

# Effect of Supports on CO<sub>2</sub> Adsorption Behavior of Potassium-Based Adsorbents

Jiahao Zhang, Hua Pan\*, Yu Mei

College of Biology and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hangzhou Zhejiang  
Email: [panhua.7@163.com](mailto:panhua.7@163.com)

Received: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2020; accepted: May 7<sup>th</sup>, 2020; published: May 14<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Effect of the supports on CO<sub>2</sub> adsorption by potassium-based adsorbents was investigated. Both K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgitite and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> adsorbents were prepared by impregnation method. The results indicated that the capacity for CO<sub>2</sub> adsorption of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgitite adsorbents is higher than that of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> adsorption capacity of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgitite and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> was 74.4 mg/g and 51.2 mg/g at 333 K, respectively. No direct correlation between the surface area, pore volume and capture capacity was observed on potassium-based adsorbents. The nature of support plays an important role for CO<sub>2</sub> adsorption on potassium-based adsorbents. CO<sub>2</sub> adsorption capacity of Attapulgitite supports was 21 mg/g. However, CO<sub>2</sub> adsorption capacity of TiO<sub>2</sub> supports was only 12.8 mg/g. The formation of potassium phase is an important factor for CO<sub>2</sub> adsorption on potassium-based adsorbents. Not only K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> but also K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> was detected on K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgitite. Both K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and K<sub>1.6</sub>Ti<sub>1.6</sub>O<sub>3</sub> were detected on K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>. During the CO<sub>2</sub> adsorption process on K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgitite, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and part of K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> transformed into KHCO<sub>3</sub>. In the case of CO<sub>2</sub> adsorption process on K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>, only K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> could be transformed into KHCO<sub>3</sub>. CO<sub>2</sub> could not adsorbed by K<sub>1.6</sub>Ti<sub>1.6</sub>O<sub>3</sub>.

## Keywords

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Support, CO<sub>2</sub>, Adsorbents

## 载体对钾基吸附剂脱除CO<sub>2</sub>的影响

张嘉豪, 潘华\*, 梅瑜

浙江树人大学, 生物与环境工程学院, 浙江 杭州  
Email: [panhua.7@163.com](mailto:panhua.7@163.com)

收稿日期: 2020年4月22日; 录用日期: 2020年5月7日; 发布日期: 2020年5月14日

\*通讯作者。

## 摘要

采用浸渍法制备了 $\text{K}_2\text{CO}_3$ /凹凸棒石和 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$ 吸附剂,研究了载体对钾基吸附剂脱除 $\text{CO}_2$ 的影响。研究表明: $\text{K}_2\text{CO}_3$ /凹凸棒石的 $\text{CO}_2$ 吸附容量大于 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$ 的 $\text{CO}_2$ 吸附容量,在333 K时, $\text{K}_2\text{CO}_3$ /凹凸棒石和 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$ 的吸附容量分别为74.4 mg/g和51.2 mg/g。钾基吸附剂的比表面积和比孔容对 $\text{CO}_2$ 吸附性能无明显的正相关性。载体是钾基吸附剂吸附 $\text{CO}_2$ 性能差异的一方面原因,凹凸棒石载体的 $\text{CO}_2$ 吸附容量为21 mg/g, $\text{TiO}_2$ 载体的 $\text{CO}_2$ 吸附容量为12.8 mg/g。碱金属钾在不同载体中的物相差异是造成 $\text{CO}_2$ 吸附性能差异的另一原因,在 $\text{K}_2\text{CO}_3$ /凹凸棒石中,不仅有 $\text{K}_2\text{CO}_3$ 物相,还检测出 $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ ,而在 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$ 中,则有 $\text{K}_2\text{CO}_3$ 和 $\text{K}_{1.6}\text{Ti}_{1.6}\text{O}_3$ 物相。在 $\text{K}_2\text{CO}_3$ /凹凸棒石吸附 $\text{CO}_2$ 过程中, $\text{K}_2\text{CO}_3$ 和部分 $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ 转化成 $\text{KHCO}_3$ 。在 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$ 吸附 $\text{CO}_2$ 过程中, $\text{K}_2\text{CO}_3$ 转化成 $\text{KHCO}_3$ ,而 $\text{K}_{1.6}\text{Ti}_{1.6}\text{O}_3$ 未参与 $\text{CO}_2$ 的吸附。

## 关键词

碳酸钾, 载体, 二氧化碳, 吸附剂

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

化石燃料燃烧排放的大量 $\text{CO}_2$ 是造成温室效应的主要原因,经济高效的捕集和分离 $\text{CO}_2$ 是目前研究的热点。液态胺溶液吸附 $\text{CO}_2$ 是工业生产中脱除 $\text{CO}_2$ 的常见方法[1] [2] [3],该技术比较成熟,吸附效果好,但是却存在设备容易腐蚀、吸附剂再生能耗大和容易被氧化降解等问题[4] [5]。

近年来,可再生的碱金属吸附剂脱除 $\text{CO}_2$ 技术操作相对简单,对设备的腐蚀性小,吸附剂再生温度低,能耗小,被认为是一种极具前景的捕集回收 $\text{CO}_2$ 技术[6]-[13]。该技术中碱金属吸附剂理论吸附 $\text{CO}_2$ 的反应方程式为 $\text{M}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{MHCO}_3$  ( $\text{M} = \text{Na}, \text{K}$ )。其中碱金属钾吸附剂由于具有较好的 $\text{CO}_2$ 吸附性能而受到广泛研究[6] [7] [8] [9] [10]。Sharonov等[6]研究了 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 吸附剂在295 K时吸附 $\text{CO}_2$ 的动力学,研究得到反应速率中 $\text{CO}_2$ 浓度的反应级数为 $n = 1.04 \pm 0.07$ 。Lee等[7]报道了 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{MgO}$ 吸附剂具有很好吸附和再生特性,在323 K, 11% $\text{H}_2\text{O}$ 条件下,其 $\text{CO}_2$ 的最大吸附容量可达197.6 mg/g<sub>吸附剂</sub>。此外, $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{ZrO}_2$  [8]、 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{vermiculite}$  [9]和 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$  [10]等吸附剂也具有较好的 $\text{CO}_2$ 吸附性能。

虽然上述不同载体负载 $\text{K}_2\text{O}_3$ 的吸附剂均显示了较好的 $\text{CO}_2$ 吸附性能,然而,现有的文献报道中由于吸附剂的制备方法和反应条件不同,难以比较不同载体对碱金属吸附剂吸附 $\text{CO}_2$ 性能的影响。为探明载体对碱金属吸附剂吸附 $\text{CO}_2$ 性能的影响,本文选取 $\text{TiO}_2$ 和凹凸棒石(Attapulgite)作为载体,采用浸渍法制备了含有30%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (质量百分比)的吸附剂,在固定床反应中比较了钾基吸附剂的吸附容量,采用BET和XRD表征分析了载体对钾基吸附剂脱除 $\text{CO}_2$ 的影响。

## 2. 实验部分

### 2.1. 钾基吸附剂的制备

采用浸渍法将 $\text{K}_2\text{CO}_3$  (Aldrich,  $\geq 99\%$ )负载在 $\text{TiO}_2$  (杭州万景新材料有限公司, 99%)和凹凸棒石(安徽

明光)等载体上, 制备钾基吸附剂。将 7 g 载体加入到 20 ml 含有 3 g 无水  $K_2CO_3$  的溶液中, 在室温下采用磁力搅拌器混合 24 h 后, 在 353 K 下采用旋转式蒸发器烘干, 最后将烘干的样品在空气气氛下置于马弗炉中 673 K 下煅烧 4 h。

## 2.2. $CO_2$ 吸附实验

将 1.5 g 的钾基吸附剂装入内径为 1 cm, 长度为 25 cm 的固定床石英管反应器中。在吸附实验中, 水汽浓度的控制通过注射泵注射后高温气化进入反应器。实验模拟气成分为  $CO_2$  (2.0 vol.%) -  $H_2O$  (10 vol.%) -  $N_2$  (载气), 气体流量 120  $cm^3/min$ , 反应温度 333 K。  $CO_2$  浓度采用气相色谱(TCD 检测器)测定, 采样时间间隔为 1 min。

$CO_2$  的平衡吸附容量通过方程(1)计算:

$$q_e = \frac{PC_0 \times 10^{-3} \times F \times M_{CO_2}}{R \times (T_0 + 273)} \times \frac{S}{W} \quad (1)$$

方程(1)中  $q_e$  为单位质量吸附剂的  $CO_2$  平衡吸附容量, mg/g;  $P$  为实验的操作压力,  $1.0135 \times 10^5$  Pa;  $C_0$  为  $CO_2$  的平衡浓度, 2%;  $F$  为实验的气体流量, 120 ml/min;  $M_{CO_2}$  为  $CO_2$  的分子量, 44 g/mol;  $R$  为气体常量, 8.314 J/(mol·K);  $T_0$  为室温, 25℃;  $S$  为吸附曲线的积分面积, min;  $W$  为吸附剂的重量, 1.5 g。

吸附曲线的积分面积  $S$  通过方程(2)计算得到:

$$S = \int_0^t \left( 1 - \frac{C_{out}}{C_0} \right) dt \quad (2)$$

方程(2)中  $C_{out}$  为吸附后  $CO_2$  的浓度, %;  $t$  为吸附平衡时间, min。

## 2.3. 吸附剂表征

### 2.3.1. 比表面积和孔容积

样品的比表面积和孔容积测定采用 BET 法(美国, Coulter Omnisorp100CX 型孔隙分析仪)。以高纯氮气作为样品的吸附气体, 压力为 300 KPa。将装有样品的样品管在电炉上 373 K 加热, 抽真空处理 2 小时, 差量法得到样品的真实重量。由吸附数据求得 BET 比表面积。样品的孔结构数据采用液氮温度(77 K)下的  $N_2$  吸附法测定。

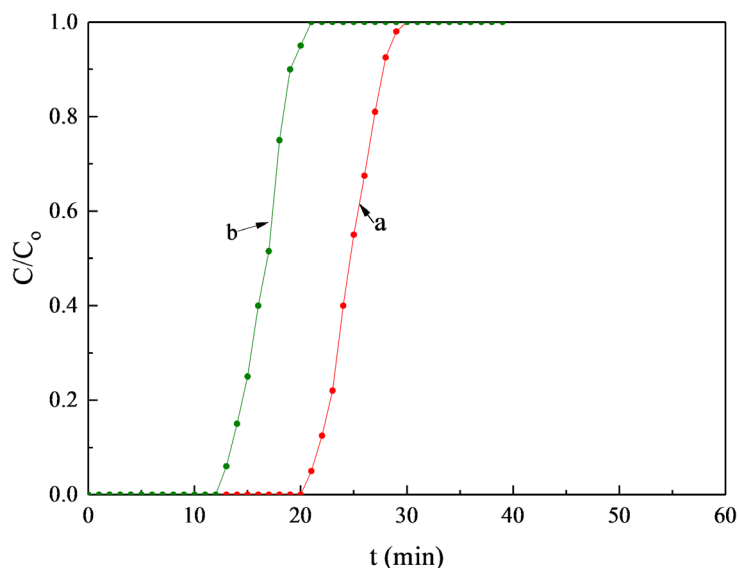
### 2.3.2. X 射线衍射(XRD)

XRD 衍射数据用阶梯扫描方式。在 RIGAKU D/MAX 2550/PC 多晶衍射仪上采集,  $Cu/K\alpha$  辐射源, 功率 40 kV  $\times$  40 mA, 衍射束置石墨单色器除去  $K\beta$  辐射, 入射波长为 0.15405 nm, 阶宽 0.02°,  $2\theta = 5\sim 80^\circ$ , 每步计数时间 4 s。

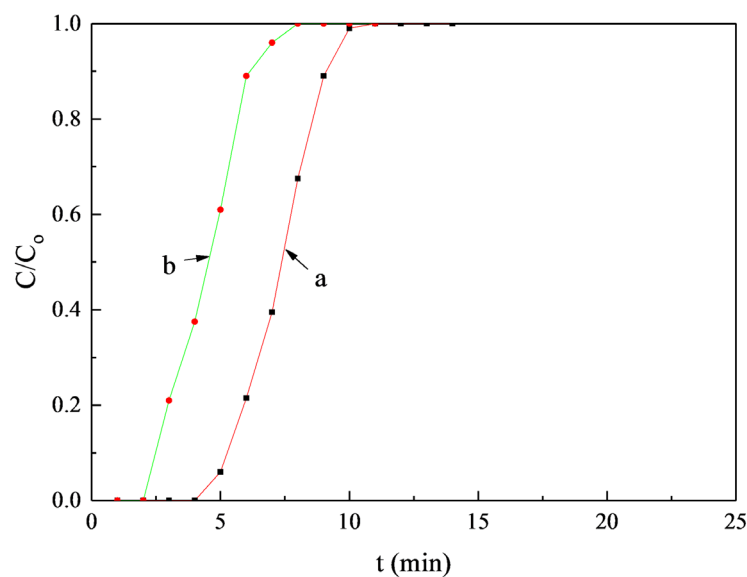
## 3. 结果与讨论

### 3.1. $CO_2$ 吸附性能

图 1 为钾基吸附剂的  $CO_2$  吸附曲线。从图 1 可以看出,  $K_2CO_3$ /凹凸棒石显示出较好的  $CO_2$  吸附性能, 其穿透时间为 21 min, 而  $K_2CO_3/TiO_2$  的穿透时间为 13 min。说明  $K_2CO_3$ /凹凸棒石吸附剂的吸附性能优于  $K_2CO_3/TiO_2$ 。图 2 考察了不同载体吸附  $CO_2$  的性能。  $TiO_2$  的吸附穿透时间较短, 仅为 2 min, 而凹凸棒石的吸附性能较好, 穿透时间为 4 min。可见, 载体吸附  $CO_2$  性能不同是造成钾基吸附剂吸附  $CO_2$  的性能差异的原因之一。



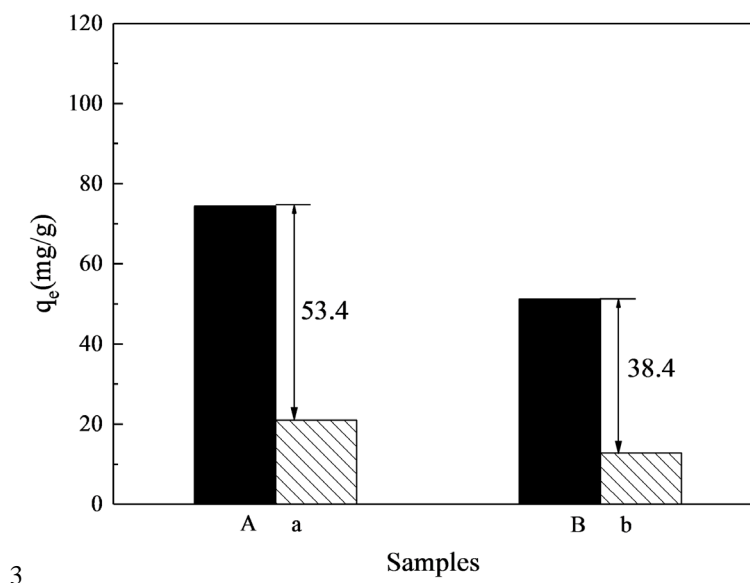
**Figure 1.** Adsorption curve of CO<sub>2</sub> on potassium-based adsorbents. (a) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Attapulgit; (b) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>  
**图 1.** 钾基吸附剂的 CO<sub>2</sub> 吸附曲线。(a) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石; (b) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>



**Figure 2.** Adsorption curve of CO<sub>2</sub> on support. (a) Attapulgit; (b) TiO<sub>2</sub>  
**图 2.** 载体的 CO<sub>2</sub> 吸附曲线。(a) 凹凸棒石; (b) TiO<sub>2</sub>

依据图 1 和图 2 的吸附曲线,通过方程(1)和(2)计算得到钾基吸附剂和载体的 CO<sub>2</sub> 吸附容量(见图 3)。K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石吸附剂的 CO<sub>2</sub> 吸附容量为 74.4 mg/g, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 吸附剂的 CO<sub>2</sub> 吸附容量为 51.2 mg/g。载体的 CO<sub>2</sub> 吸附容量与钾基吸附剂相一致:凹凸棒石(21 mg/g) > TiO<sub>2</sub>(12.8 mg/g)。虽然载体本身是造成钾基吸附剂吸附 CO<sub>2</sub> 的性能差异的原因之一。但是,通过比较钾基吸附剂与相应载体的 CO<sub>2</sub> 吸附容量差,我们发现不同的钾基吸附剂中相同质量分数的 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (30%)的 CO<sub>2</sub> 吸附性能存在差异。K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石与载体凹凸棒石的 CO<sub>2</sub> 吸附容量差为 53.4 mg/g, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 与载体 TiO<sub>2</sub> 的 CO<sub>2</sub> 吸附容量差为 38.4 mg/g。这可能由于① 钾基吸附剂的比表面积和比孔容的差异造成 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 在载体上分布存在差异;② 在制备钾基吸附剂时 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 与载体发生相互作用,改变了碱金属钾在不同吸附剂中的存在形式,造成 CO<sub>2</sub> 吸附性

能的不同。通过 BET 和 XRD 表征, 分别考察钾基吸附剂的比表面积和比孔容, 以及钾基吸附剂中的物相尤其是碱金属钾的物相对  $\text{CO}_2$  吸附性能的影响。



**Figure 3.** Comparison of adsorption capacity between potassium based adsorbent and support. (A)  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Attapulgite}$ ; (a) Attapulgite; (B)  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$  and (b)  $\text{TiO}_2$

**图 3.** 钾基吸附剂与载体吸附容量的比较。(A)  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$ ; (a) 凹凸棒石; (B)  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$  和 (b)  $\text{TiO}_2$

### 3.2. BET

表 1 比较了钾基吸附剂的比表面积及孔容积, 表面积和比孔容的大小为  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2 > \text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$ 。结合钾基吸附剂的  $\text{CO}_2$  吸附容量(图 3), 可见钾基吸附剂的比表面积和比孔容对  $\text{CO}_2$  吸附容量无明显的正相关性。

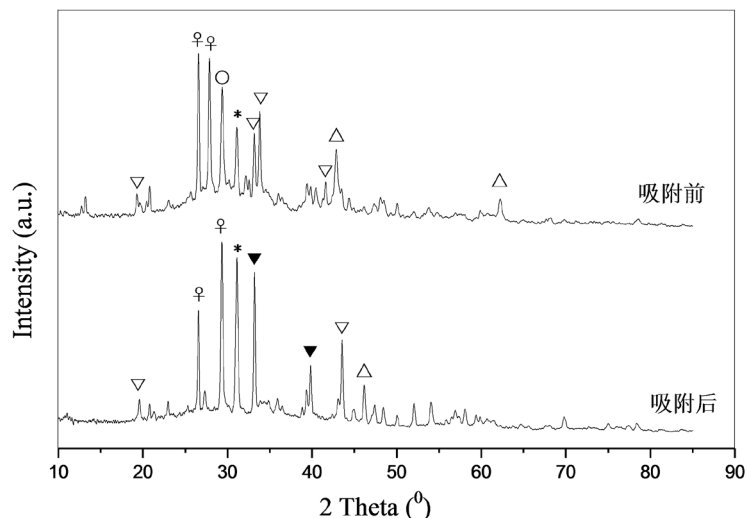
**Table 1.** Physical and chemical properties of potassium based adsorbents

**表 1.** 钾基吸附剂的理化性质

样品	比表面积 ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ )	比孔容( $\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ )
$\text{K}_2\text{CO}_3/\text{TiO}_2$	20.77	0.191
$\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$	18.23	0.058

### 3.3. XRD

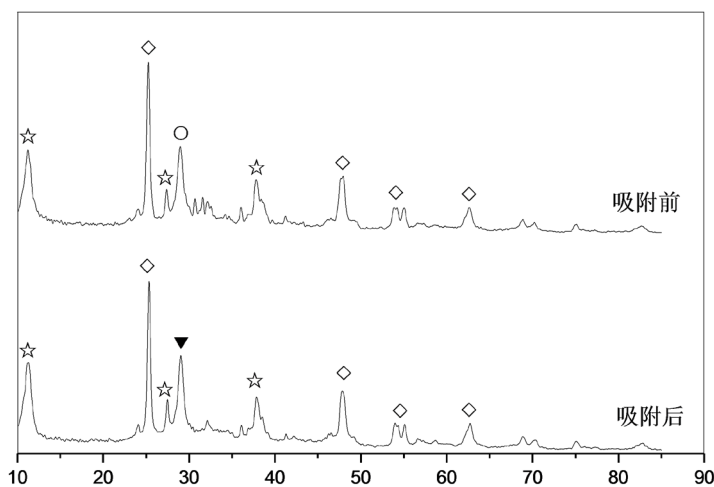
通过 XRD 表征了钾基吸附剂中碱金属钾的物相。图 4 为  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$  吸附  $\text{CO}_2$  前后的 XRD 谱图。从图 4 中可见, 在未吸附  $\text{CO}_2$  时,  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$  中不仅检测到  $\text{K}_2\text{CO}_3$  物相, 还分别检测出  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaCO}_3$  和  $\text{SiO}_2$ 。由于  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  物相的存在, 表明在  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$  制备中,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  与载体凹凸棒石发生了化学反应, 部分  $\text{K}_2\text{CO}_3$  分别转化成  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ 。当  $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{凹凸棒石}$  吸附  $\text{CO}_2$  后, 其 XRD 谱图中  $\text{K}_2\text{CO}_3$  物相消失并出现了  $\text{KHCO}_3$  新物相, 对比吸附  $\text{CO}_2$  前后  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  物相衍射峰及其强度发现部分  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  衍射峰消失, 且其衍射峰的强度降低, 说明部分  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  吸附  $\text{CO}_2$  后转化成  $\text{KHCO}_3$ 。此外, 对比吸附  $\text{CO}_2$  前后  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  物相衍射峰及其强度发现  $\text{MgO}$  的衍射峰变化与  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  衍射峰变化相似, 说明部分  $\text{CO}_2$  可被凹凸棒石中  $\text{MgO}$  吸附。



**Figure 4.** XRD spectrum of  $K_2CO_3$ /attapulgite adsorbent during before and after  $CO_2$  adsorption. ( $\Delta$ )  $MgO$ , ( $\circ$ )  $K_2CO_3$ , ( $\nabla$ )  $K_2Ca(CO_3)_2$ , ( $*$ )  $CaCO_3$ , ( $\blacktriangledown$ )  $KHCO_3$ , ( $\text{♀}$ )  $SiO_2$

**图 4.**  $K_2CO_3$ /凹凸棒石吸附剂吸附  $CO_2$  前后的 XRD 谱图。( $\Delta$ )  $MgO$ , ( $\circ$ )  $K_2CO_3$ , ( $\nabla$ )  $K_2Ca(CO_3)_2$ , ( $*$ )  $CaCO_3$ , ( $\blacktriangledown$ )  $KHCO_3$ , ( $\text{♀}$ )  $SiO_2$

图 5 为  $K_2CO_3/TiO_2$  吸附  $CO_2$  前后的 XRD 谱图。在未吸附  $CO_2$  时,  $K_2CO_3/TiO_2$  中不仅检测到  $K_2CO_3$  物相, 还分别检测出  $K_2CO_3$ 、 $TiO_2$  和  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$ 。由于  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$  物相的存在, 表明在  $K_2CO_3/TiO_2$  制备中,  $K_2CO_3$  与载体  $TiO_2$  发生了化学反应, 部分  $K_2CO_3$  分别转化成  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$ 。当  $K_2CO_3/TiO_2$  吸附  $CO_2$  后, 其 XRD 谱图中  $K_2CO_3$  物相消失并出现了  $KHCO_3$  新物相, 说明  $CO_2$  与  $K_2CO_3$  反应生成了  $KHCO_3$ 。对比吸附  $CO_2$  前后  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$  和  $TiO_2$  物相衍射峰及其强度发现这些物相衍射峰及其强度基本未发生变化, 说明  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$  和  $TiO_2$  未与  $CO_2$  发生反应。因此,  $K_2CO_3/TiO_2$  的吸附性能低于  $K_2CO_3$ /凹凸棒石。



**Figure 5.** XRD spectrum of  $K_2CO_3/TiO_2$  adsorbent during before and after  $CO_2$  adsorption. ( $\circ$ )  $K_2CO_3$ , ( $\blacktriangledown$ )  $KHCO_3$ , ( $\diamond$ )  $TiO_2$ , ( $\star$ )  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$

**图 5.**  $K_2CO_3/TiO_2$  吸附剂吸附  $CO_2$  前后的 XRD 谱图。( $\circ$ )  $K_2CO_3$ , ( $\blacktriangledown$ )  $KHCO_3$ , ( $\diamond$ )  $TiO_2$ , ( $\star$ )  $K_{1.6}Ti_{1.6}O_3$

#### 4. 结论

采用浸渍法制备了  $K_2CO_3$ /凹凸棒石和  $K_2CO_3/TiO_2$  吸附剂, 在常压、333 K、 $CO_2$  (2%) 和  $H_2O$  (10%)

条件下, 钾基吸附剂的 CO<sub>2</sub> 吸附容量顺序为 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石(74.4 mg/g) > K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>(51.2 mg/g), 载体的 CO<sub>2</sub> 吸附容量为凹凸棒石(21 mg/g) > TiO<sub>2</sub>(12.8 mg/g)。

钾基吸附剂载体的比表面积和比孔容与 CO<sub>2</sub> 吸附容量无明显的正相关性。碱金属钾在不同载体中的物相差异是造成 CO<sub>2</sub> 吸附性能差别的原因, 在 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石吸附剂中, 不仅有 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 物相, 还分别检测出 K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 MgO。当 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石吸附 CO<sub>2</sub> 时, 不仅 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 可与 CO<sub>2</sub> 反应生成 KHCO<sub>3</sub>, 而且 K<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 MgO 也可吸附 CO<sub>2</sub>。在 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 吸附剂中, 除了检测到 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 物相, 还分别检测出 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 和 K<sub>1.6</sub>Ti<sub>1.6</sub>O<sub>3</sub>。当 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 吸附 CO<sub>2</sub> 时, CO<sub>2</sub> 与 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 反应生成了 KHCO<sub>3</sub>, 而 K<sub>1.6</sub>Ti<sub>1.6</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 未与 CO<sub>2</sub> 发生反应。因此, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 的吸附性能低于 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/凹凸棒石。

## 基金项目

浙江省自然科学基金(LY19E080023); 浙江树人大学省属高校基本科研业务费专项资金项目资助(2020XZ012)。

## 参考文献

- [1] 薛全民, 周亚平, 苏伟. 甲基二乙醇胺水溶液吸收 CO<sub>2</sub> 的研究[J]. 化学工程, 2009, 37(9): 1-4.
- [2] 陈春宜, 王祖武, 魏文龙, 程诚, 王骏星, 周家勇, 车垚. 有机胺对 CO<sub>2</sub> 吸收解吸的研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(7): 1109-1114.
- [3] 施耀, 项菲, 李伟, 钟战铁. 混合有机胺吸收烟道气中 CO<sub>2</sub> 的交互作用机理[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 201-205.
- [4] Askanksha, P.K.K. and Srivastava, V.K. (2007) Carbon Dioxide Absorption into Monethanolamine in a Continuous Film Contactor. *Chemical Engineering Journal*, **133**, 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.02.001>
- [5] Mandal, B.P., Guha, M., Biswas, A.K. and Bandyopadhyay, S.S. (2001) Removal of Carbon Dioxide by Absorption in Mixed Amines: Modeling of Absorption in Aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA Solutions. *Chemical Engineering Science*, **56**, 6217-6224. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(01\)00279-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(01)00279-2)
- [6] Sharonov, V.E., Okunev, A.G. and Aristov, Y.I. (2004) Kinetics of Carbon Dioxide Sorption by the Composite Material K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, **83**, 363-369. <https://doi.org/10.1023/B:REAC.0000034849.15412.d2>
- [7] Lee, S.C., Chae, H.J., Lee, S.J., Choi, B.Y., Lee, C.K., Lee, J.B., Ryu, C.K. and Kim, J.C. (2008) Development of Regenerable MgO-Based Sorbent Promoted with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> for CO<sub>2</sub> Capture at Low Temperatures. *Environmental Science & Technology*, **42**, 2736-2741. <https://doi.org/10.1021/es702693c>
- [8] Lee, S.C., Chae, H.J., Lee, S.J., Park, Y.H., Ryu, C.K., Yi, C.K. and Kim, J.C. (2009) Novel Regenerable Potassium-Based Dry Sorbents for CO<sub>2</sub> Capture at Low Temperatures. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, **56**, 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2008.07.007>
- [9] Okunev, A.G., Sharonov, V.E., Aistov, Y.I. and Parmon, V.N. (2000) Sorption of Carbon Dioxide from Wet Gases by K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-In-Porous Matrix: Influence of the Matrix Nature. *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, **71**, 355-362. <https://doi.org/10.1023/A:1010395630719>
- [10] Lee, S.C., Kwon, Y.M., Park, Y.H., Lee, W.S., Park, J.J., Ryu, C.K., Yi, C.K. and Kim, J.C. (2010) Structure Effects of Potassium-Based TiO<sub>2</sub> Sorbents on the CO<sub>2</sub> Capture Capacity. *Topics in Catalysis*, **53**, 641-647. <https://doi.org/10.1007/s11244-010-9499-3>
- [11] Lee, J.B., Ryu, C.K., Baek, J.I., Lee, J.H., Eom, T.H. and Kim, S.H. (2008) Sodium-Based Dry Regenerable Sorbent for Carbon Dioxide Capture from Power Plant Flue Gas. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **47**, 4465-4472. <https://doi.org/10.1021/ie0709638>
- [12] Shin, D.H., Cheigh, H.S. and Lee, D.S. (2002) The Use of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-Based CO<sub>2</sub> Absorbent Systems to Alleviate Pressure Buildup and Volume Expansion of Kimchi Packages. *Journal of Food Engineering*, **53**, 229-235. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00161-3)
- [13] Siriwardane, R.V., Robinson, C., Shen, M. and Simonyi, T. (2007) Novel Regenerable Sodium-Based Sorbents for CO<sub>2</sub> Capture at Warm Gas Temperatures. *Energy Fuels*, **21**, 2088-2097. <https://doi.org/10.1021/ef070008v>