

试验研究

氰化过程中脉石矿物表面金离子吸附规律及动力学研究

赵前飞^{1,2}, 杨洪英^{1,2}, 佟琳琳^{1,2}

(1. 东北大学 多金属矿生态冶金重点实验室(教育部), 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

[摘要] 长石、石英和方解石为金精矿中具有代表性的脉石矿物,在氰化浸出过程中金会部分吸附到脉石矿物表面,从而造成金流失。本文研究了氰化条件下金在脉石表面的吸附及其吸附机理。结果表明,当脉石投加量为15 g、接触时间为20 min时,金的吸附率达到最高,此时长石、石英和方解石对金的吸附率分别为14.80%、3.70%和2.48%。采用准一级动力学、准二级动力学、双常数模型和Elovich模型对试验结果进行了拟合,发现金在三种脉石表面的吸附均符合准二级动力学模型和双常数模型($R^2 > 0.96$),表明吸附过程以化学吸附为主,且较易发生。通过X射线光电子能谱仪(XPS)分析表明,脉石表面的 $\equiv\text{Si}-\text{O}^-$ 为主要的金吸附位点。

[关键词] 石英;长石;方解石;吸附行为;动力学模型;金精矿;氰化浸出;金

[中图分类号] TF831 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-6103(2023)03-0093-09

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.03.014

目前,全世界60个最大的黄金产地和23个著名的黄金企业,采用氰化法生产黄金的产量占总产量的85%以上。在我国已探明的黄金储量中,有30%为难处理金矿,这一比例今后必将进一步增高^[1]。难处理金矿石中主要的载金矿物为石英,此外还包括少量的硅酸盐类和碳酸盐类等其他脉石矿物^[2-3],其中,硅酸盐包括长石、伊利石和云母等,碳酸盐矿物包括方解石和白云石等。脉石矿物在氰化提金过程中溶解率低,导致被忽视。有研究发现,石英和长石会在碱性条件下生成具有吸附作用的羟基化胶体^[4-6],但还没有证据

表明其是造成氰化提金贵液中金流失的原因。因此,查明金离子在脉石表面上的吸附对降低氰化系统中金的流失尤为重要。脉石矿物之间通常以连生和包裹形式存在,单一研究主要的载金矿物石英不够全面,为探讨金精矿中脉石矿物的存在是否会对氰化提金产生影响,本研究选取具有代表性矿物石英、长石及方解石作为典型脉石矿物进行金离子吸附规律及动力学研究。

本研究通过静态吸附试验考察了氰化提金过程中主要的脉石矿物石英、长石和方解石表面金离子的吸附规律,并采用准一级动力学方程、准二级动力学方程、双常数方程和Elovich方程对吸附结果进行了拟合,为降低氰化工艺中金的流失提供理论依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验用石英(Quartz,理论含硅46.70%)、长石(Feldspar,理论含 SiO_2 64.7%、 Al_2O_3 18.4%、 K_2O 16.90%)和方解石(Calcite,理论含

[收稿日期] 2022-12-25

[第一作者] 赵前飞(1993—),女,内蒙古赤峰人,博士研究生,研究方向为黄金冶炼渣资源化利用。

[通信作者] 杨洪英(1960—),女,河北邢台人,教授,博士生导师,从事重贵金属冶金及材料工作。

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2018YFC1902002, 2018YFC1902001)

[引用格式] 赵前飞,杨洪英,佟琳琳. 氰化过程中脉石矿物表面金离子吸附规律及动力学研究[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(3): 93-101.

CaO56.03%)样品购买自湖南某矿业公司。样品主要化学成分采用X射线荧光光谱仪(ZSX100e)分析(表1);采用X射线衍射仪(D8 Advance)(XRD)分析其主要物质组成(图1)。

图1显示,石英、长石和方解石样品均能够与标准卡片相对应。由表1可以看出,SiO₂为石英样品中的唯一峰;经定量分析,SiO₂质量分数为99.10%,经计算后含硅量为46.25%,与石英理论含硅量46.7%相接近。钾长石为长石样品的主要物种,其

中有少量的石英特征峰,经定量分析,SiO₂质量分数为67.83%,Al₂O₃质量分数为17.33%,K₂O质量分数为15.94%;CaCO₃为方解石样品中的唯一特征峰,经定量分析,CaO质量分数为56.25%;以上含量均与理论值相近。可见3种脉石矿物的纯度均在94%以上,杂质含量较小。综上,试验用脉石样品纯度均在94%以上,因此具有较好的代表性。为了降低试验过程中样品杂质的影响,本研究在样品制备前均进行了人工挑选、除杂。

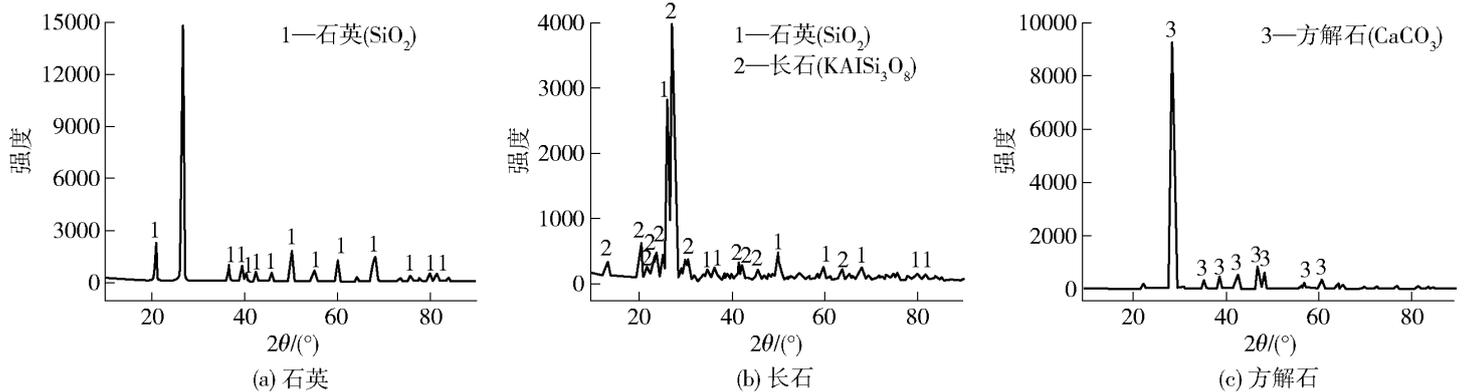


图1 石英、长石和方解石样品的X射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern of quartz, feldspar and calcite samples

表1 石英、长石和方解石样品主要成分质量分数

矿物	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
石英	98.48	0.67	0.14	0.03	0.18
长石	65.08	0.25	19.19	14.18	0.28
方解石	0.75	0.60	0.19	0.03	97.61

1.2 试验过程及分析方法

1.2.1 脉石矿物表面金的吸附

在磁力搅拌转速900 r/min、室温、pH值11.0~11.5的条件下,选择不同添加量(1 g、3 g、5 g、10 g、15 g)的石英、长石和方解石与含金离子100 mg/L溶液构成矿浆体系,氢氧化钠和硫酸溶液用于调整矿浆pH值为11.0~11.5。吸附一定时间(0~60 min)后,过滤含金溶液,并利用7300-DV型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)检测滤液中的金浓度。通过计算得到脉石矿物表面金的吸附率和吸附量。

1.2.2 吸附率及吸附量的计算

1) 吸附率按式(1)计算。

$$P = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为吸附率,%; C_0 为溶液中金离子初始浓度,mg/L; C_e 为吸附平衡时金离子浓度,mg/L。

2) 吸附量按式(2)计算。

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (2)$$

式中: Q_e 为吸附平衡时脉石的吸附量,mg/g; C_0 为溶液中金离子初始浓度,mg/L; C_e 为吸附平衡时金离子浓度,mg/L; V 为所取用的溶液体积,L; m 为脉石用量,g。

1.2.3 动力学模型

针对吸附过程中吸附剂和吸附质之间的相互作用机理,本文采用准一级动力学方程、准二级动力学方程、双常数方程和Elovich动力学方程对氰化过程中脉石矿物表面金离子的吸附机理进行研究。各动力学模型及参数见表2^[7-9]。

2 结果与讨论

2.1 投加量的影响

金离子在不同脉石表面的吸附与脉石投加量(1~15 g)的关系,如图2所示。

由图2可知,随着脉石投加量的增加,石英、长石和方解石表面金的吸附率和吸附量有着相似变化

表2 动力学模型基本参数

Table 2 Basic parameters of different dynamic model

动力学模型	方程式	适用范围
准一级动力学	$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t$	适用于描述化学反应过程中反应物质的衰减过程
准二级动力学	$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e}$	
双常数	$\ln Q_t = a \ln t + b$	描述吸附质表面能量分布的均质性, 主要适用于离子的吸附和解吸
Elovich	$Q_t = a \ln t + b$	反映矿物表面的吸附点位对离子的亲和力存在差异, 适合于反应过程较复杂的动力学过程

注: Q_e 及 Q_t 分别为吸附平衡和时间为 t 时吸附量, mg/g ; k_1 和 k_2 分别为准一级和准二级吸附速率常数, $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; a 和 b 为常数。

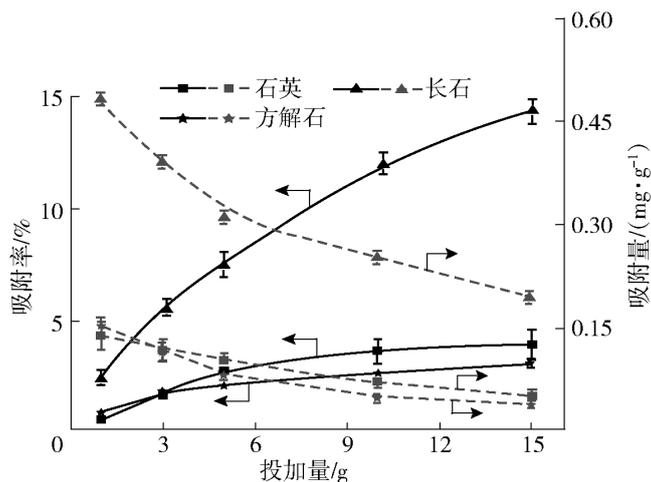


图2 金离子在脉石表面的吸附与投加量的关系

Fig. 2 Gold ions adsorption onto gangue surface as a function of samples dosage

趋势,即吸附量逐渐减小,而吸附率却不断提高。这是因为在金离子初始浓度一定的条件下,增加样品的投加量,可用的吸附总面积和吸附位点也随之增加,从而提高了脉石矿物对离子的吸附率。相反地,随着脉石矿物投加量的增加,吸附点位之间发生重叠和聚集,造成单位质量脉石矿物的有效表面积减小,从而导致单位质量脉石矿物的吸附量有所下降。此外,石英和方解石表面金离子的大量吸附发生在投加量为 10 g 时,继续增加投加量,金离子的吸附率在一定程度有所增加,但变化不明显,此时金的吸附率分别为 3.70% 和 2.48%,吸附量分别为 0.074 0 mg/g 和 0.050 0 mg/g 。然而,这可能不是一个完全普遍的趋势,因为金在长石表面上的吸附呈逐渐增加趋势,在投加量为 15 g 时,金的吸附率可达 14.80%,吸附量为 0.195 0 mg/g 。有研究发现^[10-11],在碱性溶液中,脉石矿物表面的离子(Al、Si 和 Ca 等)发生去质子化反应(式(3)),导致矿物表面带负电荷,更易与正电荷结合,从而造成氰化提金贵液中金的流失。



式中:G 代表脉石离子 Al、Si 和 Ca 等。

然而,图 2 研究结果显示不同脉石矿物在氰化体系中对各物质的吸附机制存在差别,其中长石表现出更高的金吸附特性。Feng 等^[12]研究发现,长石在碱性条件下形成的硅氧四面体以及所含氧化铝形成的具有高吸附活性絮状体均对金离子具有一定的吸附亲和力,因而氰化溶液中的金离子趋向于被硅酸铝盐微粒吸附富集,进而产生了“劫金”现象,降低了金的浸出率。

2.2 吸附时间对不同脉石表面金吸附率和吸附量的影响

为了研究不同脉石表面金的吸附率和吸附量随时间的变化,在脉石投加量为 10 g 的条件下,研究时间(0 ~ 60 min)对金在石英、长石和方解石表面上的吸附影响。试验结果如图 3 所示。

石英表面大量的金吸附发生在最初的 20 min 内。在初始阶段后,溶液中金浓度有一定程度的波动,在延长接触期后有轻微增加的趋势,但是这种趋势变化并不明显,最终石英表面金的吸附率和吸附量分别为 3.60% 和 0.072 0 mg/g 。相较于石英,长石和方解石表面金的吸附平衡用时较短,特别是长石,在吸附时间仅为 5 min 时,金的吸附率达到最大 12.70%,吸附量为 0.255 0 mg/g (图 3(b))。继续增加吸附时间直至 10 min,方解石表面金吸附基本平衡,最终金的吸附率为 2.47%,吸附量为 0.050 2 mg/g 。不难发现,在短时间内金能够被长石快速吸附,此时的吸附机制为物理吸附,随着吸附时间的延长,长石表面的吸附位点被金占据,阻碍了金进一步向内扩散,从而进入缓慢阶段直至达到吸附平衡。而石英和方解石的吸附能力不如长石,主要有以下 2 个原因:①石英和方解石表面金的吸附依靠于化学吸附,这一过程需要缓慢进行;②石英和方

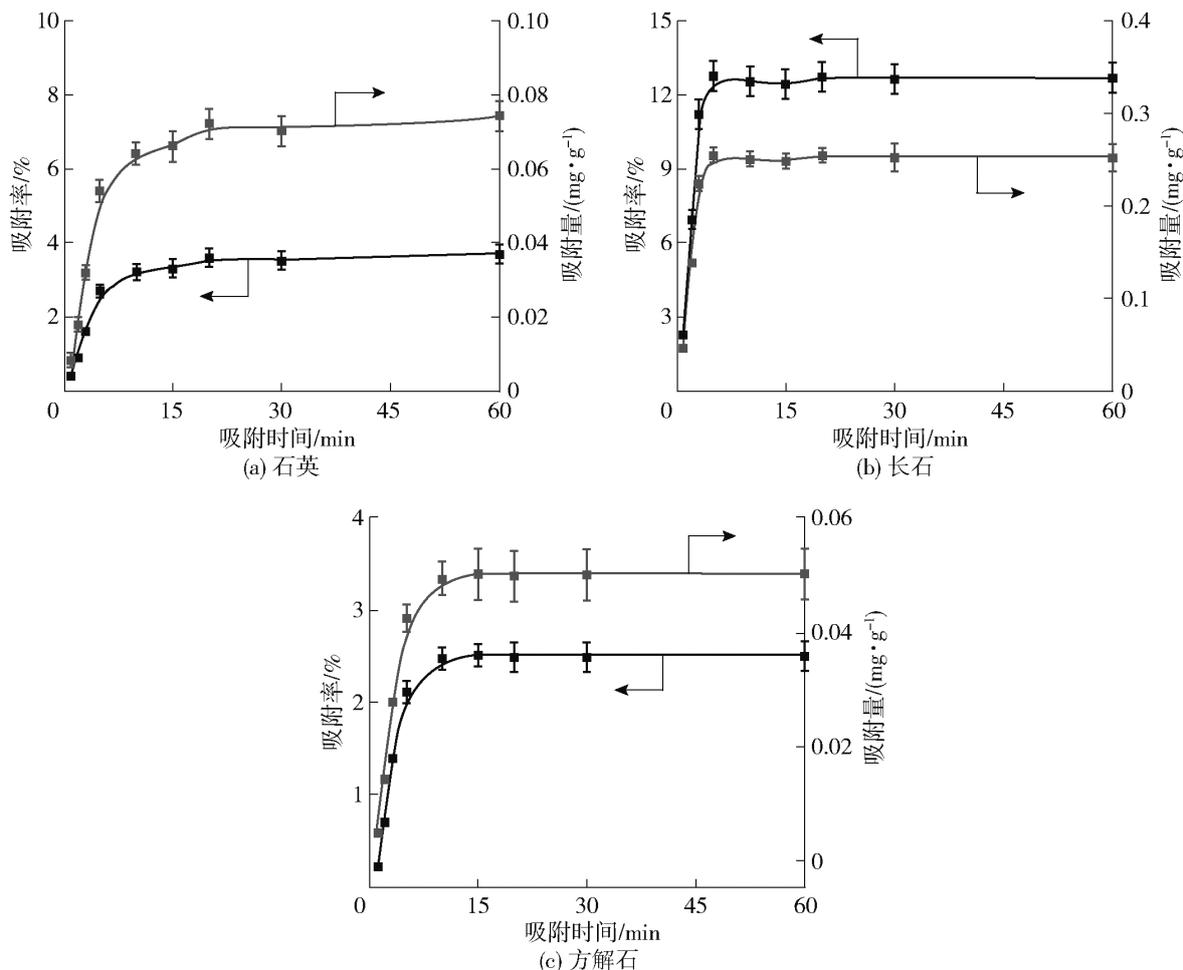


图3 金在石英、长石和方解石表面的吸附与浸出时间的关系

Fig. 3 Gold adsorption onto quartz, feldspar and calcite surface as a function of leaching time

解石表面的吸附位点被 OH^- 、 CN^- 和 Na^+ 等其他离子占据,从而阻止了金的快速吸附。

2.3 吸附动力学研究

动力学模型被广泛应用于解释离子吸附机理,此外还能够预测离子吸附速率和控制步骤等。本研究利用4个简化的动力学模型拟合了吸附时间对脉石表面金吸附影响的相关试验数据,通过计算数据之间的偏差用相关系数 R^2 和平衡吸附量 Q_e 判断不同脉石表面金的吸附机理。通过拟合结果可知(图4),采用准一级动力学模型和准二级动力学模型进行拟合时,石英、长石和方解石表面金吸附与浸出时间呈良好的线性关系,表明此吸附过程除依赖孔隙的物理吸附外,还包括矿物表面基团与金相互作用的化学吸附过程。由脉石矿物金吸附动力学模型拟合参数(表3),发现对比4种模拟方程拟合相关系数 R^2 ,准二级动力学模型和双常数动力学模型的相关系数均达到0.96以上,同时,由准二级动力学拟合方程计算出来的理论金吸附量平衡也最接近实际试验数值,佐证了该方程描述脉石矿物表面金

吸附行为的有效性。而双常数模型描述一系列复杂的反应机制,如吸附剂的本体或者吸附位点的亲和力等。综上,石英、长石和方解石表面金吸附不是单纯的一级反应,而是吸附剂和吸附位点综合控制的复杂过程,即金在脉石表面的吸附最终依靠于化学吸附,这与之前认为的脉石矿物不参与氰化反应相悖。根据之前的研究,硅酸盐矿物表面在强碱作用下的理化性质发生了改变,因此,探查石英、长石和方解石表面氰化前后物种的形态及分布是必要的,以便进一步查明脉石矿物表面金的吸附机理。

2.4 XPS 分析

为了确定石英、长石和方解石表面金吸附机理,本文利用XPS检测技术对氰化后样品表面的元素组成及物种形态变化进行研究,结果如图5~8所示。

在1350~0 eV范围内对石英、钾长石和方解石氰化浸出渣样进行XPS全谱扫描(图5),发现石英原矿表面存在Si、O和C的特征峰;长石表面的特征峰主要为Si、Al、K、O和C;方解石表面的特征峰为Ca、O和C。样品中C特征峰的出现可能是由于

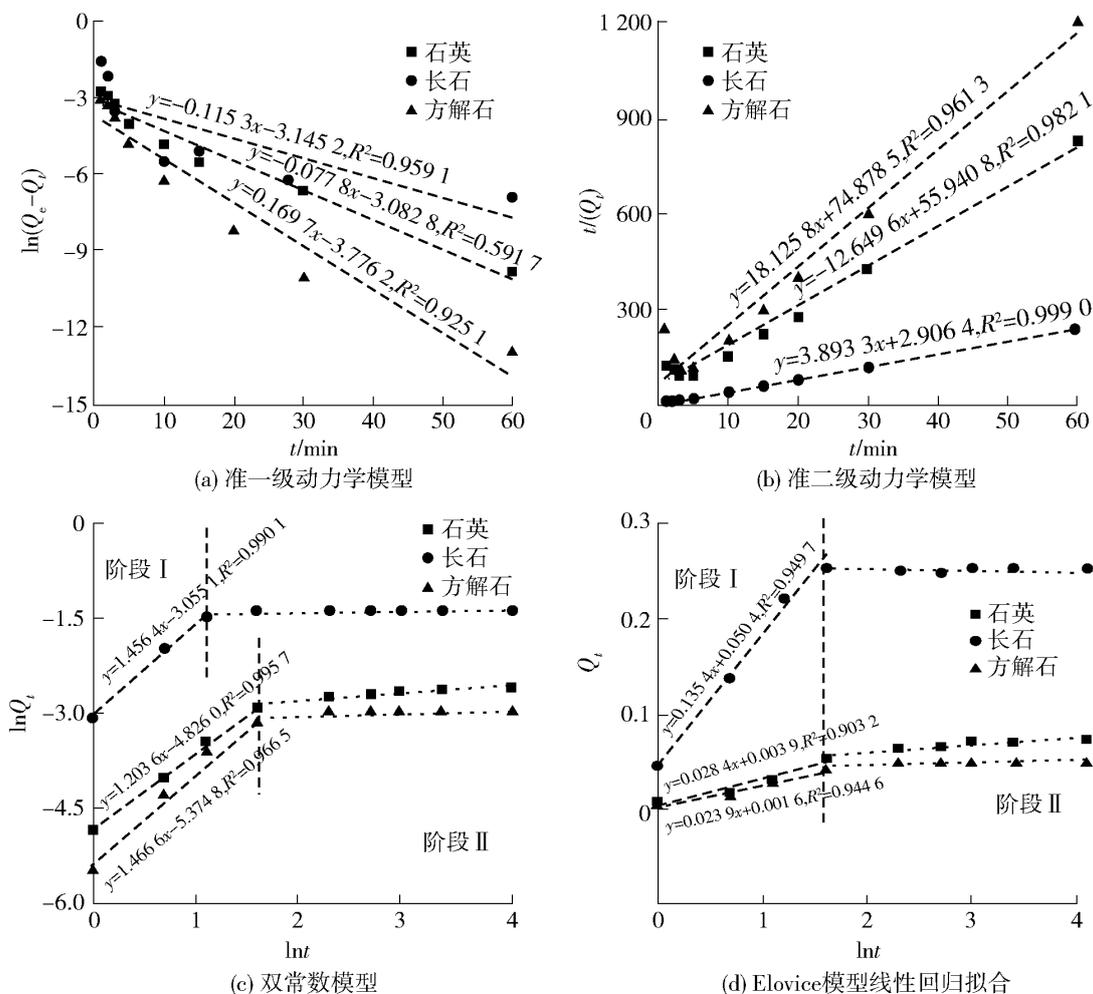


图4 金在脉石矿物表面吸附量的准一级动力学模型、准二级动力学模型，双常数模型和 Elovich 模型线性回归拟合

Fig. 4 Linear regression fitting of (a) pseudo-first order kinetic equation, (b) pseudo-second order kinetic equation, (c) double constant equation and (d) elovich equation for gold adsorption on the gangue minerals surface

表3 脉石矿物金吸附动力学模型拟合参数

Table 3 Fitting parameters of gold adsorption kinetic model for gangue mineral samples

脉石	试验 Q_e	准一级			准二级			双常数	Elovich
		Q_e	k_1	R^2	Q_e	k_2	R^2	R^2	R^2
石英	0.072 0	0.043 1	0.115 3	0.591 7	0.079 1	2.857 1	0.982 1	0.995 7	0.903 2
长石	0.255 0	0.045 8	0.077 8	0.959 1	0.256 8	5.217 4	0.999 0	0.990 1	0.949 7
方解石	0.050 2	0.022 9	0.169 7	0.925 1	0.055 2	4.382 9	0.961 3	0.966 5	0.944 6

制备过程中空气污染所导致的。因 XPS 的检出限为 0.1%，经氰化作用后的矿物表面并未发现有明显的 Au 特征峰。N 和 Na 特征峰的出现表明氰化物与金之间在脉石表面的吸附存在竞争关系。特别注意，石英和方解石表面 Na 的强峰表明金的弱吸附，这与之前的吸附试验结果一致。

图 6 显示了石英氰化前、后表面 Si2p 和 O1s 特

征峰的变化。图 6(a) 在 102.98 eV 和 102.6 eV 出现的特征峰均归因于 Si—O^[13]，即氰化后的石英表面 Si2p 结合能减少了 0.38 eV。图 6(b) 中石英原矿表面 O1s 峰被拟合为 532.42 eV 和 533.66 eV，分别对应为 Si—O 和 C—O^[13, 14]。石英氰化渣表面的 O1s 的特征峰结合能降低至 530.45 eV 和 531.97 eV，归因于石英表面电子的聚集。由此可知，

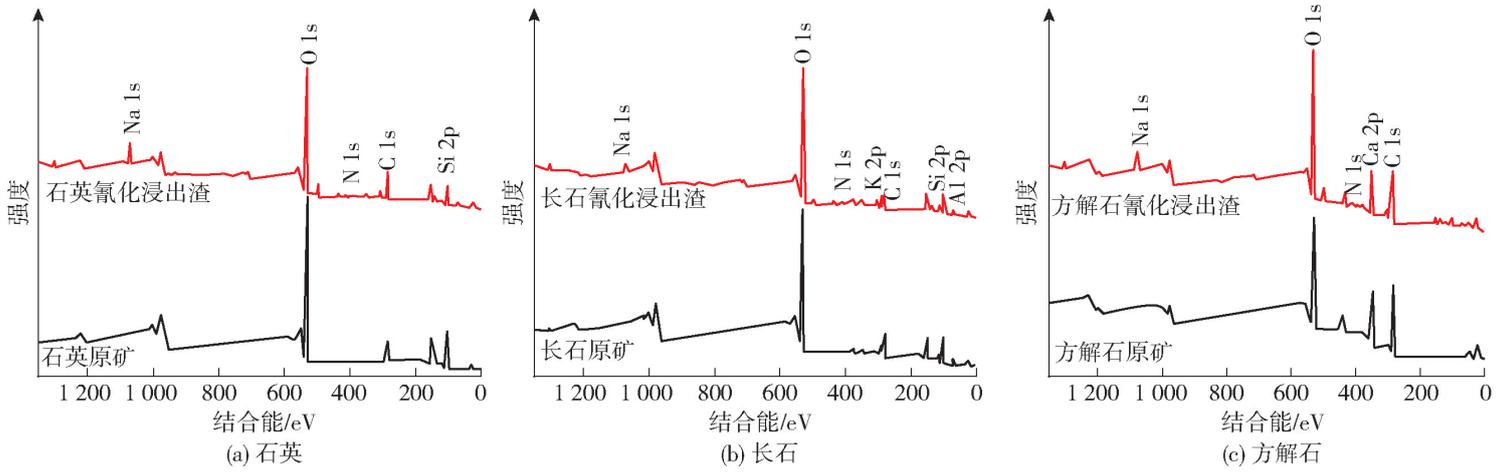


图5 氰化前后石英、长石和方解石表面 XPS 全谱图

Fig. 5 XPS full spectrum of quartz, feldspar and calcite before and after cyanidation

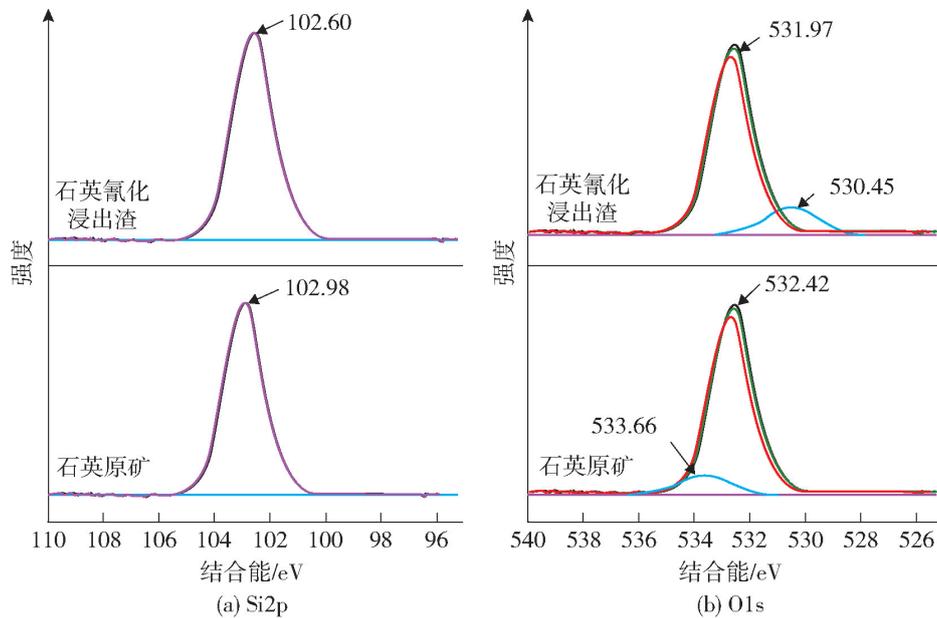


图6 氰化前后石英表面(a)Si2p 和(b)O1s 光谱图

Fig. 6 Spectra of (a) Si2p and (b) O1s of quartz surfaces before and after cyanidation

在氰化系统中的石英表面主要以阴离子吸附为主。

长石表面 Si2p、Al2p、K2p 和 O1s 特征峰拟合结果如图 7 所示。图 7(a)中显示氰化前、后长石表面 Si2p 分别出现在结合能为 102.44 eV 和 102.54 eV 处,被认为是 Si—O 的特征峰^[15]。图 7(b)和 7(c)显示 Al2p 和 K2p 被分为 Al2p_{3/2} 和 Al2p_{1/2} 峰及 K2p_{3/2} 和 K2p_{1/2} 峰,且 Al2p_{3/2} 和 Al2p_{1/2} 峰分别出现在结合能为 74.14 eV 和 75.23 eV 处,被认为是 Al—O 的特征峰^[16];长石经氰化作用后表面的 Al2p_{3/2} 和 Al2p_{1/2} 结合能分别降低 0.15 eV 和 0.44 eV。氰化后长石表面结合能为 292.92 eV 和 295.67 eV 处的特征峰被归因于 K—O 的特征峰^[16],相较于长石原矿表面 K2p_{3/2} 和 K2p_{1/2} 的结合

能分别降低 0.30 eV 和 0.27 eV。可见,长石表面的化学环境因氰化物或者金的吸附发生了变化,其中 ≡Si—O⁻ 位点的存在吸引了 H⁺ 和其他溶解的阳离子,并且在矿物表面形成双电荷层,诱导了金和氰化物的吸附,这也被 O1s 结合能的变化所证实,即长石氰化浸出渣表面 O1s 峰出现在结合能为 531.62 eV 和 533.23 eV 处,被认为是 Si—O 和 C—O 特征峰^[15]。由吸附试验可知,相较于石英和方解石,长石在氰化浸出过程中表现了更强的金吸附能力,这是因为除了 ≡Si—O⁻ 位点,碱性环境造成长石表面腐蚀更甚。众所周知,吸附剂的孔隙率也是影响吸附效果的主要因素,这也是造成长石表面金吸附较多的主要原因。

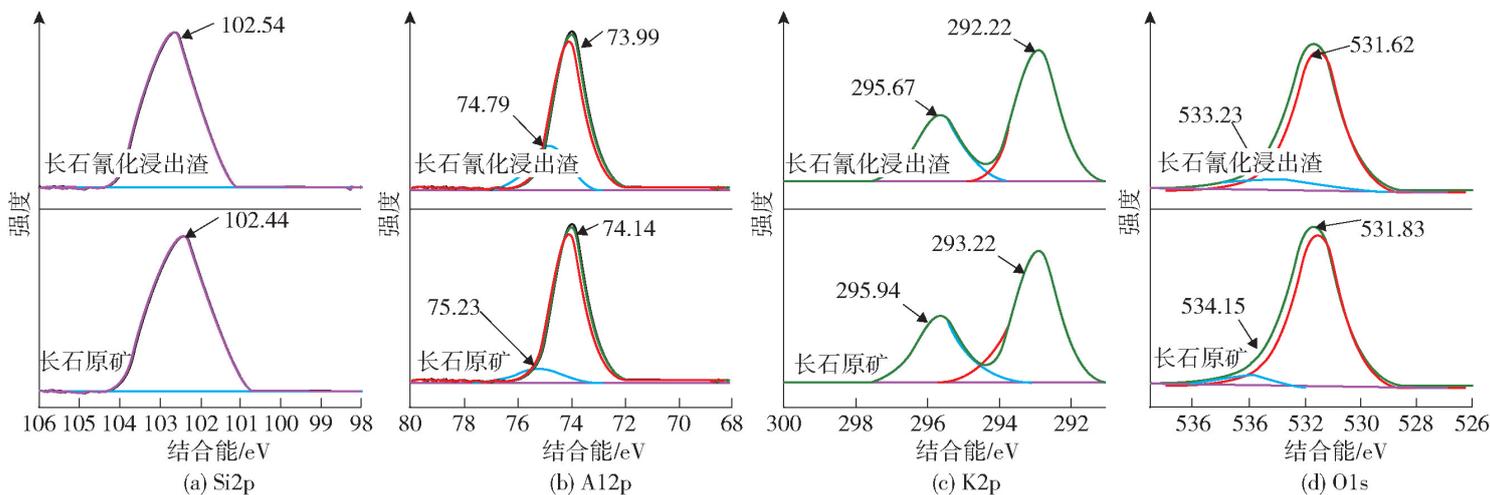


图7 氰化前后长石表面 Si2p、Al2p、K2p 和 O1s 光谱图

Fig. 7 Spectra of Si2p, Al2p, K2p and O1s of feldspar surfaces before and after cyanidation

在氰化体系中,方解石表现出了弱金吸附能力。根据图 8(a)可知,方解石表面 XPS 谱图发现,Ca2p 被分为 Ca2p_{3/2} 和 Ca2p_{1/2} 2 个特征峰。从图 8 进一步分析发现,经氰化作用后的方解石表面 Ca2p_{3/2} 和 Ca2p_{1/2} 的结合能由 350.27 eV 和 346.77 eV 降低至 350.16 eV 和 346.62 eV,被认为是 Ca—O 特征峰^[17];O1s 的结合能由 533.08 eV 和 531.26 eV 降低至 533.04 eV 和 531.22 eV,被认为是 CO₃²⁻ 和 Ca—O 的特征峰^[17]。不难发现,方解石表面电子环境受氰化作用影响较小,这是因为方解石表面未形成与石英和长石相似的带负电荷位点。Haaring 等^[18]研究发现,方解石表面晶格离子 Ca²⁺ 和 CO₃²⁻ 的相互作用决定了方解石的 ζ 位,而 Ca²⁺ 是碳酸盐表面的一个重要确定电位离子 (potential-determining

ions, PDIs)。因此,低 Ca²⁺ 浓度条件下,ζ 电位为正,对应于式(4)和式(5)的表面配合反应的发生,从而在其表面会发生离子竞争,不利于金配合物的吸附。



综上所述,脉石经氰化作用后的表面元素组成及分布均发生了变化。石英、长石和方解石与金和氰化物相互作用时,样品表面的 Si、Al、K、Ca 和 O 元素的化学环境均发生相应改变。其中,≡Si—O⁻ 的存在是导致金吸附的主要原因;相反,方解石表面带有正负电荷 CO₃Ca⁺ 和 CaCO₃⁻ 的形成及竞争作用阻止了金的进一步吸附。可见,在氰化过程中,可在体系中增加盐离子以降低因脉石存在而造成的金

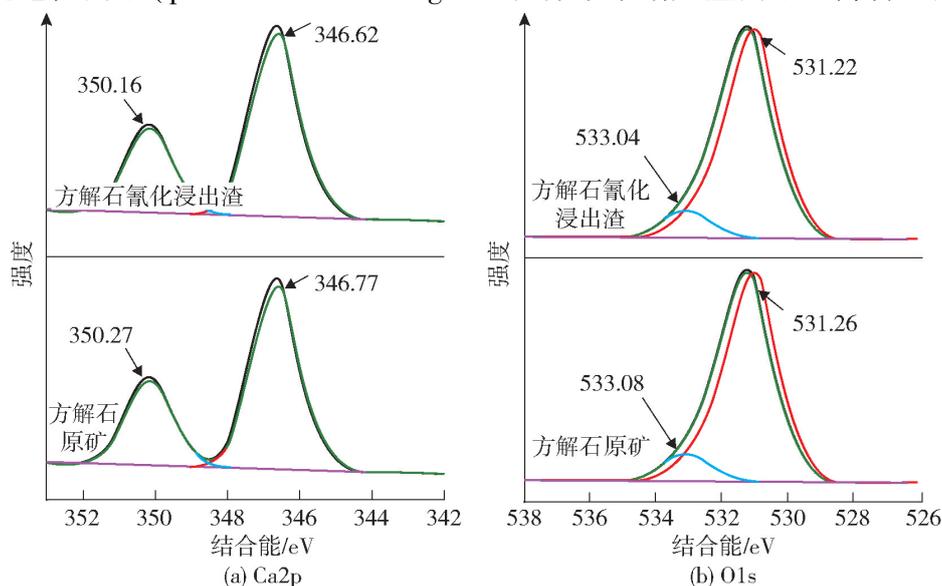


图8 氰化前后方解石表面 Ca2p 和 O1s 光谱图

Fig. 8 Spectra of Ca2p and O1s of calcite surfaces before and after cyanidation

流失。

3 结论

1) 吸附试验结果表明, 随着脉石矿物投加量和吸附时间的增加, 金离子的吸附率逐渐增加。在脉石投加量为 10 g、吸附时间为 20 min 时, 石英、长石和方解石表面金离子的吸附率分别为 3.6%、12.7% 和 2.49%; 吸附量分别为 0.072 0 mg/g、0.254 0 mg/g 和 0.049 8 mg/g。各矿物对金离子的吸附量大小顺序为: $Q_{\text{长石}} > Q_{\text{石英}} > Q_{\text{方解石}}$ 。

2) 氰化渣中典型脉石矿物对金离子表现出不同程度的吸附性和选择性。长石表面较大的孔隙率及 $\equiv \text{Si}-\text{O}^-$ 的形成对金的吸附量远远高于其他 2 种脉石矿物; 方解石表面 CO_3Ca^+ 和 CaCO_3^- 的竞争吸附作用导致金几乎不被吸附。

3) 动力学研究发现, 石英、长石和方解石对金的吸附过程更符合准二级动力学和双常数动力学模型, 即以化学吸附为主。拟合结果表明, 石英、长石和方解石对金的平衡吸附量分别为 0.079 1 mg/g、0.256 8 mg/g 和 0.055 2 mg/g。

[参考文献]

- [1] QIU X Y, HU Z, SONG B X, et al. A novel process for silver recovery from a refractory Au-Ag ore in cyanidation by pretreatment with sulfating leaching using pyrite as reductant[J]. Hydrometallurgy, 2014, 144-145: 34-38.
- [2] 杨应林, 石旭, 田锋, 等. 新疆某低品位细粒金矿浮选试验研究[J]. 甘肃冶金, 2019, 41(5): 1-5.
YANG Yinglin, SHI XU, TIAN Feng, et al. Flotation experimental study on the low-grade fine gold mine from Xinjiang[J]. Gansu Metallurgy, 2019, 41(5): 1-5.
- [3] BAS A D, KOC E, YAZICI E Y, et al. Treatment of copper-rich gold ore by cyanide leaching, ammonia pretreatment and ammoniacal cyanide leaching[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(2): 597-607.
- [4] LUO X M, LIN Q Q, WANG Y F, et al. New insights into the activation mechanism of calcium species to quartz: ToF-SIMS and AFM investigation [J]. Minerals Engineering, 2020, 153: 106398.
- [5] HAN J H, LI X N, DAI S J. Electrochemical influence of quartz on cyanide leaching of gold[J]. Chemical Physics Letters, 2020, 739: 136997.
- [6] 韩佳宏, 李晓安, 孟宇群, 等. 长石对氰化浸金的影响研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(3): 79-82.
HAN Jiahong, LI Xiao'an, MENG yuqun, et al. Influence of feldspar on cyanide leaching of gold[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2020, 40(3): 79-82.
- [7] SUN Q Y, YIN W Z, CAO S H, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of sodium butyl xanthate onto bornite in flotation [J]. Journal of Central South University, 2019, 26(11): 2998-3007.
- [8] HUANG H, FAN Y F, WANG J W, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of water-insoluble crosslinked β -cyclodextrin polymer for phenol in aqueous solution [J]. Macromolecular Research, 2013, 21(7): 726-731.
- [9] JANNAH SULAIMAN N, MANSOR A F, RAHMAN R A, et al. Adsorption kinetics of cellulase and xylanase immobilized on magnetic mesoporous silica [J]. Chemical Engineering & Technology, 2019, 42(9): 1825-1833.
- [10] 张伟, 任亚楠, 赵晓琳, 等. 天然钠长石和钾长石对水溶液中氟吸附性能的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 977-984.
ZHANG Wei, REN Ya'nian, ZHAO Xiaolin, et al. Study on the adsorption of natural albite and potassium feldspar for fluorine in aqueous solution [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2020, 42(5): 977-984.
- [11] YAZDANI M R, TUUTIJÄRVI T, BHATNAGAR A, et al. Adsorptive removal of arsenic(V) from aqueous phase by feldspars: Kinetics, mechanism, and thermodynamic aspects of adsorption [J]. Journal of Molecular Liquids, 2016, 214: 149-156.
- [12] FENG D, PROVIS J L, VAN DEVENTER J S J. Adsorption of gold on albite in acidic chloride media [J]. Hydrometallurgy, 2013, 134-135: 32-39.
- [13] NIU Y P, SUN C Y, YIN W Z, et al. Selective flotation separation of andalusite and quartz and its mechanism [J]. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 2019, 26(9): 1059-1068.
- [14] XU W X, ZHU S, FU X C. XPS study of TiO_x thin films deposited on glass substrates by the sol-gel process [J]. Applied Surface Science, 1998, 136(3): 194-205.
- [15] SHU K Q, XU L H, WU H Q, et al. Selective flotation separation of spodumene from feldspar using sodium alginate as an organic depressant [J]. Separation and Purification Technology, 2020, 248: 117122.
- [16] KYONO A, KIMATA M, HATTA T. Aluminum position in Rb-feldspar as determined by X-ray photoelectron spectroscopy [J]. Naturwissenschaften, 2003, 90(9): 414-418.
- [17] 殷玉兰, 陈俊宏, 谢燕, 等. F^- 在方解石表面的吸附及其对方解石表面性质的影响 [J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(8): 2785-2791.
YIN Yulan, CHEN Junhong, XIE Yan, et al. Adsorption of F^- on calcite surface and its effect on calcite surface Properties [J]. Bulletin of The Chinese Ceramic Society, 2022, 41(8): 2785-2791.
- [18] HAARING R, KUMAR N, BOSMA D, et al. Electrochemically assisted deposition of calcite for application in surfactant adsorption studies [J]. Energy & Fuels, 2019, 33(2): 805-813.

Adsorption of gold ions on gangue mineral surface during cyanidation and its kinetics

ZHAO Qianfei^{1,2}, YANG Hongying^{1,2}, TONG Linlin^{1,2}

(1. Key Laboratory for Ecological Metallurgy of Multimetallic Minerals (Ministry of Education),
Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Feldspar, quartz, and calcite are representative gangue minerals in gold concentrates. During cyanide leaching, gold will partially adsorb onto the surface of the gangue minerals, resulting in gold loss. In this paper, the adsorption of gold on the surface of gangue under cyanidation conditions and its adsorption mechanism were studied. The results showed that the highest gold adsorption rate was achieved when the gangue dosage was added at 15 g and the contact time was 20 min, and the gold adsorption rates of feldspar, quartz and calcite were 14.80%, 3.70% and 2.48%, respectively. The experimental results were fitted using quasi-first order dynamics, quasi-second order dynamics, double constant model and Elovich model. The results showed that the adsorption of gold on the surfaces of the three gangue minerals all fitted the quasi-secondary kinetic model and the double constant model ($R^2 > 0.96$), indicating that the adsorption process was dominated by chemisorption and was more likely to occur. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis showed that $\equiv\text{Si}-\text{O}^-$ on the surface of the gangue was the main gold adsorption site.

Key words: quartz; feldspar; calcite; adsorption behavior; dynamics model; gold concentrate; cyanidation leaching; gold

中国恩菲一项目荣获“中国钢结构金奖”

近日,中国恩菲工程技术有限公司(以下简称中国恩菲)设计的雄安垃圾综合处理设施一期工程项目荣获第十五届“中国钢结构金奖”。

雄安垃圾综合处理设施一期工程项目是国内首个特大类、综合利用、协同处置、隐藏式的综合固废处置项目,可实现生活垃圾、餐厨垃圾、厨余垃圾、粪便、污泥、医疗废物等全口径的固废综合处置,建筑面积约21万 m^2 ,钢材用量21000t。

项目钢结构部分设计极具复杂性与创新性,为实现主厂房曲壳式仿自然山体覆土屋面及120米高长悬挑异型“花瓣造型”烟囱,达到建筑造型、设备布置、钢结构优化的完美结合,结构采用了多项创新方案,利用3D数字化建模、AI智能化设计,解决了高烈度区大跨度覆土屋面、异性双坡钢桁架+楼承板屋面设计等一系列技术难题。

“中国钢结构金奖”是中国建筑钢结构行业工程质量的最高荣誉奖,每年评选一次,获奖工程质量需达到国内领先水平。

(资料来源:中国有色金属报)