

基于 Freundlich 吸附等温方程测定氰化提金 工艺用活性炭的吸附金容量

陈祝海^{1,2}

(1. 紫金矿业集团股份有限公司, 福建龙岩 364000; 2. 福建紫金矿冶测试技术有限公司, 福建龙岩 364000)

摘要: 活性炭作为金的良好吸附剂广泛地应用在氰化提金生产工艺中, 因此对活性炭吸附金性能的评价是非常重要的。在参考氰化提金生产工艺的基础上, 模拟活性炭吸附氰化液中金的过程, 基于 Freundlich 吸附等温方程, 建立活性炭吸附金容量的测定方法。通过考察一系列对吸附金容量测定的影响因素, 优化和确定了测定方法的条件: 吸附振荡时间为 16 h, 吸附溶液体积为 150 mL, 活性炭粒度在 0.074 mm 以下, 振荡器转速为 200 r/min, 吸附溶液 pH 值为 11.5, 振荡温度为 $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$, 吸附溶液中氰化钠质量浓度为 0.2 g/L。按照实验方法测定了 2 个活性炭实际样品的吸附金容量, 结果的相对标准偏差 (RSD, $n=11$) 分别为 4.2% 和 4.8%。并对不同活性炭的吸附金容量情况与碘值进行对比, 结果表明实验方法具有可比性。

关键词: 氰化提金; 活性炭; Freundlich 方程; 吸附金容量

中图分类号: O647.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-7571(2020)02-0029-07

金湿法冶炼工艺中, 矿物中的金被碱性氰化物溶液提取, 活性炭作为金的良好吸附剂被广泛应用。自 20 世纪 80 年代引进炭浆法并推广后, 活性炭吸附工艺已是我国黄金生产主要的手段之一^[1-2]。在提金工艺中, 具有高效吸附金性能的活性炭是保证生产的核心之一, 活性炭吸附金性能的优劣将影响着对金的回收效率, 进而影响生产成本。活性炭对金化合物吸附的研究很多, 其中对金吸附性能的评价采用吸附曲线、吸附量或吸附率等来表征^[3-6], 测定方法各不相同。目前国内外通常采用测定其他吸附参数, 如碘吸附值^[7]、亚甲基蓝吸附值^[8]等, 间接反映活性炭的吸附金能力。但由于活性炭吸附金的机制复杂^[9-15], 与吸附碘等分子的机制存在明显差异, 因而采用间接碘值参数无法准确而有效地反映活性炭实际吸附金的能力。虽然活性炭吸附金是一个复杂的过程, 研究^[3, 16-19]表明活性炭吸附氰化亚金很好地符合 Freundlich 等温吸附方程。因此, 本文基于 Freundlich 吸附等温方程, 采用氰化钠直接溶解金配制吸附溶液, 考察各个影响因素对吸附容量及其测定的影响, 建立了测定活性炭吸附金容量的方法, 以准确评价活性炭吸附金的性能, 为生产提供可靠的数据指标, 有效地指导生产。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器

DHG-9203A 型电热恒温鼓风干燥箱 (上海精密实验设备有限公司), RH-QA 型恒温振荡器 (常州中诚仪器制造有限公司), 一次性注射器, 针头式过滤器 ($0.45 \mu\text{m}$), iCE 3300 原子吸收光谱仪 (赛默飞世尔科技有限公司)。

1.1.2 试剂

海绵金 (纯度不小于 99.99%); 氰化钠 (化学纯); 氢氧化钠 (分析纯); 盐酸 (分析纯); 硝酸 (分析纯); 过氧化氢 (分析纯); 氢氧化钠溶液 (pH 11.5); 称取 0.15 g 氢氧化钠置于 2000 mL 烧杯中, 加入 1000 mL 水, 使溶解完全, 调节溶液 pH 值至 11.5; 氰化钠溶液: 100 g/L, 称取 5.0 g 氰化钠, 加入 50 mL 氢氧化钠溶液, 搅拌溶解; 金标准溶液: $100.0 \mu\text{g}/\text{mL}$, 称取 0.1000 g 海绵金于 50 mL 烧杯中, 加入 2 mL 氰化钠溶液, 再加入 5~10 mL 氢氧化钠溶液, 在搅拌及低温加热条件下缓慢地间隔时间逐滴加入约 0.5 mL 过氧化氢, 使金完全溶解, 移入 1000 mL 容量瓶中, 用氢氧化钠溶液稀释至刻

收稿日期: 2019-08-23

作者简介: 陈祝海 (1986—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为矿物分析、工业分析和标准分析方法研究; E-mail: chen_zhuhai@zijinmining.com

度,混匀。

1.2 实验方法

1.2.1 试样

将样品研磨成粉末,粒度应不大于 0.074 mm。将样品置于称量瓶中,在 100~105 °C 烘干恒重,置于干燥器中冷却至室温。

1.2.2 测定步骤

分别移取 150 mL 金标准溶液于一组 250 mL 锥形瓶中,作为吸附溶液。快速称取 0.10、0.20、0.50、0.75、1.00 g(精确至 0.0001 g)活性炭试样分别放入锥形瓶中,摇动使试样完全浸于吸附溶液中,密封瓶口。置于恒温振荡器上,调节振荡器转速至 200 r/min,控制温度为(30±1) °C,持续振荡 16 h。逐一取出锥形瓶,立即用针头式过滤器过滤吸附后溶液,移取 5.00 mL 滤液于烧杯,加入 5 mL 王水(1+1),置于电热板上,加热蒸发至近干。取下稍冷,加入 10 mL 盐酸(1+1),加热使盐类溶解。冷却后将溶液移入 100 mL 容量瓶,用水稀释至刻度,混匀。于原子吸收光谱仪在波长 242.8 nm 处,测量试液中金的质量浓度。

1.2.3 结果计算

根据吸附后溶液中金的质量浓度 C_e ,按照式(1)计算出试样吸附金容量 Q_e 。分别对 Q_e 和 C_e 取对数,以 $\lg C_e$ 为横坐标, $\lg Q_e$ 为纵坐标,绘制 Freundlich 吸附等温线,拟合 Freundlich 吸附等温方程(式(2)):

$$Q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/m \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\lg Q_e = \frac{1}{n} \lg C_e + \lg k \quad (2)$$

式中: Q_e 为试样吸附金容量, g/kg; C_0 为吸附前溶液中金质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; C_e 为吸附后溶液中金质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V 为吸附溶液体积, mL; m 为试样质量, g; n 、 k 为常数。

根据上述拟合方程, C_e 为 1.0 $\mu\text{g/mL}$ 时所对应的 Q_e 值即为试样吸附金容量。

2 结果与讨论

2.1 活性炭吸附金过程的 Freundlich 等温吸附方程

Freundlich 等温吸附方程是一个适用性广的经验方程,许多研究成果^[3,16-19]中也显示了活性炭吸附氰化亚金钠的吸附曲线符合 Freundlich 等温吸附方程。图 1 中显示了 5 个不同活性炭拟合 Freundlich 方程的情况,线性相关系数均在 0.99 以上,表明活性炭吸附金的过程很好地符合 Freundlich 等温吸附方程,应用该等温吸附方程对活性炭吸附

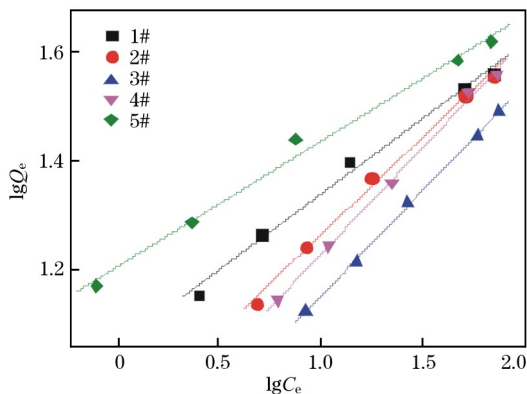


图 1 活性炭吸附 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 的 Freundlich 等温吸附曲线

Fig. 1 The Freundlich adsorption isotherm curves of $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ adsorption on activated carbon

金容量进行测定是可行的。

2.2 吸附金容量测定方法条件的建立

通过考察吸附时间、吸附溶液体积、活性炭粒度、振荡器转速、吸附溶液 pH 值、吸附温度、吸附溶液中氰化钠质量浓度等一系列因素对 Freundlich 吸附等温方程应用于活性炭吸附金容量测定的影响,确定测定方法的各个条件。

2.2.1 吸附时间对吸附金容量测定的影响

Freundlich 等温吸附方程是基于吸附平衡后的经验方程,因此振荡吸附时间对吸附金容量的测定是一个重要影响因素。从图 2 结果可以看出,随着振荡时间的增加,吸附金容量也随之增加,到 12 h 后趋于稳定,因此选择吸附金容量测定的吸附平衡时间为 16 h。

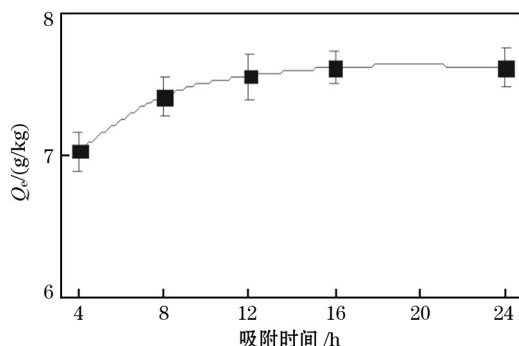


图 2 吸附时间对吸附金容量测定结果的影响

Fig. 2 Effects of adsorption time on the determination of gold adsorption capacity

2.2.2 吸附溶液体积对吸附金容量测定的影响

从 Freundlich 等温吸附方程原理来说,吸附溶液的体积对结果是没有影响的。从图 3 结果也可以

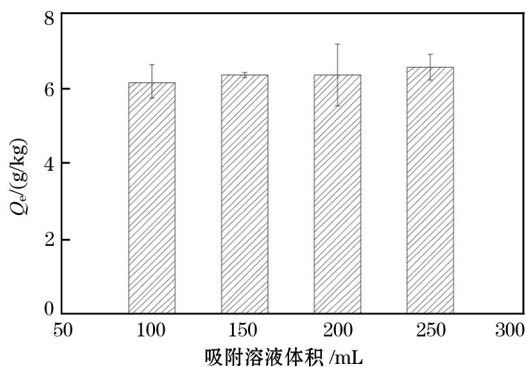


图3 吸附溶液体积对吸附金容量测定结果的影响
Fig. 3 Effects of adsorption solution volume on the determination of gold adsorption capacity

看出,吸附溶液体积在 100~250 mL 时,不同吸附溶液体积对吸附金容量的测定没有显著影响。综合考虑操作的便利性、试剂用量等因素,选用吸附溶液体积为 150 mL。

2.2.3 活性炭粒度对吸附金容量测定的影响

图 4 展示了活性炭在不同粒度条件下吸附 16 h 的吸附金容量的情况。从结果可以看出,在相同时间内,不同粒度的活性炭其吸附金容量明显不同。随着颗粒越小,吸附金容量越大。当粒度达到 -180 目 (<0.088 mm) 以下后,吸附金容量结果基本相同。因此,选用 -200 目 (<0.074 mm) 的试样进行测定。

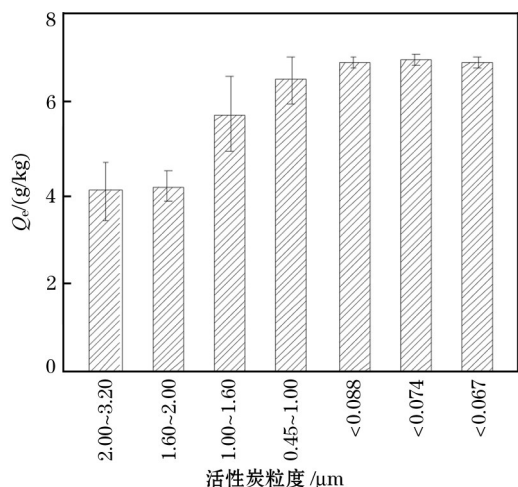


图4 活性炭粒度对吸附金容量测定结果的影响
Fig. 4 Effects of activated carbon particle size on the determination of gold adsorption capacity

同时,进一步考察了活性炭在大颗粒情况下 (-6~+16 目,即大于 1.25 mm 且不大于 3.2 mm),延长吸附时间的变化,结果见图 5。从结果可以看

出,随着吸附时间的延长,吸附金容量逐渐增加,在长时间吸附(72h)后趋于稳定,吸附 72h 与 96h 测定结果一致。同时,活性炭在 -6~+16 目粒度范围在长时间吸附后的吸附金容量(96h)与粉末测得的吸附金容量一致。这表明,活性炭粒度会对金吸附平衡时间产生影响,但对平衡吸附容量不会产生影响。因此,采用粉末进行测定的方法是可行的,并且能够大大缩短采用颗粒进行测定的时间。

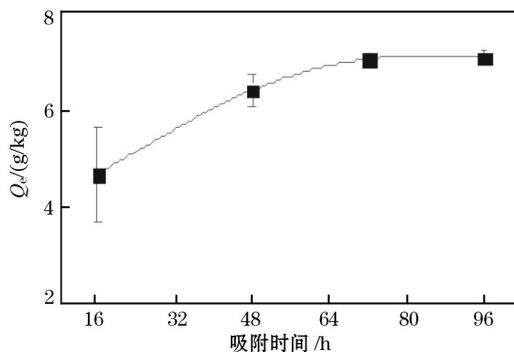


图5 活性炭粒度在 -6~+16 目范围不同吸附时间的吸附金容量
Fig. 5 Gold adsorption capacity of activated carbon with different particle size between -6 and +16 mesh

2.2.4 振荡器转速对吸附金容量测定的影响

振荡器转速控制着活性炭与吸附溶液接触的充分性及扩散层的传质速率。从图 6 结果可以看出,在较高转速范围内,吸附金容量不随转速的变化而变化,但在较低转速下,随着转速的降低,吸附金容量降低。这应该是由活性炭在低转速下与吸附溶液接触不充分造成的。因此,需要选择较高的转速

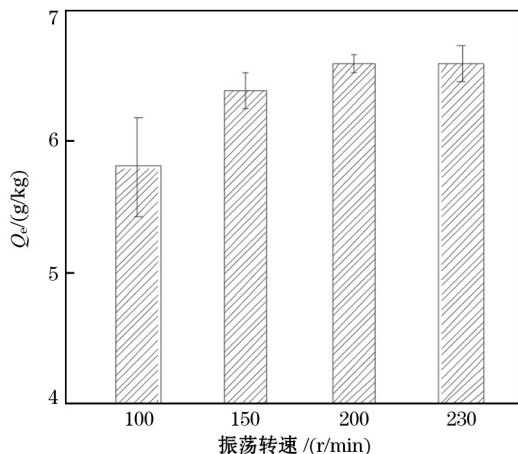


图6 振荡器转速对吸附金容量测定结果的影响
Fig. 6 Effects of shaker rotating speed on the determination of gold adsorption capacity

以保证活性炭与吸附溶液的充分接触,故选择振荡器转速为 200 r/min。

2.2.5 吸附溶液 pH 值对吸附金容量测定的影响

吸附溶液 pH 值是影响金吸附的重要因素^[9,15]。活性炭在 pH 9.5~12.0 的吸附溶液中吸附金容量见图 7。从结果可以看出,吸附溶液的 pH 值对吸附金容量的影响显著,随着 pH 值增大,吸附金容量减小。但在 pH 值较高时,变化趋势减小。pH 值从 11.0 到 11.5,吸附金容量增加变得不明显,pH 11.5 与 12.0 的没有显著区别。同时,从安全使用氰化钠的角度考虑,调节吸附溶液 pH 值为 11.5 作为吸附金容量测定条件。

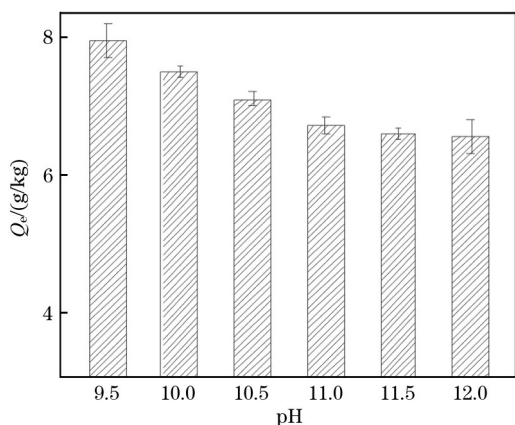


图 7 吸附溶液 pH 值对吸附金容量测定结果的影响

Fig. 7 Effects of pH of adsorption solution on the determination of gold adsorption capacity

2.2.6 振荡温度对吸附金容量测定的影响

吸附等温方程中温度是最重要的决定因素之一。从图 8 结果可以看出,温度对吸附金容量的影响显著。在 20~35℃,随着温度降低,吸附金容量增加。因活性炭吸附金是一个放热过程,在一定温度范围内,随着温度的降低会造成吸附量的增加。因此,温度对吸附金容量测定有重要影响,在测定

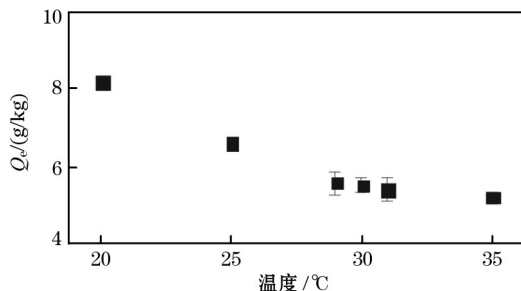


图 8 振荡温度对吸附金容量测定结果的影响

Fig. 8 Effects of temperature on the determination of gold adsorption capacity

时需要较好的控制温度。在 30~35℃ 的差距相对较小,进一步考察 29、30、31℃ 3 个点。可以看出 3 个结果无显著差异,从结果及实验操作综合考虑,需要严格控制温度,选择振荡温度为(30±1)℃。

2.2.7 吸附溶液中氰化钠质量浓度对吸附金容量测定的影响

通过初始加入氰化钠的量来调节吸附溶液中氰根浓度,考察吸附溶液中氰化钠质量浓度对吸附金容量的影响,结果见图 9。从图 9 可以看出:初始吸附溶液中氰化钠质量浓度为 0.05~0.5 g/L 时吸附金容量没有明显区别;而氰化钠质量浓度为 1 和 5 g/L 时吸附金容量明显增大,且随着浓度的增加而增大。氰化钠在低浓度下对吸附金容量的影响不明显,在高浓度下影响显著。综合考虑矿山上使用氰化钠浓度,因此,选择氰化钠溶液质量浓度为 0.2 g/L。

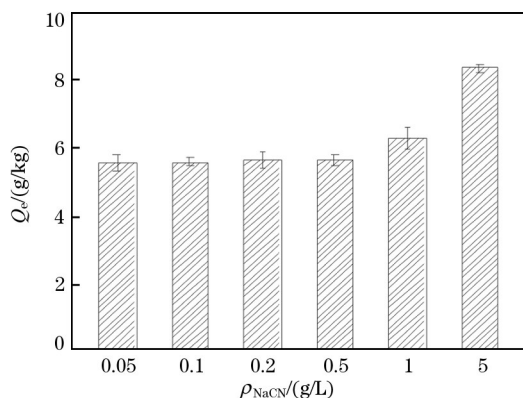


图 9 吸附溶液中氰化钠浓度对吸附金容量测定结果的影响

Fig. 9 Effects of NaCN concentration in adsorption solution on the determination of gold adsorption capacity

2.3 精密度试验

通过上述试验及结果分析,确定了测定活性炭吸附金容量的条件。在此测定条件下,分别对 2 个活性炭样品进行了独立重复试验,每个样品测定 11 次,结果如表 1 所示。所有结果均能够很好地符合 Freundlich 吸附等温方程,线性相关系数均大于 0.99,两个样品吸附金容量值的相对标准偏差(RSD)分别为 4.2% 和 4.8%。

2.4 吸附金容量测定方法的应用

为进一步验证方法的可靠性,进行了不同活性炭吸附金容量的测定,并与碘吸附值^[7]进行比对。图 10 显示了不同厂家椰壳活性炭吸附金容量与碘值的比对情况。可以看出,不同厂家生产的活性炭

表 1 精密度试验结果
Table 1 Results of precision test

项目 Item	试样 1# Sample 1#					试样 2# Sample 2#				
	$\lg Q_e = \frac{1}{n} \lg C_e + \lg k$	相关系数(r) Correlation coefficient	吸附金容量 Gold adsorption capacity/(g/kg)	平均值 Average/(g/kg)	RSD/ %	$\lg Q_e = \frac{1}{n} \lg C_e + \lg k$	相关系数(r) Correlation coefficient	吸附金容量 Gold adsorption capacity/(g/kg)	平均值 Average/(g/kg)	RSD/ %
1	$Y=0.3493X+0.7703$	0.9967	5.89			$Y=0.3016X+1.0277$	0.9952	10.66		
2	$Y=0.3937X+0.7230$	0.9995	5.28			$Y=0.3133X+1.0111$	0.9997	10.26		
3	$Y=0.3682X+0.7590$	0.9988	5.74			$Y=0.3047X+1.0583$	0.9976	11.44		
4	$Y=0.3812X+0.7428$	0.9989	5.53			$Y=0.2938X+1.0643$	0.9995	11.60		
5	$Y=0.4222X+0.7612$	0.9956	5.77			$Y=0.3016X+1.0535$	0.9993	11.31		
6	$Y=0.4020X+0.7263$	0.9984	5.32	5.64	4.2	$Y=0.3008X+1.0346$	0.9959	10.83	11.01	4.8
7	$Y=0.3616X+0.7806$	0.9996	6.03			$Y=0.3109X+1.0221$	0.9966	10.52		
8	$Y=0.4127X+0.7380$	0.9992	5.47			$Y=0.2962X+1.0098$	0.9963	10.23		
9	$Y=0.3987X+0.7576$	0.9989	5.72			$Y=0.2930X+1.0644$	0.9986	11.59		
10	$Y=0.4221X+0.7407$	0.9990	5.50			$Y=0.2978X+1.0495$	0.9995	11.21		
11	$Y=0.4048X+0.7634$	0.9992	5.80			$Y=0.2911X+1.0585$	0.9959	11.44		

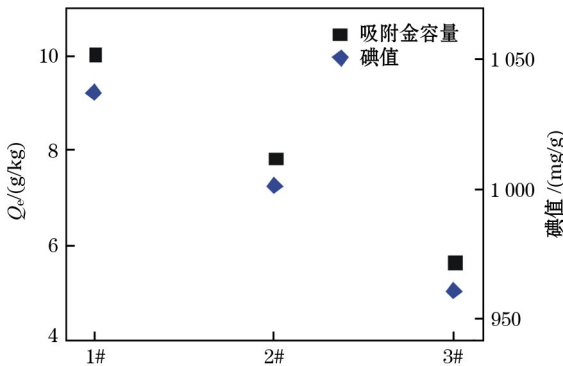


图 10 椰壳活性炭吸附金容量与碘值的比对
Fig. 10 Comparison of gold adsorption capacity and iodine number of coconut shell activated carbon

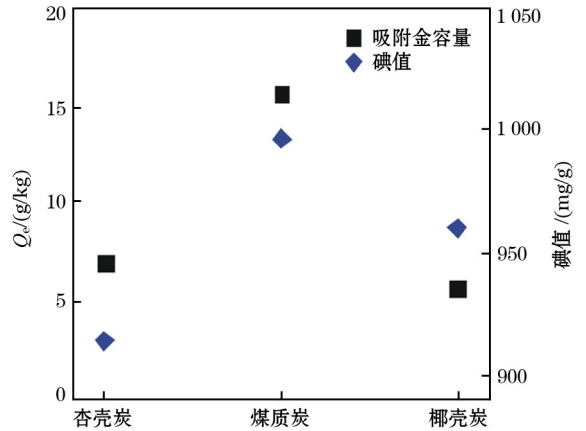


图 11 不同活性炭吸附金容量与碘值的比对
Fig. 11 Comparison of gold adsorption capacity and iodine number of different activated carbon

具有不同的吸附金容量与碘值,吸附金容量与碘值大小趋势相一致。这说明本方法是能够准确反映活性炭吸附金容量的能力。

此外,对不同种类活性炭吸附金容量与碘值进行比对,结果如图 11。从结果中可以看出不同种类活性炭具有不同的吸附金容量与碘值。碘值高的煤质炭,其吸附金容量也高。虽然椰壳炭的碘值比杏壳炭的高,但椰壳炭的吸附金容量却比杏壳炭的稍低。造成这种原因可能是由于不同种类活性炭的微小表面性能不同引起的,比如表面电荷的不同、官能团的不同,均会对活性炭吸附金产生影响。

综合不同厂家椰壳炭和不同种类活性炭的对比结果,说明碘值并不能完全地反映活性炭吸附金容量的性能。因此,有必要建立直接测定活性炭吸附金容量的方法。本文建立的方法能够有效直接地测定和反映活性炭吸附金的容量,是可行的方法。

参考文献:

[1] 胡春融,杨凤,杨廻春.黄金选冶技术现状及发展趋势[J].黄金,2006,27(7):29-36.
HU Chun-rong, YANG Feng, YANG Hui-chun. Current status and developing tendency of gold extraction [J]. Gold, 2006, 27(7): 29-36.

[2] 孙亦飞.现代黄金冶炼技术[M].北京:冶金工业出版社, 2014:37-39.

[3] 张文阁,杨小霞.氰化物溶液中活性炭吸附金的研究[J].有色金属,1983,35(3):52-58.
ZHANG Wen-ge, YANG Xiao-xia. On the characteristics of adsorption of gold from cyanide solution with activated carbon [J]. Nonferrous Metals, 1983, 35(3): 52-58.

[4] 伍喜庆,黄志华.改性活性炭吸附金的性能[J].中国有色金属学报,2005,15(1):129-132.
WU Xi-qing, HUANG Zhi-hua. Adsorption of gold on

- modified activated carbon [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(1): 129-132.
- [5] 张全祯. 提金用活性炭性能测定及选优[J]. 黄金, 1991, 12(12): 39-42.
ZHANG Quan-zhen. The identification of the performance of activated carbon for use in gold extraction and the optimum seeking of activated carbon [J]. Gold, 1991, 12(12): 39-42.
- [6] 李桂芹. 提金用活性炭的性能测试与质量标准的探讨[J]. 中国矿业, 1997, 6(6): 63-65.
LI Gui-qin. On measuring the performance and quality standard of activated carbon [J]. China Mining Magazine, 1997, 6(6): 63-65.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12496. 8—2015 木质活性炭试验方法 碘吸附值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [8] 国家质量技术监督局. GB/T 12496. 10—1999 木质活性炭试验方法 亚甲基蓝吸附值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [9] McDougall G J, Hancock R D, Nicol M J, et al. The mechanism of adsorption of gold cyanide on activated carbon [J]. Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy, 1980(80): 344-356.
- [10] 米列图科夫 M A, 朱长亮, 杨兴英, 等. 活性炭吸附金络合物机理(待续) [J]. 黄金, 2005, 26(9): 57.
Meretukov M A, ZHU Chang-liang, YANG Xing-ying, et al. The mechanism of adsorption of gold cyanide complex on activated carbon (to be continued) [J]. Gold, 2005, 26(9): 57.
- [11] Jia Y F, Steele C J, Hayward I P, et al. Mechanism of adsorption of gold and silver species on activated carbons [J]. Carbon, 1998, 36(9): 1299-1308.
- [12] 张锦瑞. 活性炭的特性及其吸附金的机理 [J]. 有色矿山, 1994(5): 39-40.
ZHANG Jin-rui. Characteristics of activated carbon and its mechanism of gold adsorption [J]. Nonferrous Mines, 1994(5): 39-40.
- [13] 孙兴家. 活性炭吸附金的机理、应用及工艺管理 [J]. 黄金科学技术, 1994, 2(5): 34-38.
SUN Xing-jia. Mechanism, application and process management of activated carbon gold adsorption [J]. Gold Science and technology, 1994, 2(5): 34-38.
- [14] Lagerge S, Zajac J, Partyka S, et al. A Two-stage adsorption of cyanide gold complexes onto activated carbon inferred from various experimental studies [J]. Langmuir, 1997, 13: 4683-4692.
- [15] 杨中山, 刘庭耀, 王宝, 等. 活性炭吸附提取氧化亚金离子的数学模拟 [J]. 过程工程学报, 2015, 15(4): 594-598.
YANG Zhong-shan, LIU Ting-yao, WANG Bao, et al. Mathematical simulation on adsorption of aurous cyanide ion with activated carbon [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2015, 15(4): 594-598.
- [16] 桑巴里奥 C H, 仲崇波. 活性炭在提金过程中的特性 [J]. 国外金属矿选矿, 1996(7): 20-23.
Sambario C H, ZHONG Chong-bo. Characteristics of activated carbon in the process of gold extraction [J]. Metallic Ore Dressing Abroad, 1996(7): 20-23.
- [17] 张文耀, 陈鹏, 安丰刚. 活性炭吸附 Au(CN)₂-机理研究 [J]. 新型碳材料, 1992(3): 52-55.
ZHANG Wen-yao, CHEN Peng, AN Feng-gang. Study of adsorption mechanism of Au(CN)₂-by activated carbon [J]. New Carbon Materials, 1992(3): 52-55.
- [18] Mustafa Y, Ali I A. Gold cyanide adsorption characteristics of activated carbon of non-coconut shell origin [J]. Hydrometallurgy, 2002, 63(2): 201-206.
- [19] 马振佳, 陈雯, 朱云, 等. 椰壳活性炭在炭浆法吸金阶段的吸附性能变化 [J]. 矿冶, 2014, 23(5): 52-55.
MA Zhen-jia, CHEN Wen, ZHU Yun, et al. Adsorption property changes of coconut shell activated carbon during CIP gold adsorption stage [J]. Mining & Metallurgy, 2014, 23(5): 52-55.

Determination of gold adsorption capacity of activated carbon in cyanide leaching process based on Freundlich adsorption isotherm equation

CHEN Zhu-hai^{1,2}

(1. Zijin Mining Group Co., Ltd., Longyan 364000, China; 2. Fujian Zijin Mining and Metallurgy Testing Technology Co., Ltd., Longyan 364000, China)

Abstract: Activated carbon is a good adsorbent for gold and it has been widely used in cyanide leaching

process. Therefore, it is very important to evaluate the gold adsorption performance of activated carbon. The cyanide leaching process was referred to simulate the adsorption of gold in cyanide solution by activated carbon. The determination method of gold adsorption capacity of activated carbon was established based on the Freundlich adsorption isotherm equation. A series of factors influencing on the determination of gold adsorption capacity were investigated to optimize and obtain the measurement conditions; the adsorption oscillation time was 16 h; the volume of adsorption solution was 150 mL; the grain size of activated carbon was less than 0.074 mm; the rotating speed of oscillator was 200 r/min; the pH of adsorption solution was 11.5; the oscillation temperature was $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$; the mass concentration of sodium cyanide in adsorption solution was 0.2 g/L. The gold adsorption capacities of two actual activated carbon samples were determined according to the experimental method. The relative standard deviation (RSD, $n=11$) was 4.2% and 4.8%, respectively. The gold adsorption capacities of different activated carbons were compared with their iodine numbers, and the results indicated that the proposed method was comparable.

Key words: gold extraction by cyanide leaching; activated carbon; Freundlich equation; gold adsorption capacity

《冶金分析》4 篇文章入选 2019 年度领跑者 5000(F5000) 顶尖学术论文

根据中信所“2019 年中国科技论文统计结果发布会”结果,《冶金分析》有 4 篇稿件入选领跑者 5000—中国精品科技期刊顶尖学术论文。入选 2019 年度 F5000 论文的信息如下。

1. 论文标题: X 射线荧光光谱分析熔融法制样的系统研究; 文献来源: 冶金分析, 2015, 35(7): 1-9; 作者: 李国会, 李小莉; 机构: 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 天津地质矿产研究所。

2. 论文标题: 电感耦合等离子体质谱技术进展及其在冶金分析中的应用; 文献来源: 冶金分析, 2016, 36(7): 1-14; 作者: 靳兰兰, 王秀季, 李会来, 刘文霞, 胡圣虹; 机构: 中国地质大学武汉生物地质与环境地质国家重点实验室, 广东医科大学湛江科研中心。

3. 论文标题: X 射线荧光光谱法测定透辉石中氧化钙、氧化镁和二氧化硅; 文献来源: 冶金分析, 2018, 38(3): 29-34; 作者: 赵伟, 夏传波, 姜云, 王卿, 张会堂; 机构: 山东省地质科学研究所, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室。

4. 论文标题: X 射线荧光光谱法测定以镍和钴为主的多金属矿中主次成分; 文献来源: 冶金分析, 2018, 38(4): 51-56; 作者: 曾美云, 邹棣华, 李小丹, 杨小丽; 机构: 中国地质调查局武汉地质调查中心。