目　录

序言

编者序

第一章　金和银矿石的堆浸……（1）

阿姆塞尔科矿物公司鳄鱼脊工程……（9）

坎德拉利亚联合公司……（15）

卡林黄金矿业公司布茨特拉帕矿……（21）

科特斯金矿黄金地矿区……（26）

金田矿业公司奥蒂斯山矿……（31）

71矿物有限公司……（37）

烟谷矿业公司……（41）

图斯卡洛拉联营公司……（47）

蒂果投资公司……（55）

第二章　炭浆法回收金和银……（59）

埃尔·印迪欧矿业公司……（64）

杜瓦尔公司……（67）

霍姆斯特克矿业公司斗狗山矿……（73）

宾松矿业公司……（79）

第三章　常规氰化厂金银生产实践……（86）

阿格尼科-伊格尔矿业有限公司……（86）

阿山蒂金矿区股份有限公司……（91）

英美公司南非股份有限公司埃兰茨兰德金矿公司……（95）

德拉马尔银矿……（101）

弗朗蒂诺金矿有限公司……（105）

休斯敦国际矿物公司……（110）

钼蒙特控股有限公司特尔弗矿……（114）

普韦布洛·维耶乔矿……（119）

里奥·廷托·帕蒂诺公司塞罗·科罗拉多矿(西班牙)…… (125)
标准废渣公司亚特兰大矿…… (131)
西海岸石油和天然气公司醋栗矿…… (135)
第四章 其他工艺…… (141)
用离子交换法回收氰化溶液中的金…… (141)
苏联用离子交换法生产黄金的实践…… (142)
从已停产的选金厂里回收黄金…… (145)
参考文献…… (150)

第一章　金和银矿石的堆浸

浸出矿石的破碎和磨矿其目的显然是为了使溶剂和矿物能充分接触，经过相当时间接触后溶液转化为含金属的贵液。堆浸（Heap leaching）是将开采出的矿石转运到预先准备好相对不透水的堆场上，用喷淋或浸液渗滤法，使溶液通过矿石产生渗滤浸出作用。废石堆浸（Dump leaching）则是对堆存的废石或低品位矿石或覆盖岩堆层等在其下部不用事先构筑场基上，进行浸出。堆浸的原料，例如从露天矿剥离出并堆存的低品位矿石可不经过破碎即进行浸出，并且能通过堆浸方法得到很高的回收率。对较高品位的金或银矿石则先破碎到粒度为9～13毫米后，采用交替方法堆放在堆场进行浸出，如在内华达州的烟谷矿业公司（Smoky Valley Mining Company）的朗德山（Round Mountain）金矿所采用的堆浸；也有将矿石破碎到38毫米后进行堆浸的，如在内华达州坎德拉利亚联合股份公司（Candelaria Partners）的坎德拉利亚银矿所进行的堆浸。

铜矿石的堆浸大概始于1752年在西班牙的里约-廷托公司（Rio Tinto）。这是对长期露天堆存的风化矿堆进行堆浸，浸出液从浸堆中排出后再用铁置换。这种工艺应用于美国西南部早期勘探的低品位的铜矿石，并在亚利桑那州比斯比（Bisbee）的萨克拉门托山（Sacramento Hill）矿于1923年建设了第一个堆浸场。半个世纪以前所采用的场地准备工作同现在的相同。"对于堆浸的场地显然是需要做某种形式的防水设施。矿石在堆放之前，应先清除场地上仙人掌

等荆棘草丛。清理之后做成一缓坡，再在其上面敷设粘土或尾矿并加以碾压和夯实成为浸出堆场"。在筑堆时，可先放上粗粒碎石薄层以便排液。

不经过磨矿的第二种浸出方法，通常用于高品位矿石的浸出。该法是将物料破碎到9～13毫米粒度后在大槽子或大桶里浸出。这类工厂明显地较之用堆浸设施需要更多的费用，但远比用磨矿后搅拌浸出方法便宜，并可望比堆浸获得更高的回收率。槽浸已广泛应用于高品位铜矿石的矿山中，但对于该粒级的金和银矿石的槽浸还是处于小规模的生产。而且还认为这类工厂只适用于几百万吨规模，品位为3～7克/吨，破碎粒度9毫米的卡林（Carlin-type）型易浸的矿石。因为在生产中还没有矿石经过破碎后槽浸金和银的工厂，所以在此有必要对以往叙述的铜矿槽浸作一个实例加以描述。

桑·塞威尔（San Xavier）浸出厂位于亚利桑那州图森（Tucson）西南32公里，1973年3月投产以来一直在生产。这个工厂投资1200万美元，设计的处理能力为3630吨/日。小型与半工业试验的结果表明，粒度小于11毫米的矿石其适宜的浸出时间为五天半，并在采掘和运输到浸渣堆场之前又采用了多次洗涤。

原矿经1220×1525毫米颚式破碎机破碎之后，再经两段细碎并送到筛分作业筛出小于11毫米的筛下产物，经喷湿后送往制团和取样。由于浸槽的给矿中含有百分之几小于200目的颗粒，有必要将它制成团块以改善渗滤条件。制团是在安装有一种带犁形翻滚装置的胶带输送机上同时进行喷水来完成的。球团矿再由与浸槽平行布置的一条长230米，宽760毫米胶带输送机输送到自动卸料车上，然后再卸入门式移动

料槽中，并从料槽经过第二台自动卸料车将物料给入浸出槽中。门式移动料槽的跨度为30米，采用自动控制方式以每12～14小时卸载3630吨的能力向浸出槽[illegible]浸出槽一共有9个，每个为21×21×6米深，每一次[illegible]为9天，其中包括装载一天；挖取一天；洗涤一天和浸出六天。洗涤之后，槽浸的浸渣用跨度为38米桥式抓斗起重机挖掘。在这台起重机上装有5.3立方米的抓斗，每小时处理能力为450吨[1]。

近年来，对含铜废料进行堆浸来回收铜已建立起工艺学的基础，也就是说铜的浸出工艺很快地成为一门学科。在这种工艺中铜是以高品位的氧化矿形式存在，因而能够将湿法冶金工艺应用于槽浸、搅拌浸出或制备成球团之后进行堆浸。上述这些手段尤其在这些过程中使用了酸浸或氰化物浸出药剂就能更好地控制浸出液的回收率。

在铀工业中，用工业规模的堆浸和槽浸法处理品位极低的铀矿石（除游离状态外），尚未受到欢迎。然而，在适当的时候堆浸方法定将成功地运用于金和银矿石。

根据报道，粗颗粒铀矿石的堆浸已应用于法国南部的康塔尔省的圣·皮埃尔（St.Pierre du Cantal）。来自露天矿的堆存矿石用水力回收并进行筛分，其筛下产物经浓缩后进行搅拌浸出。贵液通过树脂吸附柱进行循环。筛上产物或粗砂在四个10米深的内侧涂有沥青层的槽浸坑里进行分批浸出。浸出液渗过矿石经汇集后送至回收厂处理[2]。

浸堆中浸出液的分配可采用几种技术。其内容包括浸出池的防洪结构、喷洒器型式及喷洒器的布置等。较成功的生产操作是控制浸出液的分配量，在每平方米面积上为10升/时。这些技术给堆浸金和银矿石的生产指出了新的发展方

向。然而，自本世纪以来，来自经过捣碎后的大于200目的金矿石仍采用渗滤槽浸出；霍姆斯特克矿直到现在仍然沿用该厂处理粗粒级矿石部分的浸出工艺实践。这种泥-砂分别处理技术常被认为是一种十分典型的生产实践，因为即使是在早期，也都认为用渗滤槽处理砂矿部分要比将矿石全部磨细成细泥并在帕丘卡槽（Pachuca agitation）处理方法更为便宜。

矿石类型

美国矿务局于1967年对卡林矿业公司布茨特拉帕矿（Carlin's Bootstrap mine）的金矿石堆浸发生了兴趣，并宣布：

"可以用堆浸方法处理的含金矿石应当是多孔的、对氰化物相对无干扰的、并含有细粒的单体金。粘土含量必须低至足使矿石在渗滤过程中浸出液能透过浸堆"。

卡林型矿石，其性质类似海相沉积物——主要为粉砂岩和穿插于燧石层里的石灰质岩——已成为适用了废石堆浸或微粒矿石堆浸的典型原料。如果有相当百分数的金存在于略大于微米粒级物料中，总回收率就会下降。被包裹于硫化物中的金和银，多半会使回收率降低。含碳质物的矿石会引起溶液中金再吸附在炭上，并因此而降低了回收率。布茨特拉帕矿和科特斯（Cortez）矿具有卡林型矿的性质并能在很粗粒级条件下浸出，但烟谷矿则必须破碎到10毫米。大多数含银矿石是不能适应于用粗粒级状态浸出，因为银同其它元素化合成许多种矿物形态，因而常使矿石难于浸出，甚至需要采取细磨。堆浸银矿至今主要是处理坑内采出堆存的低品位矿石，这些矿石通常其上限粒度不大于300毫米，并且均经过75～100年的风化过程。很多这类含银矿石在出现氰化处理法

之前早就开采出来了。但是在1980年10月已投产的坎德拉利亚（Candelaria）矿则是一个例外的情况。

一般情况下，对已确定了某一浸出时间的金和银矿石在堆浸时，将随浸出物料粒级减小而使浸出的金银回收率上升，直到对浸出液的渗透形成不利影响，或发展到产生沟流（Channeling）为止。用粗粒物料延长浸出时间能弥补一定程度的回收率下降。

露天矿采出的矿石同坑内开采的矿石相比，其堆浸回收率预计要低一些，而当把矿石破碎到小于10毫米后进行堆浸，一般比槽浸所得到的回收率要低一些。对于以较高的基建投资和生产费用进行细磨矿的搅拌浸出，会取得最高的回收率。浸出处理方法的选择主要是受矿石粒度和矿体类型以及预测贵金属价格等的影响。对于确定某种氰化法时，当以金计价为5.63美元/克和银计价为0.19美元/克与金计价为19.3美元/克和银计价为0.643美元/克相比情况下，计价低时则应采用更为简单的方法较为适宜。

矿石对堆浸的适应性

当钻取一个矿体的或采集废石堆的样品时，金和银的含量通常要根据火法试金的分析结果来确定。然而，对矿浆样品的分析采用原子吸收仪是有很好实效的，这种方法可测出用氰化物能浸出的金银量，这就确定了矿石能否用氰化物溶液渗滤浸出工艺技术的适应性。第一阶段通常是用摇动台烧瓶（bottle-roll）进行氰化试验，装入200～500克研磨过的矿浆，从而确定金和银的最大浸出率与药剂消耗量。摇动台烧瓶试验方法也可处理小于50毫米级别的物料。破碎成各种粒级的矿石能在试验室里的浸出柱装置中浸出，浸出柱的直径约为200毫米或略大些，并具有1.2～5米高的床层。

其试验方法是将50～150公斤的物料放在塑料筒内浸出，选用高浓度氰化物-石灰的贫液淋洒在矿石的表面上，从下部排出的贵液可采用两种方案处理：金矿为通过小型活性炭吸附柱吸附，银矿石采用锌丝置换。根据这些试验，能够估算出金属回收率和药剂的消耗量。半工业浸出试验通常用于作选择堆浸物料的适宜粒度。

堆浸场地

所有工业生产的氰化堆浸法操作是将拟浸出物料堆放在经过精心铺设的不透水的堆场上。不透水的堆场必须在浸堆下能集聚大量贵液，还具备不致污染地下水源及不使金和银的氰化物溶液流失的可能性。

用于堆浸生产的堆场有以下几种类型：（1）压实的天然膨润土粘土床，如用于图斯卡洛拉和布茨特拉帕；（2）压实的混有选矿厂细泥尾矿的粘土，如用于科特斯；（3）沥青层，如用于烟谷和卡林；（4）塑料布，如用于某些小规模生产中。无疑，迟早将有其它型式的堆浸场地很快地建造起来。建造者们喜欢使用清除掉山艾树和石块，然后铺设沉积在河床的粘土，按二至三层，厚度为300～460毫米，每层都淋湿，尔后用橡胶轮载重设备或其它辗压机压实形成的堆浸场地。

浸堆的建造

浸堆是由经过破碎的矿石或坑内及露天采出矿石堆成适当大小的面积并筑成高度从3米到6米的矿堆。当物料具有良好的溶液渗滤性时，则可将浸堆筑成较大的高度。浸堆的施工可用汽车和一台牵引车铺开，以及用铲运机等进行筑堆。很重要一点是要避免压得过实或是产生离析，以致妨碍渗滤作用和造成沟流现象。

浸堆在已建成的堆场上堆筑之前，在堆场上先铺设13～100毫米粒级和高度为300～400毫米的砾石或块石，以便使矿石与堆场之间有良好的溶液流通作用。用推土机铺开矿石常常会出现使大块矿石滚到浸堆的底层。浸堆的堆脚处需横铺大约有3米宽的塑料布，并有效地将贵液收集到沿堆场边缘有塑料衬里的沟渠里。堆场还应筑成一定坡度，按最小为2%，最大为7%的斜面。

溶液池

贵液和贫液贮存在有足够容量的贮池中，其容积应适合生产需要并能防止因暴雨和冬季降雪而造成的流失。该贮池还应具有不透水性，它系由一层塑料衬里来实现。通常用夹有尼龙线的聚氯乙烯或0.75毫米厚的氯化磺化聚乙烯合成橡胶薄膜做衬里。一些较小规模生产厂不使用贫液池，而把贫液直接用泵扬到浸堆。

浸出液的使用

大多数的金—银堆浸作业采用在塑料管道上装有雨鸟式（Rainbird）或尼尔松（Nelson）喷洒器，或者采用短的乳胶管即称为巴格达（Bagdad）甩摆式喷洒器，将氰化物溶液喷淋到浸堆上。含有氰化物和石灰或氢氧化钠的贫液用作浸出液。氢氧化钠是最常用来作氰化物的保护碱的，而当使用石灰时会很快引起管子内壁结垢，喷淋器堵塞，以至引起炭吸附装置上的炭结垢。甚至在使用氢氧化钠时也一样，由于在浸出液中受到来自岩石中钙离子被钠离子置换而产生结垢现象。但是在浸出液中加入1～3毫克/升的合成有机磷酸盐时，这种结垢就会减少到最低限度。

浸出液的用量从一种操作变为另一操作总是变化的，但一般其应用范围为每平方米浸堆面积约10升/时，溶液的

浓度范围对金矿石而言每吨浸出液中含氰化钠0.25～0.5公斤，而对银矿石来说每吨浸出液中含氰化钠要达1公斤。其pH值维持在9.5～10.5。在内华达州，因蒸发和其它原因，浸出液的损耗量通常为10～25%，它取决于大气温度。浸出作业一直进行到气温降到结冰时为止，其溶液分配管线是倾斜的，以使溶液易于流动并通畅地排放。烟谷矿业公司采用了对浸液加热，因而即使气温降到零下9℃时仍能维持生产。

从氰化溶液中回收金和银

从浸堆的贵液中回收金和银，既可采用常规的麦瑞尔-克洛韦锌粉置换法也可用活性炭吸附方法。对于银矿来说应优先采用锌粉置换法，因为有回收价值的银矿石必须具有远比金矿石含金量高得多的金属含量，而炭吸附银需比金有更多的吸附段数(8比5)。此外，如用炭吸附需要增加许多炭量及其再生系统的费用，这就将比采用麦瑞尔-克洛韦锌粉置换系统的费用高出很多。

由于锌粉置换法是一项著名的技术成就，在此就不多加讨论了。在一种典型的连续炭吸附操作中，贮液池中氰化贵液用泵扬送，由下而上通过五个串联吸附柱，柱中装有16～30目的活性炭(图1-1)。溶液的上升流速必须保持在每平方米610～1020升/分，以便使溶液在常态炭床上得到适当扩散。炭的典型金属负载能力为6800～13600克/吨。活性炭是由喷射提升器按逆流方向在溶液中缓慢向前窜动，新鲜炭是加到最后一槽里，其负载量的范围是3400～6800克/吨。超过这个负载量，金在贫液中的损失将是很可观的。从载金炭中回收金和银的各种操作情况已经有了介绍。

堆浸的典型实例

在本书中所描述的堆浸生产的典型实例有：（1）烟谷

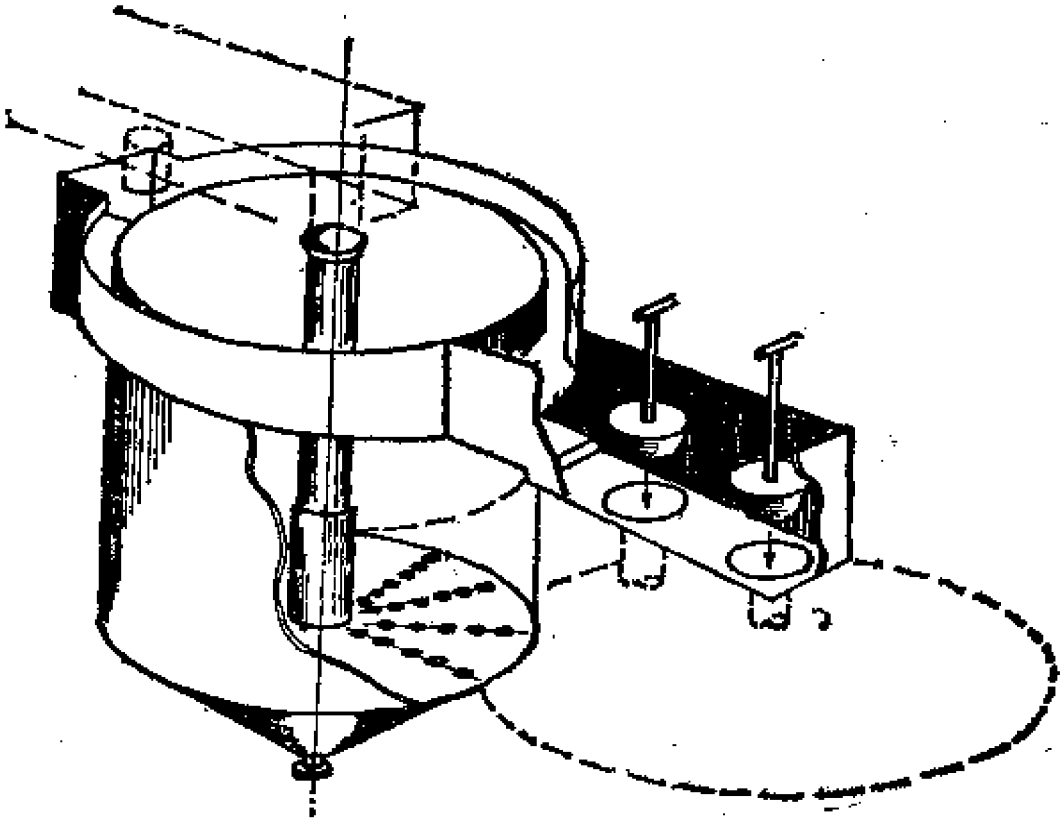


图 1-1　典型的炭吸附锥（带有旁通回路的配置）

矿业公司的将细碎后的金矿石在准备好的沥青堆场上进行轮流堆浸；（2）卡林公司的布茨特拉帕矿的将露天和坑内采出的低品位金矿石堆放在经过压实后的湖底粘土作为永久性堆场上进行堆浸；（3）图斯卡洛拉联营公司的将坑内采出堆存上百年的银矿石在经过压实的粘土和泥灰石混合物并可以重复使用的堆场上进行堆浸。

阿姆塞尔科矿物公司鳄鱼脊工程
(White Pine County, Nevada)

鳄鱼脊工程 (Alligator Ridge Project) 是阿姆塞尔科矿物公司 (Amselco Minerals Inc.)和西方矿物

公司（Occidental Minerals）共同拥有而由阿姆塞尔科经营。它是内华达州最新的一座金矿堆浸工程，设计以后，于1980年10月投入生产，建设周期为七个半月。鳄鱼脊工程位于内华达州伊利（Ely）的西北约77公里处。将开发三个分开但又相邻的矿体，先开采Ⅰ号矿，依次开采Ⅱ和Ⅲ号。第一个矿体实际上接近于地表，其大部已被氧化；第二个矿体则埋藏得深一些并略含些碳质物；而第三个矿体则埋藏在最低层，系含有大量碳质物的矿石。矿石属于已硅化的卡林型粉砂岩，在深部硅化更甚，且含有极细的浸染状单体金。鳄鱼脊工程的钻探结果确定矿石储量约为454万吨，平均品位为4.12克/吨。

小型堆浸试验是在1979年进行的。因为在矿体的部分地段细粒物料含量较高，第一次浸出试验矿堆为5000吨，矿石先破碎至小于19毫米之后，按常规方法用氰化物和氢氧化钠浸出，而第二个堆浸试验先将2500吨堆浸矿石在浸出之前，用水泥把矿石制成球团。这个操作结果已由鲍尔·张伯伦（Paul Chamberlin）于1980年的采矿会议上做了报道。试验工作清楚地表明，球团后的矿石具有优良的浸出效果，同时在此基础上进行了工业设计。

原矿石经过安装在露天破碎厂的颚式破碎机粗碎，紧接着用二台圆锥破碎机进行中、细碎，其中一台为标准型，另一台则为短头型。当矿石由于降雨或降雪而受潮湿时，即经备有旁路系统绕过短头圆锥破碎机。矿石破碎到19毫米粒度后掺入水泥用氰化物溶液混合，每吨矿石的水泥用量为2～5公斤，其最终含水量约为8%，这些细颗粒矿即有效地同粗颗粒相粘合，这样，细粒物料在浸出过程中就不产生移动现象。为进行矿石制团，阿姆塞尔科公司采用一种Φ2.75×6米

的圆筒形球团机。而同样的制团工艺在坎德拉利亚公司则采用三台折带式输送机("grasshopper" conveyors)，在输送机的各转运点设有添加苛性氰化物溶液导入装置，并在这些点上还预留了添加水泥浆的设施。

球团矿由输送机送往一座卸载仓，再用汽车从此运出至堆场，然后用推土机将汽车卸下来的球团矿推展在粘土质堆场上筑起浸堆。堆场上还堆放一层块石以作为贵液排泄之用。浸液的喷淋是采用装在耶鲁麦(Yellomine)式管道系统的雨鸟式喷淋器来进行的。

生产用水是从附近的水井中抽出，水质非常硬；在使用之前，要在两座衬有塑料的沉淀池中添加氢氧化钠，进行水质软化处理，这样可防止管道、泵体及其它装备内结垢。

贵液系以自流形式给入有塑料衬里的贵液池中，然后以3875升/分的流量扬送至五台串联的炭吸附柱。这些炭吸附柱的唯一特点是圆柱体的底部有一个高度为300毫米的圆锥体，以便于将活性炭清除干净，而圆柱体与锥体之间有一块算板，其上面有19毫米直径的小孔群，每个小孔上装有直径为100毫米平板的泡罩(bubble cap)。前两个吸附柱用厚筛网覆盖，以防止高品位载金炭的流失。贫液用添加20%氰化钠溶液和50%氢氧化钠来强化。氢氧化钠溶液采用油罐汽车运输，而固体氰化钠则用移动式料仓贮运。

载金炭在两个不锈钢制解吸柱中的一个里进行加压解吸。这个工厂的另一个特点是使用经过软化过的水作解吸液，即使反复使用的水，也需进一步软化，以防止在解吸部分结垢。高品位的解吸液进行冷却到85℃，储存于不锈钢的贮槽中，然后用泵扬送到两排矩形玻璃钢电解槽内电积，金沉积在钢棉上。电解槽上没有排泥管，所有沉淀金泥都将采

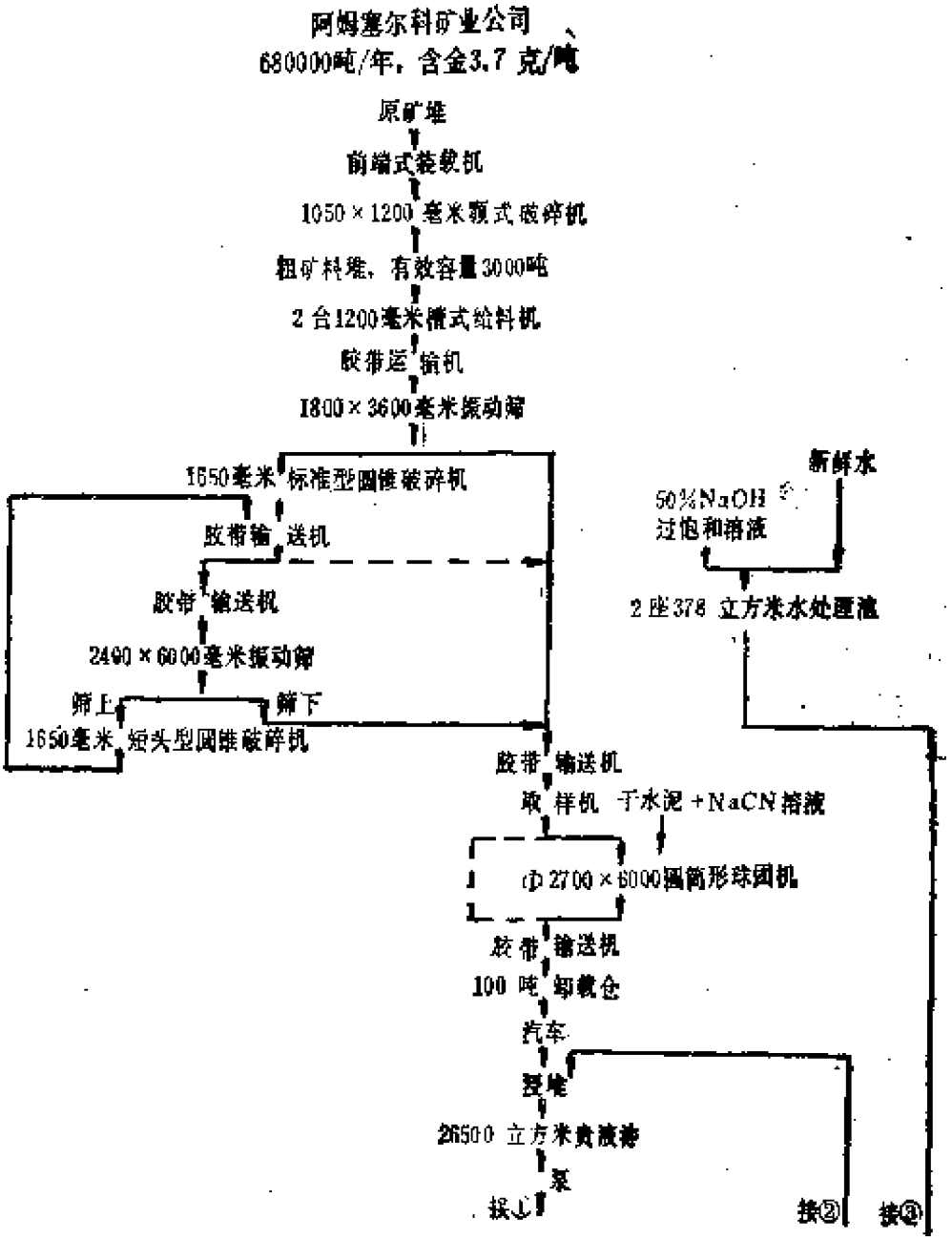
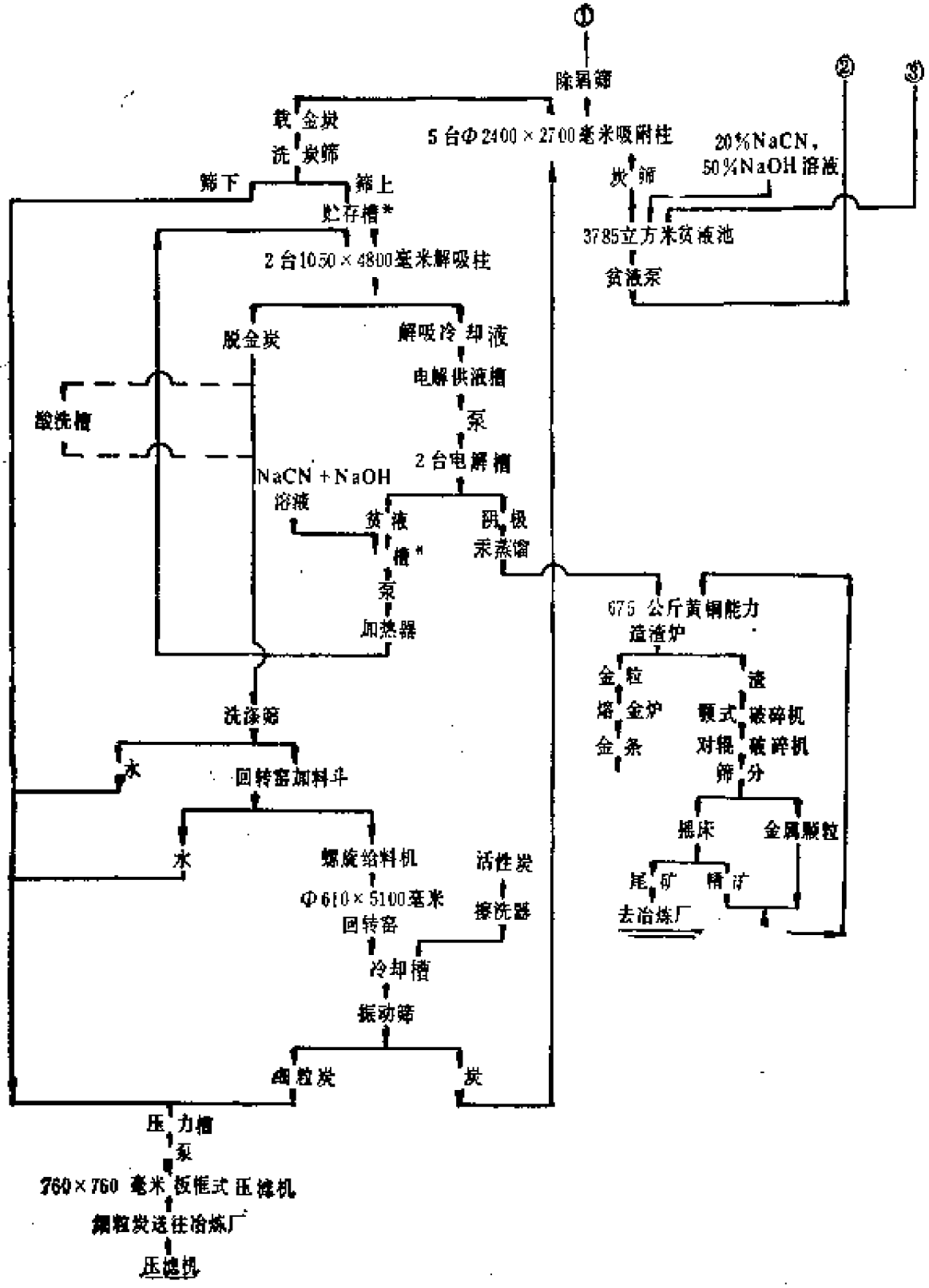


图 1-2　阿姆塞尔科矿物公司鳄鱼脊堆浸工艺流程

• 软化水添加点


①
除碎筛
载金炭
洗炭筛
筛下
筛上
贮存槽*
5台Φ2400×2700毫米吸附柱
②
③
20%NaCN，
50%NaOH溶液
炭筛
3785立方米贫液池
贫液泵
2台1050×4800毫米解吸柱
脱金炭
解吸冷却液
电解供液槽
泵
酸洗槽
2台电解槽
NaCN+NaOH
溶液
贫液槽*
泵
加热器
阴极
汞蒸馏
675公斤黄铜能力
造渣炉
金粒
熔金炉
金条
渣
颚式破碎机
对辊破碎机
筛分
摇床
金属脱粒
尾矿
精矿
去冶炼厂
洗涤筛
水
回转窑加料斗
水
螺旋给料机
Φ610×5100毫米
回转窑
活性炭
擦洗器
冷却槽
振动筛
细粒炭
炭
压力槽
泵
760×760毫米板框式压滤机
细粒炭送往冶炼厂
压滤机

取吸出后用小型压滤机来回收。由于鳄鱼脊矿的矿石中含有汞，所以在冶炼前采用一种简单电热蒸馏法，将钢棉阴极置于不锈钢蒸发皿中进行蒸发。炼金是在两座燃气坩埚炉内进行，第一步造渣，第二步熔铸成金条。

除了上述生产设施外，鳄鱼脊工程还有一座五个跨间的载重汽车保养车间，一幢化验室和办公楼。在工地上设有一批活动房屋，可供一部分职工居住，其余人员住在伊利乘班车来往。

工艺流程见图1-2

阿姆塞尔科矿物公司

1980年生产数据

矿山位置：	内华达州白松树县距伊利西北77公里
开采方式：	露天矿
矿石特征：	硅化粉矿岩
矿石品位：	Au 4.12克/吨
生产能力：	680000吨/年
筑堆设备：	32吨翻斗汽车及推土机
浸堆规格：	依地面轮廓而变化
堆场结构：	从附近地区运进粘土层压实
浸堆的排液层：	在粘土垫层上铺有碎石
浸液的喷洒：	雨鸟式喷洒器
浸液用量：	10升/平方米·小时
浸出溶液：	NaCN 0.25公斤/吨
	pH 10.5
贵液：	Au 2.74克/吨
贵液流量：	3.785立方米/分
炭吸附：	五台 ϕ2.4×2.75米高、锥底高250毫米的吸附柱上升流量为610升/平方米·分
载金炭：	10300克/吨
炭解吸：	二台并联ϕ1.1米×4.9米高解吸柱

	120℃，174279帕
	1%NaOH，0.1%NaCN
炭再生：	回转窑，600℃
电解槽：	一联二槽，每槽0.9×1.02×1.5米深
熔炼：	炼黄铜340公斤的造渣熔炼坩埚炉，炼黄铜41公斤的粗金锭熔炼坩埚炉，二者均烧天然气

职工：	选矿厂	矿山
管理人员：	9	4
操作工：	32	34
维修工：	9	9
地质人员：	9	
化验分析人员：	9	
行政后勤、办公室及勤杂人员：	25	
总计	140	

坎德拉利亚联合公司
(Candelaria, Mineral County, Nevada)

坎德拉利亚（Candelaria）矿床是由西班牙人于1863年首先发现，直到1873年其银矿部分还没有进行大规模开发，当时在北部贝尔矿(Belle mine)已经开采。第一座北贝尔选矿厂是建在距贝尔维尔(Belleville)西北方向13公里处。从1876至1886年，北贝尔矿每年支付股息有100多万美元。1882年修建了一条43公里长由白山（White Mountain）向西通往坎德拉利亚作为矿山和城市用水的供水管道，这条直径为100毫米由英格兰制造的管道是用手工焊接的。目前，这条管道的各部分均要加支墩。在坎德拉利亚的上方，麦特立克（Metallic）城，在这条管道终点建造了一座称为麦特立克湖的大型混凝土储水池。现在由坎德拉利亚联合公司使用。坎德拉利亚的矿产品于十九世纪八十年代中期开始下降

后，在十九世纪九十年代初期的很短时期内就恢复起来了，并在二十世纪二十年代一座300吨/日的选矿厂经营了三年。

坎德拉利亚联合公司是由西部矿物公司和康顿公司(Congdon)和凯利公司(Carey)共同拥有，并由西部矿物公司负责经营。于1979年中期进行的工程技术研究，结果导致了同年末做出商务性工程设计，并于1980年9月堆浸工厂开始投产。

每年处理含有银108克/吨和金0.28克/吨的矿石量200万吨，矿石来自幸福山 (Lucky Hill) 和距堆场1.6公里的蒙特·达布罗 (Mount Diablo) 的镐头山谷(Pickhandlegulch)。剥采比为2:1。

矿石用前端式装载机挖掘，并用85吨载重汽车运至一台1070×1780毫米旋回破碎机进行粗碎。粗碎后的矿石运至有效容量为10000吨的贮矿堆，由此，矿石通过液压槽式给料机排出并输送至破碎与制团厂房，这套装置是由一台1800×2600毫米双层振动筛一台，2100毫米标准型破碎机和三条胶带输送机组成。在这些胶带输送机的转运点上，矿石下落通过75毫米筛孔的悬臂棒条筛时喷淋氢氧化钠和氰化钠溶液。在矿石翻滚和分配的过程中，细粒级和粗粒级互相团聚成球团，从而使得浸堆时的浸出液能产生较好的渗滤作用。稍后，补加2公斤/吨的水泥用以加强这些球团。小于50毫米级别的球团矿送往一座390吨卸载仓，最后把这些球团矿用85吨翻斗汽车运往堆浸场。

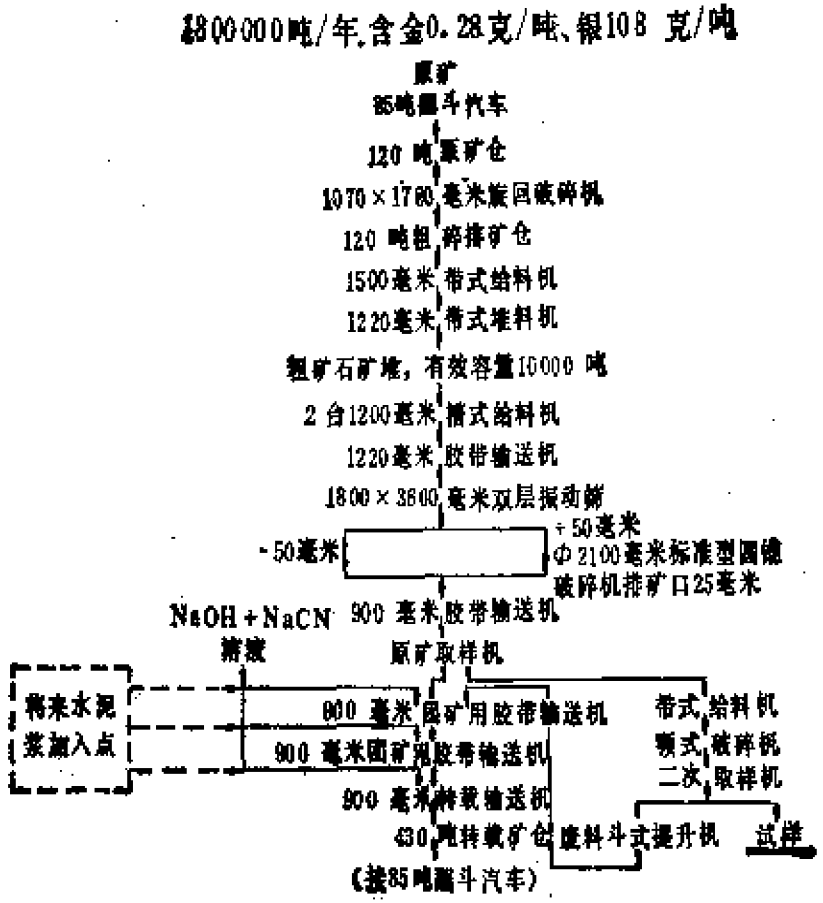
浸出堆场最终面积将达到54.6公顷，并且在沿其长边方向有3～7%的坡度，侧向坡度为1%。浸出堆场是由三层粘土构成，经淋湿，辗压及夯实达到460毫米厚，每个堆场上第一层矿石直接由翻斗汽车运来后卸下。进一步堆积的矿

石先堆筑一条斜坡的延伸通向浸堆中心的通道，使堆成的浸堆中心处高度比浸堆最终堆积高度（约6米）应高出近1.5米。然后将矿石沿通道两侧堆放并用推土机推成约150米宽。高出浸堆的通道最后被推到两侧，并用推土机的松土器将浸堆顶部耙松，整个浸堆按每年180万吨的量铺设，每天两班，每周五个工作日为基数进行工作。日产量为7250吨。

采用尼尔松（Nelson）式喷洒器以氰化钠的浓度为1公斤/吨，pH值为10～11的浸出液按每平方米10升/时的流量向浸堆上喷淋。贵液汇集到衬有塑料的明渠中，并自流到用氯化聚乙烯橡胶做衬里、容积为32000立方米的两个分隔的贮池中。此贮池可使细泥沉淀，贵液得以净化。贵液贮池的容积大小可以容纳预计到因大暴雨从浸堆场地汇集流出的增加液流量。

贵液用泵扬送到贵液缓冲槽，然后进入三个140立方米的自动进料过滤机（U.S.Autojet filters）进行净化。液流机采取了预涂助滤层和硅藻土。净液收容在第二个缓冲槽内，并借真空将净液吸到一台φ3×8.2米脱氧塔里，脱氧后的溶液用立式潜水泵（为防止空气逸入泵轴四周）扬送到两台1.2×1.2米60片板框压滤机。锌粉悬浮液靠重力自流进入贵液压滤机给料泵的吸入端，而不是采用1台专用泵压入其中。这种板框压滤机在美国还是首次用于压滤金泥，而在南非矿山已经得到普遍使用。

贫液靠自流进入由氯磺酰化聚乙烯合成橡胶作衬里的4250立方米贫液池并用泵返回到浸堆。50%浓度的氢氧化钠溶液储存在厂内，不经稀释直接加入贫液里，计量仪表装在管道上进行计量。而氰化钠在送往装有检测仪表的贫液管道之前配成20%的溶液，压滤机内的金泥经过通入空气吹干后


3800000吨/年,含金0.28克/吨、银10.8 克/吨
原矿
85吨翻斗汽车
120 吨原矿仓
1070×1780 毫米旋回破碎机
120 吨粗碎排矿仓
1500毫米 带式给料机
1220毫米 带式堆料机
粗矿石矿堆，有效容量10000 吨
2 台1200毫米 槽式给料机
1220毫米 胶带输送机
1800×3600 毫米双层振动筛
-50毫米
+50毫米
Φ 2100毫米标准型圆锥
破碎机排矿口25毫米
NaOH+NaCN
精液
900 毫米 胶带输送机
原矿取样机
将来水泥
浆加入点
900 毫米 原矿用胶带输送机
900 毫米回矿用胶带输送机
900 毫米 转载输送机
430 吨转载矿仓
(接85吨翻斗汽车)
带式 给料机
颚式 破碎机
二次 取样机
废料斗式提升机
试样

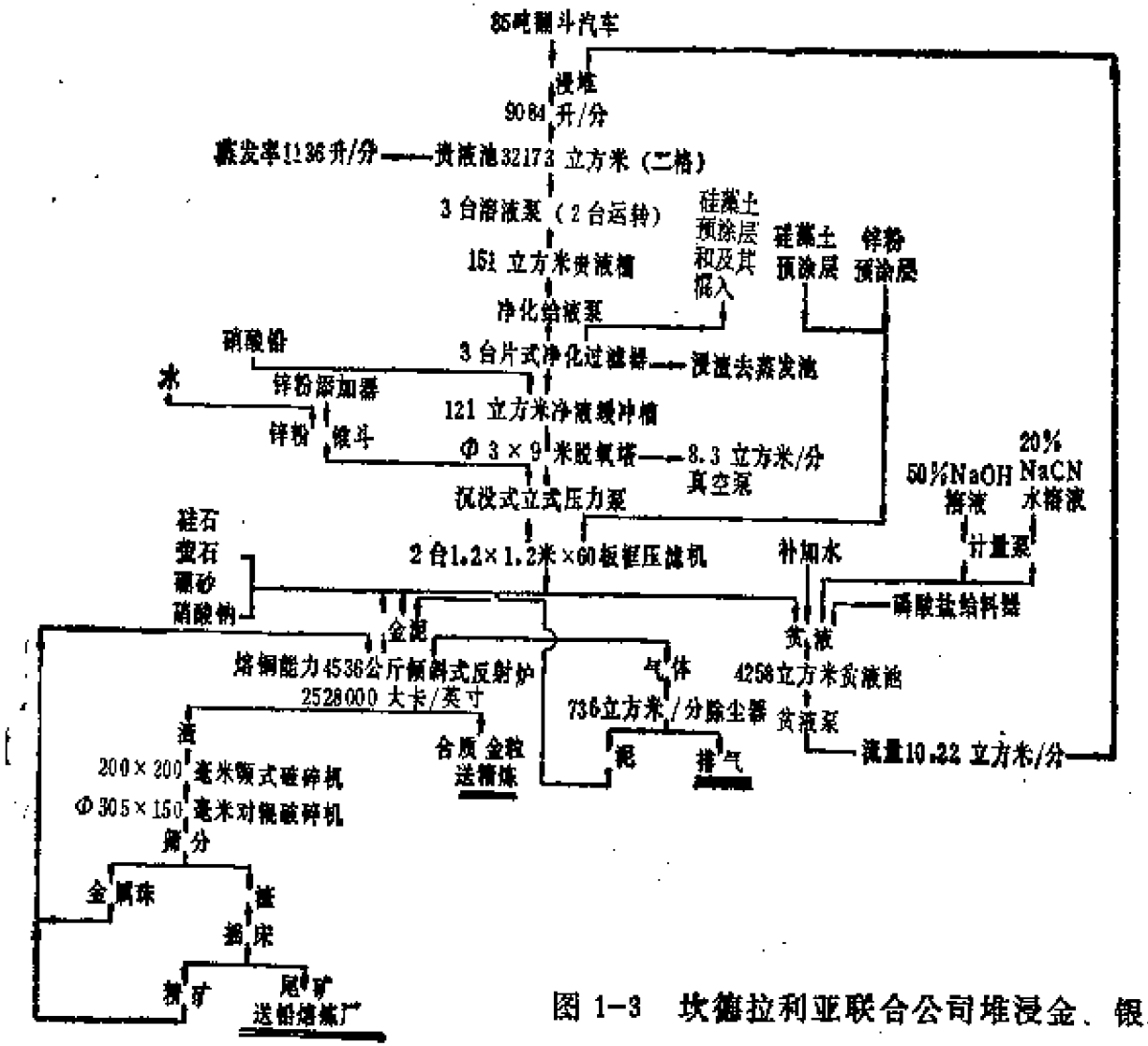


图 1-3　坎德拉利亚联合公司堆浸金、银工艺流程

使含水分降低到50%左右再排出，然后，混以石英砂、萤石、硼砂和硝酸钠等熔剂，在熔炼黄铜能力为4550公斤的燃气反射炉中熔炼。炼出的金银倒入31公斤锥形底模子里铸锭后送往精炼厂。炉渣经破碎、辗压、筛分及摇床分选以选出金属小颗粒返回再送熔炼；清除出来的渣即摇床尾矿将送往炼铅厂熔炼。

坎德拉利亚矿银的预期回收率约为42%，金则略微高一些。自从工厂在1980年9月投产以来，还没有足够的运转时间积累详细的操作成本纪录，然而，西部矿物公司预期矿石含金部分即可负担支付生产成本。该厂的设计工作是在1979年9月7日开始的，而首批746公斤粗金银锭已于1980年10月17日铸成。西部矿物公司已公布的整个工程的总投资在2500万到3000万美元之间。

工艺流程见图1-3

坎德拉利亚联合公司

1980年生产数据❶

矿石特征：	含银的铁和锰氧化矿，伴生燧石、灰岩、粉砂岩、细脉石英和玉髓岩等脉石
矿石品位：	Ag 108克/吨，少量Au
浸出矿石粒度：	小于38毫米
生产能力：	1800000吨/年
筑堆设备：	77吨翻斗汽车　D 9型推土机
浸堆规格：	150×(300～600)×6米高
堆场结构：	整平后填入三层150毫米厚粘土层并压实
浸堆的排液层：	无
浸液的喷洒：	尼尔松型喷洒器
浸液用量：	12升/平方米·小时
浸出溶液：	NaCN 0.25%，pH值10.5
药剂消耗：	NaCN 1.25公斤/吨

❶系设计指标。

	NaOH 0.5公斤/吨
贵液：	Ag 26克/吨
贵液流量：	9.085立方米/分
净化：	三个140平方米自动卸料过滤机
金泥回收：	二台1.2×1.2米60片的板框压滤机
熔炼：	一座炼黄铜能力为4550公斤反射炉
产品：	31公斤金银锭
回收率：	42%
行政人员：（包括行政后勤、办公室、化验、会计、保管、绘图人员、工程师）	27人

	选矿厂	矿山	维修
管理人员：	6	5	4
计时工人：	23	63	22
职工总数		150	

卡林黄金矿业公司布茨特拉帕矿
(Carlin Nevada)

卡林黄金矿业公司(Carlin Gold Mining Campany)的布茨特拉帕矿(Bootstrap mine)位于卡林金矿北部19公里和距内华达州卡林镇北43公里处。这个矿床的性质类似于卡林矿，只是它并非赋存于罗伯茨（Roberts）岩体逆掩断层的上盘，而是在岩体的下盘。这个矿床是早在五十年前发现的，最早在1960年采用氰化浸出槽进行小规模生产。

纽蒙特矿业公司（Newmont Mining Corporation）于1967年获得了地产权，并从露天矿开采了650000吨

矿石，用翻斗汽车运到卡林的常规氰化厂。（见冶金工业出版社1978年出版的《金和银氰化厂生产实践》。）以同样品位矿石采用常规方法处理时的金回收率，即使在细磨条件下，仍略低于卡林的矿石。堆浸试验是于1968年在美国矿务局指导下开始的；并于1971年及1972年，在卡林矿进行了大量的摇动瓶试验，用浸出柱进行模拟性堆浸和小规模堆浸试验。金的提取率范围为55～95%，药剂消耗低。一个545吨矿石，其品位为1.37克/吨金的露天原矿石堆浸试验场于1974年在卡林矿建成。以六个星期作为一个浸出周期，金的提取率为47.5%。卡林矿宁肯使用原子吸收法分析氰化物浸出液，来进行测定原矿石的品位，而不是使用火法分析，因为这一方法能测出比火法更为实际的浸出回收率，火法分析只能计算出原矿中总的金含量数值。

在露天矿开采前，矿山已经计划在布茨特拉帕堆浸处理这种矿石，那是因为运到卡林则认为品位太低。在设计采区的界外，表土上层有古生代湖床沉积粘土层，并发现这个粘土层适用于压实成不透水的浸出堆场，再在其上面堆矿进行浸出。根据使用翻斗汽车运输成本和卡林浸出厂进行破碎矿石的成本以及当时黄金的价格，确定了第一批150,000吨堆浸矿的金下限品位为1.51克/吨。另外有500,000吨含金为0.96克/吨的较低品位矿石用做堆浸在经济上也是合算的。

第一座浸堆筑成9.1米高，堆存63500吨矿石，第二座为15.2米高，堆存86000吨矿石。每一座浸堆均分为几层堆筑，在每上一层开始堆筑之前其下一层都要用松土器耙松，并在浸堆底层铺上一层150～300毫米厚的块石做为排液层。浸出厂的组成包括四个炭吸附柱、药剂混合槽、发电厂及贫液与贵液池等，这些工程是在1978年开始全面兴建并于1979年5

月完成。容积为5680立方米贵液池用塑料布做密封衬里，贫液池则是用膨润土做衬里。此外，还有一座堤坝，它位于离贫液池下游的湖床底层同一水平位置，此坝筑成足以防止渗漏与任何迳流造成决口。

贫液含有0.25公斤/吨氰化钠，用石灰控制pH值为11，并加入巴雷德（Baroid）S-35药剂1～2毫克/升以防止管道及喷洒器结垢，然后以每平方米12升/小时的流量用雨鸟式或巴格达式喷洒器向浸堆上喷淋。现在，卡林公司认为未来的布茨特拉帕矿石浸堆不应高于9.1米，并且将来很可能使15.2米高的矿堆向下削低后再进行浸出。从浸堆下流出的贵液汇集于塑料衬里的沟渠中随即用管道输送至贵液池。贵液池系供缓冲和储存贵液及矿泥沉淀之用。

贵液扬送到四座炭吸附柱，在每个柱之间用介质提升泵按逆流方向输送含炭的溶液。用16～30目的活性炭0.4立方米作为每一圆锥的底炭量。活性炭是用液力提升器来输送。锥顶和提升器用密闭式防窃钢罩保护。载金炭放到钢质圆筒中再由载重汽车运往卡林工厂。于此，载金炭用1%的氢氧化钠和0.1%的氰化钠及15%的异丙醇溶液，在75～80℃的温度下进行解吸，含有高品位金的解吸溶液用电解分离出金。

浸出五个月之后，堆浸的黄金提取率为55%，氰化物消耗为0.125公斤/吨。在生产中用石灰来控制pH值，但由于管道和喷洒器结垢而改用氢氧化钠来代替。然而，初步结果表明，使用氢氧化钠增加了贫液的试金分析工作量。

每班一个操作工就能精心地管理整个浸出、压力输送和炭吸附系统。直接总成本大约为1.54美元/吨。

工艺流程见图1-4。

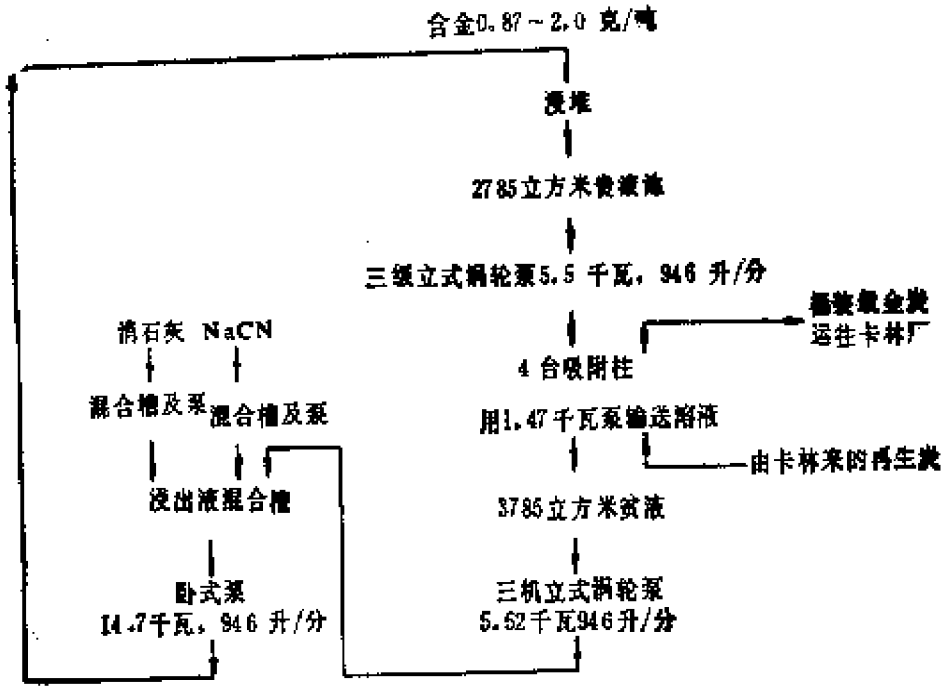


图 1-4　卡林黄金矿业公司
布茨特拉帕矿堆浸流程

卡林黄金矿业公司　布茨特拉帕矿
1979年　生产数据

矿石特征：	浸染状氧化矿-粉砂岩
矿石品位：	1#浸堆　2.16克/吨
	2#浸堆　0.96克/吨
浸出矿石粒度：	原矿－13～4.76毫米占48%
生产能力：	推算数值200000吨/年
筑堆设备：	45及48吨翻斗汽车
浸堆规格：	1#浸堆　98×61×4.25米高——63800吨
	2#浸堆　76×40×11米高——86000吨
堆场结构：	剥除表土层使露出并保存不透水的湖床粘土，再经过压实
浸堆的排液层：	块石层
浸液的喷洒：	雨鸟式及摇摆式喷洒器
浸液用量：	1#浸堆　9.54升/平方米·小时

	2#浸堆	18.1升/平方米·小时
浸出溶液：	NaCN	0.25公斤/吨
	NaOH	1.0公斤/吨
	CaO	2.5公斤/吨
	pH	11
药剂消耗：	NaCN	0.125公斤/吨
贵液：	Au	3.7～1.03克/吨
	pH	10.7
贵液流量：	950升/分	
炭吸附：	四台吸附柱φ1.5米，H3.7米，两柱间距离1.5米，流量为1.815升/分，16～30目炭	
载金炭：	14.06公斤/吨，脱金炭0.294公斤/吨	
炭消耗：	6克/吨矿石	
炭解吸：	1% NaCN，0.1% NaOH，15%异丙醇，在75～80℃下作用	
炭再生：	间接加热回转窑	
回收率：	浸出五个月后为65%	
工作制度：	每班一个操作工人	
每浸出1吨矿石成本：	1.84美元	

卡林黄金矿业公司　布茨特拉帕

1979年　生产成本

每吨浸出矿石的采矿成本		1.5007美元
破碎：		无资料
至浸堆的运输费：		0.0683美元
浸出：	包括药剂、管道输送、工资的95%、检修、燃油	0.151 美元
吸附：	包括活性炭、工资的5%	0.206 美元
解吸：	包括电解	0.1036美元
精炼：		0.0154美元
每吨矿石生产总成本		1.841 美元
工资：	操作工	0.464 美元

材料费：	药剂	氢氧化钠	0.192 美元
		石灰	0.045 美元
		氰化物	0.18 美元
	活性炭		0.184 美元
	杂项		0.026 美元
	维修保养（包括工资）		0.458 美元
动力费：	燃油		0.18 美元
其 它：	分析、精炼		0.108 美元
间接费：			无资料
每吨矿石生产总成本			1.841 美元

科特斯金矿黄金地矿区
(Lander County, Nevada)

科特斯金矿（Cortez Gold Mines）经营过一座2100吨/日的常规法氰化厂，一直到1973年开采完500万吨矿石的矿体为止。（见冶金工业出版社1978年出版的《金和银氰化厂生产实践》）。低品位的物料已于1971年在矿山与选矿厂之间的场地进行了废石堆浸，并将得到的贵液加入到氰化厂里的麦瑞尔—克洛韦锌粉置换装置给料处，以回收金。然而，在1973年初科特斯矿建成黄金地矿区（Gold Acres mine）并投入生产，该矿位于科特斯矿西部约13公里处。那时的情况表明了对矿体的低品位矿石进行堆浸；而高品位矿石用汽车运到科特斯选矿厂进行加工是经济的。

待浸出的矿石直接从露天矿运到已准备好的浸出堆场上堆场是建在约是5%缓坡的地形上。对于浸出堆场的初步准备工作包括使用除草器清除地表植物和平整基础等。堆场是由很细的小于200目的物料和泥质粘土或者是细泥尾矿等物料做成，并使每层按50～75毫米厚铺开在堆场基层上，再

用振动辊式压力机压实，使总厚度约为380毫米。接着用块石铺上100毫米厚的排液层，以防止堆场表面的冲刷，并使溶液从浸堆下沿侧向流出。

一般情况下，浸液是流过浸堆长边面后汇集于带塑料衬里的沟渠中，并从此自流到贵液池里。贵液池和贫液池的修筑均采用与堆场同样的方式，即铺上尾矿或泥质粘土压实作为衬里。黄金地浸出设施需要能供处理二至三天的浸堆排出液并能足以经受雨季出现的大雨径流量，因此设计了具有储存量为6000立方米的贵液池和3800立方米的贫液池。

矿石浸堆试用过各种不同高度，包括3、6和9米，最后选择的高度为6米。矿石用翻斗汽车一次堆成6米高，用卡特皮勒（Caterpillar）D-8型推土机摊开矿石，浸堆的各个部分均用翻斗汽车运输，但要用松土器将矿石彻底耙松。堆场上的浸堆尺寸一般为107×137×6.1米高，约堆放158000吨矿石。在黄金地矿区总共有200万吨矿石，在科特斯矿则有250万吨矿石要进行堆浸。

在已浸出过的矿堆顶部再放置矿石继续浸出是不会令人满意的，它只能得到低的浸出率。科特斯的石灰岩矿石比黄金地矿区的矿石堆浸能获得较高的浸出率，后者因为含有较多的粘土。然而，在科特斯矿单靠把浸堆加高到18.3米并不会得到好的浸出率。

贫液用泵从炭吸附厂扬送到浸堆顶部之后采用雨鸟式喷洒器喷洒，使用这种雨鸟式喷洒器做为浸堆喷淋是按每平方米6升/小时的流量喷淋到浸堆上的。按年平均的蒸发损失约为30%，黄金地矿区矿石浸出的药剂消耗为氰化钠0.23公斤/吨矿石和氢氧化钠0.2公斤/吨矿石。

浸出率随矿石的性质而变化，科特斯的250万吨块状石

灰岩矿石，金的回收率为66%；而黄金地的240万吨含粘土矿石，金的回收率只有50%。

一座23×12米的厂房内安装有砂泵、贵液混合池、炭吸附柱、加压解吸装置等。含金贵液以2.08立方米/分的流量用泵扬送到炭吸附柱，每个吸附柱装有12～30目底炭1365公斤。活性炭由提升器以同溶液流向呈逆流窜动。1号吸附柱出来的载金炭进行解吸回收金后，经过再生返到5号吸附柱。

在黄金地矿区使用经过加压的1%浓度热氢氧化钠溶液做为氰化物的保护碱，在358690.5帕（3.54大气压）的压力和115℃温度下进行解吸。载金炭含金13720克/吨，解吸后的脱金炭含金17～69克/吨。脱金炭经洗涤、再生后循环使用。解吸液中金的电积是用炭阳极和由聚丙烯制成外壳填装着炭、钢棉做阴极。用于电积后的碱性电解液返回到加压解吸柱中循环使用，沉积在钢棉上的金在科特斯精炼厂提炼成合质金锭。解吸后的脱金炭在一个不锈钢制的燃油回转窑中再生。

整个堆浸工艺和炭吸附回收金系统至少需要一个操作工，每周工作七天，并且是白班作业；而维修人员每天为一班，每周工作五天。主要成本包括动力消耗、药剂、堆场预先准备和汽车运费。

作者非常感谢前任总经理和科特斯矿的选矿厂厂长D.M.邓肯（Duncan）和T.J.斯莫尔克（Smolik），因为他们在1977年7月的美国采矿工程杂志上发表了“科特斯矿的堆浸实践”。

工艺流程见图1-6

2000000 吨堆浸矿，含金1.24克/吨

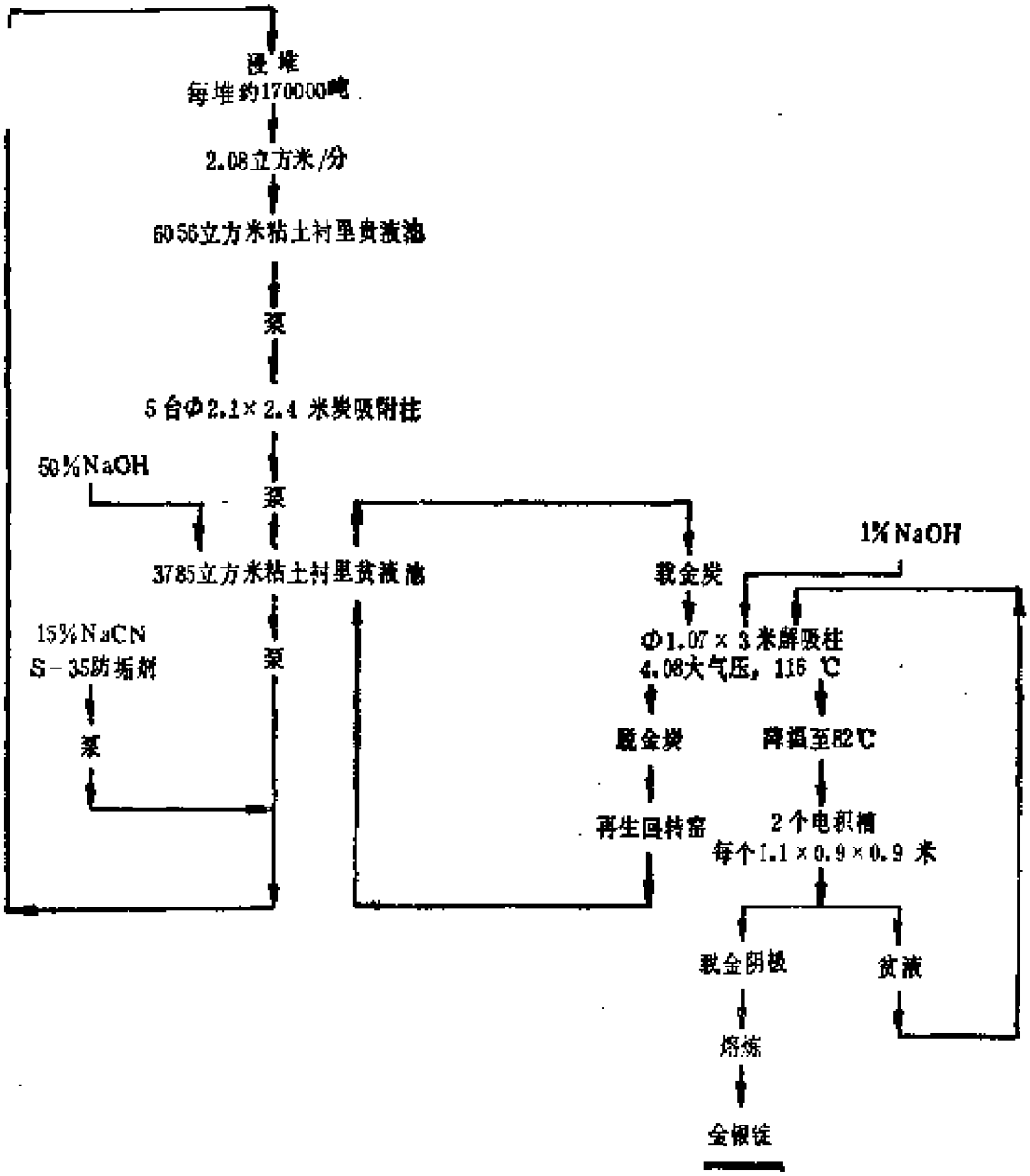


图 1-5　科特斯金矿黄金地矿区堆浸工艺

科特斯金矿　黄金地矿区

1976年　生产数据

矿石特征：　　风化石灰岩、燧石、角砾岩

矿石品位：	Au 1.23克/吨
浸出矿石粒度：	采出的原矿
生产能力：	黄金地 907000吨/年
	科特斯 422000吨/年
	（科特斯浸出是间断的，数字为平均值）
筑堆设备：	31.5吨翻斗汽车
	D8型卡特皮勒推土机
	988型卡特皮勒装载机
浸堆规格：	107×137×6.1米高，容量154000吨
堆场结构：	依次压实50～75毫米泥质粘土层或尾矿层一直压到380毫米厚
浸堆的排液层：	砾石层
浸液的喷洒：	雨鸟式喷洒器
浸液用量：	6升/平方米·小时
浸出溶液用量：	NaCN 0.3公斤/吨
	CaO 0.15公斤/吨
	（稍后加入NaOH）pH10.5
药剂消耗：	NaCN 0.24公斤/吨
	NaOH 0.22公斤/吨
贵液：	Au 0.87克/吨，NaCN 0.039克/吨，
	pH 8.8
贵液流量：	2080升/分
炭吸附：	五台φ2.13×2.44米高吸附柱 装炭1365公斤/台 上升流量583升/分·平方米
载金炭：	13720克/吨
载金炭解吸：	热苛性液 一个解吸槽 加压解吸
炭再生：	回转窑600℃
回收率：	黄金地矿 54%
	科特斯矿 66%
工作制度：	操作工 每周七天 每天一班
	维修工 每周五天 每天一班

科特斯金矿　黄金地矿区

1976年生产成本

每吨浸出矿石的采矿成本			0.65 美元
破　碎：			无资料
浸　出：	包括药剂		0.595 美元
回收部分：	包括炭及其再生		0.077 美元
精炼与分析：			0.055 美元
间接费：			无资料
每吨总计生产成本：			0.728 美元
工　资：			美元
	操作工	0.055	
	维修工	0.033	
材料费：			
	药剂	0.042	
	维修保养	0.066	
	其它	0.011	
动力费：		0.066	
管理费：		0.055	
其　它：	精炼	0.022	
间接费：		无资料	
每吨生产总成本：		0.727 美元	
每克金生产总成本：		1.106 美元	

金田矿业公司奥蒂斯山矿
(New Mexico)

奥蒂斯山矿 (Ortiz Mountain) 位于圣菲 (Santa Fe) 东南约40公里处，距采里洛斯(Cerrillos)村13公里。该矿地产权系由一个西班牙人转让的，金田矿业公司 (Gold Fields) 从它那里已获得约2200公顷地产及其矿

产开采权。紧接着进行了一个阶段的勘探、选冶试验，并于1974年进行了矿山开拓的可行性研究。1978年以来由于黄金价格上涨，才确定把矿产转入生产。

金赋存于窄脉硅化角砾岩中，属于一种异常状态嵌布在围岩中的矿石，因此小于19毫米粒度即可浸出。以边界品位0.7克/吨圈定的矿石总储量估计为360万吨，平均品位为1.89克/吨。矿山采取露天开采，剥采比为1.2:1。计划产量为每周13600吨或每年680000吨。

露天采出的原矿采用1070×1015毫米颚式破碎机进行粗碎，破碎后的矿石输送到贮矿堆，然后再给入一台1650毫米标准型圆锥破碎机❶，排矿经筛分，筛上物给入第三段一台1650毫米圆锥破碎机，筛下最终产品小于19毫米，进行浸出。从破碎作业中截取1360公斤试样，然后由一台小型颚式破碎机进行破碎，并经两次以上的维逊（Vezin）缩分取样器缩取13.6公斤试样进行分析。块状石灰是在矿石运往横跨浸出堆场的门形架空运输机前的输送带上添加。在门形架空通廊上有一台往返移动的卸料车进行卸料，而不致使待浸矿石压实。整个破碎厂和输送系统均采取露天布置。

浸出堆场的总长度为515米，宽度为60米，其有效尺寸为490×58米。场地的纵向坡度为3.8%，横向坡度为3%。堆场结构为175毫米的沥青层，包括一层橡胶沥青膜。整个堆场用修筑300毫米高的埂把场地分为八个区，每一区堆矿13600吨，即一周时间的破碎产品数量。浸堆的最恰当的工作高度为3米，最大高度为4米。

操作循环包括堆矿、洗涤和排液以及卸堆。每一个操作

---

❶ 原文与工艺流程图矛盾认为原文有错。——译者

循环共需要三周时间，其中一周为实际工作时间，而每个矿堆的浸出时间又需要五周才能进行完毕，因此每个矿堆的完整浸出周期总共需要八周。

浸堆上喷洒的氰化物溶液估计为2840升/分，而在夏季的月份里可能要每分钟补充850升。所有的浸堆表面喷洒的浸液量如同其它浸出作业一样为每平方米12升/时。贵液扬送到五个炭吸附柱进行贵金属的吸附，接着进行标准的解吸和金与银的电积。

作者了解到只有这个堆浸厂使用门形架空胶带输送机上的卸料车进行浸堆筑堆；而这种设备在冶炼厂的储料场已经被广泛地采用。这种系统能避免物料的任何压实，并堆筑成理想而又均匀的料堆。浸出废渣采用前端式装载机和汽车运走，其运量为2700吨/日。

基建投资包括改造奥蒂斯矿区公路和矿山投产前的剥离费用，其数值约为200万美元；因堆场处在崎岖不平的地形上，需要处理。剥离3.65米高和回填6米深所需填挖费用约100万美元；浸出堆场的修筑包括管线的敷设也约需100万美元；门形架空通廊及胶带输送机系统费用大约140万美元；破碎厂、修理间、办公室、仓库及金回收厂等约750万美元，总计约为1200～1300万美元。

金和银的回收率为75～80%。金田矿山全体人员的优良生产操作受到了广泛的赞扬。

工艺流程见图1-6

750000吨/年，含金1.72克/吨

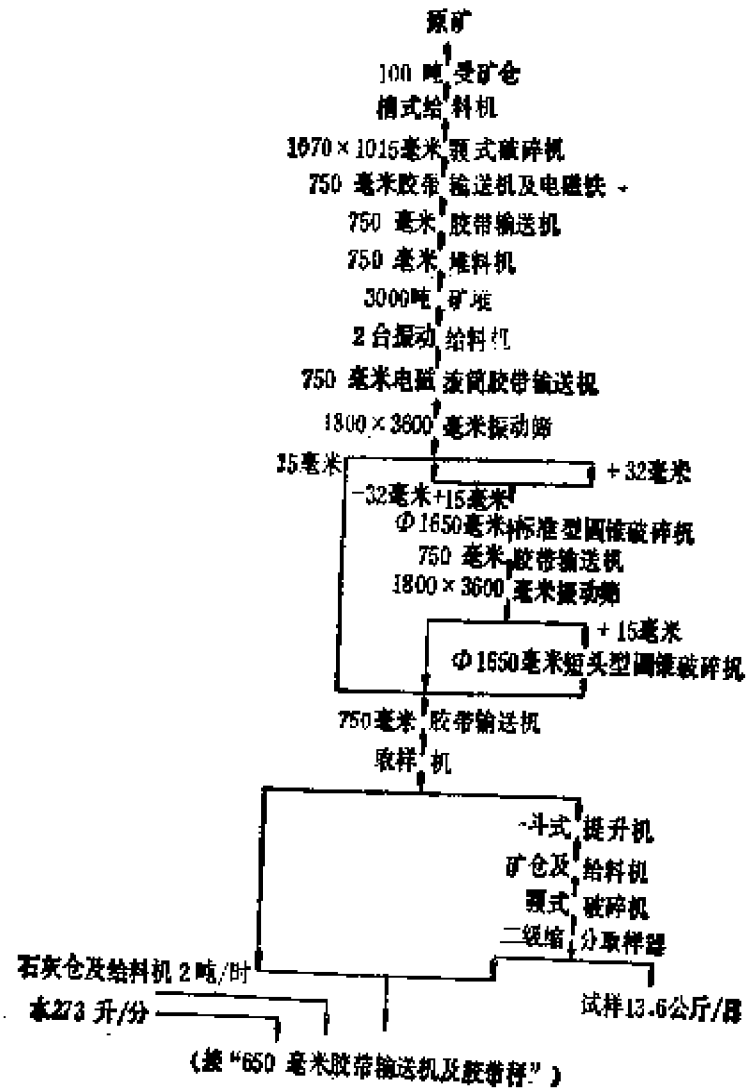
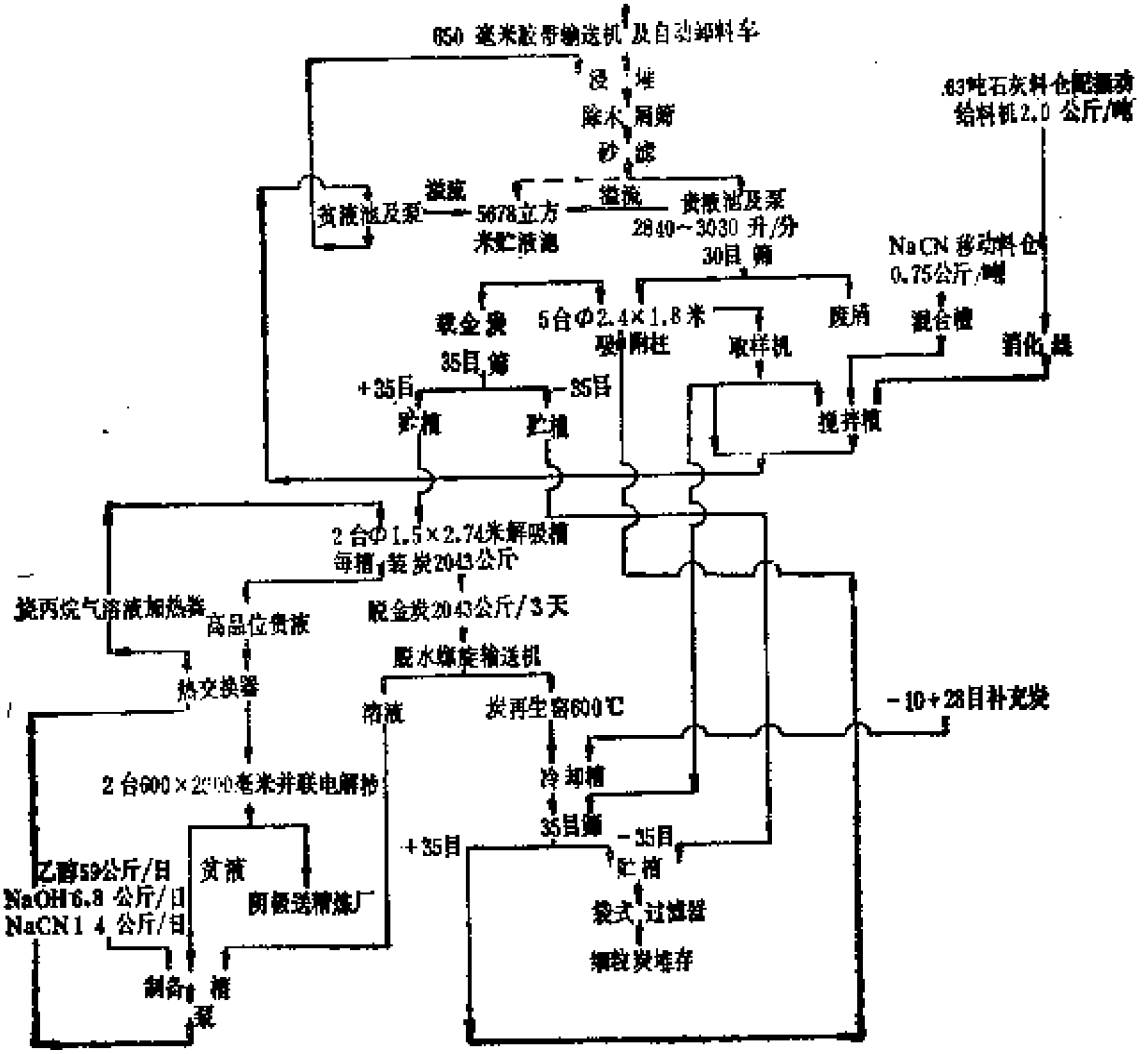


图 1-6 金田矿业公司


650 毫米胶带输送机及自动卸料车
浸 堆
除木屑筛
砂 滤
63吨石灰料仓
给料机2.0 公斤/吨
贫液池及泵
溢流
5678立方米贮液池
贵液池及泵
2840～3030 升/分
30目 筛
NaCN 移动料仓
0.75公斤/吨
载金炭
35目 筛
5台Φ2.4×1.8米 吸附柱
取样机
废酸
混合槽
消化 槽
+35目
-35目
贮槽
贮槽
搅拌槽
2 台Φ 1.5×2.74米解吸槽
每槽装炭2043公斤
脱金炭2043公斤/3天
烧丙烷气溶液加热器
高品位贵液
脱水螺旋输送机
热交换器
溶液
炭再生窑600℃
-10+28目补充炭
2 台600×2500毫米并联电解槽
冷却槽
35目筛
+35目
-35目
贮槽
乙醇59公斤/日
NaOH6.8 公斤/日
NaCN1.4 公斤/日
贫液
阴极送精炼厂
振式过滤器
细粒炭堆存
制备槽
泵

奥蒂斯山矿堆浸流程

金田矿业公司　奥蒂斯山矿

1980年　生产数据

矿石特征：	火山角砾岩
原矿品位：	Au 1.72克/吨，Ag 微量
浸出矿石粒度：	开路破碎到16毫米
生产能力：	680000 吨/年
筑堆设备：	门形架空输送机
浸堆规格：	每堆大小为61米×58米×3.4米　13600吨　共八堆
堆场结构：	50毫米沥青底上铺水工橡胶膜，顶上覆盖125毫米厚沥青层
浸堆的排液层：	无
浸液的喷洒	雨鸟式喷洒器
浸液用量：	12升/平方米·小时
浸出溶液：	NaCN　0.1%，pH值10.8，在矿石中添加块状石灰
药剂消耗：	石灰　2公斤/吨，NaCN　0.75公斤/吨
贵液：	NaCN　0.08%，pH　10.8
贵液流量：	3217升/分
炭吸附：	五个ϕ2.43米×1.82　吸附柱　装12～30目的炭上升液流量为692升/米^2·分
载金炭：	6000克/吨，脱金炭240克/吨
浸堆金回收率：	75～80%❶
炭解吸：	并联两个1.5米×2.74米加压—酒精解吸柱
炭的损耗：	0.5克/吨
炭再生：	每个循环在600℃温度下进行回转窑再生
电解槽：	两个600毫米×2900毫米电解槽　各为450安培
产品：	阴极钢棉送往精炼厂

职工人数：	工厂（人）	矿山（人）
管理人员	6	3
操作工	12	外包合同

❶ 原文为70～80%，有误。——译者

维修工	5	外包合同
化验员，办事员等	20	
职工总数：	43	3
职工住在附近的城镇		

金田矿业公司　奥蒂斯山矿

1980年　生产成本

每吨采矿成本	3.087	美元
破碎：包括筑堆	0.904	美元
浸出：包括药剂和输送	1.213	美元
浸渣堆存：	0.54	美元
炭吸附：	0.496	美元
炭解吸：	0.243	美元
电解：	0.32	美元
分析和杂项服务	0.22	美元
每吨总生产成本：	3.936	美元

71矿物有限公司
(Tombstone, Arizona)

71矿物有限公司（71 Minerals）生产现场虽然已经关闭，现在发表的是五年前老的生产数据，鉴于该矿是第一个主要含银矿石的堆浸生产现场，所以这一份资料仍有其参考价值。

在1877年，埃德·谢菲伦（Ed Schieffelen）发现了汤姆斯顿（Tombstone）矿之后，它即成为美国西部最著名的采矿城镇之一。并传出与瓦特·厄普（Wyatt Earp）、道克·霍利德（Doc Holliday）和克兰顿（Clanton）三兄弟有关的故事"如同美国西部其它许多银矿一样，汤姆斯顿

矿床埋藏得相当浅。在最初几年就回收了几百万盎司的银，不久采银矿区就显得非常活跃。但进入二十世纪初期，采银几乎停了下来，直到二十世纪四十年代，只有很少一部分继续进行，这种历史类似于图斯卡洛拉(Tuscarora)情况一样。

71矿物有限公司的堆浸是在1975年5月开始的，一直持续到1978年末，汤姆斯顿城颁布了城市废物堆放限制法时为止。这个堆浸的原矿石是由勒克·柯斯（Lucky Cuss）和谢菲伦发现的原有老坑内开采出来的废石，这些废石除有一些大块外，大部分粒度在50毫米以下，品位约为含银34克/吨和金0.5克/吨。

汤姆斯顿的废石大约有100万吨，由一个私人拥有，并获准了专利申请。汤姆斯顿开发公司所需的足够浸出试料是在几个矿点中的一个矿点取得的。浸出试验工作像通常一样把试样放在老矿区的一个浸出场地进行堆浸试验的尝试。

71矿物有限公司成立并获得地产租约后，把堆浸地点选择在离汤姆斯顿城区不远的主要废石堆场附近，堆场大约有90米宽，180米长并且具有8度的地面坡度，用老选厂的尾矿压实后作为浸出堆场，基本不透水。

采矿能力大约为2000吨/日，用一台推土机，两台铲运机，一台前端式装载机和30吨翻斗汽车来完成。从废石堆由铲运机运来的未经破碎和筛分的矿石，堆成每层为460毫米并由装载机进行边脚修整。根据混合采样和试验室试验结果，在30天内即可回收大部分金和银。在堆场上堆放10万吨矿石后，即开始喷洒氰化物溶液，并用石灰及时中和矿石。

新鲜水从附近竖井的150米中段上取得，水量为136立方米/日，在浸堆上喷洒氰化物溶液的流量约为830升/分，每吨

溶液中氰化钠和氢氧化钠各为0.5公斤。贫液和贵液用原子吸收光谱仪检测银的含量。生产中没有采用火法试金分析进行测定。

贵液被汇集在一个用塑料做衬里的贵液池里，然后直接用泵扬送到30片的750×750毫米板框式压滤机进行净化。净液接着由另一台泵输送到一台φ1×3米脱氧塔，然后再用泵扬到两台板框压滤机中的一台里，其规格和前面净化用的相同。锌粉制成糊状以后，借重力给入到金泥压滤机给料泵的吸入端。金加银的平均品位为40%的金泥空运到精炼厂。

整个堆浸设施由八名专职的雇员操作生产。因为这个堆浸场的地址和作业点很接近城镇，部分公众的反应也开始变化，一些市民开始时很担心，因为他们感到：过去的废石堆是在城区，把它们铲除会在该地区留下不好看的“伤疤”。可是今天已经重新种上蔬菜，也就不使人反感了。卫生局也没有发现公共饮水的污染问题[3]。

71矿物公司第一个建立了银矿堆浸生产实践。其基建费用和生产成本之低表明了从建场到生产工作做得很出色。

工艺流程见图1-7。

71矿物有限公司

1976年　生产数据

矿石特征：	采矿堆存的废石
矿石品位：	Ag　34.3克/吨和Au0.5克/吨
浸出矿石粒度：	绝大部分小于50毫米，40%小于25毫米
生产能力：	大约300000吨/年
筑堆设备：	前端式装载机，30吨翻斗汽车，铲运机，推土机
浸堆规格：	大约180米×90米，高15米
堆场结构：	老选厂尾矿，经翻斗汽车或铲运机装卸后铲平压实
浸堆的排液层：	无

浸液的喷洒：	雨鸟式喷洒器，摇摆喷射半径可达15米
浸液用量：	8.15升/平方米·分
浸出溶液：	NaCN 0.5公斤/吨 和NaOH 0.5公斤/吨，pH＝10～10.5
贵液：	Ag 10～17克/吨，Au 0.3～0.45克/吨
贵液流量：	0.68立方米/分
回收率：	Au 70～80%，Ag 20～40%
金泥品位：	Ag 410公斤/吨
职工：	共8人
采矿成本：	0.58美元/吨
浸出成本：	1.18美元/吨

美国亚利桑那州汤姆斯顿71矿物有限公司

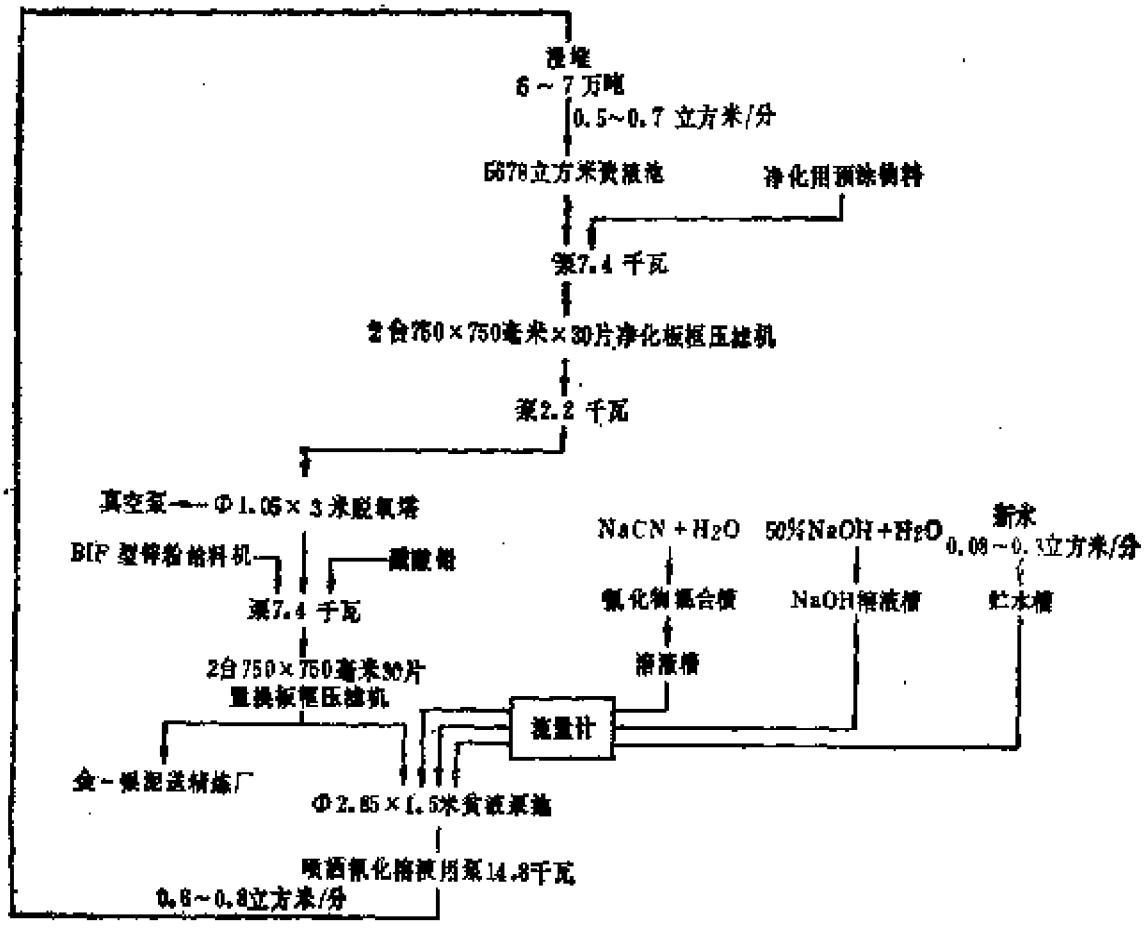


图 1-7 汤姆斯顿71矿物有限公司堆浸工艺流程

烟谷矿业公司
(Round Mountain,Nevada)

内华达州朗德山的烟谷矿业公司是采取破碎后金矿石进行大规模堆浸设计生产的先驱者。矿山位于托雅贝（Toiyabe）山脉之西、穿过内华达中心延伸达160公里的巨大烟谷之中。1905年在托诺帕（Tonopah）北面82公里的朗德山首先发现黄金，并从1949年大约到1960年间在这个地区包括砂金在内的金矿进行了生产开采。

烟谷采矿业公司是由菲尔蒙特（Felmont）石油公司、凯斯-波默罗伊公司（Case-Pomeroy & Co.）和铜场公司（Copper Range Co.）合伙组成，后来全部为路易斯安那（Louisiana)地产和勘探公司所掌握，直到1969年铜场公司获有在朗德山的矿产权。并于1974年决定着手进行矿山开发和选矿厂的建设。按边界品位为0.69克/吨圈定，矿石储量为10537000吨，金品位为2.09克/吨，银品位约为2.4克/吨，剥采比约为1:1。堆浸场于1976年末投入生产。

矿石类型为流纹岩，有时也称这类矿石为斑岩金矿。由于矿石的风化，所以在氰化浸出时无需进行粉碎。金在矿石中嵌布是不均匀的，但从整个矿体来看是属于很细粒的分布状态。

气候条件是内华达州中部地区典型气候，夏季炎热干燥，冬季多风，气温接近冰冻。标高约为1920米。年平均降雨量为203毫米。到1980年2月直至气温低到—2℃时浸出仍继续进行，平均浸出天数约10个月。

生产用水最早在1915年是从山谷的沟底打井取得，后来才从托雅贝山经过13.7公里管线引入矿区，工厂所需的生产

水量约为1500升/分。

矿山有三条竖井作业，每周工作七天，每天从朗德山采出的矿岩量为12700吨，其中矿石与废石各为6350吨。矿石经45吨翻斗汽车运输卸入设在露天矿附近的1070×1650毫米旋回破碎机。粗碎后的矿石经两段破碎，从178毫米破碎至92%—9.5毫米（即100%—12.5毫米），然后输送到一个27200吨的矿堆，其有效容量为8159吨。堆浸用的矿石由振动给料机给至胶带输送机运到一个自动卸矿漏斗，装汽车运到浸出堆场。

浸出堆场的构成先从底部铺一层50毫米沥青和一层不透水的橡胶底板，再铺沥青，总厚度为178毫米。矩形堆场的尺寸为长880米，宽76米，堆场向前端倾斜以促使溶液流到集液池。堆场是连续地进行装载，总共设置五个浸堆，每个浸堆包括24个不连续的溶液喷洒系统，每个溶液喷洒系统的下面设置一个作为控制生产取样系统的一个堆浸区。一般情况下，每个区的筑堆和卸堆的周期为两天，任何时间总有十九个区正处于浸出，一个区在洗涤，一个区在排液，一个区正在卸堆并运往渣场，一个空白场地，一个正在筑堆。前端式装载机所堆的矿堆高度为4.27米。

氰化物含量为0.5公斤/吨的浸出溶液采取添加氢氧化钠以保持其pH值为10左右。从一条主管上通过四根塑料管再用10.7米的细管连接到喷洒器，以大约380升/分的流量对每个矿堆喷洒40天。每个矿堆上设有21个长度为230毫米，直径为6.3毫米的乳胶管喷洒器，覆盖面积为116平方米。溶液喷洒周期一般为40天，洗涤2天，排液2天，总的浸出周期为48天。一台7.6立方米装载机和两台45吨汽车连续不断地进行筑堆和卸堆。汽车无需进入堆场，只要将矿石卸在堆场边

上，然后用装载机筑堆。装载机担负浸出矿石的筑堆，并将浸出后的废渣装上汽车运往浸渣堆场。

贵液以6050升/分的流量自流通过5个串联的活性炭吸附柱。每个柱的直径为3.66米，高度为2.1米，溶液从柱顶端的一个中心管导入到带有6.5毫米的孔板下，并以每平方米610升/分的上升流速通过炭吸附柱，柱底呈锥形并连接50毫米塑料短管。每个柱装入12～30目椰壳活性炭约2275公斤。从№5柱出来的贫液加入氰化钠和氢氧化钠以提高浓度，并返回到浸堆喷洒。利用水力提升器每天在溶液中进行逆流窜炭，其炭量为1吨。从№1吸附柱取出的载金炭上吸附金和银的量约为8575克/吨，并输送到预热器加热后进入串联的两个解吸柱中的一个里。解吸液浓度为1.0%的氢氧化钠和0.1%的氰化钠，温度为88℃。脱金炭置于烧天然气的回转窑中，间接加热至650℃进行再生，然后用硝酸清洗后再返回到№5吸附柱循环使用。

从解吸柱排出含金85克/吨的高品位贵液，流入三个并列的电积槽，在电压为2.5伏和电流为60安培的条件下，金沉积于钢棉阴极上。阴极通常在每公斤钢棉上的沉积金达到6800克时将阴极从电积槽取出，每次从电积槽中沉积的金银量为62公斤。电解尾液返回到解吸系统。含有金和银62公斤的阴极钢棉添加硼砂11公斤、硝石9公斤和石英8公斤作为熔剂，在三台林特勃格（Lindberg）还原坩埚炉中的一台内进行熔炼，产出含65%Au和34%Ag的合质金，钢棉造渣后排走。

合质金熔铸成31～34公斤的金银锭，偶尔也在熔炼中吹入氧气除去残余的铁。

浸出回收的仅仅是矿石中的细粒金，一些粗粒金在40天

的处理过程中未被浸出，这部分的含量在尾矿中最高达到0.5

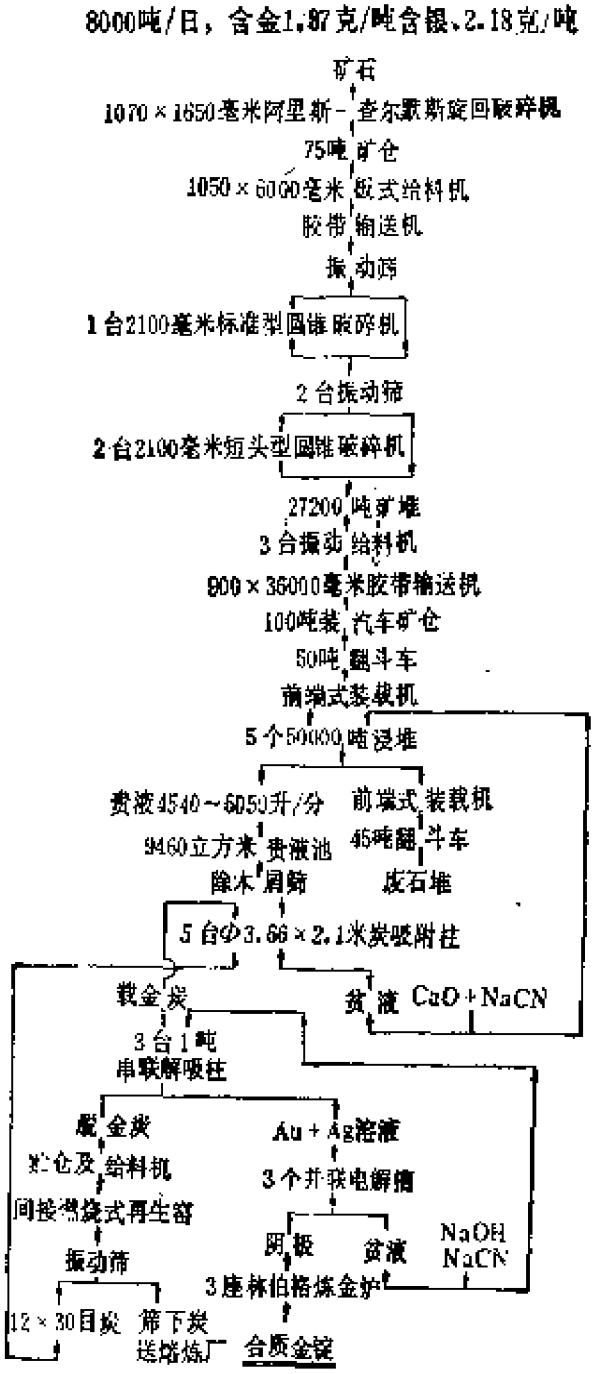


图 1-8　烟谷矿业公司堆浸工艺流程

克/吨金。简言之，堆浸浸出的数据为：浸出堆场为26×880

米，堆高为4.26米时，每米长的矿石量为446吨，浸出溶液量为7570～8700升/分，喷洒量为每平方米0.16升/分，浸出时间为40天，接着是两天洗涤和两天排液；贵液平均品位为0.85克/吨金。

1980年2月建立了一个贫液加热系统，这样就可在冻结温度以下进行浸出。从金回收厂排出的6050升/分贫液，由旁通管通过装有两台沉没式加热器的池子以使温度升到17℃。由于溶液的加热，所以当气温在－9℃时仍可进行浸出。因而，几乎全年都可进行生产。每台加热器的能力为3150000千卡/时，两台加热器所消耗的柴油量为11350升/日。贫液必须返回使用，而其中约有一半的氰化物在加热过程中被分解破坏，所以需要补充氰化物。在金回收厂房内，加热后的贫液体积与喷淋在浸堆上的溶液体积之间的差数为循环使用于浸堆的贵液量。

金回收厂厂区有六个建筑物：药剂制备间；仓库及维修间，包括采矿设备的维修；行政管理室；更衣室；具有严密防范要求的吸附、解吸、精炼设施；化验室。

工艺流程见图1-8。

烟谷矿业公司

1980年　生产数据

矿山位置：	内华达州　朗德山
矿石特征：	流纹岩凝灰岩结合体
原矿品位：	Au　1.87克/吨，Ag　2.1E克/吨
浸出矿石粒度：	100%-12.5毫米，92%-9.5毫米
处理能力：	6350吨/日
筑堆设备：	前端式装载机进行筑堆和卸堆，45吨欧几里得后翻式汽车运输矿石和运出废渣
浸堆规格：	五个浸堆，作正常浸出的有四个，每个堆的

	尺寸为122×76×3.7米，每堆矿量为36300吨
浸堆的排液层：	沥青垫层的堆场上堆置200～250毫米的矿石
浸液的喷洒：	巴格达式胶管喷洒器
浸出溶液用量：	NaCN 0.25～0.5公斤/吨 CaO<1公斤/吨或用NaOH，pH值 9.5～10.5
药剂消耗：	NaCN 0.3公斤/吨，NaOH 0.15公斤/吨
贵液品位：	Au0.86克/吨，Au：Ag＝2：1，NaCN0.15公斤/吨
贵液流量：	在7570升/分的循环溶液中分出6056升/分的贵液
炭吸附	五个φ3.66×2.43米吸附柱，装12～30目炭底炭量4500公斤，上升流量为每平方米576升/分
载金炭：	金银 8575～10290克/吨
炭解吸：	三个解吸柱其中两个是串联，104365帕(1.0^3大气压)，88℃ NaOH1%，NaCN0.1%，解吸液含金85.8克/吨
炭再生：	回转窑 600℃再生
电解槽：	并列三个矩形槽，60安培，2.5伏，每个阴极的钢棉重4.5公斤，每公斤钢棉电积金银6840克
熔炼：	三台林勃格坩埚炉，合质金为Au2/3、Ag1/3
回收率：	Au 67%，Ag 30%
职工人数：	采矿工 47
	金回收工 20
	维修工 24
	化验员 11
	办公人员 18
	破碎工 9
	总计 129

烟谷采矿公司

1980年 生产成本（9个月）

采矿：	材料费包括凿岩、爆破、	0.474美元/吨

	废石运输、矿石运到破碎，从浸堆到渣场的装卸	
浸出：	矿石所有的浸出费用	2.293美元/吨
破碎：	浸出矿石碎至一10毫米	0.342美元/吨
金回收：	包括溶液输送 炭吸附及解吸、精炼到合质金	0.827美元/吨
每吨总计堆浸成本	（包括行政管理费但不包括折旧费）	5.865美元/吨

图斯卡洛拉联营公司
(Tuscarora, Elko County, Nevada)

图斯卡洛拉采矿区位于内华达州埃尔科县北西约50公里，过去曾经大量生产金银矿石。图斯卡洛拉镇座落在2000米标高，于独立山谷的西侧，降雨量、特别是冬季的降雪量比内华达州其它地方都要大得多，气温较低。从图斯卡洛拉向东看，穿过独立山谷后，相距约19公里处即是自由港金矿(Freeport Minerals Jerritt Canyon Mine)，该矿看来将成为西半球的一个大型金矿。

图斯卡洛拉早在十九世纪七十年代就建立了开采金和银的矿区，到1903年的三十年间其产值达1000万美元。在一块面积约1.45平方公里的区域内有十个主要采场和几个小的个体生产者，最深的竖井只有230米，但大量的矿石采自105米水平。矿化作用在地下水位以上约30米，主要是自然银和夹带单体金的角银矿，而地下水位以下的矿石富集了硫化物，它包括辉铜矿、脆银矿，硫砷银矿、硫锑银矿、硫砷铜矿、毒砂、斑铜矿、黄铁矿、闪锌矿和方铅矿。

它的地产中包括有过去开采时堆存的大小不等的废石堆，这些堆的矿量总计达408000吨以上，其中纳瓦霍(Na-

vajo)一堆就占总量的三分之一。1978年夏从几个堆上抓取的样品表明，银很有价值并含有少量的金。

金银勘探公司为最早勘探和开发这些矿堆进行堆浸生产。于1978年初，开始租让大约有几十万吨矿石的三群矿堆，但对其矿区使用费应预支付。在1978年的9月和10月，在纳瓦霍矿堆上最有利的位置开始了系统地采样，并且附近具有供给金矿堆浸的最有利场地。在这期间充分认识到了矿堆采样是最困难的事情，由于矿堆所在地地貌不同，以及它们的形式不同，故每个矿堆应有它们特有的取样方式。大约180000吨的纳瓦霍矿堆的采样，是用一台D-8型推土机，挖沟500米，平均深约2.75米，采用30米方格网法，沟槽内的取样采取每隔1.15米用反铲挖取0.3米深。样品采集于30米方格网的各沟槽，并采用人工堆锥进行四分法缩取分析样品和浸出试样。沟槽的侧壁也采用刻槽取样，并用一台风动抓岩机开凿了直径为1.2米，总深为31米的七个浅井穿透矿堆。

采集样品进行金和银试验的关键在于：（1）火法试金分析确定贵金属的总含量；（2）通过一台原子吸收仪能够获得氰化法的浸出特性；（3）标准摇动台烧瓶氰化试验，再从矿浆的分析得出最大的氰化萃取率和药剂消耗；（4）浸出柱试验平均每个周期为21天。这些结果表明，回收率大约为金65%和银45～50%。

浸出柱试验采用活性炭从浸出贵液中回收金属时，银没有得到满意的结果，而采用锌丝代替活性炭立即获得理想的贫液，从而确定了一座标准的麦瑞尔-克洛韦锌粉置换厂，并用压滤的方法回收贵金属。

掌握了这些重要的基础资料，具备了一个可行性研究和投资及生产费用的估算，以便继续进行提供经费和发展产业。

金银勘探公司和圣·路易斯(San Luis)采矿公司组成共同投资公司(Joint Venture)。圣·路易斯采矿公司是具有98年历史的老公司，总部设在旧金山市，在墨西哥从事矿业生产。后来，圣·路易斯被一个墨西哥的公司所并吞，该公司在共同投资公司的另外部分被矿产公司所获得，并由几个组织圣·路易斯的董事们组成一个公司，而共同投资公司、图斯卡洛拉联营公司成为该公司下属的生产单位。

回收厂、浸出堆场、两个溶液池、新鲜水井等基地的准备工作于1979年5月开始进行，至1979年10月5日回收厂生产了第一批银金泥。

生产场地选择在围绕拥有开采权的相邻五个矿点，其中之一是纳瓦霍，它包括一个占有很大面积矿堆的拥有权，设置回收厂的专利权和堆浸区域选择在一片广阔而平缓、坡向北西大于7%和南东约4%的山脊坡地上。工程地质经一位土壤工程师揭示，山脊上部为浅薄的表土层，下面是泥灰石的古河床，具有对苛性氰化物浸出液的不浸透性质。场地整平系采用一台推土机剥掉山艾树和表土，并堆成一个倾向两侧、面积为122米×460米的平坦堆场，再用一台电动养路车按级配分层铺平后，并利用筑堆之前载重32吨的汽车在潮湿的泥灰石上往返行驶，对表面进行压实。当堆场压实后，在第一和第二层各铺设+50毫米矿石，厚度为400毫米，在第三和第四层各铺设13～3毫米矿石，厚度为150毫米，这些物料在再处理之前已由一个公司对纳瓦霍矿堆的一部分进行了多年试验，认为筛除含银17克/吨的粗粒矿石，对含银86克/吨的细粒矿石进行堆浸是适宜的。

在开始筑堆之前，用一台后翻汽车先在每块堆场上全面进行第一次堆料，其高度为1.5米，这种做法是为了防止场

地干裂而造成溶液的流失。再按照设计浸堆的高度，先修一条汽车坡道，然后用一台D-8型推土机将汽车卸下的物料分布到整个矿堆。浸堆上所有被汽车压实的地方，都是用松土器耙松。

筑堆的另一种方式是用抓斗，前端式装载机、自进式胶带输送机组、翻斗汽车等进行堆筑和拆卸。选择这种方法是经济的，其原因是只需稍加夯实，底层铺设块石，以防止矿石与堆场的接触面产生沟流现象。

按地形和堆场面积及其浸堆高度，决定各个浸堆的大小为36000吨至68000吨。第一次堆高3.65米的浸出实践表明，高度还可以增加。后来№.4浸堆就筑到6米高。

堆浸物料的粒度，通过试验工作表明，筛出粗粒级对提高物料的浸出率是有实效的。进行38毫米或50毫米的筛分能使细粒级品位得到提高，但由于金银主要是嵌布在矿物表面和裂隙里，所以粗粒级的含银量仍在17克/吨，且大量是可以回收的，因而筛分就成为如下的一个经济问题。

筛　　分

有利部分：矿石的运输量较少

浸出矿石的品位较高

修筑堆场的面积较小

不利部分：筛分需要费用

未经浸出的矿石造成有用成分损失

浸堆的孔隙率很可能大量减少和产生沟流造成银的损失。

上述几点的分析很容易得出一个结论，堆存的矿石（至少是在纳瓦霍）是不应该进行筛分。

浸出场地的修筑、矿石搬运到堆场筑堆，系原订合同委

托于当地的一个公司，承包人提供32吨哈尔派克(Haulpak)式后翻汽车三台，卡特皮勒988型装载机一台，装有松土器的D-8型推土机一台，电动养路车(Patrol)一台，洒水车一台和注油车一台。

排液沟开在每个堆场的两侧，并衬塑料膜以防止任何渗漏，通过集流主沟引入贵液池。贵液池和贫液池各为30×30×3米，每个容量为2840立方米，这些池子都衬一层0.75毫米的夹尼龙丝的聚氯乙烯塑料膜以防止渗漏。

浸出的过程，首先是喷洒氢氧化钠溶液，对堆存上百年的硫化矿由于氧化而产生的酸需要进行中和。当浸堆洗涤液的pH值从3.5上升到8.5时，添加氰化物开始对银和金浸出，此时pH值上升到9.5。中和作用的氢氧化钠溶液进行循环可保持30天。浸出用的药剂采取将药剂桶直接倒入贫液池，并制备溶液达到所要求的浓度，再流经混合槽，以保持浸出液中氢氧化钠和氰化物的浓度。

回收厂的贫液自流到贫液贮存池作为矿堆的浸出液，这些溶液约含氰化钠1.0公斤/吨，比用于金浸出的氰化物含量高得多，因斯卡洛拉的银金比为100:1。碱度用氢氧化钠调整，使pH值保持在9.5～10.5。

浸出溶液用泵扬送到矿堆的顶部，并经过一个铺开在矿堆表面的管网系统，连接雨鸟式或尼尔松喷洒器或甩摆式胶管洒水器(wiggler)——即长度为300～450毫米的乳胶管，胶管洒水器呈现雨点喷洒，可减少水分的蒸发。浸出溶液的喷洒量为每平方米7.5～10升/时，渗透氧量是通过溶液向矿堆上喷洒的过程而得到提高。当氰化物溶液渗透过矿堆时，银和金被溶解并与微量的其它金属一道生成含水的氰络合物收集到贵液池。当地的最大降雨量为每昼夜150毫米，相当

于每平方米6升/时，所以考虑池子的储存容量时必须提供容纳这部分的水量。由于蒸发的原因造成浸出溶液损失10～20%。银金贵液从贵液池扬送到回收厂以回收银和金。

回收厂是一座钢结构建筑物，面积为13×15.2米，屋檐高为3.6米。贵液先通过760×760毫米27片明流型板框式净化压滤机二台中的一台，以除去残余的固体，两台压滤机均采取预涂6毫米厚硅藻土助滤剂。产出清澈的净液利用真空吸入位于厂外的一台麦瑞尔-克洛韦脱氧塔进行脱氧，塔内的真空度保持在70660.66～77993.37帕(530～585毫米汞柱)。

锌粉用一台维勃拉(Vibra)螺旋给料机，以很微的量添加到脱氧后的净液中，其添加量是通过对置换压滤机排出的贫液，用原子吸收仪分析其银含量来控制。锌银金泥收集在二台希列佛(Shriver)压滤机中，其操作与前面净化压滤机相同，当置换压滤机中有一台达到了最大容量时，入口压力即上升.净液则经旁通管流入另一台压滤机。净液在转换压滤机之前，停止添加锌粉，并用贵液对压滤机内的金泥进行洗涤，以置换过剩的锌粉，以提高金泥的品位。银金泥的品位为85%Ag和0.07%Au。每台压滤机在打开卸料之前，要用风机吹气排除剩余的水分，最终金泥的含水量约为50%。从压滤机卸下的金泥再进行干燥到含水0～1%，然后进行称重、取样、分析和装桶密封以便外运。干燥装置配备一台洗涤器，以回收银金泥干燥时挥发的汞。

厂房内除设置贵金属回收装备外，还包括一间试样破碎和研磨设备的制备室；一套滴定化验设施；一台振动研磨机，以及一组45～90公斤的浸出置换装置；一间办公兼午餐室。一台火法试金分析炉安设在一间单独的小房里。整个厂区用铁丝刺网做围墙。

图斯卡洛拉在本书中叙述较详细的原因，是由于作者为揭示一个从理想到成功的冒险实例，并相信这个实例给他人

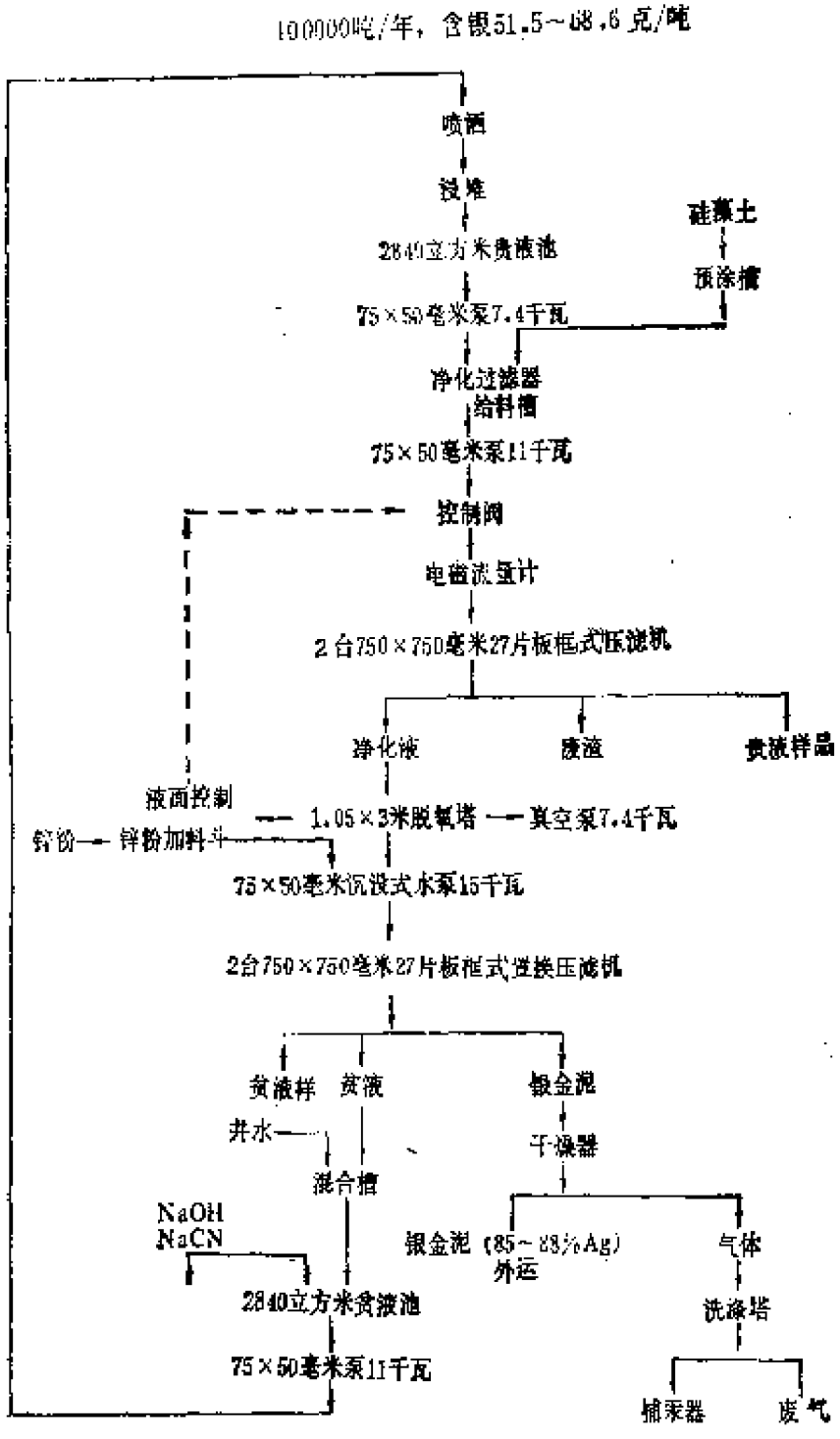


图 1—9　图斯卡洛拉联营公司金银堆浸工艺流程

仿效，定会作为一个促进的例证。毫无疑问，有些老矿山的矿堆，将会得到有益的处置。

工艺流程见图1-9。

图斯卡洛拉联营公司

1980年生产数据

矿石特征：安山岩浸入体中银氧化矿和硫化矿物的混合矿，银金比为100:1

原矿品位：Ag+Au 51.5～68.6克/吨

浸出矿石粒度：坑内开采的原矿经手选废石后，矿石中大于150毫米占15%

处理能力：年生产10个月，9000吨/月

筑堆设备：31.5吨汽车和D-8型推土机

浸堆规格：根据地形52×79×3.7米～137×73×6米

堆场结构：推土机剥离表土，平路机整平，取古河床粘土和泥灰石用载重汽车进行湿式压实

浸堆的排液层：块石和过去的跳汰尾矿

浸液的喷洒：雨鸟式和尼尔松喷洒器

浸液用量：10升/平方米·时

浸出溶液：NaCN0.75～1公斤/吨，pH值11.0

药剂消耗：由于矿石酸性，NaOH用量约3公斤/吨以上，NaCN 0.5公斤/吨

贵液品位：Ag15.5克/吨，pH值9.0，NaCN0.5公斤/吨

贵液流量：870升/分

银的回收方法：麦瑞尔-克洛韦锌粉置换法

回收率：Ag>40%，Au>50%，

职工人数：包括经理、一名冶金师、一名化验员总计9人

生产成本：不包括堆场和筑堆时为0.16美元/克Ag

图斯卡洛拉联营公司

1980年生产成本

每吨采矿成本：　　1.65美元

工　资：	
操作工	2.44美元
维修工	0.68
材料费：	
药剂	1.70
维修	0.42
其他：燃料、压风、水、各种备件	0.06
外包运输费：	0.15
管理费：	0.39
会计费：企业外部	0.11
其他：分析、杂务	0.22
间接费：	1.00
每吨总计生产成本：	7.17❶美元

落果投资公司
(Eureka,Nevada)

尤里卡(Eureka)是众所周知的内华达州最早的一个采矿区，该区第一次生产出黄金是在1864年。这个地区最长的生产周期是在廿世纪初，生产维持到第二次世界大战，这个时期尤里卡矿区总共挖掘了3200公里以上的坑道，生产产值达2亿美元。落果矿(Windfall)是在1902年发现，并于1907年至1912年和1932年至1940年期间有一座100吨的氰化厂从事生产。而从1974年起，在落果老采区落果投资公司(Windfall Venture)成为唯一的一个堆浸设施进行生产。

黄金在落果矿区最早发现于寒武纪·汉堡(Cambriam Hamburg)白云石里，并已被风化成砂质，原有粘结成分遭到破坏。金的嵌布粒度极细且与不等量的砷和汞伴生，然

❶ 不包括矿区使用费。

而，典型的尤里卡地区矿石具有贱金属含量低的特色。由于采出矿石已被风化成很细的粒度，小于150微米约占50%，采取常规的喷淋堆浸法是不可能的，因此要扩大试验范围以寻求别的处理方法。在美国矿务局的协助下，进行了9米高的浸出柱试验，接着又作了相当规模堆浸试验。浸出过程首先在50毫米厚的沥青质堆场上铺盖一层有助于排液的砾石，再在这上面堆筑10.6米高的矿堆，排液通过管子进入装满砂砾的集液坑。沿每个堆场的四周顶部修筑一条小堤并使氰化物溶液在矿堆顶上形成一个池子，其结果得到渗透率为每平方米24升/时，并以2.4倍的平均速率用于另一个矿堆的浸出

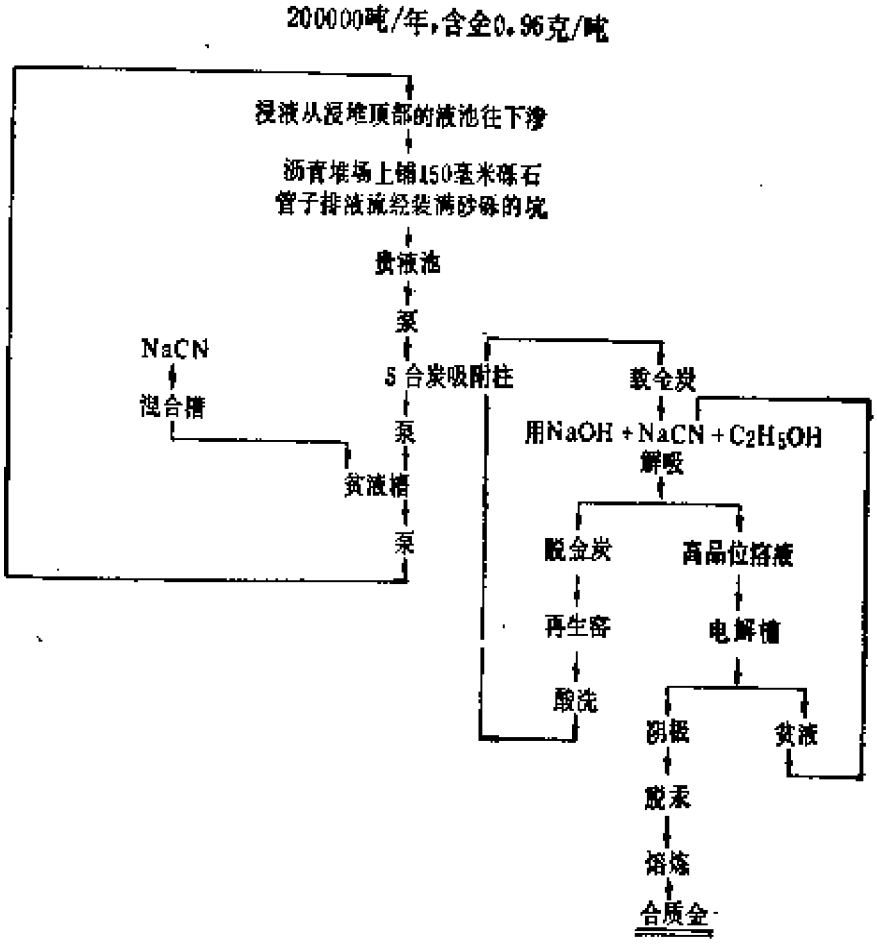


图 1-10　落果投资公司堆浸金工艺流程

操作。白云石由于本身的碱性而提供了保护碱度，所以溶液中不用添加石灰或氢氧化钠，溶液中氰化钠含量为0.4公斤/吨。

从浸堆排出的贵液含金约0.7克/吨，氰化物含量约0.2公斤/吨，pH值大于9，浸出溶液由于添加氰化钠而使pH值提高到11～12。

活性炭吸附金的设施，最早是在一辆拖车装了六个封闭的吸附柱，后来由新建的五个常用规格的吸附柱来代替。载金炭的解吸采用热的苛性氰化物和10%乙醇溶液，用乙醇能使炭进行酸洗活化，并经过15次循环使用后再进行回转窑再生。每年浸出矿石约200000吨，金回收率在80%以上。

这种最难处理的矿石，在这个小规模的生产条件下，生产取得了持续增长和成功，无疑给落果投资公司的生产者和股东们带来最大的利益。

工艺流程见图1-10。

落果投资公司

1980年生产数据

矿石特徵：	强风化的白云石中含金
原矿品位：	金0.96克/吨
浸出矿石粒度：	50%-150微米(100目)
处理能力：	200000吨/年
筑堆设备：	四台7.6立方米汽车，一台前端式装载机
浸堆规格：	大小不等，最大为152×91×10.7米
堆场结构：	50毫米压实沥青层
浸堆的排液层：	φ100毫米聚氯乙烯管，管壁厚号码为80，排液管子引入装满砂砾的混凝土坑
浸液的喷洒：	池渗透
浸液渗流量：	48升/平方米·时
浸出溶液：	NaCN0.4公斤/吨溶液，不加石灰与氢氧化钠，pH值11～12

贵液品位：	Au0.69克/吨，NaCN0.2公斤/吨，pH值>9
炭吸附：	五个炭吸附柱装6～16目炭，流量610升/平方米·分
载金炭：	1800～1715克/吨
炭的损耗：	几乎没有
炭解吸：	$NaOH+NaCN+10\%C_2H_6O$
炭再生：	回转窑间接加热和酸洗处理，循环解吸15次后入窑再生一次。
回收率：	金80%
产　品：	含质金70% Au+25% Ag

职工人数：	选厂	矿山
管理人员	1	2
操作工	6	15
维修工	1	6
其他，化验室　办公室等勤杂人员	9	
职工总数	39	

生产成本(直接)：矿山——0.75美元/吨
选厂——3.58美元/吨

参考文献

(1) Rollin W·Roberts, "San Xavier Vat Leach Plant Operation" Mining Congress Journal, December 1974.

(2) Alexandre Mussard, "Innovation Uranium Mill Makes Small Deposites Pay." Mining Engineering, October 1978.

(3) Western Prospector & Miner, July 1978.

第二章　炭浆法回收金和银

活性炭吸附金属离子络合物的性能已发现多年了。但直到本世纪四十年代末五十年代初人们才试图使用炭浆法(Carbon-In-Pulp)工艺来回收金。最早使用炭浆法的厂矿有美国科罗拉多州克立普·克里克(Gripple Creek)的金带，内华达州戈尔康达(Golconda)附近的格彻尔矿(Getchell Mine)及洪都拉斯(Honduras)的伊德里埃矿(Idria Mine)。那时，从矿浆里回收炭是用筛分或浮选，而从炭上回收金是把炭烧掉或送到冶炼厂。可惜在当时，金价停滞在1.24美元/克(35美元/盎司)，而劳务费用却上升到使这类厂难以长期维持下去，因此，炭浆法工艺就被暂时搁置起来。

七十年代初，美国南达科他州利德(Lead)霍姆斯特克矿业公司鉴于环境保护规程的限制，被迫将7500吨/日的混汞法生产厂停产；同时，用麦瑞尔板框压滤机过滤的2000吨/日泥矿系统又受到高劳务费用的冲击。在此稍前，美国矿务局的研究人员发明了从活性炭上解吸金的苛性-氰化物解吸法和从炭的解吸液里回收金的电解槽(现在称为扎特拉槽"Zadra cell")。霍姆斯特克与美国矿务局共同在利德建立了一个炭浆法试验厂。试验结果是令人满意的，并建立了一个2400吨/日的炭浆厂来处理霍姆斯特克的泥矿部分(见冶金出版社1978年出版的《金和银氰化厂生产实践》)。后来，霍姆斯特克又在科罗拉多州克里德(Creede)建立第二个炭浆厂，处理铅-银浮选厂尾矿的泥矿部分。另一个是内华达州

巴特尔山(Battle Mountain)杜瓦尔公司(Duval)的3000吨/日炭浆厂。这两个厂将在本章里叙述。

在编写本章时尚有下列三个炭浆厂正在建设中：

美国内华达州宾松(Pinson)矿业公司	金矿
美国内华达州自由港(Freeport)金矿公司	金矿
智利埃尔·印迪欧(El Indio)矿业公司	金银矿

此外，正在生产的炭浆厂还有加拿大安大略省金田(Gold Fields)的一个小厂 南非摩德芳廷(Moderfontein)和果弗蒙特区(Government)的两个厂 南非还有几个厂正在设计和建设中。为了使炭浆法适应南非的情况，南非约翰内斯堡(Johannesburg)的国家冶金研究所在炭的吸附、解吸以及新设备的设计与改进等基础研究工作方面显得十分活跃。

正如人们对任何新工艺常常要表示疑虑一样，炭浆法也不例外，最主要的担心是炭的磨损会引起贵金属的损失。因为磨细了的炭可能进入尾矿而流失。但是，生产实践已经证实，这些损失是可减少到最小的。例如，在霍姆斯特克的利德厂用炭浆法得到的金回收率超过了原有的常规厂。此外，在南非则并非如此，在那里采矿成本比选矿成本高很多，一旦一种提取方法的回收率比传统用圆筒过滤机和麦瑞尔-克洛韦(Merrill-Crowe)锌粉置换法还要低，就应慎重考虑。事实上，炭浆法在渣液里的可溶金属损失将比用浓缩机的逆流洗涤更低，至少将等于用过滤法获得的回收率。最终已证实，炭浆厂与常规的逆流洗涤或过滤机洗涤比较，其基建和生产费用均较低。

炭吸附、解吸及其最后电积出金和银的化学机理已有很多报道，这里不再重述。然而，如果要应用到炭浆厂的设计

和生产上，还应考虑其他有关的因素。对于低品位的金矿，通常采取四段甚至最好五段炭浆吸附，每段停留时间 1 小时是适当的，而对银矿石，贵液里品位较高但吸附率又较低，应考虑六至八段炭吸附。为了确定炭吸附的段数，对贵液吸附等温曲线的研究是必要的，而且对回收厂的设计和操作也有参考价值。

炭浆厂吸附槽的设计非常关键。霍姆斯特克在利德的第一个炭浆厂使用带空气提升搅拌器的道尔槽，每段之间采用德里克(Derrick)摇臂式振动筛。炭的消耗量为0.03公斤/吨 另一些厂则使用帕丘卡槽(Pachuca)，螺旋桨式叶轮(Spip-type propeller)搅拌槽和轴流式(draft tube)机械搅拌槽，并分别与振动筛、弧形筛或者周边固定筛进行不同的组合。短时间内要测定炭的损失是非常困难的，而且，区分炭在吸附-筛分回路中的磨损要比解吸再生回路中的磨损和压碎就更加困难。炭在再生窑里活化一次的损失量是不变的。因此，只有用减少再生次数来降低炭的损失量。用加酒精方法进行炭的解吸尽管增加了火灾危险和事故。但往往只有少量的炭需要再生活化，所以这个方法还是可以的。减少再生周期的另一方法是使炭尽可能多的负载金和银，然而，由于磨损而损失的炭含有较高的金、银，同时高含量的载金炭对偷盗者又最有吸引力，因此，只有认真的研究后才能采用这样的作业。

银的价值比金低，当然要采取不同的经济手段。在金矿的工程设计中，要使炭在吸附和筛分回路中的磨损与损失降到最低，最好是采用空气搅拌矿浆，它比用机械搅拌的磨损要轻得多，但动力费用较高。如果采用机械搅拌，就要尽力降低叶轮的高剪切力。在筛分时振动筛应具有最小的振幅，

这样对炭粒的撞击最少；固定筛系横切矿浆流会使炭遭受剪切力而磨损；固定在吸附槽上部周边垂直筛或倾斜筛较好，可以使炭磨损最少。在以后的一两年内，生产厂使用这类周边筛积累的生产数据将提供有价值的设计参数。

当使用固定周边筛时，炭的提升通常是炭和矿浆一起返到上一个逆流吸附槽。一个新的炭浆厂-宾松将使用一种隐藏叶轮式(recessed impeller)离心泵。炭浆厂内其他区域的输送一般均用水力提升器。炭在管道中的输送，要用曲率半径大的管弯头，以使炭的运动方向变化最小。

炭的磨损与所处理矿石的粒度关系上出现了一些疑问；从逻辑上似乎是细粒矿石对炭的磨损比粗粒矿石少，然而，从试验研究的数据表明，矿石粒度较粗的情况下炭的磨损较少，原因是矿浆里只有较少数量的矿粒磨损炭。另外有迹象表明，向矿浆里添加粘土可起润滑作用，将减轻炭的磨损。

据称炭浆厂的基建费和生产费比常规的逆流洗涤厂要低。尤其在气候寒冷地区，炭浆厂完全可建在室内；而浓缩机要在室外近乎冰冻的条件下进行操作总是不能令人满意；同时配置浓缩设备需要的场地也总是不容易得到。

虽然用炭浆法处理金和银矿石有很多优点，但也存在某些不利的方面，大概最大的缺点是它与常规逆流洗涤或过滤洗涤工艺比较，尾液含较高的氰化物。常规逆流洗涤的尾液经处理后，尾矿库内氰化物含量低，如卡林金矿的尾矿库岸边每年都在饲养鸭就是一个例子，另一方面，炭浆厂尾液里的氰化物含量并不比银的氰化厂的尾液高，因为在银的氰化厂必须保持回路中的高氰化物浓度。炭浆厂尾液里添加漂白粉●的量比常规工艺的消耗量要高，但其费用多半可由炭

● 原文中为Cyanide有误。——译者

浆法本身的各种节余所补偿。

人们常常关心的是炭浆回路中金的积压(lockup)，在某种情况下这是对的。因为吸附回路有一个长的停留时间，在某些情况下多达20天。当然，吸附在炭上的金应指载金炭和脱金炭上含金量的平均数。同时在解吸回路和电解槽里也存在积压，但是用压力解吸能将解吸时间缩短到最少。在炭的解吸过程中，溶液已经完全脱氧，同时溶液也得到很好的净化，显然，这就充分说明了解吸溶液完全能用常规的麦瑞尔-克洛韦置换法来回收金和银。对一个矿石品位较高，能产出大量金的矿山来说，锌粉置换可能是有利的。在这种情况下，由于含金量高的贫液返回到解吸回路，因而减少了金的损失。美国内华达州自由港金矿已报道把这种措施用于它们新的耶里特·峡谷(Jerritt canyon)炭浆厂。

另一个回收金的重要方法是南非国家冶金研究所正在进行的，用一个新的电解槽来处理高品位解吸液。"这个电解槽由一个相当薄的矩形炭粒床作为阴极，在外边用两块平行的不锈钢板作为阳极，在炭床和不锈钢板之间放有离子交换膜。苛性钠溶液通过阳极液隔板循环，同时洗提液通过充填床进行电积。然后改变电极的极性，阳极将金再溶解到含有氰化钾和氢氧化钾溶液里，最后重新电积到固定在槽外边的阴极钛板上，这样就从炭粒上回收到电积金"。

在不同时期，出现了使用炭浆法同时产生金的浸出与吸附过程的新课题。从基建投资的观点来说，对这个方法是感兴趣的，因为就设备而言它是简单的。其缺点是在工艺过程中增加了必不可少的炭量。然而，假如它的化学机理得到探明，毫无疑问，冶金师和设计师们将能改进设备和方法，使炭的磨损量降到最低，从而使炭浆厂有更高的竞争能力。

从上述评论和对炭浆厂的介绍来看，不言而喻，炭浆法工艺用于贵金属矿石将会对黄金工业产生极大的影响。今后几年，人们对那些正在研究的各种观点将会有很大的兴趣。

埃尔·印迪欧矿业公司
(Santiago Chile)

埃尔·印迪欧矿（El Indio），由斯特·乔矿业公司（St. Jon Minerals）的子公司——桑·乔斯矿业有限公司（San Jose Inc.）拥有80%的股份，20%由智利私人投资者所拥有。该矿位于智利圣地亚哥北480公里拉·塞纳（La Serena）附近，其新浮选厂和炭浆厂于1981年初投产。坑内采矿，在4240米标高每天将采出大约1270吨矿石。该矿含铜2.25%，含金和银分别为16和254克/吨。整个工厂的建设尚未完成，开拓副产矿石含金1400公斤，运往美国的一个铜冶炼厂回收。

在埃尔·印迪欧矿，坑内矿石用铁路运到离井口不远的选矿厂，在选矿厂经破碎、磨矿和浮选，生产出含金、银的铜精矿。破碎厂还破碎废石用作采矿充填料。浮选精矿的回收率：铜大约92%，金和银约60%

浮选尾矿含金6.4克/吨，银106克/吨●，在六个帕丘卡槽氰化浸出72小时，矿浆输送采用空气提升。石灰、氰化钠硝酸铅和磷酸盐加到帕丘卡氰化槽。氰化浸出后，矿浆送到四个空气提升的炭浆槽，并在槽外各安装一台振动筛以回收炭。载金炭在两个平行的柱内加压解吸。因为海拔高必须用加压解吸。脱金炭经螺旋分级机脱水和回转窑再生后返回炭浆

● 原文尾矿品位Au为19克/吨，Ag为116克/吨，有误。——编者

回路。贵液送到四列每列为四槽的扎特拉电积槽，将金、银沉积在阴极钢棉上加以回收。钢棉经洗涤、阳极泥用板框压滤机过滤，然后，滤饼和洗涤后的钢棉经红外线干燥器干燥，通过两段熔炼得到金锭。

已公布的报告指出，这个独特的企业总投资大约为8000万美元。

工艺流程见图2-1。

埃尔·印迪欧矿

1981年生产数据（计划数字）

矿山位置：	智利Ⅳ区，拉塞纳东480公里
矿石种类：	铜（硫砷铜矿）、金、银、石英
采矿方式：	坑内充填采矿法
原矿运输方式：	铁路
处理能力：	1250吨/日
产　　品：	铜精矿，金锭
磨矿细度：	100%—65目
水　　耗：	5.225立方米/吨
浸出时间：	帕丘卡槽浸出72小时
浸出氰化物浓度：	0.5公斤/吨
炭浆吸附时间：	8小时，空气提升式
底炭浓度：	四段，分别为15、25、50、50克/升
炭筛类型：	振动筛，筛孔35目
解　　吸：	NaOH+NaCN加压解吸
解吸柱：	二个10吨容量的解吸柱，解吸时间7小时
贵液品位：	Ag1.215克/吨，Au0.122克/吨，Cu 0.148克/吨
电解槽：	φ1200毫米，四列每列四槽
选厂建筑物：	114×52米，金属墙板

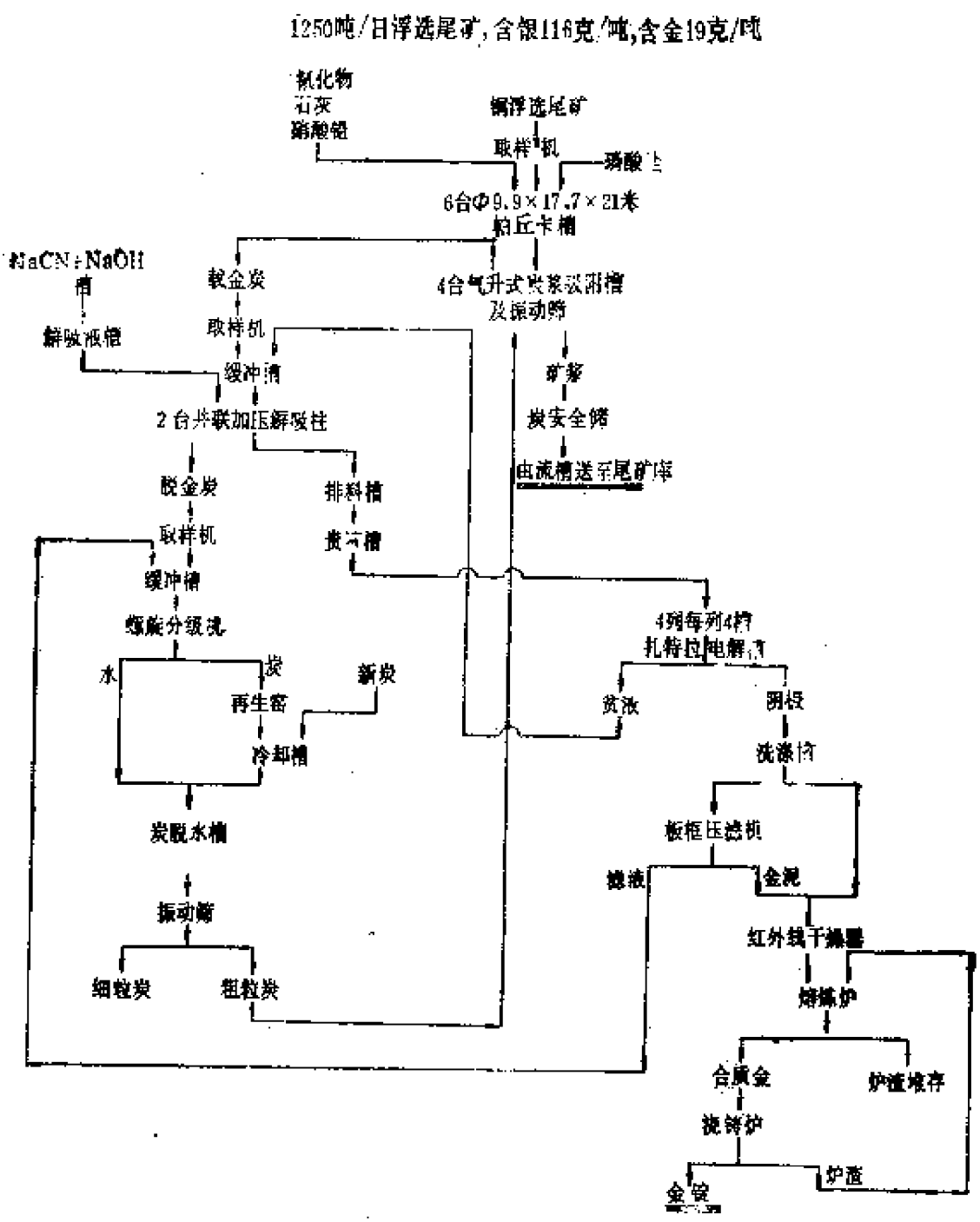


图 2-1　埃尔·印迪欧矿业公司堆浸金、银工艺流程

杜瓦尔公司
(Battle Mountain, Nevada)

亚利桑那州拥有西丽塔 (Sierrita)、埃斯佩拉扎(Esperanza) 和矿物园 (Mineral Park) 铜矿的杜瓦尔公司 (Duval CorPoration)，于1962年第一个获得内华达州拉德县巴特尔山 (Battle Mountain) 的产权。1965年中期着手开发矿山，铜矿于1968年底开始生产。辉铜矿和黄铜矿的混合矿石经磨矿和浮选得出铜精矿。浮选的生产能力为3175吨/日。由于铜的品位和价格低，矿山大约生产10年后就停产了。以后，注意力转移到邻近的低品位的贵金属矿体。这个矿体含金2.74克/吨，银3.4克/吨和少量的铜。试验工作揭示，用炭浆法处理，每年总共能回收大约2.8吨的金和银。结果迅速安排了炭浆厂的设计和建设。炭浆厂于1979年1月开始投入生产，生产能力为2720吨/日。截至1980年末它是世界上最大的炭浆厂。

幸好原有的破碎和磨矿厂以及所有基础都是可利用的，需要改变的仅仅是在炭浆厂前面增加一个重选回路以回收粗粒单体金。在第一段球磨回路里的四台φ500毫米旋流器中，有一台旋流器的沉砂直接给入一台第二段球磨机，磨矿产品再进入二段球磨机的旋流器，旋流器沉砂经筛孔为6目的弧形筛筛分，筛下产品进入两台1.07×2.14米泛美式跳汰机。跳汰精矿经两台威尔弗雷 (Wilfley) 摇床和一台磁选机精选，并在第三台威尔弗雷摇床上再精选。精选精矿最后经混汞、蒸馏和熔炼后得出金。每天大约回收930克金。

重选回路中的尾矿返回磨矿系统。一段磨矿的旋流器溢流送至原有选厂的尾矿浓缩机，以获得炭浆法处理的合适矿

2700吨/日，含金2.74克/吨，含银3.4克/吨
原矿
粗矿仓板式给料机
1650×2100毫米颚式破碎机
胶带输送机
900吨粗矿仓
给料机及胶带输送机
1200×2400毫米振动筛
+50毫米
-50毫米
400×1250毫米液压圆锥破碎机
2台1500×3000毫米振动筛
+13毫米
-13毫米
2台150×1275毫米液压圆锥破碎机
2700吨粗矿仓
给料机
（至"胶带输送机"）

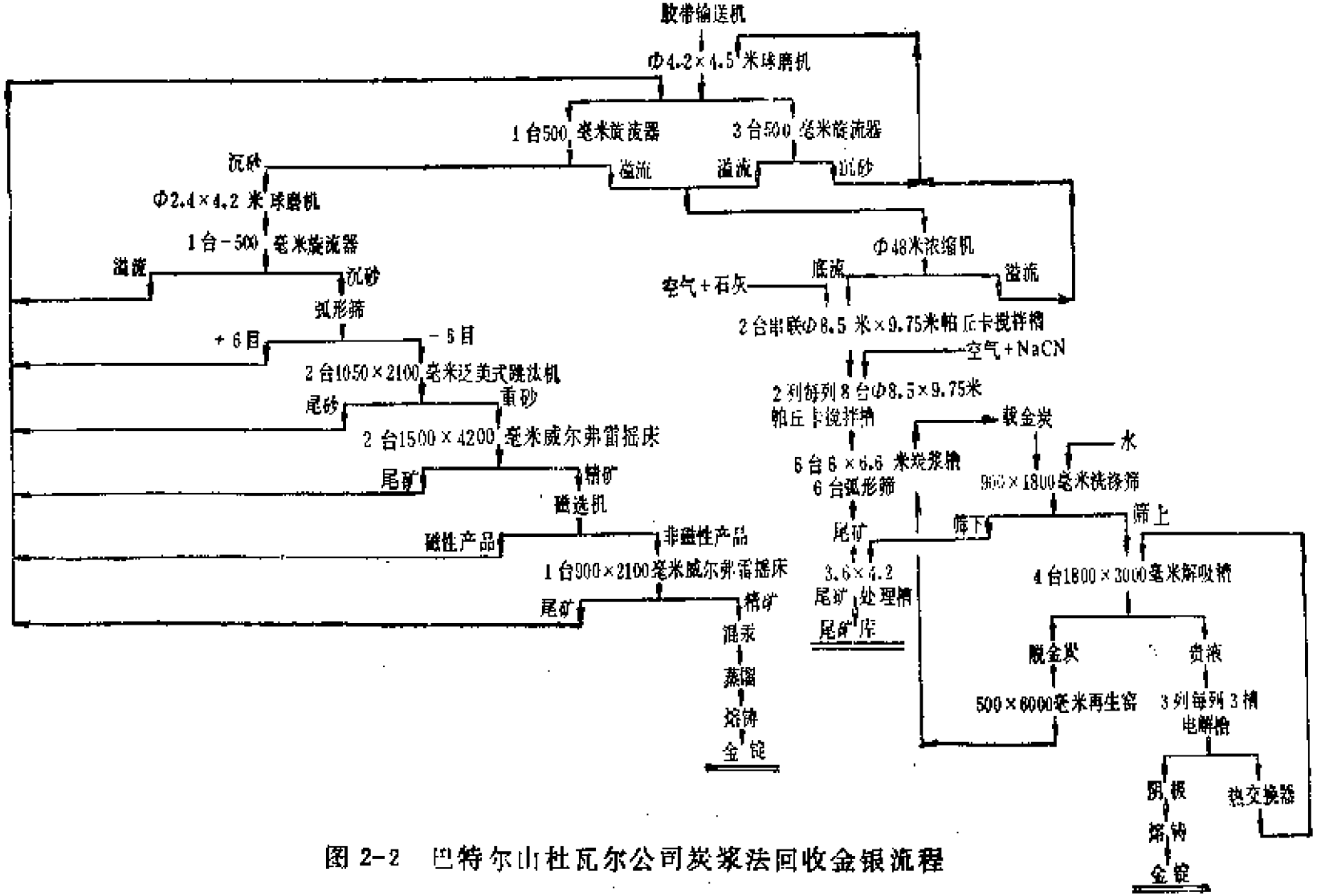


图 2-2　巴特尔山杜瓦尔公司炭浆法回收金银流程

浆浓度。然后，将浓度约40%的浓缩机底流送到两台串联的8.5×9.75米15°锥底的帕丘卡槽，加空气和石灰搅拌以氧化磁黄铁矿。再后，将矿浆分成两股分别进入二列八台相同规格的帕丘卡槽氰化浸出48小时，靠空气提升将矿浆从一个槽转移到另一个槽。

氰化后的矿浆送到六台串联的机械搅拌式炭浆槽，每槽的停留时间为1小时。原先，这些槽是用帕丘卡槽，后因积砂的问题改用机械搅拌槽。还有，原来各段间靠空气提升给料的振动筛已改为弧形筛。载金炭用酒精-苛性氰化物加热解吸。得到的贵液送到三列每列三个矩形电解槽电积，阴极钢棉上沉积的金银含量可达3430克/公斤钢棉。每次循环排出的脱金炭在冷凝器里回收酒精，经三个循环后用硝酸洗涤，将其中三分之一送至回转窑进行再生。炭的消耗量为每吨矿石0.1公斤，而氰化物消耗量高达2公斤/吨，这是由于磁黄铁矿含量高和氰化物溶解矿石中的铜所引起的。

杜瓦尔公司将它的铜选厂改造为适合处理金矿石的炭浆厂，这当然给该公司带来了很高的声誉，而且提供了一个相当先进的贵金属回收工艺。

工艺流程见图2-2

杜瓦尔公司

1973年1月生产数据

矿山位置：	内华达州拉德县巴特尔山南16公里
矿石特征：	原生硫化矿，矿体顶部有一些氧化矿
开采方式：	露天
原矿运输方式：	翻斗车
处理能力：	2726吨/日

原矿品位：	Au2.74克/吨，Ag3.4克/吨
产　品：	合质金
回收率：	金92.5%，银40%
邦德功指数：	13（80%通过90微米）
磨矿电耗：	14.8千瓦·时/吨
除磨矿外电耗：	7.2千瓦·时/吨
总电耗：	22千瓦·时/吨
供　水：	1.5立方米/吨，用泵从里斯河谷的几个井取水
浸出时间：	48小时，15°锥底的帕丘卡槽
浸出pH值：	10.7
浸出氰化物浓度：	最低为0.15公斤/吨溶液
氰化物耗量：	随矿石类型不同而变化，1～2公斤/吨
浸出石灰耗量：	氰化浸出为10～15公斤/吨
炭吸附时间：	6小时，六台机械搅拌槽
底炭浓度：	1～5槽25～30克/升矿浆，6槽50～60克/升矿浆
炭筛类型：	弧形筛
炭的粒度：	6～16目
炭负载量：	金1715克/吨，银686克/吨
炭损失量：	0.1公斤/吨矿石
解　　吸：	含1.0%NaOH，0.1%NaCN，20%酒精的热溶液
解吸柱：	φ1.8×2.4米，解吸时间24小时
炭再生：	每三个循环后用硝酸洗涤，三分之一的炭进回转窑再生
电解槽：	三列每列三槽串联。每槽有6个阴极，阴极面积为0.9平方米
阴极负载量：	每公斤钢棉负载金银合量3430克
合质金品位：	电积产品含金40～50%
重选产品：	由混汞得到成品金，75～80%成色
尾矿堆存方式：	自流至尾矿库，粗粒尾矿堆坝

计划运转率：	92%	
职工人数：	选厂	矿山
管理人员	26	15
操作工	49	53
维修工：	56	33
小计：	131	101
行政、化验及勤杂人员：	39	
职工总数：	271	

生活设施：职工居住在巴特尔山的公寓，杜瓦尔公司提供并管理停车场，以及供职工租用的各种公用设施。

杜瓦尔公司

1982年2月生产成本

每吨采矿成本		0.95美元
破　　碎：	包括粗碎、中碎、细碎、运输、堆场、矿仓	1.64
磨矿和分级：	包括球磨机、棒磨机、泵和旋流器	2.22
粗粒金回收：		0.14
浸　　出：	包括药剂	3.72
炭浆法处理：	包括炭的使用、筛分、解吸和再生	0.67
电解和精炼：		0.43
供水系统：		0.43
尾矿堆存：		2.17
选矿综合费用		1.90
间接费：		1.25
每吨总计生产成本		14.57美元
工资：		
操作工		1.20美元
维修工		1.39
材料费：		
药剂，包括炭		5.95
磨矿介质		0.61

维　修	1.97
其　他：燃料、输送机胶带、各种备品、鼓风和水	0.78
动力费：	0.86
管理费：　已包括在工资内	/
间接费：	1.25
其　他：分析，杂务	0.56
每吨总计生产成本：	14.57美元

霍姆斯特克矿业公司斗狗山矿
(Creede, Colorado)

霍姆斯特克矿业公司斗狗山矿 (Bulldog)位于科罗拉多州克里德 (Creede) 附近，在圣胡安山脉 (San Juan Mountains) 接近海拔2750米处，那里只有很短的夏季，而经受漫长寒冷的冬天。克里德的历史可追溯到1889年当人们发现银矿时，1892年沿阿梅提斯特断层 (Amethyst Fault) 诸矿山采出的矿石用船外运，每月产值在百万美元以上。

早期的地质勘探者们使斗狗山断层相对地保持着原样。1960年美国地质调查局确认这个断层有着潜在的储量，在整个构造上面用标柱划分了许多矿区。1963年霍姆斯特克公司首先获得了产权，并于1964年中期在2956米标高开始掘进坑道，所遇见的矿化作用给公司进一步工作增大了胆量。1968年决定建立一个318吨/日的浮选厂。1969年初选矿厂建设竣工，矿山从最初的勘探到开始生产经历了六年。

投产后，在几个不同水平的中段进行了广泛的钻探，安装了两台坑内卷扬机，为垂直深度几千英尺的各个不同水平中段的采场生产服务。由于围岩不稳固，采用了一种新的独特的分层充填采矿法。这种方法与通常的分层充填采矿法不

同，其过程是在严密管理下采用下向胶结充填。这是昂贵的，但却大大地减少了危险。

截至1977年以前，由于某些矿物的氧化及它们的固有特性，大量的银损失在矿石处理过程的泥矿中。由于霍姆斯特克公司取得处理南达科他州的利德金矿泥矿部分的成功经验，对炭浆法浸出回收泥矿中的银进行了试验，从而提供了另外一种回收银的可能方法。

1976年4月开始炭浆厂的基建工作，并于同年12月完工，投资略超过200万美元。

设计的炭浆厂处理现有选厂的泥矿136吨/日，加上在夏季从老厂尾矿库采挖的泥矿227吨/日。浮选尾矿的砂矿部分含银17.5克/吨作为坑内充填料。泥矿分析大约含银120～137克/吨，即为炭浆厂的给矿品位。

来自浮选尾矿的旋流器溢流加上采出的泥矿，浓缩成44～48%浓度的矿浆。然后，通过振动筛筛出废屑，加入石灰和氰化物，在四个帕丘卡槽里浸出36小时。矿浆中氰化物浓度保持在0.06%，pH值为10.5～11.0，氰化物耗量为0.9公斤/吨。较高氰化钠浓度不能改善银的回收，甚至高达0.10%浓度仍不能改善其回收。氰化浸出最关键的操作参数是矿浆里的氧含量必须尽可能地提高它。

当浸渣含银27～34克/吨，溶液含银75克/吨和氰化钠浓度大约为0.04%时，浸液即从浸出回路中排出。炭吸附回路由六台3.35×4.6米叶轮搅拌槽组成，每槽均配备一台0.6×1.2米筛孔为0.71毫米（24目）的振动筛。槽内的炭浆由空气提升到振动筛，筛下矿浆排入下一个槽，而炭返回到同一槽。

在生产能力为400吨/日，每槽停留时间为1.5小时的条

斗狗山矿135吨/日，含银550克/吨，含铅 2%

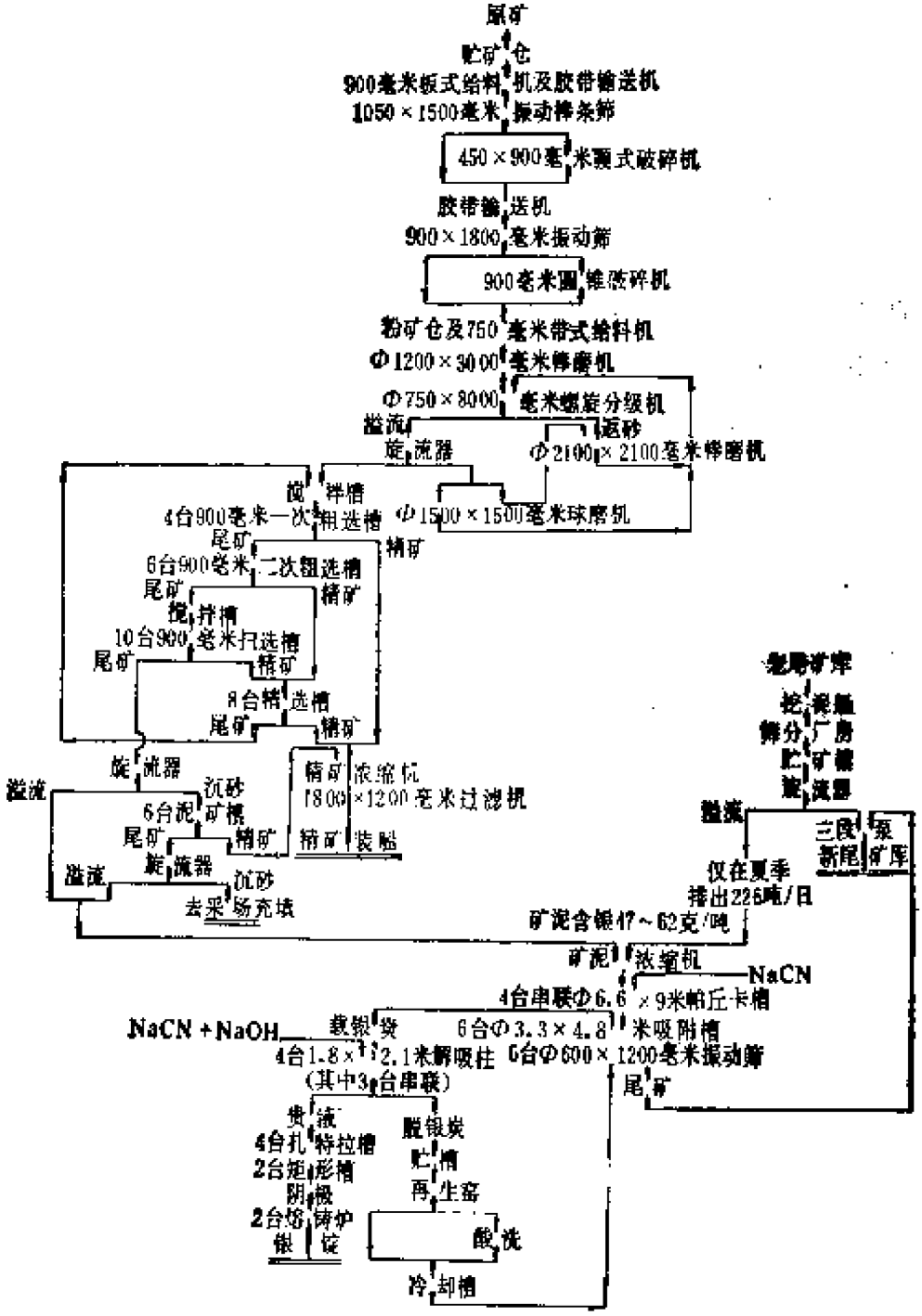


图 2-3　克里德霍姆斯特克矿业公司斗狗山矿炭浆法回收银工艺流程

件下，6～16目的炭几乎能将银全部吸附。通常，第一槽有炭4000公斤，其他五个槽每槽为900～1800公斤。炭以3～4天为一周期向前推进一批。即从第一槽移出3200公斤炭送解吸柱，第二、三槽的炭移至第一槽，炭以逆矿浆流动方向移动。

载银炭装入四个1.8×2.1米不锈钢解吸柱中的一个，用77℃的苛性氰化物溶液进行三段解吸。每一批炭解吸4天，从解吸柱内排出的贵液作为电积槽的给料，脱银炭在590℃间接加热的回转窑内再生20分钟，再生炭用筛分除去细粒，然后再返回到吸附回路。每个月大约要补充1000公斤新炭。炭的损失包括再生过程中的烧损，以及在吸附和筛分中的磨损。

从电积槽取出的阴极每公斤大约含银4600克，在可倾坩埚炉中熔炼成银锭，成色95%。

霍姆斯特克的克里德矿是一个很好的企业，矿石品位约550克/吨，选矿能力为317吨/日[1]。

工艺流程见图2-3。

霍姆斯特克矿业公司　斗狗山矿

1979年生产数据

矿山位置：	科罗拉多州克里德
矿石特征：	铅-银硫化矿，还有自然银
矿石品位：	铅2%，银550克/吨
开采方式：	坑内，下向分层充填采矿法
原矿运输方式：	坑内矿车运输
处理能力：	浮选厂317吨/日，炭浆厂363吨/日
原矿品位：	浮选厂：铅2%，银550克/吨
	炭浆厂：银51～103克/吨
产　　品：	浮选精矿，铅23%，银6180克/吨

	银锭，成色95%
回收率：	浮选精矿：铅69%，银87%
	炭浆法：银70%
磨矿细度：	65目
搅拌浸出时间：	36小时，浓度48%，15°锥底的帕丘卡槽
浸出pH值：	用石灰调节至10.5～11
浸出氰化物浓度：	0.06%
氰化物耗量：	0.9公斤/吨
石灰耗量：	2.4公斤/吨
氢氧化钠耗量：	0.19公斤/吨
炭吸附时间：	每段1.5小时，采用叶轮式搅拌器，3个空气提升器
底炭量：	第一槽4100公斤，二至六槽900～1350公斤
炭筛类型：	振动筛600×1200毫米，筛孔0.71毫米
炭规格：	6～16目
炭载银量：	13720克/吨
炭损失量：	0.2公斤/吨
解　吸：	1% NaOH，0.3% NaCN，78℃
解吸柱：	四个1300×2400毫米，三段解吸，解吸时间4天
贵液品位：	约685克/吨
炭再生：	在595℃的回转窑里处理20分钟，偶尔也用盐酸酸洗
电解槽：	四台扎特拉圆柱形槽串联，每槽9公斤钢棉；二台矩形槽，每槽8个阴极，每个阴极1.14公斤钢棉
阴极载银量：	5100克银/公斤钢棉
尾矿堆存方式：	用泵扬送尾矿库

职工人数	选厂	炭浆厂
管理人员	2	1

操作工	17	9
维修工	3	1
小计	22	11
其他：化验室、办公室等		4
职工总数：		37

生活设施：　职工居住在克里德的私人住宅或附近的公寓。

霍姆斯特克矿业公司　斗狗山矿
1980年生产成本

尾矿回收（约50%计入炭浆厂）：	1.16美元	
浸　出：　包括药剂	1.27	
炭浆法处理：　包括筛分和炭的使用	3.00	
炭解吸：	2.02	
炭再生：	0.56	
电　解：	0.80	
精　炼：	0.41	
尾矿堆存方式：　未计入炭浆厂的成本	/	
间接费：　包括动力费	0.89	
每吨总计生产成本	10.11美元	
工　资：		
操作工	2.94美元	
维修工	0.51	
材料费：		
药剂，包括炭		3.42
维修材料		1.19
其他：运输胶带、鼓风、水和各种备件		1.38
动力费：		0.67
管理费（包括在工资内）		/
间接费（已分摊）		/
其他：分析和杂务已包括在工资和材料费内		/
每吨总计生产成本：		10.11美元

宾松矿业公司
(Winnemucca, Nevada)

宾松矿业公司（Pinson Mining Co.）于1981年初投入生产。它是美国第四个投产的炭浆厂，位于内华达州亨博尔特县（Humbolt）戈尔康达镇东北38公里处。著名的格彻尔矿（Getchell Mine）也在戈尔康达附近，它曾是四十年代较早使用炭浆法的一个工厂。

该矿床于1971年由基地在里诺市的科蒂莱勒勘探队（Cordilleran Explorations）发现，并在加拿大的采矿公司合作下进一步探明。1972年在宾松以南15英里处发现了第二个较小的普里布尔（Preble）矿体。

1980年决定开采宾松矿体，并成立宾松采矿公司。该公司是由拉卡那采矿有限公司(Lacana Mining Inc.)、雷诺克矿业有限公司(Rayrock Mines Inc.)、西斯康金属有限公司（Siscon Metals Inc.)和一些私人投资的。

在宾松有三个连接但性质截然不同的矿带。可供选矿的混合储量总计为320万吨，平均金品位4.12克/吨。初期将开采“A”矿带。该矿带储量为150万吨，平均金品位5.8克/吨。从宾松还可采出另外550万吨低品位矿石将用堆浸处理。在普里布尔可采矿量至少有550万吨，金品位为2.7克/吨。普里布尔矿床的生产计划没有系统地提出书面数据。

两个矿床中金的粒度均在微米级以内，呈细粒浸染状散布。宾松矿体已经探明，它赋存在奥陶纪石灰-沉积岩里，大多数矿石已硅化成绿泥石，矿带已完全氧化。普里布尔的矿体赋存在寒武纪形成的碳质页岩、石灰质页岩里。只是上部已氧化，因此可用常规氰化法浸出。

宾松矿体在海拔1615米奥斯古德（Osgood）山脉靠近格拉尼特谷口（Granite Creek）处，矿山位于海拔1495米处，从矿山至选厂为1.2公里。矿山开拓工作始于1980年5月，矿石堆存待以后处理。在设计宾松选矿厂时，应考虑有关因素有：需要细磨到90%－200目；磨矿功耗高达23度/吨；以及矿石中的含泥量很高。

设计原则是在考察了美国和南非的炭浆厂和炭吸附回路以后确定的。南非的国家冶金研究所在发展炭浆法技术方面做了很好的工作。宾松选厂的特点在于炭浆处理和炭吸附采用了与常规逆流洗涤系统相似的流程。矿石在氰化溶液中磨矿；浓缩后可得到直接供置换的贵液。浓缩机的底流进一步氰化，随后进行逆流洗涤处理，得出洗液返回磨矿用，并降低可溶金属在尾渣中的损失。在宾松工艺流程的设计中，其基本原则是尽早回收已单体解离的金，而这种设想在生产操作中往往是容易被人们所忽视的。

宾松的矿石经两段破碎后，进行两段球磨磨矿，第二段球磨和水力旋流器构成闭路。这个厂的另一特点是将石灰和氰化物加到第一段球磨机的给料胶带上。旋流器的溢流为90%－200目，然后进行浓缩，浓缩机溢流的一半返回磨矿回路，另一半在五台1.2×3.6米的炭吸附柱里处理。用传统的水力提升器进行串炭。

浓缩机的底流在四台机械搅拌槽氰化浸出24小时，然后送到五台φ3.35×7米炭浆槽。炭浆槽功率为5.6千瓦，安装有轴流式搅拌器，叶轮直径1.2米。另一特点是炭和矿浆的提升采用隐藏叶轮式离心泵。每天大约排出450公斤的炭，并将同样数量的炭补充到炭的吸附回路。由槽上部的周边筛使炭停留在每个炭浆槽里，这些周边筛是南非改进的，用低

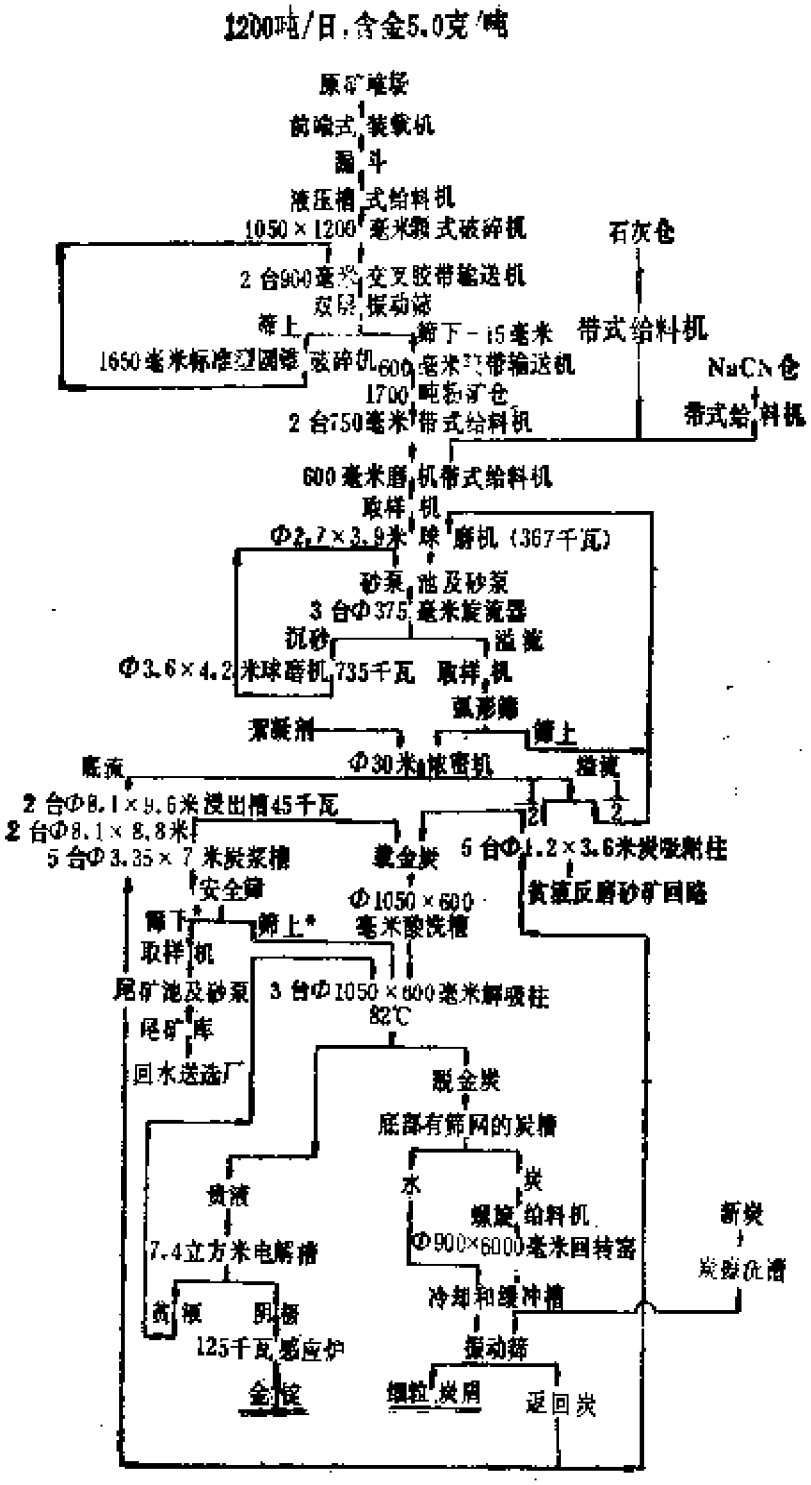


图 2-4　宾松矿业公司炭浆法回收金工艺流程

压空气喷洗以保持筛网不被堵死。

大约有3吨混合炭来自两个不同提取金的回路，载金量约为5500克/吨，先酸洗、然后分批地在温度82℃下解吸72小时，脱金炭在间接加热的回转窑里再生。新炭在一个带叶轮的擦洗槽里处理，筛分后再加到炭浆回路。

从解吸液里回收金是用一个7.4立方米的电积槽，用29*不锈钢丝网作阳极，28*钢棉作阴极，支撑在塑料托架上。沉积了金的阴极钢棉用125千瓦的感应炉熔炼。

辅助设施包括冶金试验室和化验室，药剂贮存库、仓库、汽车和维修间 及行政管理用建筑物。

宾松厂的管理和设计人员经慎重考虑后作出有所创新的炭浆厂，是值得庆贺的。设计的成功，将受到整个贵金属工艺师们的称颂。

宾松将于1980年12月中下旬开始生产，到那时，工程的总投资将达1700万美元。这个总数中也包括辅助设施：有汽车库、化验室、办公室。炭浆厂占900万美元；采矿设备费400万美元，余下的是间接费用、供水系统、尾矿坝、税款、运输费等等。

工艺流程见图2-4。

宾松矿业公司

1981年生产数据(设计)

矿山位置：	内华达州亨博尔特县戈尔康达东北38公里
矿石特征：	含金氧化矿，产于角砾化绿泥石、脉石和硅化石灰岩裂隙中
开采方式：	露天
原矿运输方式：	45吨翻斗车，运距1.2公里
处理能力：	1090吨/日

原矿品位：	金5.5克/吨
产　品：	金锭，成色95%
回收率：	85%
磨矿电耗：	29.5千瓦·时/吨
除磨矿外电耗：	17.8千瓦·时/吨
总电耗：	47.3千瓦·时/吨
磨矿细度：	90%-200目
水　耗：	新水1.44米³/吨（由两个井供水）；回水0.793米³/吨
炭吸附柱：	五台φ1.2×3.65米，每台装炭450公斤，粒度6～16目
浸出时间：	四槽6小时，浓度45%
浸出pH值：	11
浸出氰化物浓度：	0.25公斤/吨.溶液
浸出石灰浓度：	0.4公斤/吨的CaO
氰化物耗量：	0.2公斤/吨
石灰耗量：	1.9公斤/吨
炭浆吸附时间：	五台φ3.35×7米炭浆槽，停留时间4小时。搅拌用1.2米莱特宁轴流式叶轮搅拌器，功率5.6千瓦
底炭浓度：	20克/升
炭筛类型：	20目固定筛，用空气清洗
炭粒度：	6～16目
炭载金量：	5490克/吨，预计矿石里有少量银
炭损失量：	0.076公斤/吨
炭解吸：	酸洗后在三个φ1.07×7.3米解吸柱解吸，3吨炭分批地用NaOH和NaCN溶液在温度82℃下解吸72小时
炭再生：	循环使用七次后，回转窑再生一次
电解槽：	7.4立方米（2.74×0.9×0.9），用29*不锈钢丝网作阳极，28*钢棉作阴极。
阴极载金量：	5公斤金/公斤钢棉
金锭含量：	95%成色

尾矿堆存方式：	泵扬送到有粘土垫层的尾矿池	
选厂建筑物：	24×49米有保温层厂房	
职工人数：	选矿	采矿
管理人员	3	5
操作工	13	27
维修工	4	10
其他：办公室、化验室等	21	
职工总数：	83	
生活设施：	大多数职工住在矿山西南59公里的温尼莫卡（Winnemucca），交通由宾松公司提供	

宾松矿业公司

1981年生产成本(设计)

每吨采矿成本	7.72美元
破碎：粗碎、细碎 筛分、运输、贮存	1.03美元
磨矿分级：包括球磨机、旋流器、泵	2.95
浸出：包括药剂和炭	2.04
炭解吸和再生：	0.85
尾矿堆存：	0.34
间接费（包括化验）：	0.78
每吨总计选矿成本	7.99美元
工 资：	
操作工	1.14美元
维修工	0.33
材料费：	
药剂和炭	0.75
磨矿介质	1.42
维修	0.57
其他：燃料、各种备品、鼓风和水	0.17
动力费：	2.37
管理费：	0.35

间接费：	0.39
其他：分析、杂务	0.50
每吨总计选矿成本：	7.99美元
每吨行政管理费：	2.02美元

参 考 文 献

(1) S. Mitchell, L. Trautman and D. Halbe. "Homestake's Bulldog Mountain Carbon-In-Pulp Silver Plant" Metallagical siciety paper 780-21。

第三章　常规氰化厂金银生产实践

阿格尼科-伊格尔矿业有限公司
(Joutel, Quebec, Canada)

阿格尼科-伊格尔（Agnico-Eagle）矿业有限公司由在魁北克省朱特尔（Joutel）的一个金分公司和在安大略省科博尔特（Cobalt）的一个银分公司所组成。1979年，银分公司处理了含银为139克/吨的矿石417000吨，共产银5816公斤。科博尔特这个有着百年采矿历史的老基地就因其高品位的银矿石而早负盛名。目前有几家公司似乎在着手使该地区重振旗鼓。1979年，金分公司以每月27200吨的生产能力处理了含金为6.58克/吨的矿石333000吨，氰化回收率为91.6%，共产金2013公斤。处理每吨矿石的总平均成本为22.10美元，即每克金为3.66美元。这些指标使阿格尼科-伊格尔在北美的生产厂中成为成本最低者之一。

朱特尔矿石里的金粒度是微细的，并嵌布在由大量黄铁矿和少量磁黄铁矿所组成的硫化物矿物里。使用了两种地下采矿方法，按开采的矿石量计，约75%的矿石用深孔崩落法，余下的则用留矿法。坑内矿石经提升后给入一座545吨粗矿仓，并由此输送至一台规格为25.4～79.54cm（10～51英寸）液压圆锥破碎机前的一座45吨缓冲矿仓。破碎后的矿石通过筛分获得粒度小于13毫米的产品，其筛上部分由一台规格为16.78～152.4cm（7～60英寸）液压圆锥破碎机再破碎。破碎产品送给两座900吨粉矿仓。1980年3月又安装了二台液压圆锥破碎机作为新破碎厂的一部分，实质上

这有助于选矿厂处理能力的提高，同时还为将来安装第三台破碎机预留了场地。粉矿仓排矿排给一台φ2.75×3.66米棒磨机，其排矿接着就进入一台φ3.7×5.5米球磨机与一台φ380毫米克雷布斯（Krebs）旋流器构成闭路，旋流器溢流70%－37微米（400目）作为浮选给矿。矿浆先送入一台34立方米马克斯韦尔（Maxwell）浮选机，然后再送入另外十二台2.8立方米浮选机处理。二者的精矿合并给入与一台φ254毫米克雷布斯旋流器构成闭路的一台φ1.8×4.9米球磨机，再磨至90%－37微米。浮选尾矿送尾矿库。

再磨后的精矿给入一台帕丘卡槽进行充气，同时加入石灰，然后经一台φ16.75米浓缩机浓缩并添加柴油，它可使一些活性石墨在氰化时不吸附金。浓缩机溢流供过滤机洗涤用水的剩余部分弃入尾矿。浓缩机底流送给五台串联的φ4.9×9.75米道尔科（Dorrco）搅拌槽进行氰化。浸出后的矿浆作再次浓缩，其溢流送贵液贮槽，底流则给四台串联的圆筒过滤机洗涤。第一台浓缩机的溢流用来冲洗最后二台过滤机的滤饼，所有滤液均返回第二台过滤机，滤饼则送入尾矿。贵液净化后加入硝酸铅溶液送往标准的麦瑞尔-克洛韦锌粉置换厂。金泥集中在三台760×915毫米佩林（Perrin）压滤机中的一台里，贫液不作为洗涤水及水封水而排入尾矿。

尾矿贮存由24.30公顷的第一库和下游的6.08公顷的第二库所组成。来自选矿厂的全部尾矿经旋流器分级后其沉砂堆存于尾矿库的中央，溢流则排至尾矿库的边远处去沉清。第一个库的排放溢流在弃入河流之前先排入第二库内。尾矿库的基坝是由破碎后的坑内废石和细砂筑成的不渗透构筑物。

虽然每吨矿石的加工费用由于选矿厂处理能力仅为1090吨/日而显得偏高，但是经精心的操作使生产成本降到6.20

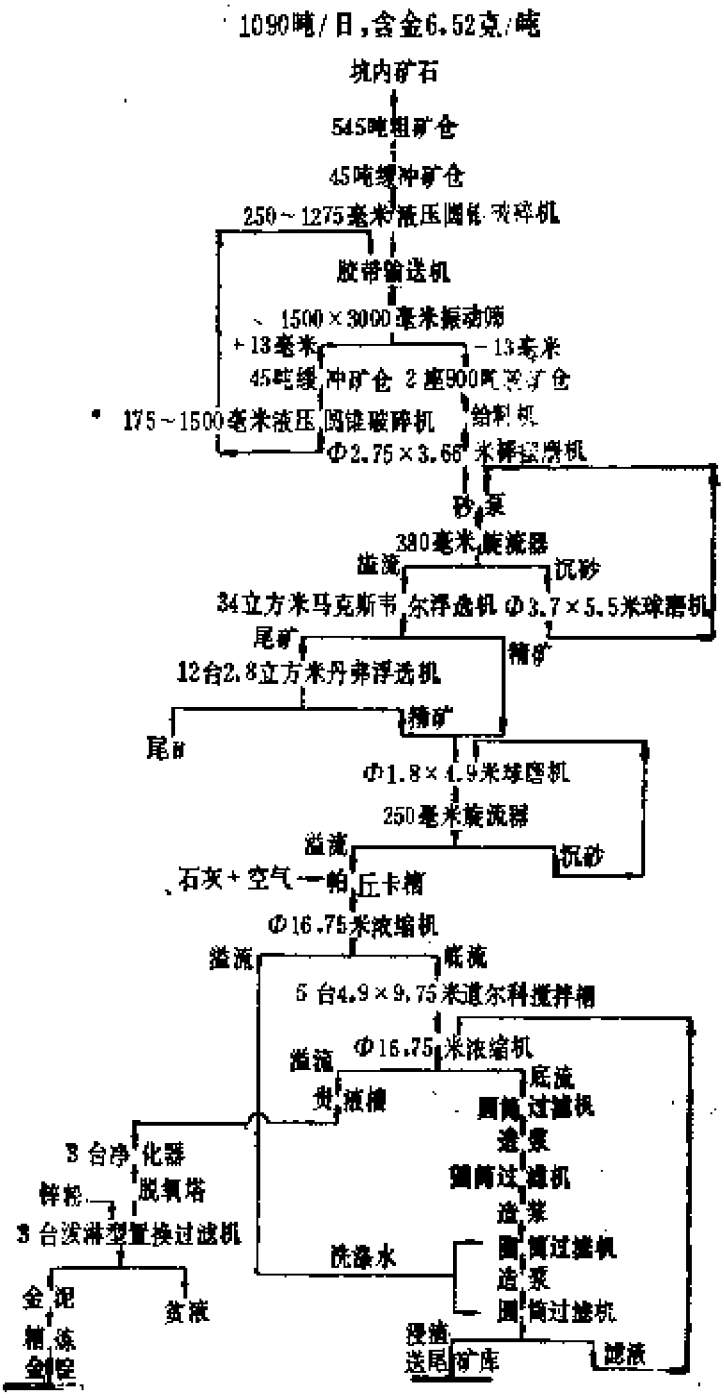


图 3-1　阿格尼科-伊格尔矿业有限公司氰化浸出金工艺

美元/吨。该厂的管理和设计人员终因圆满完成这项任务而受到表彰。

本文结束前，应提一下有着标志封面的阿格尼科-伊格尔矿业有限公司1979年度的年报，它的封面以海军蓝为底色，其上面印有成直角交叉的金锭和银锭，在金锭上铸有"Au"字样，在银锭上铸有"Ag"字样，即使本文的作者总带有一些偏见，这份年报还是一份最好的年报。

工艺流程见图3-1。

阿格尼科-伊格尔矿业有限公司

1980年生产数据

矿山位置：	加拿大魁北克省朱特尔
矿石特征：	浸染状黄铁矿及磁黄铁矿
开采方式：	坑内
原矿运输方式：	直接提升至粗矿仓
处理能力：	1090吨/日
原矿品位：	Au 6.52克/吨
产　品：	金锭
回收率：	91%
邦德功指数：	21
供　水：	1.96立方米/吨，用泵在哈里坎那河（Harricana）取水
浸出时间：	48小时
浸出pH值：	11.5
浸出氰化物浓度：	1.5公斤/吨
氰化物耗量：	0.63公斤/吨
尾矿堆存方式：	尾矿库
计划运转率：	90%
劳动生产率：	267吨/人·班
选矿厂建筑物：	镀锌复合板钢结构

职工人数		选矿厂	矿山
管理人员		7	6
操作工		20	65
维修工		7	10
小　计		34	81
其他：化验室　办公室　勤杂、仓库			
机电人员		75	
职工总数：		190	
生活设施：	住宅、公寓及食堂		

阿格尼科-伊格尔矿业有限公司

1980年生产成本

每吨采矿成本		7.39美元
破碎：	粗碎　细碎、包括筛分、输送和矿仓	0.68美元
磨矿和分级：	包括棒磨机　球磨机、泵和旋流器	1.70
浸出：	包括药剂	1.23
洗涤：	包括泵和过滤机	0.49
净化和置换：		0.34
精炼：		0.10
浮选：		0.49
精矿处理：	包括浓缩	0 49
尾矿：	堆存和回水	0.68
每吨总计生产成本：		6.21美元

工资：		
操作工	0.93美元	
维修工	0.45	1.38美元
材料费：		
药剂		
磨矿介质	3.09	
维修	0.67	
其他：燃料、输送机胶带　各种备件、		

	鼓风　水	0.10	3.85
动力费			0.44
管理费：			0.41
其　它：分析、杂务			0.12
每吨总计生产成本：			6.21美元

阿山蒂金矿区股份有限公司
(Obuasi, Ghana, West Africa)

阿山蒂金矿（Ashanti）地处加纳的西非黄金海岸区，该地区在大约105000平方公里的面积上找到了金。阿山蒂金矿在所有脉矿矿山中其产量最高，五十多年来一直为世界著名的产金地之一。该矿位于奥布阿西（Obuasi）以北113公里和塔库瓦（Tarkwa）向东距海岸80公里的内陆处。

对走向长300米、宽12米以上的阿山蒂矿体的开采，1934年就已经达到700米深。该矿脉赋存于侵入片麻岩、千枚岩等的前寒武纪花岗岩里，包括石英、碳酸盐、绢云母等围岩的碎块以及含少量的黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿和金等矿物。硫化物和金是嵌布在破碎的石英裂隙里。其粒度大多数是很微小的[1]。

由于选矿厂处理的主要是由毒砂和细粒单体金所组成的难选硫化矿，流程结构反映出矿石性质的复杂性，为回收单体金，在磨矿回路里用了平面摇床；在以后的硫化物浮选精矿焙烧时，又用了皮带溜槽从焙砂里回收另一部分单体金。合并这两种精矿给入混汞盘，得到的含金汞齐再送蒸馏。

矿石经四段破碎至粒度小于9.5毫米，接着是两段磨矿，旋流器溢流用浮选回收硫化物。浮选精矿经过焙烧后，采用焙砂再磨，然后送给两个氰化系统中的一个系统先进行粗略

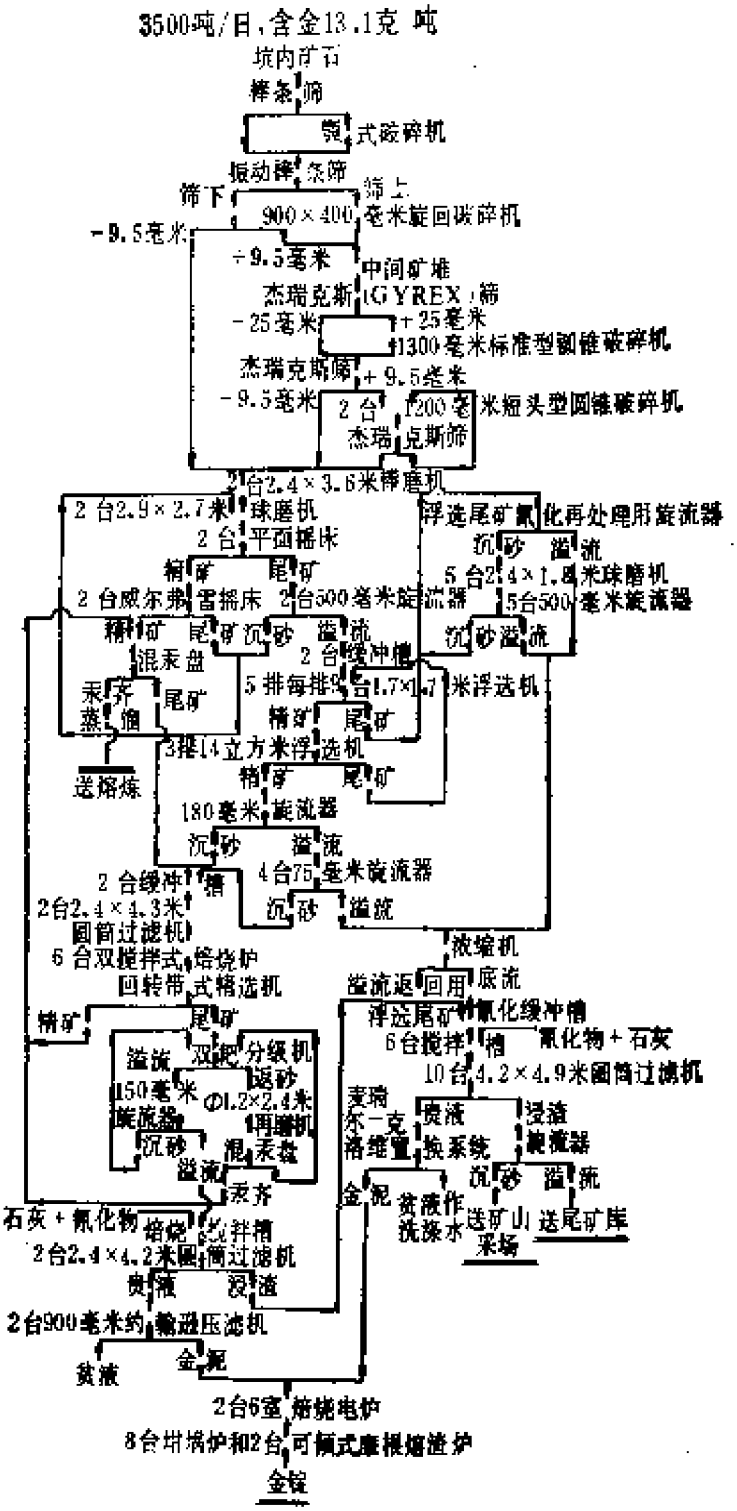


图 3-2　阿山带金矿区股份有限公司回收金生产流程

地氰化，以提取易溶的金。该浸渣和浓缩后的浮选尾矿合并，再给入另一个用过滤机作逆流洗涤的完整氰化系统。金泥焙烧后送坩埚炉熔炼。

选矿厂规模为3175吨/日，入选矿石含金品位大于14.7克/吨。阿山蒂金矿区股份有限公司是世界上最大的黄金生产者之一，而且，长时期以来其总生产量也属于世界的大型矿山之一。

他们开创了一个从坚硬而又复杂的矿石中，有效地回收全部金和银而无其他副产品的工艺流程。1976年总的生产成本为4.77美元/吨。对一个包括有细碎、磨矿、浮选、精矿焙烧和两个氰化系统的复杂工厂来说，这个成就应属优异的了。

工艺流程见图3-2。

阿山蒂金矿区股份有限公司

1976年生产数据

矿山位置：	西非　加纳　奥布阿西
矿石特征：	石英和硫化物含金
开采方式：	坑内
原矿运输方式：	主要用1.3千米长的胶带输送机
处理能力：	3175吨/日
原矿品位：	Au 14.7克/吨
产　品：	含有少量银的金锭
邦德功指数：	24
供　水：	泵扬和自流相结合，距离11.3公里耗量2.253立方米/吨（其中回水为1.862立方米/吨，余下为新水）
氰化物耗量：	0.5公斤/吨
尾矿堆存方式：	由泵扬送至尾矿库，管线长3.2公里、管径φ254毫米

计划运转率：　　95%

选矿厂建筑物：　　钢筋混凝土结构

阿山蒂金矿区股份有限公司
1976年生产成本

破　碎：	粗碎、中碎、细碎　筛分、输送和堆存		0.48美元
磨矿和分级：	棒磨机、球磨机、旋流器、泵和螺旋输送机		1.44
浸　出：	包括药剂		0.72
洗　涤：	分配器、泵、取样机和过滤机		0.15
净化和置换：			0.02
精　炼：			0.18
浮　选：			0.84
精矿处理：	浓缩、过滤、干燥、输送、贮存、装载、焙烧和焙砂处理		0.44
尾　矿：	堆存和回水		0.25
间接费：			0.25
每吨总计生产成本：			4.77美元

工　资：				
	操作工		0.36美元	
	维修工		0.23	0.59美元
材料费：				
	药剂	1.21		
	磨矿介质	0.83		
	维修	1.26		
	其他：燃料、输送机胶带、各种备件、鼓风、水	0.36		3.66
动力费：				0.26
管理费：				0.20
间接费：				

其　他：	分析、杂务	0.06
每吨总计生产成本：		4.77美元

英美公司南非股份有限公司
埃兰茨兰德金矿公司
(Carletonville, Transvaal, South Africa)

目前西方世界的金储量超过了23000吨，其中的65%是在南非。虽然几个主要矿山因资源枯竭而减产或关闭，但新的矿山和现有矿山的扩建都正在进行，它们将维持年产黄金量684吨进入二十世纪九十年代。南非采矿工业的这些新工程是自1886年开发威特沃特斯兰德(Witwatersrand)金矿区以来，再次作出的最大发展。它包括了英美公司(Anglo American Corporation)的埃兰茨兰德公司(Elandsrand)所开发的三个新矿山，这是十七年来南非对新金矿所做的最大胆尝试。

南非矿山当前的平均金品位为8.2克/吨。埃兰茨兰德公司135000吨/月规模的投资包括矿山开发约需3.14亿美元，这是按现今动工时可比施工费用的概算，至八十年代中期完工时的换算值将是4.80亿美元。在探明的低品位矿体中只有少数几个形成了新的采场，所以对现有企业的扩建肯定会进行，而且它拥有的流动资金又能为扩建提供现金。

本文作者所著《金和银氰化厂生产实践》(冶金出版社1978年出版)，已论述了南非氰化厂的生产，本书仅补充介绍南非这个最新的金矿——埃兰茨兰德公司。

埃兰茨兰德矿和英美公司西部边远的迪普·莱弗尔斯矿(Western Deep Levels)相毗邻。整整十年的钻探成

果促成在1974年中作出了提前开发该矿的决心。17个钻孔和文特斯德劳普（Ventersdrop）接触矿脉相交68处的结果表明，在1800～3000米的深处有一个厚度不满一米的金矿脉。初步研究工作指出，坑内掘进900公里以后，可采出6000万吨矿石，供选矿厂处理34年，将可产金725吨。最后当矿山满负荷生产时，为满足225000吨/月的选矿能力，总的竖井提升能力将是300000吨/月。埃兰茨兰德公司的地表设施建设在一群低矮的山丘上，以获得最有利于矿石输送和厂内矿浆自流的10°坡度，这样会降低选矿经营费及投资。选矿厂在碎矿后设有庞大的矿石贮存设施，包括一个有顶盖的30000吨矿堆和一个敞开式80000吨备用堆场，以便在十二月份大批坑内工人返回他们家园时，这些矿石可维持选矿厂的继续运转。矿石从有顶盖的矿堆采用给料机卸矿，对备用堆场则用前端式装载机经胶带输送机运往磨矿机的给料矿仓。目前两台第一段ϕ4.9×9.2米自磨机正在运转，将来还要安装第三台。两台自磨机运转时，磨矿的处理能力为120000吨/月，加入钢球后磨矿能力将达到150000吨/月。计划的最终处理能力为225000吨/月。

采用三段旋流器分级，第三段旋流器的沉砂经分配器给入赖查特（Reichert）圆锥选矿机，它的粗精矿再经分配器给入精选圆锥选矿机，精选精矿给入摇床，由此得到的重选最终精矿经澄清脱水后给马克斯韦尔浮选机处理，产出泡沫精矿送袋式过滤机过滤，滤饼由人工从过滤机取出后进行干燥，并在单个坩埚炉里进行熔炼。浮选尾矿在氰化反应器内浸出，反应器内的浸渣送往皮带溜槽，其精矿即为第二段摇床的给矿，重选的最终产品是锇铱精矿。反应器富集的贵液经净化后送电积槽，金即沉积在钢棉阴极上。二个电积槽

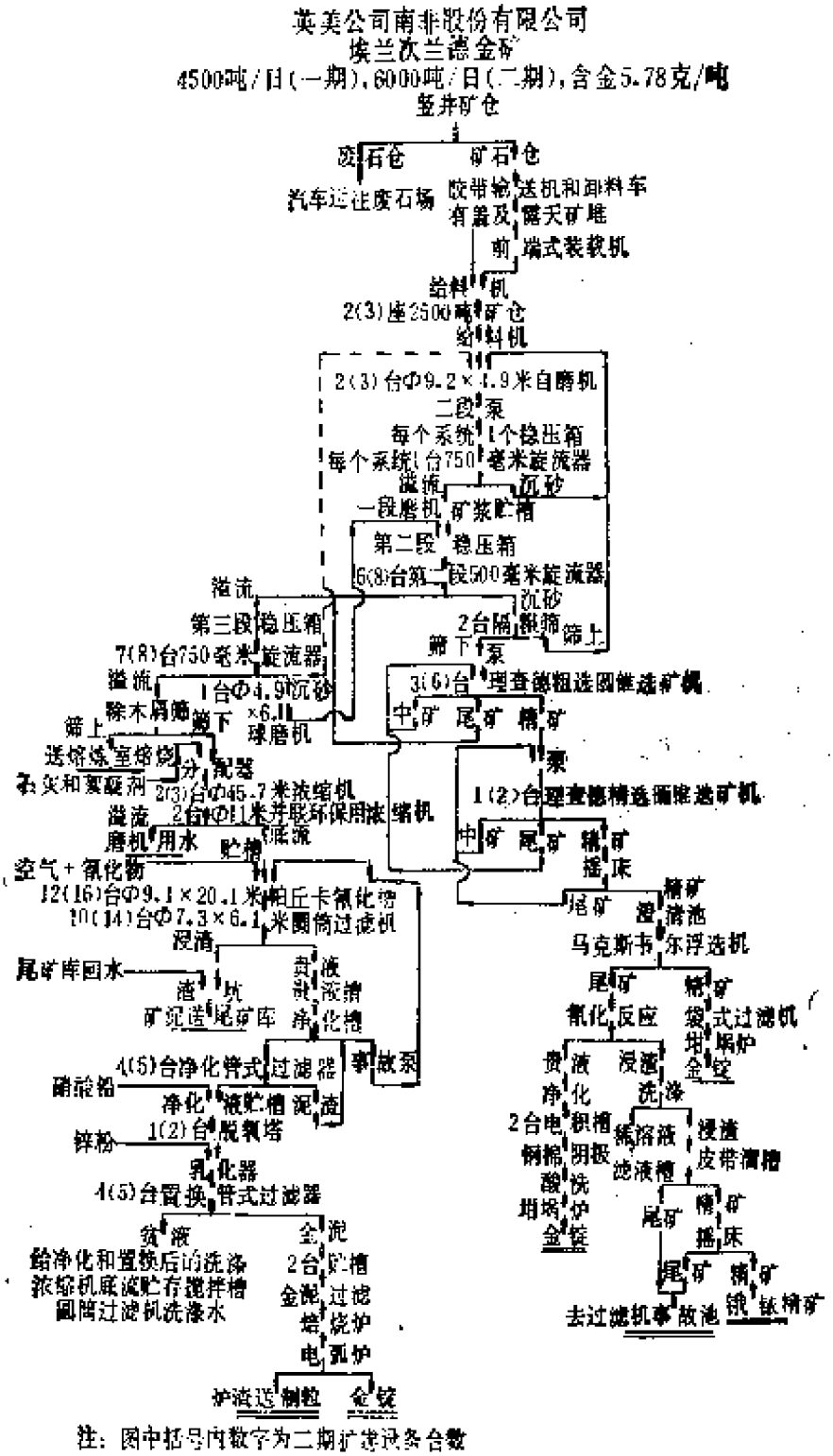
串联使用。与其相倚的还有第三个备用槽。当一个钢棉阴极满载时，即可取出并用一定浓度的酸清洗，以除去过剩的钢棉，洗后的金泥送入单个坩埚炉去熔炼。

浓缩机底流给入第1号或第5号帕丘卡槽前的贮槽里，加水时采用自动控制调节矿浆浓度，要不断测定氰化物和石灰。空气是从每台帕丘卡槽的六个周边和一个中央进气口鼓入的。第11号和第12号帕丘卡槽流出的矿浆自流给到圆筒过滤机的给矿槽。

贵液从每台过滤器的二个给矿点加入，并通过给矿槽的一个给入点，向尚未净化的贵液里加入三氯化铁溶液同时还添加絮凝剂。当贵液用泵扬送通过管式过滤器（Stellar filter）时，滤液即得到净化。在脱氧前往净液里加硝酸铅。脱氧后的净液自流进乳化器并在此加入锌粉，然后，再将溶液扬送到管式过滤器进行置换。金泥用溜槽自流至炼金室内的除锌槽。处理后的金泥扬给一台预涂助滤剂的旋转式过滤机，产出的滤饼运到连续式焙烧炉的槽型带上。焙砂经称重并与熔剂混合后装进电弧炉。熔炼金采用连续浇铸成金锭，融渣则水碎成粒状并运往集中的浸渣池。金锭块经冷却、清扫、称重和打印后存于保险库房。

1979年最后的九个月生产指标是：处理了含金4.9克/吨的矿石368000吨，采选的总生产成本为45.97美元/吨·矿或7.95美元/克金（247.25美元/盎司·金），矿山开采初期的成本高些这是必然的。1978年12月埃兰茨兰德公司铸出了第一根金条，它比预定的投产日期提前了31个月，初期建设时间总共花了四年。这预示埃兰茨兰德公司将会有一个美好而富有经济效益的前程。

工艺流程见图3-3。



注：图中括号内数字为二期扩建设备台数

图 3-3　埃兰次兰德金矿回收金生产工艺流程

英美公司南非股份有限公司
埃兰茨兰德金矿公司
1980年生产数据

矿山位置：	南非德兰士瓦州　卡尔顿维尔 (Carletonville)
矿石特征：	文特斯德劳普接触含金石英脉
原矿运输方式：	胶带输送机
处理能力：	一期能力4500吨/日，二期能力 6000吨/日
原矿品位：	Au 5.78克/吨
产品：	金锭和铀铵精矿
回收率：	Au 95.2%
邦德功指数：	12.8
磨矿电耗：	25.1千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	32.7千瓦·时/吨
总电耗：	57.8千瓦·时/吨
供水：	0.8立方米/吨，生活用水及回水未计入
浸出时间：	44小时
浸出pH值：	11
槽内氰化物浓度：	0.03%
尾矿堆存方式：	自流入细泥坝的尾矿库
计划运转率：	67.9%
劳动生产率：	11.9吨/人·班
选矿厂建筑物：	钢框架和墙板，玻璃纤维保温层

职工人数：

	选矿厂	矿山
管理人员	15	401
操作工	136	6259
维修工	33	601
其他：化验室，办公室等	3	311
职工总数：	187	7527

生活设施：

白人住矿区村

已婚黑人住韦德拉村 (Wedela)

单身黑人住宿舍

英美公司南非股份有限公司
埃兰茨兰德金矿公司
1980年生产成本

每吨采矿成本：		40.60美元
破　碎		无资料
磨矿和分级：	包括磨矿介质和泵等	3.16美元
浸　出：	包括药剂	0.83
洗　涤：	包括分配器、泵、取样机和过滤机	0.47
净化和置换：		0.26
精　炼：		0.49
尾　矿：	堆存和回水	0.07
间接费		0.09
每吨总计生产成本：		5.37美元
工资：		
	操作工	0.38美元
	维修工	0.29
材料费：		
	药剂	0.72
	磨矿介质	0.18
	维修	0.63
	其他：燃料、输送机胶带、各种备件、鼓风、水	1.07
动力费：		1.64
管理费：		0.44
间接费：		0.01
其他	分析、杂务	0.01
每吨总计生产成本：		5.37美元

德拉马尔银矿
(Owyhee county, Idaho)

德拉马尔矿 (Delamar) 地处爱达荷州边境的克尔达兰地区(Coeur d' Alene)，是美国最大的银矿。该矿于1977年4月投产，由地球资源公司 (Earth Resources Company) 和加拿大超级油品公司 (Canadian Superior Oil Co.) 联合投资，归地球资源公司经营。其资产早在十九世纪就由几家老厂矿合并而成，其中有闻名的德拉马尔和萨默尔营矿(Sommercamp)。德拉马尔矿在靠近俄勒冈州边界的爱达荷州的西南部，位于奥惠伊 (Owyhee) 山里，距爱达荷州的博伊西 (Boise) 西南88公里处。冬季通常降雪量很大，温度很低。计划年产银77500公斤、金513公斤。氰化厂处理能力为1540吨/日时，估计服务年限为二十年。其原矿品位：银144克/吨、金1.58克/吨。目前的处理能力为1900吨/日。

截止矿山投产时公布的总投资约为2000万美元，氰化厂公布的按设计能力日处理每吨矿石的投资约10000美元。

德拉马尔矿的主要含银矿物为硒银矿 (Ag_2Se) 以及辉银矿(Ag_2S)，这些矿物均嵌布在整个石英脉和第三纪硅化流纹岩、火山凝灰岩里。矿物组成中的铁和锰均以单体状态存在，故在金、银的氰化过程中很容易取得银85%和金92%的回收率。

工厂投产初期，在处理粘土含量高的湿粘性矿石时，遇到了颇大的困难。粗碎后的矿石采用矿堆贮存，最初采取安装在矿堆底部的振动给料机卸矿，由于矿石的粘性，后来只好改用前端式装载机每天24小时向集矿漏斗装矿，然后，再

用板式给料机卸矿。小于200毫米的矿石给入一台φ5.5×2.75米自磨机，跟着是一台φ2.75×4.57米球磨机和旋流器。磨矿机的配套电机分别是750千瓦和520千瓦。两段磨矿机的排矿送同一旋流器的给矿泵池，旋流器沉砂的一部分则返回自磨机。旋流器的溢流为80%—200目，给入四台串联的搅拌槽进行72小时的浸出（在2100吨/日时为45小时）。溶液的氰化物浓度为1公斤/吨，其pH值为10.5。为提高银的回收率，醋酸铅加入磨矿回路中。浸出后的矿浆送往五台逆流洗涤的常规浓缩机。由于矿石含有大量粘土，即或使用了降低粘度的药剂和絮凝剂，旋流器溢流和浓缩机底流的浓度仍只在40%左右。

贵液经净化和脱氧塔真空脱氧后，在二台伦塞-亚美利加（Lenser American）压滤机内置换出银泥，每台压滤机应每周清理一次。德拉马尔矿的银泥具有很高的品位，其贵金属含量总是超过80%。排出的银泥拌以硝石、硼砂、石英砂和萤石后，在一台炼黄铜能力为1800公斤的反射炉里熔炼，产出30～45公斤的锥形银锭，其银成色为98%和金成色为1%。

炉渣破碎后经摇床选别，其精矿返回熔炼，尾矿送往铅熔炼炉。生产的银锭从该厂用装甲车运往旧金山市，再转运至比利时进行最终精炼。

氰化厂的尾矿送往面积为8公顷的尾矿库，当加高土坝至65米的最终高度时，库区面积可扩大至48公顷。在尾矿库的下游设计了一个防渗库，以收集任何溢流。为防止氰化物的渗漏，在防渗库设平底浮船，用浮船上的二台泵将尾矿库排出的澄清水扬回氰化厂重复使用。

工艺流程见图3-4。

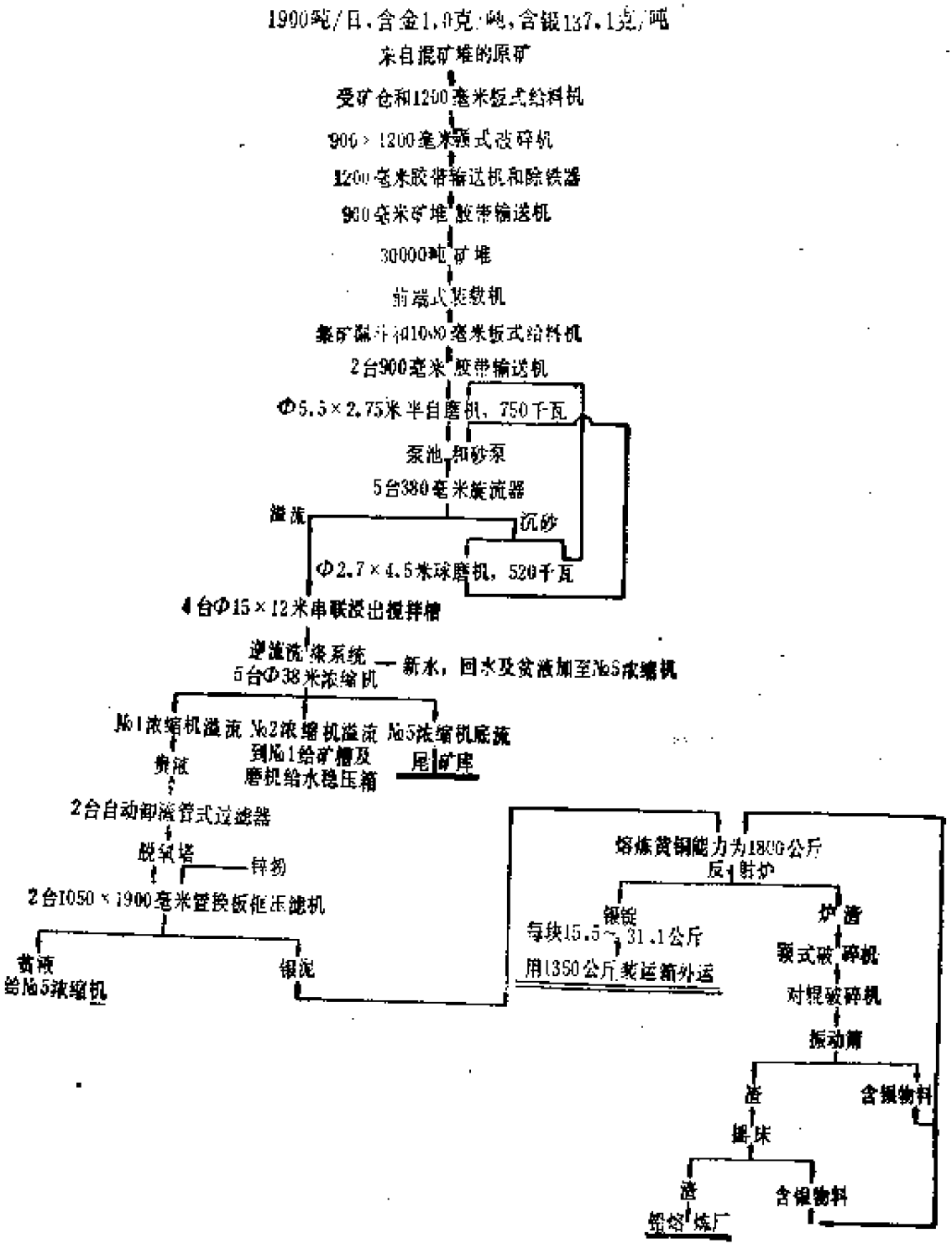


图 3-4　德拉马尔银矿回收银工艺流程

德拉马尔银矿

1979年生产数据

矿山位置：	美国俄勒冈州　约旦谷 (Jordan Valley) 西北32公里
矿石特征：	流纹岩含银和金
开采方式：	露天
原矿运输方式：	汽车
处理能力：	2000吨/日
原矿品位：	Ag 161克/吨、Au 0.7克/吨
产　品：	银锭
回收率：	Ag 85%、Au 92%
邦德功指数：	变值
磨矿电耗：	11～23千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	16.5千瓦·时/吨
总电耗：	27.5～39.5千瓦·时/吨
供　水：	0.355立方米/吨、取自水井
浸出时间：	72小时
浸出pH值：	10.5
浸出氰化物浓度：	氰化钠1公斤/吨·溶液
氰化物耗量：	氰化钠1公斤/吨
尾矿堆存方式：	贮于尾矿库并用虹吸回水
运转率：	365天的92%
劳动生产率：	103吨/人·班
氰化厂建筑物：	钢结构装配式和100毫米厚玻璃棉保温层

职工人数：	氰化厂	矿山
管理人员	7	5
操作工	30	34
维修工	12	10
小　计	49	49
其他：化验室、办公室等	37	
职工总数：	135	

生活设施：　　有32公里的铺石路面与村庄连接

德拉马尔银矿

1979年7月生产成本

每吨采矿成本：			0.66美元
破碎和堆存：			0.30美元
磨矿和分级：	衬板、旋流器和泵		1.37
浸　出：	包括药剂		1.27
洗　涤：			0.37
净化、脱氧、置换：			0.50
精　炼：			0.65
尾　矿	堆存和回水		0.24
间接费：			1.66
每吨总计生产成本：			6.36美元
工　资：			
	操作工	0.81美元	
	维修工	0.50	1.31美元
材料费：			
	药剂	1.27	
	磨矿介质	0.42	
	维修	0.74	2.43
动力费：			0.44
管理费：			0.47
间接费：			1.16
其　他：	分析　杂务		0.55
每吨总计生产成本：			6.36美元

弗朗蒂诺金矿有限公司

(Segovia, Antioquia, Colombia)

弗朗蒂诺（Frontino）公司在哥伦比亚、安提奥基亚省西北部的塞哥维亚（Segovia）地区从事着三个脉矿的坑

内开采。十九世纪以来该地就是个重要的产金区。以含金黄铁矿为主的硫化矿物里嵌布着细粒的金，在花岗闪长岩里的石英脉含有方铅矿、磁黄铁矿和闪锌矿等其他少量硫化矿物。银和方铅矿伴生，但在硫酸盐里也有发现。

1973年和1974年，选矿厂的年处理能力是145000吨，原矿平均品位为金7.80克/吨、银20.0克/吨和铅0.37%，生产出金1150公斤、银4500公斤，以及装船外运的300多吨铅精矿。

原矿破碎至小于16毫米后，给入一台棒磨机，其排矿进入一台1.07×1.07米跳汰机。跳汰作业和旋流器以及二台再磨球磨机构成闭路(见图3-5)。旋流器溢流经混合浮选以回收硫化物，其尾矿排放到河里，浮选精矿和跳汰精矿合并后给氰化系统。

合并的含金精矿经旋流器分级后，沉砂给入与旋流器构成闭路的精矿再磨系统进行细磨，溢流则给入第一段浓缩机。再磨、分级和浓缩都使用氰化溶液，第一段浓缩机产出的贵液供给麦瑞尔-克洛韦锌粉置换系统。第一段浓缩机底流给入搅拌槽、浓缩机和过滤机，其产出的溢流、滤液也送往置换系统。

洗涤后的滤饼再造浆，并经浮选得到铅精矿，其中有40%左右的银回收在铅精矿中，该产品外运给冶炼厂。金泥在精炼厂经熔炼再制成金锭。

这个处理能力为600吨/日的选矿厂有几项工艺值得一谈。对一个复杂的硫化矿来说，金回收率达到85～90%，这表明是个很好的实例。其总的单位电耗为42千瓦·时/吨是偏高些，这是由于金赋存在硫化物里而导致磨矿粒度很细、流程结构复杂的缘故。电力费用很低是因为由三个水电站供

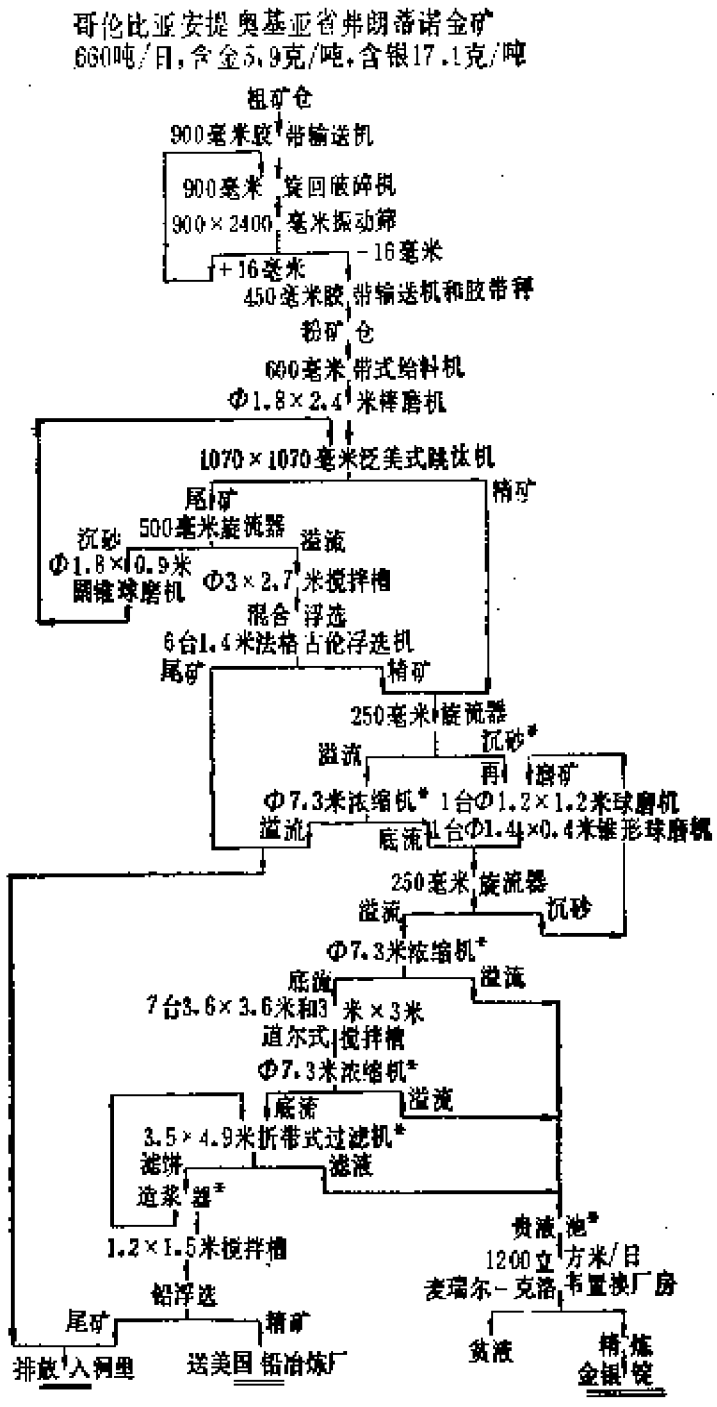


图 3-5　弗朗蒂诺金矿回收金银工艺流程

电，还有一个有趣的特点，那就是其尾矿排弃在附近的河里。由于方铅矿和闪锌矿与氰化物溶液实际上是不起作用的，所以氰化物耗量按选矿厂原矿计仅为250克/吨，这是很低的，但按精矿氰化计那还是比按原矿计要高出很多

遗憾的是弗朗蒂诺金矿有限公司的数据资料不是当前的，成本也已过时，但其单位成本中的相对百分比是有效的。同时，有关生产情况和工艺流程都还是正确的。

工艺流程见图3-5

弗朗蒂诺金矿有限公司
1975年生产数据

矿山位置：	南美　哥伦比亚安提奥基亚省　塞哥维亚
矿石特征：	在花岗闪长岩里的含金石英脉　倾角30°，含少量（<6%）黄铁矿、方铅矿和闪锌矿
开采方式：	露天已停，转入三个坑内
原矿运输方式：	翻斗汽车和2吨电机车
处理能力：	600吨/日
原矿品位：	Au 6.5克/吨、Ag 18.0克/吨、Pb 0.25%
产　品：	金锭和铅精矿
回收率：	Au 85～90%　Ag 75%、Pb 45%
邦德功指数：	约12
磨矿电耗：	20千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	22千瓦·时/吨
总电耗：	42千瓦·时/吨
供　水：	用沟渠从河里引水
浸出浓度：	30～35%
浸出氰化物浓度：	游离氰化物0.50～0.55公斤/吨
尾矿堆存方式：	排弃于河里

计划运转率：	75%
劳动生产率：	10.5～9.5吨/人·班
选矿厂建筑物：	露天建筑物　钢木结构和镀锌板屋顶
职工概况：	50%住公司拥有的住宅
	50%住在附近村庄的自己家里

弗朗蒂诺金矿有限公司

1975年生产成本

每吨采矿成本：			10.17美元
破　碎：	包括贮存		0.30美元
磨矿和分级：	棒磨机、球磨机、旋流器、泵和筛子		1.09
浸　出：	包括药剂		0.31
洗　涤：	分配器　泵、取样机和过滤机		0.12
净化和置换：			0.08
精　炼：			0.19
浮　选：			0.37
精矿处理：	浓缩——浮选 干燥——输送 贮存——浸出		0.08
副产品回收：			0.08
尾　矿：	供水		0.10
间接费：			0.47
每吨总计生产成本：			3.19美元
工　资：			
	操作工	0.72美元	
	维修工	0.06	0.78美元
材料费：			
	药剂	0.35	
	磨矿介质	0.17	
	维修	0.55	

	其他：燃料、输送机胶带、各种备件、鼓风、水 0.34	1.41
动力费：		0.25
管理费：		0.27
间接费：		0.30
其　他：	分析、杂务	0.18
每吨总计生产成本：		3.19美元

休斯敦国际矿物公司
(Manhattan, Nye County, Nevada)

1866年人们在曼哈顿（Manhattan）首次发现了银矿，并运出少量矿石到临近贝尔蒙特（Belmont）的一个选矿厂，进行处理。在发现一个所谓"阿普里尔·富尔"(April Fool）的富金矿区之际，该地区从1869年至1905年4月1日即被遗弃。1906年初曼哈顿有四千居民。1906年4月旧金山市的地震导致对曼哈顿投资的收缩，使得很多矿山被迫关闭。虽然在1907年以后又遭到了更多的打击，终于到二十世纪二十年代中期，得到财团的支持，使它得到繁荣，甚至在大萧条时期每年都有几十万美元的稳定产值。其后，在1939年，内华达州的第一台链斗式采金船就安设在该镇的下游，一直用到1947年，生产的金价值达460万美元。

休斯敦（Houston）国际矿物公司于1980年7月开始了对曼哈顿的经营，其生产能力约为545吨/日。和早期的坑内开采相比，现在休斯敦公司的矿山是露天开采，处理低品位的浸染型矿石。该矿是一种变质片麻岩，含金2.7克/吨、银1.03克/吨。有些粗粒金粒度达1毫米。采矿和运输由承包商承担。

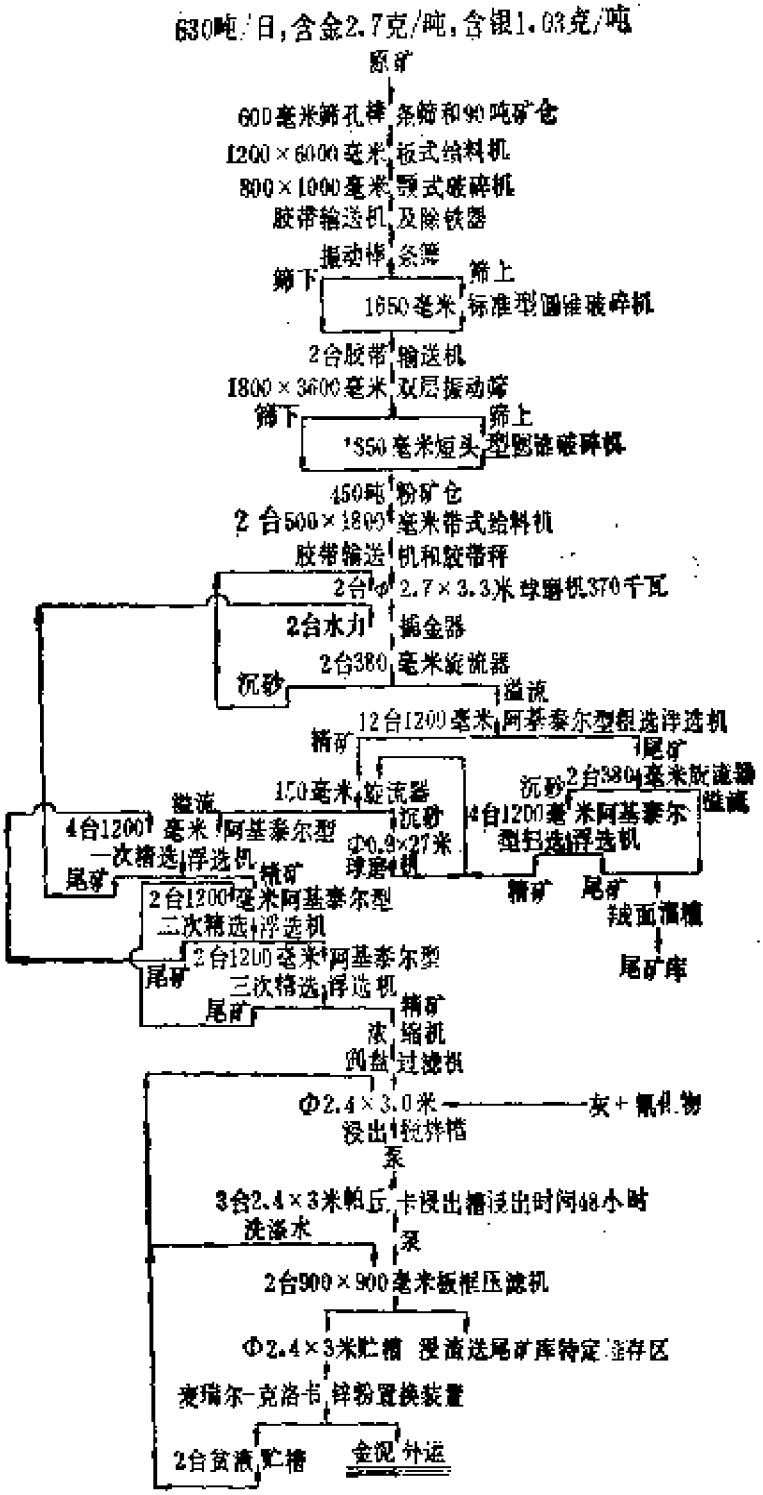


图 3-6　休斯敦国际矿物公司回收金工艺流程

堆存的原矿经三段破碎，其设备包括一台颚式破碎机和二台圆锥破碎机以及圆锥破碎机前的振动筛，破碎后的产品粒度约小于19毫米，并贮存于圆形矿仓中。磨矿用一段球磨机，其排矿通过二台水力捕金器以回收粗粒金。这些捕金器将于1980年末用一台双槽泛美式跳汰机处理旋流器沉砂来取代。跳汰机的精矿像水力捕金器的产品一样贮存起来，为回收金作进一步的处理。重选尾矿经旋流器分级，其沉砂返回球磨机，溢流送浮选处理。用十二台No.48加利弗（Galigher）浮选机选出粗精矿，浮选尾矿给旋流器，旋流器沉砂由另外四台No.48浮选机再选，其溢流用溜槽处理以进一步回收金，然后自流至尾矿库。

混合浮选的粗精矿经三次精选，其最终精矿通过浓缩，浓缩机底流给机械搅拌槽分批氰化，采用贫液进行洗涤与造浆。最终的洗涤是在二台板框式压滤机里完成的。浸渣堆存于无氰的浮选尾矿库分隔出来的一个特定区域里。

贵液在装配式麦瑞尔-克洛韦锌粉置换系统里处理，该装置由亚利桑那州汤姆斯通市（Tombstone）的缅因矿业公司制造。这个系统在西部的一些小型堆浸厂通常是用片式吸滤池（Swimming pool filter）进行净化和置换的。置换得到的金泥约含30%贵金属，其金和银之比约为4:1。

像曼哈顿流程那样浮选单体金是不多见的。它和重选结合却获得了低的成本及配置紧凑的效果，并导致一个老矿业基地重获新生。

工艺流程见图3-6。

休斯敦国际矿物公司

1980年生产数据

矿山位置： **美国内华达州 尼县 曼哈顿**

矿石特征：	变质片麻岩
开采方式：	露天
原矿运输方式：	采矿和运输由承包商承担
处理能力：	540～630吨/日
原矿品位：	Au2.7克/吨　Ag1.03克/吨
产　　品：	含银的金泥
回收率：	Au85～90%、Ag75%、Pb45%
邦德功指数：	9.5
供　　水：	2.3立方米/吨，取自水井
选、浸时间：	浮选14分、浸出48小时
选、浸pH值：	浮选系自然pH值、浸出pH值为10.5
尾矿堆存方式：	自流入尾矿库
运转率：	95%
劳动生产率：	12吨/人·班
选矿厂建筑物：	钢结构装配式
职工人数：	
管理人员	6
操作工	20
维修工	6
其他，化验室、办公室等	17
职工总数：	49
生活设施：	主要职工住本公司的活动式住宅

休斯敦国际矿物公司
1980年生产成本

每吨采矿成本：		1.30美元
破　　碎：	粗碎、中碎、细碎、筛分、输送和矿仓贮存	1.37美元
磨　　矿：	包括球磨机、泵和旋流器	0.95
浮　　选：	包括药剂	1.04
浸　　出：	包括药剂、净化和置换	0.63
综合性费用：		2.17

间接费：			0.98
每吨总计生产成本：			7.14美元
工　　资：			
	操作工	2.48美元	
	维修工	0.60	3.08美元
材料费：			
	药剂	0.45	
	磨矿介质	0.32	
	维修	0.85	
	其他：	0.13	1.75
动力费：			1.55
其　　他：			0.76
每吨总计生产成本：			7.14美元

纽蒙特控股有限公司特尔弗矿
(Western Australia)

特尔弗（Telfer）矿是世界上最新的金矿之一，位于西澳大利亚北部纽曼山（Mt.Newman）铁矿东北约300公里处。1972年申请第一个矿区产权，1975年中核实矿石储量为380万吨，金品位为9.6克/吨。一个有趣的记载是在找到特尔弗矿以前，纽蒙特（Newmont）公司在澳大利亚大范围内探矿花了十年以上的时间，耗资达1000万澳元。后来，对特尔弗矿的勘探和可行性研究只用了300万澳元。包括这300万澳元在内，为完成矿山工程、厂区、金处理厂、连接公路、机场、供水和服务性设施等总共用了2700万澳元。其中选冶设施投资占50%以上，折合日处理每吨矿石的投资约为10000澳元。

特尔弗矿具有经济价值的金矿物均赋存在层状石英-褐

铁矿矿脉里，其中深至100米的早期黄铁矿已氧化成褐铁矿绝大部分的含金矿脉为穹形构造的砂岩所包围，产于粉砂岩-页岩层的底部。

在穹形构造里的矿体，由地表至垂直深度约60米的范围内采用露天开采，剥采比将近12:1。最终采出的矿石和废石量为4400万吨。废石剥离采用外委包工，但矿石和薄的夹石层则由公司开采。按地质圈定矿体的矿石储量，采矿贫化率约为10%。

矿石已经完全氧化，矿体里的金是单体不均匀嵌布，粒度各异但以细粒为主。绝大部分的金是属于易选的，有50%以上为粗粒金，可用重选回收。用二台双室矿物跳汰机处理磨矿回路里二台旋流器的沉砂，得到的跳汰粗精矿用连续作业的溜槽来提高其品位。然后，再将溜槽精矿通过摇床选得最终的单体金产品。跳汰尾矿则返回球磨机。重选最终精矿经混汞后，金汞齐经过挤压、蒸馏和熔炼而制成金锭。重选回收金的系统与三十年代加利福尼亚州的许多选金厂相类似。

磨矿系统包括一台φ2.7×3.7米单段球磨机，二台φ380毫米旋流器和二台作粗选用的双室矿物跳汰机，并在磨矿回路中使用氰化物溶液进行操作。把细度为70%-200目的旋流器溢流扬入No.1浓缩机，并由此产出贵液。贵液在三台管式过滤器中的二台内进行净化后，给入标准的脱氧和锌粉置换系统。金泥收集在二台并联的管式过滤器中的一台里，然后，用硫酸浸洗以除锌。金泥浆在一台板框式压滤机里作过滤和洗涤后，再进行焙烧和坩埚炉熔炼。由金泥炼得的金锭成色为90%，由重选富集再经混汞后炼得的金锭成色为93%。金锭中银的含量为3～6%。

No.1浓缩机50%浓度的底流给入四台机械搅拌槽的第

一槽，总浸出时间为21小时，其氰化物浓度为0.04%、石灰浓度为0.03%。搅拌浸出后的矿浆经四台串联的浓缩机进行

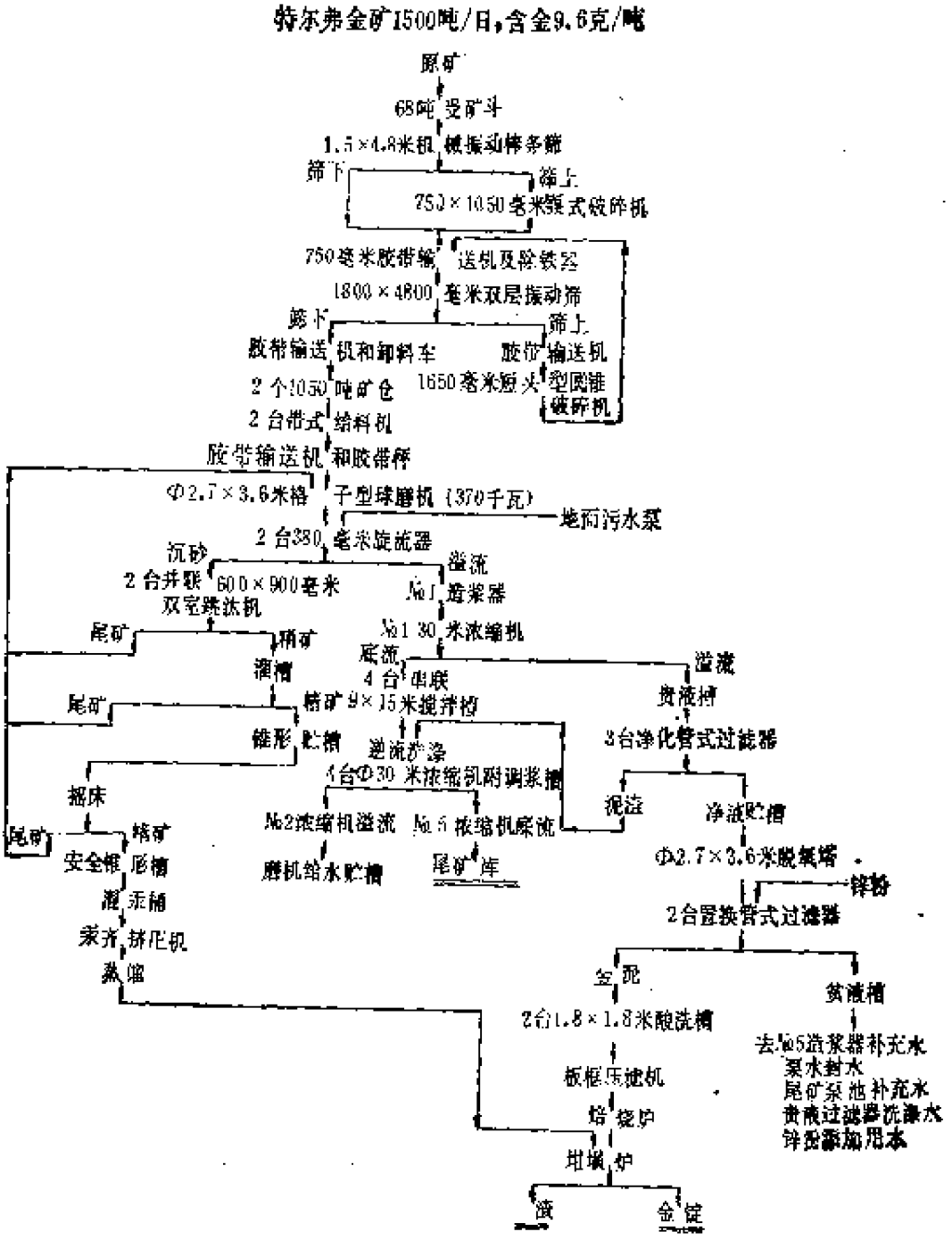


图 3-7　特尔弗金矿回收金工艺流程

逆流洗涤。No.5浓缩机的底流即浸渣，由泵扬至尾矿库，库中回水返给选矿厂再用。No.2浓缩机的溢流即用作磨矿的给水。

由于特尔弗矿地处边远，用了2700万澳元较高的投资才获得投产，但它已取得如下的优异成果：

年份	原矿品位 (Au 克/吨)	金产量	
		公斤/年	盎司/年
1977	18.5	3141	101000
1978	16.8	4945	159000
1979	12.3	3732	120000

金回收率达98%，可称优异，这也反映出该矿1500吨/日选矿厂的工作是有成效的，生产成本是令人满意的。

该厂流程吸取了美国内华达州纽蒙特公司的卡林氰化厂和南非一些选矿厂的某些特点，在生产实践中采用重选回收单体金。

工艺流程见图3-7。

特尔弗矿

1980年生产数据

矿山位置：西澳大利亚 东皮尔巴拉 (Eest Pilbara) 皮得森区 (Peterson)

矿石特征：石英-褐铁矿含金

开采方式：露天

原矿运输方式：汽车运输，运距2公里

处理能力：1500吨/日

原矿品位：Au6.2～9.3克/吨

产　　品：	金泥炼得金锭的金成色为90% 重砂炼得金锭的金成色为93% 金锭含银3～6%
回收率：	98%
邦德功指数：	9.9
磨矿电耗：	7.4千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	20.3千瓦·时/吨
总电耗：	27.7千瓦·时/吨
供　　水：	1立方米/吨，取自水井，距选矿厂5公里，埋设水管管径φ200毫米
浸出时间：	21小时
氰化物耗量：	0.3公斤/吨
浸出pH值：	石灰0.03%
浸出氰化物浓度：	0.04%
尾矿堆存方式：	扬送到用采矿废石筑坝的尾矿库，管径125毫米，输送距离0.25公里
运转率：	365天的82%
劳动生产率：	166吨/人·班
选矿厂建筑物：	钢结构和波纹镀锌板

职工人数：

		选矿厂
管理人员		6
操作工		14
维修工		5
其他：	管理员	2
	试样制备员	7
	化验室助理	1
	技术助理	1
职工总数：		36

生活设施：计划中的职工村主要包括装配式住宅、单身宿舍、商店、学校和医疗设施等

特尔弗矿

1980年生产成本

破　　碎	粗碎、细碎、筛分、矿仓和矿堆	6.1%●
磨矿和分级：	球磨机、衬板、泵和旋流器	17.6
重　　选：		4.7
浸出和洗涤：	药剂、泵和取样机等	26.9
净化和置换：		11.2
精　　炼：		4.0
尾　　矿：	堆存和回水	4.9
间接费：		24.6
总　　计：		100.0%

普韦布洛·维耶乔矿
(Domincan Republic)

普韦布洛·维耶乔矿（Pueblo Viejo）的一座金-银氰化厂是由南美多米尼加共和国罗萨里奥公司(Rosario)建造的。其处理能力为7250吨/日(这在冶金工业出版社1978年出版的《金和银氰化厂生产实践》一书中已作过介绍)。但那时的普韦布洛·维耶乔矿尚未投产，技术资料和费用也不便披露。从那以后，这方面的资料已渐有所获，同时该厂还作了几项重要的修改，并且已经扩建。

普韦布洛·维耶乔矿是世界上最大的露天开采金矿，同时也是世界金-银的主要产地之一。每天约产31公斤金和125～155公斤银。本文对过去的资料和流程都作了适时的修正。多米尼加政府拥有罗萨里奥公司股份的46%，1979年完全取得了对矿山收益的全面控制权，至少到1980年底以前，罗萨里奥资源公司仍将继续经营这个矿山。

● 公司不准发表单项成本数据，故各项成本均改以百分数表示。

普韦布洛·维耶乔矿从1505年开始生产金至今已近500年了。罗萨里奥资源公司于1969年取得了该矿的地产权，并根据地表的氧化状况提出矿体上部矿石宜采用全泥氰化法处理，而下部含金硫化带矿石仍然在进行选矿研究。该矿应认为是一种铁矾土。由于在矿带里发现了少量巨砾，所以只在自磨机前安装一台筛孔为400毫米方孔的棒条筛以去除巨砾。1974年底投产时，氰化厂的设计能力为7250吨/日。生产已经证实，矿石比原先预计的要硬一些。1977年，在1000吨自磨机矿仓前安装了一台1.25×1.5米颚式破碎机。破碎后小于200毫米的矿石直接给入两台φ5.5×1.8米半自磨机，其格板孔为50毫米，重新配备的电机为750千瓦。每台自磨机的排矿经13毫米筛孔的振动筛分级，两台自磨机的筛上产品合并给到一条返回胶带输送机上，该机首轮采用磁性滚筒以清除磨矿排料中的碎球，矿石则一分为二返回半自磨机。原来每台振动筛小于6毫米的产品，给功率为300千瓦的φ2.6×3.7米再磨球磨机。1978年该厂扩建时，新安装一台746千瓦的中间段球磨机，改成对半自磨机产品中小于13毫米筛下部分进行开路再磨。中间段球磨机的排矿经旋流器分级后，其沉砂分别给入原有的两台球磨机。80%—65目的磨矿最终产品给入第一台浸出搅拌槽，并在此加入氰化物。

然后，矿浆分成两股流送往二个并联的浸出搅拌槽系统，每个系统包括五台串联的φ9.1米浸出槽。浸出后的矿浆再合并给入四台串联的φ67米逆流洗涤浓缩机进行洗涤。在每段浓缩洗涤作业前加絮凝剂。最后一台浓缩机矿浆的洗涤是用贫液和补充水。

贵液给入一台38×5.5米沉淀槽，其溢流再给入六台3米砂滤器进行净化。净液再经贮槽及麦瑞尔-克洛韦系统的脱

氧、添加锌粉和压滤置换处理。

1976年，从金泥中检验出有汞。广泛的采样和化验结果揭示汞系富集在露天坑的深部以及座落露天矿的山坡侧面上，汞在这些矿石中的含量高达38克/吨（在卡林等矿中也发现有相当含量的汞）。普韦布洛·维耶乔矿为从金泥中除汞，立即安装了12台蒸馏器，这种蒸馏器系仿卡林矿的一种设备，用直径500毫米、长2.75米的316号不锈钢管制成，由电阻丝供热，其功率为576千瓦，产生的温度为650℃。氰化厂每周约产金泥3200公斤，其中含贵金属15%，汞10%、水分45%和锌、石英、铜以及其他杂质共30%。每台蒸馏器可装入三个船形槽，每槽约装金泥36公斤。当蒸馏器的温度达到260℃时，即可将船形槽装入。蒸馏的前六小时其温度应提高至650℃，并保温八小时，最后用四个多小时让蒸馏器冷却到260℃即完成了一个周期。蒸馏作业每月约产汞50瓶(每瓶汞重约34.5公斤)。

普韦布洛·维耶乔矿在首次浇注混凝土后的第17个月和钢结构厂房竣工后的第10个月，于1974年末浇铸出第一块金锭。该厂最初设计的磨矿能力为7250吨/日，在采用了第三台球磨机和改变了前述的磨矿回路后，已使其能力增加到8440吨/日。

这个新厂的显著特点是因处理很难破碎的铁矾土类型矿石而采用了大直径的半自磨机。矿石中的银含量高达26克/吨，它决定了浸出所需的时间。

该厂每年产金约10.8吨、银46.6吨。处理中等品位的原矿时，金回收率达91.57%，而且生产成本也低。正因如此，本书选中它作为主要的贵金属生产厂实例之一。

如果普韦布洛·维耶乔矿的设计是处在1980年，值得深

9300吨/日，含金4.7克/吨，含银23.6克/吨。

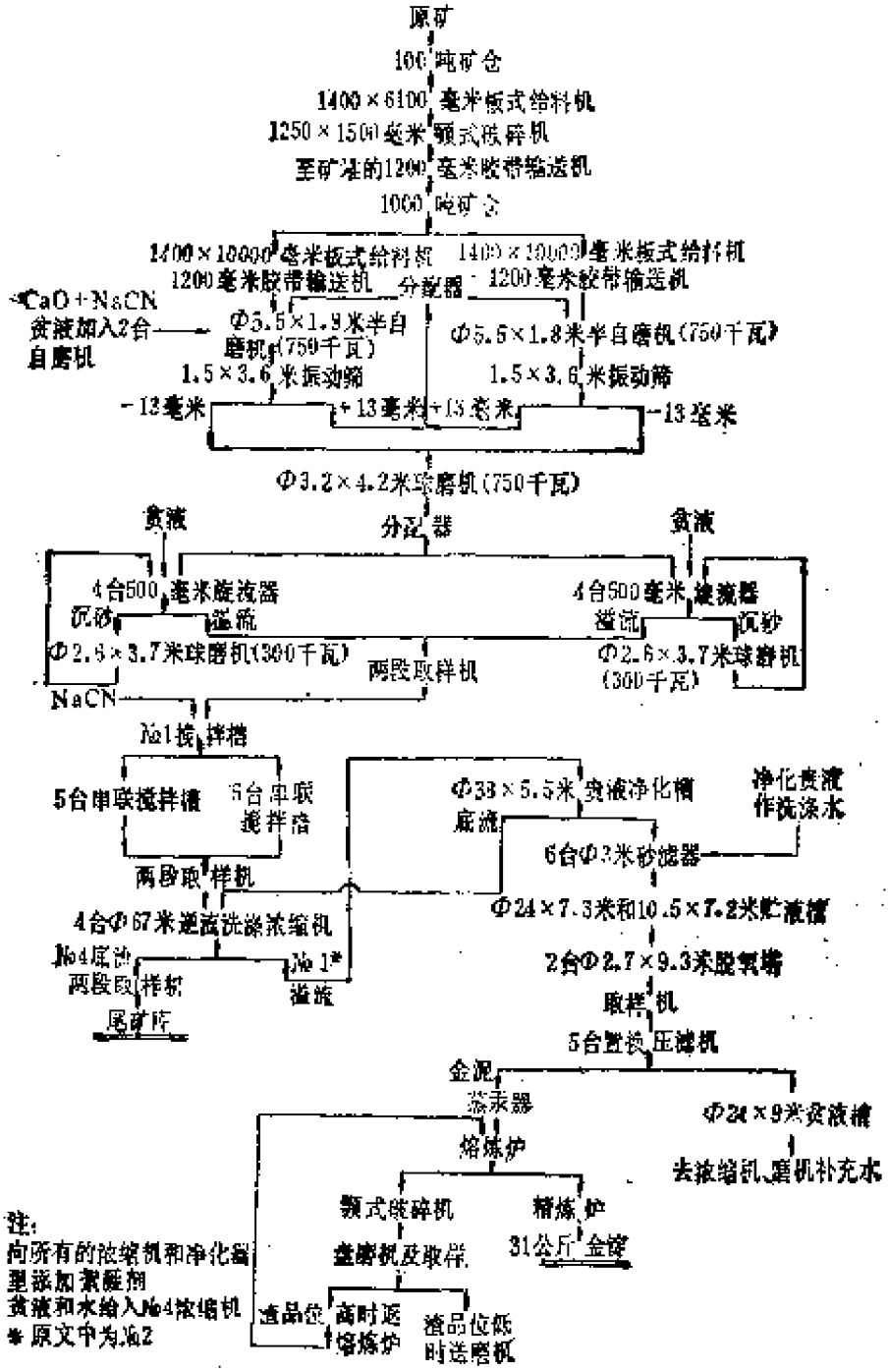


图 3-8　普韦布洛·维耶乔金矿回收金工艺流程

思的是若以炭浆法（C.I.P）代替生产成本较高的逆流洗涤法（CCD）倒是应予认真考虑的。然而，4～5:1这样相对高的银金比，由于炭粒上银的载量问题又可能排除选用炭浆法。

工艺流程见图3-8。

普韦布洛·维耶乔矿

1977年生产数据

矿山位置：	多米尼加共和国桑切斯省 腊米雷斯（Ramirez）
矿石特征：	低金、镍含量的铁矾土
开采方式：	露天
原矿运输方式：	用12台欧几里得（Euclid）R-50型后卸式汽车
处理能力：	7250吨/日
原矿品位：	Au4.48克/吨、Ag20.57克/吨
产　　品：	金锭
回收率：	Au91.57%、Ag77.3%
邦德功指数：	8.95
磨矿电耗：	5.94千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	10.16千瓦·时/吨
总电耗：	16.10千瓦·时/吨
供　　水：	3.05立方米/吨，与尾矿库构成闭路
浸出时间：	16小时
浸出氰化物浓度：	1.2公斤/吨
浸出pH值：	12.1
氰化物耗量：	0.66公斤/吨
尾矿堆存方式：	尾矿堆坝
计划运转率：	93%
劳动生产率：	55吨/人·班，仅包括矿山和氰化厂的全体职员及操作工
氰化厂建筑物：	用钢结构，金属墙板
职工人数：	氰化厂　矿山

管理人员	22（1）	9
操作工	68	46
维修工	（2）	（2）
小计	90	55

其他：化验室、工程管理办公室、服务部、维修部 600

职工总数：750左右

（1）包括化验室，氰化试验室和精炼厂

（2）厂矿两单位的维修工统属维修部，其中管理人员30，工人200

生活设施：职员住临时工房

工人用交通车至邻近村镇接送

普韦布洛·维耶乔矿

1977年生产成本

每吨采矿成本：		0.56美元
破碎：	未包括	
磨矿和分级：	包括球磨机、泵和旋流器	0.84美元
浸出：	包括药剂、净化和置换	1.49
洗涤：	包括分配器、取样机和泵	0.13
精炼：		0.27
尾矿：	包括回水	0.03
间接费：		0.06
每吨总计生产成本：		2.82美元
工资：		
	操作工	0.13美元
	维修工	0.06
材料费：		
	药剂	1.16
	磨矿介质	0.53
	维修和其他	0.19
动力费：		0.51
管理费：		0.12

间接费：	0.04
其他： 化验、杂务	0.08
每吨总计生产成本：	2.82美元

里奥·廷托·帕蒂诺公司
塞罗·科罗拉多矿
（西班牙）

自1965和1969年卡林和科特斯（Carlin and Cortez）氰化厂投产以来，里奥·廷托-塞罗·科罗拉多矿（Rio Tinto-Cerro Colorado）是建在南非以外的第一个主要氰化厂。其流程在1978年冶金出版社出版的《金和银氰化厂生产实践》一书中已作介绍，除生产成本外对该厂已作了梗概的描述。近来，作者又收集到它的有关资料，相信在本书中值得将以前介绍的流程作进一步叙述。

塞罗·科罗拉多矿位于西班牙韦尔瓦省的里奥·廷托，在塞维尔（Seville）西北约88公里处。先前开采的铜矿体系埋藏在该矿体的两侧，它主要是铜矿。矿体顶部是一个“铁帽”覆盖层，它含有赤铁矿、褐铁矿、金和银。

粗碎、铜矿石选别和金-银矿石氰化的设施是分开设置的，而中细碎设施则为两种矿石所共用。从矿堆来的露天矿原矿经过一座缓冲矿仓和板式给料机给入一台颚式破碎机，碎至小于150毫米。为了在细碎前清除粘性矿泥，矿石经一台圆筒洗矿机洗矿。小于6毫米的筛下产物直接送磨矿回路，筛上产物碎至小于19毫米后给一段球磨机，接着再经两段球磨机磨至80%—325目。磨矿只用清水而不用氰化物溶液。

矿浆浓缩后，给入浸出回路。石灰加在七台帕丘卡槽的头两槽，氰化物则添加在其余五台帕丘卡槽里。这个流程显

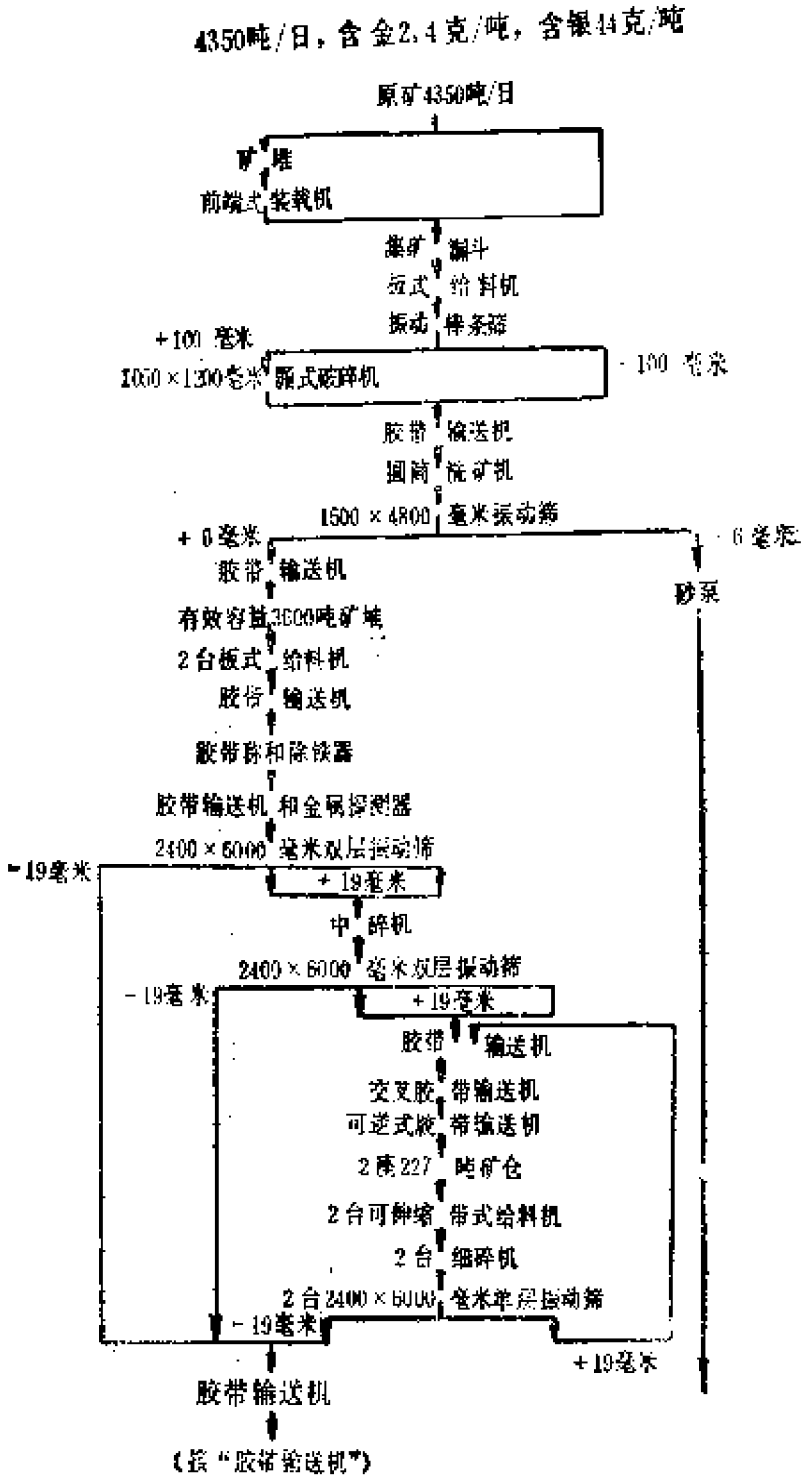
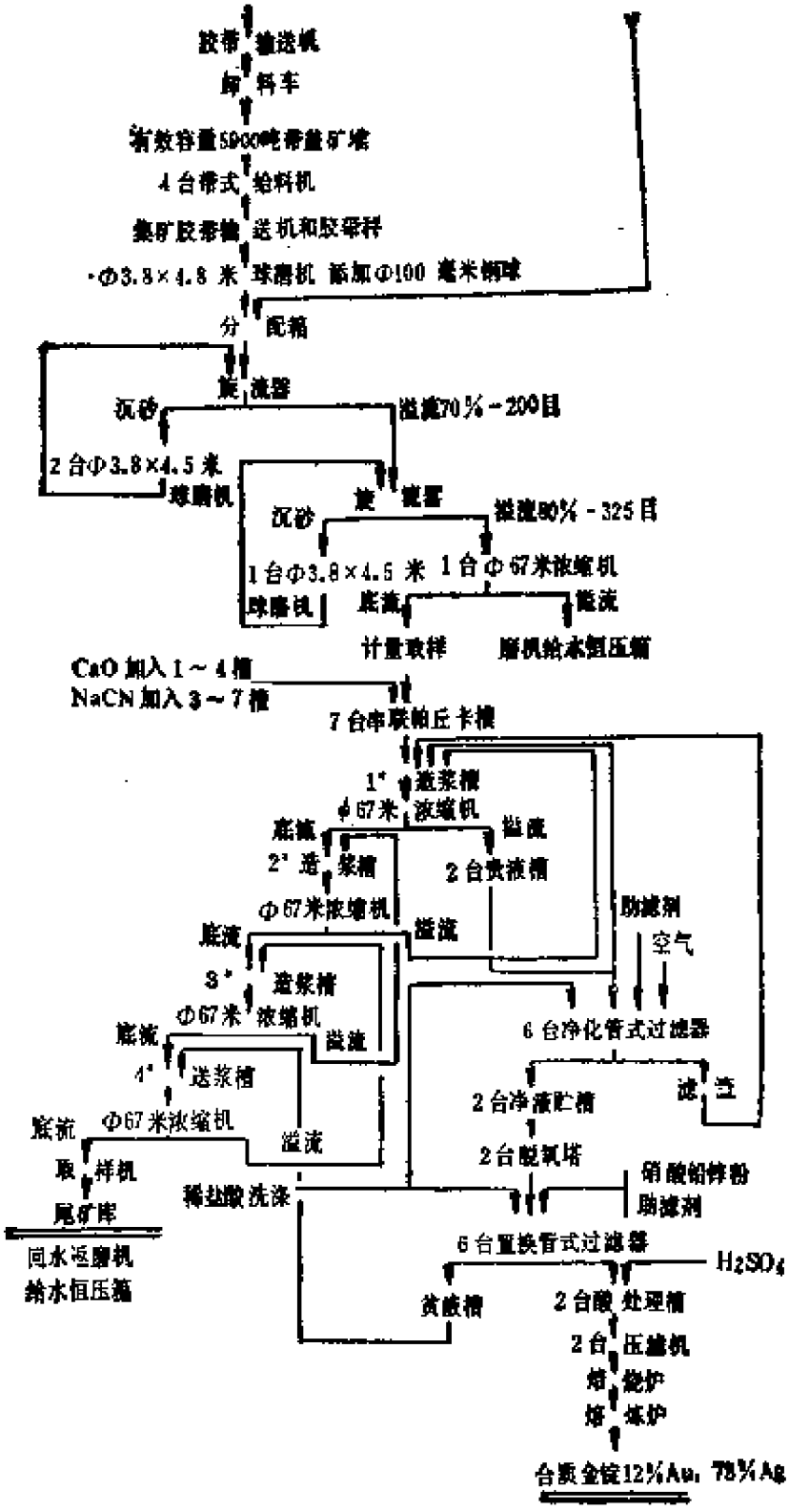

4350吨/日，含金2.4克/吨，含银44克/吨
原矿4350吨/日
矿堆
前端式装载机
漏斗
板式给料机
振动棒条筛
+100毫米
1000×1200毫米颚式破碎机
-100毫米
胶带输送机
圆筒洗矿机
1500×4800毫米振动筛
+0毫米
-6毫米
胶带输送机
砂泵
有效容量3000吨矿堆
2台板式给料机
胶带输送机
胶带除和除铁器
胶带输送机和金属探测器
2400×6000毫米双层振动筛
-19毫米
+19毫米
中碎机
2400×6000毫米双层振动筛
-19毫米
+19毫米
胶带输送机
交叉胶带输送机
可逆式胶带输送机
2座227吨矿仓
2台可伸缩带式给料机
2台细碎机
2台2400×6000毫米单层振动筛
-19毫米
+19毫米
胶带输送机
(接"胶带输送机")

图 3-9　塞罗·科罗拉多


胶带输送机
卸料车
有效容量5000吨带盖矿塔
4台带式给料机
集矿胶带输送机和胶带秤
Φ3.8×4.8米球磨机 添加Φ100毫米钢球
分配箱
旋流器
沉砂
溢流70%-200目
2台Φ3.8×4.5米球磨机
旋流器
沉砂
溢流80%-325目
1台Φ3.8×4.5米球磨机
1台Φ67米浓缩机
底流
溢流
计量取样
磨机给水恒压箱
CaO加入1～4槽
NaCN加入3～7槽
7台串联帕丘卡槽
1#送浆槽
Φ67米浓缩机
底流
溢流
2#送浆槽
2台贵液槽
Φ67米浓缩机
底流
溢流
助滤剂
空气
3#送浆槽
Φ67米浓缩机
底流
溢流
6台净化管式过滤器
4#送浆槽
Φ67米浓缩机
底流
溢流
2台净液贮槽
滤渣
2台脱氧塔
取样机
稀盐酸洗涤
硝酸铅锌粉
助滤剂
尾矿库
回水返磨机
给水恒压箱
6台置换管式过滤器
H_2SO_4
贫液槽
2台酸处理槽
2台压滤机
熔铅炉
熔炼炉
合质金锭12%Au，78%Ag

金矿金生产流程

示出为提取银必需保持氰化物溶液的高浓度，因而氰化物的耗量剧增。金和银经搅拌浸出后，接着是标准的逆流洗涤，按惯例用了四台串联的φ67米洗涤浓缩机，每台浓缩机的底流都经过造浆工序。

对贵液的净化和“锌-金-银”金泥的回收，拚弃了美国和加拿大的习惯作法而改用在南非发展起来的管式过滤器。金泥用酸处理后除锌，然后再经压滤机压滤、干燥、焙烧和精炼而制得成色为90%的金银锭，其中含金12%、银78%。

在原矿含金2.4克/吨的条件下，金回收率达到90%是很出色的，但银回收率却低至40%，这可能是银与其他矿物呈致密的包裹体，氰化物耗量为0.6公斤/吨，这个事实也揭示了铁帽型矿石里的铜是容易被浸出的。生产数据和成本分项百分比均可表明氰化生产是很有成效的，因为在开采铜矿时，铁帽部分都是按废弃论处，故其采矿成本即可扣除，但铁帽这部分矿石的装运费则应分摊在碎矿成本里。

工艺流程见图3-9。

里奥·廷托·帕蒂诺公司
塞罗·科罗拉多矿
1978年生产数据

矿山位置：	西班牙韦尔瓦省　里奥·廷托
矿石特征：	细粒浸染状含金和银的铁帽矿石（赤铁矿和褐铁矿）
开采方式：	露天开采铜矿体的铁帽
原矿运输方式：	35吨汽车
处理能力：	4800吨/日
原矿品位：	Au2.4克/吨、Ag44.0克/吨
产品：	含Au12%、Ag78%的金银锭
回收率：	Au90%、Ag30%

	年产量：金3000公斤 银27000公斤
邦德功指数：	15.0
磨矿电耗：	14.75千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	11.80千瓦·时/吨
总电耗：	26.55千瓦·时/吨
供水：	0.75立方米/吨
浸出时间：	21小时
氰化物耗量：	0.6公斤/吨
浸出pH值：	12.5
浸出氰化物浓度：	0.025%
尾矿堆存方式：	土坝和尾矿分级堆坝 沿坝顶敷设排放管和库内回水
计划运转率：	95%
劳动生产率：	23吨/人·班
氰化厂建筑物：	钢结构及石棉板墙和屋面， 浸出和洗涤部分系露天配置

职工人数：●	氰化厂	矿山●
管理人员	7	—
操作工	43	—
维修工	20	—
小计	70	—
其他：化验室、办公室等	5	—
职工总数：	75	—

生活设施：里奥·廷托公司有收少量租金的房屋为住在村镇上的职工提供交通车

● 赛罗·科罗拉多矿主要是一个铜矿体及一个铁帽覆盖层，职工中的一部分人系选铜厂和选金厂二者共有，如中细碎、磨矿和维修等。主要人员由选金厂统一调配、管理。

● 在露天开采的铜矿生产中，铁帽部分是当废弃考虑的，不计采矿费用而供给选金厂。

里奥·廷托·帕蒂诺公司
塞罗·科罗拉多矿
1978年生产成本

每吨氧化厂成本：			90●
破碎：	粗碎、中碎、细碎、洗矿、输送和堆存		27.22%●
磨矿和分级：	棒磨机、球磨机、旋流器和泵		32.54
浸出：	包括药剂		27.42
洗涤：	包括泵和取样机		
净化和置换：			5.35
精炼			1.96
尾矿：	堆存和回水		5.51
间接费：			—
每吨总计生产成本：			100.00%
工资：			
	操作工	8.90	
	维修工	5.54	14.44
材料费：			
	药剂	24.02	
	磨矿介质	10.36	
	维修	15.97	
	其他：燃料、输送机胶带、鼓风、水、各种备件	11.77	62.12
动力费：			18.54
管理费：			2.63
间接费：			—
其他：	分析、杂务		2.27
每吨总计生产成本：			100.00%

● 成本以总计的百分比表示

标准废渣公司亚特兰大矿
(Lincoln County, Nevada)

亚特兰大矿（Atlanta）位于内华达州中部偏东，在林肯（Lincoln）县境伊利以南116公里，在老采矿城镇皮奥奇（Pioche）的东北80公里处。从十九世纪五十年代起，就从这个著名地区开采高品位铜矿给威尔士（Wales）冶炼厂输送原料，早期在鼓风炉操作方面也是处于领先地位的。

标准废渣公司（Standard Slag Company）于1975年5月开始经营这个闻名的亚特兰大矿，该矿由罗伊·哈迪（Roy Hardy）在二十世纪三十年代创建。氰化厂现在处理含金、银矿石450吨/日。露天开采的对象是赋存在下盘为石灰石-白云石和上盘为第三纪流纹岩之间的一个角砾岩矿化带。石英角砾岩被认为是世界上最硬的磨料之一，以致采掘机的铲斗齿每周都需要更换。剥采比为3.9～1.0。

因为矿石硬度大，破碎厂用了四台破碎设备，即两台串联的颚式破碎机、一台液压圆锥破碎机和一台转盘型圆锥破碎机（Gyradisc）。一段破碎机的给矿粒度控制在—610毫米，余下的破碎机均与振动筛构成闭路以产出小于6～13毫米的球磨机给矿。

矿石的硬度可由如下事实证明，一段颚式破碎机的可动衬板仅处理了39000吨矿石后，已于1978年初进行了更换，其经营费达到0.095美元/吨。角砾岩类型矿石十分难磨的另一例证是：1977年包括筛网和磨矿介质在内的碎磨系统里，全部磨损件的总单位经营费为2.84美元/吨。

亚特兰大磨矿厂房里有三台球磨机，将小于6毫米的破

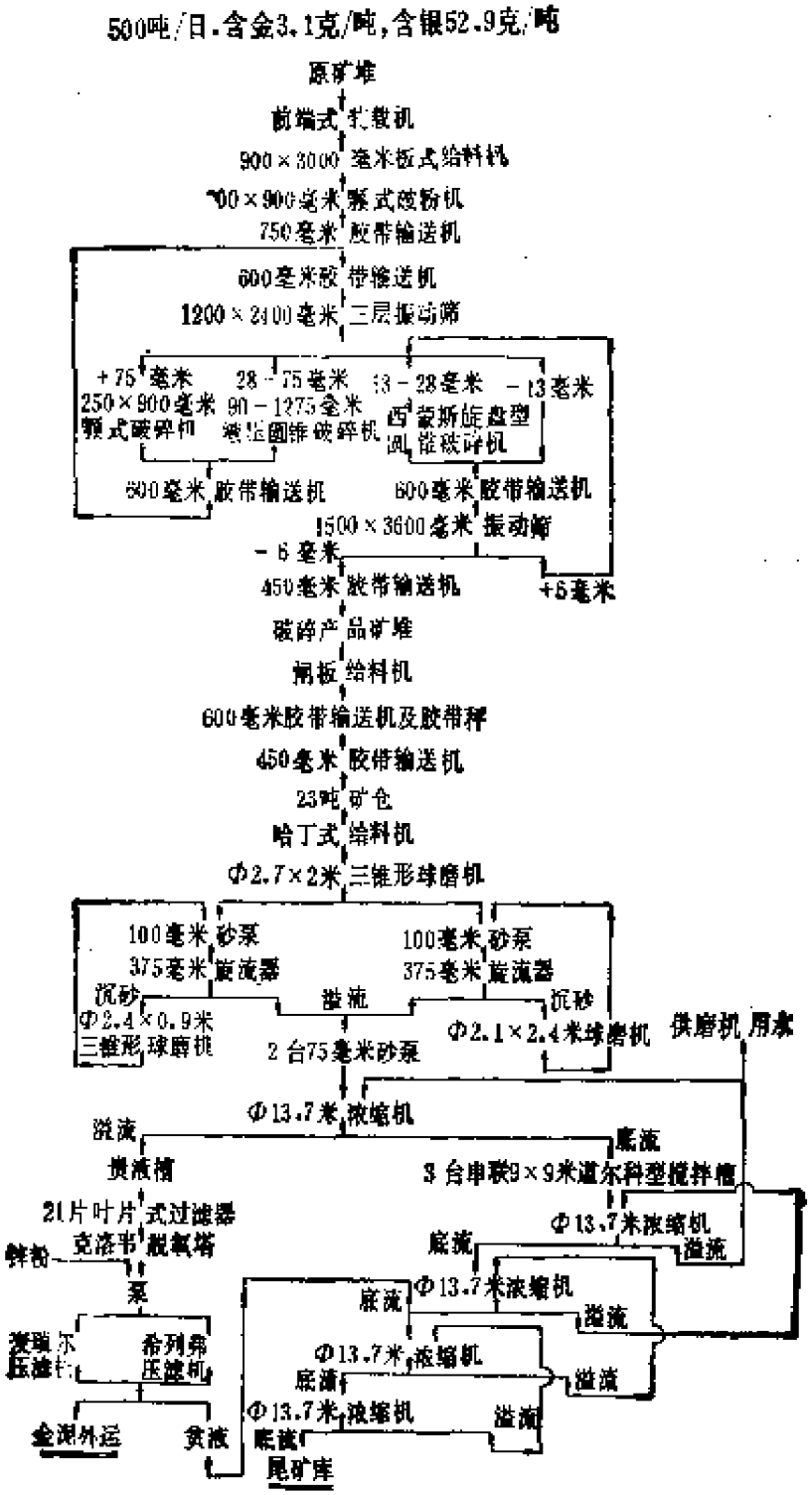


图 3-10　亚特兰大金矿回收金工艺流程

碎产品磨至85～90%－100目。一段的三锥形球磨机（Tri-cone mill）给矿量取决于在控制上述磨矿条件下，使旋流器溢流浓度保持在28～38%。一段球磨机系混合装90和65毫米的钢球，两台二段球磨机只装50毫米的钢球。总的球耗为2公斤/吨。所有的三台球磨机均使用橡胶衬板。一段球磨机的旋流器沉砂给入与同一旋流器构成闭路的二段球磨机。浓度为28～32%的旋流器溢流扬给五台φ13.7米道尔(Dorr)浓缩机中的第一台，其排出的溢流即贵液，浓缩机底流再在三台φ9.1×9.1米道尔科（Dorrco）搅拌槽里氰化浸出。搅拌槽浸出后的矿浆给入余下的四台φ13.7米逆流洗涤浓缩机中的第一台。氰化物浓度保持在0.6～0.8公斤/吨之间。但是，当矿石中银含量增加时，氰化物浓度应提高到1.5公斤/吨。

从No.1浓缩机产出的贵液给入标准时麦瑞尔-克洛韦锌粉置换系统。跟在搅拌槽后面的No.2浓缩机产出的溢流则作为球磨机的给水。为加强产品的防范，压滤机的迭换和清理工作是在不定期的间隔中完成的。

工艺流程见图3-10。

标准废渣公司亚特兰大矿

1980年生产数据

矿山位置：	美国内华达州　林肯县
矿石特征：	石英角砾岩
开采方式：	露天
原矿运输方式：	汽车
处理能力：	450吨/日
原矿品位：	Au3.4克/吨、Ag58.3克/吨
产　品：	含银的金泥
回收率：	Au81%、Ag28%

磨矿电耗：	29.75千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	31.20千瓦·时/吨
总电耗：	60.95千瓦·时/吨
供水：	1.04立方米/吨，取自水井
浸出时间：	24小时
浸出氰化物浓度：	0.8公斤/吨
氰化物耗量：	0.73公斤/吨
尾矿堆存方式：	尾矿库
计划运转率：	91%
氰化厂建筑物：	钢结构、木屋面

职工人数：	氰化厂	矿山
管理人员	3	1
操作工	12	11
维修工	2	6
小计	17	18
其他：化验室、办公室等	5	
职工总数：	40	

生活设施：在矿山生活区设有汽车牵引的活动房屋

标准废渣公司亚特兰大矿
1980年生产成本

每吨采矿成本：		35.7%●
破碎	粗碎、中碎、细碎、筛分、输送和堆存	26.3
磨矿和分级：	包括球磨机、衬板、泵和旋流器	15.7
浸出：	包括药剂	14.4
洗涤和净化	包括在浸出部分	——
精炼		1.0
尾矿：	堆存和回水	——
间接费：		6.9
每吨总计生产成本：		100.0%●

● 应公司要求，成本仅能提供百分比

西海岸石油和天然气公司
醋栗矿
(Sparks, Nevada)

醋栗矿（Gooseberry）位于里诺（Reno）以东38公里，80号州际高速公路以南13公里处。该矿最初发现于1906年，而且始终由弗雷斯诺（Fresno）的马丁（Martin）家族管理，并与墨西哥人（Mexican）大农场主共掌产权达68年之久。1976年，西海岸公司从阿普柯（Apco）石油公司获得其产权。

在马丁开采这座矿山期间，开凿了一条长305米的斜井，在八个中段进行探矿，坑道总长达三千多米。一个值得注意的有趣问题是在半个多世纪里它所开采的矿石至今还在堆存着。西海岸公司、霍姆（Home）石油有限公司的联邦采矿子公司、卡尔加里公司（Calgary）和艾伯塔公司（Alberta）联合开凿了另外一条竖井至396米中段，在122米和305米中段的开拓工程中已经证实有一个长300米以上的良好矿体。从垂直剖面上看到的银、金品位是相当稳定的，但随着深度增加，铜、铅和锌的含量却都有所提高。矿体平均厚度为2.5米。用充填采矿法开采。从152米中段到305米中段的揭露来看，矿脉含银量是有所增加，但含金量却有所下降。地质工作者虽未能预测矿体的深度，然而，在现有的开采范围内已保有几年的矿石储量。

主要金属矿物有辉银矿、自然金和银金矿以及少量与贵金属矿化作用有关的方铅矿、黄铜矿和闪锌矿。主要脉石为方解石和石英。

坑内采出的原矿经箕斗提升后，卸入粗矿仓，继之通过

一台颚式破碎机和一台反击式破碎机破碎后，给入600吨的粉矿仓。选矿厂处理能力为317吨/日。两段磨矿，一段棒磨机排矿扬入旋流器，其沉砂给入与旋流器构成闭路的球磨机。旋流器溢流经加药搅拌送入四台1.7立方米的粗选浮选机后，在进入第二段24台0.8立方米浮选机之前，需先进行搅拌。不设置精选作业。浮选尾矿用旋流器进行泥砂分级，粗砂供坑内充填用，细泥则送尾矿库堆存。

浮选精矿经浓缩和过滤，滤饼用氰化物溶液造浆。氰化浸出是在三台Φ4.9×4.9米搅拌槽中进行的。浸出后的矿浆用叶片式过滤机进行洗涤，便于最终产出过滤浸渣的堆存，而滤液即贵液则流入一个倾析溶液的贮槽。由于倾析作用致使溢出的贵液非常清澈，所以在置换之前已无需进行净化。

醋栗矿采用的置换工艺类似于克伦内尔（Clennell）《氰化法手册》中所介绍的最初的麦瑞尔系统，这种简单的化学方法对醋栗矿的生产还是有效的。从倾析贮槽溢出的清澈贵液流入一组置换槽，采取人工添加很少量的锌粉，用一个莱特宁搅拌（Lightning unit）装置进行几分钟的混合，反复地置换使含银的金泥不断地沉淀，直到用硫化钠测定出溶液中只有微量的银为止。这种只含微量银的溶液即称之为贫液，它经沉淀后就返回作下一批浮选精矿造浆用。“锌-银-金”金泥泥浆扬给一台0.9×0.9米板框式压滤机进行压滤。干燥后的含银金泥即装运给精炼厂。

当分析研究醋栗矿的置换工艺时，我们都清楚地记得在发展到脱氧置换的麦瑞尔-克洛韦法之前，锌丝置换是被广泛用于回收金和银的。但麦瑞尔却证实了锌粉比锌丝的置换效率更高，同时在客观上能使金泥中的锌粉量降到极低，从而可获得含贵金属量高的金泥以便直接进行熔炼。

317吨/日，含金6.5克/吨，含银257克/吨

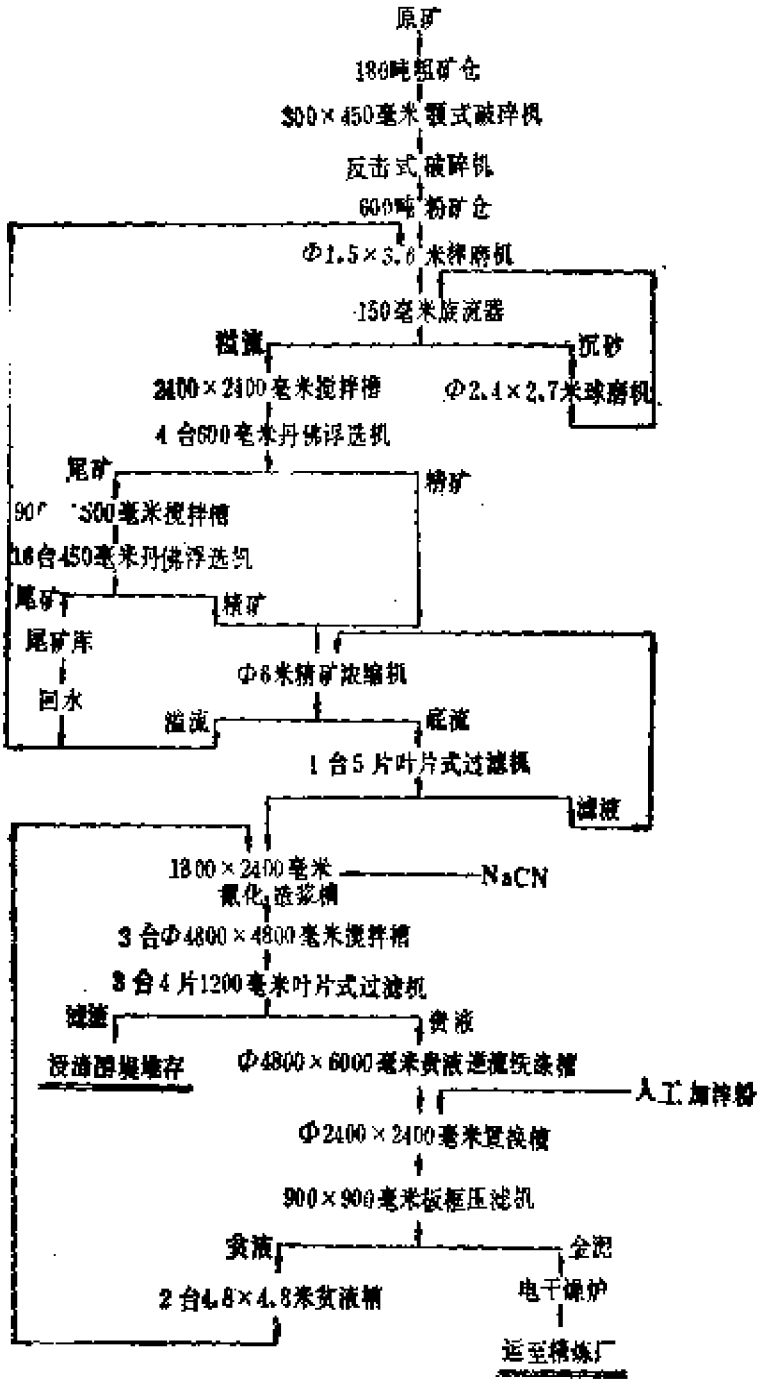


图 3—11　醋栗矿金银氰化浸出工艺流程

由于处理的溶液量小，所以人工添加锌粉是能够控制贫液品位的。含银的金泥中，其贵金属含量约为92%。用450克锌粉大约可置换1060克的银。

矿石非常坚硬，以致磨矿的电耗达28.5千瓦·时/吨。直至近期，供水都是用罐车输送，但目前已在相距11公里的河边以泵扬水了。对这种高品位银、金矿石，浮选回收率在中等水平时为80%，但浮选精矿的银、金氰化回收率却很高。一个值得思考的问题是，炭浆法在克里德矿和科罗拉多矿的实践，也可以用在这里以提高其银、金的回收率。

醋栗矿山和选矿厂的生产是第一流的，凭借他们丰富的银、金矿石储量，他们想多年保持一个成功的采选企业的愿望是会实现的。

工艺流程见图3-11。

西海岸石油和天然气公司

醋栗矿

1980年生产数据

矿山位置：	美国内华达州　里诺以东直线距离22公里
矿石特征：	浅成热液矿脉含方解石、石英和冰长石，有用矿物为自然金及金属硫化物
开采方式：	坑内开采，竖井提升，充填采矿法
原矿运输方式：	胶带输送机
处理能力：	317吨/日
原矿品位：	Ag257克/吨、Au6.5克/吨
产　品：	"锌-银-金"金泥，品位：Ag90%、Au2.2%
回收率：	浮选：Ag85%、Au83% 氰化：Ag97.2%、Au95.8%
邦德功指数：	9.15

磨矿电耗：	28.5千瓦·时/吨
除磨矿以外的电耗：	24.8千瓦·时/吨
总电耗：	53.3千瓦·时/吨
供　水：	0.997立方米/吨，输水管管径 ϕ 100毫米，管线长22.5公里
浸出时间：	48小时
浸出pH值：	11.6
浸出氰化物浓度：	1.5公斤/吨●
氰化物耗量：	0.678公斤/吨
尾矿堆存方式：	浮选尾矿排入常规的尾矿库 浸渣采取围堤堆存
计划运转率：	94%
劳动生产率：	22.7吨/人·班
选矿厂建筑物：	17.7×33.5米钢结构，平地建厂

职工人数：

	矿山和选矿厂
管理人员	7
操作工	85
维修工	6
职工总数：	98

西海岸石油和天然气公司

酷栗矿

1980年生产成本

每吨采矿成本：　　110.11美元

破　　碎：	粗碎、细碎、输送和矿仓贮存	3.21美元
磨矿和分级：	包括棒磨机、球磨机、泵和旋流器	3.69
浮　　选：	包括药剂	2.40
浓　　缩：	包括泵、取样机和洗涤过滤机	1.38

● 原文为15公斤/吨有误。

浸　　出：	包括药剂		1.49
净化和置换：			2.45
尾　　矿：	包括回水		2.24
每吨总计生产成本：			16 86美元
工　　资：			
	操作工	7.75美元	
	维修工	0.31	8.06美元
材料费：			
	药　剂	1.47	
	磨矿介质	0.75	
	维　修	0.11	
	其　他	0.15	2.48
动力费：			5.35
管理费：			0.97
每吨总计生产成本，			16.86美元

参 考 文 献

(1) William Harvey Emmons, "Gold Deposits of the World" McGraw-Hill 1937.

第四章　其他工艺

用离子交换法回收氰化溶液中的金

在加拿大魁北克省蒙特利尔市的麦吉尔（McGill）大学采矿工程系工作的E·斯坦波里德斯（Stambolidis），J.麦克赫蒂（McHardy）和T.M.萨曼（Salman）三人，于1978年8月在加拿大采矿冶金会报上发表文章的摘要中说

"从选金厂的溶液中，使用离子交换方法从氰络合物中回收金、银和其他贵金属在技术上是可能的。但是，它所涉及的成本和用锌粉置换回收金相比，要昂贵得多。主要原因有二个：第一，金矿石氰化时，除金银以外，实际上还有大量其他金属的氰络化物具有消耗树脂的能力，因此减少了树脂对金银氰络化物的吸附效率；第二，洗提剂本身就很昂贵"。

因此，树脂在大多数情况下不能有效地用于回收贵金属。在贵液中含有铜时，树脂仅有1.47%的能力被用于吸附金，银则占有0.89%，其余部分均被不需要回收金属的氰络化物占有，如铜金属可占有73.7%。相反，尽管活性炭会吸附铜氰络化物，然而被优先吸附的还是金银氰络化物。

离子交换法与常规的锌粉置换法相比，成本要高出一至二倍。诸如从树脂上除去像铜一类的杂质，其成本比所回收的金还要贵。

适合于氰化法的氧化矿和含其他金属低的矿石，采用离子交换法像炭浆法一样有效，苏联就有几个金矿可作为实例。

苏联用离子交换法生产黄金的实践

联合黄金股份有限公司每年出版一份极好的参考资料，其中有“黄金1978”、“黄金1979”，它们提供了当前世界黄金的供需、黄金的近期发展和前景，以及苏联黄金生产情况等资料。这份引人注意的参考资料由英国政府投资部的克里斯托夫·格林（Christopher Glynn)编写的，1978年年刊的报道，评论了世界黄金市场十年来的发展情况，在1978年和1979年两期年刊中，它们专门报道了如下情况。

在苏联，采金工业分布很广，初期，采金工业主要分布在乌拉尔山脉地区。但几年前在苏联西南部地区发现了几个大金矿。最引人注目的发现之一是在乌兹别克西部的穆龙陶（Мулунто）金矿。据报道，1958年发现该矿后，在苏联它是最大的矿床和生产成本最低的金矿山。它位于亚美尼亚（Армения），离伊朗——阿富汗边界北部大约750公里处，座落在穆龙陶的山脚下，克孜勒库姆(Кызылкум)沙漠的中央。

自然金以粗粒、细粒状赋存于20米厚的石英脉里，它和少量的硫化矿物(主要为砷黄铁矿)伴生。该矿是一个大约有4平方公里网脉状构造的大型富金矿带。

1967年初，穆龙陶开始进行筹建，计划建成一个较大的具有露天采矿、选金和精炼的联合企业。于1969年年中，生产出第一根纯金条。1970年第一期建设工程结束时，选金厂采用装配式结构，大约有38米高(原文——译者)330米长的厂房，有11个平行的选矿系统，并建成6台直径50米的浓缩机和30台帕丘卡槽。后来，在600米深部又发现了大量的黄金资源后，将原有的联合企业扩大到三倍。现在，该矿的采矿由露

天、地下两者同时进行。

半自磨磨矿后，采用摇床回收单体金，产出高品位金精矿。摇床尾矿由泵扬送到与磨矿机组成闭路的双螺旋分级机里，分级溢流经浓缩后，接着送到帕丘卡槽厂房里进行氰化浸出。随后，按逆流形式加进树脂，由它选择性地捕集黄金。负载黄金后的树脂，用泵扬送到精炼厂，在那里进一步加工，提纯黄金。实际上是采用电积法将黄金电镀在阴极钛板上。

在苏联以及世界上，穆龙陶金矿算是第一个在工业上采用树脂-矿浆法（R.I.P.）处理金矿石的矿山。在处理铀矿方面，树脂—矿浆法在世界上虽已经采用多年，但在回收黄金方面西方国家宁愿用另外的方法而不愿使用树脂—矿浆法。穆龙陶金矿采用的树脂—矿浆法，在很大程度上采纳了纳沃伊(Navoi)采矿联合公司发展该法的技术，该公司是铀原料的重要生产企业。现在，在苏联黄金工业中成功地采用树脂—矿浆法，以致有若干个新、老氰化提金厂已改用这种方法。

据估计，穆龙陶金矿现在每年生产黄金80吨，这个产量水平大概可以维持许多年。它现在占整个苏联产金量的20%以上。

穆龙陶选金厂总流程图见图4-1。

在“黄金1979”年刊上，记载了另一个采金矿山佐德(ЦАД)金矿，也是在亚美尼亚正在开采的黄金矿山之一。相比之下，穆龙陶金矿是品位低、储量大，而佐德金矿是一个小而品位高的金矿。近期建成的采-选-冶联合企业总投资约2.4亿美元。

佐德金矿位于土耳其边境东北边约110公里、海拔2500米

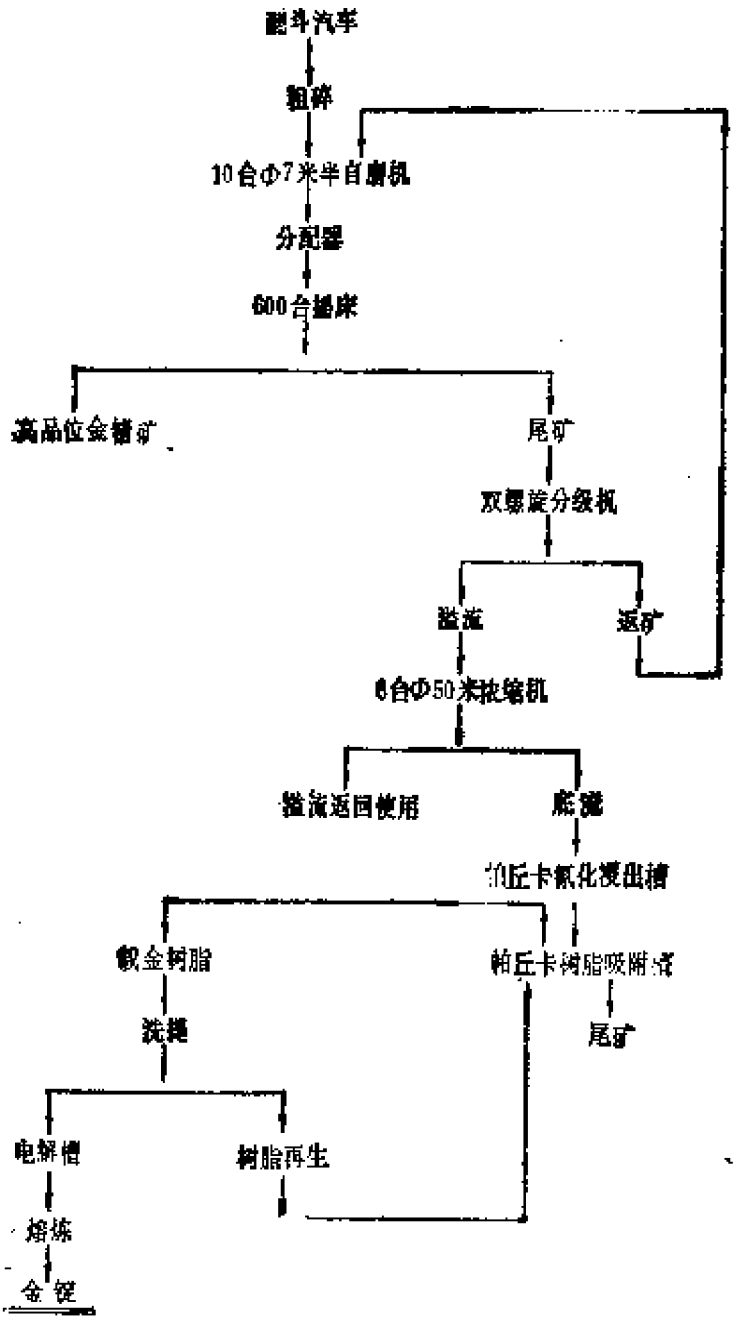


图 4-1 穆龙陶选金厂总流程图

的地方。矿床由靠近地表的氧化矿和在深部的原生硫化矿组成。在矿石中的粗粒自然金平均品位为20克／吨，浸染于黄铁矿—砷黄铁矿等硫化矿物中的细粒金，平均品位为40克／吨，碲金矿平均含金达300克/吨。同样，赋存在矿石中的碲和银也

具有回收价值。

早期，该矿山的矿石由在采场附近的选金厂处理。但考虑这一地区还有另一个金矿床以及氰化物污染该地区一个大湖的可能性，于是决定在阿拉拉特(Алалат)镇建设一个新选金厂来处理该地区所有金矿石。这样做，则需要建设约122公里长的新铁路与现有铁路相衔接。

在阿拉拉特选金厂，矿石在二个大型半自磨机里进行粗磨，其排矿由跳汰机和摇床进行重选，得到含有粗粒金和碲金矿的精矿。尾矿经螺旋分级机分级后，其溢流用浮选进行处理，产出含金的硫化矿和碲化物金精矿。浮选尾矿在四台球磨机中再磨，用氰化法回收剩余部分的金。

原有选金厂采用锌粉将金从氰化溶液里置换出来的常规方法。树脂矿浆离子交换法成功地引进到苏联黄金工业，并在穆龙陶选金厂得到应用之后，佐德选金厂决定也改用树脂—矿浆法。

从已停产的选金厂里回收黄金

C.M.克利曼（Kleeman）

所有矿山都有一定的生产年限，一旦矿石采完，或生产亏本，或某些个别矿山特有的原因，到时就得关门。这时，在采选设备及车间里仍然存在一些有价值的东西，对一个黄金矿山来说，一些未知量的黄金可能失落在某些地方。回收这些黄金只要花少量的代价，所以是一本万利的事情。回收这些隐藏着的有价值的东西，需要详细了解选金厂的情况，也就是说，应该知道该厂的原矿、尾矿以及所产出产品的品位，如果使用混汞，也应知道在什么地点使用水银。

细致地研究选金厂里可供利用的各种记载，就能非常有

益地拟定一个回收黄金的工作计划。接着是确定能富集黄金的各个操作地点和设备部位，并制订其回收办法。其次要得到即将拆除一座具有复杂流程并已生产了许多年的选金厂的历史情况。

在破碎车间内寻找流失的黄金是没有意义的，因为破碎作业通常是一个干法过程，故很少地方能收集到单体金。然而，在磨矿车间里，有许多地方简直像座小小的金矿山。在球磨机返砂勺的槽体底部的物料中有很高品位的金，甚至应该刮下槽体侧壁上的铁锈，加以收集。球磨机的衬板应该取出，收集所有的锈皮和残余物。凡是使用过的螺旋分级机或耙式分级机底部的残余物都应收集起来。在泵池和流槽等侧壁上的锈皮也应收集起来。

应当使用下述的过程从这些被收集物料中提取黄金。所有钢质物料(钢球碎片)应当筛出后贮存起来，剩下细粒部分放进混汞桶，加入水后进行混汞搅磨，尾矿还要取样化验。如果尾矿品位还高，则应贮存起来；如果含量很低，可以排放掉。筛出的粗粒（即铁质部分），按要求堆放，有规则地洒水，使之进一步锈蚀。几个月之后，将物料再次筛分，细粒部分进行混汞。

如果以前使用过洗矿槽和摇床，把它们拆除后，将木质构件烧掉，其灰烬部分进行混汞。

浓缩机和搅拌槽的侧壁和顶部先铲下一小部分铁屑，化验其含金量，或用淘金盘淘洗核实一下。如果含金量高，则将铁屑取下来，用混汞回收。在搅拌槽和浓缩机底部的残余物应该取样化验，或用淘金盘淘洗核实其含金量。如果含金品位高，再将它取出，留下一个搅拌槽将残余物进行氰化浸出。如果搅拌槽和浓缩机的槽体是用木材做成的，则应将木料

钻孔取样燃烧成灰，再化验含金量，然后将其拆除并烧掉这些木材，再把残余物进行混汞。对输送高品位溶液或矿浆的管道也应检查一下管道中的堆积物里的含金量。所有流槽，排水道，泵池，地坑，片式净化过滤器，溶液槽内均有铁锈皮和堆积物，将它们取出后进行混汞。在清洗之前，先将上面所说的各种设备和角落干燥一下，这样做对以后的工作会有好处。所有混汞以后的残余物再取样化验，若金品位还高，则将其放入前面说的那个留作处理细粒物料用的搅拌槽里进行氰化。特别在混凝土地面的裂缝里也应该检查、化验一下含金量。已经证实用氰化法处理这些多年来渗透高品位溶液的混凝土是合算的。同样，在高品位溶液槽的周围地面也要检查，因为溅出来的溶液中可能含有金。

可以这样建议，金置换厂房应待最后清理。在脱氧塔里的木料以及充填物均应取出，烧掉，其残灰应进行混汞处理。所有麦瑞尔压滤机和贮槽应当彻底清洗，它的锈皮应进行熔炼或酸处理。在炼金室里，连同椽子均要用吸尘器清扫，将灰尘收集起来后进行熔炼。如果过去生产使用焙烧炉进行金泥焙烧，则应拆除焙烧炉，将其砖头破碎、磨细后用混汞处理，剩下炉渣再去氰化焙烧炉和熔炼炉的烟道应彻底清扫，把所收集到的烟尘进行熔炼。炼金室的所有熔炼渣应该磨碎后，再混汞，余渣要取样化验金、银、铜，并作出估价，决定是否将其送到买方冶炼厂熔炼仍还有利可图。

澳大利亚西部卡尔古利的查弗斯选金厂的清理工作

在1910年，建立查弗斯（Chaffers）加工厂的维湖（Lake View）和斯泰（Star）有限公司注册成为获得维湖和哈奈斯（Hannans）有限公司地产的一个公司。自从合并后，相继获得另一些公司，至1970年，该公司被波赛磨

(Poseidon) 有限公司买去。随后，于1973年，澳洲卡尔古利 (Kalgoorlie) 有限公司所属黄金矿山成为维湖和斯泰有限公司、波赛唐有限公司和西方矿业公司所属的子公司，形成卡尔古利·维湖产业有限公司。最后在1976年，该公司和美国霍姆斯特克黄金有限公司合并成为卡尔古利矿业联合公司 (Kalgoorlie Mining Associates)，作为美国霍姆斯特克矿业公司的一个子公司。

早期的查弗斯选金厂处理含碲金矿和硫化物矿石，其基本流程是破碎、焙烧、重选和氰化。在二十年代后期选金厂生产能力有所增加，主要靠在破碎作业后增加了湿式磨矿和浮选。由含金黄铁矿和碲化物组成的浮选精矿在爱德华兹 (Edwards) 焙烧炉里焙烧后，即进行氰化。那时的处理能力为52000吨/28天。1948年建成浮选尾矿氰化厂。最终在

表 4-1　　混汞处理的清理物料

地　点	说　明	回收金（克）
磨矿厂房	磨机衬板，溜槽，管道，排水沟，泵池	94078
选矿溜槽	给矿槽，排矿槽，弯头 (Sweepings)	5536
浮　选	给矿槽，排矿槽，泵池，浮选槽内的锈皮	32064
焙　烧	排料搅拌装置	2986
焙砂处理厂房	焙砂搅拌器的锈皮，溜槽，泵池	14617
炼金室熔渣	各种熔炼渣	1617
灰　烬	木质溜槽的燃烧物，锌粉置换压滤机用滤布的燃烧物	11889
锌粉置换厂房	槽内的残渣	20091
炼金室	碎铁和钢材进一步的锈蚀物	10698
废　料	各种混汞排出的废料	6873
管　道	从混汞桶到浮选厂房的50毫米管子	20277
合　计		220716

1976年2月查弗斯选金厂关闭，共处理矿石3950万吨，回收黄金478.3吨。

清理工作一开始，即回收在选金厂里丢失的金。工人由最初的15人减到后来的4人。磨矿和溜槽部分首先进行清扫，其后清理浮选槽、浓缩机，地下搅拌槽、焙砂处理车间、地面排水沟和焙烧车间。

至1977年11月，清理工作尚未完毕，已回收黄金462公斤，最终实际回收了622公斤。举一例可说明堆积金的地方，有一条直径50毫米、长61米的管道，它是用作输送从炼金室的混汞桶残余物至浮选厂房的，从管道里获得20277克黄金和拆除时清出两瓶（每瓶重34.5公斤）水银。另一例是靠近炼金室处，有一个用混凝土作内衬的直径为4.6米、深为3.7米的地坑，它是多年用作存放金泥酸处理溶液的，清理后取出泥浆大约有40吨，送到另一家奥罗亚（Oroya）选金厂进

表 4-2　　在查弗斯选金厂氰化处理的清理物料

地　点	说　明	回收金（克）
浓缩机	精矿和焙砂浓缩机底部的残余物	16981
烟道灰尘	焙烧烟道灰尘	2892
焙砂搅拌器	焙砂搅拌器底部的残余物	28861
浮　选	浮选给料槽和浮选机槽体底部的残余物	12098
混汞尾矿	各种混汞桶的尾矿	6718
锌粉置换厂房	锌粉置换给料槽，焙砂氰化厂房	15881
炼金室旁边的地坑	接受炼金室多年排放溶液的地坑中底部的细泥	66990
合　计		150401

行氰化，结果回收了66990克黄金。

下面三个表列出：（1）混汞处理的清理物料（见表4－1）；（2）在查弗斯选金厂氰化处理的清理物料（见表4－2）；（3）1977年11月在奥罗亚选金厂氰化处理的清理物料（见表4－3）。

表4-3　在奥罗亚选金厂用氰化法处理的清理物料

地　点	说　明	物料量（吨）	回收金（克）
焙砂处理厂房	锈皮，从焙砂搅拌器和溜槽里清出的块状物	572	56291
精　矿	从精矿浓缩机，矿仓里清出的硬质块状物	229	23231
焙烧炉	砌体，焙烧炉床	363	11164
合　计		1164	90686

参考文献

Adamson, R.J., "Gold Metallurgy in South Africa," Transvaal Chamber of Mines, Johannesburg, 1972.

Addison, Richard, "Rosario Dominicana's New Retort Plant Removes Mercury from Dore," World Mining, April 1978.

Addison, Richard and Moss, S.M., "Expansion of Rosario Dominicana's Gold Silver Cyanide Plant," Mining Engineering, June 1980.

Addison, R., Cranor, R.O., "Rosario Dominicana's Cyanide Tailings Dam Construction and Operation," SME-AIME, Preprint No.80-8, February 1980.

Addison, R.and Prieto, H.R., "Reagent Optimization in a Gold/Silver Cyanide Plant.,.Mining Congress Journal, January 1979.

Anon, "How Concentrators Use Carbon-In-Pulp to Recover By-Product Gold," World Mining, August 1977, pp.56-7.

Anon, "Cortez Gold Operations in Nevada, " Skillings Mining Review, May 10, 1969.

Anon, "Cortez Gold Mine Helps Boost U.S.Output," Engineering and

Mining Journal, May 1969, pp.105-109.
Anon, "St.Joe Minerals Will Develop El Indio Au-Ag-Cu Deposit in Chile's High Andes," Engineering and Mining Journal, May 1979.
Anon, "Muruntav-Uzbekstans Golden Mountain is Important Soviet Mine," World Mining, November 1971, pp.56-7.
Berezowsky, R.M.G.S.and Sefton, U.B., "Recovery of Gold and Silver from Oxidation Leach Residues by Ammoniacal Thiosulfate Leaching," Paper presented at the TMS-AIME Annual Meeting, February 1979.
Bogert, J.R., "Tayoltita Cyanide Mill Has High Recovery Rate," Mining World, June-July 1983.
Brittain, M. I., etal, "Cyanidation Studies at the S. A. Lands Gold Mine," CIMM Bulletin, February 1977.
Burstall, F.H., Forrest, P.J., Kember, N.F., and Wells, R. A., "Ion Exchange Process for Recovery of Gold from Cyanide Solution," Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 45, No. 8, pp. 1648-1658.
Carter,R.I., "Nation's Newest Silver Mine Uses Open Pit Methods," Mining Engineering, January 1978.
Chadwick, J.R., "Four Years from Initial Development to First Gold Bar," World Mining, March 1980, pp.42-46.
Chadwick, J.R., "Ergo-Gold Tailings Reclamations and Retreatment" World Mining, June 1980.
Chamberlain, C., "Telfer, Australia's Newest Gold Mill," SME-AIME Preprint, No.80-325, October 1980.
Chase, C.K., Ransom, W.S., and Simpson, S.L., "The Glitter Gets Better-The Two Year Record of Gold Heap Leaching at Smoky Valley Mining Div., " Paper presented at SME-AIME Annual Meeting, February 1980.
Clennell, J.E., "Chemistry of Cyanide Solutions," McGraw Hill, 1904.
Clennell, J.E., "The Cyanide Handbook," McGraw Hill, 1910.
Clevenger, G.H. and Morgan, H., "Atmospheric Decomposition of Cyanide Solutions," Mining and Scientific Press, September 1916.
Cornwall, W.G., etal, "Leaching of Telluride Concentrates for Gold, Silver and Tellurium, the Emperor Process, " SME of AIME Transactions, Vol.260, March 1976, p.108.
Davidson, R.J., "The Mechanism of Gold Adsorption on Activated Charcoal," Journal of the SAI of MM, November 1974.
Davidson, R.J., Veronese, V., and Nkosi, M.V., "The Use of Acti-

vated Carbon for the Recovery of Gold and Silver from Gold Plant Solutions," Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.79, p.281.

Davidson, J.R., "Metal, Particularly Gold Recovery," South African Patent Application, No.73/8939, 1973.

Davidson, R.J.and Veronese, V., "Further Studies on the Elution of Gold from Activated Carbon Using Water as an Eluant," Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 79, p. 437.

Davidson, R.J., "The Mechanism of Gold Adsorption on Activated Charcoal," Journal of the SAIMM, November 1974.

Delicate, D.T., "Homestake-Largest U.S.Gold Producer," Colorado Mining Association 1974 Yearbook, pp.107-9.

Dixon, J., Cho, E.H., and Pitt, C.H., "The Interaction Between Gold Cyanide, Silver Cyanide and High Surface Area Charcoal," AICHE Symposium Series 1978.

Dobson, J.G., "Disposal of Cyanide Wastes," Metal Finishing, Vol. 45, Nos. 2 and 3, February-March 1947.

Dorr, J.V.N., "Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores," McGraw Hill, 1936.

Dorr, J.V.N.and Bosqui, F.L., "Cyanidation and Concentration of Gold Ores," McGraw Hill, 1950, 2nd Ed.

Duncan, D.M., Snolik, T.J., "Heap Leaching Practice at Cortez," Engineering and Mining Journal, July 1977.

Eccles, A.G., "Pollution Control at Western Mines-Myra Falls Operation," CIM Bulletin, September 1977, pp.141-7.

Eichholz, G.G., and Josling, C.A., "A Semi-Automatic Monitor of Cyanide Solution Strength for Gold Ore Dissolution," CIMM Bulletin, March 1964.

Eveleth, R.W., "New Methods of Working an Old Mine," New Mexico Geology, February 1979.

Fahrenwald, A.W., "The Cyanide Process," McGraw Hill, 1918.

Foster Wheeler Ltd., "Gold Extraction by Dry Cyanidation," August 1977.

Glynn, Christopher, "Gold 1977, 1978, 1979," Consolidated Gold Fields, Ltd., London.

Gow, W.A., McCreedy, H.H., and Kelly, F.J., "Instrumentation in the Cyanidation Process," CIMM Bulletin, July 1966.

Groenewald, T., "The Dissolution of Gold in Acidic Solutions of Thiourea," Hydrometallurgy, Vol.1, 1976, pp.277-290.

Guay, W.J., "How Carlin Treats Gold Ores by Double Oxidation," World Mining, March 1980.

Guay, W.T., and Peterson, D.G., "Recovery of Gold from Carbonaceous Ores at Carlin, Nevada," Transactions of the Society of Mining Engineers, AIME, Vol.254, March 1973, pp.102-104.

Guay, W.J., "Method of Increasing the Cyanidation Recovery of Gold from Organic Carbon-Containing Gold-Bearing Ores," U.S.Patent No.3, 846, 124, November 5, 1974.

Gunther, D.R., "Recent Developments in Gold Cyanide Circuitry," Mackay School of Mines Gold Symposium, April 1980.

Hall, K.B., "Homestake Carbon-In-Pulp Process," AMC Annual Meeting, 1974.

Hall, Kenneth B., "Homestake Uses Carbon-In-Pulp to Recover Gold from Slimes," World Mining, Vol.27, No.12, November 1974, pp. 44-49.

Hamilton, E.M., "Manual of Cyanidation," McGraw Hill 1920.

Heady, H.H., and Broadhead, K.G., "Assaying Ores, Concentrates, and Bullion, USBM Information Circular, No.8714r.

Hedley, N. and Tabachnick, H., "Chemistry of Cyanidation," American Cyanamid Co., Mineral Dressing Notes No.23, December 1968.

Heinen, H. J., Peterson, D. G., and Lindstrom, R. E., "Processing Gold Ores Using Heap Leach Carbon Adsorption Methods," U.S.B. M.I.C.8770, 1978.

Heinen, H.J., and Porter, B., "Experimental Leaching of Gold from Mine Waste," U.S.B.M.RI 7250, April 1969.

Heinen, H.J., Peterson, D.G., and Lindstrom, R.E., "Silver Extraction from Marginal Resources," Oral Presentation, TMS-AIME Annual Meeting, New York, February 1975.

Heinen, H.J., McClelland, G.E., and Lindstrom, R.E., "Enhancing Percolation Rates in Heap Leaching of Gold-SilverOres," U.S. B.M.RI 8388, 1979.

Heinen, H.J., McClelland, G.E., and Lindstrom, R. E., "Recovery of Gold from Arsenopyrite Concentrates by Cyanidation-Carbon Adsorption," U.S.B.M.RI 8458, 1980.

Henley, K.J., "Gold-Ore Mineralogy and Its Relation to Metallurgical Treatment," Minerals Science Engineering, Vol.7, No. 4, October 1975.

Henley, K. J., and Stevenson, B. G., "Determination of Distribution of Gold and Silver in Ores and Mill Products," IMMBulletin December 1979, C215-220.

Howell, Frank M., "Homestake's Bulldog Mountain Mill, Creede, Colorado," paper presented at SME Fall Meeting, Salt Lake City, Utah, Preprint No.69-B-308, September 1969.

Hulse, Phil, "Gold Operations at the Atlanta Mine," Mining Engineering, September 1978.

Hussey, S.J., Salisbury, H.B., and Potter, G. M., "Carbon-In-Pulp Silver Adsorption from Cyanide Leach Slurries of a Silver Ore," U. S.B.M.RI 8268, 1978, pp.22.

Hyatt, D.E., "The Chemical Basis of Techniques for the Decomposition and Removal of Cyanides," SME-AIME Preprint No.75-B-302, September 1975.

Irwin, R.W., "Some Difficulties Encountered in Gold Recovery," American Cyanamid Co. Ore Dressing Notes No.10, June 1940.

Jackson, Daniel, Jr., "Homestake's Hard Work Pays Off at Bulldog Mountain Mine," Engineering and Mining Journal, May 1974, pp.65-70.

Jeffries, L.F., and Tczap, A., "Homestake's Grizzly Gulch Tailings Disposal Project," Mining Congress Journal, November 1978, pp. 23-28.

Lawr, C. W., "Cyanide Regeneration or Recovery as Practiced by the Compania Beneficiadora de Pachuca, Mexico," AIME Tech Publication No.208, 1929.

Laxen, P.A., Becker, G.S.M., and Rubin, R., "Developments in the Application of Carbon-In-Pulp to the Recovery of Gold from South African Ores," Journal of the Institute of South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.79, p.315.

Laxen,P.A.,"Contacting of Solid Extractants with Liquids or Slurries," South African Patent Application, No.777475, 1977.

Leone, R.J., "Heap Leaching at Round Mountain, Nevada," Engineering and Mining Journal, May 1978.

Lloyd, P.J.D., "Maximizing the Recovery of Gold from Witwatersrand Ores," Minerals Sciencs Engineering, vol.10, No.3, July 1978, pp.208-221.

Mauk, C.E.Prengle, W.H , and Legan, R. W., "Chemical Oxidation of Cyanide Species by Ozone With Irradiation from Ultraviolet Light," SME-AIME Preprint No.75-B-310.

McQuiston,F.W,Jr."Resurgence of Gold and Silver", Oral Presentation TMS-AIME Annual Meetijng,February 1976

McQuiston, F.W., Jr., and Shoemaker, R.S., "Gold and Silver Cyanidation Plant Practice,"Society of Mining Engineers, AIME, 1975.

McQuiston, F.W., Jr., Hardy, Royce A., "Developments of Carbon Cyanidation at Getchell Mine, Nevada, " Mining Congress Journal, November 1947.

McQuiston, F.W., Jr., and Chapman, T.G., "Recovery of Gold or Silver, " U.S.Patent No.2, 545, 239, March 13, 1951.

McQuiston, F.W., Jr.and Hernlund, R. W., "Newmont,s Carlin Gold Project," Mining Congress Journal, November 1985.

Merwin, R.W., Potter, G.M., and Heinen, H. J., "Heap Leaching of Gold Ores in Northeastern Nevada, " SME-AIME Preprint No.69 AS-79, February 1969.

Mitchel, S., Trautman, L., and Halbe, D., "Homestake,s Bulldog Mountain Carbon-In-Pulp Silver Plant, " The Metallurgical Society of AIME, Preprint No.A-80-21.

Nicol, D.I., "The Adsorption of Dissolved Gold on Activated Charcoal in a NIMCIX Contactor, " Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.79, p.497.

Nice, R. W., "Recovery of Gold from Active Carbonaceous Ores at McIntyre, " CIM, June 1971.

Ormrod, G.T.W.and Lombaard, S.L., "The Industrial Application of Kegold Electrodes," National Institute for Metallurgy Report No. 1647, November 1974.

Pizarro, R., McBeth, J.D., and Potter, G.M., "Heap Leaching Practice at the Carlin Gold Mining Co., Paper presented at Annual AIME Meeting Dallas, Texas, February 1974.

Plaksin, I.N.and Kozhukhova, M.A., "Dissolution of Gold and Silver in Solutions of Thiourea, " Sbornik Nauchnykh Trudov, Institut Tsvotnykh Metallov, 33, 1960, pp.107-119.

Potter, G.M.and Salisbury,H B.,"Innovations in Gold Metallurgy," Mining Congress Journal, July 1974, p.54.

Potter, G. M., "Recovering Gold from Stripping Waste and Ore by Pecolation Cyanide Leaching, " USBM TPR 20, December 1969.

Raring, R.H.and Murray, G.V., "Gold Plants of the Future-Lessons from Uranium, " Engineering and Mining Journal, August 1959.

Ross, J.R., Salisbury, A.B., and Potter, G. M., "Pressure Stripping Gold from Activated Carbon, " Paper presented at AIME Annual Meeting, 1973.

Salisbury, H.B., Hussey, S.J., Howell, F.M., and Potter, G. M., "Silver Recovery from Flotation Tails by Carbon-In-Pulp Cyanidation, " SME-AIME Annual Meeting, February 1975.

Scheiner, B.J., Lindstrom, R.E., Guay, W.J., and Peterson,D. G.,