



新型功能性空气过滤材料研究进展

西安工程大学 黄翔[☆] 王与娟 樊丽娟 狄育慧 吴志湘

摘要 介绍了功能性空气过滤材料的定义,阐述了目前常用的功能性空气过滤材料净化空气的原理,综述了用功能性空气过滤材料净化室内空气的研究现状,指出了存在的问题和今后的研究方向。

关键词 功能性空气过滤材料 室内空气质量 纳米 TiO_2 吸附 光催化

Progress in research of novel functional air filter material

By Huang Xiang[★], Wang Yujuan, Fan Lijuan, Di Yuhui and Wu Zhixiang

Abstract Presents the definition of functional air filter material, expounds the principle of common functional air filter material for cleaning air at present, overviews research status of the material used in indoor air cleaning, and points out the existing problems and research direction.

Keywords functional air filter material, indoor air quality, nano TiO_2 , adsorption, photochemical catalysis

★ Xi'an Polytechnic University, Xi'an, China

①

空气过滤材料在日常生产、生活中担当着重要的角色。许多工业生产和环境保护装置都涉及到气体过滤,而过滤装置的核心部件就是空气过滤材料。随着科学技术和现代化工业的不断发展,人们越来越重视室内外空气质量,普通的空气过滤材料已不能满足人们的需求。人们通过对传统空气过滤材料进行改性或者开发新型生产工艺,开发出了具有特定功能的功能性空气过滤材料。

1 功能性空气过滤材料的定义及其对室内空气的净化作用

功能性空气过滤材料是针对具有耐高温、耐腐蚀、抗静电、拒水、拒油、阻燃、抗菌(病毒)、清除有害气体等要求的特定行业而开发的空气过滤材料,是近年来兴起的空气过滤材料研究领域的一个热点。所谓功能性空气过滤材料是指具有某些特殊的、不同于一般空气过滤材料的、能满足特定行业和领域对空气过滤材料特殊功能需求的滤料^[1]。

功能性空气过滤材料在室内空气净化中的应用,大多是选择一种滤料基材如针刺毡、活性炭等与纳米光催化技术结合。光催化技术是近年来兴起的一种高科技前沿净化技术,其基本原理是半导

体纳米粒子在紫外光照射下发生电子跃迁,产生活泼的价带空穴和导带电子,这些电子、空穴和周围的水、氧气发生作用后,产生有氧化性能的自由基,将空气中的甲醛、苯、氨等污染物直接分解成无害的无机小分子,如 CO_2 , H_2O , N_2 分子等,并且能够将细菌、病毒等具有蛋白质结构的微生物杀死,从而达到净化空气的目的。但是,单纯采用纳米光催化技术降解有害气体,当污染物的浓度较高时,其降解性能较好,而当污染物浓度较低时,光催化降解速率较慢,且有可能生成有害的中间产物,影响净化效果。因此,选择一种滤料基材与光催化技术结合,利用基材对有害气体的吸附作用,形成污染物在光催化剂表面微细范围内的局部高浓度,可以有效弥补光催化对低浓度污染物降解效率低的缺点。功能性空气过滤材料正是由于对室内空气具有突出的净化功能,近年来得到了飞速发展。

①☆ 黄翔,男,1962年7月生,硕士研究生,工学硕士,教授,副校长
710048 西安市金花南路19号西安工程大学
(029) 82330016
E-mail: huangx@xpu.edu.cn
收稿日期:2008-04-09
修回日期:2008-12-01

2 功能性空气过滤材料用于室内空气净化化的研究进展

2.1 功能性空气过滤材料的开发

日本对于功能性空气过滤材料的研究较早,到现在已有多家公司生产出了多种用于改善室内空气质量的功能性空气过滤材料实用产品。甲公司开发的新型空气净化除臭机与该公司原同类产品相比,抗菌效率提高了 10%,可达 99.9%,除臭能力为原产品的 13 倍、活性炭的 130 倍^[2]。同时,该公司成功地把活性炭空气过滤材料和 TiO_2 材料结合起来,开发了一种新型的空气过滤材料。这种空气过滤材料不仅能捕捉空气中的微粒,还能去掉空气中的异味,杀死空气中的细菌。实验表明,经过 6 h 后,大肠杆菌数由初始的 190 000 个减少到 10 个^[3]。乙公司开发出了一系列便于用户使用的 TiO_2 二次产品^[4]。ST2H 系列蜂窝过滤体除表面积较大外,强度也较高。P2ST2H11 是将 TiO_2 光催化剂粉末混入活性炭、无机纤维和纸浆混合料中制成纸,然后组合成的蜂窝状二次产品。该二次产品价格廉、质量轻,但耐热性、耐水性较差,适用于室内除臭抗菌用的空气净化器。ST2H21 将 TiO_2 的光催化和活性炭的吸附能力结合起来,可用于小型除臭机,若采用适当的粘结剂可提高其耐水性,可应用于水处理中。

国内甲公司在金属丝网上制备出了具有高比表面积的 TiO_2 薄膜催化剂,有效地提高了光催化的光能利用率,解决了粉状光催化剂分离困难和普通薄膜催化剂效率低的问题。该公司制备的复合滤料具有很好的催化活性,以甲醛为待测气体测得的降解率在 95% 以上。乙公司研制的集中空调净化模块将等离子体降解、纳米光催化与活性炭吸附技术结合起来用于家用和车载型空气净化器。结果表明,该复合空气净化器能够高效降解甲醛、苯,杀灭病菌,对甲醛、苯的净化率达到 89%, 93%, 杀菌率达 99%^[5]。

古政荣等人采用浸涂法在复合载体上形成纳米 TiO_2 光催化剂薄壳层,制备出可用于室内空气净化化的活性炭-纳米 TiO_2 光催化净化网^[6]。用功率为 6 W、波长为 254 nm 的紫外杀菌灯照射 3 h 后,其对甲苯的净化率为 98.8%,三氯乙烯(TCE)的净化率为 99.5%,硫化氢的净化率为 99.6%,氮气的净化率为 96.5%,甲醛的净化率为 98.5%,一氧化碳的净化率为 60.1%。研究结果还表明,研

制的复合型空气净化网具有单纯活性炭、单纯光催化剂 TiO_2 、活性炭与 TiO_2 简单混合等净化网所不具备的综合优势,通过复合提高了光催化效率,同时也达到活性炭原位再生的目的。

梁才航等人采用浸渍法将微胶囊相变材料 TiO_2 和 ZnO 添加到涤纶针刺毡空气过滤材料中制备了纳米微胶囊相变空气过滤材料,并对其性能进行了研究^[7-8]。结果表明,制备的功能性空气过滤材料具有较好的杀菌效果,其中纳米 ZnO 微胶囊相变空气过滤材料的杀菌效果最好,杀菌 6 h 后,细菌的存活率仅为 0.41%;功能性空气过滤材料的杀菌效果与微胶囊相变材料的浓度成正比,浓度越大,杀菌效果越好。同时,制备的纳米微胶囊相变空气过滤材料对 PM2.5 和 PM10 有着良好的去除效果,使用纳米微胶囊相变空气过滤材料过滤 20 min 后,室内微粒浓度由初始的 0.60 mg/m³ 降到 0.05 mg/m³ 左右。

谢小军等人以涤纶针刺非织造布为基材采用浸渍法制备了驻极体功能性空气过滤材料,并对制备的功能滤料进行了抑菌测试。实验结果表明,当环境温度为 20~22 °C 时,经过 12 h 后,驻极体功能性空气过滤材料对大肠杆菌的平均抑菌率达 95.03%^[9-10]。

2.2 功能性空气过滤材料的性能及其影响因素分析

Obee 等人研究了使用纳米 TiO_2 材料光催化清除室内由建材、电器、家具等散发的有害气体的情况,探讨了空气湿度及有害气体初始浓度对氧化速率的影响^[11-12]。研究结果表明,普通问题建筑中的甲醛体积分数为 $0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$,在甲醛体积分数为 10×10^{-6} 以下及通常的相对湿度范围(15%~60%)内,氧化速率与污染物浓度成正比;光催化氧化速率与光催化剂 TiO_2 对水蒸气和污染物的吸收紧密性及氢氧根基团的作用机理有关。

Kim 等人研究了纳米 TiO_2 材料光催化的杀菌性能^[13]。结果表明,用辐射照度为 24 W/m² 的紫外光照射 60 min 后,细菌的存活率为 0.4%。Domeño 等人开发了一种多层的拒水聚合物空气过滤材料,该材料具有良好的拒水能力,可以使粘附在空气过滤材料上的细菌由于失去水分、没有营养物质而死亡^[14]。

杨瑞等人分别选取蜂窝、铝基、纸基及进口样机光催化空气滤网进行了降解甲醛的性能测试^[15]。测试结果表明,当甲醛初始浓度为 300 mg/m³ 时,蜂窝、铝基、纸基 3 种光催化空气滤料主要靠所含活性炭的吸附作用消除甲苯,其中纸基空气滤网消除甲苯的效果最好,但光催化效果不明显,进口样机所带滤料光催化降解甲醛的效果明显;较高的甲醛初始浓度和中低迎面风速下光催化效果较好。

顾群等人采用集防污、抗菌功能为一体的液相单分散纳米防污、抗菌涂层整理剂对针刺毡进行处理,实现了纳米 TiO₂ 与空气过滤材料的结合^[16-19]。经过纳米整理剂处理后的针刺毡滤料涂层柔软光滑,不影响空气过滤材料的其他物理机械性能,其拒水、拒油性能得到显著提高,按照 GB 12799—91 和 FZ/T 01067—1999 标准进行性能检测,拒油性能达到 6 级,拒水性能达到 4 级。在静态和动态条件下分别对处理后的针刺毡滤料进行甲醛净化测试,实验结果表明,在相同的实验条件下,静态实验中针刺毡空气滤料整理样相对于原样对甲醛的降解率提高了 18.88%;动态实验中经过 1 h 后针刺毡空气滤料整理样相对于原样对甲醛的降解率提高了 20.40%。

赵丽宁等人以钛酸丁酯为原料,采用溶胶-凝胶法制备纳米 TiO₂ 溶胶,并采用浸渍法分别对 AC 滤网和 ACF 滤料进行了光催化整理^[20-23]。对 AC 滤网原样和整理样、ACF 滤料原样和整理样分别进行了光催化氧化甲醛测试。结果表明,AC 滤网整理样和 ACF 滤料整理样分别相对于 AC 滤网原样和 ACF 滤料原样的阻力没有明显增加。纳米 TiO₂ 在紫外光的照射下和弱光源下均可以发生光催化反应,降解空气中的甲醛。在紫外光照射下,AC 滤网整理样对甲醛的降解率比原样提高 6.7%;ACF 滤料整理样对甲醛的降解率比原样提高 10.6%。弱光源时,ACF 滤料整理样对甲醛的降解率比原样提高 6.3%;AC 滤网整理样和 ACF 滤料整理样降解甲醛的规律基本符合抛物线函数关系,即整理样在一定时间后可以完全降解实验系统内的甲醛。

申祚飞等人以氟钛酸氨、硼酸、ACF 为主要原料,采用液相沉积法制备了基于 ACF 的纳米 TiO₂/ACF 复合滤料,并对制备的纳米 TiO₂/ACF 复合滤料进行了净化甲醛的测试^[24-27]。测试结果表明,制

备的纳米 TiO₂/ACF 复合滤料比 ACF 滤料原样对甲醛的净化率提高 10% 以上。通过实验测试了复合滤料对甲醛的净化率和滤料断面风速的关系,结果表明,风速在 0.2~2.6 m/s 范围内,纳米 TiO₂/ACF 复合滤料对甲醛的净化效果表现为随着风速的增加,净化速率先升高后逐渐降低。

黄海燕等人采用涂抹法制备了 TiO₂/VACF 光催化层,考察了含湿量、紫外灯功率等因素对吸附光催化降解甲醛的影响。结果表明,水蒸气的存在对甲醛的降解具有促进作用;TiO₂/ACF 光催化层对甲醛的降解率并不随含湿量单一变化,存在着最佳的水蒸气含量值;当紫外灯功率由 20 W 增加到 61 W 时,TiO₂/ACF 光催化层对甲醛的净化率随着功率的增加而增大^[28]。

王与娟等人选用羊毛纤维为基材,采用浸轧法制备了功能性空气过滤材料^[29-32],对制备的纳米 TiO₂/羊毛功能性滤料进行了阻力测试和降解室内低浓度甲醛的测试。结果表明,羊毛滤料光催化整理样相对羊毛滤料原样阻力增加了 10%,羊毛滤料整理样的阻力增加与滤料原样的面密度成反比,3 种羊毛滤料的阻力变化与过滤速度成抛物线函数关系。当温度为 24 ℃、风速为 0.3 m/s、甲醛初始质量浓度为 0.6 mg/m³ 时,羊毛滤料原样和羊毛滤料整理样对甲醛的净化率分别为 41.56% 和 68.74%。他们还在动态条件下测试了温度和甲醛的初始浓度对制备的纳米 TiO₂/羊毛功能性滤料净化甲醛效果的影响。测试结果表明,当温度在 20~28 ℃ 范围内时,纳米 TiO₂/羊毛功能性滤料对甲醛的净化率随着温度的升高而降低;而甲醛的初始浓度越大,净化效果越好。

段晓东等人采用溶胶-凝胶工艺制备以多孔泡沫镍为载体的 TiO₂ 薄膜,并利用其光催化氧化降解挥发性苯系物(苯、甲苯和二甲苯)^[33],考察了催化剂粒径、反应时间、苯系物的初始浓度、环境相对湿度和反应温度等因素对苯系物去除率的影响。结果表明,以粒径 20.7 nm 的 TiO₂ 为催化剂,在甲苯初始质量浓度为 200 mg/m³、相对湿度为 45%、反应温度为 20~50 ℃、反应时间为 60 min 条件下,甲苯的去除率达 76% 以上。

3 问题及今后研究的方向

新型功能性空气过滤材料以其优良的性能而备受关注,其在室内空气净化中的应用目前尚处于

理论研究和实验室小样处理研究阶段。还有许多问题有待于进一步深入研究,如进一步研究功能性空气过滤材料净化有害气体过程中产生的中间副产物以及反应的终产物;建立功能性空气过滤材料处理有害气体的理论模型,并分析各种因素综合作用下对有害气体降解效果的影响,为该类产品的设计和性能优化提供理论指导;研究新型功能性空气过滤材料的使用寿命以及在集中空调系统中的应用,使功能性空气过滤材料产业化;在保证光催化效果的前提下开发低成本的生态环保型功能性空气过滤材料等。

参考文献:

- [1] 黄翔,顾群,狄育慧. 功能性空气过滤材料及其应用[J]. 洁净与空调技术,2003,38(3):38-42
- [2] 祖庸. 纳米 TiO_2 ——一种新型的无机抗菌剂[J]. 现代化工,1999(8):46
- [3] Ao C H, Lee S C. Indoor air purification by photocatalyst TiO_2 immobilized on an activated carbon filter installed in an air cleaner[J]. Chemical Engineering Science, 2005,60(1):103-109
- [4] 黄汉生. 日本二氧化钛光催化剂环境净化技术开发动向[J]. 现代化工,1998(12):39
- [5] 杨建忠,董震. 纳米光催化材料在净化空气领域中的发展与前景[J]. 纳米科技,2005(6):15-19
- [6] 古政荣,陈爱平,戴智铭,等. 空气净化网上光催化剂和活性炭相互增强净化能力的作用机理[J]. 林产与化工,2000(3):6-9
- [7] 黄翔,梁才航,顾群. 纳米光催化功能性滤料的试验研究[J]. 棉纺织技术,2006,34(6):321-325
- [8] 梁才航. 纳米、微胶囊相变功能性空气过滤材料的性能研究[D]. 西安:西安工程科技学院,2005
- [9] 谢小军,黄翔,狄育慧. “煤灰纱”专用型驻极体空气过滤器的探讨[J]. 棉纺织技术,2005,33(8):33-35
- [10] 谢小军. 驻极体功能性空气过滤材料的性能及实验研究[D]. 西安:西安工程科技学院,2005
- [11] Obee T N. Photooxidation of subpart permillion toluene and formaldehyde levels on titania using a glass plate reactor[J]. Environ Sci Technol, 1996,30(12):3578-3580
- [12] Cao L X, Cao Z, Steven L, et al. Freihaut photocatalytic oxidation of toluene on nanoscale TiO_2 catalysts; studies of deactivation and regeneration[J]. Journal of Catalysis, 2005, 196:253-261
- [13] Kim B, Kim D, Cho D, et al. Bactericidal effect of TiO_2 photocatalyst on selected food-borne pathogenic bacteria [J]. Chemosphere, 2003, 152:77-81
- [14] Domeño C, Martínez G, Campo L, et al. Sampling and analysis of volatile organic pollutants emitted by an industrial stack [J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 524(1/2):51-62
- [15] 杨瑞,张寅平,王新珂,等. 纳米光催化空气滤网处理空气中微量甲苯效果的实验研究[J]. 暖通空调,2003,33(5):28-31
- [16] 顾群,黄翔,杨建忠. 纳米光催化材料在功能性空气过滤材料改性整理中的应用研究探讨[J]. 洁净与空调技术,2004(2):1-3
- [17] 黄翔,顾群,狄育慧. 功能性空气过滤材料及其应用[J]. 洁净与空调技术,2003(3):38-42
- [18] 黄翔,顾群,王进美,等. 纳米光催化材料在空气过滤材料中的应用研究[J]. 纳米科技,2005(3):1-4
- [19] 顾群. 纳米光催化材料在功能性空气过滤材料改性整理中的应用研究[D]. 西安:西安工程科技学院,2005
- [20] 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(2):17-20
- [21] 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
- [22] 赵丽宁,黄翔,狄育慧. 负载纳米 TiO_2 的 ACF 滤料的空气净化性能[J]. 西安工程科技学院学报,2006,20(4):437-439
- [23] 赵丽宁. 弱光源纳米光催化活性炭纤维滤料净化室内空气的研究[D]. 西安:西安工程科技学院,2006
- [24] 申祚飞,黄翔,颜苏芊. 纳米 TiO_2 与 ACF 复合净化室内空气初探[J]. 纳米科技,2006(5):13-17
- [25] 申祚飞,黄翔,颜苏芊. 纳米 TiO_2 与 ACF 复合材料净化空气性能的影响因素分析[J]. 产业用纺织品,2006(11):17-21
- [26] 申祚飞,黄翔,赵丽宁,等. 光催化纳米 TiO_2 /ACF 复合滤料净化空气性能的试验研究及环境影响因素分析[J]. 洁净与空调技术,2006(4):13-15
- [27] 申祚飞. 液相沉积法制备 TiO_2 /ACF 净化室内甲醛及吸附光催化机理研究[D]. 西安:西安工程大学,2007
- [28] 黄海燕. 纳米 TiO_2 /VACF 光催化层净化室内空气中甲醛的实验研究[D]. 重庆:重庆大学,2006
- [29] 王与娟,黄翔,狄育慧. 羊毛纤维净化室内空气的实验研究[J]. 洁净与空调技术,2007(1):8-10
- [30] 王与娟,黄翔,狄育慧. 羊毛在室内空气净化中的应用[J]. 毛纺科技,2007(9):35-38
- [31] Huang Xiang, Wang Yujuan, Di Yuhui. Experimental study of wool fiber on purification of indoor air[J]. Textile Research Journal, 2007, 77(12):946-950
- [32] 王与娟. 纳米 TiO_2 改性羊毛纤维净化室内空气的研究[D]. 西安:西安工程大学,2008
- [33] 段晓东,孙德治,余政哲,等. 光催化氧化法降解废气中苯系物的研究[J]. 化工环保,2003,23(5):253-257