加压酸浸法处理镍、钴红土矿

二十世纪九十年代中期，勘探镍/钴红土矿再次引起了人们的兴趣。许多正在开发的项目是建立在高压硫酸浸取法基础上的，这些不断增加的项目有澳大利亚的布朗项目、马林马林项目、科斯和西斯汀项目，巴布亚新几内亚的拉穆河项目和新喀里多尼亚的戈罗项目。选择加压酸浸法处理红土矿是对过去的熔化法或还原焙烧氨浸法的重大革新。实际上，大量未采动的褐铁矿资源的可获量是其中的关键因素，通常品位太低难以进行熔化加工。尽管氨浸法仍可采用，但金属回收率高、能耗低和合适的生产成本是选择加压浸取法的主要原因。

用加压酸浸法处理红土矿始于古巴莫阿湾（Moa Bay），五十年代末期，弗里波特（Freeport）在那儿建立了一座年产量 2Mt 的褐铁矿加工厂，该厂生产工艺流程如图 1 所示。90%以上的镍和钴在 245～250℃ 温度下由加压浸取法提取出来。在此温度下，溶液中的大部分铁以赤铁矿、再生酸再沉淀出来；通过多段浓缩去渣后，残液用一种便利的石灰石—珊瑚泥来中和；然后硫化镍/钴混合物由 H_2S 析出，单体硫就生成硫酸。

加压酸浸法的进一步发展

七十年代，阿迈克斯（Amax）在新喀里多

表 2　生物氧化堆生产成本估算

采矿（剥采比 1∶1.1）	2.20 美元/t
破碎（90%通过 9mm 孔筛）	0.83 美元/t
氰化浸堆（NaCN 0.5kg/t，CaO1kg/t，$CaCo_3$ 40kg/t）	2.18 美元/t
一般性开支及管理费	1.34 美元/t
尾矿处理	0.28 美元/t
小计（氰化堆浸）：	6.83 美元/t
生物氧化（堆，培养和中和）	1.12 美元/t
合计	7.95 美元/t

生产成本是传统的氰化堆浸和生物氧化专用成本的总和。生物氧化的生产费用包括制粒、筑堆、细菌培养、养料、电耗及与生物氧化堆生产和生成酸中和有关的易耗品和维护费用。氰化法堆浸生产成本包括用石灰和石灰石的二次制粒、筑堆、氰化物消耗和富液处理直至产生多尔金锭的生产费用及辅助费。

由于生物氧化作用氧化了矿石中最易反应的硫化物组分，所以，尾矿酸生成的速度比起未进行生物氧化处理的硫化矿尾矿来说会降低。因此与未处理硫化矿相比，经过处理的矿石的尾矿处理费用可大大降低，或许与氧化矿石的费用不相上下。

初步分析表明生物氧化法减少了矿石对氰化物的消耗，其部分原因是易反应硫化物的氧化及铁和碱金属的浸出。碱金属的减少进一步改善了活性炭吸附金和炭解吸效果，以及多尔金的提炼效果。所以，生物氧化矿石的处理费用比未生物氧化矿石的处理费用要低一些。

生物氧化法的生产成本为 1.12 美元/t 矿。这表明可用该技术来处理较低品位的硫化矿石。由于生物氧化堆所需要的投资比其它技术所需要的投资还低，因此，这一技术可用于较小的矿床。

生物氧化部分的 11.6 百万美元的估算投资费用比高压釜、焙烧炉或浓缩搅拌槽工艺所需要的投资要低。生物氧化堆投资中的大部分资金投在垫板和中和酸性废水的设施上。由于生物氧化堆的工艺设备操作简单故其对技术操作能力和维护能力的要求比其它氧化技术的要低。虽然菌种的配制很专业化，但其经验可从其它相关工业获得。

WME12—0104（李丛奎　　陈隆玉）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

尼亚的普罗尼项目中采用了加压酸浸法，该项目是为了进一步完善和发展莫阿湾的加压酸浸法的扩大试验项目。阿迈克斯提出一个关键问题是随后用高浓度酸一并处理腐泥土矿。

提高能源利用率、降低高压结垢、改善硫化物沉淀条件也是该法的重点问题。阿迈克斯也曾计划用氯化物原地浸取和溶剂萃取来提取硫化物。尽管普罗尼加工厂一直没有建成，但阿迈克斯所作的工作，现已被广泛传播，对加压酸浸法的长远发展作出了重大贡献。

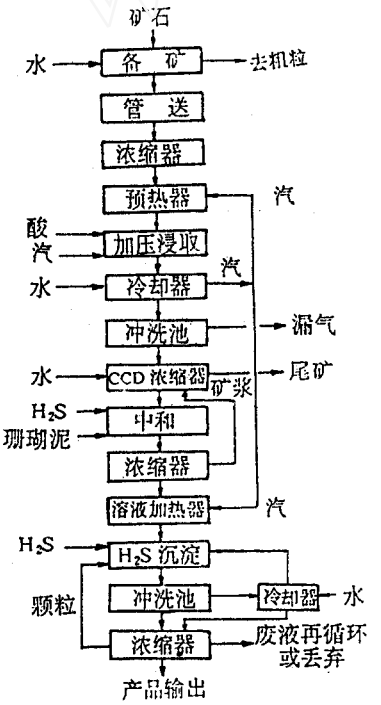


图 1 加压酸浸法工艺流程

八十年代早期，加利福尼亚镍公司在加利福尼亚北部的加斯奎特项目中也采用了加压酸浸法。在该项目的开发计划中，也提到了腐泥土矿处理、降低能耗和减少塌垢。它所采用的生产工艺为分批高压并以氧化镁作沉淀剂生产氢氧化物产品。对溶剂萃取留在现场的沉淀物的深加工问题也有所考虑。普罗尼项目和加斯奎特项目虽未实施，但在加压酸浸法的发展过程中建立了另一个里程碑。

加压酸浸法的现状

雷索卢特资源公司(Resolute Resources)在澳大利亚西部的布朗项目的工作始于1988年，采用加压酸浸法的可行性研究最初是建立在有可能从西部采矿公司的炼镍厂得到所需要的酸的基础上，目前该项目正处在可行性研究的最后阶段。在澳大利亚西部的其它项目包括：阿纳康达镍公司(Anaconda Nickel)的马林马林项目和森特公司(Centaur)的科斯项目，它们都处在加速开发阶段。另外，新喀里多尼亚的戈罗项目，巴布亚新几内亚的拉穆河项目和新南威尔士州的西斯汀项目都处在不同的开发阶段。

回收金、锌的加压氧化厂数目的增多无疑推动着加压酸浸法的发展。这些工厂除了推广应用加压技术，还积累了施工和设备设计方面的经验；这些经验现也能用于红土矿的加压浸取中。

另一个推动着加压酸浸法发展的关键因素是在镍和钴的溶剂萃取中引进和使用新的萃取剂，如 Henkel's LIX84 和 Cytel's Cyanex 272。这些为原地金属浸出提供了更大的选择余地，对新生产厂商特别具有吸引力。

加压酸浸法工艺流程选择

选择采用加压酸浸法以后，实际上就有一个流程选择问题，需要针对各个特殊应用条件来加以考虑。影响最优流程的因素有：资源的地质情况和矿物性质；工程项目地理位置；矿石加工速度；制酸厂距离；精炼厂的距离；要求的工程进度；公司的经历和宗旨；资金需求；产品的市场需求。

主要的加工步骤详述如下。

矿石配备 矿石本身的特性显然是决定性因素。还要考虑的有：提高矿石品位的可能性、矿石破碎或碾磨的必要性、产生如铬铁矿这类副产品的可能性、矿山至加工厂的距

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

离、拌合各种矿石类型的必要性和出现象粘土导致矿浆流变之类的特殊问题。

加压浸取 对加压浸取和相关设施而言，主要有如下选择：

·选择连续生产还是选择分批生产；

·生产温度选择莫阿湾式的 245～250°C 还是选择阿迈克斯所推荐的 260～270℃；

·选用闪蒸池还是选用以原料预热的间接交换器；

·选用黄金工业中使用的水平多格容器还是选用莫阿湾式的垂直高压釜；

·选择一步浸取还是选择腐泥土和褐铁矿一起的两步浸取。

固液分离 通常是在常规容量与大容量的浓缩机之间选择。浸出泥浆一般难以过滤。

产品回收 有三种基本的回收方式可供选择：

(1)莫阿湾式的硫化物沉淀方式。沉淀物可送往精炼厂或就地处理；

(2)氢氧化物方式(或其它碱性沉淀物)。同样，沉淀物可送往精炼厂或采取原地浸取和溶剂萃取方式处理；

(3)直接采用溶剂萃取来分别回收高纯金属镍和钴以及盐。

沉淀硫化物回收法工艺成熟，氢氧化物回收法尽管其步骤简单，且能从相似的工艺，如非洲从硫化物矿石中提炼金属钴，吸取经验，但一直没有获得大规模地应用；溶剂萃取回收法可运用于任何地方，但尚未工业规模地运用于加压浸取生产中。

中和 中和受选择的产品回收方式及中和剂的有效度和成本的影响。通常，用石灰石来中和残余酸液并在必要时用它来中和铁沉淀物。可用作中和剂的还有：方解石、菱镁矿、石灰。用苛性碱、纯碱和氨等来稍微调节 PH 值将更为适合。在两步浸出法中，高品位镁氧矿可用作中和剂，在必要时，用焙烧方式来提高氧化镁的含量。

酸的供应 可以选择购买硫酸或是就地用硫或精黄铁矿制酸。购酸的优点是投资少；而另一方面，现场制酸厂能提供生产所需的电力和蒸汽。现代烧硫厂效率特别高，硫酸和能源均为其主要产品。处理矿石过程中消耗大量硫酸的费用由相应的节约能源的费用所弥补，这是一个非常重要的因素，正如阿迈克斯于七十年代在他的"便利的方法"中所高度评价的一样。

主要费用

很明显，资金和生产成本受到现场许多特殊因素的影响，基建费用尤与工厂选址有关。这里所列的费用是指与建立在澳大利亚的年产 2.5Mt 生产能力的加工厂有关的费用，假设当地的条件为：

·有充足的低盐井水可供利用；

·可就地用硫来制酸并同时生产能量；

·可用天然气制汽；

·采矿作业可承包出去；

·独立生产；

·褐铁矿废石率低。

设计流程如图 2、3 所示，其特点为：

·矿石配备包含制浆和筛分—去掉粗颗粒；

·在多段直触式闪蒸池中预热；

·在水平多格高压釜中用硫酸加压浸取；

·用预热器回收蒸汽方式在冲洗池中实行多段降压；

·使用大容量浓缩机实行多段逆流浓缩/冲洗；

·用碾碎的石灰石来中和残酸和铁沉淀物；

·最后经过用石灰石来去铁和去铝多次循环后，在沉淀物中回收镍和钴；

·氢氧化镍/钴经过相继沉淀和过滤即成为可售产品；

·原地精炼厂以氨浸法为基础用溶剂萃

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

取法或电积法生产阴极镍和能进一步提炼成金属的硫化钴；

原地燃硫制酸厂同时可生产能量。

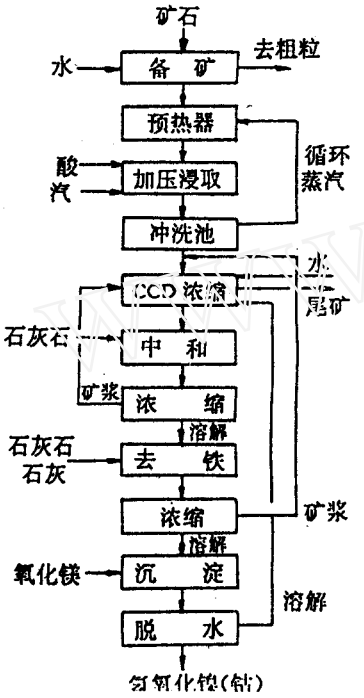


图 2 从矿石中提取镍、钴的加压浸取工艺流程

用硫化物回收法替代氢氧化物回收法已得到共识，同时可选择用溶剂萃取法直接从溶浸液中分别提取镍和钴。在实际评估中，要考虑这些方面。

加工厂设计标准假定为：

- 矿石品位镍 1.35%、钴 0.1%；
- 工厂生产能力 8000t/d(干料)；
- 工作时间 7500h/a；
- 吨矿耗酸 350kg；
- 加压浸取温度 250℃；
- 考虑到各种损失后，镍和钴的全部回收率达 92%。

基建费用 按 96 年度澳大利亚币值计算的巨额投资费如下：

项 目	费用(百万澳元)
矿山设施	3
加工厂及服务设施	385
制酸厂	70
其 它	42
合 计	500

基础设施费用如供水、供电、道路、房屋和尾矿处理不包括在内。

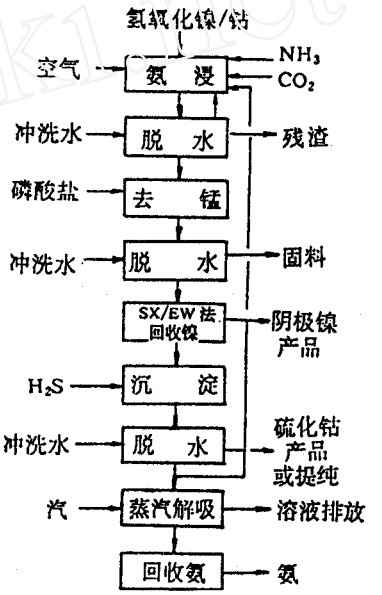


图 3 用氨浸法提取镍、钴的工艺流程

生产成本 每吨干矿石的生产成本如下：

项 目	成本(澳元/吨)
采 矿	7
工 资	3
材料消耗	33
维修材料费	4
燃 料	10
其它(不含运输费)	3
合 计	60

若不计算钴的价值，镍的成本为 1.62 美元/磅(按 1 美元＝0.74 澳元)；若按钴价为 9 美元/磅计算，则镍的成本为 0.95 美元/磅。

WME12—0105(李学锋 韩志型)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net