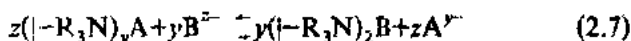
$$K_{\text{wb}} = \frac{[\text{Au}(\text{CN})_2^-] [\text{X}_{\text{wb}}]}{K_s [\text{Au}(\text{CN})_2^-] [\text{X}^-]} \quad (2.6)$$

式中， K_s 是反应 (2.4) 中树脂质子化反应的平衡常数。在这种情况下， K_{wb} 的值不仅受树脂对各种离子的亲合性的影响，而且受溶液中 pH 值的影响，这是强碱性树脂与弱碱性树脂唯一的重要区别。

弱碱性树脂的 pK_a 值既是由胺基团的碱性，也是由溶液中阴离子的性质所决定的。阴离子和树脂上的活性基团之间形成的离子对，其强度随阴离子的电荷和极化强度而增加。在强离子对形成时，形成离子对的驱动力允许从碱性更强的溶液中吸收质子。例如，在一个胺和极易极化的大体积金氰络合离子之间形成的强离子对所产生的 pK_a 值约为 9—10 (Fleming 和 Cromberge, 1984)。而在盐酸溶液中的相同树脂其 pK_a 值大约比两个对数单位还低。这一点对从氰化浸出液中提金具有重要意义，氰化浸出液的 pH 值通常

在 10—11 之间。

阴离子交换树脂的一个重要性质是它对于金氰络合物的选择性，因为在氰化浸出液中一般有许多氰化物络合阴离子及其它阴离子伴随金氰络合而存在。这些具有竞争性的阴离子的交换能对提金效率产生很大的影响。所发生的竞争离子交换反应可以由如下一般方程式表示：



式中，阴离子 A 带有 y 个负电荷，阴离子 B 带有 z 个负电荷。树脂对阴离子 B 与阴离子 A 的选择性由系数 $k_{B/A}$ 表示：

$$k_{B/A} = \frac{[B]^y [A]^z}{[A]^y [B]^z} \quad (2.8)$$

这种形式与方程 (2.3) 中的平衡常数的形式相同。

表 2.1 列出了强碱性树脂对金氰络合离子相对于氰化浸出液中常见的其他各种阴离子的优先选择性系数值。选择性系数的概念对理论研究是有用的，但可惜的是，在预测阴离子的相对提取时，其数值是有限的。事实上，根据选择性系数可以直观地进行预测与实践中发现的情况大相径庭，如图 2.1 所示。图 2.1 所示的不同金属的吸附等温线是通过一个选金厂的氰化贵液与通用强碱性树脂的饱和吸附所获得的。根据表 2.1 中的选择性系数，可以推断，强碱性树脂可以从含有钴、镍的溶液中优先提取金，而图 2.1 却表明钴、镍被

表 2.1 选择性系数

阴离子 A	$k_{Au(CN)_2^-/A}$	阴离子 A	$k_{Au(CN)_2^-/A}$
$Co(CN)_5^{4-}$	8×10^9	CNS^-	9.6
$Fe(CN)_6^{4-}$	6×10^9	$Ag(CN)_2^-$	5.8
F^-	5.5×10^3	ClO_2^-	4.6
Cl^-	6.9×10^3	$Au(CN)_2^-$	1.0
CN^-	3×10^2	MnO_4^-	0.53
$Ni(CN)_4^{2-}$	2.5×10^2		

优先提出。

从实用的观点看，更为有用的概念是分离系数，其定义如下：

$$\alpha_{B/A} = \frac{[B][A]}{[A][B]} \quad (2.9)$$

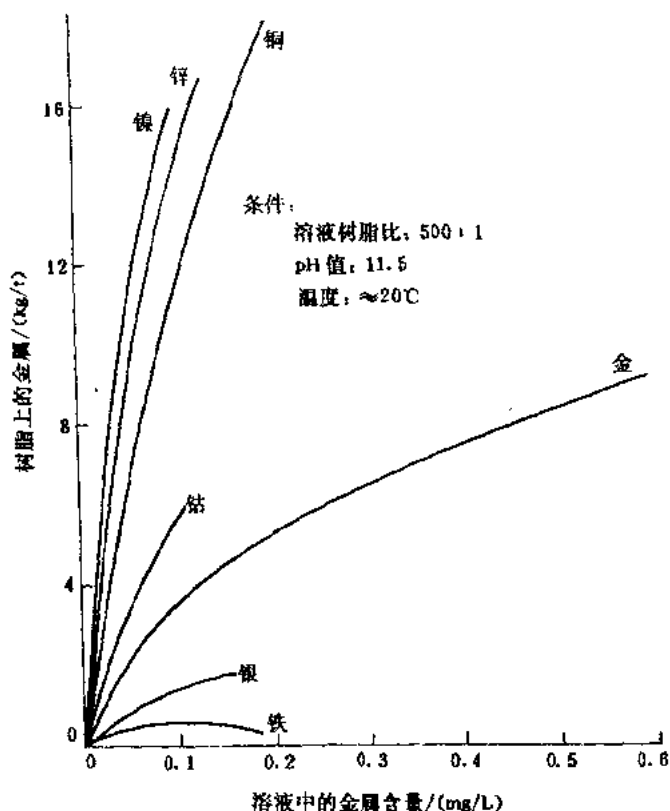


图 2.1 Grootvlei 选厂贵液中各种金属

氰络合物在强碱性树脂 (A101DU) 上的饱和吸附等温线

分离系数只是树脂相中和溶液中两种相对应离子的浓度