

文章编号:0253-9721(2007)10-0026-04

TiO₂/ACF 复合滤料光降解甲醛的实验研究

黄翔¹, 赵丽宁², 狄育慧¹

(1. 西安工程大学 环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 厦门中福元建筑设计研究院, 福建 厦门 361009)

摘要 以钛酸丁酯[Ti(OBu)₄]为原料,用溶胶-凝胶法制备纳米 TiO₂ 溶胶,采用浸渍法将溶胶整理到活性炭纤维 (ACF) 滤料上,并对 ACF 滤料原样、整理样光催化氧化甲醛气体的性能进行静态、动态对比实验。静态实验中,弱光源条件下 ACF 滤料原样、整理样的甲醛净化率分别为 33.3%、39.6%,在强光源条件下分别为 38.6%、49.2%;动态实验中,弱光源条件下 ACF 滤料原样、整理样的甲醛净化率分别为 69.9%、77.1%,在强光源条件下分别为 77.1%、85.5%。证明纳米 TiO₂ 在强光源和弱光源条件下均可以光降解甲醛。

关键词 活性炭纤维; 光催化; 纳米二氧化钛; 弱光源; 吸附; 甲醛

中图分类号:TS834.82 文献标识码:A

Experimental study of photodegrading for maldehyde by TiO₂/ACF filter

HUANG Xiang¹, ZHAO Lining², DI Yuhui¹

(1. Xi'an University of Engineering, College of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an, Shanxi 710048, China;

2. Xiamen Zhongfuyuan Architectural Design and Reseach Institute, Xiamen, Fujian 361009, China)

Abstract With [Ti(OBu)₄] as raw materials, nanometer TiO₂ was prepared by using sol-gel process, then the sol was applied to ACF (Activated Carbon Fiber) filter material by soaking method. The static and dynamic comparative study of the original sample and treated sample of ACF filter material were carried out with respect to the photocatalysis and oxidation of formaldehyde gas. In the static experiment, the formaldehyde purification rate of the original and treated samples were 33.3% and 39.6% respectively in weak light conditions, and, 38.6% and 49.2% in strong light conditions; in the dynamic experiment, the values were 69.9% and 77.1% in weak light conditions, and 77.1% and 85.5% in strong light conditions. It has proven that nanometer TiO₂ can photodegrade formaldehyde in both strong light and weak light conditions.

Key words activated carbon fiber; photocatalysis; nanometer titanium dioxide; weak light conditions; adsorption; formaldehyde

活性炭纤维(ACF)以其吸附率大,比表面积大,吸附容量大,吸(脱)附速度快,对高浓度吸附质和低浓度吸附质的吸附能力明显,耐热,耐酸碱,具有氧化还原特性,滤阻小等优点而被广泛应用于各个领域^[1],但目前采用的 ACF 吸附法只是将污物源转移,并没有使污染物分解,故存在吸附饱和后净化效率显著下降及二次污染等问题^[2]。纳米光催化可以解决污染物处理难的问题,同时,光催化还有利于提高 ACF 的比表面积。

纳米 TiO₂ 由于其特殊的电子结构,能完全或部分分解各类有机污染物,使其最终生成 CO₂ 和 H₂O,纳米 TiO₂ 表面高活性的电子具有很强的还原能力,现已证明纳米 TiO₂ 可处理的有毒、有害化合物达 80 多种,但是当污染物浓度较低时,光催化降解速度较慢,而且会生成许多有害的中间产物,影响降解效果。

文献[3-4]认为,在弱光源即太阳光(紫外光强度为 1~10 W/m²)或在日光灯(紫外光强度为 0.2~

收稿日期:2006-05-16 修回日期:2006-12-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50343020)

作者简介:黄翔(1962—),男,教授,硕士。主要研究领域为功能性空气过滤材料、蒸发冷却空调新技术及设备的应用等。E-mail: huangx@xpu.edu.cn。

2 W/m²)照射下,TiO₂吸收了紫外光光波后,表面被激发出较强活化能力的基团,使空气中的氧还原或水氧化,在TiO₂表面生成·O₂和·OH活性基团,这些活性基团上的光子能量相当于有3 600 K高温的热能发生。在此高温下足以使有机物质“燃烧”,使微生物、细菌等分解为CO₂和H₂O。

关于ACF滤料和纳米光催化结合的研究已有文献报道^[5-9],但这些文献只研究了粒状活性炭和纳米光催化复合净化甲醛或室内空气,或者研究了ACF和纳米光催化复合净化苯酚和二氯甲烷等污染物,而对ACF和纳米光催化进行复合后的吸附光催化机制没有明确的研究。为此,本文利用溶胶-凝胶法将纳米TiO₂整理到ACF毡(ACF滤料)上,并用这种被整理过的滤料在弱光源时净化室内空气。

1 滤料光催化净化甲醛实验

1.1 TiO₂溶胶制备及ACF滤料实验样

文献[10]研究发现,ACF与TiO₂物质的量比为1:0.5时,甲醛的去除效果最好。先称取一定量的钛酸丁酯、无水乙醇、乙酰丙酮、硝酸、去离子水,使得他们之间物质的量比为1:18:0.5:0.2:2,然后按下列步骤进行制备^[11]:1)准确量取一定量的钛酸丁酯,将其溶于无水乙醇的2/3体积中;2)加入乙酰丙酮作为抑制剂,以延缓钛酸丁酯的强烈水解;3)在电动搅拌器的强烈搅拌下,滴加适量的硝酸、去离子水和1/3的无水乙醇的混合溶液,得到稳定的TiO₂溶胶。

选用厚度为2 mm的ACF滤料作为基材,根据实验要求,裁出620 mm×620 mm的小样2个;400 mm×300 mm的小样1个。将经过超声波清洗的ACF滤料基材浸入配制好的TiO₂溶胶中,5 min后取出,在80℃烘干,放在数控超级恒温槽中进行水蒸气活化,将活化后的基材用二次去离子水冲洗,再烘干后即可用于动态、静态实验研究。ACF滤料整理样的SEM照片见图1。可以看出:ACF滤料上的溶胶分散均匀,整理效果明显,放大到9 000倍时,可以清楚地看到ACF滤料纤维上分散的微粒,但是TiO₂微粒大小明显不一,这是由于放置时间太长,配好的TiO₂溶胶凝结后变成凝胶所致。

1.2 滤料光催化净化甲醛静态实验

静态实验台设计结构见图2(单位为mm)。系统主要由均流风扇、紫外灯、滤料架、箱体、排风管组成。

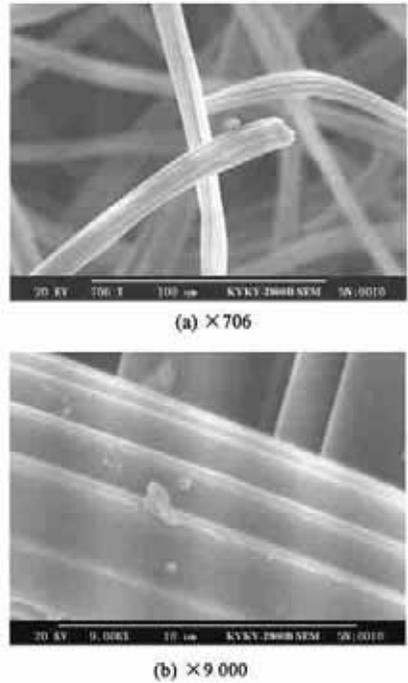


图1 ACF滤料整理样的SEM照片

Fig.1 SEM images of reorganization type of ACF

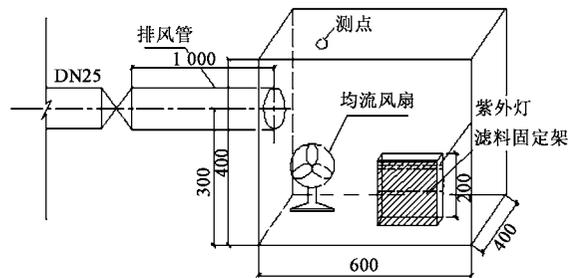


图2 静态实验台设计结构图

Fig.2 Design structure picture of static experimentation equipment

测试时将ACF滤料的原样或整理样固定在滤料架上,再将污染源置于箱体内,打开均流风扇,让污染源在箱体中挥发,均流30 min后取出污染源,打开紫外灯,一定时间后用PPM400甲醛测试仪从测点进行测试,读出甲醛浓度,从而根据实验结果分析研究ACF滤料光催化净化甲醛的性能。

1.3 滤料光催化净化甲醛动态实验

动态实验台(见图3)是在净化测试室内搭建的功能性空气过滤材料净化性能测试实验台,系统由实验小室、风机箱、过滤装置、有害气体源组成。

测试时将ACF滤料的原样或整理样固定在滤料架上,再将甲醛置于有害气体污染源内,启动风机,让污染源在系统中挥发,5 min后用甲醛测试仪测试,当甲醛浓度达到1 mg/kg时,取出污染源,打开

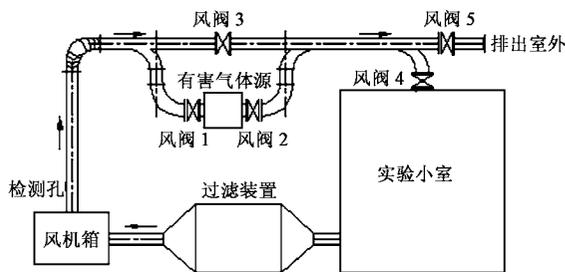


图 3 动态实验台系统图

Fig.3 System picture of dynamic experimentation equipment

紫外灯,再利用甲醛测试仪测试不同时刻的甲醛浓度,根据实验结果分析研究 ACF 滤料的光催化净化甲醛的性能。

2 结果与分析

2.1 静态实验

强光源条件下,经过 3 h 实验,ACF 滤料原样与整理样光催化净化甲醛性能的对比实验结果见表 1。

表 1 ACF 滤料原样与整理样强光源时净化甲醛的实验结果

Tab.1 Experimental result of purify for maldehyde with ACF filters material and their reorganization type in strong light conditions

试样	初始甲醛浓度	净化后甲醛浓度
原样	1.32	0.81
整理样	1.28	0.65

注:实验温度 26 °C,下同。

$$\text{甲醛净化率} = \frac{\text{初始甲醛浓度} - \text{净化后甲醛浓度}}{\text{初始甲醛浓度}} \times 100\% \quad (1)$$

由式(1)可得,强光源条件下,ACF 滤料原样的甲醛净化率为 38.6%,整理样的甲醛净化率为 49.2%。结果表明:强光源条件下 ACF 滤料整理样的甲醛净化率比原样提高了 10.6%。

弱光源条件下,经过 3 h 实验后,ACF 滤料原样与整理样光催化净化甲醛性能的对比实验结果见表 2。

由式(1)可得,弱光源条件下,ACF 滤料原样的甲醛净化率为 33.3%,整理样的甲醛净化率为 39.6%。结果表明:弱光源条件下 ACF 整理样的甲醛净化率比原样提高了 6.3%。

表 2 ACF 滤料原样与整理样弱光源时净化甲醛的实验结果

Tab.2 Experimental result of purify formaldehyde with ACF filters material and their reorganization type in weak light conditions

试样	初始甲醛浓度	净化后甲醛浓度
原样	1.23	0.82
整理样	1.34	0.81

由实验结果可见,无论是弱光源还是强光源,ACF 滤料都可以净化甲醛。这是因为 ACF 滤料本身的吸附作用富集了大量低浓度的甲醛,同时利用了 TiO₂ 的光催化作用;而 ACF 原样只是利用了 ACF 滤料本身的吸附作用。

2.2 动态实验

ACF 滤料原样、整理样在弱光源和强光源时净化甲醛性能的对比实验分别进行 2 h 的测试,每 6 min 读数 1 次;并用式(1)计算甲醛净化率,实验结果及甲醛的净化率对比见图 4。

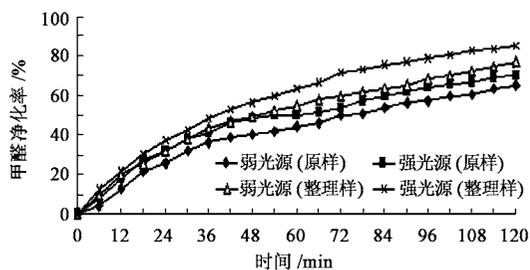


图 4 ACF 滤料原样、整理样在弱光源、强光源时净化甲醛性能的对比实验图

Fig.4 Contrast experimental picture of ACF filters material and their reorganization type purify formaldehyde gas in strong light and weak light conditions

从图 4 可以看出,ACF 滤料原样在弱光源、强光源条件下分别实验 2 h,系统内甲醛净化率分别达到了 65.2%、69.9%;ACF 整理样在弱光源、强光源条件下分别实验 2 h,系统内甲醛净化率分别达到了 77.1%、85.5%;强光源时甲醛的净化率比弱光源时只提高了 8.4%,实验结果表明弱光源时 ACF 滤料对甲醛仍然有较高的净化率。因此,ACF 滤料原样、整理样在弱光源和强光源条件下,ACF 滤料都可以净化甲醛。弱光源和强光源时,ACF 整理样净化能力之所以高,是因为 ACF 滤料本身的吸附作用富集了大量低浓度的甲醛,加之 ACF 滤料被 TiO₂ 溶胶整理后可利用其表面附着的大量 TiO₂ 的光催化作用;而 ACF 原样只是利用了 ACF 滤料本身的吸附作用,TiO₂ 的光催化作用导致甲醛净化率有所提高。

由实验结果可以看出,在1 mg/kg左右的甲醛浓度范围内,ACF滤料整理样对甲醛的净化率随着时间的延长而增大,基本符合抛物线型函数关系。一定时间后,实验系统内的甲醛浓度就会无限接近零,即净化率无限接近100%。

3 结 论

1) 弱光源和强光源条件下,ACF滤料都可以净化甲醛,只是净化率较低,这是因为静态实验中,系统内气流速度很小,不利于气流有组织、有速度的反复经过ACF滤料过滤,所以其净化率较低。

2) 纳米TiO₂在强光源和弱光源下均可以光降解甲醛;经TiO₂溶胶整理的ACF滤料对甲醛的净化率有明显的提高。

FZXB

参考文献:

[1] 赵丽宁,黄翔,顾群,等.粒状活性炭过滤器与活性炭纤维过滤器的性能比较[J].洁净与空调技术,2004,42(2):17-20,16.

[2] 高上愚,陈维译.活性炭基础与应用[M].北京:中国林业出版社,1984:142.

[3] 桥本和仁,藤山鸟昭.微弱光下的纳米光催化[J].现代化学,1996(8):23-28.

[4] 桥本和仁,藤山鸟昭.微弱光时纳米光催化的反应机理[J].Nature,1997,388:431-432.

[5] 古政荣,陈爱平,戴智铭,等.活性炭——纳米二氧化钛复合光催化空气净化网的研制[J].华东理工大学学报,2000,26(4):367-371.

[6] 许德平,黄正宏,王永刚,等.活性炭纤维布担载纳米TiO₂的三种方法[J].炭素技术,2004,23(5):12-16.

[7] 闵廷琴.苯酚在TiO₂/ACF上的吸附及光催化降解的研究[D].太原:太原理工大学,2000.

[8] Tsukasa Torimoto, Yasuhiro Okawa. Effect of activated carbon content in TiO₂-loaded activated carbon on photodegradation behaviors of dichloromethane[J]. Journal of Photochemistry and photobiology A: Chemistry, 1997, (103):219-222.

[9] 赵丽宁,黄翔,杨建忠,等.纳米光催化活性炭纤维净化空气初探[J].建筑热能通风空调,2005,24(4):35-37.

[10] 侯一宁,王安,王燕.二氧化钛-活性炭纤维混合材料净化室内甲醛污染[J].四川大学学报:工程科学版,2004,36(4):41-44.

[11] 高濂,郑珊,张青红.纳米氧化钛光催化材料及应用[M].北京:化学工业出版社,2002:161-162.