

氯化法提金工艺技术研究进展

师兆忠^{1,2}

- (1. 河南省先进材料与绿色过程工程技术研究中心, 河南 开封 475004;
2. 开封大学材料与化学工程学院, 河南 开封 475004)

摘要: 氯化提金是一种重要的无氰提金工艺方法, 因为其具有浸出率高、且不使用氰化物的优势而越来越被重视。2010 年以来氯化提金研究呈现明显增加趋势, 且液氯化提金研究文献更多。氯化法提金工艺诞生不久, 氰化法相继问世, 当时由于材料工业比较落后, 氯化法面临的腐蚀问题限制了其发展, 随之被氰化法所替代。2000 年以来, 材料科学得到了迅猛发展, 先进的耐腐蚀材料为氯化法扫清了障碍, 随着人类社会的发展, 工业生产所带来的生态平衡和环境保护问题超过了工业发展的本身, 因此, 氯化提金工艺将会得到更大的发展。

关键词: 氯化提金; 液氯化法; 氯化焙烧; 氯酸盐; 次氯酸盐

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.015

中图分类号: TD982 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 03-0080-06

氯化法提金产生于 1948 年, 它的主要原料是含氯物质氯气、盐酸、氯盐、次氯酸盐等, 利用氯与金形成配合物的特点, 使金与其他元素分离, 从而进一步提纯、精炼得到高纯金。氯化法提金可以分为液氯化法和氯化焙烧法, 液氯化法又称为水溶液氯化法或水氯化法, 液氯化法的另一种形式又称为电氯化法, 就是通过电解氯化钠得到氯气浸出金的方法; 氯化焙烧法也称为氯化挥发法, 利用氯化钙或者氯化钠与硫化物金矿混合, 在高温条件下, 使金氯化物挥发并被捕集与烟尘中进行湿法回收。

氯化法提金工艺诞生不久, 氰化法相继问世, 当时由于材料工业比较落后, 氯化法面临的腐蚀问题限制了其发展, 随之被氰化法所替代。进入 21 世纪以来, 材料科学得到了迅猛发展, 各种各样的耐腐蚀材料为氯化法扫清了障碍, 而且, 随着人类社会的发展, 人们对工业生产所带来的生态平衡和环境保护问题的认识超过了工业发展的本身, 因此, 氰化法提金的不足逐渐显

现, 一是氰化法本身产生氰化尾渣而带来的土地资源和矿物资源的浪费, 二是氰化法使用的氰化物属于剧毒物质, 不符合清洁生产要求, 鉴于上述两点不足, 氯化提金可能再次成为黄金冶炼行业关注的重要方法。

1 理论研究

1.1 热力学研究

金创石等^[1]针对氯化物浸金体系进行了热力学计算, 绘制出了 Au-Cl-H₂O 体系电位-pH 图 (图 1), lg[AuIII]-pH 图 (图 2), lg[Cl⁻]-pH 图 (图 3), 分析了金氯化过程中的影响因素, 从保证金尽可能被浸出的角度来说, 热力学较佳条件为 pH 3.5~7.8, 氧化电位大于 0.9 V, 氯化物浓度高于 1 mol/L, AuCl₄⁻浓度 1×10⁻⁵~1×10⁻⁴ mol/L。

陈亮等^[2]用电位仪测定了次氯酸钠在不同浓度和 pH 值条件下金阳极溶解极化曲线, 结果表明, 在浓度 0.75 mol/L 时金阳极开始钝化, 浸出结果与电化学结果一致, 不同 pH 值条件下, 金的

收稿日期: 2021-03-21

基金项目: 河南省科技攻关计划项目 (No.162102210342); 河南省高等学校重点科研项目计划项目 (21B610008); 开封市科技发展计划项目 (2103002)

作者简介: 师兆忠 (1968-), 男, 博士, 教授。主要研究方向为工业固废资源化利用及过程清洁生产工艺。

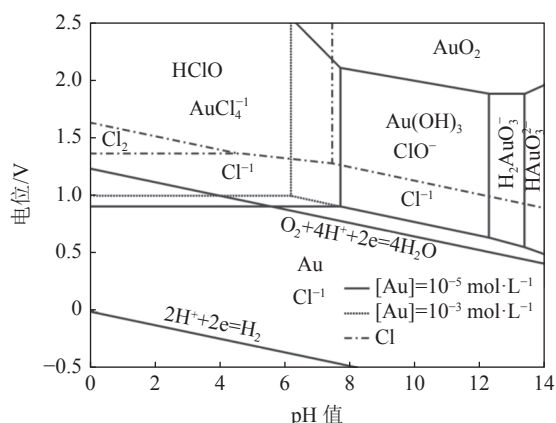


图1 298.15 K 时 Au-Cl-H₂O 体系电位-pH (P=1.0)^[1]
Fig.1 E-pH diagram of Au-Cl-H₂O system at 298.15 K

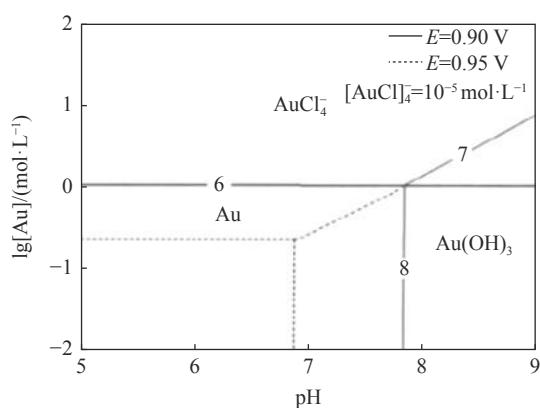


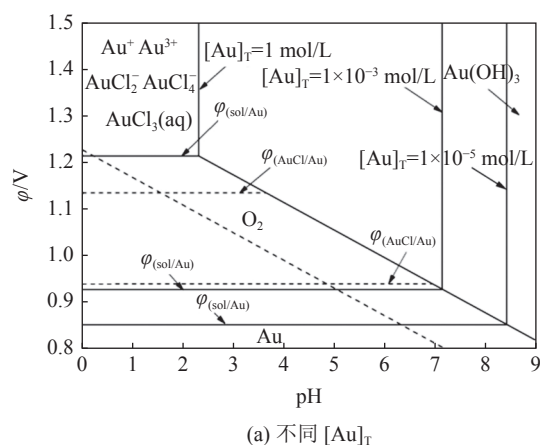
图2 298.15 K 时 Au-Cl-H₂O 体系的 lg[Au(III)]-pH^[1]
Fig.2 lg[Au(III)]-pH diagram of Au-Cl-H₂O system at 298.15 K

腐蚀速率随 pH 增大而增大，当 pH 值大于 12 后浸出率稍有下降。屈时汉^[3]研究了酸性水氯化体系中，电位与贵金属浸出率的关系，研究表明，当体系电位 (1200±100) mV 时，贵金属的浸出率均在 99.0%。

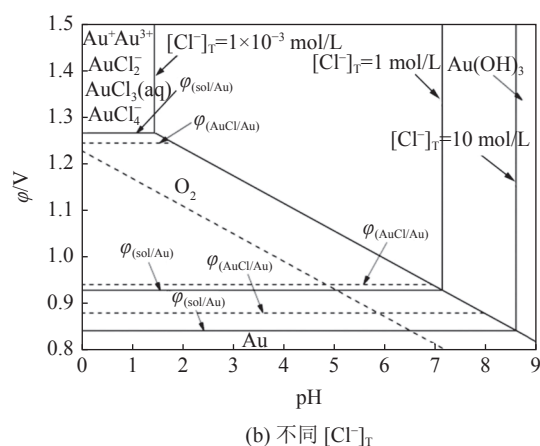
张保平等^[4]以铜阳极泥为原料，采用盐酸和氯酸钠为浸出剂，对浸出过程进行了热力学分析，结果表明总金浓度的降低和总氯浓度增加有利于金的浸出，随着总氯浓度的增加，金的主要形态发生如下转变： $\text{Au}^{3+} \rightarrow \text{AuCl}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{AuCl}_4^- \rightarrow \text{AuCl}_2$ 。

1.2 动力学研究

J. Viñals 等^[5]研究了金悬浮颗粒在水氯化溶液中的氧化过程动力学，其动力学方程为 $R (\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}) = 4.24 \times 10^5 [\text{Cl}_3^-] \exp(-43.5/RT)$ ，表观活化能为 43.5 kJ/mol，该反应属于化学反应控制。任永刚等^[6]以二氧化氯为浸出剂，研究了焙烧后的复杂硫化浸金矿的浸出动力学，研究表明金的浸出过程受固



(a) 不同 $[\text{Au}]_T$



(b) 不同 $[\text{Cl}^-]_T$

图3 Au-Cl-H₂O 系的 φ-pH^[4]

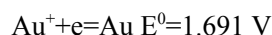
Fig.3 Potential pH diagrams of Au-Cl-H₂O system^[4]

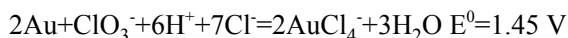
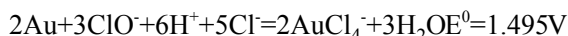
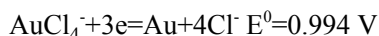
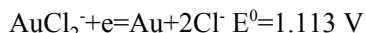
膜传质控制，其方程为 $1-3(1-x_B)^{2/3} + 2(1-x_B)4.56e^{-21783/RT} \cdot c_{(\text{Cl}_2)}^{0.62} c_{(\text{ClO}_2^-)}^{1.22} \cdot t$ ，表观活化能为 21.783 kJ/mol，Cl⁻和 ClO₂⁻反应级数分别为 0.62 和 1.22。师兆忠等^[7]研究了盐酸浸出焙烧浸金矿动力学，在焙烧浸金矿含有一定量铁的前提下，发现该反应属于收缩核模型反应，符合 $1-(1-x)^{1/3} = k_1 t$ 方程，经过数据处理，得到动力学方程为 $1-(1-x)^{1/3} = 0.16(C_{\text{HCl}})0.61e^{-14180/RT} t$ ，反应表观活化能 $E_a = 13.88$ kJ/mol，浓度反应级数为 0.61，速率常数 0.16。

2 工艺研究

2.1 液氯化反应工艺条件研究

液氯化法是在含有大量氯离子（一般由氯化钠等氯盐提供）的体系中，控制一定的 pH 值，选择合适的氧化剂（次氯酸钠和氯酸钠等），使金形成金氯络合物，从而达到浸金的目的。基本化学反应如下：





2.1.1 次氯酸钠-氯盐体系浸出工艺条件

Hasab M G 等^[8]研究了用机械方法提高难浸黄铁矿型金精矿的浸金方法,结果表明通过机械磨活化金精矿,用氯化钠-次氯酸钠浸出金,浸出率 100%,该浸出反应速率受界面扩散和化学反应两个因素控制,且不受温度影响;对于未经机械磨活化的金精矿的浸出反应速率仅受界面扩散控制,且受温度影响较为明显。燕璞等^[9]研究了用次氯酸钠从卡林型矿中浸出金的工艺条件,NaClO 浓度为 0.6 mol/L,NaOH 浓度为 1.0 mol/L,浸出时间 4 h,浸出温度 30℃,液固体积质量比 7:1,金浸出率 80%。李桂春等^[10]研究了 ClO⁻-I 浸金的影响因素,得出了 ClO⁻-I 浸金的优化条件,次氯酸钠用量占矿浆总量的 7%~9%,碘化钾浓度不小于 0.25 mol/L,pH 值偏酸性至中性,浸出时间 4 h,浸出率 85% 以上。黎铨海等^[11]研究了以次氯酸钠为浸金剂浸金的工艺条件,在常温条件下,次氯酸钠浓度为 2.3 mol/L,氢氧化钠浓度为 1.0 mol/L,液固比为 10:1,浸出时间 80 min,浸出率达 80% 以上。范斌^[12]研究得出用次氯酸钠浸出 0.074 mm 金矿的工艺条件,次氯酸钠浓度为 8 g/L,pH=9.5~10,反应时间 8 h,金浸出率 85%,该方法仅适用于品位为 20 g/t 以上的金精矿。

Fu 等^[13]用超声波和氯化氧化的方法研究了浸出难浸金矿中金的提取工艺,较佳条件为:次氯酸钠浓度为 1.5 mol/L,氢氧化钠浓度为 1.5 mol/L,液固比为 5:1,超声波功率为 250 W,浸出时间 2 h,金浸出率为 68.55%,不采用超声波时的浸出率为 45.8%。

2.1.2 氯酸钠体系浸出工艺条件

尤大海等^[14]针对难处理含金硫酸渣进行了硫酸化焙烧-氯化(氯酸钠-氯盐)浸出工艺研究,优化工艺条件为氯化钠用量 80 kg/t,氯酸钠 100 kg/t,反应温度 80℃,液固比 3:1,反应时间 4 h,金浸出率 91.44%。张保平等^[4]以铜阳极泥为原料,采用盐酸和氯酸钠为浸出剂,优化工艺条件为搅拌转速 400 r/min,液固比 4:1,浸出时间 3 h,盐酸浓度 3.0 mol/L,氯酸钠浓度 16 g/L,温度 25℃,金最

大浸出率 98.89%。徐家振等^[15]以阳极泥为原料,研究了提取金、铂、钯的工艺过程, $m(\text{NaClO}_3):m(\text{Au})=(1\sim2):1$,盐酸浓度 110 g/L,金浸出时间 3 h,浸出率 99.5%。李运刚^[16]对脱除了铜、硒、碲的铜阳极泥进行了浸金研究,结果表明,用氯酸钠作浸出剂, $m(\text{NaClO}_3):m(\text{Au})=3:1$,温度 90℃,液固体积质量比 4:1,浸出时间 7 h, $m(\text{NaClO}_3)/m(\text{H}_2\text{SO}_4)=12:2$,搅拌转速 400 r/min,金浸出率 99.22%。吴卫煌^[17]用氯酸钠代替王水分金工艺,优化工艺条件为液固比 4:1,盐酸用量(mL)为粗金泥中金质量(g)的 3~3.5 倍,氯酸钠用量为理论用量的 2.5~3,氯酸钠分金率 99%。薛光等^[18]采用 HCl,NaClO₃ 混合试剂对金泥进行预处理,工艺条件为:盐酸体积分数 20%,液固比 4:1,控制电位 1000~1040 mV,反应时间 2 h,反应温度 80~90℃,Cu、Pb、Zn、Fe 去除率 99%,浸金工序工艺条件为:盐酸质量分数 20%,液固比 4:1,控制电位 1100~1200 mV,反应时间 2 h,反应温度 80~90℃,分次加入氯化钠、氯酸钠、高锰酸钾,搅拌 8~10 h,金浸出率 99% 以上。赵继领等^[19]研究了氯酸钠浸出汽车尾气催化剂回收贵金属的工艺条件,次氯酸钠加入量 7%,盐酸浓度 8 mol/L,双氧水 0.5%,温度 100℃,反应时间 6 h,液固比 10:1,铂、铑、钯浸出率分别为 96.28%,99.28%,82.4%。

2.2 氯化钠辅助其他氧化剂体系浸出工艺条件

杨凤云^[20]对某碳质浸金矿进行了富氧焙烧,焙砂采用 M-NaCl 浸出,得到了较佳条件为液固比 3:1,pH=3,浸出剂用量为 8 kg/t,试样粒度 62~75 μm,浸出时间 4 h,金浸出率 92.5%。师兆忠等^[21]研究了盐酸浸出焙烧金精矿工艺条件,结果表明,盐酸浓度 8 mol/L,反应温度 90℃,反应时间 90 min,液固比 1.5:1,金浸出率为 95.53%。

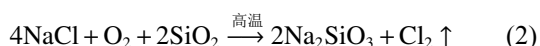
Torres 等^[22]研究了含铂、金和钯磁铁矿的浸出工艺,优化工艺条件为:时间 3 h,温度 30℃,pH=4,氯化钠溶液浓度 5 mol/L,通入臭氧,金浸出率为 50%,浸出反应表观活化能为 23 kJ/mol。

Wang 等^[23]研究了用溴酸盐和氯化铁浸出高硫高砷难浸金矿中金的工艺条件,得到较佳工艺条件为溴酸钾浓度为 0.25 mol/L,氯化铁浓度为 0.08 mol/L,盐酸浓度 4 mol/L,浸出时间 5 h,液固比 5:1,金浸出率 94.5%。Seisko S 等^[24]用旋转电极研究了金在氯化铁溶液中的溶解行为,结果表明

$[\text{Fe}^{3+}] = 0.54 \text{ mol/L}$, $[\text{Cl}^-] = 4 \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 10$ 时, 转速 2500 r/min 时, 金的较高浸出速率为 $7.3 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。师兆忠等^[25]研究了用盐酸一步法浸出氰化尾渣中金、铁、铅的工艺过程, 优化工艺条件为: 在沸腾状态下回流, 盐酸起始浓度 9.8 mol/L , 盐酸过量系数 1.6, 反应时间 1.5 h, 金、铁、铅的浸出率分别为 89.32%、93.45%、99.97%。

2.3 氯化焙烧工艺条件研究

氯化焙烧法是加入氯化钙或氯化钠在高温条件下与焙烧浸金矿和氰化尾渣反应, 使金氯化物挥发, 基本化学反应如下:



2.3.1 氯化钙焙烧工艺条件

刘慧南等^[26]对氯化挥发法回收硫铁矿中金、银、铜进行了小试和扩大实验, 加入 7% 氯化钙与硫精矿焙砂混合磨细至 -0.038 mm 70%, 焙烧温度 1100°C , 时间 1 h, 金、银、铜的挥发率分别为 96.72%、90.91%、52.48%。赵玉龙等^[27]研究了熔融氯化法处理难浸金矿, 结果表明, 熔融温度 1250°C , 氯化时间 2 h, 氯化钙加入量为原料量的 8%, 金的挥发率 99.64%, 渣中金含量为 0.16 g/t , 其他金属也有很高的回收率。

郭持皓等^[28]以金精矿焙砂为原料, 采用 16 kW 单电机交直流矿热电炉, 研究了熔盐挥发工艺条件, 结果表明, 氯化钙加入量为 8%, 氧气通入量 $3 \text{ m}^3/\text{h}$, 融化电压约 410 V, 融化电流约 40 A, 融化温度 1200°C , 熔融后保持电流 20 A, 金挥发率稳定在 97% 以上。常耀超等^[29]进行了氰化尾渣氯化提金扩大实验, 结果表明: 氰化尾渣含水量 $\leq 6\%$, 氯化钙添加量 7%~10%, 氧化气氛条件下, 尾渣中金含量可降至 0.6 g/t , 砷可降至 0.25% 以下, 铜、铅、锌可降至 0.05% 以下, 在实际生产中, 建议采用多级洗涤+电除雾器措施保障烟气中金属的回收。李大江等^[30]对氰化尾渣进行了氯化熔融实验, 氯化钙用量 8%, 熔融温度 1250°C , 时间 45 min, 金的挥发率 98.2%。

2.3.2 氯化钠焙烧工艺条件

薛光等^[31]研究了含铜金精矿加入氯化钠焙烧浸出实验, 结果表明氯化钠加入量为 1%, 焙烧温度 $600 \sim 650^\circ\text{C}$, 焙烧时间 0.5~1 h, 金浸出率可以提高 35%。Hong W 等^[32]用氯化钠为氯化剂,

研究了碳质金矿中金和锌的提取工艺过程, 较佳优化条件为: 氯化钠用量为原料量的 10%, 焙烧温度 800°C , 焙烧时间 4 h, 空气流速 1 L/min , 金和锌的挥发率为 92%、92.56%, 在低温阶段, 硫对金和锌的挥发有好处, 在高温阶段, 由于含钒云母晶格被破坏, 钒氧化物对氯化挥发有好处。

3 结 论

(1) 液氯化提金的研究方向主要是氧化剂的选择, 目前以次氯酸钠和氯酸钠为最多, 也有采用氯气、二氧化氯、氯化铜等为氧化剂的相关研究, 一些研究具有很高的金浸出率, 但是, 这种工艺对于不同种类难浸金矿的通用性还需要进一步完善。

(2) 氯化焙烧的研究重点集中在添加剂选择和焙烧温度的优化, 在较高温度下, 金具有较高的挥发率, 实现了金的有效提取, 但是, 在金挥发的同时, 铅、锌等其他金属也会挥发, 增加了后期处理的工序, 另外, 这种方法属于高耗能工艺, 也限制了其发展。

(3) 从目前的研究来看, 与氰化提金相比, 氯化提金在环保和金浸出效率方面具有一定的优势, 但是, 氯化提金在处理难浸金方面仍然存在浸出不完全的现象, 而且也 and 氰化提金工艺一样会产生大量的废渣, 没有实现资源循环利用。笔者建议, 打破传统浸金工艺的思维定式, 把分解金精矿(破坏包裹金)和氯化浸金同时进行, 一方面提取金, 另一方面使铁、硫、铅等资源得到有效循环利用, 这也是我们今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 金创石, 张延安, 牟望重, 等. 液氯化法浸金过程热力学[J]. 稀有金属, 2012, 36(1):129-134.
- JIN C S, ZHANG T A, MU W Z, et al. The thermodynamics of gold leaching process by liquid chlorination[J]. Rare Metals, 2012, 36(1):129-134.
- [2] 陈亮, 唐道文, 管桂超, 等. 次氯酸钠浸金电化学及难浸金矿浸出试验研究[J]. 贵金属, 2017, 38(4):39-43.
- CHEN L, TANG D W, GUAN G C, et al. Electrochemical profile of leaching gold with sodium hypochlorite and experiment on leaching a refractory gold ore[J]. Precious Metals, 2017, 38(4):39-43.
- [3] 屈时汉. 酸性水氯化法浸金的电位控制[J]. 黄金,

1991(7):33-37.

QU S H. The electric potential control of acidic aqueous chlorination-leaching of gold[J]. *Gold*, 1991(7):33-37.

[4] 张保平, 沈博文, 师沛然, 等. 盐酸和氯酸钠浸出铜阳极泥中金的研究[J]. *武汉科技大学学报*, 2018, 41(6):422-428.

ZHANG B P, SHEN B W, SHI P R, et al. Study on leaching of gold from copper anode slime by hydrochloric acid and sodium chlorate[J]. *Journal of Wuhan University of Science and Technology*, 2018, 41(6):422-428.

[5] J. Viñals, C. Núñez, O. Herreros. Kinetics of the aqueous chlorination of gold in suspended particles[J]. *Hydrometallurgy*, 1995, 38(2):125-147.

[6] 任永刚, 李东亮, 赵正绪. 二氧化氯浸出复杂硫化金精矿的动力学[J]. *湿法冶金*, 2010, 29(2):79-83.

REN Y G, LI D L, ZHAO Z X. Kinetics research on leaching of gold from complicated sulphide gold concentrate with ClO_2 [J]. *Hydrometallurgy of China*, 2010, 29(2):79-83.

[7] 师兆忠, 刘进, 王丽, 等. 盐酸浸出焙烧金精矿动力学研究[J]. *昆明理工大学学报(自然科学版)*, 2019, 44(5):27-32.

SHI Z Z, LIU J, WANG L, et al. A study on kinetics of roasted gold concentrate leaching by hydrochloric acid[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology(Natural Sciences)*, 2019, 44(5):27-32.

[8] Hasab M G, Raygan S, Rashchi F. Chloride-hypochlorite leaching of gold from a mechanically activated refractory sulfide concentrate[J]. *Hydrometallurgy*, 2013, 138:59-64.

[9] 燕璞, 刘宪超, 唐道文, 等. 用次氯酸钠从卡林型金矿石中浸出金的热力学[J]. *湿法冶金*, 2016, 35(3):196-200.

YAN P, LIU X C, TANG D W, et al. Thermodynamics on leaching of gold from Carlin type gold ore using sodium hypochlorite[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2016, 35(3):196-200.

[10] 李桂春, 吕进云. 次氯酸钠-碘化物浸金的实验研究[J]. *矿冶工程*, 2010, 30(1):44-46.

LI G C, LV J Y. Experimental study on gold leaching with sodium hypochlorite-iodide[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2010, 30(1):44-46.

[11] 黎铨海, 栗海锋, 黄祖强, 等. 次氯酸钠一步法浸金的原理与试验研究[J]. *化工矿物与加工*, 2001(1):15-18+8.

LI X H, LI H F, HUANG Z Q, et al. Researches and principle of one step leaching gold by sodium hypochlorite[J]. *Industrial Minerals & Processing*, 2001(1):15-18+8.

[12] 范斌. 金的非氰化浸出研究 (I)[J]. *湿法冶金*, 2000(2):27-29.

FAN B. Study on non-cyanide leaching of gold (I)[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2000(2):27-29.

[13] Fu L, Zhang L, Wang S, et al. Synergistic extraction of

gold from the refractory gold ore via ultrasound and chlorination-oxidation[J]. *Ultrason Sonochem*, 2017, 37: 471-477.

[14] 尤大海, 张亚辉, 隆岗, 等. 含金硫酸渣硫酸盐化焙烧-氯化浸金研究[J]. *贵金属*, 2014, 35(1):19-22.

YOU D H, ZHANG Y H, LONG G, et al. Processing of gold-containing slag from sulfuric acid production using sulfatizing roasting followed by chlorine leaching[J]. *Precious Metals*, 2014, 35(1):19-22.

[15] 徐家振, 符岩, 金哲男, 等. 氯酸钠氯化提金的研究[J]. *材料与冶金学报*, 2002(1):77-80.

XU J Z, FU Y, JIN Z N, et al. Study on chlorination gold recovery with sodium chlorate from silver positive mud[J]. *Journal of Materials and Metallurgy*, 2002(1):77-80.

[16] 李运刚. 湿法处理铜阳极泥工艺研究 (II)—金的选择性浸出[J]. *湿法冶金*, 2000(4):21-25.

LI Y G. Study on hydrometallurgical process for copper anode mud. —Selective leaching of Au[J]. *Hydrometallurgy of China*, 2000(4):21-25.

[17] 吴卫煌. 氯酸钠分金试验研究及工业应用[J]. *黄金*, 2017, 38(3):68-70.

WU W H. Experimental research on gold parting by sodium chlorate and its industrial application[J]. *Gold*, 2017, 38(3):68-70.

[18] 薛光, 王俊杰, 于永江, 等. 环保型金、银提纯工艺试验研究[J]. *黄金*, 2009, 30(8): 44-45+56.

XUE G, WANG J J, YU Y H, et al. Experimental research on environment-friendly technology for gold and silver purification[J]. *Gold*, 2009, 30(8): 44-45+56.

[19] 赵继领, 王晨, 王仕兴, 等. 基于正交试验法优化废汽车尾气催化剂中贵金属的浸出[J]. *矿产综合利用*, 2019(6):101-104+64.

ZHAO J L, WANG C, WANG S X, et al. Optimization of leaching of noble metals from waste automobile exhaust catalyst by orthogonal method[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(6):101-104+64.

[20] 杨凤云. 某碳质金精矿富氧焙烧—氯化浸出试验研究[J]. *黄金*, 2020, 41(2):57-61.

YANG F Y. Experimental research on oxygen-enriched roasting-chlorination leaching process of a carbonaceous gold concentrate[J]. *Gold*, 2020, 41(2):57-61.

[21] 师兆忠, 王明瑞, 占桂荣, 等. 盐酸浸出焙烧金精矿工艺研究[J]. *贵金属*, 2019, 40(3):43-47.

SHI Z Z, WANG M R, ZHANG R, et al. Study on the process of leaching roasted gold concentrate by hydrochloric acid[J]. *Precious Metals*, 2019, 40(3):43-47.

[22] Torres, Robinson, Lapidus. Platinum, palladium and gold

leaching from magnetite ore, with concentrated chloride solutions and ozone[J]. Hydrometallurgy, 2016.

[23] Wang Q, Hu X, Zi F, et al. Extraction of gold from refractory gold ore using bromate and ferric chloride solution[J]. *Minerals Engineering*, 2019, 136:89-98.

[24] Seisko S, Lampinen M, Aromaa J, et al. Kinetics and mechanisms of gold dissolution by ferric chloride leaching[J]. *Minerals Engineering*, 2018, 115:131-141.

[25] 师兆忠, 占桂荣, 韩艳霞. 一步法浸取氰化尾渣中金、铁、铅的实验研究[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(9):56-60.

SHI Z Z, ZHAO G R, HAN Y X. Experimental study of leaching of Au, Fe and Pb from gold cyanidation tailings using one-step process[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 39(9):56-60.

[26] 刘慧南, 胡杨甲, 吴桂叶, 等. 氯化挥发法从含有价金属硫铁矿精矿中回收金银[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(12):44-48+91.

LIU H N, HU Y J, WU G Y, et al. Recovery of gold and silver from valuable metal bearing pyritic concentrate by chlorination volatilization method[J]. *Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy)*, 2019(12):44-48+91.

[27] 赵玉龙, 袁朝新, 郭持皓, 等. 熔融氯化法处理难处理金矿[J]. *矿冶*, 2016, 25(6):32-34,54.

ZHAO Y L, YUAN C X, GUO C H, et al. Processing of refractory gold ores by molten chlorination[J]. *Mining and Metallurgy*, 2016, 25(6):32-34,54.

[28] 郭持皓, 王云, 刘大学, 等. 难处理金矿短流程熔盐提金

新工艺[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016, 57(3):40-43.

GUO C H, WANG Y, LIU D X, et al. New process of gold extraction from refractory gold ore by short route molten salt[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2016, 57(3):40-43.

[29] 常耀超, 王云, 刘大学. 氰化尾渣熔融氯化提金扩大试验[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016, 57(2):43-45,57.

CHANG Y C, WANG Y, LIU D X. Expanding test on gold recovery from cyanide residue by molten chlorination[J]. *Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy)*, 2016, 57(2):43-45,57.

[30] 李大江, 郭持皓, 袁朝新, 等. 氰化尾渣浮选精矿焙砂提金工艺[J]. *矿产综合利用*, 2019(5):107-110.

LI D J, GUO C H, YUAN C X, et al. Gold recover from cyanide tailings floatation sulfur concentrate roasting residue[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(5):107-110.

[31] 薛光. 加氯化钠焙烧提高含铜金精矿中金、银、铜浸出率的试验研究[J]. *黄金*, 2002(12):32-35.

XUE G. Experimental study on raising leaching rates of gold, silver, copper from copper-bearing gold concentrate by putting some sodium chloride in the sample during the roast[J]. *Gold*, 2002(12):32-35.

[32] Hong W, Ya F, Hao L, et al. Simultaneous extraction of gold and zinc from refractory carbonaceous gold ore by chlorination roasting process[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2020, 30(4):1111-1123.

Research Progress of Gold Extracting by Chlorination

Shi Zhaozhong^{1,2}

(1.Henan Engineering Research Center of Advanced Materials and Green Process, Kaifeng, Henan, China;

2.School of Material and Chemical Engineering, Kaifeng University, Kaifeng, Henan, China)

Abstract: Gold extraction by chloride is an important cyanide-free gold extraction process, which has been paid more and more attention because of its advantages of high leaching rate and no use of cyanide. Research on gold extraction by chlorination has shown a significant increase since 2010, and there are more literatures on gold extraction by liquid chlorination. Soon after the birth of the chlorination gold extraction process, the cyanidation method came out one after another. At that time, due to the relatively backward material industry, the corrosion problem faced by the chlorination method restricted its development, and was subsequently replaced by the cyanide method. Since 2000, material science has developed rapidly, and advanced corrosion-resistant materials have cleared the way for the chlorination process., moreover, with the development of human society, the ecological balance and environmental protection issues brought about by industrial production surpass the industrial development itself Therefore, chlorinated gold extraction process will be further developed.

Keywords: Chloride leaching gold; Liquid chlorination; Chloridizing roasting; Chlorate; Hypochlorite