

· 大气污染防治 ·

KJF-01型室内空气净化器的实验研究

Experimental Study on Indoor Air Purifier KJF-01

佟伟钢, 王维宽, 胡 赟, 郑玉峰
(沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 将高压静电场除尘杀菌、活性炭吸附光催化分解等技术集成一体, 开发高效空气净化技术和空气净化器, 并进行污染物净化实验。结果表明, 该集成技术对空气中颗粒物、二甲苯和甲醛等污染物均具有很高的净化效率; 气态污染物净化时, 初期以活性炭吸附为主, 后期以光催化分解为主; 活性炭吸附具有选择性, 吸附二甲苯速度比甲醛快。

关键词: 室内空气净化; 静电场; 活性炭; 光催化

中图分类号: X51

文献标识码: A

Abstract: It makes an integration of the high voltage electrostatic field dedust technology, active carbon adsorb technology and photocatalysis decomposing technology to develop the high efficient indoor air purify technology and indoor air purifier. The results showed that the integrated technology can high efficiently purify the particulate matter xylene and formaldehyde. When the gaseous contaminants were purified, the active carbon played a major role in the initial stage, then photocatalysis played a major role. The active carbon adsorption was selective, the adsorption speed of xylene was faster than that of formaldehyde.

Key words: Indoor Air Purification; Electrostatic Field; Active Carbon; Photocatalysis

CLC number: X51

随着人们生活水平的提高, 人们越来越注重居室和办公场所条件的改善, 大量使用美化、装饰材料, 从而使室内环境引入大量的有机污染物, 使室内环境污染问题日益突出, 因此人类进入了以“室内空气污染”为特点的第三次污染时期^[1]。较之室外环境污染, 室内环境污染物的组成更加复杂、毒性也更大, 对人体的危害更为严重。在以人为本的今天, 研究开发室内空气净化消毒技术及装置对于解决室内污染问题, 创造舒适安全环保的室内环境具有十分重要的意义。文章重点阐述了空气净化技术和空气净化器及其实验研究。

1 实验仪器及方法

1.1 实验仪器和试剂

空气检测试验舱(体积 10 m^3)、粒子激光测试仪 CLJ-E型、英国 PPM 公司甲醛监测仪(PPM-400 htv)、美国 RAE 公司 VOC 检测仪

(PGM-7240)、光催化剂(P25 TiO_2)、聚丙烯腈活性炭纤维、紫外灯、二甲苯(分析纯)和甲醛(分析纯)等。

1.2 实验机理及方案

1.2.1 空气净化机理 空气净化器由粗效过滤器、风机、静电场除尘模块和光催化活性炭模块等组成。净化器外形尺寸 $400\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 1\,300\text{ mm}$ 。

静电场模块: 静电场由直流高压电源、阳极放电针、阴极集尘板等组成, 静电场电压 $6\sim 7.5\text{ kV/cm}^{[2]}$ 。

活性炭—光催化模块: 采用浸渍法将光催化剂附载在活性炭纤维布上^[3]。模块采用独特的结构设计, 负载光催化剂的活性炭纤维布围成一个圆柱面, 紫外灯居中, 气体下进侧出。调整纤维布大小即流通面积来保证气流速度以满足净化效率及工程扩大需要。

收稿日期: 2012-11-26

作者简介: 佟伟钢(1956-), 男, 工程师。研究方向: 室内空气污染。

污染的室内空气由风机抽进净化器,依次经过高压静电场模块、光催化—活性炭模块的净化处理,净化后的洁净空气从净化器排气口排出,完成一个净化周期。静电场的高效除尘解决了后续光催化剂失效(尘粒阻塞微孔)问题,延长了光催化剂材料的使用寿命。经除尘后的空气进入到光催化活性炭模块区域,空气中有机污染物(甲醛、苯系物、TVOC)等在通过光催化活性炭层时被活性炭吸附层固定,再被光催化分解成无害的 CO_2 和 H_2O 等。空气中未被静电场模块杀死的微生物在经过活性炭光催化层时被光催化产生的强氧化性物质 $\text{OH}^\cdot$ 氧化分解,空气得到进一步净化消毒。

1.2.2 实验方案 按照GB/T18801-2008《空气净化器》要求进行,以香烟烟雾做研究对象开展颗粒物净化实验研究;以二甲苯和甲醛等为研究对象开展气态污染物净化实验研究。

2 结果与讨论

2.1 颗粒物净化效果分析

以香烟烟雾为研究对象进行颗粒物净化模拟实验,将得到测试数据作图并进行数据处理,得到图1和回归方程及相关系数 R 。

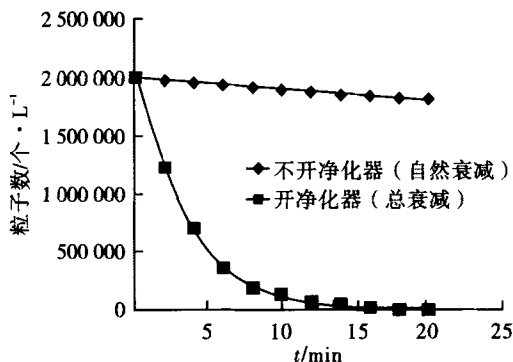


图1 颗粒物浓度随时间变化关系

图1可以看出,不开启空气净化器(自然衰减),自然衰减曲线变化缓慢,模拟舱对烟雾吸附效果有限,几乎可以看作不吸附。开启空气净化器后(总衰减),总衰减呈指数曲线急剧衰减,净化器对烟雾进行净化效果显著。

将自然衰减测得数据进行回归分析,得到曲线方程和相关系数 R :

$$Y = 2 \times 10^6 \times e^{-0.0052t} \quad R^2 = 0.985$$

总衰减测得数据进行回归分析所得到的曲线方程为:

$$Y = 2 \times 10^6 \times e^{-0.28t} \quad \text{相关系数 } R^2 = 0.993$$

污染物浓度在舱内随时间变化关系如1式^[4]

$$C_t = C_0 e^{-Kt} \quad (1)$$

式中:

C_t —在时间 t 时的浓度, 固态污染物(个/L) 气体(mg/m^3);

C_0 —在 $t=0$ 时的初始浓度, 固态污染物(个/L), 气体(mg/m^3);

K —衰减常数;

t —净化器工作时间, min

由此可见固态污染物自然衰减常数 K_n 可近似为零,总衰减常数 K_t 可近似为0.28。

洁净空气量计算如2式:

$$Q = 60V(K_t - K_n) \quad (2)$$

式中:

Q —洁净空气量, m^3/h ;

V —试验室容积, m^3 ;

K_t —总衰减常数;

K_n —自然衰减常数。

忽略自然衰减常数,1式和2式可以合并为3式:

$$Q = 60 \cdot \frac{\ln(C_0/C_t)}{t} V \quad (3)$$

对于 $t=1$ h, 污染物净化效率为90%时,3式可简化为4式:

$$Q = 2.3V \quad (4)$$

开启净化器1 h,净化效率达90%时,净化器适用的房间面积为(房间层高以2.8 m计):

$$S = V/2.8 = Q/(2.3 \times 2.8) = 0.155Q \quad (5)$$

将总衰减常数 $K_t=0.28$ 、自然衰减常数 $K_n=0$ 和舱体体积 $V=10 \text{ m}^3$ 代入2式,可得到净化器净化固态污染物的洁净空气量 $Q=2.8 \text{ m}^3/\text{min} = 168 \text{ m}^3/\text{h}$ 。净化器实测风量为 $193 \text{ m}^3/\text{h}$,因此有效净化效率为87%。

将 $Q=2.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 代入5式, $S=26 \text{ m}^2$,即净化器在面积 26 m^2 、层高2.8 m房间开启1 h,颗粒物 Q 为 $168 \text{ m}^3/\text{h}$,净化效率达90%。

2.2 气态污染物净化效果分析

2.2.1 二甲苯净化效果分析 二甲苯初始浓度

2 mg/m³进行净化实验。将自然衰减和总衰减试验得到测试数据进行数据处理并作图,见图2。

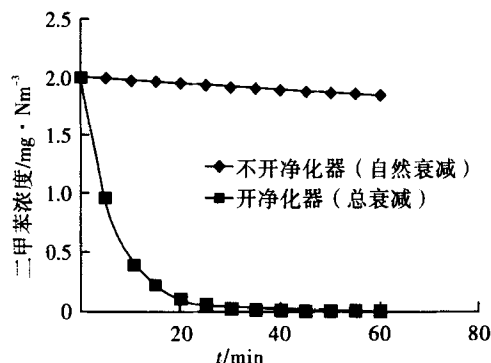


图2 二甲苯浓度随时间变化关系

从图2可以看出,不开启空气净化器(自然衰减),自然衰减曲线变化缓慢,模拟舱对气态污染物二甲苯吸附效果有限,几乎可以看作不吸附。开启空气净化器后(总衰减),总衰减呈指数曲线急剧衰减,净化器对二甲苯的净化效果显著,净化器20 min即可使室内空气达标。

将自然衰减测得数据进行回归分析,得到曲线方程和相关系数:

$$Y=2 \times 10^6 \times e^{-0.001t} \quad \text{相关系数 } R^2=0.989$$

将总衰减测得数据进行回归分析,得到曲线方程和相关系数:

$$Y=2 \times 10^6 \times e^{-0.15t} \quad \text{相关系数 } R^2=0.993$$

将总衰减常数 $K_t=0.15$ 、自然衰减常数 $K_n=0$ 和舱体体积 $V=10 \text{ m}^3$ 代入2式,可得到净化器净化二甲苯的洁净空气量 $Q=90 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

净化器实测风量为 $193 \text{ m}^3/\text{h}$,因此有效净化效率为47%。

将 $Q=90 \text{ m}^3/\text{h}$ 代入5式, $S=14 \text{ m}^2$

净化器在面积 14 m^2 、层高 2.8 m 房间开启 1 h ,二甲苯 Q 为 $90 \text{ m}^3/\text{h}$,净化效率达90%。

2.2.2 甲醛净化效果分析 使用甲醛作为目标污染物进行净化实验,甲醛初始浓度 $1 \text{ mg}/\text{m}^3$,净化器净化效率和甲醛浓度随时间变化见图3。

从图3可以看出,净化器净化效果呈随时间增加净化效果逐渐增强规律。净化效率初始 0.5 h 变化率较大,最大达62%, 0.5 h 后净化效率变化趋势变缓,4 h后净化效率高达93%。

净化器工作初期甲醛净化以活性炭吸附为主,活性炭吸附饱和后,净化以光催化分解为主。活性炭吸附污染物,为光催化反应提供高浓度污染物作反应物,使光催化分解反应加速,提

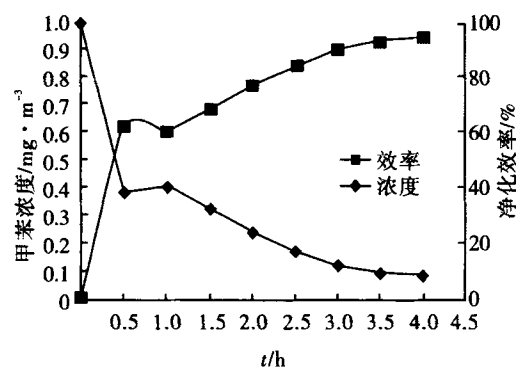


图3 甲醛净化效率和浓度随时间变化关系

高分解效率,光催化高效分解反应使活性炭解吸实现原位再生,延长了活性炭使用寿命。

对比二甲苯和甲醛的净化实验,可以发现 0.5 h 内二甲苯的净化效率比甲醛大的多。这是因为活性炭在净化有机挥发性气体二甲苯和甲醛时,活性炭具有选择性,活性炭和二甲苯均是非极性分子,而甲醛是极性分子,根据极性相同相容原理,活性炭对二甲苯有极高吸附量,净化效率高,活性炭对甲醛吸附量小,净化效率低。

3 结论

(1) 空气净化器很好地实现了高压静电除尘灭菌、活性炭纤维吸附和光催化技术的集成,净化器对固态和气态污染物均具有很高的净化效率。

(2) 净化器净化气态污染物时,初期以活性炭吸附为主,活性炭吸附饱和后,净化以光催化分解为主。活性炭吸附污染物,为光催化反应提供高浓度污染物作反应物,使光催化分解反应加速,提高分解效率,光催化高效分解反应使活性炭解吸实现原位再生,延长了活性炭使用寿命。

(3) 活性炭在净化有机挥发性气体二甲苯和甲醛时,具有选择性,活性炭和二甲苯均是非极性分子,而甲醛是极性分子,根据极性相同相容原理,活性炭对二甲苯有极高吸附量大,净化效率高,活性炭对甲醛吸附量小,净化效率低。

参考文献

- [1]朱天乐.室内空气污染控制[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2]吴吉祥,唐幸珠.静电吸附式空气净化消毒器的静电场设计原理[C].第12届中国电除尘学术会议论文集,2007,151-155.
- [3]许德平,黄正宏.活性炭纤维布担载纳米 TiO_2 的三种方法[J].炭素技术,2004,23(5):12-15.
- [4]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.中国国家标准化管理委员会.GB/T18801-2008.空气净化器[S].北京:中国标准出版社,2008.