

石英矿物资源的分离提纯及材料化应用

# 石英及方石英的碱浸动力学研究

王子如, 曹泽平, 汪佳瑶, 王洪阳

安徽理工大学 材料科学与工程学院, 安徽 淮南 232001

中图分类号: TD985; TF803.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)05-0088-07  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.07.015

**摘要** 为探讨二氧化硅(石英及方石英)与二氧化硅固溶体(石英固溶体及方石英固溶体)的碱浸溶出差异,对石英及方石英在氢氧化钠溶液中的浸出动力学进行研究,并进一步借助透射电镜分析探讨其浸出差异。研究表明:在浸出时间 60 min、石英在 $\geq 180\text{ }^\circ\text{C}$ 氢氧化钠溶液中接近完全溶解,而方石英 $\geq 130\text{ }^\circ\text{C}$ 氢氧化钠溶液中接近完全溶解。石英及方石英的碱浸过程均受化学反应控制,其反应活化能分别为 9.26 kJ/mol 和 5.02 kJ/mol。石英具有短程有序和长程有序结构,而方石英的结构特点为短程有序而长程无序,从而造成方石英比方石英更易溶于碱溶液。

**关键词** 石英;方石英;氢氧化钠;浸出动力学;透射电镜

## 前言

铝硅酸盐矿物(包括高岭石、偏高岭石和莫来石)与氧化铁在 950~1 200  $^\circ\text{C}$  下的还原焙烧,还原焙烧产物中除铝酸亚铁外,还有以石英和方石英形式存在的二氧化硅,且焙烧温度的升高会促使石英进一步转变为方石英<sup>[1-3]</sup>。已有研究表明,天然纯石英在约 1 470  $^\circ\text{C}$  才会转变为方石英<sup>[4]</sup>。从物相转变角度分析可知,还原焙烧产物中的石英和方石英有别于天然的石英和方石英,因此被重新定义为石英固溶体和方石英固溶体<sup>[5-7]</sup>。此外,碱浸溶出结果表明,还原焙烧产物中的石英固溶体和方石英固溶体均可在约 110  $^\circ\text{C}$  的氢氧化钠溶液中剧烈反应,其溶出率可达到 95% 以上<sup>[3,8]</sup>。然而,针对天然石英及方石英的碱浸溶出行为研究较少。

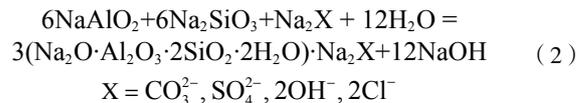
石英被认为是铝土矿中的杂质矿物,很多研究者对其在碱溶液中的反应行为进行了研究<sup>[9-11]</sup>。在拜耳法溶出铝土矿时(140~260  $^\circ\text{C}$ ),石英首先与碱溶液反应生成硅酸钠溶液,然后进一步与铝酸钠溶液反应生成固体水合铝硅酸钠,其反应过程见反应式(1)和(2)<sup>[12]</sup>。因此,铝土矿中石英的存在会造成拜耳法溶出过程中铝和碱的损失<sup>[10,13]</sup>。普遍认为石英在 $\leq 100\text{ }^\circ\text{C}$ 碱溶液中可稳定存在,只有温度 $\geq 180\text{ }^\circ\text{C}$ 时,石英才会与碱溶液剧烈反应<sup>[12]</sup>。Knauss 等<sup>[14]</sup>控制溶液 pH 值在 1.4~

11.8 和温度 70  $^\circ\text{C}$  的条件下,考察了石英的溶解速率。Balitsky 等<sup>[15]</sup>在浸出温度 100  $^\circ\text{C}$ 、200  $^\circ\text{C}$  和 300  $^\circ\text{C}$  条件下,考察了石英在 4% NaOH 溶液中的浸出动力学和溶出性。然而,针对石英在氢氧化钠溶液中的碱浸溶出行为则缺乏系统的研究。此外,由于方石英是石英在 1 470  $^\circ\text{C}$  温度下的相变产物,在自然界中仅有少量的存在,对其碱浸溶出行为研究则鲜有报道。

溶解:



析出:



为进一步探讨石英固溶体与石英以及方石英固溶体与方石英的差异,针对石英及方石英在氢氧化钠溶液中的碱浸溶出行为需要进行系统的研究。本文通过对石英和方石英的碱浸溶出结果分析以探讨其溶出动力学,进一步借助透射电镜分析探讨其在氢氧化钠溶液中的浸出差异性。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

本试验所用的石英为纯矿物,取自湖北省黄石市

收稿日期: 2022-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(52004194); 安徽理工大学引进人才科研启动基金(2022yjrc25)

作者简介: 王子如(2004—),男,安徽泗县人,本科生,主要研究方向为复杂矿石综合提取与利用, E-mail: 2519632639@qq.com。

通信作者: 王洪阳(1989—),男,河南永城人,博士,主要研究方向为复杂矿石综合提取与利用, E-mail: hywang3@aust.edu.cn。

某石英选矿厂。经破碎、研磨后控制其粒度 $-74\ \mu\text{m}$ , 然后置于 $105\ ^\circ\text{C}$ 烘箱中干燥 $5\ \text{h}$ , 最终获得用于碱浸的石英样品。将石英置于 $1600\ ^\circ\text{C}$ 的高温马弗炉(KSL-1700X-A3, 合肥科晶材料技术有限公司, 中国)中焙

烧 $2\ \text{h}$ , 再经破碎、研磨后控制其粒度 $-74\ \mu\text{m}$ , 最终获得方石英样品。石英和方石英的 X 射线荧光分析(X-ray fluorescence, XRF)和 X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)结果见表 1 和图 1。

表 1 石英和方石英的 X 射线荧光分析结果

/%

Table 1 XRF results of quartz and cristobalite (mass fraction)

Content	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO
Quartz	97.53	0.64	0.48	0.34	0.21	0.19	0.11	0.07
Cristobalite	97.47	0.52	0.53	0.37	0.19	0.25	0.12	0.08

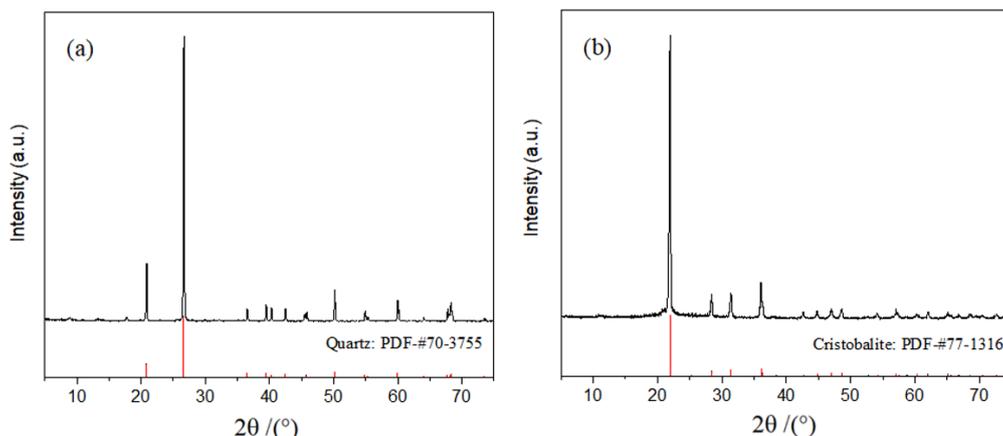


图 1 石英 (a) 和方石英 (b) 的 X 射线衍射图谱

Fig. 1 XRD patterns of quartz (a) and cristobalite (b)

从表 1 可知, 石英中 SiO<sub>2</sub> 含量达到 97.53%, 其杂质元素主要有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub> 等。经焙烧后, 方石英中各元素含量与石英中各元素含量无明显变化。图 1(a) 表明, 石英样品具有良好的结晶度, 其 XRD 图谱与标准图谱 PDF-#70-3755 完全重叠。此外, 石英经 $1600\ ^\circ\text{C}$ 焙烧 $2\ \text{h}$ 后可完全转变为方石英, 且方石英的 XRD 图谱与标准图谱 PDF-#77-1316 完全重叠(图 1(b))。

## 1.2 试验过程

石英及方石英的碱浸溶出试验是在型号为 GS-0.25 的高压反应釜(威海鼎达化工机械有限公司, 中国)中进行。将 $100\ \text{mL}$ 质量浓度为 $160\ \text{g/L}$ 的氢氧化钠溶液倒入反应釜中, 然后再加入 $10\ \text{g}$ 石英或方石英粉末, 高压反应釜密封后控制其转速为 $300\ \text{r/min}$ 并加热至反应温度后开始计时。待反应时间结束立即通入自来水将釜体冷却至 $70\ ^\circ\text{C}$ 以下, 之后打开反应釜并经过滤、洗涤和烘干后, 称取浸出渣的质量。鉴于石英及方石英均为纯矿物, 其浸出率可通过公式(3)求出。

$$\alpha = \frac{m_a - m_b}{m_a} \quad (3)$$

式中:  $\alpha$  为石英或方石英的浸出率, %;  $m_a$  指入料质量, g;  $m_b$  指浸出渣质量, g。

## 1.3 分析测试

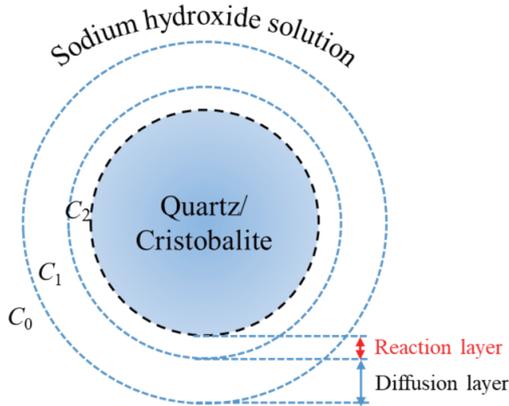
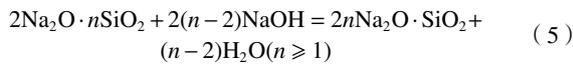
石英及方石英的物相分析采用型号为 D/MAX-RB 的 X 射线衍射仪(Rigaku Co., Japan)进行分析, 试验条件为: 衍射角度 $5^\circ\sim 75^\circ$ , 步长 $0.02^\circ$ , 扫描速度 $10^\circ/\text{min}$ 。石英及方石英的化学组成采用型号为 Zetium 的 X 射线荧光光谱仪(PANalytical B.V., Netherlands)进行分析, 首先将样品与一定质量的硼酸混匀, 经压制成块后置于荧光光谱仪中进行元素分析。石英及方石英的微观组成采用型号为 JEM-2100F 的高分辨透射电子显微镜(TEM, JEOL Ltd, Japan)进行分析, 首先在超声作用下将样品均匀分散在无水乙醇中, 然后取少量液体滴在具有多孔结构的铜网上, 经干燥后即可置于场发射高分辨透射电子显微镜进行微观分析。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 浸出动力学模型的选择

石英或方石英与氢氧化钠溶液反应时, 首先颗粒表面溶解并生成高模数硅酸钠液体( $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ ,  $n \geq 1$ ), 然后高模数硅酸钠液体与氢氧化钠溶液继续反应, 生成低模数硅酸钠液体( $\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{SiO}_2$ )并最终进入液相。因此, 石英或方石英与氢氧化钠溶液的反应如式(4)

和 (5) 所示<sup>[16]</sup>, 其反应机理示意图如图 2 所示。



$C_0$ —浸出剂的浓度;  $C_1$ —扩散层溶液浓度;  $C_2$ —反应层溶液浓度

图 2 石英或方石英在氢氧化钠溶液中的浸出示意图<sup>[16]</sup>

Fig. 2 Schematic illustration of quartz/cristobalite leaching in NaOH solution

由图 2 可知, 石英或方石英在氢氧化钠溶液中的溶解包括 3 个步骤: (1) 氢氧化钠溶液往颗粒表面的内扩散; (2) 颗粒表面的化学反应; (3) 高模数硅酸钠溶液向氢氧化钠溶液中的外扩散。由于浸出过程中颗粒表面的产物为高模数硅酸钠溶液, 氢氧化钠溶液向颗粒表面的内扩散作用比较微弱。因此, 石英或方石英

在氢氧化钠溶液中的溶解控制步骤主要为颗粒表面的化学反应或高模数硅酸钠溶液往氢氧化钠溶液中的外扩散。当浸出过程为化学反应控制时, 其反应动力学模型如公式 (6) 所示。当浸出过程为外扩散控制时, 其反应动力学模型如公式 (7) 所示<sup>[17-19]</sup>。

$$1 - (1 - \alpha)^{1/3} = k_a \times t \quad (6)$$

$$1 - (1 - \alpha)^{2/3} = k_b \times t \quad (7)$$

式中:  $\alpha$  为石英或方石英的浸出率, %;  $k_a$  和  $k_b$  为反应速率常数,  $\text{min}^{-1}$ ;  $t$  为浸出时间,  $\text{min}$ 。

### 2.2 浸出动力学模型的验证

在氢氧化钠浓度 160 g/L、固液比 10 g/100 mL 及搅拌速度 300 r/min 的浸出条件下, 考察了石英和方石英在不同温度及时间下的浸出行为, 其结果见图 3。由图 3(a) 可知, 石英在 100 °C 的 NaOH 溶液中比较稳定, 120 min 时的溶出率仅为 5.15%。随着浸出温度的升高, 石英的溶出率逐渐增大。当溶出温度  $\geq 180$  °C 时, 石英在 40 min 时的溶出率即达到 90.08%, 且随着浸出时间的延长进一步增大。图 3(b) 表明, 在 90 °C 的 NaOH 溶液中反应 120 min, 方石英的溶出率即达到 39.29%。方石英的溶解度随着浸出温度的升高而快速上升。当浸出温度  $\geq 130$  °C 时, 方石英在 60 min 时的溶出率即达到 98.82%。因此, 方石英比石英更易溶于 NaOH 溶液。

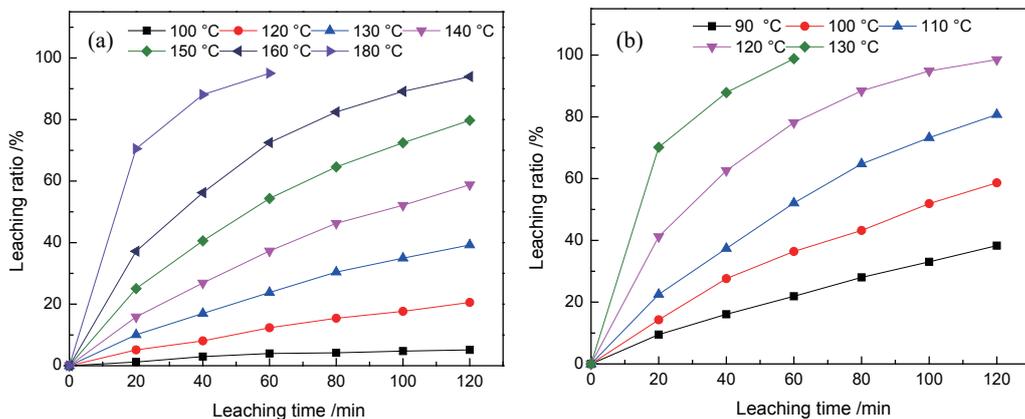


图 3 不同温度下的  $\text{SiO}_2$  浸出率(a 石英; b 方石英)

Fig. 3 Effect of leaching temperature on silica leaching ratio

将图 3 中的试验结果带入公式 (6) 和公式 (7) 进行拟合, 其结果分别见图 4 和图 5。由图 4(a) 可知, 石英在 120~160 °C 下的溶出率在公式 (6) 具有很好的拟合结果, 其各温度下的  $R^2$  均在 0.9800 以上。而方石英在 90~120 °C 下的溶出率在公式 (6) 同样具有很好的拟合结果, 其各温度下的  $R^2$  均在 0.9900 以上 (图 4(b))。

将图 3 的试验结果带入公式 (7) 时, 石英 (图 5(a))

在 120~140 °C 溶出率具有很好的拟合结果, 其各温度下的  $R^2$  均在 0.9700 以上。当溶出温度达到 150 °C 时, 其  $R^2$  降低至 0.9596, 且  $R^2$  随着浸出温度的升高而急剧降低。图 5(b) 的拟合结果也表明, 方石英溶出率在公式 (7) 的拟合结果随浸出温度的升高而变差。

为进一步对比图 3 的试验结果在公式 (6) 和公式 (7) 中的拟合结果, 将石英及方石英的表观速率常数和回归系数的拟合结果列于表 2 中。由表 2 的拟合结

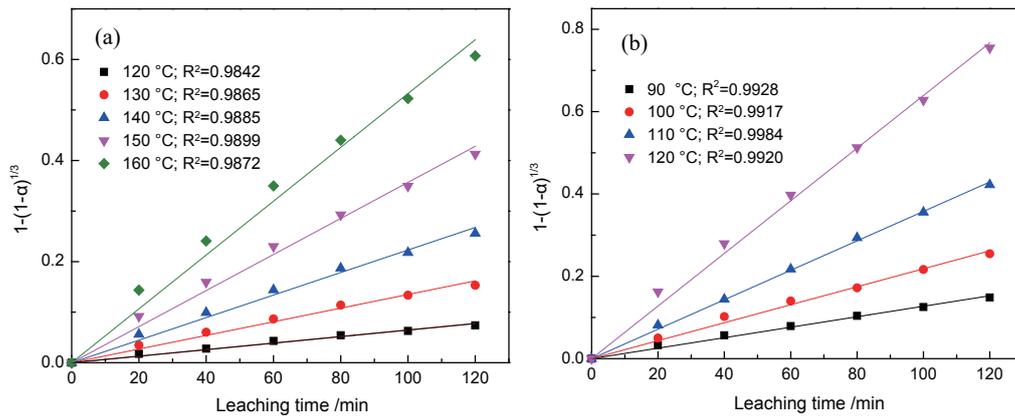


图 4 不同温度下  $1-(1-a)^{1/3}$  与浸出时间的关系(a 石英; b 方石英)  
 Fig. 4 Relationship between  $1-(1-a)^{1/3}$  and leaching time at different temperatures

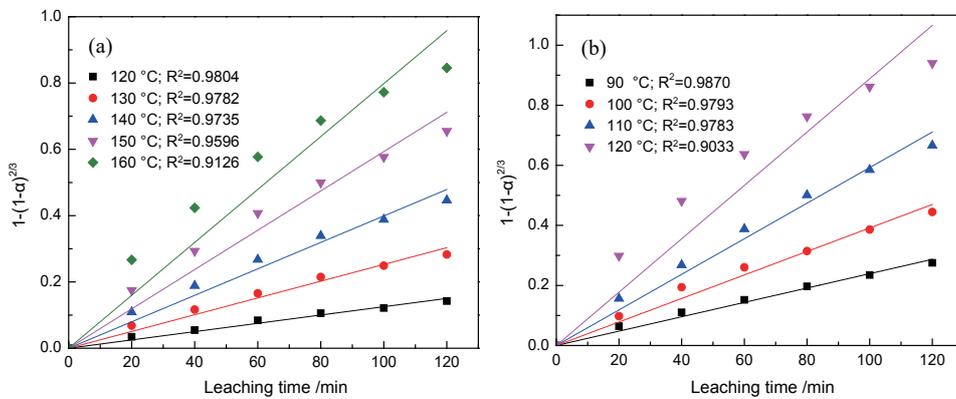


图 5 不同温度下  $1-(1-a)^{2/3}$  与浸出时间的关系(a 石英; b 方石英)  
 Fig. 5 Relationship between  $1-(1-a)^{2/3}$  and leaching time at different temperatures

表 2 石英及方石英的反应速率常数和拟合回归系数

Table 2 Reaction rate constants and fitting regression coefficient of quartz and cristobalite

Mineral	Leaching Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	$1-(1-a)^{1/3}$		$1-(1-a)^{2/3}$	
		$k_p/\text{min}$	$R^2$	$k_p/\text{min}$	$R^2$
Quartz	120	0.000 6	0.984 2	0.001 3	0.980 4
	130	0.001 3	0.986 5	0.002 5	0.978 2
	140	0.002 2	0.988 5	0.004 0	0.973 5
	150	0.003 6	0.989 9	0.005 9	0.959 6
	160	0.005 3	0.987 2	0.008 0	0.912 6
Cristobalite	90	0.001 3	0.992 8	0.002 5	0.987 0
	100	0.002 2	0.991 7	0.003 9	0.979 3
	110	0.003 6	0.998 4	0.005 9	0.978 3
	120	0.006 3	0.992 0	0.008 8	0.903 3

果可知, 石英不同温度的溶出率在公式 (6) 的拟合结果明显优于公式 (7) 的拟合结果, 具体表现在前者不同温度下的  $R^2$  均高于后者。因此, 石英在氢氧化钠溶液中溶解的控制环节为化学反应控制。此外, 方石英在不同温度的溶出率在公式 (6) 的拟合结果同样优于公式 (7) 的拟合结果。公式 (6) 的  $R^2$  均高于 0.990 0, 而公式 (7) 的  $R^2$  均低于 0.990 0 且随浸出温度的升高而降低。因此, 方石英在 NaOH 溶液中的溶解同样受化学反应控制。

根据阿伦尼乌斯方程, 反应速率常数与活化能存在如式 (8) 的关系<sup>[20-21]</sup>。对石英及方石英在不同温度下的表观速率常数进行拟合, 可根据其拟合直线的斜率求得石英及方石英在氢氧化钠溶液中的化学反应活化能, 其结果见图 6。经计算可知, 石英和方石英在氢氧化钠溶液中的反应活化能分别为 9.26 kJ/mol 和 5.02 kJ/mol。进一步说明方石英比石英更易溶于氢氧化钠溶液。

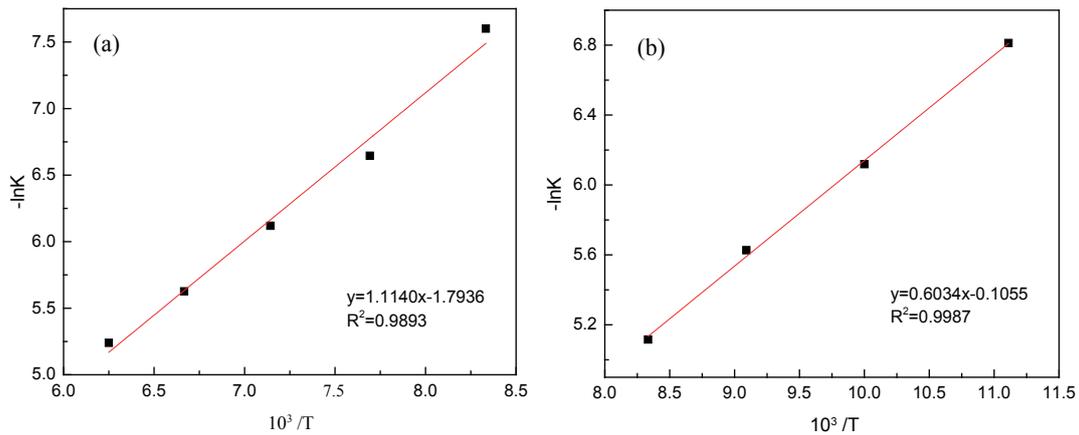


图 6 函数  $1-(1-a)^{1/3}$  下  $-\ln k$  与  $10^3/T$  的阿伦尼乌斯图 (a 石英; b 方石英)  
 Fig. 6 Arrhenius plot of  $-\ln k$  vs  $10^3/T$  of  $1-(1-a)^{1/3}$  function

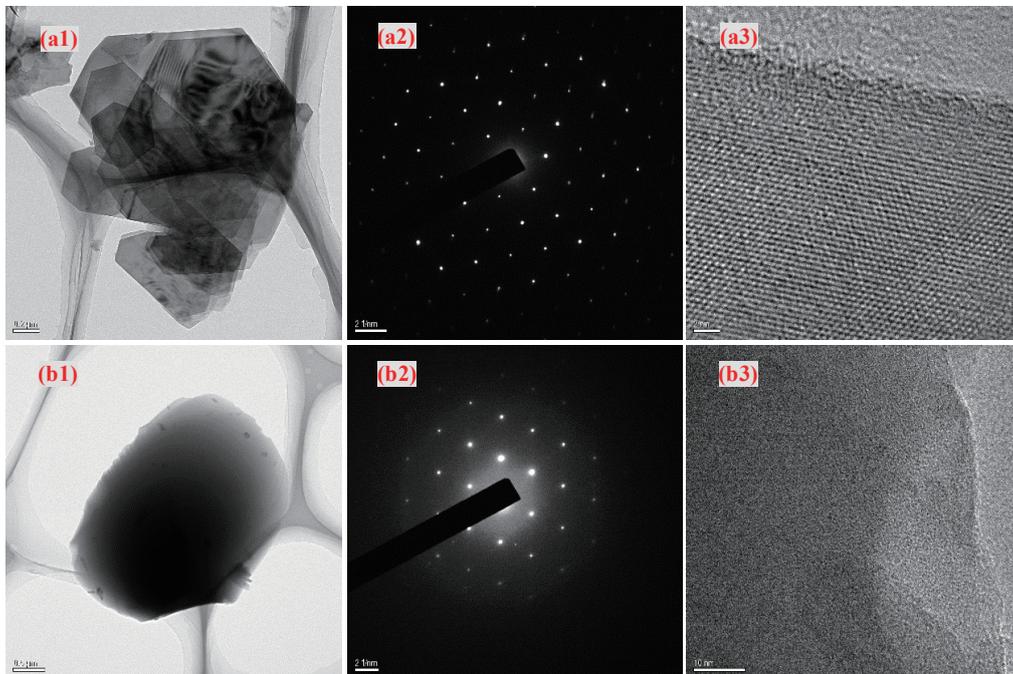
$$\ln k = \ln A - E/(RT) \quad (8)$$

式中:  $k$  是反应速率常数,  $\text{min}^{-1}$ ;  $A$  是频率因子,  $\text{min}^{-1}$ ;  $E$  是反应活化能,  $\text{J/mol}$ ;  $R$  是通用气体常数,  $8.314 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ ;  $T$  是反应温度,  $^\circ\text{C}$ 。

### 2.3 TEM 分析

为探讨石英及方石英在氢氧化钠溶液中的浸出差异, 采用 TEM 对石英及方石英进行分析, 其结果见图 7。由图 7(a1) 可知, 本试验所用的石英为片状结构。而选区衍射花样分解结果表明 (图 7(a2)), 石英具有三

方晶系, 且有规则的晶面 (图 7(a3))。经  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  煅烧后, 方石英颗粒表面因融化而呈现出规则的椭圆结构 (图 7(b1))。图 7(b2) 的选区衍射花样分解结果表明, 方石英具有四方晶系结构。然而, 图 7(b3) 的 TEM 结果表明方石英的晶面呈现出无规则排布。石英在长程和短程上均具有有序结构, 在氢氧化钠溶液中比较稳定。方石英则呈现出长程无序而短程有序的特点, 在低温下即与氢氧化钠溶液剧烈反应。该现象揭示了石英和方石英在氢氧化钠溶液中的溶出差异。



(a1) 石英 TEM 图像; (a2) 石英选区电子衍射花样; (a3) 石英晶格条纹; (b1) 方石英 TEM 图像; (b2) 方石英选区电子衍射花样; (b3) 方石英晶格条纹

图 7 石英及方石英的高分辨透射电子显微镜分析结果  
 Fig. 7 TEM results of quartz and cristobalite

### 3 结论

(1) 在  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  氢氧化钠溶液中浸出  $120 \text{ min}$  时, 石

英的溶出率低于  $10\%$ , 而方石英的溶出率则达到  $80\%$ 。因此, 方石英比石英更易溶于氢氧化钠溶液。

(2) 石英和方石英在氢氧化钠溶液中的浸出控制

步骤均为化学反应控制, 其反应活化能分别为 9.26 kJ/mol 和 5.02 kJ/mol。

(3) TEM 分析结果表明, 方石英具有短程有序和长程无序的特点, 有别于石英的短程有序和长程有序特点, 从而证实了方石英比石英更易溶于氢氧化钠溶液。

### 参考文献:

- [1] LI X B, WANG H Y, ZHOU Q S, et al. Reaction behavior of kaolinite with ferric oxide during reduction roasting[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019, 29(1): 186–193.
- [2] LI X B, WANG H Y, ZHOU Q S, et al. Efficient separation of silica and alumina in simulated CFB slag by reduction roasting-alkaline leaching process[J]. Waste Management, 2019, 87: 798–804.
- [3] WANG H Y, ZHANG X X, YANG S Y, et al. Separation of alumina and silica from metakaolinite by reduction roasting-alkaline leaching process: Effect of  $\text{CaSO}_4$  and  $\text{CaO}$ [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2022, 32(3): 999–1009.
- [4] YAMAGUCHI O, KANAZAWA T, SHIMIZU K. Crystallization of amorphous silica into quartz[J]. Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions, 1982, 5: 1005–1007.
- [5] SEGNET E R, GELB T. Metastable quartz-type structures formed from kaolinite by solid state reaction[J]. American Mineralogist, 1972, 57: 1505–1514.
- [6] TAKEUCHI N, TAKAHASHI H, ISHIDA S, et al. Mechanistic study of solid-state reaction between kaolinite and ferrous oxide at high temperatures[J]. Journal of the Ceramic Society of Japan, 2000, 108(10): 876–881.
- [7] 王洪阳, 张晓雪, 宋少先. 高岭石与氧化铁还原焙烧过程中二氧化硅固溶体的形成机理[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(3): 756–764. WANG H Y, ZHANG X X, SONG S X. Formation mechanism of silica solid solution during reduction roasting of kaolinite and ferric oxide[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(3): 756–764.
- [8] LI X B, WANG H Y, ZHOU Q S, et al. Efficient separation of alumina and silica in reduction-roasted kaolin by alkali leaching[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019, 29(2): 416–423.
- [9] 李威, 夏飞龙, 张姗姗, 等. 高硅铝土矿焙烧-碱浸脱硅及热力学研究[J]. 有色金属工程, 2021, 11(10): 74–78. LI W, XIA F L, ZAHNG S S, et al. Study on alkali desilication and thermodynamics of high silicate bauxite[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2021, 11(10): 74–78.
- [10] SMITH P. The processing of high silica bauxites-Review of existing and potential processes[J]. Hydrometallurgy, 2009, 98: 162–176.
- [11] 韩跃新, 柳晓, 何发钰, 等. 我国铝土矿资源及其选矿技术进展[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(4): 151–158. HAN Y X, LIU X, HE F Y, et al. Current situation of bauxite resource and its beneficiation technology in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(4): 151–158.
- [12] CROKER D, LOAN M, HODNETT B K. Desilication reactions at digestion conditions: an in situ X-ray diffraction study[J]. Crystal Growth and Design, 2008(8): 4499–4505.
- [13] 赵媛媛, 徐伟, 石波, 等. 季铵盐类捕收剂在矿物浮选脱硅中的研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(2): 34–43. ZHAO Y Y, XU W, SHI B, et al. Research progress of cationic quaternary ammonium salt collector in mineral flotation desilication[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(2): 34–43.
- [14] KNAUSS K G, WOLERY T J. The dissolution kinetics of quartz as a function of pH and time at 70 °C[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1988, 52(1): 43–53.
- [15] BALITSKY V S, KURASHIGE M, BALITSKAYA L V, et al. Kinetics of dissolution and state of silica in hydrothermal solutions of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  and  $\text{NaOH}$ , and accelerated method for the quartz crystal characterization against growth rate[J]. Journal of Crystal Growth, 2002, 237: 828–832.
- [16] WANG R C, ZHAI Y C, NING Z Q, et al. Kinetics of  $\text{SiO}_2$  leaching from  $\text{Al}_2\text{O}_3$  extracted slag of fly ash with sodium hydroxide solution[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(6): 1928–1936.
- [17] 李洪桂. 湿法冶金学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2002: 69–100. LI H G. Hydrometallurgy [M]. Changsha: Central South University Press, 2002: 69–100.
- [18] 祖鹏, 李解, 林嘉威, 等. 钠盐焙烧稀土精矿的加压浸出动力学[J]. 湿法冶金, 2021, 40(5): 394–398. ZU P, LI J, LIN J W, et al. Kinetics of pressure leaching of rare earth concentrates roasted with sodium salt[J]. Hydrometallurgy of China, 2021, 40(5): 394–398.
- [19] WANG H D, ZHOU A A, GUO H, et al. Kinetics of leaching lithium from lepidolite using mixture of hydrofluoric and sulfuric acid[J]. Journal of Central South University, 2020, 27(1): 27–36.
- [20] 华一新. 冶金过程动力学导论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 191–193. HUA Y X. Introduction of metallurgical process kinetics [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004: 191–193.
- [21] 孙彩虹, 代梦博, 张文杰, 等. 转底炉工艺次氧化锌的硫酸浸出动力学[J]. 湿法冶金, 2022, 41(2): 117–121. SUN C H, DAI M B, ZAHNG W J, et al. Leaching kinetics of secondary zinc oxide from rotary hearth furnace using sulfuric acid[J]. Hydrometallurgy of China, 2022, 41(2): 117–121.

## Leaching Kinetics of Quartz and Cristobalite with Sodium Hydroxide Solution

WANG Ziru, CAO Zeping, WANG Jiayao, WANG Hongyang

*School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China*

**Abstract:** In order to find out the leaching difference between silica (quartz and cristobalite) and silica solid solution (quartz solid solution and cristobalite solid solution), the alkaline leaching kinetics of quartz and cristobalite with sodium hydroxide (NaOH) solution was studied in this paper, and the solubility difference between quartz and cristobalite was verified with the analysis method of transmission electron microscope. The results show that quartz violently reacted with NaOH solution at  $\geq 180$  °C, while cristobalite quickly dissolved into NaOH solution at  $\geq 130$  °C. The leaching of quartz and cristobalite in NaOH solution was controlled by surface chemical reaction, and their activation energies were  $9.26 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  and  $5.02 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , respectively. Quartz had the crystal characteristics of short-range order and long-range order, while cristobalite had the crystal characteristics of short-range order and long-range disorder. Thereby, cristobalite was more readily soluble than quartz in NaOH solution.

**Keywords:** quartz; cristobalite; sodium hydroxide; leaching kinetics; transmission electron microscope

引用格式: 王子如, 曹泽平, 汪佳瑶, 王洪阳. 石英及方石英的碱浸动力学研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(5): 88-94.

WANG Ziru, CAO Zeping, WANG Jiayao, WANG Hongyang. Leaching kinetics of quartz and cristobalite with sodium hydroxide solution[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(5): 88-94.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kebh@chinajournal.net.cn](mailto:kebh@chinajournal.net.cn)