

TiO₂ 纳米管阵列负载 MnO_x 复合催化剂的脱硝性能

赵崇斌, 杨杭生*, 周环, 邱发敏, 张孝彬

浙江大学材料科学与工程学系, 硅材料国家重点实验室, 浙江杭州310027

摘要: 研究了 TiO₂ 纳米管阵列负载的 MnO_x 复合物选择性催化还原 NO_x 的性能. 结果显示, 在 150~250 °C 下该催化剂脱除 NO_x 的效率达 90% 以上 (200 °C 下为 99% 以上), 表现出优异的中低温脱硝性能. 当反应温度更高时, 有可能使反应进入努森扩散控制状态, 从而在一定程度上抑制了催化反应的进行.

关键词: 锰氧化物; 二氧化钛纳米管阵列; 氮氧化物; 选择性催化还原

中图分类号: O643 **文献标识码:** A

收稿日期: 2010-11-23. 接受日期: 2011-02-07.

*通讯联系人. Tel/Fax: (0571)87951404; E-mail: hsyang@zju.edu.cn

基金来源: 浙江省自然科学基金重点项目 (Z4080070); 浙江省科技厅科技计划 (2008C21057, 2009C34003); 中国医疗废物环境可持续管理项目 (C/V/S/10/251); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2010QNA4005).

Catalytic Reduction of NO_x over MnO_x Coated TiO₂ Nanotube Arrays

ZHAO Chongbin, YANG Hangsheng*, ZHOU Huan, QIU Famin, ZHANG Xiaobin

State Key Laboratory of Silicon Materials, Department of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China

Abstract: Catalytic reduction of NO_x with NH₃ was studied over MnO_x coated TiO₂ nanotube arrays prepared by anodic oxidation. When the MnO_x was deposited inside the TiO₂ nanotubes, the good NO_x removal efficiency was achieved at relatively low reaction temperature, such that the NO_x removal efficiency of over 90% was always obtained at 150–250 °C, and it reached 99.9% at 200 °C. However, when the reaction temperature was higher than 250 °C, a suppression of NO_x removal was observed. This is probably because the diffusion of NO molecules into TiO₂ nanotubes was controlled by Knudsen diffusion.

Key words: manganese oxide; titanium dioxide nanotube array; nitrogen oxide; selective catalytic reduction

Received 23 November 2010. Accepted 7 February 2011.

*Corresponding author. Tel/Fax: (0571)87951404; E-mail: hsyang@zju.edu.cn

This work was supported by the Natural Science Foundation of Zhejiang Province (Z4080070), the Science and Technology Department of Zhejiang Province (2008C21057, 2009C34003), the Environmental Sustainable Management of Medical Wastes of China (C/V/S/10/251), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2010QNA4005).

NO 和 NO₂ 等氮氧化物 (NO_x) 已成为主要空气污染物, 它破坏血液中的血红蛋白, 对人的眼睛和呼吸器官有强刺激作用; 与碳氢化合物作用, 形成以臭氧为主的光化学烟雾. 同时, NO_x 还是形成酸雨的主要原因. 因此, 严格控制 NO_x 的排放, 刻不容缓.

选择性催化还原 (SCR) 是控制高温烟气中 NO_x 排放的有效方法之一, 并已经得到工业化应用^[1]. 其中尿素或 NH₃ 为常用的还原剂, 而作为 SCR 的核心

技术, 高效催化剂的研发备受关注. 目前主要以工作温度较高的钒基催化剂和中低温的锰基催化剂为主. 钒基催化剂包括 V₂O₅/TiO₂ 和 V₂O₅-WO₃(MoO₃)/TiO₂^[2-4]. 由于工作温度 (300~400 °C) 较高, 工业化的 SCR 装置大多置于脱硫和除尘装置之前. 此时, 烟气中高浓度的 SO₂ 和飞灰容易导致催化剂中毒和冲刷, 从而降低了催化剂的使用寿命, 大大增加了 SCR 系统的运行成本.

锰基催化剂可在较低的温度下工作^[5-11],因而 SCR 系统可安装在除尘设备甚至脱硫系统之后,从而有效延长了催化剂的使用寿命,降低运行成本. 研究表明, MnO_x 是具有较好应用前景的中低温 SCR 催化剂. 唐晓龙等^[6]发现, MnO_x/TiO₂ 粉末催化剂在 120 °C 时 NO_x 转化率可接近 100%. 在 SCR 系统中,常用的催化剂载体有 TiO₂、分子筛、活性炭和 SiO₂ 等. 其中 TiO₂ 作为中温催化剂载体,可降低催化剂表面硫酸盐的稳定性,使活性组分在其表面处于高度分散状态^[12].

目前,用作 TiO₂ 载体的形状主要是纳米颗粒,采用阳极氧化法制备的 TiO₂ 纳米管阵列,在催化降解有机物等领域显示了一定应用前景^[13-16]. 本文考察了 TiO₂ 纳米管阵列负载的 MnO_x 催化剂的脱硝性能,并讨论了 NO 在 TiO₂ 纳米管阵列中扩散方式对脱硝性能的影响.

1 实验部分

1.1 催化剂的制备

采用阳极氧化法制备 TiO₂ 阵列^[13-15]. 将高纯度 (99.6%) 钛板 (100 mm × 30 mm × 3 mm) 经丙酮、无水乙醇和去离子水依次超声清洗 10 min 后,冷风吹干. 以 NH₄F 的乙二醇溶液 (0.5%~1.0%) 为电解液,以处理过的钛板为阳极电极,阴极电极为相同尺寸的 Cu 板,两电极距离保持在 5.0 cm. 在室温下以恒压电源提供稳定的电压 (20 V) 进行阳极氧化在钛片的两侧制备 TiO₂ 纳米管阵列. 电解结束后试样用去离子水冲洗、烘干,然后在 500 °C 下热处理 2 h,以稳定所制备的 TiO₂ 纳米管^[13].

将热处理后的 TiO₂ 纳米管阵列 (记为 NT) 浸渍在 Mn(NO₃)₂ 水溶液 (50%) 中,分别在常压 (记为 A) 或真空 (记为 V) 中浸渍 1 h,取出后于 400 °C 下热处理 3 h,使 Mn(NO₃)₂ 分解为 MnO_x,所得样品记为 MnO_x/NT(*t*)-A/V,其中 *t* 为电解时间 (h). 钛板在真空下用 Mn(NO₃)₂ 水溶液 (50%) 浸渍所制备的催化剂试样记为 MnO_x/Ti-V; 在 MnO_x/NT(12)-V 上脱硝测试时,气氛中含有 2.5% 的 H₂O 和 0.02% 的 SO₂,以测试其抗水抗硫性能.

1.2 催化剂的表征和评价

催化剂的形貌由 JEOL S-4800 场发射扫描电子显微镜 (SEM) 观测; 表面的组分通过能谱分析仪

(EDX) 进行分析.

催化剂活性测试在固定床反应器上进行. 将 10 片双面负载了 MnO_x 的 TiO₂ 纳米管阵列的钛板装入反应器的槽内,钛板间距为 5~6 mm,用 NO-NO₂-NO_x 检测仪 (Testo AG - testo 350 型) 检测进出口气体中 NO 和 NO₂ 的浓度,计算催化剂的脱硝效率. 反应温度由反应器中间的热电偶测量. 反应气组成为 0.055%NO_x-6%O₂-0.055%NH₃-0.02%SO₂-2.5%H₂O, N₂ 为平衡气,空速为 36000 h⁻¹. 为了便于比较,以不浸渍 MnO_x 的 TiO₂ 纳米管阵列 NT(6) 和 NT(24) 以及 MnO_x/Ti-V 为催化剂,进行空白实验.

2 结果与讨论

2.1 TiO₂ 纳米管阵列及其负载催化剂的形貌

图 1 为 TiO₂ 纳米管阵列的 SEM 照片. 由图可见,经过 6 h 电解时,钛片表面已经被 TiO₂ 覆盖,并开始出现纳米级的小孔,但是还没有形成完整的管状结构 (见图 1(b)). 经 12 h 后,完整的纳米管阵列已经形成,纳米管直径大约在 30 nm 左右 (见图 1(c)). 继续电解,过度氧化会破坏表面的管状阵列结构; 经 24 h 后,在表面形成了由 TiO₂ 纳米管构成的多级孔洞结构,而内部仍然是 TiO₂ 纳米管阵列 (见图 1(d)). TiO₂ 纳米管的内径与电解时间之间并没有直接的关系^[13]. TiO₂ 纳米管的生长过程可能

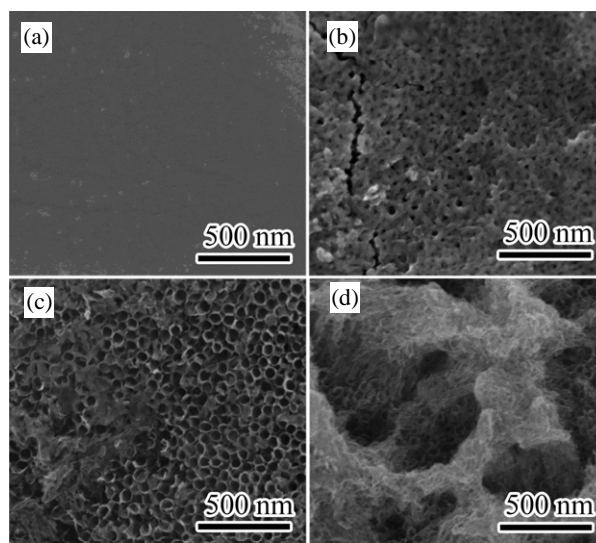


图 1 不同电解时间生长的 TiO₂ 纳米管阵列 SEM 照片
Fig. 1. SEM images of anodized TiO₂ nanotube arrays formed at different times. (a) 0; (b) 6 h; (c) 12 h; (d) 24 h.

为: 首先电解液中的钛片表面会生成一层 TiO_2 氧化膜, 然后 F^- 会与 Ti 结合, 形成一个个孔洞; 随着电解时间的延长, 孔洞深度也慢慢增加, 最后形成纳米管阵列^[14]. 阳极氧化制备的 TiO_2 纳米管阵列为非晶态, 经 500°C 热处理后, 形成稳定的锐钛矿晶形 TiO_2 纳米管^[15].

图 2 为 $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$ 的 SEM 照片 (内插图图 2 为 Mn 和 Ti 的能谱分布). 由图中裂缝可以观察到 TiO_2 纳米管的侧面. 由 Mn 和 Ti 两种元素的分布图可知, 通过真空浸渍, MnO_x 成功进入到 TiO_2 纳米管内部, 并且 TiO_2 纳米管阵列保持完好. 而常压浸渍时, 由于 TiO_2 纳米管内的空气不能被排除, MnO_x 无法进入到 TiO_2 纳米管内部.

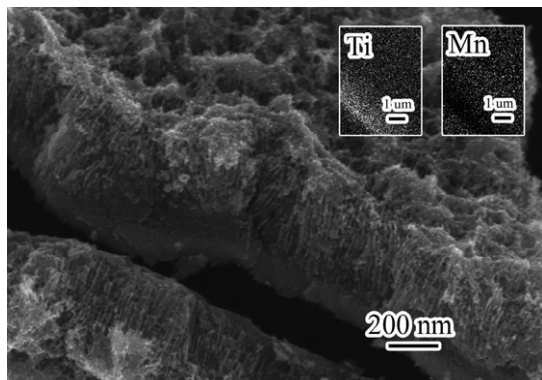


图 2 $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$ 的 SEM 照片 (内插图图 2 为 Mn 和 Ti 的能谱分布)

Fig. 2. SEM image of $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$. The insets are the EDS mapping of Ti and Mn . The number in the sample name means the electrolysis time (i.e. 24 h), and the letter V means that the sample was prepared under vacuum.

2.2 催化剂的脱硝性能

图 3 为不同催化剂上 NO_x 转化率随温度的变化. 由图可见, 不含 MnO_x 的 TiO_2 纳米管阵列 NT(6) 和 NT(24) 基本没有催化活性; $\text{MnO}_x/\text{Ti-V}$ 表现出一定的催化活性, 100°C 时 NO_x 转化率为 36%, 至 250°C 时达最高 (约 92%), 继续升高温度, 催化剂活性有所下降. 这与文献^[17]报道一致. 常压下浸渍的 $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-A}$ 的脱硝性能甚至比 $\text{MnO}_x/\text{Ti-V}$ 还差. 这可能是由于 TiO_2 纳米管孔中的气泡阻止了 MnO_x 进入管内, 使得催化剂表面有效的 MnO_x 含量减少. 真空浸渍法制备的 $\text{MnO}_x/\text{TiO}_2$ 催化剂均显示出优异的脱硝效率, 在 100°C 下 NO_x 转化率可达 70%; 在 $150\sim 250^\circ\text{C}$ 脱硝效率都超过

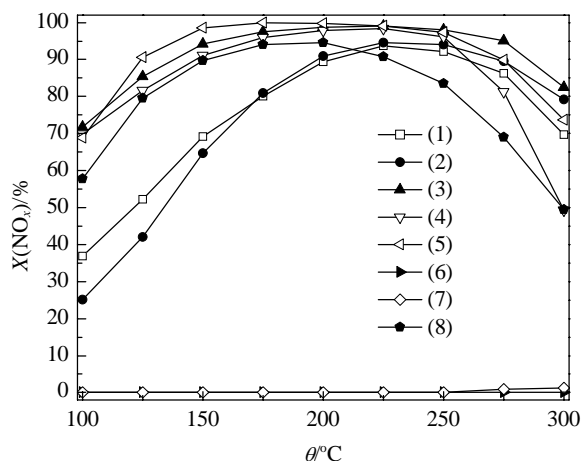


图 3 不同催化剂上 NO_x 转化率随温度的变化

Fig. 3. NO_x conversion as a function of temperature over different catalysts. (1) $\text{MnO}_x/\text{Ti-V}$; (2) $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-A}$; (3) $\text{MnO}_x/\text{NT}(6)\text{-V}$; (4) $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-V}$; (5) $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$; (6) NT(6); (7) NT(24); (8) $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-V}$ with 2.5% H_2O and 0.02% SO_2 . Reaction conditions: feed 0.055% NO_x -6% O_2 -0.055% NH_3 - N_2 balance; $\text{SV} = 36000 \text{ h}^{-1}$. The letter A in the sample name means that the sample was prepared under atmospheric pressure.

90%. 尤其是经过 24 h 电解制备的 $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$, 在 $175\sim 225^\circ\text{C}$ 时脱硝效率达 99% 以上, 说明 TiO_2 纳米管内的 MnO_x 对催化脱硝有明显的贡献. 本文采用了板式催化剂, 测试条件接近工业化状况, 催化剂活性仍然接近唐晓龙等^[6]采用的粉末催化剂.

当温度过高 ($> 225^\circ\text{C}$) 时, 催化剂吸附 NH_3 的效果变差, 脱硝效率也随之下落, 与文献^[17]报道一致. 值得注意的是, $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-V}$ 和 $\text{MnO}_x/\text{NT}(24)\text{-V}$ 在高温时活性下降得最为明显; 而 $\text{MnO}_x/\text{NT}(6)\text{-V}$ 上 NO_x 转化率依然保持在 80% 以上.

图 3 还给出了原料气中含 2.5% H_2O 和 0.02% SO_2 对 $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-V}$ 的脱硝效果的影响. 可以看出, 在低温 ($\leq 200^\circ\text{C}$) 时 H_2O 和 SO_2 同时存在对催化剂的脱硝效率基本没有影响, 说明其良好的抗水抗硫性能; 在高温 ($\geq 225^\circ\text{C}$) 时的脱硝效率有所下降, 即随着温度的升高, 样品的抗水抗硫性能略有减弱.

连续反应 20 h 后, 该系列催化剂的活性未见明显下降. 图 4 是经过 20 h 脱硝反应后, $\text{MnO}_x/\text{NT}(12)\text{-V}$ 的 SEM 照片. 可以看出, 中空的 TiO_2 纳米管阵列的结构保持不变, 说明该系列催化剂结构稳定性较好.

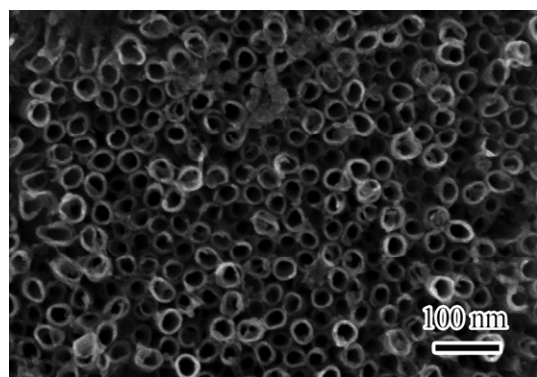


图 4 经过 20 h 脱硝试验后 MnO_x/NT(12)-V 的 SEM 照片
Fig. 4. SEM image of MnO_x/NT(12)-V after SCR of NO_x for 20 h. SCR—selective catalytic reduction.

2.3 催化剂的表观反应速率常数和表观活化能

为了更好地评价催化剂的活性, 本文由 NO_x 转化率计算了催化剂的表观反应速率常数和表观活化能. 参照文献[18], 脱硝过程对 NO_x 是一级反应, 对 NH₃ 是零级反应, 表观速率常数 $k_V(\text{ml}/(\text{g}\cdot\text{s}))$ 可由方程式 (1) 计算:

$$k_V = -\frac{V}{W} \times \ln(1 - X) \quad (1)$$

其中, V 为气流量 (ml/s), W 为催化剂用量 (g), X 为 NO_x 转化率. 然后根据 Arrhenius 方程式:

$$k_V = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (2)$$

由 $\ln k_V$ 对 $1/T$ 的斜率, 可计算出反应的表观活化能 E_a .

图 5 不同催化剂的反应速率常数和表观活化能. 由图 5(a) 可以看出, 在低温段 ($< 225^\circ\text{C}$), k_V 随温度的升高而升高, 其中以 MnO_x/NT(24)-V 的 k_V 值最大. 这可能是由于该催化剂样品表面由纳米管阵列形成多级孔洞结构, 使得催化剂比表面积增大, 增加了它与 NO_x 的接触面积, 从而促进了脱硝反应的进行.

图 5(b) 为根据图 5(a) (温度范围 $100\sim 200^\circ\text{C}$) 计算得到的表观活化能. 由于各催化剂样品的表面形貌差别很大, 故表观活化能的可比性较差. 尽管如此, 所得到的活化能都比较小, 说明该系列催化剂具有较高的低温活性. 由图 5(a) 还可以看出, 随着温度的进一步升高 ($> 225^\circ\text{C}$), 反应速率开始下降. 这可能是由于 NH₃ 在高温下脱附所致^[17]. 由图 3 和图 5(a) 可见, 当温度超过 250°C 后, MnO_x/

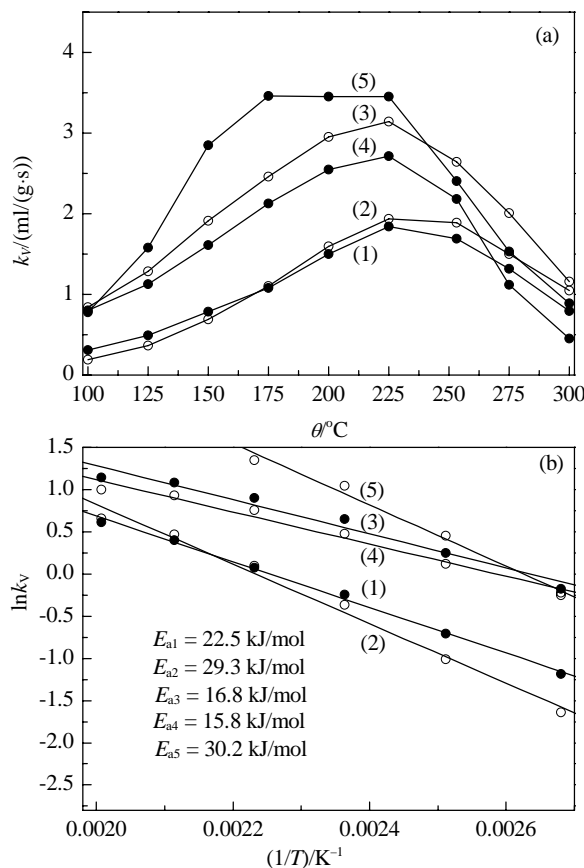


图 5 不同催化剂的反应速率常数和表观活化能

Fig. 5. Reaction rate coefficients as a function of temperature (a) and the calculated apparent activation energy (b) for different catalysts. (1) MnO_x/Ti-V; (2) MnO_x/NT(12)-A; (3) MnO_x/NT(6)-V; (4) MnO_x/NT(12)-V; (5) MnO_x/NT(24)-V.

NT(12)-V 和 MnO_x/NT(24)-V 的脱硝效率和速率常数较 MnO_x/Ti-V, MnO_x/NT(12)-A 和 MnO_x/NT(6)-V 下降得更快. 这说明除 NH₃ 脱附外, 可能还有别的因素进一步抑制脱硝反应的进行.

2.4 NO 在 TiO₂ 纳米管阵列中的扩散

NO 分子必须进入 TiO₂ 纳米管内, 才能与催化剂表面活性位接触而发生反应. 气体分子进入纳米管内的主要形式是扩散. 对于 TiO₂ 纳米管阵列负载的催化剂, NO 的扩散方式由分子的平均自由程 ($\bar{\lambda}$) 与 TiO₂ 纳米管管径 (d_n) 决定. 当 $\bar{\lambda} < d_n$, NO 在 TiO₂ 纳米管内进行容积扩散; 当 $\bar{\lambda} > d_n$, NO 在 TiO₂ 纳米管内进行努森 (Knudsen) 扩散^[19]. 容积扩散 (D_V) 和努森扩散 (D_K) 的扩散系数计算式分别为^[20]:

$$D_V = \frac{1}{3} \times \frac{1}{\sqrt{2N\pi d^2}} \times \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (3)$$

$$D_K = \frac{2}{3} \times \bar{r} \times \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (4)$$

其中, \bar{N} 为单位体积内的分子个数, d 为分子碰撞的有效直径, k 为波尔兹曼常数, m 为单个分子的质量, \bar{r} 为微孔的半径. 而 NO 分子的平均自由程 ($\bar{\lambda}$) 由下式计算得到:

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d_{NO}^2 p} \quad (5)$$

其中, d_{NO} 为 NO 分子的有效直径, p 为大气压力. 同样, 扩散活化能 (E_D) 可由下式给出:

$$D = D_0 e^{-E_D/RT} \quad (6)$$

其中, D 和 D_0 为扩散系数. 进而 E_D 可由 $\ln D$ 对 $1/T$ 的斜率计算得出.

图 6(a) 是由式 (3) 和 (4) 计算得到的 NO 的容积扩散系数 D_V 和努森扩散系数 D_K 随温度的变化. 由图可见, 温度升高可加快分子碰撞, 有利于容积扩散, 但努森扩散则受温度的影响较小. 图 6(a) 中的插图是由式 (5) 计算得到的 NO 分子的平均自由程随温度的变化, 当温度从 100 °C 升至 300 °C 时, NO 分子的平均自由程 $\bar{\lambda}$ 从 22 nm 增至 32 nm. 由图 4 可知, TiO₂ 纳米管阵列的平均 d_n 约为 30 nm. 即, 当温度低于 250 °C 时, $\bar{\lambda} < d_n$, NO 在 TiO₂ 纳米管内的扩散受容积扩散控制; 当温度高于 250 °C 时, $\bar{\lambda} > d_n$, 受努森扩散控制. 而 250 °C 时的 D_K 仅为 D_V 的 1/5 左右. 因此, 对于 MnO_x/NT(12)-V 和 MnO_x/NT(24)-V, 当反应温度超过 250 °C 时, NO 在 TiO₂ 纳米管内的扩散将从容积扩散转变成努森扩散. 所以, MnO_x/NT(12)-V 和 MnO_x/NT(24)-V 上 NO_x 转化反应被进一步抑制而下降得更快^[21]. 图 6(b) 是根据式 (6) 拟合得出的不同扩散方式的扩散活化能. 可以看出, 容积扩散的扩散活化能为 5.73 kJ/mol, 大于努森扩散 (1.91 kJ/mol), 说明努森扩散受温度影响较小, 故在高温下反应容易受努森扩散控制.

综上所述, 在 SCR 脱硝过程中, 通过制备多孔材料可提高催化剂的比表面积, 在中低温下可有效促进脱硝反应的进行. 但温度过高时, 分子的平均自由程变大, 可使反应进入努森扩散控制状态, 阻碍了分子向孔内扩散, 抑制孔内的催化反应, 从而导致催化反应速率有所下降. 因此, 当以多孔材料为催

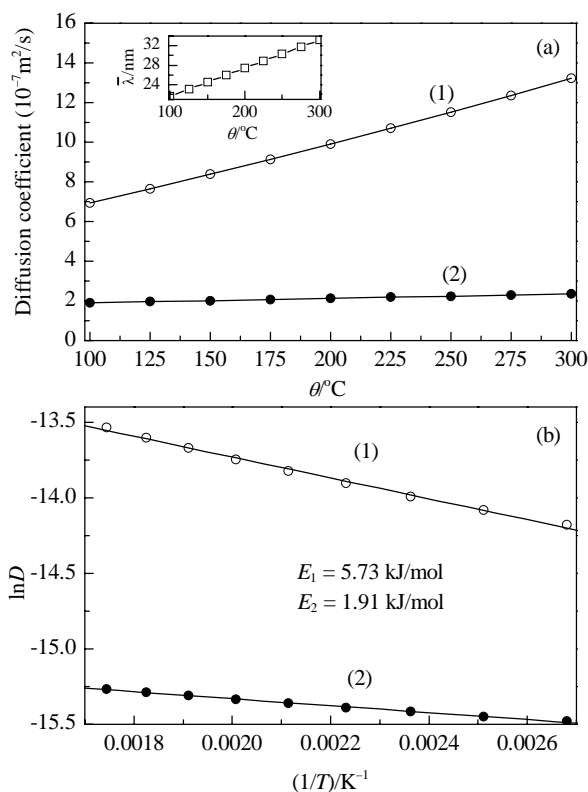


图 6 NO 分子的容积扩散系数和努森扩散系数随温度的变化 (插图为 NO 分子的平均自由程随温度变化) 及不同扩散方式的扩散活化能

Fig. 6. (a) The volume diffusion coefficient (D_V) and the Knudsen diffusion coefficient (D_K) of NO molecule as a function of temperature (the inset is the mean free path of NO molecule as a function of temperature); (b) The diffusion activation energy calculated by the Arrhenius plot. (1) D_V ; (2) D_K .

化剂载体时, 需要考虑努森扩散的影响, 例如孔径不能太小.

3 结论

采用真空浸渍法在 TiO₂ 纳米管阵列的表面和内壁负载 MnO_x 制成催化剂, 在较低的反应温度下, TiO₂ 纳米管内外表面的 MnO_x 对脱硝反应都起催化作用, 尤其是在 175~225 °C 的温度范围内, NO_x 转化率达到 99% 以上. 当反应温度较高时, 努森扩散可抑制 TiO₂ 纳米管内的脱硝反应, 从而使脱硝效率有所降低.

参 考 文 献

- 1 Bosch H, Janssen F J J G, Vandenkerkhof F M G, Oldenzien J, Vanommen J G, Ross J R H. *Appl Catal*, 1986, **25**: 239
- 2 Nova I, Lietti L, Casagrande L, Dall'Acqua L, Giamello E,

- Forzatti P. *Appl Catal B*, 1998, **17**: 245
- 3 Alemany L J, Lietti L, Ferlazzo N, Forzatti P, Busca G, Giamello E, Bregani F. *J Catal*, 1995, **155**: 117
- 4 Alemany L J, Berti F, Busca G, Ramis G, Robba D, Toledo G P, Trombetta M. *Appl Catal B*, 1996, **10**: 299
- 5 Singoredjo L, Korver R, Kapteijn F, Moulijn J. *Appl Catal B*, 1992, **1**: 297
- 6 唐晓龙, 郝吉明, 徐文国, 李俊华. 催化学报 (Tang X L, Hao J M, Xu W G, Li J H. *Chin J Catal*), 2006, **27**: 843
- 7 Pefla D A, Uphade B S, Smirniotis P G. *J Catal*, 2004, **221**: 421
- 8 Roy S, Viswanath B, Hegde M S, Madras G. *J Phys Chem C*, 2008, **112**: 6002
- 9 陈志航, 李雪辉, 高翔, 江燕斌, 吕扬效, 王芙蓉, 王乐夫. 催化学报 (Chen Zh H, Li X H, Gao X, Jiang Y B, Lü Y X, Wang F R, Wang L F. *Chin J Catal*), 2009, **30**: 4
- 10 李伟, 林涛, 张秋林, 龚茂初, 陈耀强. 催化学报 (Li W, Lin T, Zhang Q L, Gong M Ch, Chen Y Q. *Chin J Catal*), 2009, **30**: 104
- 11 Tian W, Yang H S, Fan X Y, Zhang X B. *J Hazard Mater*, 2011, **188**: 105
- 12 Sreekanth P M, Pefia D A, Smirniotis P G. *Ind Eng Chem Res*, 2006, **45**: 6444
- 13 Allam N K, Grimes C A. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 2008, **92**: 1468
- 14 Mor G K, Varghese O K, Paulose M, Shankar K, Grimes C A. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 2006, **90**: 2011
- 15 Li G, Liu Z Q, Lu J, Wang L, Zhang Z. *Appl Surf Sci*, 2009, **255**: 7323
- 16 刘冰川, 李金花, 周保学, 郑青, 白晶, 张嘉凌, 刘艳彪, 蔡伟民. 催化学报 (Liu B Ch, Li J H, Zhou B X, Zheng Q, Bai J, Zheng J L, Liu Y B, Cai W M. *Chin J Catal*), 2010, **31**: 163
- 17 Kim Y J, Kwon H J, Nam I S, Choung J W, Kil J K, Kim H J, Cha M S, Yeo G K. *Catal Today*, 2010, **151**: 244
- 18 Amiridis M D, Duevel R V, Wachs I E. *Appl Catal B*, 1999, **20**: 111
- 19 Tomadakis M M, Rupani D. *Chem Eng J*, 2007, **128**: 1
- 20 傅献彩, 陈瑞华编. 物理化学. 北京: 人民教育出版社 (Fu X C, Chen R H. *Physical Chemistry*. Beijing: People's Education Press), 1981. 36
- 21 Rolison D R. *Science*, 2003, **299**: 1698

第十二届全国均相催化学术会议通知

中国化学会第十二届全国均相催化学术讨论会定于2011年10月中旬在成都召开. 会议由中国催化学会均相催化专业委员会主办, 四川大学化学学院承办, 中国科学院成都有机化学研究所协办. 本届会议将全面展示两年来我国在均相催化和相关领域取得的研究成果, 交流和讨论均相催化发展的新趋势和所面临的机遇与挑战, 以促进我国均相催化学科和相关产业的发展. 会议主题包括均相催化及其工业应用、不对称催化、小分子催化、仿生催化胶束催化及纳米催化等. 大会组委会诚邀各位同行和相关仪器专家代表前来参会交流.

论文征集及奖励

投稿截止日期: 2011年6月30日.

论文必须未公开发表. 会议将设立全国均相催化基础研究和应用研究两个奖项, 分别奖励在均相催化基础研究和应用研究方面做出重要贡献的科学家各一名, 同时拟设立“第12届全国均相催化学术讨论会优秀墙报奖”奖项.

关于本次会议的详细信息敬请浏览网站 <http://12nchc.scu.edu.cn>

第十二届全国均相催化学术会议组委会

2011-03-22