高效过滤器大气尘检漏浓度的研究——国标《洁净室施工及验收规范》编制组研讨系列课题之五

中国建筑科学研究院 姚 丹☆ 王 荣 李书云 许钟麟 张益昭
张彦国 牛维乐 曹国庆 冯 昕

摘要 实测了人扎针孔 0.6 mm 和 1.0 mm 时高效过滤器对于大气尘的泄漏浓度，当上游大气尘浓度只有 300～400 粒/L 时，下游仍可测出 5～10 粒/L 的泄漏。

关键词 高效过滤器 大气尘浓度 检漏

Experimental research on atmospheric dust leakage of HEPA filters: part 5 of the series of research practice of the national standard task group for the *Code for cleanroom construction and acceptance test*

By Yao Dan★, Wang Rong, Li Shuyun, Xu Zhonglin, Zhang Yizhao, Zhang Yanguo, Niu Weile, Cao Guoqing and Feng Xin

Abstract Uses atmospheric dust as upstream aerosol challenge and pricks a pinhole of diameter 0.6 mm or 1.0 mm on a HEPA filter. The results show that leakage can still be detected with 5～10 particles per liter sampled downstream when the upstream concentration is as low as 300～400 particles per liter.

Keywords HEPA filter, atmospheric dust concentration, leakage test

★ China Academy of Building Resesrch, Beijing, China

①

0 引言

高效过滤器检漏通常是发 DOP 气溶胶作为上游尘源，下游用光度计检漏。这种方法很麻烦，而且不能精确计数。近年来也有改用粒子计数器计数的，但是发 DOP 仍然不理想。在实践中，一般的检漏就用大气尘作为尘源，确实方便。但人们担心这种方法的浓度不够。一些标准规范中也作了规定，如关于高效过滤器的检漏，要求上游的含尘浓度不小于 35 000 粒/L[1]、5 000 粒/L[2]（粒径≥0.5 μm）等等。但是这些标准都没有经过实验验证。到底大气尘浓度需要达到多少才能在下游测出泄漏？本课题对此进行了实验研究。

1 实验综述

本实验的主要方式是通过控制并同步监测高效过滤器上游的含尘浓度，并且人工制造并控制高效过滤器泄漏点，来发现在一般工况下待测高效过滤器下游的泄漏情况。

2 实验台简介

实验台末端加有排风机，2 台高效空气过滤器用镀锌钢板风管连接。实验台前端主进风口为一手动空气密闭调节阀，主干管进口处开一旁通进风口（为污风进风口），并设置手动密闭风阀，用来

①☆ 姚丹，女，1978 年 12 月生，大学，工程师
100013 北京市北三环东路 30 号中国建筑科学研究院环能院
（010）64517853
E-mail：dorthy0012@sina.com.cn
收稿日期：2008－05－08

调节实验台待测高效过滤器上游空气浓度。风管主干管待测高效过滤器上游端管壁开测试孔，用来测定风量、上游浓度；高效过滤器后侧下游端风管内侧设置可移动调节的采样口。具体构造如图 1 所示。

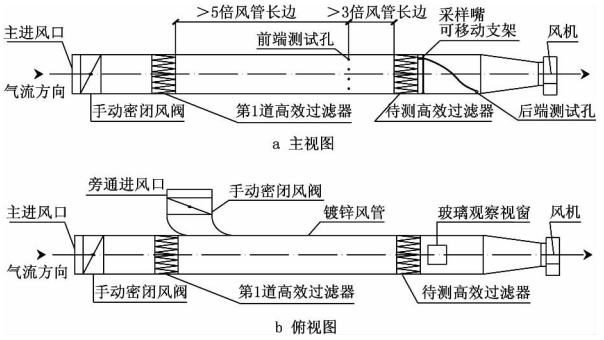

图 1 实验台构造图

风机电压 380 V，功率 200 W，额定风量 1 000 m^3/h。待测高效过滤器外形尺寸为 540 mm×540 mm×220 mm。

风机启动后，整个实验台处于负压工作状态。待测高效过滤器下游的采样嘴固定在距离高效过滤器 20 mm 的平行于出风面的平面上，可垂直移动，采样嘴连通采样管接至尘埃粒子计数器。

3 实验所用仪器

实验仪器包括：2.83 L/min 激光尘埃粒子记数器 2 台（采样管内径 15.0 mm，为渐缩喇叭口，采样速度与送风速度虽不等，但其比值可以保持采样误差在 5%之内[3]）、热球式风速仪、微压计、游标卡尺、可定位调节的采样嘴（其中下游粒子计数器以上游粒子计数器为准作系数修正）。

4 实验步骤介绍

4.1 大气浓度

实验前确定外部环境：当地大气含尘浓度约为 198 000 粒/L（粒径≥0.5 μm）。

4.2 待检过滤器在不同风量下的密封性能

将污风进口处密封，通过风速仪测定调整主风阀出入口风量，将系统风量调至最低挡 300 m^3/h 和额定风量 1 000 m^3/h，用扫描法在待测高效过滤器下游处扫描检漏以确保实验台的密封性能及过滤器的质量，保证实验的有效性及可靠性。通过扫描检漏，下游数值约为 0，个别数为 1 粒/2.83 L（粒径≥0.5 μm）。

4.3 制造孔洞，分阶段测试

1）在待测的高效过滤器上、下游侧用细针扎一个直径 1.0 mm 的细孔和一个直径 0.6 mm 的细孔（细针的直径用游标卡尺精确测定）。两个孔洞间隔足够远，以排除互相产生干扰影响实验效果。具体扎孔位置见图 2。

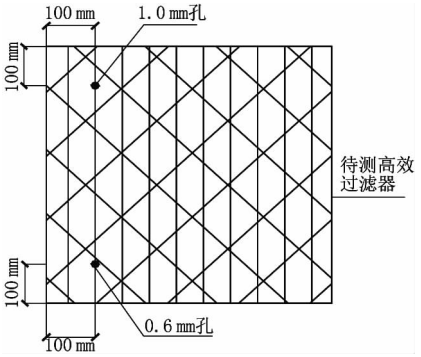

图 2 扎孔位置

2）调节主进风口风阀，将系统风量调整并固定在 1 000 m^3/h 左右，压差 190 Pa（A 类高效过滤器初阻力），同时通过微调旁通污风入口风阀来调节上游空气的含尘浓度。本实验实测的过滤器上游含尘浓度为 300～7 000 粒/L（粒径≥0.5 μm）。

实验数据见图 3，4。

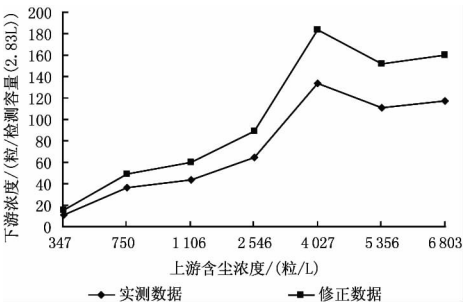

图 3 0.6 mm 孔数据

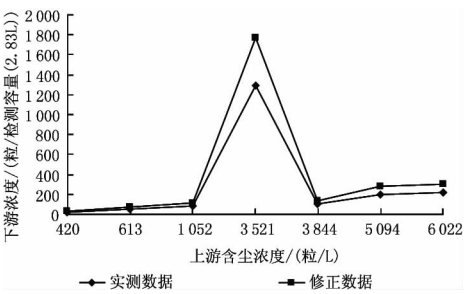

图 4 1.0mm 孔数据

由图 3 可以看出，0.6 mm 孔洞下游所测数值大体呈线性趋势，且随着过滤器上游浓度的升高，

下游漏过的粒子数量相应增大。

由图 4 可以看出，1.0 mm 孔洞下游的实测数据在上游浓度 3 500 粒/L 附近有一个偏差非常大的数值点，除去这个“坏点”，上下游浓度基本也是呈线性趋势。

图 5 为 0.6 mm 和 1.0 mm 孔洞实测数据的比较，可以看出，1.0 mm 孔洞后侧漏过的粒子数明显大于 0.6 mm 孔洞后侧漏过的粒子数量。这充分说明当上游浓度相同时，高效过滤器泄漏孔洞越大，对其下游的洁净度影响越大。

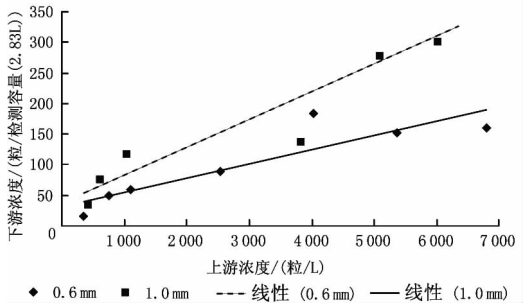

图 5 0.6 mm 孔与 1.0 mm 孔实测数据比较

5 实验结果比较

理论分析的文章将另撰文发表，先比较如下。

1) 上游浓度相近的 1.0 mm 和 0.6 mm 孔洞泄漏数值比较，见表 1。

表 1 上游浓度相近的 1.0 mm 和 0.6 mm 孔洞泄漏数值比较

	上游浓度/(粒/L)	孔径/mm	泄漏值/(粒/L)	不同孔径泄漏浓度比
情况 1	1 052	1.0	41	$\frac{41\text{ 粒/L}}{17\text{ 粒/L}}=2.41$
	1 106	0.6	17	
情况 2	3 844	1.0	49	
	5 094	1.0	98	$\frac{(49\text{ 粒/L}+98\text{ 粒/L})/2}{65\text{ 粒/L}}=1.13$
	4 027	0.6	65	
情况 3	6 022	1.0	106	
	5 356	0.6	54	$\frac{106\text{ 粒/L}}{(54\text{ 粒/L}+57\text{ 粒/L})/2}=1.91$
	6 803	0.6	57	

理论上，不同孔径漏风的泄漏浓度之比为 $\left(\frac{d_{大}}{d_{小}}\right)^2=\left(\frac{1.0\text{ mm}}{0.6\text{ mm}}\right)^2=2.78$。而实验结果平均为 1.82，小于理论值。假定扎孔出现 −0.1 mm 的误差或者扎后孔洞回缩，就可能是实验得出的结果。

2) 理论上，上游浓度和下游泄漏浓度成正比，实验中，上游浓度由 500 粒/L 上升到 6 500 粒/L，上升 12 倍，泄漏浓度由约 12 粒/L 上升到约 120 粒/L，大约上升 9 倍。因为上游浓度改变是通过微调风量因而也可能是改变了压差得来的，后者的误差也将带入浓度中。

3) 根据课题的理论研究，扫描时检测容量(本实验为 2.83 L/min)中检到大于等于 3 粒即停下作定点检漏。由此看来，上游浓度 400 粒/L 对于定性定点检漏还很富余，应该在更小的浓度时也能检到漏。由于滤纸有些弹性，扎过的孔边有回缩的可能，孔眼变小，这也许是实验结果低于理论值的一个原因。

6 结论

通过本次定点定性实验可以看到，高效过滤器现场检漏时，如果采用大气尘作为尘源，当上游浓度低至几十粒/L 时，高效过滤器上即使有非常细小的泄漏点(0.6 mm)，仍然能够判断泄漏。最小上游浓度的实验结果比理论值低，则理论上应更可行。

参考文献：

[1] 中国建筑科学研究院. JGJ 71—90 洁净室施工及验收规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1991

[2] 中华人民共和国建设部. GB 50346—2004 生物安全实验室建筑技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2004

[3] 许钟麟. 空气洁净技术原理[M]. 3 版. 北京：科学出版社，2003

(上接第 87 页)

6 结语

该项目于 2006 年 7 月顺利通过质检验收，保证了学院暑假期间完成整体搬迁工作。由于暖通工程系统复杂、规模大、工期紧，因此造成不少工程设计变更，对工程的进度、质量、投资控制以及各方关系的协调都带来一定的影响。认真分析设计变更的种类和产生原因，严格执行设计变更程序，坚持设计变更签发原则，有利于减少设计变更的发生、提高工作效率、节约投资成本。

参考文献：

[1] 卢军，高小龙，关键. 重庆大学主教学楼暖通设计与施工管理[J]. 暖通空调，2006，36(8)：76-79

[2] 孙长江. 工程设计变更对造价管理的影响[J]. 铁路工程造价管理，2006(1)：9-11

[3] 中国建设监理协会. 建设工程投资控制[M]. 北京：知识产权出版社，2003