**金矿堆浸工艺十大问题剖析**

随着黄金选冶技术的发展，对低品位 金矿的开发利用日益引起人们的重 视。堆浸提金工艺已成为处理低品位 含金氧化矿石的有效方法。因其投资 和生产费用均低于氰化法，用于处理 低品位含金氧化矿石、废石堆及丢弃 的含金尾矿等均有显著经济效益，故 堆浸工艺在黄金生产中广为推广。国 内外均有不少成功的范例。美国是采 用堆浸提金工艺处理低品位含金氧化 矿石最早且收益最好的国家之一。据 统计，目前堆浸矿山，金的年产量已 达到100t，占美国黄金总产量的35% 以上。

津巴布韦有350多个尾矿处理厂，大 部分都是采用堆浸和渗滤浸出工艺。 生产证明，按当时金价98.6元/g计 算，即使尾矿含金品位低至0.5g/t， 只要堆场生产能力达到1.5万t/堆以 上，矿山就能盈利。

我国采用堆浸工艺起步较晚，80年代 初才开始用于工业生产。目前河南、 河北、陕西、云南、贵州、内蒙古、 吉林、辽宁、湖南、新疆等省相继用 该工艺处理低品位金矿石，据不完全 统计，仅河南省从1982年至1993年 就堆浸了100多万t矿石，生产规模也 从每堆几百t到几千t，甚至万t以上。 堆浸的含金矿石类型有:石英脉、蚀变

岩、角砾岩、斑岩、硅化碳酸盐、铁 帽及热液变质岩等类型的氧化矿石。 1988年陕西双王金矿(角砾岩型)进行 了万t堆浸工业试验,1988～

1992年新疆萨尔布拉克金矿(砂砾岩 型)做了10万t堆浸工业试验、哈巴河 县赛都金矿(石英脉型及破碎蚀变岩 型)进行了2万t制粒堆浸工业试验，均 取得较好效果。当前，我国堆浸矿山 的生产指标为:浸出率平均65～70%， 总回收率60%～65%，成本55～68 元/t矿。

堆浸法虽具有工艺简单、流程不复 杂、基建投资少、操作容易、成本低 和见效快的优点，但影响该工艺的生 产指标及经济效益的因素是很多的， 若处理不好仍有亏损的可能。现就影 响黄金堆浸工艺的十大问题剖析如 下：

1、矿石结构及其物理化学性质

就一般而言，矿石结构疏松，裂隙发 育者，则其渗透性都较好，有利于氰 化物溶液对矿石内部的渗透和扩散， 使金得到充分的溶解，因此，其浸出 速度较快。如湖南新邵县高家坳金矿 属泥质砂岩型，矿石渗透性良好，对 该矿作生产调试时，曾进行过测试， 当喷淋浸出后第二天取样化验，结果 贵液含金浓度为4g/m3以上，已超过 吸附要求(吸附要求贵液浓度> 1.0g/m3)。反之，如果矿石结构致密或含 粘土较高，则不利于浸出，不但浸出 速度慢，而且浸出率也较低。如河南 灵宝樊岔金矿为含金石英脉型，该矿 于1988年进行过7万t级堆浸工业试 验，终因矿石致密，渗透性差，浸出 率低(40%左右)而失败。由此可见， 矿石结构对堆浸影响极大。

如矿石中含有炭质物料，将会妨碍溶 液进入被其包裹的矿石颗粒中，从而 严重地阻碍金的溶解，并且具有活性 的炭能吸附已溶金，致使金随尾矿流 失。

矿石中如含有铜、铅、锌、砷、铁等 非贵金属的化合物，也影响金的溶 解、如用锌置换贵液，则其效果较 差，且会增加氰化物的消耗。

另外，如果氰化溶液中的硫离子浓度 达到5× 10－7，则会降低金的溶解速 度，黄药和二硫代磷酸盐等浮选剂也 会降低金的溶解速度。

金颗粒大小与其溶解速度有关，不同 粒度的金颗粒在0.12%氰化钠溶液中 的溶解时间见表l。

2、矿石粒度

矿石粒度的大小对浸出率的影响很 大，一般而言，粒度愈小，则所需浸 出时间愈短，而浸出率也愈高，如图 1和图2所示。

但在生产实践中，若细粒级含量过多 (指－0.074mm含量超过35%以上)， 则会影响浸出率(一般降低3～5%左 右)。这是因为细粒级过多会使矿堆 表面结板而形成沟流、影响溶液渗透 之故。

从图2中8mm粒度的曲线可以看出， 灵湖石英脉摩棱岩型含金矿石，金的 浸出率为41.1%,樊岔石英脉型为 52.7%，河南毛塘斑岩型金矿为 62.8%,湖北大冶铁帽型金矿为73%， 上管蚀变岩金矿地表氧化矿为 91.4%。可见，除矿石粒度外，矿石 类型也是影响金浸出率的重要因素之 一。

3、原矿中粘土含量

原矿中粘土含量的多少对浸出有明显 的影响。研究证明，当粘土被氰化溶 液润湿以后，体积会膨胀。其体积增 大率达２５～30%。这将

导致矿堆孔隙度及溶液渗透速度的降 低。如图3所示，当粘土含量从15% 增加到60%时，溶液的渗透速度从 25cm/d降到0.4cm/d，而浸出时间则 从15d增至125d。

对粘土含量高的矿石而言，溶液渗透 速度随浸出时间的变化而变化，如图 4所示。当浸出第10d时，溶液渗透速 度达到最大值6L/t矿·d。其后则由于 粘土矿物的膨胀，而矿堆孔隙度降 低，故溶液渗透速度减至3.5～4L/t矿 ·d。

4 pH值 在浸出过程中，氰化溶液必须保持一 定的碱度，以防止氰化物分解。因 此，pH值要控制在9.5～11之间，如 果过高，则金的溶解速度会相应地降 低，如湖南高家坳金矿，1993年生产 期间，由于筑堆时对石灰用量控制不 严，pH值达12以上，致使矿石表面 形成一层薄膜，从而影响了金的溶解 速度，延长了浸出时间。

pH值对金溶解速度的影响如图5所 示。从图中可以看出，用石灰做保护 碱，当pH> 11.5时，对金的溶解有明 显的抑制作用。这是由于在高pH值 时，在矿石表面生成过氧化钙薄膜而 阻止其与氰化物反应之故。

5、氰化物浓度

金银溶解速度与氰化物浓度的关系如 图6所示。

从图中可以看出，当氰化物浓度在 0.05%以下时，金、银的溶解速度随 着氰化物浓度的增大而直线上升，若 继续提高浓度则金、银的溶解度仅缓 慢上升而已，直至氰化物浓度增大到 0.1%时为止。当浓度超过0.1%以上 时，金、银的溶解速度便逐渐下降。 因此，在实际生产中必须注意到，并 非氰化物浓度愈高，金、银的溶解速 度愈快。而金、银在低浓度氰化物溶 液中其溶解速度较快的原因，是氧在 其中的溶解速度及其在稀溶液中扩散 速度均较大所致。氧在低浓度氰化物 溶液中的溶解度几乎是恒定不变的， 所以，用低浓度氰化物溶液浸出矿石 时，金、银的溶解速度均很大，但各 种非金属矿的溶解度却很小，这样， 氰化物的消耗量可以减少到最低限 度。湖南高家坳金矿堆浸厂进行生产 调试时，采用低浓度氰化溶液喷淋浸 出。结果证明，在低浓度溶液中 ((0.03%～0.08%)金溶解速度较快， 喷淋后第二天贵液含金浓度便达到吸 附要求。不但速度快，而且大大地降 低氰化物的用量，据计算，处理一吨 原矿消耗氰化钠仅135g/t（广西鑫宝 矿业龙塘金矿为100g/t左右），用量 为国内同类型堆浸矿山的1/3～1/4， 低于国外的先进水平。

关于氰化物浓度与金的溶解速度的关 系问题，笔者认为:当氰化物浓度低 时，金的溶解速度只取决于氰化物溶 液的浓度。反之，当氰化物浓度高 时，金溶解速度与氰化物浓度无关， 而取决于氧的浓度。在不同氰化物浓 度下，金的浸出率随时间长短而变 化，即如果要求达到同样的浸出率， 低浓度时所需时间可能长些，如图7 所示。当氰化物浓度为0.025%时，达 到80%的浸出率需要25d，而氰化物 浓度为0.1%时，要达到上述的浸出率 只需5d。所以，在实际生产中必须全 面权衡氰化物消耗量、浸出时间和成 本等诸方面相关因素统一考虑。

根据堆浸生产经验，当处理金矿时， 氰化物浓度应控制在0.03～0.08%的 范围内，银为0.1%～0.15%。

6、矿堆高度

矿堆高度取决于矿石的性质，一般渗 透性好的矿石，矿堆可以高一些，否 则反之。目前我国堆浸矿山平均高为 2～4m，国外为4～8m，但随着筑堆 设备的改造和更新，堆高己达10～ 18m。美国已对一个61m高的矿堆进 行了试验，这表明对某些矿石适于筑 高堆浸出。矿堆究竟多高才合适，可 通过试验来确定。生产实践表明，矿 堆太高会影响其下部矿石的供氧量及 渗透性，从而会降低浸出率。

矿堆高度直接影响成本，但随着矿堆 的增高，底垫费用及管理费也相应的 减少。实验室柱浸试验数据表明，矿 柱高度增加，将会导致浸出率的降 低。堆高从6.1 m增至18.3m，堆浸 费用可降低3～3.5元/t矿，但浸出率 也将降低5%左右。两者熟优，矿山可 进行核算。

为了减少生产费用，笔者建议采用阶 梯式堆浸法较为合理。我国吴家林金 矿曾用于生产获得了成功。该法就是 充分利用地形的自然坡度修建堆场， 如图8所示。即第一堆喷淋浸出结束 后不必卸堆，可在原堆的基础上继续 堆矿，只要底垫不破，可连续堆3～5 层，堆高可达15～25m。

7、喷淋强度

实践表明：适当增大喷淋强度，可以 缩短浸出时间，提高浸出率，见图 9。同时加强了溶液与矿石之间的相 对运动，起到强化扩散作用。

我国堆浸矿山的喷淋强度为8～12L/m2·h，国外为10～20L/m2·h。喷淋 强度大，虽然具有一定优点，但由于 氰化溶液与空气接触机会增多，而氰 化物的氧化、损失也随之增加。故喷 淋强度过高对生产是不利的。

喷淋强度对贵液浓度(含金品位)的影 响如图10所示。当喷淋强度大于 11.5L/m2·h时，贵液浓度明显下降。 随着喷淋强度的增高，金浓度与杂质 总浓度比(CAU/ΣC杂质)则减少，见表 2。

8、浸出时间

浸出率随浸出时间的延长而增加。浸 出周期的长短与金的嵌布特性、矿石 粒度及渗透性有关。软高岭土矿(I、 Ⅱ)和软石灰、片岩(I、Ⅱ)的金浸出率 与浸出时间的关系如图11所示。从图 11中可知，软石灰、片岩的渗透性良 好，故浸出速度快、时间短，浸出率 高。现场堆浸的时间通常为实验室柱 浸试验时间的3～6倍。 根据1993年对湖南高家坳金矿堆浸进 行测定结果表明:浸出第10d,浸出液含 金占最终浸出总金量的35％，第15d 占50%以上，至第20d达最高峰，占 最终浸出金量的90%。这时由大部分 的金已被浸出，故20d以后浸出液含 金量开始趋于平缓状态，见图12。生 产证明，如原矿中金品位为2.0～ 3.5g/t，规模5000～7000t/堆，堆 高 为3.5～4. 5m，则浸出时间30～35d 即可完成(不包括筑堆、洗矿和卸 堆)。

9溶液中的氧

巴尔斯基等人用氮、氧及其混合气体 于0.1%氰化钠溶液中，在不同氧浓度 的情况下，测定金的溶解速度见表 3。从表中可以看出，金的溶解速度 随氧浓度的增高而加快。

氧在水中的溶解度随温度和液面上氧 分压的变化而变化，主要取决于所处 海拔标高下当地的大气条件，水中的 氧浓度最大在5～l０mg/L的范围内。

含金矿石在进行堆浸氰化时，其他矿 物和有机物等同样要消耗溶液中的溶 解氧。因此，在氰化过程中，氧的总 消耗量通常会超过反应时理论上所需 氧量的几百倍，甚至上千倍。所以， 在堆浸过程中，适当地补充氧是有利 的。

矿堆鼓气浸出试验结果如表4。从表 中可知，向矿堆鼓入空气，可提高金 的溶解速度。溶液中的不必饱和，而 浸出时间明显缩短。鼓气后浸出时间 由45d降到32d。

10、温度

金在氰化物溶液中的溶解速度，随着 温度的升高而加快，在85℃时为最 大。当温度低于10℃时，金溶解速度 将大大地减慢。

升高温度，能加速氰化反应，提高金 的浸出率。堆浸是在自然环境的气温 下进行的，为了在冬季继续进行浸 出，适当地提高浸出液的温度是有利 的。据说用加热器对溶液加温在技 术、经济上是可行的。因此，设有溶 液加温系的堆浸矿山，即使在－10℃ 的气温下仍能进行喷淋浸出，故加温 浸出很适用于我国东北和西北地区的 堆浸。