

出国技术考察报告

澳大利亚湿法炼铜 新工艺试验

(内部资料·注意保存)



冶金部情报标准研究所

出国参观技术考察报告

澳大利亚湿法炼铜新工艺试验

(内部资料·注意保存)

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金部情报标准研究所

一九七八年八月

前 言

应澳大利亚戴克斯太克冶金公司 (Dextec Metallurgical Pty Ltd) 的邀请, 赴澳湿法炼铜考察小组 (由北京矿冶研究院、北京有色设计院和部科技办组成) 于一九七八年三月十七日至四月六日, 考察了该公司发明的硫化铜精矿矿浆直接电解提取铜的新工艺 (又称戴克斯太克湿法一步炼铜) 试验情况, 并参观了联邦科学和工业研究组织 (C. S. I. R. O) 的矿物化学研究所等单位。现将矿浆直接电解新工艺的试验资料整理报告如下, 供参阅。

赴澳湿法炼铜考察组

一九七八年五月七日

目 录

前 言

一、硫化铜精矿湿法冶炼概况	(1)
二、戴克斯太克矿浆直接电解法	(3)
(一) 原理	(3)
(二) 小型试验	(5)
1. 黄铜矿的空气氧化	(5)
2. 浸出一电解试验	(6)
(三) 300立升和100立升浸出电解槽试验情况	(7)
1. 300立升浸出电解槽	(7)
2. 100立升浸出电解槽连续运转情况	(7)
3. 改正后的100立升浸出电解槽的单槽试验	(9)
1) 浸出电解试验的设备连结	(9)
2) 设备及仪表	(9)
3) 试验	(15)
(1) 矿物的予处理	(15)
(2) 浸出电解槽的操作	(16)
(3) 芒特—艾萨精矿试验	(17)
(4) 戴克斯太克矿浆直接电解过程中金银的行为	(19)
(四) 日产一吨铜粉厂的设计	(20)
(五) 年产16万吨铜的湿法冶炼厂方案设想	(25)
三、对戴克斯太克工艺中几个问题的讨论	(26)
(一) 溶液的净化	(26)
(二) 金银回收及渣的处理	(27)
(三) 过程机理的探讨	(27)
(四) 其他	(28)
附：参考文献	(30)

一、硫化铜精矿湿法冶炼概况

目前世界上对湿法炼铜的研究工作十分活跃,除氧化矿外,就硫化矿的处理方法而言,已发表了许多专利和研究报告^[1、2],一些新的湿法炼铜厂相继投产。可以预料,随着环境保护对含二氧化硫烟气排放的要求越来越严,以及低品位矿或难选矿的相对增多,根据国外许多研究者的估计,近十年内湿法炼铜将有很大的发展^[2、3]。

大多数湿法炼铜现在正处于试验室研究阶段,进入工业生产的还只是少数。对于已经工业化的或进入试验工厂阶段的主要可分为在碱性介质中浸出(以氨浸为代表)、在硫酸解质中浸出和在氯化物介质中浸出(以三氯化铁或二氯化铜为代表)等下述三种类型。

1. 阿比特 (Arbiter) 法

此法是由安纳康特 (Anaconda) 公司的阿比特教授发展的,它实际上是舍立特-高尔顿 (Shrriitt Gordon) 加压氨浸法的变更,阿比特法不需要高压,用氧气代替空气。该法于1974年在安纳康特公司比尤特厂投产,年生产能力36000吨铜。在氧—氨—硫酸铵系统中,于温度100°C、接近常压(0.35公斤/厘米²)下,在密封搅拌槽中浸出硫化铜精矿。过滤后浸出进行渣浮选以回收残存的铜和贵金属。浸出液用Lix-65N萃取铜,然后电积得阴极铜。该公司准备改变部分流程,取消能量消耗高的电积和溶剂萃取,用二氧化硫还原,从溶液中沉淀出亚硫酸铵亚铜,然后在高压釜内使其分解得到铜粉。

据报导,该厂在投产后一年就已关闭,原因不详^[4]。

阿比特法需要氧气,硫全部转化为硫酸盐,其副产品硫酸铵超过产品铜的十倍,需要有庞大的回收系统。

2. 焙烧—浸出—电积 (R-L-E) 法

目前在硫化铜矿的湿法冶金中,此法应用最为广泛。硫化精矿在650~700°C下经硫酸化焙烧,再用水或稀酸浸出,随后用电积法回收铜。扎伊尔和赞比亚用该方法处理铜钴精矿已有几十年的历史,扎伊尔有两个厂,即希杜鲁(年产铜约13~15万吨,钴7000~8000吨)和卢依卢(年产铜约10万吨,钴约6000吨)。赞比亚有恩昌加公司罗卡纳厂(年产铜约7万吨,钴2000吨)。我国有一批中小型企业也是采用此法从硫化矿中生产阴极铜。

该法的主要问题是仍未彻底消除二氧化硫尾气的污染,同时,部分铁在浸出时溶解,需要加以除去,否则影响电解;在电解过程中生成的废酸需要设法处理,否则造成污染和有价金属的损失。

这里值得指出的是赫克拉 (Hecla) 公司的莱克夏采冶联合企业,它于1976年4月开始工业生产,具有年产阴极铜30000吨,回收沉淀铜5000吨能力。同时处理硫化矿和氧化矿。硫化精矿采用硫酸化焙烧—浸出—电积法。硫化矿的浸出渣送海绵铁车间用SL/RN法还原成海绵铁,贵金属也进入海绵铁中,用它作氧化矿浸出液的铜置换。但是,为了回收贵金属和供置换用的海绵铁而采用浸出渣直接还原的SL/RN法,代价也是相当大的。

3. 氯化物浸出法:

用氯化物浸出黄铜矿之所以引起人们的兴趣,是由于在常压和适当的温度下,氯化物

可以分解比较惰性的黄铜矿，而氯化物本身又可以在流程中循环。

100多年前，英德就致力于研究氯化物浸出，其中包括氯化铁和氯化铜作为浸出剂的方法^[5、6、7]。1926年，美国发明了一种高于硫的熔点和没有充气条件下，用氯化铁浸出斑铜矿^[8]的方法。

但是，随后氯化物浸出的方法发展缓慢，操作和材料问题可能是阻碍了它进一步应用的原因^[9]。七十年代初， FeCl_3 浸出得到了发展，以塞梅特（Cymet）为标志，73年进行了25T/日的半工业试验，随后75年杜瓦尔（Duval）法进入工业生产；以及对其它氯化物体系的研究，使氯化物浸出法出现了蓬勃发展的局面。

1) 塞梅特法：该法是在75~80°C下用 FeCl_3 浸出，浸出矿浆打入溶解槽，在阴极得到铜粉，从 FeCl_2 溶液中用电解法回收铁并再生 FeCl_3 送去浸出，这就导致了流程复杂，电耗高、而得到的铜粉还要进一步精炼。

塞梅特法的半工业工厂试验指出，约50%铜在 FeCl_3 浸出阶段溶解，30%在电溶解槽溶解，20%是浮选返回。据估计，它的两个电解阶段耗电大概是3.3~4.5千瓦小时/公斤铜^[2]，这是相当高的。

塞浦路斯（Cyprus）公司于1973年建立的25T/日半工业规模试验厂据讯由于电耗太高已改为试验别的方法。

2) 杜瓦尔法：杜瓦尔法是美国杜瓦尔公司发明的。它分四个阶段：（1）氧化段：将原料用 FeCl_3 及 CuCl_2 溶解氧化，在浸出温度为140°C、压力2.81公斤/厘米²下进行。氧化过程最好采用氧气。（2）还原段：在氧化段生产的 CuCl_2 随后还原成 Cu_2Cl_2 ，还原剂为金属铜、金属铁、二氧化硫或亚硫酸钠。（3）电解：电解是在隔膜电解槽中进行。铜得到回收，部份 Cu_2Cl_2 再生为 CuCl_2 。（4）再生和清除杂质：用空气最好是氧气使电解残液中的 FeCl_2 得以再生，浸出的铁成氢氧化铁沉淀。使硫氧化而生成的硫酸盐也与铁一起沉淀。

采用杜瓦尔法建成的埃森佩兰扎厂规模为32500吨/年电铜，计划1975年投产^[10]。

杜瓦尔法是比较复杂的，在氧化段和再生段，为了保证在短时间内完成反应，需要用氧气。浸出过程需要加压。因此杜瓦尔法一般来说应归于高压浸出。

3) 正在研究的其它方法

近年来，有关氯化物浸出方法的研究工作明显增多。其中，三氧化铁浸出方面的，如加拿大科明科公司的方法^[11]，美国矿务局提出的三氯化铁浸出流程^[12、13]，以及南非国立冶金研究所三氯化铁浸出流程。二氯化铜浸出方面的，如美国铜加工公司提出的用 CuCl_2 和 NaCl 溶液浸出硫矿^[15]，二氯化铜从废料中浸出铜^[9]，硫化矿经活化后用二氯化铜浸出的方法^[16]等等。此外，舍立特-高尔顿（Sherritt Gordou）矿业有限公司在1971~1972年研究了在氯化物盐类溶液中硫化铜精矿的浸出，在加压和升高温度下用氧气氧化。从溶液中用铁粉回收铜。这些氯化物包括 NH_4Cl ， NaCl ， MgCl_2 ， CaCl_2 和 AlCl_3 ^[17]。

澳大利亚的戴克斯太克（Dextec）冶金公司研究的在氯化物（如 NaCl ）溶液中用空气氧化黄铜矿，在浸出的同时电解铜粉，是一项独特的新工艺。在工艺上它避免了采用 FeCl_3 浸出时带来的大量 Fe 和 CuCl_2 浸出不完全这样一些问题，同时又实现了在常压下黄铜矿的空气氧化。由于浸出和电解在同一设备中完成，在国外一般又称为湿法一步炼铜。该方法显然是属于氯化物浸出中最新的一种。

二、戴克斯太克 (Dextec) 矿浆直接电解法

戴克斯太克 (Dextec) 是由爱姆台克斯 (Amdex) 勘探公司和英太克冶金公司 (Intec) 组成, 而由这两个公司的后三个字母命名。戴克斯太克冶金公司研究的硫化铜精矿矿浆直接电解在1977年已经取得了专利权^[18]。早在1974年, 英太克冶金公司的负责人 P.K.Evertt 取得了用矿浆电解法生产电池用的二氧化锰的专利权^[19]。澳大利亚的 B.H.P (Broken Hill proprietary Company) 已经买了这项专利, 计划用150万澳元建设一个中间试验厂。它是用低品位锰矿作原料, 通过矿浆电解直接生产电池用二氧化锰, 这个方法的基本原理如下:

阳极反应: $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$

• 阴极反应: $\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}$

戴克斯太克矿浆直接电解法就是在此基础上发展起来的。

所谓矿浆直接电解法就是把浸出、氧化除铁和电解结合在一个装置中进行, 向这个装置加入矿石, 直接从这个装置中产出产品。

戴克斯太克铜精矿矿浆直接电解法虽然已经取得了专利权, 但目前仍处于试验室研究阶段, 它的工艺流程如下:

磨细的铜矿经予处理消除浮选药剂的影响后, 以矿浆状加入浸出电解槽中, 浸出电解槽分为阳极区和阴极区。矿浆加入阳极区, 铜粉在阴极区析出。矿浆经液固分离后, 电解液返回。渣可进一步处理回收金和硫。

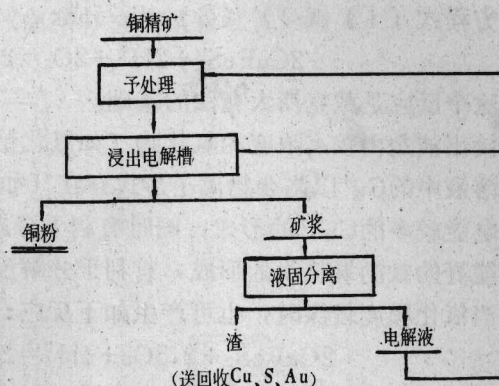


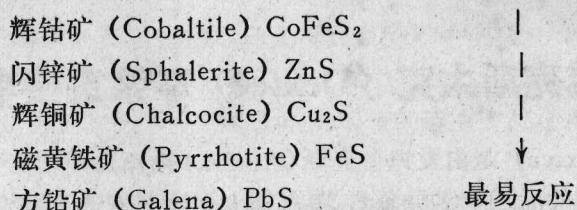
图 1

戴克斯太克矿浆直接电解法虽然还处于研究阶段, 但与传统的火法冶炼和湿法炼铜相比, 它具有一些特点: 基本上消除了污染, 它不排出有毒的气体和微尘, 一些有毒的元素如砷也不浸出而留于渣中; 流程短, 由于浸出、氧化除铁和电解在一个装置中完成, 和一般湿法炼铜相比, 整个流程比较简单; 综合利用较好, 电解过程产生的废酸全部用于浸出, 避免了一般硫酸铜溶液电解时废酸不好处理的困难。黄铜矿中的硫以元素硫形式回收, 与生产硫酸相比, 运输和贮存都方便得多; 由于铜在浸出液中大部分是以一价离子存在, 电解电耗低; 此外, 化学试剂消耗少。

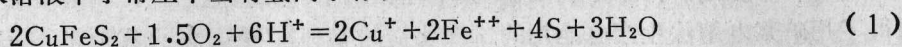
(一) 原理

在铜的硫化物中, 黄铜矿属于比较难氧化的一种。一些矿物的氧化顺序如下:

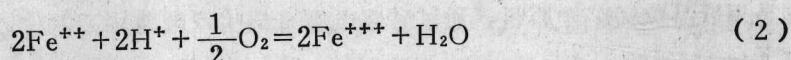
黄铁矿 (Pyrite)	FeS_2	最惰性
辉钼矿 (Molybdenite)	MoS_2	
黄铜矿 (Chalcopyrite)	CuFeS_2	
镍黄铁矿 (Pentlandite)	NiFeS_2	↓



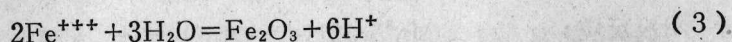
黄铜矿在水溶液中于常压下当有氢离子存在时能被空气氧化, 其反应为:



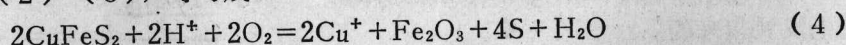
二价铁离子进一步氧化成三价:



三价铁离子水解:



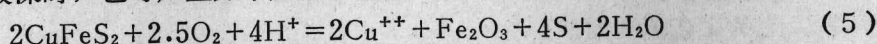
结合方程式 (1) (2) (3), 可写成:



这个反应是戴克斯太克法的基础。

浸出液是由较高浓度的氯化物 (如氯化钠, 氯化钾、氯化铵、氯化钙、氯化镁等) 组成, 溶液中的 Cu^+ 以络合物离子形式存在 (如 CuCl_2^- 或 CuCl_4^{3-} 等), 这不仅减少了电解时消耗电能较多的 Cu^{++} 的形成, 同时有利于分解反应 (1) 的向右进行; 其次, 有利于过滤性能好的铁的氧化物的形成, 有利于分解反应 (1) 的向右进行。

当氧化程度较深时, 也可产生如下反应:



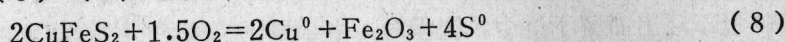
在阳极与阴极之间通以直流电之后, 氢离子可以在阳极由水氧化产生:



铜则在阴极析出



结合方程式 (4) (6) (7), 则可写成浸出电解槽的总反应为:

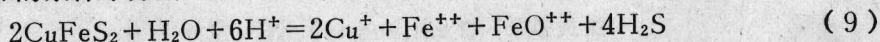


黄铜矿在常压和适当的温度下可以被 Cu^{++} 部分分解, 最终阶段的分解一般都在十分苛刻的条件下完成, 如加入 Fe^{+++} , 以保证有较高的 Cu^{++} 与 Cu^+ 之比, 或采用加压和通氧。最终阶段那部分黄铜矿分解之所以困难, 是由于黄铜矿表面形成了元素硫薄膜, 阻止了反应的继续进行。

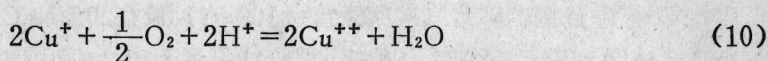
戴克斯太克的工艺条件避免了硫膜的形成, 反应过程中显微照相表明, 黄铜矿表面没有硫膜, 硫和氧化铁以颗粒状存在于渣中。这可能是所形成的中间产物如硫化氢等, 在生成元素硫和氧化铁沉淀之前就离开了矿物表面。

对于戴克斯太克矿浆直接电解法过程中避免了硫膜的生成, P.K.Everret 的解释如下:

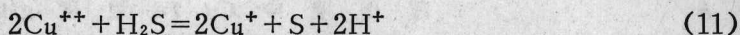
黄铜矿在温和的条件下分解



一价铜离子可以进一步氧化



二价铜离子与 H_2S 反应



S以 H_2S 形式从矿石表面离开，再转换成S的微粒，它不同于硫膜。

必须保持溶液中 Cu^{++} 低到一个能容许的浓度，以保证在硫膜形成之前完全提取Cu。

当溶液中 Cu^{++} 太高时，也可停止充气，停止如方程式(10)的进行。

对于上述反应机理的假设，尚有待于试验研究证实。

(二) 小型试验

1. 黄铜矿的空气氧化

黄铜矿在常压和适当的温度下可以被空气氧化。小型试验装置如图2

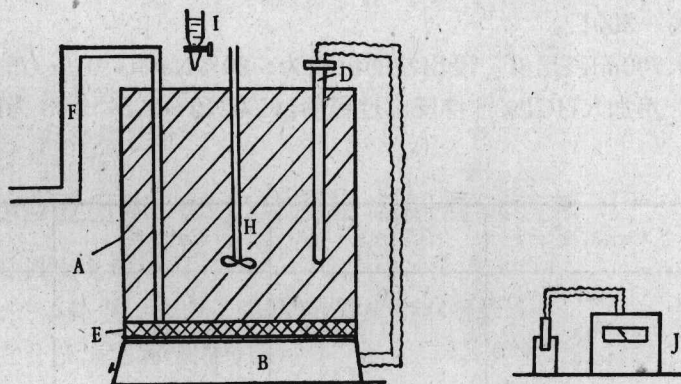


图 2

2 立升烧杯A放置在电热板B上，用节点温度计D控制温度。温度变化为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，有一个可变速的搅拌H，空气体积由转子流量计F计量，通过覆盖在烧杯底部的空气分布器E进入，空气分布器系由聚丙烯多孔织物制成，HCl通过滴定管I间歇的加入，用pH计J测定pH值。

对于黄铜矿的空气氧化，进行了温度、浸出液组成、pH值、反应时间等条件试验。

例1、三份黄铜矿的矿浆（其矿浆浓度为 100g/l ）放在 $20\%\text{NaCl}$ 溶液中，在 85°C 下，维持各自的pH为 $1\sim 1.5$ ， $2\sim 2.5$ ， $3\sim 3.5$ ，试验结果列于表1：

浸 出 液 中 Cu、Fe 浓 度 g/l

表 1

时 间 \ pH 范围	1~1.5		2~2.5		3~3.5	
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe
1 小时	8.2	7.0	9.5	2.2	3.5	0.01
2 小时	12.8	11.5	14.2	1.8	5.5	0.02
4 小时	18.5	15.5	21.5	2.0	7.8	0.04
6 小时	20.0	18.0	23.0	0.6	9.5	0.03

在pH2~2.5范围内，铜的溶解速度最快，而溶液中的Fe含量也较低。

例2、三份黄铜矿矿浆（矿浆浓度为100g/l）放在20%NaCl溶液中，维持pH为2.0~2.5，温度分别为70°C、80°C、90°C，试验结果列于表2

浸出液中 Cu、Fe 浓度 g/l

表 2

时 间	70°C		80°C		90°C	
	Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe
1 小时	7.5	1.5	9.0	2.2	9.2	2.0
2 小时	13.0	1.4	14.4	1.6	15.0	2.8
3 小时	18.2	2.2	22.8	1.4	22.0	2.0
4 小时	20.2	1.1	24.5	0.8	24.7	1.6

可见，温度以80~90°C为宜。

例3、对于芒特-艾萨（Mount Isa）铜精矿的试验

矿石磨细到90%—300目。

70克铜精矿加入700ml浸出液。浸出液的组成为：20%NaCl，6.0g/l的Cu⁺。

反应温度80°C，用加入HCl来维持反应过程的pH为2.0~2.5，表3为试验结果：

表 3

时 间 (小时)	总 Cu 浓度 g/l	Cu ⁺⁺ g/l	Cu ⁺⁺ %	总 Fe g/l
0	6.0	0	0	0
1	10.6	1.6	15	2.2
2	16.0	1.6	10	1.8
3	20.6	5.0	24	1.6
4	23.0	8.6	37	1.0
5	25.5	10.6	42	0.8
6	26.1	14.0	54	0.4

精 矿：Cu 22.0% Fe 22.6%

浸出渣：Cu 1.3% Fe 25.5%

大约95%的Cu被浸出，适当延长浸出时间，可以提高浸出率。如果希望得到含Cu⁺较高的浸出液。可以采用较高的氯化物浸出液和较小的空气量。

2 浸出一电解试验

图3是浸出一电解的小型试验装置。

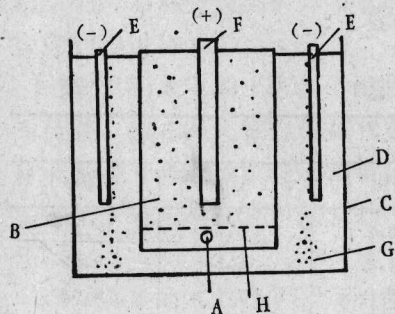


图 3

A为空气入口，B是空气—矿石—电解液体系，C是10立升容器，D是电解液，E是阴极，F是阳极，G是在阴极上产生的Cu粉并散落在底部，H为多孔分布器。

阳极隔膜为矩形，用聚丙烯粘布作为隔膜，阳极区的底是用聚丙烯布作为空气分布器。阳极是带槽的石墨板，以增大阳极表面。阴极是石墨棒。

阴极和阳极隔膜都浸在组成为10g/1Cu和20%NaCl的电解液中。

350克铜精矿加入阳极区，充入空气，在6小时内通过电流12安培，阴极电流密度为300安培/米²，阳极电流密度为50安培/米²，反应结束时从底部收集铜粉，表4为试验结果：

表 4

电 解 液 分 析	Cu (g/l)	Fe (g/l)	pH	Cu 回 收 率 %
开 始	10.4	0.1	4.5	
结 束	8.5	1.4	2.7	
固体分析	Cu%	Fe%	S %	
铜 精 矿	25.2	27.2	25.2	
渣	2.3	31.5	31.5	
Cu 粉	99.8	0.005	—	92.1

槽电压=1.0V

电耗=0.80千瓦小时/公斤Cu

渣是红色的，很容易过滤。

(三) 300立升和100立升浸出电解槽试验情况

1. 300立升浸出电解槽

在小型试验的基础上，建造了300立升的浸出电解槽。

图4为300立升浸出电解槽的结构。

圆筒形的玻璃钢槽C，内装电解液D。长方形的隔膜袋0.8M(高)×0.5M×0.08M，框架为有机玻璃，外面包以聚丙烯滤布。阳极F（8根直径为35mm×长度700mm的石墨棒）悬挂在阳极区的中央，阳极区底部是由聚丙烯布制成的多孔空气分布器H，吹入空气使精矿B悬浮在电解液中。每一侧都有阴极E（2根35mm×700mm的石墨棒），使铜粉沉积并落入锥形槽底，定期的通过插入管由泵吸出。

要处理的精矿加到阳极区中，通过的电流要适当，以保持阳极电解液的pH在2.0左右。

例 1

表5为处理来自帕柯—瓦尔森（Peko—Wallsend）精矿的试验结果。精矿经予处理除铋。

例 2

在浸出电解槽内以同样的方式处理含As的辉铜矿，这种矿石是由澳大利亚的统一金矿（Consolidated Gold Fields）供给的。试验结果列于表6：

铜的提取率超过96%，砷基本上留在渣中，没有污染产品。

2. 100立升浸出电解槽连续运转情况

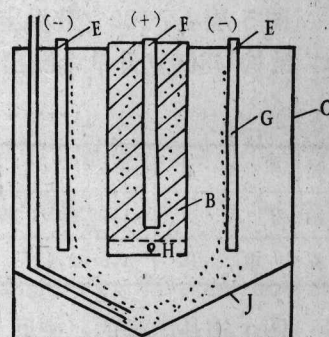


图 4

表 5

原料种类：予处理后的 Peko 精矿

阳极材料：φ 35mm×700mm 石墨棒 8 根

阳极电流密度：100~160A/M²

空气分布器：聚丙烯布 102

额定电流：100~50A

加料重量：4kg

阴极材料：4根石墨棒

阴极电流密度：100~640A/M²

隔膜材料：聚丙烯粘

电解液：20% NaCl

时 间 (小时)	0	1	2	3	5	7	9
安 培	100	80	60	60	50	50	50
伏 特	2.4	2.1	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0
空气量 (M ³)	0	0.5	1.1	1.6	3.2	4.4	5.5
空气压力 (磅/英寸 ²)	3.3	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5
阳极电解液	Cu g/l	11.6	13.6	14.8	16.0	18.8	18.0
	Fe g/l	0.86	0.84	0.92	1.0	1.0	0.9
	pH	2.6	2.2	2.3	2.3	2.4	2.0
	Cu ⁺⁺ g/l	2.8	6.4	3.6	3.5	6.0	6.6
	Cu ⁺⁺ %	25	47	24	22	33	47
温 度℃	81	81	83	83	82	82	82
阴极电解液	Cu g/l	10.8	9.2	9.2	9.2	9.2	8.8
	Fe g/l	0.86	0.84	0.92	1.0	1.0	0.9
	pH	2.6	2.5	2.3	2.4	2.5	2.4
	Cu ⁺⁺ g/l	1.8	1.5	1.5	1.3	1.1	1.3
	Cu ⁺⁺ %	17	17	17	14	12	15
温 度℃	83	85	87	87	87	85	85
固 体 分 析		精 矿	4 小 时 后 渣		残 渣		铜 粉
Cu %		21.6	11.2		1.3		99 ⁺
Fe %		28.0	29.5		32.0		0.02
重 量 (克)		4000			3200		850

图 5 是 4 个 100 立升浸出电解槽连续运转的照片，隔膜滤袋为高 0.8m×0.25m×0.08m，结构与 300 立升单个浸出槽相似。

表 6

精 矿 重 量	6 kg	电 流	100A, 5 小时
精 矿 成 分	11.6%Cu, 29%Fe, 1.13%As	渣 成 分	0.44%Cu, 31.6%Fe, 1.25%As
槽 电 压	1.8~2.5	铜 粉	99+%Cu

四个槽是串联的，中间用塑料管连结（管径约12mm），成45°角，矿浆经管内依次流入下一槽中。

对100立升的浸出电解槽，开始时如果铜精矿的品位为20~25%，则加料5kg；如果精矿品位为10~15%，则加料7~10kg。

物料在槽内总的停留时间约为8小时。四个槽子分批开动，首先开动4号槽，2小时后开动3号槽，再过2小时开动2号槽，等2号槽已开动2小时后再开1号槽。

2小时后矿浆开始流入1号槽，此时4号槽中的物料已停留了8小时，开始排料。

排出4号槽的矿浆先进入一个搅拌槽或浓密机，在这里停留2小时，渣中残存的少量铜继续浸出。然后再进行热滤，电解液返回前部，在那里与精矿混合再加入1号槽。渣进

行洗涤，开始用少量热的10%NaCl溶液洗渣，以避免 Cu^+ 的沉淀。然后再洗涤干净。

由于电解和浸出的铜相当，电解液中的铜离子保持一个适当的浓度。一般电解液中 Cu 离子浓度为20g/l，NaCl30%。

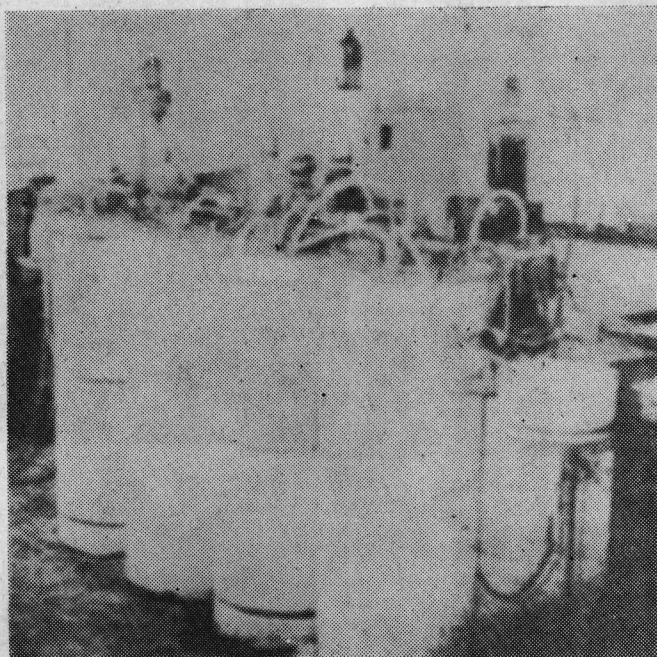


图 5

在4号槽，由于可与氢离子进行反应的矿物不多，因而矿浆的pH较低，在1、2、3号槽，pH约为2.2~2.7，而在4号槽，约为1.9~2.1，4号槽的pH值可以用来作为控制整个过程的基本参数。如果4号槽pH低，可以降低电流或增加矿浆流量。

试验中曾用过北美来的精矿，连续运转了4天，总回收率为98%。

3. 改进后的100立升浸出电解槽单槽试验

在300立升浸出电解槽的基础上，对槽的结构进行了改进。改进后的电解槽把隔膜里变成阴极区，而阳极区在阴极区的周围，他们称之为流态化床浸出电解槽(Fluid Bed Cell)。如图6、图7。

这样的结构可以提高槽子的容积利用率。矿浆的浓度也可以高一些，有可能降低溶液中 Cu^{++} 的比例，从而提高电流效率。

1) 浸出电解试验的设备连接

2) 设备及仪表

(1) 浸出电解槽

i) 槽体

图12为100立升槽体的照片。

ii) 浸出电解槽的结构

电解槽内有阴极袋。阳极、加热器。过滤管和温度计，电解槽内的结构如图13。

(2) 预处理装置

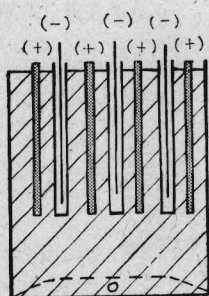


图 6

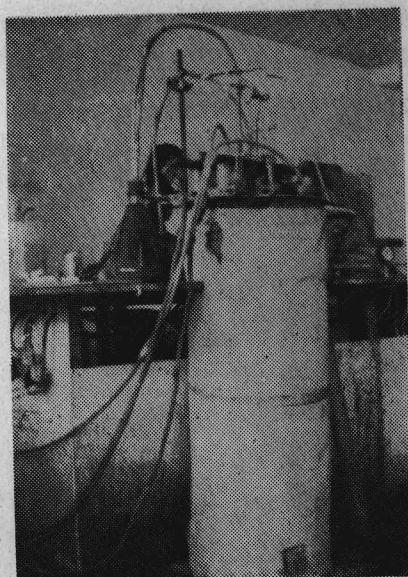


图 7

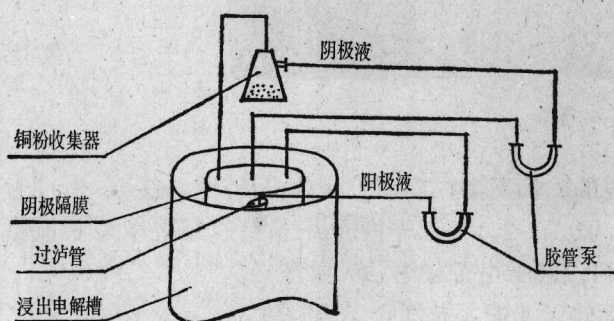


图 8 铜粉收集及电解液循环系统

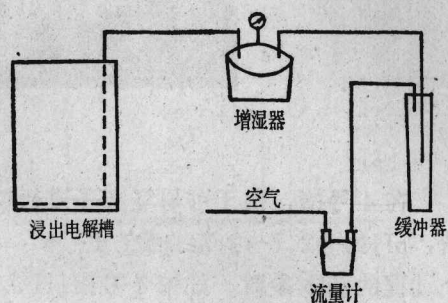


图 9 空气系统

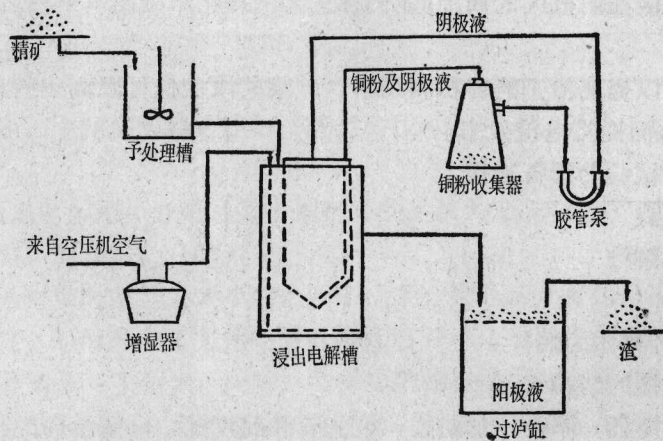


图 10 设备连接图

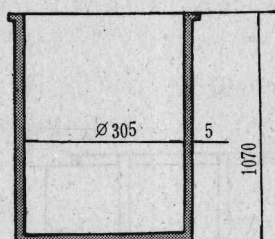


图 11

材料: 玻璃纤维环氧树脂

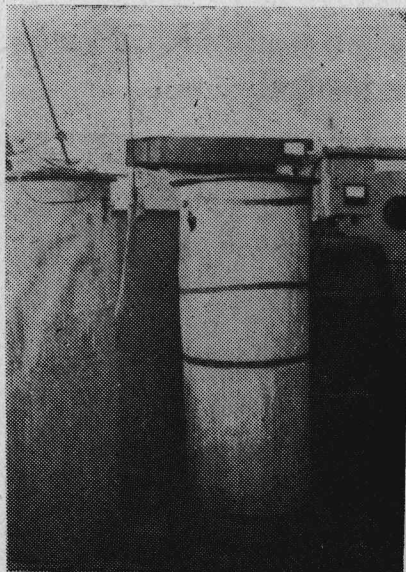


图 12

i) 球磨机

球磨机内装磁球, 其外形照片见图14。

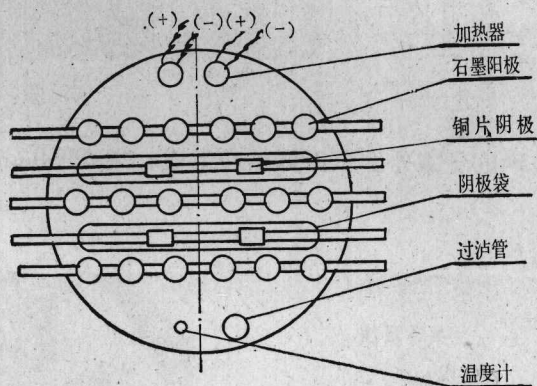


图 13

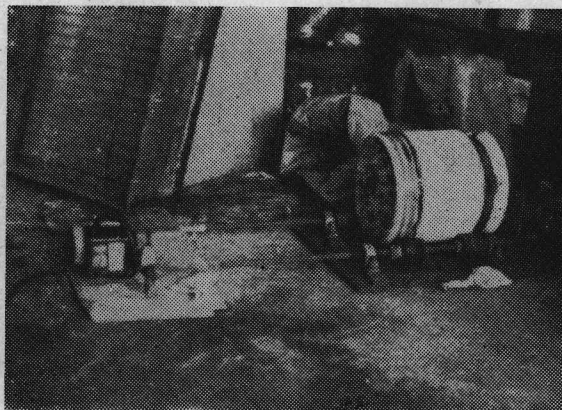


图 14

ii) 予处理搅拌槽

予处理搅拌槽是玻璃制成, $170 \times 170 \times 350$ (高) 槽内有搅拌及加热器。
予处理搅拌槽的照片见图15。

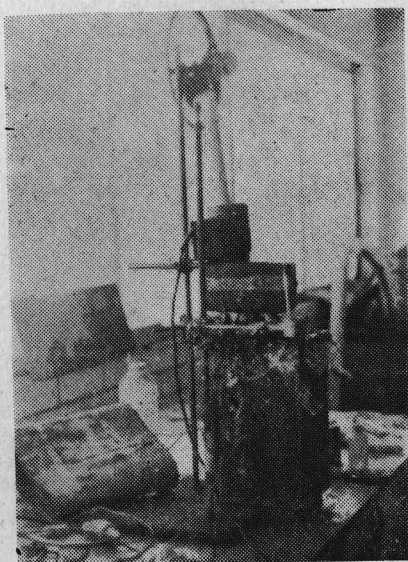


图 15

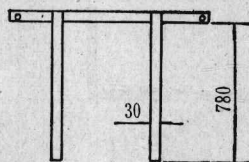
(3) 阴极及阴极隔膜袋

i) 阴极

ii) 阴极隔膜袋

阴极隔膜袋由有机玻璃的骨架外套聚丙烯粘布组成, 袋高950mm, 宽280mm。
图17为骨架照片。

图18为阴极隔膜袋照片。



材料: 铜片

图 16

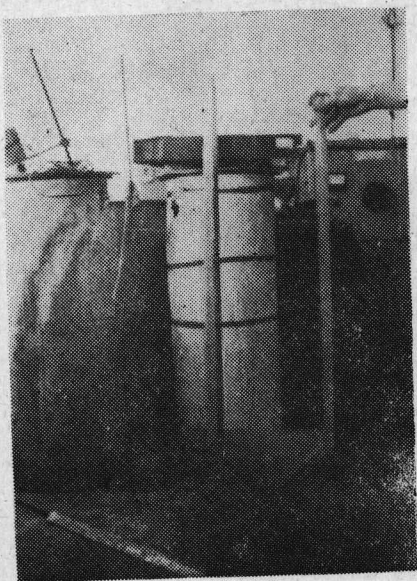


图 17



图 18

4) 增湿器

进入电解槽的空气先经增湿器再进入电解槽，以防止空气分布板由于盐析而堵塞。增湿器直径400mm，高250mm，不锈钢制成。

图19是增湿器的外形照片。

5) 阳极

阳极为 $\phi 30\text{mm}$ ，长610mm的石墨棒。

图20为阳极照片

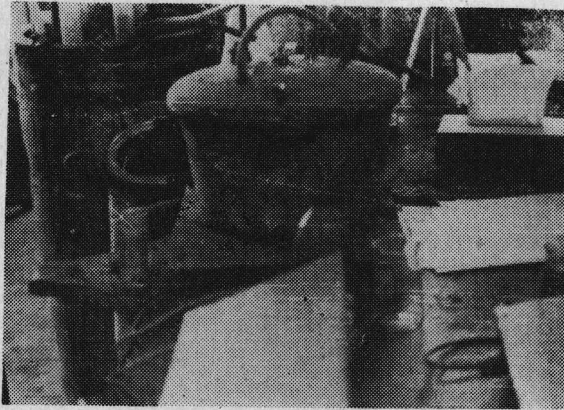


图 19

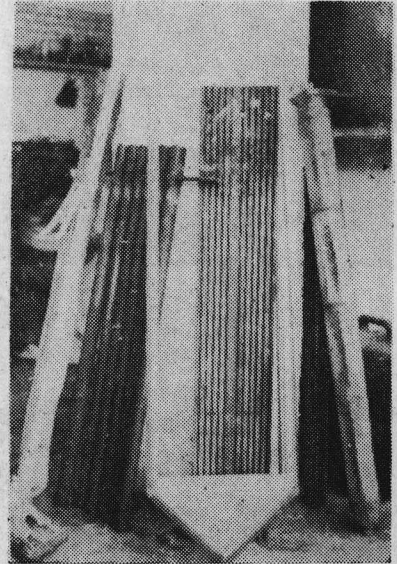


图 20

6) 过滤装置

i) 过滤管：由有机玻璃骨架外套聚丙烯粘布组成，管径65mm，高600mm，外形照片见图20。

ii) 过滤缸

矿浆的过滤是在一槽子上放置一块聚丙烯布，矿浆自然过滤。图21是正在过滤的过滤缸。

7) 空气分布器

空气分布器系用瓷板或有机玻璃板外套聚丙烯布102制成，周围用聚丙烯线缝制。

图22是空气分布器的结构尺寸。

图23是空气分布器的照片。

图24是空气分布器与槽体的装配图。

8) 胶管泵

两台胶管泵的照片见图25。

9) 空气流量计

型号 602

能力 $6\text{M}^3/\text{小时}$ (空气)