

诊断浸出在某铜矿废石生物浸出研究中的应用

王梅君, 谢洪珍, 范道焱, 孙艳慧, 丁文涛

(低品位难处理黄金资源综合利用国家重点实验室, 厦门紫金矿冶技术有限公司,
福建 厦门 361101)

摘要: 为了能够快速判定铜的生物浸出性能, 通常会通过各种生物浸出试验进行判定, 本文通过对一种低成本、且快速的铜矿的浸出方式进行试验, 并与工艺矿物学、生物搅拌浸出、以及生物柱浸出试验进行对比, 其结果与工艺矿物学、生物搅拌浸出、以及生物柱浸出试验的结果基本相符, 可以对铜矿的生物堆浸进行初步的生物可浸性判定, 得出了这种可浸性浸出方式可以快速的、且低成本的对生物可浸性进行判定的结论。

关键词: 铜矿浸出率; 判定方法比较; 低成本; 快速

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.06.014

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 06-0073-04

生物堆浸作为一种环保的冶金方式^[1], 在低品位铜矿、表外矿以及废矿石的资源回收中有着不可替代的优势, 但是生物堆浸周期较长, 往往需要对矿石的可浸性进行判定后开展相关堆浸试验, 笔者通过工作实践探索, 尝试将铜矿诊断浸出方法用于低品位铜矿堆浸可浸性研究, 取得了较好的试验效果。

本文通过对3个矿样进行快速判定铜矿生物可浸性方法的试验验证, 与传统的矿物分析、生物搅拌浸出、生物柱浸出试验判定结果进行对比, 推荐一种快速的判定铜矿的生物可浸性的方法, 以便于在低成本基础上提高生物浸铜可行性的初步判定效率。

1 材料和方法

1.1 矿石及其性质

选取某矿山的铜矿废石1[#]、2[#]、3[#]代表性矿样作为试验样品, 其化学多元素、铜化学物相、铜矿物成分分析结果分别见表1~3。

表1 化学多元素分析结果/%

Table 1 Analysis results of multi-elements

名称	Cu	S	Mo	Fe	SiO ₂	Mg	As	Al ₂ O ₃	CaO
1 [#]	0.11	3.95	0.0021	3.81	74.05	0.10	0.0063	10.71	0.029
2 [#]	0.25	4.02	0.0028	3.56	72.76	0.13	0.0100	11.14	0.046
3 [#]	0.26	3.76	0.0040	3.60	74.28	0.10	0.0115	10.67	0.036

表2 铜化学物相分析结果

Table 2 Analysis results of Cu phase

样品	含量	自由氧化铜	结合氧化铜	次生硫化铜	原生硫化铜	合计
1 [#]	含量/%	0.014	0.0085	0.0665	0.027	0.116
	占有率/%	12.07	7.33	57.33	23.28	100.00
2 [#]	含量/%	0.026	0.0155	0.1075	0.0475	0.1965
	占有率/%	13.23	7.89	54.71	24.17	100.00
3 [#]	含量/%	0.032	0.0205	0.135	0.0445	0.232
	占有率/%	13.79	8.84	58.19	19.18	100.00

表3 铜矿物组成分析结果/%

Table 3 Analysis results of Cu mineral composition

名称	辉铜矿	铜蓝	砷黝铜矿	黄铜矿	合计
1 [#]	57.24	18.44	8.26	16.06	100.00
2 [#]	49.56	26.61	7.15	16.68	100.00
3 [#]	51.40	18.18	8.72	21.70	100.00

收稿日期: 2017-06-29

作者简介: 王梅君(1988-), 女, 研究生, 主要从事冶金与环保等相关研究工作。

表 1 ~ 3 结果表明, 3 个矿样的铜品位均较低, 属于低品位的铜矿石; 3 个矿样的铜矿的物相组成以次生硫化铜为主, 占 54%~59%, 氧化铜矿在 20% 左右; 矿物组成主要为辉铜矿和铜蓝。根据以上分析结果, 可以初步判断, 3 个矿样的生物可浸铜性, 铜浸出率约 70%~80%。

生物浸铜具体效果要通过工艺矿物学分析, 得出矿物的裂隙发育情况、铜与矿物的结合情况加以判断。

1.2 试验方法

1.2.1 诊断浸出

将矿石磨至粒度 $P_{90}=0.074\text{ mm}$, 然后分别进行酸浸、氰化浸出和王水浸出。试验步骤为: 酸浸采用搅拌浸出, 固液比 1: 2, 硫酸浓度 10%, 浸出时间 1 h, 固液分离后取 1/4 渣样送检; 余下 3/4 酸浸渣进行氰化浸出, 固液比 1: 2, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 调节 pH 值至 10~11, NaCN 浓度 1%, 浸出时间 2 h, 固液分离后取 3/16 渣送检; 剩余渣进行王水浸出, 固液比 1:2, 王水加热 80°C , 浸出时间 1 h, 固液分离后渣送检^[2]。

1.2.2 生物搅拌浸出

矿石磨至粒度 $P_{90}=0.074\text{ mm}$, 用酸进行预处理, 条件为: 固液比 1:2, 硫酸浓度 10 g/L, 搅拌 30 min, 过滤洗涤后滤渣加入到电位大于 600 mV 的菌液体系中, 矿浆浓度 20%, 加矿后电位达到 600 mV 后开始每天取样, 取样量为 100 mL 矿浆。固液分离, 渣洗至中性, 在 60°C 下烘干后送检。

1.2.3 生物柱浸试验

制备好的矿样, 粒度为 30 mm, 装柱后记录入柱重量、测定含水率、设定调节好柱温、喷淋速度等参数^[3], 先用 20 g/L 的硫酸滴淋三天至柱下渗液 pH 值稳定小于 2, 开始加入培养好的菌液进行循环喷淋, 期间监测电位、pH 值, 定期取样, 分析铜、铁含量。若 pH 值大于 2 则补充硫酸至 $\text{pH}<1.5$; 溶液槽中铜离子浓度达到 1 g/L 时进行开路; 柱子和菌液槽控制温度 $40\sim45^\circ\text{C}$ 。

2 结果与讨论

2.1 诊断浸出浸出结果

诊断浸出的原理是: 认定为硫酸浸出的铜为氧化铜, 氰化钠浸出的为次生硫化铜, 由于大多数的铜矿都会快速的溶于氰化钠, 黄铜矿等原生硫化铜矿以及硅孔雀石的溶解速度较慢, 所以较短时间内的氰化钠浸出, 可认为溶解的是次生硫化铜矿, 最后不易溶解的铜矿石都溶于王水^[4]。

可浸性浸出试验仅需一天, 试验后每个样品仅需检测 3 个渣铜。试验结果见表 4。

表 4 诊断浸出试验结果
Table 4 Diagnostic leaching test results

样品 浸出条件	1 [#]		2 [#]		3 [#]	
	尾渣 品位/%	渣计浸 出率/%	尾渣 品位/%	渣计浸 出率/%	尾渣品 位/%	渣计浸 出率/%
H ₂ SO ₄	0.091	17.3	0.220	12.0	0.215	17.3
NaCN	0.027	58.2	0.049	68.4	0.040	67.3
王水	0.000	24.6	0.000	19.6	0.000	15.4
合计	-	100.0	-	100.0	-	100.0

从表 4 可知, 1[#]、2[#]、3[#] 的生物可浸性分别为 75.5%、80.4%、84.6%。与物相分析、矿物分析的结果较吻合。

2.2 生物搅拌浸出结果

生物搅拌浸出试验设定为 7 d, 试验每天取样, 可以同时获得 7 d 生物搅拌浸出的铜浸出率和硫氧化率的结果, 进而得出硫氧化率与铜浸出率的关系曲线, 此外, 还可以获得生物氧化过程中矿样的产酸情况。因此, 每个矿样共需检测 8 个渣铜。试验结果见表 5。

表 5 生物搅拌浸出试验结果
Table 5 Biological stirring leaching test results

天数 /d	1 [#]		2 [#]		3 [#]	
	渣铜 含量/%	浸出率 /%	渣铜 含量/%	浸出率 /%	渣铜 含量/%	浸出率 /%
1	-	-	-	-	-	-
2	0.047	57.3	-	-	-	-
3	0.032	70.9	0.061	75.6	0.052	80
4	0.027	75.5	0.048	80.8	0.047	81.9
5	0.027	75.5	0.046	81.6	0.043	83.5
6	0.024	78.2	0.053	78.8	0.043	83.5
7	0.025	77.3	0.039	84.4	0.04	84.6
7*	0.024	78.2	0.041	83.6	0.038	85.4

注: 电位到达 600mV 开始取样, * 为卸槽过滤, 代表整体情况。

表5的结果表明, 1[#]、2[#]、3[#]的生物搅拌浸出7 d的铜浸出率分别为78.2%、83.6%、85.4%。较好地印证了诊断浸出的结果。

2.3 生物柱浸结果

表6 生物柱浸试验结果
Table 6 Bioleaching test results

编号	1 [#]	2 [#]	3 [#]
22d	68.68	41.00	55.70
29d	76.91	45.25	59.86
36d	77.08	60.29	61.28
43d	78.24	74.23	62.85
50d	79.41	79.21	63.39
57d	79.97	80.73	63.83
64d	80.82	81.26	64.24
81d	81.81	86.23	66.19
105d	83.25	88.32	66.87
113d*	75.29	80.12	87.27

注: *为渣计的浸出结果, 其他为液计的浸出结果, 矿样品位较小, 液计有偏差, 以渣计为准。

表6结果表明, 浸出时间为113 d, 1[#]、2[#]、3[#]的浸出结果分别为75.29%、80.12%、87.27%, 与可浸性浸出的结果基本相符。

2.4 各浸出方式的比较

在铜矿的生物浸出试验中, 为了获得全面的工业参数, 经常是进行多个浸出方式的联合使用, 下面对各种浸出方式的浸出周期、试验费用以及特点进行了比较。

表7 各浸出方式的比较
Table 7 Contrast of types of leaching methods

试验方法	试验时间/d	试验费用/元	特点
摇瓶试验	30~60	1000	做出初步判断
矿物分析	14	4000~10000	得到全面矿物信息
诊断浸出试验	1	500	做出初步判断
生物搅拌浸出试验	7~15	1000~2000	做出初步判断
生物柱浸试验	100~300	15000~25000	得到堆浸初步参数

表7结果表明, 诊断浸出试验具有试验周期短、试验成本低的特点。对未知成分的矿物进行诊断浸出试验, 所得到的结果, 对矿物是否可浸, 以及后续是否需要进一步的试验, 有着重要的指导作用。同时, 可以减少试验时间和成本。

3 结 语

诊断浸出的结果与矿物分析、生物搅拌浸出以及生物柱浸试验的结果基本相符。在初步判断铜矿的生物可浸性方面, 诊断浸出具有着试验周期短, 试验成本低的特点, 诊断浸出试验可以与生物搅拌浸出试验、生物柱浸出试验一起联合使用, 得到初步的工业参数, 建议把诊断浸出纳入铜矿的生物浸出试验体系, 一是可以节省试验时间, 二是可以减少试验成本。

参考文献:

- [1] 王军. 低品位复杂硫化铜矿生物浸出的研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [2] Edited by Andrew L. Mular, Doug N. Haibe, and Derek J. Barrett. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control[M]. Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 2002.
- [3] 杨显万. 微生物湿法冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [4] Edited by Douglas E. Rawlings. Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997.

(下转 84)

(2) 原生矿中硫化物平均含金量为 62.64 g/t。
 (毒砂占硫化物总量 27.63% 时) 毒砂含金量显著高于黄铁矿, 经测算, 毒砂含金 204 g/t, 黄铁矿含金 40.80 g/t。氧化矿中硫化物平均含金量 172.34 g/t, (毒砂占硫化物总量 56.0%, 经测算, 毒砂含金 277.2 g/t, 黄铁矿含金 68.22 g/t。

(3) 黄铁矿 < 0.074 mm 粒级的量达到了 77.77%, 毒砂 < 0.074 mm 粒级的量达到了 92.47%, 说明黄铁矿和毒砂主要富集在 200 目以下的粒级范围内, 含金量高的毒砂原生粒度更细。

(4) 金精矿中硫化物和脉石矿物的单体解离

度较高, 提高精矿品位的可能性较大, 中矿次之, 尾矿中硫化物的单体解离度低。

参考文献:

[1] 蔡长金. 金矿物鉴定手册 [M]. 北京: 原子能出版社, 1993.
 [2] 周乐光. 工艺矿物学 [M]. 3 版. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
 [3] 谢菱芳. 电子探针在工艺矿物学中的应用 [J]. 云南冶金, 2011, 40 (1) : 62-65.
 [4] 曾令熙. 某金矿工艺矿物学研究及其与选矿工艺的相关性分析 [J]. 中国矿业, 2008, 17 (4) : 73-75.

The Gold Deposit Processing Mineralogy study in Qinghai Province

Wang Yue, Wang Jing, Li Xiaoyu, Zhou Mangeng

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The paper takes the primary ore and oxide ore of some Gold Deposit in Qinghai as the research object, using detailed processing mineralogy study, through chemical analysis, heavy-sand analysis, microscope appraisal as well as MLA automated analysis. The occurrence and distribution law of the gold deposit is revealed that the raw ore is granite type gold deposit containing sulfide, gold in the ore is mainly sub-microscopic shape (<0.02 μm) hosted in arsenopyrite and pyrite, and there are no independent gold minerals in the ores. Gold contents in arsenopyrite were significantly higher than that of pyrite. The gold content of the ore is higher than that in the native oxide ore.

Keywords: Gold deposit; Arsenopyrite; Pyrite; Processing mineralogy

////////////////////////////////////
 (上接 75 页)

Application of Diagnostic Leaching in Bioleaching of Waste Rock in a Copper Ore

Wang Meijun, Xie Hongzhen, Fan Taoyan, Sun Yanhui, Ding Wentao

(State Key Laboratory for Comprehensive Utilization of Low-grade Refractory Gold Resources, Xiamen Zijin Mining Technology Co., Ltd., Xiamen, Fujian, China)

Abstract: In order to determine the biological leaching performance of copper, it is usually judged by leaching tests of various organisms. In this paper, the leaching method of a low-cost and rapid copper ore is tested and compared with the process mineralization, biological stirring Leaching, and biological column leaching test. The results are in good agreement with the results of process mineralogy, bio-stirring leaching, and bio-column leaching test, which can be used to determine the biological bioavailability of bio-heap leaching in copper mine. This leachable leaching method allows for rapid and low-cost determination of bioavailability.

Keywords: Copper leaching rate; Determine; Method comparison; Low cost; Fast