

基于闭路磨矿分级系统的氰化提金优化方案

杨同正 王德斌 龚萧 何金国

大理州鹤庆县西邑鹤庆北街矿业有限公司 671507

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12744

[摘要] 本研究探讨了闭路磨矿分级系统对氰化提金工艺的影响和优化措施。研究分析了闭路磨矿分级系统的工作原理和闭路磨矿分级系统参数对金矿粒度分布的影响。针对氰化提金反应条件提出了优化氰化提金工艺和氰化液回收系统。研究还指出了当前技术中的问题并提出了研究和工业化应用的方向,为氰化提金工艺的优化和闭路磨矿系统的工业应用提供理论依据和技术支持。

[关键词] 闭路磨矿分级系统; 氰化提金; 粒度优化; 金浸出率; 工艺优化

1 引言

随着金矿资源的日益紧张,传统的金矿提取工艺面临着金浸出率低、处理能力有限、资源浪费严重等问题。闭路磨矿分级系统作为一种高效的矿石粒度调控技术在矿业行业中得到了越来越多的关注。该系统采用精细调节矿石的细度提高了矿石的可溶性,为氰化提金工艺的优化提供了新的思路。在金矿的磨矿过程中矿石的粒度对金的浸出效率有着直接的影响,粒度过粗或过细都会影响氰化反应的进行,导致金的回收率降低。闭路磨矿分级系统能够精确控制粒度分布,从而提高金矿的浸出效率和减少氰化剂的使用并降低生产成本。尽管现有研究表明闭路磨矿系统在金矿加工中具有较大潜力但仍存在许多技术瓶颈亟待解决。

2 闭路磨矿分级系统对氰化提金的影响

2.1 闭路磨矿分级系统的工作原理

闭路磨矿分级系统主要由磨矿设备、分级设备和循环系统组成,其基本工作原理是磨矿设备对矿石进行粉碎并借助分级设备对磨矿后的矿浆进行分级,将合适粒度的矿浆返回磨矿设备进行再磨,确保矿浆中只有符合要求的颗粒继续进入下道工序。闭路磨矿分级系统的工作流程如下:矿石进入磨矿机中进行初步粉碎,磨矿机使用球磨机或立磨等设备进行矿石的研磨。在磨矿过程中矿石颗粒会逐渐变小,但不同颗粒的大小仍有差异。为了保证粒度的一致性磨矿后的矿浆会被送入分级设备进行分级,分级设备有螺旋分级机、浓密机或高效细筛等^[1]。这些分级设备控制矿浆的流速、密度及颗粒沉降速度将较粗的颗粒与细颗粒分离,粗颗粒返回磨矿设备继续磨矿,细颗粒进入下游的浮选或氰化工艺。闭路磨矿分级系统原理示意图见图1。

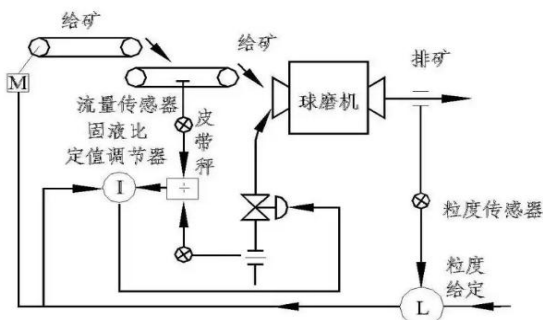


图1 闭路磨矿分级系统原理示意图

2.2 闭路磨矿分级系统参数对金矿粒度分布的影响

闭路磨矿分级系统中的各项操作参数对金矿粒度分布具有显著影响。不同的磨矿时间、磨矿介质类型和细度设定会直接改变矿石的粒度,进而影响金的浸出率。实验研究表明,磨矿时间的延长可以使金矿矿石达到更细的粒度,但超过一定时间后粒度细化的效果将趋于平缓且可能导致过磨现象,

影响矿石中其他有价值成分的回收^[2]。磨矿介质的种类对粒度分布也有影响,不同类型的磨矿介质对矿石的冲击力不同,影响矿石的研磨速度和粒度的细化程度。常见的磨矿介质钢球、铝球等对粒度的影响取决于介质的硬度、密度以及磨矿机的转速等因素。金矿粒度对氰化提金的影响主要体现在细度对金浸出速率的影响上。粒度过粗时金矿的表面暴露程度不足,氰化反应速率较慢,金的浸出率较低。粒度过细则可能导致氰化剂消耗过快,造成不必要的资源浪费。

3 氰化提金工艺优化方案

3.1 氰化提金反应条件的优化

优化氰化反应的关键在于合理调整氰化剂浓度、温度、反应时间及溶液 pH 值等参数。闭路磨矿分级系统提供的粒度分布优化反应条件可以提高金的浸出效率。精细化调整能够最大程度地利用氰化剂与金矿的接触机会,减少氰化剂的浪费并提高金的回收率^[3]。氰化剂浓度过低时无法充分溶解矿石中的金;浓度过高会导致氰化剂浪费和环境污染。氰化剂浓度控制在 0.05%~0.1% 为宜。闭路磨矿分级系统提供的粒度分布,粒度较细的矿物颗粒提供了更大的表面积与氰化剂的接触,从而可以使氰化剂浓度适当降低而仍然保证较高的金浸出率。氰化提金工艺的核心是氰化反应,金的浸出速率与矿石的粒度密切相关。较细的矿石粒度可以增加金矿的表面积和促进氰化剂与金矿表面的接触,从而提高浸出速率。氰化反应的动力学过程遵循表面反应控制模型,其基本公式为:

$$r = k \cdot A \cdot C_{CN}^n \cdot C_{O_2}^m$$

其中, r 为反应速率, k 为反应速率常数, A 为金矿表面积, C_{CN}^n 和 $C_{O_2}^m$ 分别为氰化物和氧气的浓度, n 和 m 为反应的阶数。反应速率与矿石的细度(即表面积)呈正相关,粒度越细,表面积越大,金与氰化剂的反应越充分,浸出速率也越快。

温度在氰化反应中的作用主要体现在其对反应速率的影响。较高的温度能加速氰化反应的进程,提高金的浸出速率^[4]。通常情况下氰化反应温度为 25°C 至 35°C 时金的浸出率达到最佳。进一步提高温度,虽然会加速反应但温度过高可能导致氰化剂的过度挥发或分解,因此需要控制在合理的范围内。

反应时间也是影响金矿浸出效率的重要因素。反应时间过短会导致金的浸出不完全,而过长则可能导致氰化剂的浪费。实验数据显示,反应时间为 24 小时到 48 小时时金的浸出效率最佳。结合闭路磨矿分级系统提供的适宜粒度有助于氰化反应充分进行和缩短反应时间并提高浸出效率。

过高或过低的 pH 值都会抑制氰化反应的进行。氰化反应最适宜的 pH 值范围为 10 至 11,此时氰化钠等氰化剂在溶液中的有效性最高^[5]。适当的 pH 调节可以提高金矿浸出的速率和减少氰化剂的浪费。

表 1 不同氰化反应条件对金浸出率的影响

氰化剂浓度 (%)	温度 (° C)	反应时间 (小时)	金浸出率 (%)	Ph 值
0.05	25	24	88	10.5
0.1	30	48	92	10.2
0.15	35	72	94	10.0
0.2	40	72	93	9.8

可以看到适当提高氰化剂浓度、温度和反应时间且保持溶液 pH 值稳定有助于提高金的浸出率。温度为 30° C、氰化剂浓度为 0.1%、反应时间 48 小时时金的浸出率达到了 92%。

综合优化氰化提金反应条件，可以有效提高金矿的浸出效率。结合闭路磨矿分级系统优化粒度分布后的金矿，在适宜的氰化剂浓度、温度、反应时间和 pH 值下进行氰化反应，不仅提高金的浸出效率，还能够降低氰化剂消耗、减少环境污染。工业应用中，通常通过对氰化反应条件进行多次试验，确定最适合的工艺参数，并根据不同矿种的特性进行调整，以达到最佳的金回收效果。这种系统化的优化方案能够在保证金回收率的同时，最大限度地提高生产效率，降低生产成本，实现资源的高效利用。

表 2 优化前后金浸出率的对比

变量	优化前	优化后
氰化剂浓度 (%)	0.15	0.25
反应温度 (°C)	20	30
反应时间 (小时)	36	24
粒度 P80 (微米)	180	150
金浸出率 (%)	80	92
氰化剂消耗 (kg/t)	1.5	1.1

3.2 提高金浸出率的优化措施

提高金浸出率的关键因素主要有优化氰化剂浓度、温度、反应时间和矿石粒度等。当氰化剂浓度过低时氰化反应进行缓慢且金的浸出率较低；浓度过高会导致氰化剂浪费和副产物的生成。当氰化剂浓度为 0.25%时金的浸出率达到最优，在此浓度条件下金的浸出效率和反应速率均优于其他浓度。温度适中时氰化反应速度较快，温度过高会导致氰化剂的挥发与分解和浪费氰化剂。当反应温度为 30℃时金的浸出率最佳^[6]。较长时间的浸出可以提高金的浸出率，但过长的时间

会导致溶液的稀释和氰化剂的过度消耗，反应时间应控制在 24 小时以内。矿石粒度较细时金矿表面积增大使氰化剂可以更充分地与金矿接触，从而提高浸出速率。

通过优化氰化剂浓度、温度、反应时间和粒度后，金的浸出率从 80%提高到 92%，氰化剂消耗也有所降低，显示了优化措施在提高金浸出率方面的效果。

在某金矿项目中，优化氰化反应条件（氰化剂浓度 0.25%、温度 30℃、反应时间 24 小时）和矿石粒度（P80=150 微米）后金浸出率从原来的 84%提高到了 92%并且氰化剂的消耗从 1.4 kg/t 降低到 1.0 kg/t。该项目的优化方案大大降低了生产成本并提高了资源的回收率，证明了优化措施的有效性。

3.3 氰化液回收与优化方案

氰化液回收是提高金矿资源回收率的重要环节。传统的氰化液回收方法存在氰化液损失大、回收率低等问题，因此需要采用更高效的回收方案。以下是几项氰化液回收的优化方案：

活性炭吸附是氰化液回收中常用的一种技术，其原理是利用活性炭的吸附作用将溶液中的金、银和氰化物吸附并回收。活性炭吸附法在金矿冶炼中的回收效率高，能够将大部分氰化液中的金属离子与氰化剂回收。使用预处理的高效活性炭可以使氰化液的回收率达到 98%以上，远高于传统回收方法。离子交换法采用使用特殊的离子交换树脂将金属离子从氰化液中分离出来并在树脂上积累。此方法适用于氰化液中金属离子浓度较高的情况。在使用离子交换法时金的回收效率可达到 90%以上并且能够有效回收氰化液中的金属^[7]。在矿石浸出过程中，将部分氰化液进行循环利用可以减少氰化液的消耗和降低废水处理的难度和成本。氰化液循环使用需要对液体进行精细的过滤和净化，保证在不影响金浸出效率的前提下最大化减少氰化剂的浪费。

表 3 优化前后氰化液回收效率的对比

回收技术	优化前回收效率 (%)	优化后回收效率 (%)	回收液损失 (kg/t)	处理时间 (小时)
传统回收法	75	85	1.5	12
离子交换法	80	90	1.2	8
活性炭吸附法	85	98	0.5	6

活性炭吸附法回收效率提高，回收液损失大幅降低，同时处理时间也缩短。

某金矿项目采用活性炭吸附法回收氰化液，氰化液回收效率从优化前的 85%提高到了 98%，回收液损失从 1.5 kg/t 降低到 0.5 kg/t。实施氰化液的循环利用减少了氰化剂的消耗并降低了废水处理的成本，极大提高了资源回收效率。

4 结论

闭路磨矿分级系统可以有效控制矿石粒度分布和促进氰化剂与金矿的反应，从而提升金的浸出率。优化磨矿时间、介质种类和细度可以有效提高金的回收效率以此降低氰化剂的消耗。合理地调整氰化剂浓度、温度、反应时间和矿石粒度等因素可以提高金浸出率并减少资源浪费。采用活性炭吸附法和离子交换法可以提高氰化液的回收效率和减少氰化剂的损失，进一步提升了金矿资源的回收率和环境友好性。这些技术和工艺的综合优化可以实现金矿资源的高效回收以此提高经济效益，具有较高的工业应用价值和广泛的推广前景。

[参考文献]

[1] 闫刚. 矿石粒度对氰化浸金浸出率的影响研究[J]. 现代矿业, 2024, 40 (11): 182-185.

[2] 徐斌, 刘星奥, 董中林, 等. 低毒提金剂的研究现状与应用[J]. 中国有色金属学报, 2024, 34 (11): 3713-3734.

[3] 车贤. 氰化浸金的三大机理及强化工艺研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42 (07): 174-180.

[4] 张修超, 张世镖, 郝福来. 废旧电路板压力氧化—氰化提金试验研究[J]. 黄金, 2024, 45 (06): 50-54.

[5] 王宏杰, 王凯徽, 张浩强. 氰化尾渣压力氧化—氰化浸出金试验研究[J]. 黄金, 2024, 45 (04): 40-43.

[6] 周佳梦, 宋永辉, 张盼盼, 等. 微电解-絮凝沉淀协同处理氰化提金废水的研究[J]. 化学工业与工程, 2024, 41 (03): 98-105.

[7] 童嘉阳, 于熙洋. 一种用于超声波强化氰化提金的换能器的研制[J]. 湖州师范学院学报, 2022, 44 (10): 27-31.