doi：10.3969/j.issn.1005-7854.2020.04.018

KOH 低温焙烧钾长石提取 SiO_2

刘佳囡[1]　赵 旭[1]　翟玉春[2]
（1. 渤海大学 化学与材料工程学院，辽宁 锦州 121013；
2. 东北大学 冶金学院，沈阳 110819）

摘　要：以钾长石为原料，氢氧化钾为助熔剂，采用焙烧法破坏钾长石结构，使矿石中的不溶性硅转化成可溶性硅。采用水溶工艺溶出焙烧熟料中的硅。研究了工艺参数即焙烧温度、焙烧时间和碱矿比对 SiO_2 溶出率的影响。结果表明，碱矿比对 SiO_2 的溶出率影响最大，并得到最佳焙烧条件为：焙烧温度 500 ℃、焙烧时间 2.5 h、碱矿比 2.5。在此条件下，SiO_2 的溶出率可高达 99.5%。

关键词：钾长石；KOH；焙烧；二氧化硅溶出
中图分类号：TF 111.31　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1005-7854(2020)04-0095-04

Extraction of SiO_2 from potash feldspar by roasting with KOH at low temperature

LIU Jia-nan[1]　ZHAO Xu[1]　ZHAI Yu-chun[2]
(1. College of Chemistry and Materials Engineering，Bohai University，Jinzhou 121013，Liaoning，China；
2. School of Metallurgy，Northeastern University，Shenyang 110819，China)

Abstract：Using potash feldspar as raw material and potassium hydroxide as assistant，the structure of potash feldspar was destroyed by roasting，and the insoluble silicon in potash feldspar was transformed into soluble silicon. Slicon was leached from roasted clinker by water leaching process. The effects of roasting temperature，roasting time and alkali ore ratio on the dissolution rate of SiO_2 were studied. The results show that alkali ore ratio has the greatest influence on the dissolution rate of SiO_2. The best dissolving condition of silica is：roasting temperature 500 ℃，roasting time 2.5 h，alkali ore ratio 2.5∶1. Under the condition，the dissolution rate of silica can reach 99.5%.

Key words：potash feldspar；KOH；roasting；silica dissolution

钾长石化学式为 $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$[1]，熔点 1 320 ℃，结构十分稳定，是我国储量丰富的一种天然矿物。常温下，钾长石几乎不与任何酸或碱反应，当温度高达 1 800 ℃时才可以将其分解。将钾长石与一定的助剂混合并进行低温焙烧，可破坏钾长石原有结构，使其中的 SiO_2 溶出[2]，既可提高钾长石的分解效率，又可减少能量消耗。基于此，本文采用 KOH 为助熔剂，将其与钾长石混合并在低温条件下焙烧，探究焙烧条件对二氧化硅溶出率的影响。利用快速滴定法[3]测定二氧化硅的溶出率，找到提取有价组元硅的最佳焙烧条件，为后续利用钾长石制备分子筛提供参考[4-6]，从而实现钾长石综合利用的目的[7-10]。

1　实验

1.1　原料

实验所用钾长石矿的主要成分为硅铝酸盐，且

收稿日期：2019-12-16
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51804035)；辽宁省科技厅项目(22019-ZD-0507，2170520067)
第一作者：刘佳囡，讲师，研究方向为矿物资源综合利用、无机材料化学、绿色化学冶金、矿产资源高效利用。E-mail：ljn19870305@163.com

矿物颗粒大，表面光滑，其 X 射线衍射(XRD)图谱和扫描电镜(SEM)图像如图 1 所示，主要化学成分见表 1。

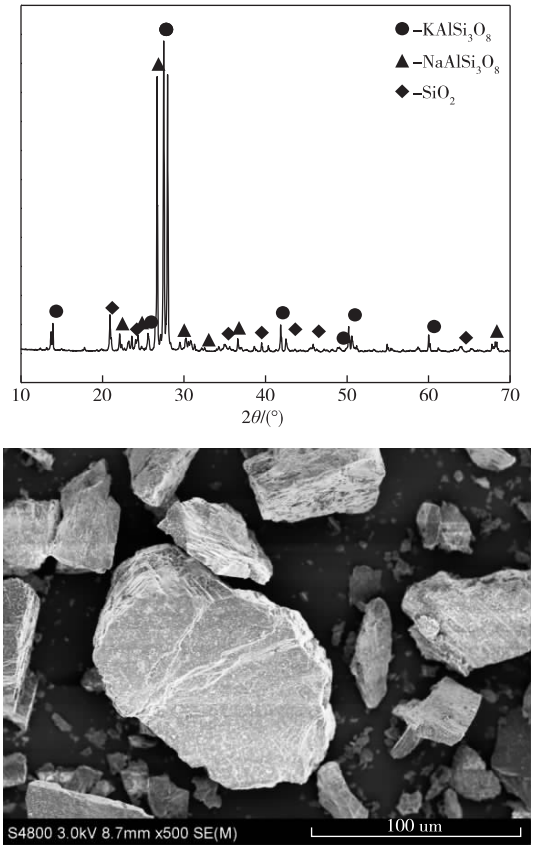

图 1　钟长石的 XRD 图谱与 SEM 图像

Fig. 1　XRD pattern and SEM image of potash feldspar

表 1　钟长石的主要化学成分

Table 1　Main composition of potash feldspar　/%

成分	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O
含量	69.45	15.72	7.99	3.28

1.2　实验原理

焙烧条件下，钟长石与 KOH 可发生如式(1)的反应。

$$KAlSi_3O_8+4KOH=KAlSiO_4+2K_2SiO_3+2H_2O \quad (1)$$

焙烧熟料经水溶后，采用快速滴定法[3]测定焙烧熟料中 SiO_2 的溶出含量并利用公式(2)计算溶出率。

$$\omega(SiO_2)=15\left[C_1(V_1-V_3)-C_2(V_2-V_4)\right]V_0/V/m\times100\% \quad (2)$$

式中，15—与 1 mol 盐酸标准滴定溶液相当的，以克表示的二氧化硅的质量，g/mol；C_1、C_2—盐酸标准溶液和氢氧化钠标准溶液的浓度，mol/L；V_1、V_2—滴定中消耗的盐酸标准溶液体积和氢氧化钠标准溶液体积，mL；V_3、V_4—空白实验中消耗的盐酸标准溶液和氢氧化钠标准溶液体积，mL；V_0—溶出液体总体积，L；V—所取溶出液样品体积，mL；m—样品中 SiO_2 质量，g。

1.3　实验步骤

将钟长石矿破碎研磨为粒径小于 74 μm 的粉末，并将 KOH 与钟长石粉末在坩埚中按一定摩尔比(简称“碱矿比”，下同)混合均匀后置于马弗炉焙烧。到达焙烧时间后，将焙烧熟料破碎研磨成粒径小于 74 μm 的粉末。并按固液比(质量比)为1∶4(取 10 g 焙烧熟料，40 g 蒸馏水)溶解于100 mL烧杯中，再将烧杯置于恒温磁力搅拌器上于 80 ℃，400 r/min 条件下溶出 30 min。溶出结束后过滤，采用快速滴定法对滤液进行检测，计算焙烧熟料中 SiO_2 的溶出率。

2　结果与讨论

2.1　焙烧温度对 SiO_2 溶出率的影响

在焙烧时间 2 h、碱矿比 1 条件下，探究焙烧温度对 SiO_2 溶出率的影响，结果如图 2 所示。

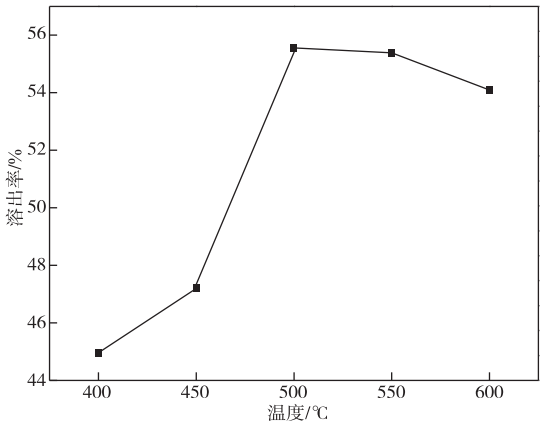

图 2　焙烧温度对 SiO_2 溶出率的影响

Fig. 2　Effect of roasting temperature on the dissolution rate of SiO_2

从图 2 可以看出，在 400～600 ℃的较高温度下，SiO_2 溶出率较高。但当焙烧温度超过 500 ℃后，再继续升高焙烧温度，SiO_2 的溶出率不再升高反而有下降趋势，最佳焙烧温度为 500 ℃，该温度下的 SiO_2 溶出率为 56%。此数值相对较低，原因是碱矿比较小或反应时间较短，钟长石矿并没有完全反应，需要进一步研究焙烧时间和碱矿比的影响。

2.2 焙烧时间对 SiO_2 溶出率的影响

图 3 为焙烧温度 500 ℃、碱矿比 1 时，焙烧时间对 SiO_2 的溶出率的影响曲线。

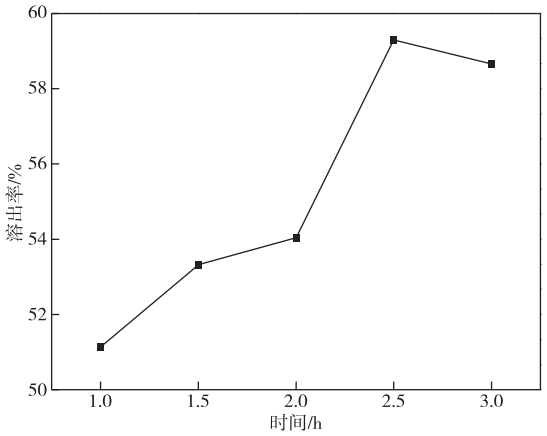

图 3 焙烧时间对 SiO_2 溶出率的影响

Fig. 3 Effect of roasting time on the dissolution rate of SiO_2

从图 3 可以看出，随着焙烧时间的延长，SiO_2 的溶出率先增加后降低，焙烧时间 2.5 h 时溶出率最大，此条件下 SiO_2 的溶出率最高可达 55%。此数值依然较低，这是因为 KOH 含量较低，没有完全破坏钾长石的结构，导致钾长石矿并没有完全反应，SiO_2 没有完全溶出。

2.3 碱矿比对 SiO_2 溶出率的影响

图 4 为焙烧温度 500 ℃、焙烧时间 2.5 h 时，碱矿比与 SiO_2 溶出率的关系曲线。

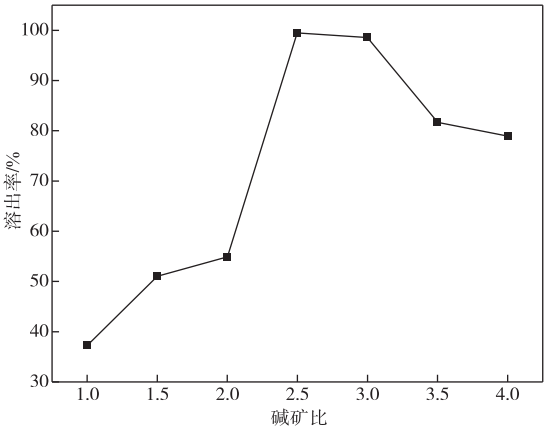

图 4 碱矿比对 SiO_2 溶出率的影响

Fig. 4 Effect of alkali ore ratio on the dissolution rate of SiO_2

从图 4 可以看出，随着碱矿比的增大，SiO_2 的溶出率先升高后降低，当碱矿比为 2.5 时，SiO_2 的溶出率最高，达到 99.5%，说明碱矿比对 SiO_2 溶出率的影响最大。

2.4 熟料及溶出渣结构特征

最优条件下所得焙烧熟料与溶出渣的 XRD 图谱如图 5 所示，相应 SEM 图像如图 6 所示。

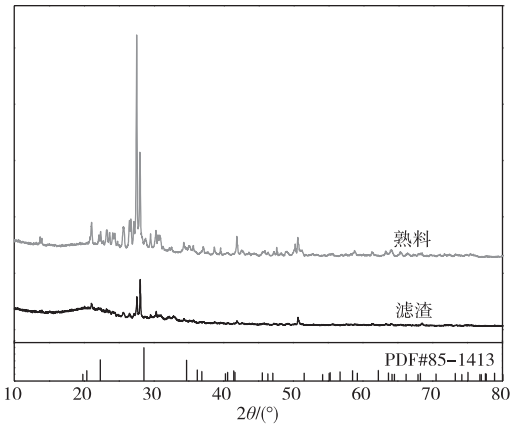

图 5 焙烧熟料与溶出渣的 XRD 图谱

Fig. 5 XRD patterns of the roasted clinker and residue

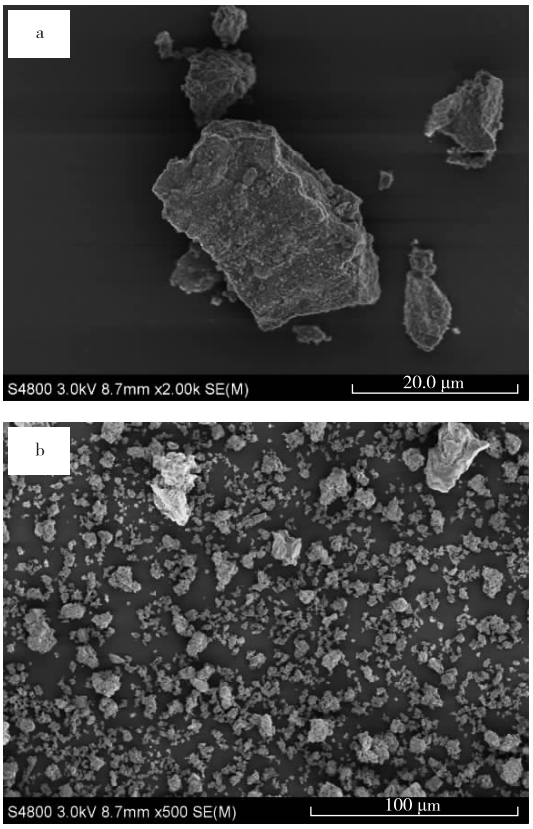

图 6 熟料(a)和溶出渣(b)的 SEM 图像

Fig. 6 SEM images of clinker (a) and residue(b)

从图 5 可以看出，二者的主衍射峰与硅铝酸钾标准卡片 PDF#85-1413 吻合，熟料中硅铝酸钾的衍射峰较强，而滤渣的硅铝酸钾的衍射峰明显较弱，说明熟料中大量的硅铝酸钾已被溶出。

由图 6 可知，焙烧熟料表面被生成的硅铝酸钾盐所覆盖，颗粒大小不一、形状并不规则。经水浸后，焙烧熟料表面及周围的焙烧产物硅铝酸钾盐被溶解，滤渣颗粒大小均匀，且粒度远小于焙烧熟料。

3　结论

1)将钾长石和 KOH 进行混合，在低温下焙烧可破坏钾长石的稳定结构，可实现将钾长石中的不溶性硅转化成可溶性硅。

2)焙烧温度、焙烧时间、碱矿比对 SiO_2 溶出率均有影响，其中碱矿比对 SiO_2 溶出率的影响最为显著。最佳焙烧条件为：焙烧温度 500 ℃、焙烧时间 2.5 h、碱矿比 2.5，该条件下的溶出率可高达 99.5%。

3)实验结果可为后续利用钾长石制备分子筛实验及实现钾长石的高附加值化利用提供参考。

参考文献

[1]　申军. 钾长石综合利用综述 [J]. 化工矿物与加工，2000(10)：1-3.
SHEN J. Summarization of comprehensive utilization of potash feldspar [J]. Industrial Minerals & Processing，2000(10)：1-3.

[2]　刘佳囡，申晓毅，张俊，等. 钾长石焙烧熟料中二氧化硅的溶出 [J]. 东北大学学报(自然科学版)，2016，37(3)：363-367.
LIU J N，SHEN X Y，ZHANG J，et al. Digestion of silica from the potash feldspar roasted clinker [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science)，2016，37(3)：363-367.

[3]　中国国家标准化管理委员会. GB/T 4209—2008 工业硅酸钠 [S]. 北京：中国标准出版社，2008.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4209—2008 Sodium silicate for industrial use [S]. Beijing：Standards Press of China，2008.

[4]　陈仕英，何军礼，张永亮. 钾长石制分子筛技术研究 [J]. 山西化工，2017，37(6)：63-64，140.
CHEN S Y，HE J L，ZHANG Y L. Technology research on potassium feldspar for molecular sieve [J]. Shanxi Chemical Industry，2017，37(6)：63-64，140.

[5]　陈华丹，郭菊花，戴勇，等. 混合亚熔盐法分解钾长石制备钙霞石和 W 分子筛 [J]. 人工晶体学报，2015，44(11)：3158-3165.
CHEN H D，GUO J H，DAI Y，et al. Synthesis of cancrinite and zeolite W from K-feldspar by mixed sub-molten salt method [J]. Journal of Synthetic Crystals，2015，44(11)：3158-3165.

[6]　杜翠华，赵斌，郭宏飞，等. KOH 碱熔活化钾长石制取全钾 W 型分子筛 [J]. 人工晶体学报，2014，43(1)：153-162.
DU C H，ZHAO B，GUO H F，et al. Preparation of total potassium W zeolite from potassium feldspar activated by potassium hydroxide [J]. Journal of Synthetic Crystals. 2014，43(1)：153-162.

[7]　刘佳囡，申晓毅，翟玉春. 钾长石焙烧熟料的浸出动力学 [J]. 过程工程学报，2015，15(5)：819-823.
LIU J N，SHEN X Y，ZHAI Y C. Leaching kinetics of potash feldspar roasted clinker [J]. The Chinese Journal of Process Engineering，2015，15(5)：819-823.

[8]　黎佳宜，黎方正，钱江涛. 钾长石综合利用研究进展及回收新工艺的提出 [J]. 广东化工，2015，42(10)：119-120.
LI J Y，LI F Z，QIAN J T. Progress made potassium feldspar and recycling utilization of new technology [J]. Guangdong Chemical Industry，2015，42(10)：119-120.

[9]　熊文良，杨永涛. 青海某钾长石资源综合利用试验研究 [J]. 矿产综合利用，2007(2)：10-12.
XIONG W L，YANG Y T. Experimental research on comprehensive utilization of a potash feldspar ore in Qinghai [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources，2007(2)：10-12.

[10]　王渭清，潘磊，李龙涛，等. 钾长石资源综合利用研究现状及建议 [J]. 中国矿业，2012，21(10)：53-57.
WANG W Q，PAN L，LI L T，et al. Research situation and recommendations on the comprehensive utilization of potassium feldspar resources [J]. China Mining Magazine，2012，21(10)：53-57.