

Complete Catalytic Oxidation of Toluene on Montmorillonite and Attapulgite Modified with CeO₂ Supported Ru Catalysts

Yeyun Wei, Changhua Ge*, Wen Yan, Hongyu Zhang, Shishi Ge

School of Pharmaceutical and Chemical Engineering, Taizhou University, Taizhou Zhejiang
Email: gechhua@163.com

Received: Nov. 9th, 2017; accepted: Nov. 21st, 2017; published: Nov. 29th, 2017

Abstract

Ru/CeO₂-ATP and Ru/CeO₂-MMT catalysts were prepared by incipient-wetness impregnation method using ruthenium salt as precursor, and CeO₂-MMT and CeO₂-ATP composites were synthesized with montmorillonite (MMT) and attapulgite (ATP) repeatedly supported by CeO₂ as carrier, and the performance of catalysts was studied for complete combustion oxidation of toluene. The catalysts were characterized by XRD, BET, SEM and SEDX technique. The results showed that the activity of the catalyst repeatedly four times supported by CeO₂ was the best, and Ru/CeO₂-MMT catalyst was better than Ru/CeO₂-ATP catalyst for the complete oxidation of toluene. So the activity of catalysts for toluene catalytic oxidation was influenced by carrier.

Keywords

CeO₂-ATP Composite, CeO₂-MMT Composite, Ru Catalysts, Complete Oxidation of Toluene

钉负载二氧化铈改性蒙脱土和凹凸棒黏土催化剂上甲苯完全氧化的性能

魏耶芸, 葛昌华*, 严雯, 张鸿瑜, 葛施施

浙江台州学院医药化工学院, 浙江 台州
Email: gechhua@163.com

收稿日期: 2017年11月9日; 录用日期: 2017年11月21日; 发布日期: 2017年11月29日

*通讯作者。

文章引用: 魏耶芸, 葛昌华, 严雯, 张鸿瑜, 葛施施. 钉负载二氧化铈改性蒙脱土和凹凸棒黏土催化剂上甲苯完全氧化的性能[J]. 化学工程与技术, 2017, 7(6): 293-300. DOI: [10.12677/hjct.2017.76041](https://doi.org/10.12677/hjct.2017.76041)

摘要

商用蒙脱土(MMT)和凹凸棒黏土(ATP)分步负载 CeO_2 分别合成 CeO_2 -MMT和 CeO_2 -ATP复合材料,再等体积浸渍法制备Ru/ CeO_2 -MMT和Ru/ CeO_2 -ATP催化剂,研究其催化空气完全氧化甲苯的性能,使用XRD、BET、SEM和EDX等技术对催化剂的结构、物理性能进行表征。结果表明:Ru/ CeO_2 -MMT和Ru/ CeO_2 -ATP催化剂中 CeO_2 的含量对甲苯催化完全氧化性能有不同的影响。分4次负载 CeO_2 制备的催化剂,催化甲苯氧化的性能最好; CeO_2 改性蒙脱土比 CeO_2 改性凹凸棒黏土负载Ru催化剂上甲苯连续氧化的性能更好。

关键词

CeO_2 -ATP复合材料, CeO_2 -MMT复合材料, 钌催化剂, 甲苯完全氧化

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 前言

工业过程中排放的主要气体污染物之一是挥发性有机物(VOCs), 是一类严重影响环境及人体健康的污染物[1]。处理 VOCs 技术有化学方法, 如催化燃烧, 光催化降解; 物理方法, 如吸附、膜分离等方法 [2] [3] [4]。其中最有效的处理方法是发生在催化剂表面, 在较低的温度下将 VOCs 彻底燃烧转化为 CO_2 和 H_2O [5], 其核心技术是催化燃烧催化剂[6]。研究 VOCs 催化燃烧的催化剂主要是贵金属(Pt、Pd 和 Au)和金属氧化物催化剂[7]。因此, 开发活性高、稳定性好、成本低的催化氧化 VOCs 催化剂一直受到重视和关注[8]。

蒙脱土(MMT)和凹凸棒土(ATP)都是天然多孔矿物材料, 资源丰富, 成本低, 常用作催化剂的载体和吸附材料[9] [10] [11]。当反应物、催化剂寄附于蒙脱土和凹凸棒土晶体内部大孔穴表面上, 能加快反应速度, 晶体骨架不被破坏。 CeO_2 是一种用途广泛的稀土功能材料[8], 具有良好的助催化性能和储氧性能 [12] [13], 与贵金属组合使用, 可以有效地提高催化剂的活性、耐久性和稳定性[14] [15]。

本文用 CeO_2 改性蒙脱土和凹凸棒土负载 Ru 制备 CeO_2 -贵金属催化剂, 研究甲苯完全氧化的性能。用稀土改性蒙脱土和凹凸棒黏土催化材料并用于催化氧化消除 VOCs, 具有一定的应用价值。

2. 实验部分

2.1. 催化剂的制备

取一定量未处理的蒙脱土(粒径 2000 目, 简称 MMT), 加入 5 倍重量 1.0 mol/L 的 HCl, 80℃连续酸化 4 h。冷却、过滤、洗涤至中性和无 Cl^- , 干燥, 得到酸处理过的蒙脱土。取适量酸化后的蒙脱土, 压片成型, 500℃空气氛中焙烧 4 h。焙烧后的蒙脱土浸入 5 wt% $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 溶液中分别浸渍 1、2、3、4、5 次, 每次浸渍时间为 5 min。每次浸渍后, 将蒙脱土在 500℃焙烧 4 h, 表面锚定固体 CeO_2 , 得到蒙脱土与 CeO_2 复合材料, 标记为 n- CeO_2 -MMT, n 为浸渍次数。制备的 n- CeO_2 -MMT 复合材料缓缓研磨, 用 40 和 60 目(0.250~0.425 mm)的标准筛过筛。称取 1.0 g 过筛后 40~60 目间的 n- CeO_2 -MMT 复合材料, 等

体积浸渍 RuCl_3 溶液,水合肼室温还原。过滤,洗涤到中性和无 Cl^- ,干燥, 500°C 焙烧,得到 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-MMT}$ 催化剂, Ru 的负载量均 0.2 wt%。

凹凸棒土(简称 ATP, 粒径 2000 目)的酸化、 $\text{n-CeO}_2\text{-ATP}$ 复合材料的合成和 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-ATP}$ 催化剂的制备方法同蒙脱土, Ru 的负载量也是 0.2 wt%。

2.2. 催化剂的性能评价

催化剂活性测定在 WFS-3060 催化剂评价装置(天津先权)上进行, 使用固定床石英管反应器, VOCs 为甲苯。石英管内径为 6 mm, 催化剂粒径为 0.250~0.425 mm, 每次用量为 380 mg, 反应空速为 $15,000\text{ h}^{-1}$, 甲苯蒸气浓度为 1000 mL/m^3 。催化燃烧反应出口尾气浓度经 FULO9790 II 型气相色谱仪(FID)在线检测。评价温度为 $40^\circ\text{C}\sim 300^\circ\text{C}$, 直到甲苯转化完全。空白实验表明, 当反应温度小于 400°C , 甲苯的非催化热氧化可以忽略。

3. 结果与讨论

3.1. 催化剂的孔结构

用 GEMINI V 全自动比表面积和孔隙度分析仪(美国 Micromeritics 公司, N_2 物理吸附, 测试温度为 -196°C)测得 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-MMT}$ 和 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-ATP}$ 催化剂的孔结构, 如表 1 所示。从表 1 可以看出, 蒙脱土和凹凸棒土的比表面积不大($<50\text{ m}^2/\text{g}$), 经过盐酸处理后, 材料表面中杂质被酸化解; 由于蒙脱土是层结构, 层间隙被酸疏通, 其比表面积和孔径增大; 凹凸棒土是棒状结构, 棒状表面杂质被酸化解, 所以其比表面积下降, 孔容和孔径增大。当两种材料开始负载 CeO_2 时, 由于表面微孔结构首先被阻塞, 所以比表面下降, 孔体积和孔径增大。随着负载量增多(≤ 3 次), CeO_2 进入蒙脱土层间隙, 可能使层间隙变大; 凹凸棒土由于粒径较大, 棒与棒晶间没有分离, CeO_2 可能进入棒-棒层间隙或晶体内部, 使层间隙变大, 所以两种复合材料的比表面积、孔体积和孔径都增大。当 CeO_2 负载量继续增多(浸渍 3 次以上), 层间隙或棒-棒间隙不再变化, CeO_2 简单地锚定在间隙中, 导致孔径和孔体积下降。

通过催化剂的孔结构说明, 由于 CeO_2 负载量小, CeO_2 颗粒负载在蒙脱土的层间隙和凹凸棒土的棒-棒间隙或晶体内部, 而不是表面, 这与 XRD、SEM 和 SEDX 测量结果相一致。

3.2. XRD 表征

图 1 是 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{/MMT}$ 催化剂用 Bruker D8 advance X-射线衍射仪测量的 2θ 衍射角 = $3\sim 70^\circ$ 时的 XRD 衍射图, 以 $\text{Cu K}\alpha$ 射线源, 管电压为 40 kV, 管电流为 40 mA, 步长 $0.02^\circ/\text{s}$ 。图 1(a)是盐酸处理后制备的 Ru/MMT 催化剂, 在 $2\theta = 8.8^\circ, 12.4^\circ, 19.9^\circ, 25.5^\circ, 26.8^\circ, 35.0^\circ, 45.4^\circ, 55.8^\circ, 61.7^\circ$ 出现衍射峰, 这是 MMT 的特征衍射峰[9]。图 1(b)~(f)为浸渍次数不同制备 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-MMT}$ 催化剂的 XRD 图, 均出现蒙脱土的特征衍射峰, 与图 1(a)相比, 8.9° 的衍射峰强度明显下降, 峰宽增加, 这是 MMT 层间隙增大的结果; 而 $2\theta = 12.4^\circ$ 的峰强度下降, $2\theta = 25.5^\circ$ 的衍射峰消失, 可能是蒙脱土与 CeO_2 发生强烈相互作用的结果。图 1(g)为纳米 CeO_2 颗粒的 XRD 衍射图, 在 $2\theta = 28.6^\circ, 33.0^\circ, 46.6^\circ, 56.4^\circ$ 出现特征峰。

图 2 是 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-ATP}$ 催化剂的 XRD 衍射图。图 2(a)是纯凹凸棒土的 XRD 衍射图。图 2(b)是盐酸处理后制备的 Ru/ATP 催化剂的 XRD 衍射图, 2θ 角位于 $19.9^\circ, 24.4^\circ, 25.9^\circ, 35.1^\circ$ 是 ATP 的特征衍射峰[10]。 2θ 角位于 8.5° 的峰消失、 8.84° 出现弱峰, 可能是购买的 2000 目凹凸棒土粒径大、未纯化含有其它矿物质, 因为 2θ 角位于 12.4° 出现的衍射峰, 不是典型的凹凸棒土衍射峰, 而 2θ 角位于 26.6° 出现的强衍射峰是石英的衍射峰。图 2(c)~(g)为 $\text{Ru/n-CeO}_2\text{-ATP}$ 催化剂的衍射图, 与图 2(b)的 Ru/ATP 催化剂的衍射图相似, 2θ 角位于 24.4° 的衍射峰消失, 可能是 ATP 与 CeO_2 发生强烈相互作用的结果。

Table 1. BET results of Ru/n-CeO₂-MMT and Ru/n-CeO₂-ATP catalysts
表 1. Ru/n-CeO₂-MMT 和 Ru/n-CeO₂-ATP 催化剂的 BET 结果

催化剂	比表面积 (m ² /g)	孔容 (cm ³ /g)	平均孔径 (nm)
MMT-原土	9.85	0.0229	8.53
MMT-酸处理	12.96	0.0288	8.61
Ru/1-CeO ₂ -MMT	7.95	0.0307	12.49
Ru/2-CeO ₂ -MMT	8.02	0.0326	13.40
Ru/3-CeO ₂ -MMT	9.70	0.0481	15.86
Ru/4-CeO ₂ -MMT	13.25	0.0401	10.80
Ru/5-CeO ₂ -MMT	16.06	0.0378	10.51
ATP-原土	48.51	0.0649	9.12
ATP-酸处理	30.69	0.0725	9.77
Ru/1-CeO ₂ -ATP	21.44	0.0778	10.09
Ru/2-CeO ₂ -ATP	24.23	0.0804	10.04
Ru/3-CeO ₂ -ATP	26.88	0.0671	10.86
Ru/4-CeO ₂ -ATP	30.37	0.0634	8.80
Ru/5-CeO ₂ -ATP	32.17	0.0618	8.63

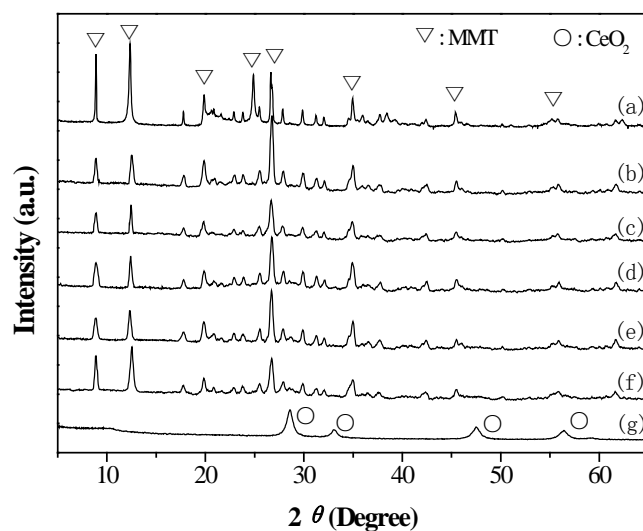


Figure 1. XRD spectrum of Ru/CeO₂-MMT catalysts. (a) MMT; (b) 1-CeO₂-MMT; (c) 2-CeO₂-MMT; (d) 3-CeO₂-MMT; (e) 4-CeO₂-MMT; (f) 5-CeO₂-MMT; (g) CeO₂

图 1. Ru/CeO₂-MMT 催化剂的 XRD 谱图。(a) MMT; (b) 1-CeO₂-MMT; (c) 2-CeO₂-MMT; (d) 3-CeO₂-MMT; (e) 4-CeO₂-MMT; (f) 5-CeO₂-MMT; (g) CeO₂

对比 Ru/n-CeO₂-MMT 和 Ru/n-CeO₂-ATP 催化剂与 CeO₂ 衍射图, 两种催化剂均没有出现 CeO₂ 和 Ru 的衍射峰。可能是 CeO₂ 负载量小, 或负载在蒙脱土和凹凸棒土的层间隙, 也可能进入粘土晶体内部。Ru 由于负载量太小, 没有出现衍射峰。

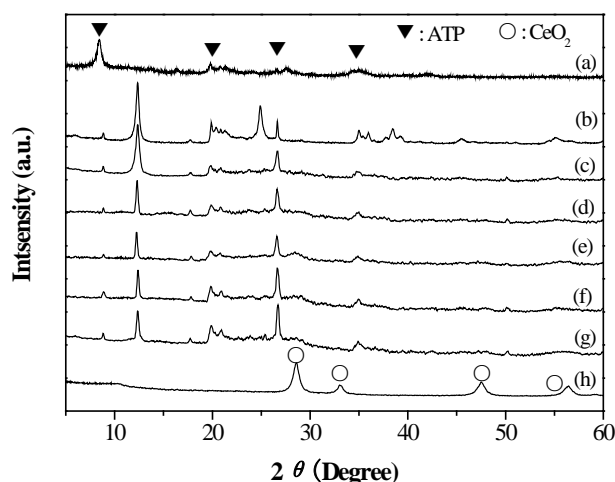


Figure 2. The XRD spectrum of Ru/CeO₂-ATP catalysts. (a) ATP-Pure; (b) ATP; (c) 1-CeO₂-ATP; (d) 2-CeO₂-ATP; (e) 3-CeO₂-ATP; (f) 4-CeO₂-ATP; (g) 5-CeO₂-ATP; (h) CeO₂

图 2. Ru/CeO₂-ATP 催化剂的 XRD 图。(a) 纯 ATP; (b) ATP; (c) 1-CeO₂-ATP; (d) 2-CeO₂-ATP; (e) 3-CeO₂-ATP; (f) 4-CeO₂-ATP; (g) 5-CeO₂-ATP; (h) CeO₂

3.3. SEM 及 SEDX 能谱分析

催化剂的 SEM 形貌和 SEDX 能谱在 S-4800 型场发射扫描电子显微镜(日本日立公司)上进行测量, 工作电压 5 kV, 工作电流 10 μ A, 图 3 是蒙脱土和凹凸棒土及其负载 Ru 催化剂的电镜照片。图 3(a)为未处理的蒙脱土, 片层状晶体结构排列整齐; 图 3(b)为酸处理、CeO₂ 改性后制备的 Ru/4-CeO₂-MMT 催化剂, 片层状晶体结构排列整齐, 孔隙疏通, 层间距有所增大, 蒙脱土表面没有明显的 CeO₂ 颗粒存在。图 3(c)为凹凸棒原土, 由于颗粒很大, 棒-棒结构不明显; 图 3(d)和图 3(e)为酸处理、CeO₂ 改性后制备的 Ru/4-CeO₂-ATP 催化剂, 棒-棒晶体结构排列整齐, 棒-棒间没有分离。从图 3(d)和图 3(e)可见, 凹凸棒土表面没有明显的颗粒存在, CeO₂ 颗粒可能进入棒-棒间隙中。由于 Ru 的负载量太少, SEM 照片上没有可见的 Ru 颗粒。

表 2 为 Ru/4-CeO₂-MMT 和 Ru/4-CeO₂-ATP 催化剂的 SEDX 能谱分析结果。从表 2 可见, 催化剂中的无机元素有 O、Al、Si、K 等, 其中 O、Al、Si 元素含量比较多, 这与传统的蒙脱土和凹凸棒土的组成有所不同, 说明热盐酸处理蒙脱土和凹凸棒土后, 两种矿物质表面中的 Mg 离子被氢取代。两种催化剂中没有检测出 Ce 和 Ru 元素。

3.4. 不同 CeO₂ 浸渍量对甲苯催化氧化的影响

图 4 为 Ru/n-CeO₂-MMT 催化剂完全催化氧化甲苯的反应温度-转化率曲线。由图 4 可以看出, 没有 CeO₂ 的蒙脱土负载催化剂, 催化甲苯完全氧化的活性较差。浸渍 Ce(NO₃)₃ 溶液 1~2 次, 催化剂的活性基本不变, 与 Ru/MMT 催化剂的活性相似; 浸渍次数从 2 到 4 次, 催化活性显著增强; 当浸渍 5 次时, 催化剂的活性显著下降。可见蒙脱土负载 CeO₂ 的量对催化剂的活性产生显著的影响。当浸渍 4 次、85 $^{\circ}$ C 时, 甲苯的转化率达到 50%, 101 $^{\circ}$ C 时, 甲苯的转化率超过了 95%, Ru/4-CeO₂/MMT 催化剂完全催化氧化甲苯的催化活性最好。

图 5 为凹凸棒土浸渍 Ce(NO₃)₃ 制备的 Ru/n-CeO₂-ATP 催化剂, 催化甲苯氧化的性能测试结果。由图 5 也可以看出, 无 CeO₂ 的 Ru/ATP 催化剂的催化活性较差, 与 Ru/MMT 催化剂相似。凹凸棒土浸

Table 2. The energy spectrum results of Ru/4-CeO₂-ATP and Ru/4-CeO₂-MMT catalyst
表 2. Ru/4-CeO₂-ATP 和 Ru/4-CeO₂-MMT 催化剂的 SEDX 测量结果

催化剂	元素	O K	Al K	Si K	K K	Ru K	Ce K
Ru/4-CeO ₂ -ATP	重量百分比/%	57.66	18.51	22.26	1.58	0.00	0.00
	原子百分比/%	70.36	13.39	15.47	0.79	0.00	0.00
Ru/4-CeO ₂ -MMT	重量百分比/%	56.39	16.75	19.42	7.44	0.00	0.00
	原子百分比/%	70.11	12.35	13.76	3.78	0.00	0.00

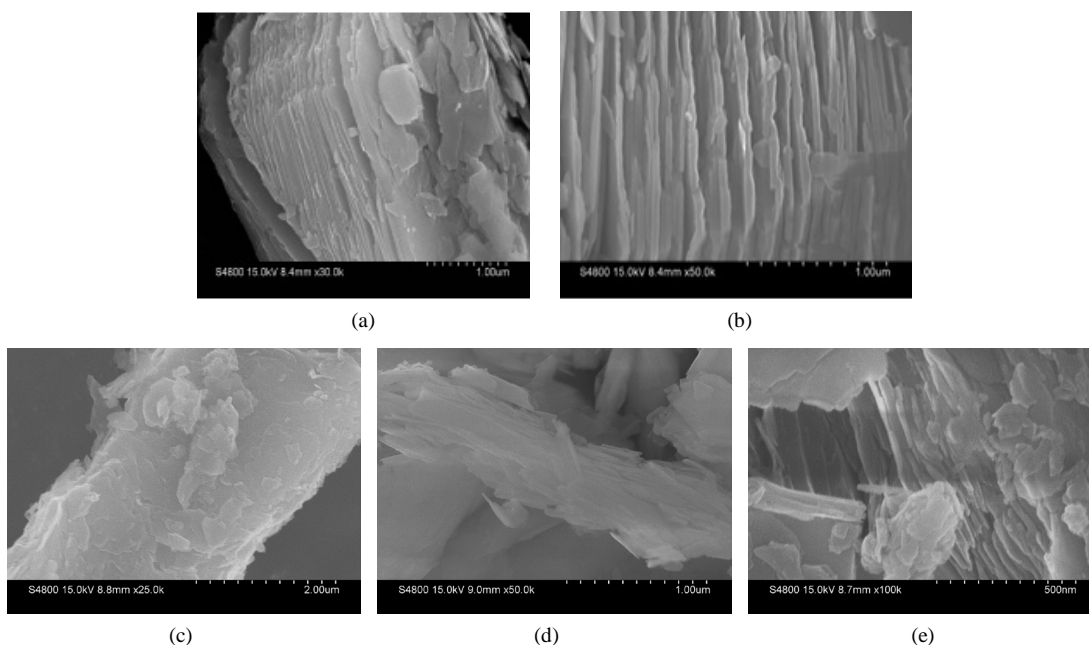


Figure 3. SEM images of Ru/CeO₂-ATP and CeO₂-MMT catalysts. (a) MMT; (b) Ru/4-CeO₂-MMT; (c) ATP; (d) (e) Ru/4-CeO₂-ATP

图 3. Ru/CeO₂-ATP 和 Ru/CeO₂-MMT 催化剂的 SEM 扫描形貌。(a) MMT; (b) Ru/4-CeO₂-MMT; (c) ATP; (d)和(e) Ru/4-CeO₂-ATP

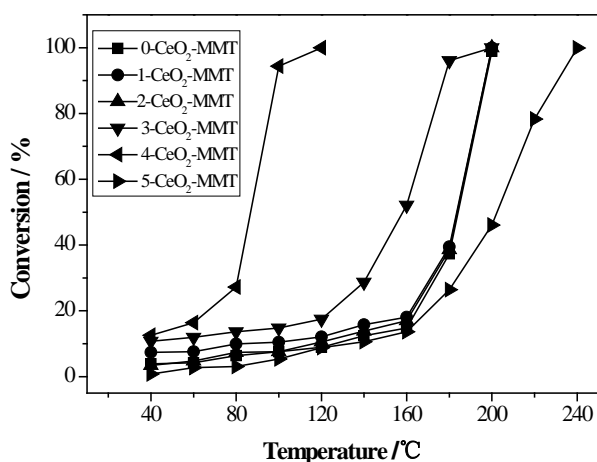


Figure 4. Effect of CeO₂ in Ru/CeO₂-MMT catalyst for the catalytic oxidation rate of toluene

图 4. Ru/CeO₂-MMT 催化剂中 CeO₂ 对甲苯催化氧化速率的影响

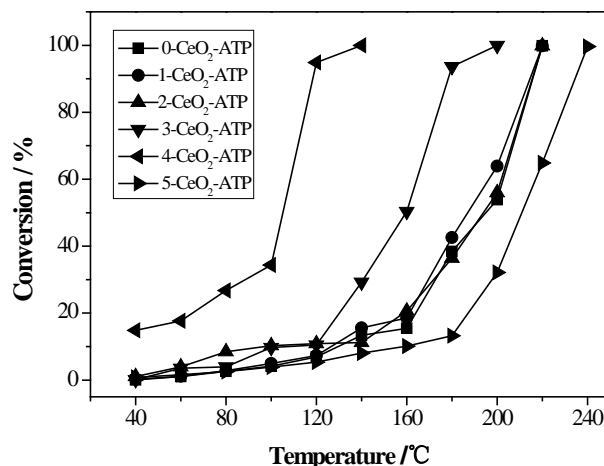


Figure 5. Effect of CeO₂ in Ru/CeO₂-ATP catalyst for the catalytic oxidation rate of toluene

图 5. Ru/CeO₂-ATP 催化剂中 CeO₂ 对甲苯催化氧化速率的影响

渍 Ce(NO₃)₃ 溶液的次数为 1~2 次, 催化剂的活性基本不变; 浸渍次数从 2 到 4 次, 催化活性显著提高; 当浸渍 5 次时, Ru/5-CeO₂-ATP 催化剂的活性下降明显。同样, 凹凸棒土负载不同量的 CeO₂ 对催化剂的活性产生明显的影响。当浸渍 4 次, 105 °C 时甲苯的转化率达到 50%, 120 °C 时, 甲苯的转化率达到 95%, Ru/4-CeO₂-ATP 催化剂完全催化氧化甲苯的催化活性最好。

对比图 4 与图 5, 蒙脱土和凹凸棒黏土浸渍不同次数 Ce(NO₃)₃ 溶液时, Ru 催化剂催化甲苯完全氧化的温度 - 甲苯转化率曲线大致相似。浸渍 4 次制备的两种催化剂, 催化甲苯氧化的活性最好。当甲苯的转化率达到 50% 和 95%, 蒙脱土负载 Ru 催化剂催化氧化的温度低于凹凸棒土负载 Ru 催化剂, 显然蒙脱土负载 Ru 催化剂的活性更好; 两种催化剂的起燃温度也是蒙脱土负载 Ru 催化剂更低。

4. 结论

1) 用盐酸处理蒙脱土和凹凸棒黏土, 分步浸渍 Ce(NO₃)₃ 合成 CeO₂-MMT 和 CeO₂-ATP 复合材料, 负载 Ru 制备 Ru/CeO₂-MMT 和 Ru/CeO₂-ATP 催化剂, 所制备 Ru 催化剂的 XRD 衍射图谱上未见 Ru 和 CeO₂ 的衍射峰; SEDX 分析表明, 催化剂表面上也未见 Ru 和 CeO₂。

2) 在 Ru 催化剂上, 随着 CeO₂ 负载次数的增加, 甲苯完全氧化的催化活性增大; 当浸渍 4 次 Ce(NO₃)₃ 制备的 Ru 催化剂, 其催化甲苯完全氧化的活性最高。

3) 对甲苯催化完全氧化, Ru/CeO₂-MMT 催化剂比 Ru/CeO₂-ATP 催化剂具有更好的催化活性。

基金项目

浙江省大学生科技创新活动计划(2015R430017)。

参考文献 (References)

- [1] Godwin, A.A. and Wang, H. (2014) Volatile Organic Compounds in Indoor Environments. *Part of the Handbook of Environmental Chemistry Book Series*, 4, 1-39.
- [2] 范利萍, 陈敏, 邵杰, 周仁贤, 郑小明. Zr 柱撑蒙脱土上负载稀土铈及铜铈催化剂的制备与表征[J]. 无机化学学报, 2007, 23(4): 748-751.
- [3] Musialik-Piotrowska, A. and Mendyka, B. (2004) Catalytic Oxidation of Chlorinated Hydrocarbons in Two-Component Mixtures with Selected VOCs. *Catalysis. Today*, 85, 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.04.019>

- [4] Scirè, S., Minicò, S., Crisafulli, C., Satriano, C. and Pistone, A. (2003) Catalytic Combustion of Volatile Organic Compounds on Gold/Cerium Oxide Catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, **40**, 43-49.
[https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00127-3)
- [5] 宋磊. 负载型凹凸棒石催化剂催化氧化挥发性有机污染物[D]: [博士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [6] 李鹏, 童志权. “三苯系”VOCs 催化燃烧催化剂的研究进展[J]. 工业催化, 2006, 14(8): 1-6.
- [7] 毛俊贤, 江蛟, 王华凯, 等. 氮掺杂碳纳米管负载的钨催化剂对苯甲醇在常压空气条件下催化氧化性能[J]. 无机化学学报, 2012, 28(12): 2508-2512.
- [8] 周仁贤, 左树锋, 黄琴琴, 等. 稀土复合多孔材料在工业 VOCs 催化氧化降解中的应用[C]//中国稀土学会. 第十八届全国稀土催化学术会议论文集, 2011.
- [9] 闰小玲, 贾丽华, 郭祥峰. 氯掺杂二氧化钛柱撑蒙脱土的合成及光催化性能[J]. 应用化学, 2011, 28(3): 278-283.
- [10] 王燕, 曹建亮, 孙广, 等. 凹凸棒蒙脱土负载 CuO 催化剂的制备及催化甲醇燃烧性能研究[J]. 材料导报, 2011, 25(12): 100-102.
- [11] 左树锋, 周仁贤, 齐陈泽. 粘土孔结构及添加铈对于催化剂上苯吸附-脱附-催化氧化性能的影响[J]. 中国稀土学报, 2012, 30(2): 192-198.
- [12] 肖莉, 林培琰. Ce-Zr 固溶体的纯度及其在三效催化剂中的作用[J]. 分子催化, 2000, 14(2): 81-86.
- [13] Aneggi, E., Boaro, M., de Leitenburg, C., Dolcetti, G. and Trovarelli, A. (2006) Insights into the Redox Properties of Ceria-Based Oxides and Their Implications in Catalysis. *Journal of Alloys & Compounds*, **37**, 1096-1102.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.12.113>
- [14] Centeno, M.A., Paulis, M., Montes, M. and Odriozola, J.A. (2002) Catalytic Combustion of Volatile Organic Compounds on Au/CeO₂/Al₂O₃ and Au/Al₂O₃ Catalysts. *Applied Catalysis A: General*, **234**, 65-78.
[https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(02\)00214-4](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(02)00214-4)
- [15] Auer, R., Alifanti, M., Delmon, B. and Thyron, F.C. (2002) Catalytic Combustion of Methane in the Presence of Organic and Inorganic Compounds over La_{0.9}Ce_{0.1}CoO₃ Catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, **39**, 311-318.
[https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00125-X)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8844, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjctet@hanspub.org