

除尘滤料对微细颗粒捕集性能的研究

柳静献, 谢越, 常德强, 毛宁, 孙熙

(东北大学滤料检测中心 辽宁 沈阳 110004)

摘要:工业粉尘排放是大气中微细颗粒尤其 PM_{2.5} 的主要来源之一, 袋式除尘器中的滤料是颗粒捕集的关键。以实验手段, 系统研究了几种典型针刺毡及覆膜滤料的阻力特性、全尘捕集效率及微细粉尘捕集效率。数据显示, 滤料在老化后阻力增加, 覆膜滤料增幅最小; 常规滤料在洁净状态时对全尘的效率超过 99.9%, 老化稳定后效率在 99.99% 以上; 尽管滤料对全尘的效率很高, 但其对 10 μm 颗粒的效率在 94%~99% 之间, 对 2 μm 的效率在 52%~92% 之间, 仍有很大的提升需求

关键词: 滤料; 微细颗粒; 颗粒; 捕集

中图分类号: X701.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-8265(2012)04-0021-05

0 引言

由于我国工业的快速发展, 排放的细粉尘已成为影响我国区域大气质量、空气能见度的主要污染物。近年来, 由于细颗粒的危害, 我国产生雾霾天气的频率越来越高, 程度越来越重, 几乎覆盖我国大部分区域, 其对全球环境及公众健康可能产生的影响已引起世界各国的严重关注, PM_{2.5} 已成为众多媒体关注的热点^[1-6]。

过滤材料是袋式除尘器的核心, 以前研究多集中在滤料对全尘的捕集性能方面。现场测试表明, 袋除尘粉尘排放中 PM₁₀ 质量占 95%, PM_{2.5} 占 33%。由于一个 10 微米颗粒的质量相当于 64 个 2.5 微米颗粒的质量, 因此按照颗粒数量计算, 除尘器排放粉尘中 PM₁₀ 占 3% 以下, PM_{2.5} 占 96% 以上。环境公报显示, 我国烟尘及工业粉尘的年排放量都在 1200 万吨以上, 相当于我国每平方公里国土面积 1 吨以上粉尘, 绝大部分都是 PM_{2.5} 颗粒^[7-10]。

PM_{2.5} 由于粒径小、漂浮性大, 进入肺泡, 使肺癌、心血管病激增, 对人危害最严重, 对空气透光度影响最大, 已经成为众多媒体关注的热点^[11-13]。

本文针对常见的几种滤料, 通过系统的实验

研究其阻力特性、对全尘及细颗粒粉尘的捕集效率, 以对滤料的研发与改进提供指导。

2 实验方案

本文对滤料性能进行研究, 主要的实验项目有:

- (1) 洁净滤料的阻力特性、洁净滤料的全尘效率、滤料老化后稳定状态的全尘效率;
- (2) 滤料对 1、2、3、5、10 μm 细颗粒的计数效率。

2.1 实验装置

2.1.1 滤料全尘效率实验

滤料全尘效率实验按照 ISO11057-2011 和 GB6719-2009, 使用的装置如图 1 所示。

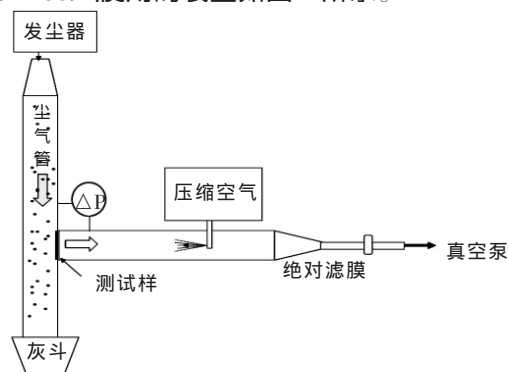


图 1 滤料全尘效率实验装置

收稿日期 2012-11-14

粉尘按照预先设定的量由发尘器供给，通过气流引射到方形竖管。被测滤料样品夹持在竖直与水平管交汇处。气流在真空泵的抽吸作用下通过滤料时，粉尘被捕集。随着过程的进行，滤料两侧的压差增大，当压差达到一定数值时，系统控制脉冲阀开启，高压空气从净气侧喷出，粉尘层在高压气体作用下脱落。全尘效率采用绝对滤膜的增重来测算，滤料压差记录和脉冲清灰控制由计算机进行。

实验分四个过程：

①过程 A 洁净过滤。开始时，洁净滤料阻力低。随着过滤的进行，阻力增加。当压差达到 1 000 Pa 时，脉冲阀开启，高压空气瞬间喷出，进行清灰，阻力急剧下降，之后进入下一次过滤，如此反复 30 次。A 结束后进入 B 过程。在此过程中，通过绝对滤膜的增重测算出洁净滤料的效率。

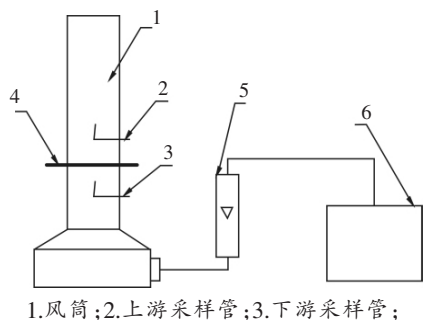
②过程 B 老化喷吹。计算机控制脉冲阀进行连续 10,000 次喷吹清灰，喷吹间隔 5 s，喷吹脉宽 30 ms，期间真空泵照常工作。连续喷吹使滤料在气流强力作用下不断的张紧与松弛，加剧了滤料的老化，该过程持续大约 14 小时。之后进入 C 过程。

③过程 C 恢复阶段。在经过 B 过程老化喷吹后，进行如 A 过程的定压喷吹 10 次，该过程数据不用。之后进入 D 过程。

④过程 D 稳定过滤。代表着滤料在现场使用时的常规状态，测试过程与 A 完全相同。在此过程中，通过绝对滤膜的增重测算出滤料老化稳定后滤料的效率。

2.1.2 分粒径计数效率实验

滤料分粒径计数过滤效率采用装置如图 2 所示。



1.风筒;2.上游采样管;3.下游采样管;
4.滤料夹具;5.流量计;6.风机
图 2 滤料分粒径过滤效率测试装置

实验中气流自上而下经过滤料，通过流量计来调整风量，从而控制通过滤料的气流速度。使用 Metone3315 激光粒子计数器在被测滤料的上游和下游进行不同大小颗粒的计数浓度测试，得到样品的分粒径效率。

2.1.3 实验材料

实验选用目前国内几种典型的滤料，分别为国外聚苯硫醚(PPS)纤维针刺毡滤料、国内 PPS 纤维针刺毡滤料、PPS 纤维水刺毡滤料、P84 纤维针刺毡滤料、玻璃纤维针刺毡覆膜滤料，几种样品的参数特性见表 1 所示。

表 1 实验样品参数特性

样品	单位面积质量/g/m ²	厚度/mm	透气率/m ³ ·m ² ·min ⁻¹	纤维直径/μm
国内 PPS 针刺毡	575.0	1.98	9.55	11~22
国外 PPS 针刺毡	547.6	2.02	7.40	15~21
PPS 水刺毡	442.7	1.83	7.24	17~24
P84 针刺毡	549.0	2.80	20.80	14~21
玻璃纤维针刺毡覆膜	948.3	2.27	1.33	18~32

实验中滤料的过滤风速为 3 m/min。使用的粉尘为氧化铝，其中粒径 6.2 μm，其颗粒的 SEM 扫描电镜如图 3 所示。

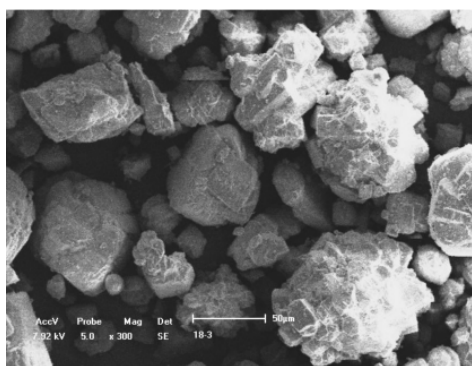


图 3 氧化铝扫描电镜照片

3 结果与分析

运行阻力和过滤效率是滤料的两个核心参数，一般来说，过滤效率高时阻力也大，阻力低时效率也低，两者间存在一定的联系。理想滤料应当具有阻力低和效率高的特征。

3.1 阻力变化

滤料在开始使用时阻力一般较低，随着过滤

与清灰过程的进行,一些粉尘进入滤料内部,导致其阻力逐渐上升。滤料经过老化后的阻力表征着滤料在现场应用时达到稳定运行状态时的阻力情况,比滤料初始阻力更有实际意义。表2为几种滤料样品在洁净状态和经过老化后稳定状态时的阻力系数。滤料阻力系数指滤速为1 m/min时的阻力,阻力系数倍率指两者阻力系数的比值,表征着阻力上升的程度。

表2 滤料不同状态时的阻力系数

	国内 PPS	国外 PPS	PPS 水刺	P84 滤料	玻纤覆膜
新料阻力系数	17.97	18.02	18.83	7.70	32.18
全过程测试后滤料阻力系数	192.03	122.30	146.00	44.95	71.83
阻力系数倍率	10.68	6.78	7.75	5.83	2.23

可以看出,洁净状态时,P84滤料的阻力最低,国内PPS滤料、国外PPS滤料和PPS水刺滤料的阻力相差无几,玻纤覆膜滤料的阻力最高,经过老化达到稳定状态后,P84滤料阻力最低,其次是玻纤覆膜滤料、国外PPS滤料、PPS水刺滤料,而国内PPS滤料阻力最大。从阻力增长来看,玻纤覆膜滤料的阻力系数倍率为2.23,阻力增长最小,其它依次为P84滤料、国外PPS滤料、PPS水刺滤料和国内PPS滤料,国内PPS滤料阻力增长了10倍。玻纤覆膜滤料的粉尘残留最少,粉尘剥离性能最好。

图4为几种滤料在洁净状态和老化后稳定状态时的阻力特性曲线。

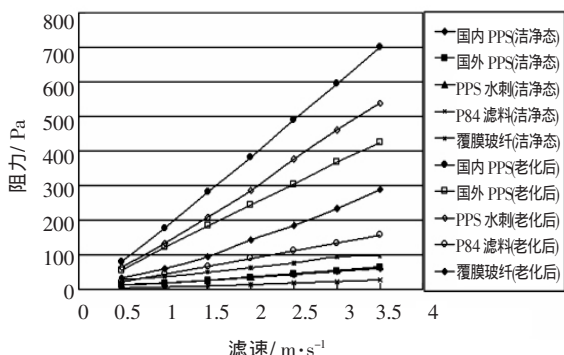


图4 滤料在洁净状态和老化后稳定状态时的阻力特性
滤料经过老化后,其阻力均有所一定幅度的

增加。国内PPS滤料的斜率最大,其阻力增加也最快,粉尘剥离率最小,覆膜玻纤滤料由于表面的PTFE膜很光滑,利于粉尘的脱落与清除,因此其阻力增长最慢。

3.2 全尘计重效率

实验中对洁净状态和老化后稳定状态的滤料进行了全尘效率测试,得到数据见表3所示。

表3 滤料的全尘效率

样品	洁净滤料除尘效率/%	老化后滤料除尘效率/%
国内 PPS 针刺毡	99.985	99.992
国外 PPS 针刺毡	99.973	99.999
PPS 水刺中试料	99.984	99.999
P84 针刺毡	99.990	99.999
玻纤覆膜滤料	99.999	99.999

可以看出,在洁净状态时,几种滤料的效率都在99.9%以上,玻纤覆膜滤料的效率最大,为99.999%,其它几个样品效率相差不大。经过1万次脉冲喷吹充分老化后,不仅滤料内部孔隙被粉尘填满,而且在滤料表面形成了粉尘层,进一步提升了后续粉尘的过滤效率,使这几种滤料的除尘效率都在99.99%以上,除国内PPS滤料为99.992%外,其它几种均为99.999%。

3.3 分粒径计数效率

为研究滤料对不同粒径小颗粒的过滤效率,按照图2所示的实验装置,用激光粒子计数器对其过滤性能进行了测试,过滤效率如表4所示和图5所示。

表4 几种滤料的分粒径计数效率

	1 μm	2 μm	3 μm	5 μm	10 μm
国内 PPS 滤料	19.78	52.30	68.70	87.15	95.08
国外 PPS 滤料	30.02	52.35	72.69	90.20	95.10
水刺 PPS 滤料	41.12	72.84	85.25	94.31	98.38
P84 滤料	40.28	72.13	83.06	93.35	97.52
覆膜玻纤滤料	84.26	92.67	96.40	97.90	98.86

可以看出,几种滤料对10 μm颗粒的计数效率在94%~99%之间,覆膜玻纤滤料最高,为98.86%,其次是水刺PPS滤料、P84滤料、国外PPS

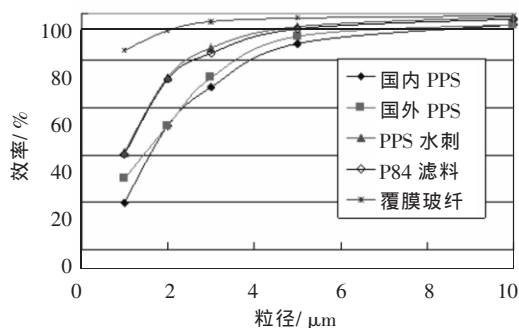


图 5 滤料的分粒径计数效率

滤料和国内 PPS 滤料, 其中国外 PPS 和国内 PPS 的效率相差无几, 对 $2\ \mu\text{m}$ 的颗粒, 效率在 52%~92% 之间, 覆膜玻纤滤料最高, 为 92.67%, 其次是水刺 PPS 滤料、P84 滤料、国外 PPS 滤料和国内 PPS 滤料, 其中国外 PPS 和国内 PPS 的效率相差无几。

4 结论

滤料是控制大气颗粒污染物尤其 $\text{PM}_{2.5}$ 细粒子的重要材料。本文通过系统的实验, 研究了儿种常规滤料的阻力性能、全尘计重捕集效率以及分粒级计数效率, 得到如下结论:

(1) 滤料在经过老化达稳定状态后的阻力比洁净状态高很多。洁净状态时, P84 滤料的阻力最低, 玻纤覆膜滤料的阻力最高, 经过老化达到稳定状态后, P84 滤料阻力最低, 国内 PPS 滤料阻力最高, 玻璃纤维覆膜滤料的粉尘剥离性最好;

(2) 滤料在洁净状态时对全尘的计重效率都在 99.9% 以上, 滤料在老化后稳定后效率增加, 在 99.99 以上, 覆膜滤料的效率最高, 为 99.999%;

(3) 滤料对颗粒的分粒级计数效率实验显示, 滤料对 $10\ \mu\text{m}$ 颗粒的效率在 94%~99% 之间, 对 $2\ \mu\text{m}$ 的效率在 52%~92% 之间, 仍有很大的提升需求;

(4) 研究表明, 尽管滤料对全尘的效率很高, 但对小颗粒的效率却不高。覆膜滤料虽然效率高, 但在应用中覆膜容易破损, 导致滤料失效。因此, 对小颗粒捕集还需研发新型滤料。

参考文献:

[1] Xiujuan Zhao, Xiaoling Zhang, Xiaofeng Xu, et al, Seasonal and diurnal variations of ambient $\text{PM}_{2.5}$ concentration in

urban and rural environments in Beijing, Atmospheric Environment[J], 2009, 43(18):2893-2900.

[2] D.G. Streets, J. Fu, C. Jang, Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games, Atmospheric Environment [J], 2007,41:480-492.

[3] Jing Huang, Furong Deng, Shaowei Wu, et al, Comparisons of personal exposure to $\text{PM}_{2.5}$ and CO by different commuting modes in Beijing, China, Science of The Total Environment[J], 2012,425:52-59.

[4] Haidong Kana, Stephanie J. Londonb, Guohai Chen, etc, Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China, Environment International[J], 2007,33(3):376-384.

[5] St. Pateraki, D.N. Asimakopoulos, H.A. Flocas, et al, The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$), Science of The Total Environment, 2012,419(1):124-135.

[6] M. Zheng, L.G. Salmon, J.J. Schauer, et al, Seasonal trends in $\text{PM}_{2.5}$ source contributions in Beijing, China, Atmospheric Environment[J], 2005,39:3967-3976.

[7] F. Goodarzi, H. Sanei, Plerosphere and its role in reduction of emitted fine fly ash particles from pulverized coal-fired power plants, Fuel[J], 2009,88(2):382-386.

[8] Heimo Rud, Gerd Mauschitz, Wilhelm H-flinger, Transmitted-light microscopy a new method for surface structure analysis of cleanable non-woven dust filter media, Journal of Hazardous Materials[J], 2007,144(3):742-746.

[9] Zhijun Wu, Min Hu, Peng Lin, et al, Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China, Atmospheric Environment[J], 2008,42(34):7967-7980.

[10] M. MacNeill, L. Wallace, J. Kearney, et al, Factors influencing variability in the infiltration of $\text{PM}_{2.5}$ mass and its components, Atmospheric Environment[J], 2012,61:518-532.

[11] Melanie Noullett, Peter L. Jackson, Michael Brauer, Estimation and characterization of children's ambient generated exposure to $\text{PM}_{2.5}$ using sulphate and elemental carbon as tracers, Atmospheric Environment[J], 2010,44(36):4629-4637.

[12] Toshihiko Myojo, Akira Ogami, Takako Oyabu, et al, Risk assessment of airborne fine particles and nanoparticles, Advanced Powder Technology[J], 2010,21(5):507-512.

[13] C. Varotsos, J. Ondov, C. Tzani, et al, An observational study of the atmospheric ultra-fine particle dynamics, Atmospheric Environment[J], 2012,59:312-319.

Research on Fine Particle Capture of Baghouse Filter Media

LIU Jing-xian ,XIE Yue ,CHANG De-qiang ,MAO Ning ,SUN Xi

(Filter Test Center of Northeastern University, Shenyang 110004 ,China)

Abstract : Industrial dust emission is one of the main sources of fine particle especially for PM_{2.5} in atmosphere. Filter media in baghouse is the key component for particle capture. In the paper, several typical needle felts and membrane filters are studied by means of experiments. The performances of filter such as resistance, capture efficiency for total particle and efficiency for fine particle are tested. It was indicated by the results that the resistance of filter increased after aging, increasing rate of membrane filter was the smallest. The efficiencies of normal filters were above 99.9% for clean state, and 99.99% for stable state after aging. Although the filters had high efficiency for total particle, but the efficiency for 10 μ m particle was 94%–99% and for 2 μ m was 52%–92%, the filter need to be improved.

Key words : filter media ,fine particle ,particle capture

(上接第 13 页)

应用[J]. 产业用纺织品, 2000 (18): 26–28.

- [4] W. Jasper, J. Hinestroza, A. Mohan, J. Kim, B. Shiels, M. Gunay, D. Thompson, R. Barker, Effect of xylene exposure on the performance of electret filter media, *Aerosol Science*, 2006, 37, 903–907
- [5] Chen Gangjin, Xiao Huiming, Wang Xin, Study on Parameter Optimization of Corona Charging for Melt-blown Polypropylene Electret Nonwoven Web Used as Air Filter,

Proceedings of ICPADM 2009 , 2009, 7: 389~391

- [6] 肖慧明, 陈钢进, 张树文. 溶剂溶胀对聚丙烯熔喷非织造布过滤性能的影响 [J]. 材料研究学报, 2009, 23: 513–517.
- [7] 陈钢进, 肖慧明, 尤健明, 等. 溶剂浸泡对驻极体空气过滤材料性能的影响[J]. 洁净与空调技术, 2009, (1): 76–79.

Study on Stability of Melt-blown Polypropylene Electret Nonwoven on Medical Disinfectant

CHEN Gan-gjin¹, XIAO Hui-ming¹, YOU Jian-ming², ZHAO Fan²

(1. Lab. of Electrets and Its Application, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China ;

2. Tongxiang Jianmin Filter Material Co., Ltd, Tongxiang 314511, China)

Abstract : It was known that melt-blown polypropylene electret nonwoven was the best materials used as facepiece respirators. It had advantages of higher filtration efficiency, lower pressure drop and germicidal function because of its special electrostatic filtering mechanism. The charge stability of electret under special environment is the key problem needed to study. In this paper, the stability of filtration efficiency was investigated when the melt-blown polypropylene electret nonwoven was soaked in disinfectant solution. The results showed that the filtration efficiency declined little after soaked for 24 hours in hydrogen peroxide, phenol, glutaraldehyde, chlorine-containing disinfectant, boracic acid, formaldehyde, peroxyacetic acid and rubbing alcohol. However, the filtration efficiency displayed a marked decay when it was soaked in washing-up liquid and detergent powder. It could be come to a conclusion that melt-blown polypropylene electret nonwoven was a kind of favorable facepiece respirator materials when used in medicine environment, however, it was proposed as a disposable respiratory protection production.

Key words : air filtration materials ,melt-blown polypropylene ,electret ; solution immersion ,filtration efficiency