

# 萨米特维尔低品位金矿堆浸开发技术

S. H. 戴顿

美国萨米特维尔金矿是北美露天开采低品位金、银矿床的中型堆浸矿山。1936年由加拿大的加拉克蒂克资源公司进行开采，目标是回收黄金12万盎司和银6万盎司，每盎司黄金的平均生产成本为150—175美元。

萨米特维尔金矿位于美国科罗拉多州西南部杜兰哥镇附近海拔为3400米的落基山脉中，是含有金、银和铜的浅成低温热液酸性硫酸盐型矿床。矿石分为两种类型：一种为含晶洞氧化硅、石英明矾石和石英粘土的硅氧矿石，硅氧矿石占总矿量的三分之二；另一种为粘土矿石。高品位的富矿带呈不规则形状并无规律地分布在矿区内。

矿床在1870年被发现后，断断续续地进行高品位的富矿石开采。1923—1942年生产期间，从地下矿脉开采的3万短吨的矿石中总共回收约27.3万盎司的金。

加拉克蒂克资源公司于1984年获得5300英亩的土地权和矿产权，随后完成了5.4万英尺的钻孔勘探，并对16400短吨的矿石大样进行了堆浸试验，目的是评定露天矿运用堆浸技术的可能性和获取必要的参数，以及建立矿体和采矿设计的计算机程序模型。

该公司在矿区南部已圈定出金品位为0.042盎司/短吨的矿石储量2530万短吨，其中平均金品位为0.046盎司/短吨的1620万短吨的矿石适合于露天开采，开采边界品位为0.01盎司/短吨，以总剥离比1.67:1进行开采足够6年的开采量。然而，该公司的地质工作者们和顾问们认为准备以后开采这些储量，第一年首先开采平均金品位为0.06盎司/短吨的矿石，以提高黄金回收量和现金流量。

**矿山车间** 萨米特维尔矿山根据地形的有利条件构成外部生产车间：

1. 露天矿位于海拔11400~12250英尺高的南山山脊附近，这样的高程正适合6年采矿设计的卡车运输；

2. 日处理28800短吨的初级和二级破碎和筛分车间；

3. 两条4000英尺长的传送机系统。一条是把破碎的硅氧矿石传送到堆浸装车仓内，另一条把粘土矿石传送到在堆浸之前加水泥和水把它们轻度粘结的三带式团矿机内；

4. 25~106英亩的半潜式“就地”富集溶解捕收池堆浸场地。该场地四周用塑料圈堰，中间为矿石浸堆。在溶解池上12英尺直径内有钢管插入矿石浸堆内，通过潜水泵进行抽液；

5. 一台流量为3000加仑/分、8级对流碳吸附罐；

6. 两台带有酸喷淋和碳活化装置的批量载金碳高压脱吸罐（每台解吸能力为3短吨）；

7. 一台新型的米瑞尔—柯罗韦金矿沉淀器（利用锌尘和双盘网格压滤器），用其从浓缩的脱吸溶液中回收贵金属矿泥；

8. 一台倾注式坩埚冶金炉，用其从烘干沉积物中回收粗金、银；

9.一座由6台履带式燃烧天然气的发电机组成的火力发电厂,该厂装备有废气综合热回收系统,回收的热量用于预热浸淋溶液,以便延长每年回收金的工作季节。

总之,该项计划在开工前需要4600万美元的投资,其中包括第一采矿年度的600万美元流动资金贷款,再加上约定的3000万美元的采矿合同。采矿合同内容包括在1986和1987年工作年度中从露天矿内采出800万短吨的矿石和废石。每年要往淋浸堆运送320万短吨的矿石。大规模堆浸研究表明,金和银的回收率分别为85%和14%。

在采矿高峰季节需要工作人员120名,其中地质人员8名、工程技术人员8名、矿山生产人员18名、车间作业人员(包括破碎、碳吸附、解吸、冶炼和试验室)69名、行政人员17名。

1986年5月,从露天矿山脊上部共开采矿石29万短吨、废石85万短吨、平均日采效率为4万短吨。在这期间内破碎的矿石平均品位为0.079盎司/短吨,比原来预计的要高。

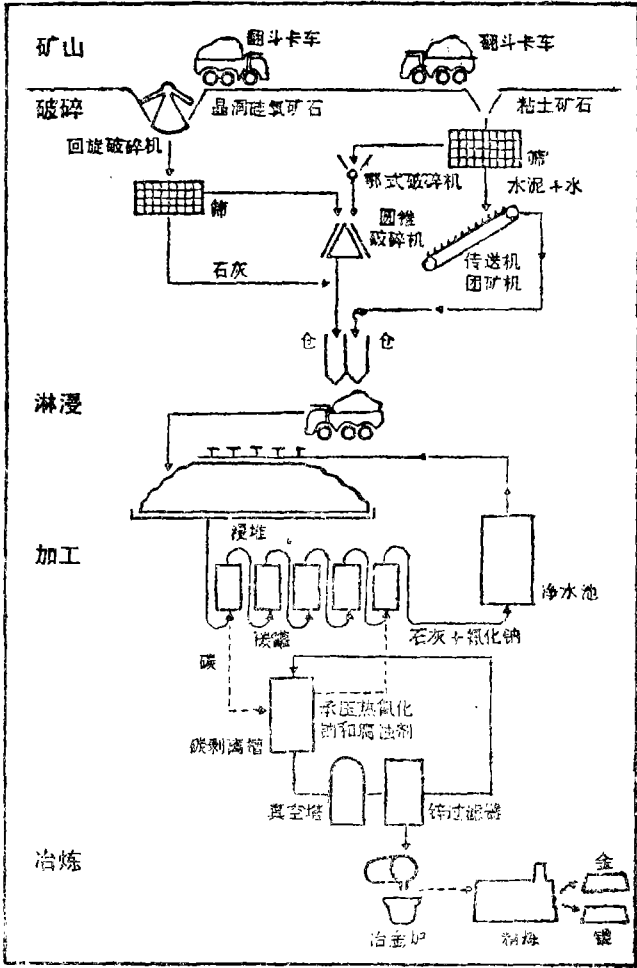


图 萨米特维尔堆浸工艺流程图

**采矿** 矿山以山坡露天矿方式进行开采，逐渐形成约3200×1300英尺的开采面。设计是以20英尺台阶高度（低品位堆浸矿山的典型高度）和最大10%的堇沟运输坡度为基础的。已开采过的台阶加高到40英尺，并在底部修一道安全平台，露天矿将形成倾斜45°的最终边坡。地形提供的方便条件将使今后5年内装载矿石的卡车顺下坡驶向破碎机。在目前开采季节，矿石运向初碎机的路程为4000英尺，废石运输的平均路程为8000英尺。

凿岩爆破生产工作是按15×15英尺间距布置直径6¼英寸的炮孔，钻孔深度为23英尺。每个炮孔在地质员和工程技术人员监督下进行取样。岩心就地切割为15磅的分样，并贴上钻孔编号说明书，送往回收车间的样品粉碎室和实验室。实验室为分别安排矿石和废石爆破设计进行常规的快速原子吸收炮孔分析。干孔是用铵油炸药装填爆破，湿孔利用胶质炸药。

炮孔位置测量和含金分析填图，可使矿石质量管理技术人员立桩圈定矿石、废石的边界，指导电铲作业。预计萨米特维尔矿山采矿季节约为6.5个月。通过滤浸溶液的预热和埋布装有清洗喷淋器的管路，预计将增大滤浸程度。由于在堆浸池中潜部埋有大型含金溶液井，预期回收车间每年可工作3个月。采矿队实行双班11小时的全周工作制，每天剩余2小时用来进行日常维修，每年开采期为6个月。

**破碎流程** 高度自动化的开路破碎车间额定日生产能力为28800短吨，并装备有中央控制和联络中心。两台120短吨容量卡车的卸载漏斗，一个用于硅氧矿石，一个用于粘土矿石。两台初级破碎机，一台为300马力驱动的42×70英寸旋回破碎机，用于破碎硅氧矿石。另一台为200马力驱动的42×48英寸的颚式破碎机，用于破碎从粘土矿石中筛出来的矿块。这两台初级破碎机所排出的产物为7英寸。

从粘土矿石中筛出来的硬岩随同初级破碎的硅氧矿石用72英寸的传送机集中起来并输送到750短吨容量的调节仓内。调节仓装有一对带式给料机，调节仓的产品通过两台6×14英尺筛面的双层筛筛分。具有3英寸网孔的上层筛的作用主要是往1¼英寸网孔的下层筛运送规格小于1¼英寸适宜淋浸的矿石。下层筛筛上给料送往两台300马力电机驱动的短头式破碎机内。短头式破碎机侧面最大开口为1¼英寸，将排出的矿石送到硅氧矿石输送线上。在粘土矿石这方面，卡车仓下面的72英寸板式给料机将粘土原矿矿石送到一台6×14英尺的具有运输机和矿石分筛机双重作用的重型水平给料机内。

在硅氧矿石达到最后产品粒度阶段时，以3磅/短吨的给料速度加入¾英寸的石灰，以保证矿石的碱度。破碎的粘土矿石需要用硅氧矿石传送带附近的另一条36英寸宽、4000英尺长的传送带进行输送。在破碎机末端，粘土矿石加入水泥粘合，以10磅/短吨矿石的给料速度在传送机表面粘土矿石上播撒。加入水泥的目的之一是作粘合剂，二是作为矿石的碱度保护剂。

粘土矿石传送线终端和三带式团粒机的地方喷洒纯堆浸溶液，变换传送带的速度使矿石变湿，达到额定8%~13%含水量。喷洒速度调节到矿石能胶结成球团的程度，以利改进粘土矿石浸堆的孔隙度。最后，将球团矿储存在硅氧矿石仓附近的容量430短吨的卡车装卸仓内。

破碎车间调节仓上安装有传感元件、传送带秤量系统和自动给料速度控制系统。自动给料比例控制器，根据调节定额控制水泥和石灰添加物。在整个系统的关键部位有4台电视监测器进行监视。破碎车间、储矿仓、石灰和水泥给料机、以及硅氧矿石和粘土矿石用的两条4000英尺长的传送线由每班3名工作人员进行操作。

**堆浸** 利用露天矿剥离的废石,在给料传送带的末端附近拦筑起一道4%坡度的沟谷,供做堆浸场地。现已用土石堆积修建两个堆浸池,一个用于堆积硅氧矿石,另一个用于堆积团粒矿。两个拦筑坝上,下游底板的坡度为3:1,场地内面用60密尔厚的高密度聚乙烯衬封,初期修建的25英亩堆浸场正在使用,并计划在1986至1987年期间将其扩大到106英亩。

浸堆的基底铺盖和压实一层24厘米厚的取自露天矿的粘土层。粘土层之上铺洒有2英寸厚的砂层,用作溶液回收系统。在砂层上面放一层60密尔厚的高密度聚乙烯管,并用110密尔厚夹有加固物的地膜覆盖。106英亩浸堆场地可容纳1620万短吨的矿石,但也可扩大到3000万短吨的矿石。该场地可容下22英寸深的雨水。浸堆场的底层装备有管道网路,将溶液汇集排到溶液回收井内。

硅氧矿石和粘土矿石分别建立矿堆。每次都是用100短吨的卡车将矿石送往堆浸场地,并用推土机推平散开。硅氧矿石堆积的高度为30英尺,粘土矿石堆积的高度只有15英尺。

用装有快速连接摇转式喷头的直径为2英寸的高密度聚乙烯软管管路,将浓度调配达到5磅/短吨的氰化钠浸淋溶液喷洒在矿石堆上。硅氧矿石的喷洒速度约为每平方英尺每分钟0.001加仑,粘土矿石的喷洒速度约为每平方英尺每分钟0.0025加仑。事先加入石灰和水泥的矿石适于堆浸的化学环境,pH值约为10.5。

高渗透性的硅氧矿石分层地直接堆积在下游堆浸坝内。由于这种矿石的天然晶洞,规定1 $\frac{1}{4}$ 英寸碎矿的孔隙体积估计占25%,这就为通过浸堆渗出的浸滤溶液形成一个理想的自然蓄积池。净储存容量估计为1.8亿加仑。在这个水池中有两口垂直的人工井,一口装有水泵,另一口做为紧急事故时备用。在上游团粒矿石坝内同样也布置有一口安装水泵的水井。

浸堆坝内的水井是用直径为12英尺、厚体为1 $\frac{1}{4}$ 英寸的钢管在矿石堆内堆积建成的。底圈用水泥粘合布置在基底岩石上,并用粘土、聚乙烯和地膜封底。为了使溶液从排泄网中进入到水井中,在浸堆基底以上较浅地低段打了许多小孔。每个生产井都是通过三台1500加仑/分潜入式泥浆泵进行抽水,其中二台联机工作,第三台备用。

喷淋、滤浸汇集和泵吸量要与回收车间3000加仑/分的处理能力保持平衡。当车间进入稳定工作状态时,车间作业首先从硬岩矿堆的单级淋浸开始。把车间210万加仑容量的塑料管路水池中的净溶液调节为1.5磅/短吨浓度的氰化物溶液,并喷洒在矿石堆上。随着团粒粘土矿体积的增加,将同步进行二级淋浸。对硅氧矿堆和粘土团粒矿堆的喷淋量分别为6000加仑/分和3000加仑/分。

当从净溶液池到团粒矿堆返回3000加仑/分溶液时,双浸循环系统开始工作。通过团粒矿堆渗出的溶液用潜水泵回收送到可以潜流的弱富集溶液井中还原,并用水泵将溶液抽到中心浸堆泵房,在这里加入配制好的氰化物,补充在第一淋浸阶段中药剂的耗减。然后将重新制备的溶液喷洒在新鲜的硅氧矿石堆上,并随着溶液通过浸堆的渗出,溶液中溶解金的含量不断富集。从第二淋浸阶段井中抽出的强富集溶液通过浸堆泵房送到加工车间的固体沉降罐内。

淋浸堆泵房装备一台3000加仑/分、350马力皮带传动的离心泵,用于输送初级喷淋溶液;一台3000加仑/分、300马力、皮带传动的离心泵,用于第二级喷洒供液;以及一台3200加仑/分、150马力,直接偶合离心泵,用于车间供液。

**冶炼回收** 回收车间得到的是金含量为0.025盎司/短吨的富集溶液。碳吸附系列由6个

# 现行矿山表外矿的工业开发问题

M. H. 阿戈什科夫等

国民经济对各种矿物原料需要量的不断增加,要求依靠勘探和开发新矿床、补充勘探已采矿床和提高矿产回收的程度来不断扩大采矿工业的矿物原料基地。

开发现行矿山的表外矿是提高矿产回采程度的重要途径之一。

根据矿床储量分类,按现行标准目前在经济上利用不合理或在技术上和工艺上不可能利用的固体矿产储量,属于平衡表外储量,但是这些矿产的储量将来也可上升为平衡表内储量。平衡表外储量和平衡表内储量是分别计算的。由此看来,目前平衡表外矿产储量的开采尚不能计入开采“范畴”。

然而,在已采的矿床上,在表内矿的开拓和采矿准备过程中,常常是顺便剥离,甚至是

直径为11英尺、高为11英尺的罐组成,罐中安装有椰子皮制成的 $6 \times 12$ 网目活性炭的偏磷酸钠膨胀床。用射流喷射器对流通过流量达3000加仑/分的富集溶液吸附系列,使碳从一个槽转移到另一个槽内。因此,负载碳与新到的浸滤溶液进行强烈反应,经过脱金的溶液流向下游堆浸循环净液池。一部分用过的净溶液,由于形成贫化液需要放掉。

当碳和吸附金量接近200~225盎司/短吨时,以3短吨批量送到承压脱吸系统中。金是通过内有10%氢氧化钠和0.1%氰化钠的碱性溶液的两个容器进行碳解吸。金的脱离要在温度为华氏265度、压力为2巴的条件下进行。从碳上剥离金所需要的时间约为12个小时,车间额定日处理3短吨。

碳吸附回路中的存料量为28短吨,6个吸附罐中为4短吨,3短吨进行金剥离,其余的1~2短吨进行再活化。

脱吸溶液以50加仑/分的流量流向米瑞尔-柯罗韦型金沉淀装置。溶液平均含金4~5盎司/短吨,这些溶液在剥离循环开始时能迅速地达到峰值,10~12盎司/短吨。用一台给料机往溶液中送入锌尘使金沉淀,并使矿浆进入有硅藻土的双极板组装式压滤机。从压滤机搜集的湿矿饼经过烘箱干燥、溶解和冶炼成含金40%和含银55%的粗金锭。

解吸碳通过在小窑中用盐酸进行初步冲洗或利用小烘干炉加热再生后返回到吸附系统。

公司根据1986年6月到12月开采300万短吨矿石的生产效率,按1985年美元常值计算现金流量:回收金12.5万盎司、银5.25万盎司、冶金后净收入1420万美元,税后净收入为1900万美元。

王立正 编译自《Mining Magazine》, 1986, №3  
卢黎黎 校