文章编号:1005－0523(2003)04－0041－04

滤料树枝状纤维阻力模型的探讨

晏　辉

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:对高效过滤器的过滤材料在非稳定过滤时的树枝状纤维阻力模型进行了探讨.

关　键　词:非稳定过滤;枝状纤维阻力模型

中图分类号:TU831.1　　**文献标识码**:A

1　前　言

对室内外空气的过滤是改善室内空气品质的重要手段之一.通常用中效或亚高效过滤器,对送入室内的室外空气以及室内的回风进行过滤处理.过滤材料(以下简称滤料)的过滤总阻力损失是过滤器的主要阻力损失,直接影响过滤器的寿命及能耗.以往一般只研究滤料稳定过滤时的过滤总阻力损失,但在非稳定过滤时,过滤总阻力损失变化很大.如图 1(ΔP－ΔP_0－非稳定过滤时过总阻力损失与稳定过滤时过滤总阻力损失之差,Pa·m－单位面积过滤材料(滤料与捕集到的粉尘)质量,g/m^2·V_0－过滤速度,m/s.

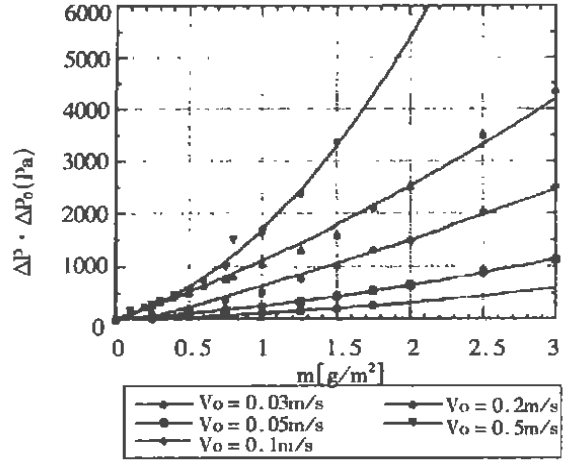


图 1　阻力损失随单位面积过滤材料质量增加而增加　粉尘粒径 $d_p = 0.15\mu m$

所以有必要研究非稳定过滤的过滤阻力.目前,非稳定过滤阻力模型主要有 A·C·Payatakes 树枝晶状阻力模型、树枝状纤维阻力以及我国学者提出的模型.本文对树枝状纤维阻力模型进行探讨.

2　非稳定过滤的树枝状纤维阻力模型

2.1　假设

1) 滤料分成若干层,每层厚度相同;

2) 过滤过程中,粉尘颗粒不断地被纤维层捕集,均匀沉积在每一层上,形成颗粒层;

3) 颗粒层几何形状规则,形成粉尘纤维.其模型如图 2.

图 2　纤维捕集的粉尘颗粒作为新纤维的示意图

4) 过滤总阻力损失为滤料纤维层稳定过滤下的阻力损失和粉尘纤维层的阻力损失之和.

2.2　阻力计算

过滤总阻力损失为各层阻力损失之和,用下面通式计算:

收稿日期:2003－05－08

作者简介:晏　辉(1965－),男,江西南昌人,华东交通大学讲师.

中国知网 http://www.cnki.net

$$\Delta P_t = \sum_{J=0}^{np} \Delta p_{J,t}$$

其中：

ΔP_t —— t 时刻，滤料总阻力损失，Pa.

np —— 滤料层数.

$\Delta p_{J,t}$ —— t 时刻，第 J 层过滤阻力损失，Pa. 用 Davies 提出的 Bergman 修正式[5]计算：

$$\Delta p_{J,t} = 2\mu V_0 \delta Z \left(\frac{\alpha_{pJ,t}}{d_{pJ,t}^2} + \frac{\alpha_f}{D^2}\right)^{1/2} \left(\frac{\alpha_{pJ,t}}{d_{pJ,t}^2} + \frac{\alpha_f}{D}\right)(1 + 56(\alpha_f + \alpha_{pJ,t})^3)$$

其中：

μ —— 气体动态粘滞系统，N * s；

V_0 —— 过滤速度，m/s；

δZ —— 每层粉尘颗料(或滤料层)的厚度，m；

α_f —— 滤料的填充率. 实验确定；

D —— 滤料的平均直径，m. 实验确定.

$\alpha_{pJ,t}$ —— t 时刻，第 J 层粉尘纤维的填充率. 用下面通式计算：

$$\alpha_{pJ,t} = \alpha_{pJ,t-1} + \frac{m_{fJ,t} + m_{pJ,t}}{\rho_p \delta Z}$$

其中：

$\alpha_{pJ,t-1}$ —— $t-1$ 时刻，第 J 层粉尘纤维的填充率；

ρ_p —— 粉尘颗粒的真密度，g/m^3. 实验确定；

$m_{fJ,t}$ —— t 时刻，第 J 层单位面积滤料纤维捕集的粉尘颗料的质量，g/m^2. 用下面通式计算：

$$m_{fJ,t} = \left(1 - \frac{\alpha_{pJ,t-1}}{1-\alpha_f}\right) \sum_{i=0}^{nc} \left((1 - P_{fJ,i,t}) m_{J,t} f_{uJ,i,t}\right)$$

其中：

nc —— 粉尘颗粒粒径的总个数. 实验确定.

$P_{fJ,i,t}$ —— t 时刻，第 J 层单根滤料纤维对粒径为 $d_{p,i}$ 的粉尘颗粒的穿透率，用下面通式[7]计算：

$$P_{fJ,i,t} = \exp\left(-\frac{4\alpha_f \eta_f \delta Z}{\pi(1-\alpha_f-\alpha_{pJ,t}) d_f}\right)$$

其中：

η_f —— 单根滤料纤维的过滤效率，用 Payet 的效率模型[5]计算；

d_f —— 单根滤料纤维的平均直径，m. 实验确定；

$m_{J,t}$ —— t 时刻，第 J 层单位面积滤料纤维和粉尘纤维的粉尘颗料的总质量，g/m^2. 用下面通式计算：

$$m_{J,t} = P_{J-1,t} m_{J-1,t}$$

其中，

$m_{J-1,t}$ —— t 时刻，第 $J-1$ 层单位面积滤料纤维和粉尘纤维的粉尘颗料的总质量，g/m^2.

$P_{J-1,t}$ —— t 时刻，第 $J-1$ 层滤料纤维和粉尘纤维的总穿透率，用下面通式计算：

$$P_{J,t} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{nc}(m_{fJ,i,t} + m_{pJ,i,t})}{m_{J,t}}$$

其中：

$m_{fJ,i,t}$ —— t 时刻，第 J 层单位面积滤料纤维捕集的粒径为 $d_{p,i}$ 的粉尘颗粒的质量，g/m^2；

$m_{pJ,i,t}$ —— t 时刻，第 J 层单位面积粉尘纤维捕集的粒径为 $d_{p,i}$ 的粉尘颗粒的质量，g/m^2；

$f_{nJ,i,t}$ —— t 时刻，第 J 层滤料对粒径为 $d_{p,i}$ 的粉尘颗粒的阻力系数；

$m_{pJ,t}$ —— t 时刻，第 J 层粉尘纤维捕集的粉尘颗粒的质量，g/m^2. 用下面通式计算：

$$m_{pJ,t} = \frac{\alpha_{pJ,t} - 1}{1-\alpha_f} \sum_{i=0}^{nc} \left((1 - P_{pJ,i,t}) m_{J,t} f_{uJ,i,t}\right)$$

其中：

$P_{pJ,i,t}$ —— t 时刻，第 J 层单根粉尘纤维对粒径为 $d_{p,i}$ 的粉尘颗粒的穿透率，用下面通式[7]计算：

$$P_{pJ,i,t} = \exp\left(-\frac{4\alpha_{pJ,t}\eta_p \delta Z}{\pi(1-\alpha_f-\alpha_{pJ,t})\bar{d}_{pJ,t-1}}\right)$$

其中：

η_p —— 单根粉尘纤维的过滤效率. 实验确定；

$\bar{d}_{pJ,t-1}$ —— $t-1$ 时刻，第 J 层粉尘纤维的平均直径(粉尘纤维的平均直径为所有组成该粉尘纤维的粉尘颗粒直径的平均值)，m. 用下面通式计算：

$$\bar{d}_{pJ,t} = \frac{\bar{d}_{pJ,t-1}\alpha_{pJ,t-1}\rho_p \delta Z + \sum_{i=0}^{nc}(m_{fJ,i,t} + m_{pJ,i,t}) d_{p,i}}{\alpha_{pJ,t-1}\rho_p \delta Z + \sum_{i=0}^{nc}(m_{fJ,i,t} + m_{pJ,i,t})}$$

其中：

$\bar{d}_{pJ,t}$ —— t 时刻，第 J 层粉尘纤维的平均直径，m.

$d_{p,i}$ —— 粉尘颗粒的粒径，m. 实验确定.

3 验证与分析

已知：玻璃纤维滤料，厚度 $np = \delta Z = 370\ \mu$m，填充率 $\alpha_f = 9.4 \times 10^3$，单根滤料纤维的平均直径 $d_f = 1.3\ \mu$m. 荧光素钠气溶胶粉尘，粒径 $d_{p,i}$ 分布及标准离差 σ_g 见表 1：

将上述已知条件代入模型理论计算式，计算结果见图 4 中的各点(纵坐标 ΔP 是滤料总阻力损失，横坐标 m 是单位面积的滤料质量).

验证模型所用的实验装置见图 3，实验结果见图 4 中两曲线之间的区域(考虑测量误差后测得的

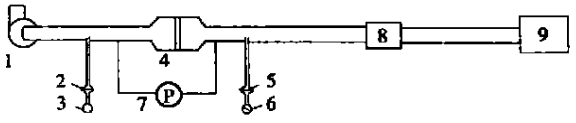
中国知网 https://www.cnki.net

滤料总阻力损失范围).

表 1　气溶胶参数表

荧光素钠浓度 (mg/m^3)	nc	$d_{p,i}$/μm	σ_g
10	1	0.15	1.6
100	2	0.26	1.5

从图 4 中的模型理论计算结果与实验结果的对比可以看出:过滤速度不太大时(0.05～0.2 m/s),模型计算结果与实验结果基本吻合(见图 4 中的(a)、(b)、(c)图);过滤速度较大时,模型计算结果与实验结果有较大的偏差(见图 4 中的(d)图),但两者的变化趋势与其它三者相似.分析:过滤速度较大时,第一次捕集微粒易反弹,形成二次或多次捕集,增加了总阻力损失.可以在模型理论计算式中对相关项采用修正系数进行修正.



1. 风机　2. 下游取样过滤器　3,6. 真空泵　4. 测试过滤器
5. 上游取样过滤器　7. 压差计　8. 流量计　9. 气溶胶发生器

图 3　阻力实验装置

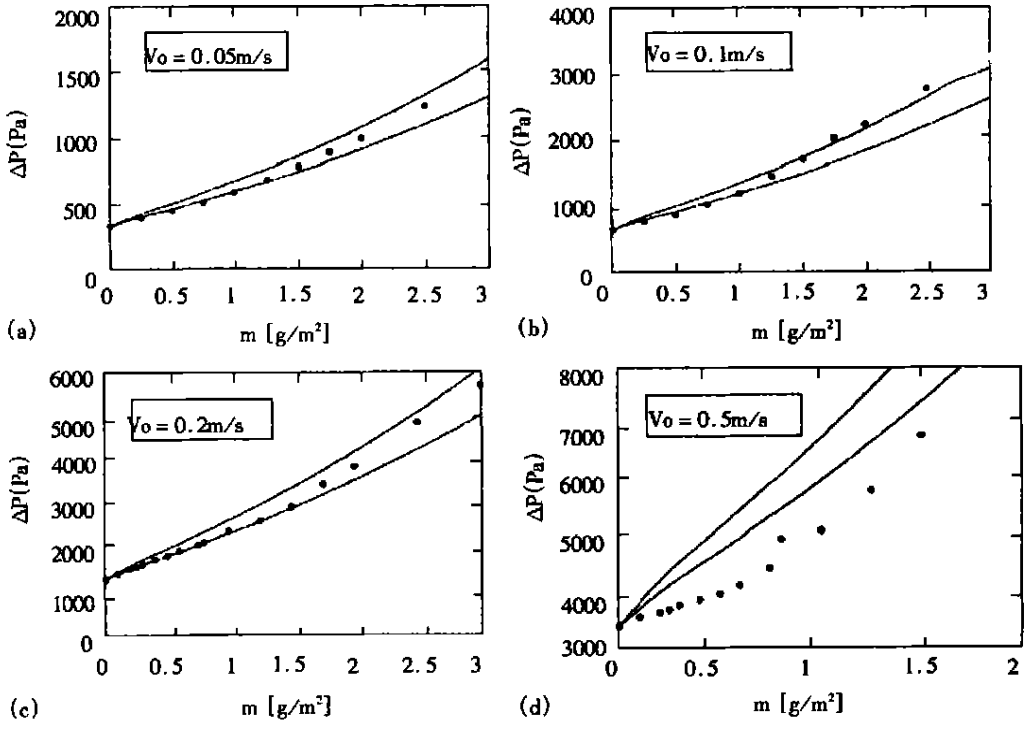


图 4　理论计算结果与实验测量结果对比

4　结　论

1) 树枝状纤维模型把滤料纤维捕集到粉尘颗料当作滤料增加的纤维(粉尘纤维),形成辐射生长树枝结构.

2) 树枝状纤维模型的理论计算结果与实验结果在过滤速度较小(小于 0.2 m/s)、粉尘颗粒粒径较小(小于 0.2 μm)时,能较好的吻合.对于过滤速度较大、粉尘颗粒粒径较大时需进一步研究.

3) 树枝状纤维模型缺点是不能提供单个的树枝结构图形,而且微粒反弹问题也没有解决.

参考文献

中国知网　https://www.cnki.net

[1] 沈晋明.上海办公大楼空气品质客观评价[J].通风除尘,1995,14(4):14～17.

[2] Payet, S., Boulaud, D. Penetration and pressure drop of a HEPA filter during loading with submircon liquid particles[J]. J. Aerosol Sci. 1992,7:723～765.

[3] Cai Jie. Fibrous filters with Non-ideal condition[M]. The royal institute of technology. 1992.

[4] D. Thomas. Modelling pressure drop in HEPA filters during dynamic filtration[J]. J. Aerosol Sci. 1999, 30(2):235～246.

[5] Davies C. N. Air filtration[M]. London: Academic Press, 1973.

[6] Kuwabara S. The forces experienced by randomly distributed parallel circular cylinders or spheres in viscous flow at small Reynold numbers[J]. J. Phys. Soc. Japan, 1959,14:527～532.

[7] 许钟麟.空气洁净技术原理[M].上海:同济大学出版社,

1998.

研究[J].通风除尘,1992,11(2):8～12.

[8] 荣伟东,张国权.纤维层非稳态过滤的理论分析与实验

Discussion on the Arborization Fiber Modelling Pressure Drop in Filter Material During Dynamic Filtration

YAN Hui

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong Universty, Nanchang 330013, China)

Abstract: The modelling pressure drop of the material in high efficiency particulate air filters during dynamic filtration is discussed in the article.

Key words: dynamic filtration; arborization fiber modelling pressure drop

---

(上接第 37 页)

Design of the Multi-soil Pit Support

CHAO Wan-li, WANG Xing-hua

(Geo-technique Department of Civil Engineering College, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Taking a pit support of high buiding for example, this paper illuminates the virtues of the design of anchor pole, calculation points and attentions in the deep pit of multi-layer soil, it has certain applied value in the design and construction of project.

Key words: deep pit; anchor pole; multi-layer soil

中国知网 https://www.cnki.net