

贵金属 选冶工艺

PRECIOUS METALS'89

—— '89TMS 国际学术会议论文集

国家黄金管理局长春黄金设计院

贵金属选冶工艺

PRECIOUS MÉTAIS'89

——'89TMS 国际学术会议论文集

国家黄金管理局长春黄金设计院

编者的话

本书为我院田建军同志于 1989 年在澳大利亚拉斯维加斯参加美国矿物、金属及材料学会（简称 TMS）和国际贵金属学会召开的“贵金属开采、提炼与选矿国际学术会议”后，带回来的一本由与会专家精心撰写、汇编的论文集，原书共收集了有关贵金属堆浸、炭浆工艺、难选矿石处理和新型浸出剂等 36 篇精辟著作。

我院在国家黄金管理局科技处的大力支持下，组织释译了其中的 21 篇论文，共计 27 万字，出版了这本论文集。

本书是一份难得的技术资料，无疑对从事黄金与贵金属选冶专业的科研、设计、大专院校、管理机构和黄金及有色金属矿山的广大技术人员，都是一本最新的参阅资料。

本书由情报室刘莉萍、梁敦信和韩佳春同志翻译，经钱炳青、王激茹、金松杰、马瑞林、范常山等同志审校，最后由范常山整理出版。

在整个选译过程中，得到了我院领导和有关同志，以及排版、印制等部门的大力支持，在此一并表示感谢。

由于我们翻译水平有限，经验不足，加之人员少，时间仓促，难免存有错误与不妥之处，敬希读者不吝指正。

1991 年 12 月

贵金属选冶工艺

1989 年 TMS 国际会议论文集

目 录

编者的话.....	(1)
1、盖切尔矿的新开端	(1)
2、AMAX 金矿公司斯里帕矿的选厂	(14)
3、用酸性压力氧化工艺处理麦克劳林矿的难选矿石	(26)
4、Pueblo Viejo 金矿选厂的审定及优化	(47)
5、炭浆工艺在澳大利亚的最新进展	(58)
6、Golden Jubilee 矿采用矿浆树脂法回收金	(76)
7、金矿堆浸模拟有助于堆浸工艺的发展	(98)
8、直接堆浸法提金工艺在多雨地区的应用	(116)
9、采用过氧化物做金矿堆浸的促进剂	(129)
10、纽蒙特金矿公司采用“快速氯化法”加速氧化	

难选冶金矿石·····	(144)
11、奥林匹斯难选冶金精矿处理工艺的选择·····	(161)
12、从复杂硫化物矿石浸渣中回收金·····	(209)
13、用溴浸出工艺从精矿中提取金·····	(221)
14、用二氧化锰氧化氰化物的反应动力学·····	(243)
15、用氰化溶液和硫脲溶液浸出金银矿石的比较·····	(257)
16、氧化剂对金银在酸性硫脲中溶解影响的研究和 比较·····	(266)
17、用氢还原硫脲溶液中的金和银·····	(286)
18、用直接电解法从硫脲液中回收金·····	(306)
19、用火法冶金从压力浸出的锌渣中回收金银的 技术经济评价·····	(323)
20、不列颠金属精炼有限公司有关底吹氧体的应用 ·····	(343)
21、用高压浸出法回收铂族金属·····	(352)

盖切尔矿的新开端

P. G. Mason

莱特工程有限公司

R. F. Nanna

费斯密斯金矿公司

摘 要

盖切尔(Getchell)矿从 1936——1945 年用露采和坑采方法开采氧化矿,在此期间氧化矿基本采尽。1945——1967 年开采硫化矿,采用焙烧技术不断提高金的回收率。1983 年 FRM 矿产公司买下了矿山开采权,并继续进行地质勘探工作,以进一步确定矿体的产状及特征。硫化矿很难直接用氰化工艺处理,因此有必要进行大量的冶金试验,来确定一种理想的经济合理的工艺流程。莱特工程有限公司设计和建设的选金厂,生产流程中采用了加压氧化工艺来解析金,预期该选厂将于 1989 年投产。

引 言

盖切尔矿属波托西(Potosi)矿区,位于内华达州温尼穆卡(Winnemucca)东北 25 英里奥斯古特山(Osgood)的东北坡。自 1934 年发现金矿以来,一直到 1967 年最终关闭选厂,这期间已采出黄金 500,000 盎司。然而在原储量计算中的仍然有 1,500,000 多盎司难选金矿石未被开采。现在的矿产新业主弗斯特密斯(FirstMiss)金矿公司新建了一座选厂,采用加压氧化工艺处理遗留的硫化矿,这样再经氰化工艺可获得较高的回收率。

开采史

1934年首次发现金矿之前,波托西矿区只有局部地区被开采。1938年盖切尔矿山公司建了一座选厂处理氧化矿和硫化矿。矿山尽管大部分是露采,但仍有些矿需要采用坑采。

1938~1939年期间,采出的硫化矿,在一个直径为 7×100 英尺的回转窑中进行焙烧处理,日处理量为100t。1940年初,又增加一个更大的回转窑,直径为 7.5×260 英尺,日处理量增加到500吨。

1938~1945年期间,旧选矿流程已不能用,其原因是已探明的易选氧化矿已采完。而改为焙烧工艺流程,除去硫化矿中的硫和砷,平均可除去硫为58%,砷为84%,焙烧水淬后,采用氰化法提金的平均回收率为68%。

在此期间又调查了浮选工艺流程,包括半工业试验,生产出的精矿再进行焙烧,但结果并不理想,浮选工艺也一直未投入生产。

1948年,重新设计并建成了一个用焙烧处理硫化矿的1500吨/日选厂。于1949—1951年期间生产。这次生产的结果与过去比较没有取得较显著的效益。

1951年,在政府支持下制定了对钨矿石价格补贴。1951年至1956年盖切尔矿一直开采钨矿,直到补贴停止,钨矿开采也就停止了。

1960年佛罗里达州的戈登弗尔(Goldfield)公司接收了该矿。1962至1967年戈登弗尔公司用露天开采并处理硫化矿。选厂日处理量为1500吨,用一台直径为16英尺的燃油流态化焙烧炉焙烧。尽管焙砂在氧化前经过水淬,但金的回收率一般仍不超过70%。

赛浦路斯公司同戈登弗尔公司于1970年签定了一项共同

勘探金矿和钨矿的合资协议。按当时的金价和钨价计算，赛浦路斯公司很难固定出足够利用的储量。因此双方于1971年取消了协议。

1972年科诺(Conoco)接受了该矿山并实施了一项勘探计划，准备在该矿区奥斯特山北部探测新的金矿床。1972至1974年期间进行了地球物理和地球化学找矿，此外，科诺在矿区布置了350个钻孔。经过这一切努力后探明的矿化迹象并不能满足科诺的利益。随后又将矿山租让给犹他国际公司供其勘探钨矿。犹他公司也未探明到理想的矿产储量，1982年科诺又重新收回了矿产权。不久杜邦买下了科诺公司并终止了一切找矿项目。1983年夏，弗斯特密斯金矿公司买下了该矿产权(前身为FRM矿产公司)。

地质概况及矿物特征

盖切尔矿位于一条构造断裂带中，受 $N10-15^{\circ}W$ 盆地和山前构造断裂控制，倾向东 $40-57^{\circ}$ 。断层是在东—西交叉构造之后，在东北向构造和裂隙群之前或周期产生。在此断裂带发现的含金矿化带向深部延深并且尚未封闭。

断层沿白垩纪奥斯特山花岗闪长岩岩株延伸，侵入到古生代较老的沉积岩中，属普雷泊尔(Preble)，科马斯(Comus)和瓦尔米(Valmy)构造。受变质作用沿侵入接触面形成含钨矿——石榴石——透辉石的卡岩，以及较远的硅质石砂卡岩和大理岩。盖切尔断层的上盘和下盘均可发现奥斯特山岩株和砂卡岩。断层的两盘还能发现与岩株伴生的岩脉。

金在盖切尔这个地质环境下沉积下来，经过了早、中和晚第三纪几个热液活动阶段。矿床中赋存有大量的难选冶金矿石，金同黄铁矿共生。围岩原为碳质页岩，薄条带状灰岩以及粉砂岩，在成矿作用之前经过了浅带(绢云母)到中带(黑之母)变形作用

及变质作用。含金黄铁矿在热液活动早期即开始沉积,同时伴随的还有角砾岩化,二氧化硅溢流,硅化作用和绢云母,长石,黑云母的泥化蚀变作用。后期热液作用将分散的金活化富集;并带入砷、汞矿物而形成了现在的矿床。金伴生在早期浸染的黄铁矿中,其粒度为 0.1—1.0 微米,而晚期矿化形成的含金包裹在黄铁矿中,其金粒度为 1.0—10 微米。

盖切尔矿有大量的含砷矿物,如雌黄和雄黄。雌黄精矿中很少发现有金。认为金可能不直接同雌黄有关。在金砷矿物中金呈包裹状在黄铁矿中或嵌布在黄铁矿颗粒之间。

通过镜下鉴定以及浮选试验,许多迹象表明,方解石和游离碳中也含有金,但其中硫化矿物很多,故无法提高金的回收率。

选矿工艺的发展

在 FRM 购买该矿产权之前,盖切尔已进行了多年的冶金试验工作。

深部矿石选别采用浮选工艺,1944 年建了一座半工业试验选厂。最初目的是分选砷精矿,它的金含量很少。这类精矿可以储存起来,或者先回收砷。这样经分选后含砷量低的尾矿很适合进入氰化工艺或其它的金浸出工艺。半工业试验厂获得的成果变化很大,主要取决于矿石类型及采用的工艺。可以回收 75% 的砷,不到 10% 的金。尾矿直接用氰化法,属难选矿石,试图从砷的浮选尾矿中分出一种“铁”或“黄铁矿”精矿的成效甚微。大约有 20% 的原生金残留在尾矿中,而且很难直接氰化。其它多种试验工作包括从精矿的浮选中来提取各类矿物以及碳质精矿的浮选,但没有一项可以提高金的回收率。

有几种浸出方法可代替氰化工艺提取贵金属,但均没有广泛使用。药剂的消耗及成本都较高。通常,如果用直接氰化法回收盖切尔的矿石或尾矿,金或银不易溶解,也无法用替代的浸出

剂浸出。其回收率仍然很低,曾用许多化学药品做过试验,但没有获得惊人的成功。采用的浸出剂如下:

- 硫脲
- 硫代硫酸铵
- 硫代硫酸钠
- 多硫化铵
- 氯化铁
- 盐—酸—臭氧(氯化浸出)
- 腈

氰化前作了各种预处理试验,获得成功有限,这些予处理工艺包括调整氢氧化钠及盐的添加。

在评价盖切尔矿的工作时,很显然,为了便于用氰化法提取金,有必要将硫化矿进行氧化。虽然一般常用焙烧法可达到一定效果,但也应考虑到下列替代方法。

a) 氯气氧化法。目前卡林及吉瑞特坎勇(Jerritt Conyen)两矿,在氰化之前均采用这种方法预处理。调查人员对此方法作过粗略的检测,结果不太理想。

b) 加压氧化,不添加酸,用盖切尔矿的尾矿样品作试验,结果也不能令人满意。用矿石样品进行加压氧化添加氢氧化钠时其结果同样不佳。

c) 1953年,美国辛那密特(Cynamid)第一次通过了加酸加压氧化工艺,使金的回收率有了明显的提高(70%~84%)。但是另一名研究人员用不同类型的样品试验时,并未获得同样的效果。

1984年初,FRM矿产公司进行冶金试验,为处理盖切尔难选冶矿石寻找一项具有经济效益的工艺。加拿大安大略的莱克菲尔德(Lakefield)研究部门进行了实验室试验。还有几项特殊工艺由下列执照持有者进行调研:阿森诺(Arseno)工艺—Bacon Donaldson 协会;奈特罗克斯(Nitrox)工艺—Prochem 有限公

司；生物浸出工艺—B. C. 研究所；Caro's 酸氧化工艺—安大略研究基金会。科罗拉多戈尔登的工程咨询公司，还调研了多种不常用的浸出剂如下所述。

重新考虑采用浮选工艺，首先是为了在处理剩余矿石之前先除去部分砷硫化物，其次是为了使金富集便于氧化。没有哪一种情况可以说明采用浮选是有经济效益的。

在选择采用加压氧化之前，对一些选用的氧化和浸出技术作了调查。下列浸出剂用于硫化矿：

- 氰化物
- 氰甲烷
- 硫代硫酸盐
- 氯化物
- 多硫化铵
- 硫脲

加氯气氧化以及加碳酸钠和氯气的双氧化工艺均作了探索，同采用过硫酸进行氧化处理一样。且不管哪一种处理结果有益氯气；使用过量均造成金提取率降低，氰化之后进行生物氧化，金的提取率同采用加压氧化相差不多。

然而，莱特工程有限公司于1985年7月将这些工艺做了经济效益比较后，其结论有利于后者。

没有增设焙烧工艺。从盖切尔矿以往的开采史看，要减少砷和硫的嵌布，以达到环保规定的要求需要付出的费用是相当可观的。

对升温下的几种不同的加压氧化处理工艺作了调查。100℃时，硝酸在充氧矿浆中作为氧化剂，从经济上看，Nitrox工艺是不足以发展的。在氧气加压下，温度略高于100℃时，用亚硝酸以促进氧的反应，阿森诺工艺在经济上可以考虑。但在当时工艺流程的问题尚未解决，由于未经证实的工艺中潜伏着很大的危险性，故该项工艺未能继续。最终结论指出在充氧加压下直

接氧化是最佳工艺方案。

1984年莱克菲尔德(Lakefield)研究部门经过大量实验室试验,制定了加压氧化工艺的工艺标准。该项完成之后,科罗拉多矿业学院研究所进行了一次小规模,连续性的小型高压釜试验,结果表明该工艺有效的解出金更利于下一步的氰化法回收。

A, H 罗斯(Ross)协会准备了作初步设计的依据,莱特工程有限公司则用来作为初步可行性研究的基础。

试验中酸的消耗比预计的要高,成本研究表明选矿设备的成本和再循环酸的费用皆高。莱克菲尔德研究所着手进行了第二实验室试验计划,研究在工艺中酸的需求量以及加入不同剂量酸时所产生的效应。设计半连续性试验程序,模拟单段连续流程,这样获得有关酸用量较合适的数据以及所需要氧化的时间,由此修正了工艺流程,同时完成了最新的初步可行性研究报告。

为了验证修正后的流程,研究溶液再循环的效应,汉森(Hazen)公司的研究部进行了一项连续性半工业高压釜氧化/氰化浸出试验。同时对矿石的特征进行了广泛的研究,获得了主要组成(Fe, As, S, CO₂)的平均值。以三个露采区的适宜地点采集了样品,用适当的比例配制成混合矿,其成份接近平均值,这样有了取自矿床最有代表性的样品。这一调查表明采用氰化回收时,金能获得有效的分离。

1987年夏,莱特工程有限公司提交了全部可行性研究报告,有关这些调查的结论及所附的矿石储量估算和露采设计,都证实了该项目在技术及经济上是可行的。

工艺描述

简言之,工艺流程(图1)包括了用前装机供给原矿;半自磨机和球磨机磨矿;均用旋流器分级;加压氧化配有热力回收;

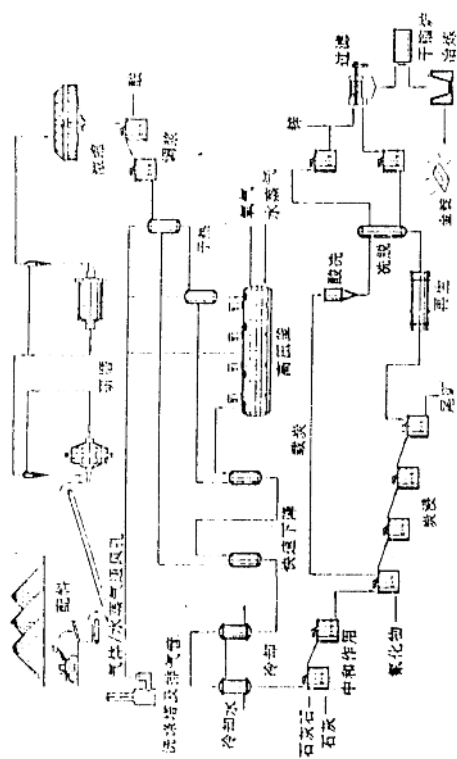


图 1 盖切尔金矿工艺流程

采用石灰和碳乳进行中和；炭浸吸附；加压脱洗锌粉置换以及冶炼成粗金锭。

取样和配矿

选矿厂原矿来自两个主矿仓和三个小配矿堆。样品从钻孔中取出并化验，钻孔还作为露采的爆破孔，这样不同成份的矿石可以区分开，矿石要非常接近选厂所需的成份。矿石装卸到主矿仓，每个仓的规模为 10、000 吨，可贮存七天，日处理量为 3000 吨，每个配料堆的规模为 5000 吨，为高硫、高砷和高碳矿石配矿。所有这些配矿堆的矿石，均采用前装机进行配矿。运到选厂的物料根据矿堆的库存进行平衡配比，按工艺要求允许物料成份有一定的波动范围，即 2~4% 硫化物的硫，1.5~7.5% CO_2 （碳酸盐）和 0.5~3.5% 砷。这些矿石成份的变化将影响到酸、蒸汽、氧化剂的消耗，但试验中已看出对金的回收率并没有影响。

磨矿和分级

该段工艺设计，受到矿石湿度和粘度的影响。虽然处理物料问题是重要的，但进料和皮带传送料量已减少到最低限度，并且无需采用破碎装置。原矿用前装机堆卸，通过一个 18 英寸的格筛进入小料斗。如果意外出现较大的矿块，须借用一台移动式小型破碎机破碎。一条 48 英寸宽的皮带给料机不断的将料斗中的物料卸到 42 英寸的给矿机上，将物料传送到 20 英尺 $\times$ 9 $\frac{1}{2}$ 英尺的半自磨机（仿垂磨机 SAG）。研磨排料运送到 5/8 英寸的条格筛。用变速离心泵将矿浆送到二个 26 英寸的一次旋流器中，SAG 磨矿为闭路，所提供的产品细度为 500 微米，占 80%。

一次旋流器的溢流和二次球磨机的排料一并送到泵箱中，用变速泵将产品送到四个 20 英寸的二次旋流器中，二次旋流器

的沉砂进入 13.5×20 英尺的球磨机中，而溢流细度为 74 微米，占 80% 的部分需通过脱除筛（碎屑筛）除去粗粒物料，以防止阻塞阀门，压力降低之后，进入浓密机。

浓缩和选矿用水

磨矿产品进入直径为 150 英尺的大型浓缩机，加入絮凝剂有助于沉淀，沉砂的固体含量调整到适合于进入氧化流程，即含 45~50% 固体。溢流回收得到选矿用水水槽。

尾矿库中回收的水用于矿浆的稀释和一些药剂的配制，剩余的用于磨矿流程中。不足部分用新水和/或坑内水补充。回收的水用于磨矿时，首先要消除其中所含的游离氰化物。不然，球磨机中这些氰化物溶解的金可能被其他矿物所吸附，而无法回收。

调浆系统

调浆系统为三个 20×31 英尺的不锈钢搅拌槽，加入酸破坏了碳酸盐，送入空气以保持在氧化环境下有利于在溶液中清除二氧化碳，调浆槽为三个高压釜，处理之前提供了调浆条件。

加压氧化

压力氧化回路以三个系列进行生产，以保证处理量降低及一套压力釜维修时仍可连续生产。并在确定压力釜的直径时，应适应运输限定的条件。

高压釜直径为 11 英尺，总长度为 88 英尺。内砌有耐酸砖，并衬有铅质薄膜。用 8 台 75 马力的搅拌机进行搅拌和使氧化剂充分发挥作用，纯氧从叶轮下方喷入。

压力浸出的第一道工序是用喷射器直接向矿浆内喷射闪蒸汽。第二段闪蒸汽下降略低于大气压，第一个冷却槽中矿浆的温度提高到 200°F。第一段闪蒸汽绝对压强为 85psia，喷入第二

冷却槽时提高了矿浆温度为 300°F。冷却槽内壁为 4 1/2×31 英尺，材料为碳钢并衬有耐酸性，热矿浆经泵送入高压釜中。

物料中因含有约 3% 的硫，就不需要外加蒸汽即能确保高压釜温度为 410°F，在含硫化物过高的情况下，使用来自闪蒸槽超量的蒸汽；而在硫化物较少时，蒸汽喷入第一反应段。

第一反应段的温度通过调节给料矿浆温度或喷入蒸汽来控制。之后各段用加水来控制温度，采用调节供氧量以及高压釜排放量，使总压力保持在 460psia 和氧分压为 100psia。

高压釜的矿浆经陶瓷阀门排放，两个排放口有二个为一组的调节阀门，一个节流阀，一个圆筒阀。调整每个排放口的节流阀，可以分别控制高压釜最后一个隔室的矿量和闪蒸槽第一槽的矿量。

闪蒸后的矿浆排入闪蒸槽，该槽内衬耐火砖；直径 8×20 英尺，第一段闪蒸槽工作的压强为 85psia，为第二段的矿浆提供了预热蒸汽，而直径 12×30 $\frac{1}{2}$ 英尺的第二段闪蒸槽大致在大气压 下，将蒸汽给入一段给料矿浆防溅冷却槽中。

高压釜出来的矿浆在一组立式热交换器槽和管内进行冷却，采用冷却水循环。最后排放的温度为 120°F。

中和作用

氰化后的矿浆中含有可溶硫酸盐和游离酸，经加入细磨的石灰后中和。用石灰乳调解矿浆 PH 值至 10.5。

矿浆在一组四个 29×31 英尺的中和槽中进行中和。中和后的矿浆用泵从最后一个槽开始排放，这样可以在中和及氰化作用期间起一些缓冲调节作用。

炭浸法

氰化之前的矿浆必须稀释中和，未经稀释的矿浆粘度大，不

易筛运而使炭料滞留在浸出槽内。氰化之前清除振动筛碎屑和砂粒，稀释矿浆浓度为含固体量 44~33%。否则将会使炭浸氰化回路受到污染。

在流程中用 23% 的氰化钠溶液，加入到第一段氰化回路中，其浓度为每吨溶液含 2 磅 NaCN。矿浆排放到尾矿池之前药剂浓度应降为 0.5 l/t。

采用碳钢材质制作的 8 个炭浸槽，其规格为 29×30 英尺，用均等的压缩空气清扫滞留在筛上的炭。每个槽中均通入压缩空气以保证氰化时氧的需要量。

每个槽均配有一个立式叶片提炭泵，间歇式操作使炭的运行方向同矿浆呈逆向。1、2、3 号槽的炭均可进入解析和再生工序。

炭浸流程中矿浆流经细粒炭扫选筛后，泵入尾矿。

解析和再生炭

解析炭的每批处理量为 5.5 吨/日，一周七天工作。每次处理量的多少取决于矿石设计品位的高低以及载金量的多少。

用振动筛筛分矿浆中的载金炭，并置放在不锈钢制作的酸洗槽中。按 11、000 磅一次一批的处理量进行酸洗，烧碱预浸以及加压解析。酸洗槽的规格为 10×12 英尺，包括 45° 的锥底，在每道工序之间运行的炭随矿浆泵入，用振动筛脱除矿浆中的水份而留下炭。

在酸洗步骤中，将含 3% 的硝酸溶液置放在 12×14 英尺的不锈钢酸洗槽内，而含 2% 的烧碱溶液置于 12×14 英尺的碳钢烧碱槽中，在洗脱炭之前用于洗涤炭中的酸。烧碱废液用于中和废液而产生的混合物将排至尾矿。

在一个 5×25 英尺的不锈钢槽内进行预处理和加压。炭滞留筛上用，300°F 含 0.4% 的 NaC 和 1% 的 NaOH 热洗涤液冲洗。然后将炭泵入水平电热再生窑中，其设计生产温度为