

关于针刺毡滤料集尘 性能的试验研究

东北工学院通风除尘研究室

一九八二年十月

关于针刺毡滤料集尘性能的试验研究

一、前言

袋滤器的性能主要取决于滤料的材质和清灰方法。在不断改进清灰技术的同时,研制和选用适宜的滤料,对提高袋滤器的性能和进一步扩大其应用范围都具有重要意义。

我国自七十年代初开始使用涤纶绒布代替呢料和一般纺织布做为过滤材料,现已得到广泛应用。近年来,我国纺织部门又试制成功了针刺涤纶滤气毡滤料(以下简称针刺毡)。由于这种滤料具有可以提高滤速、压力损失小和集尘率高等优点,受到了使用部门的欢迎。

关于滤料的性能,国内外学者们不论从理论上和试验上,都作了许多研究^[1],围绕针刺毡的性能也有一些报导。提出了表达滤料性能的理论公式和经验公式。但是,由于滤料的结构不同,特别是由于后处理工艺的不同,滤料的性能差异很大。为了了解国产针刺毡滤料的性能并获得有关参数,特进行了专门的实验室研究。

二、针刺毡生产工艺及其结构特征

把纤维梳理、叠网形成的纤维层1,铺在基布2的上下面,经过针刺便可成毡(图1、图2)

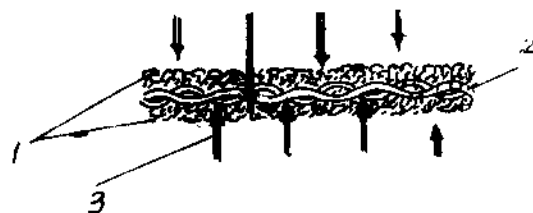


图1 在基布上针刺成毡工艺示意图

1—纤维层 2—基布 3—刺针

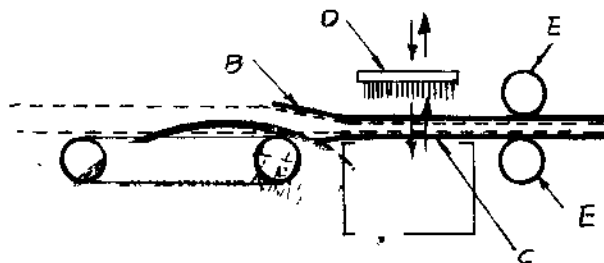


图2 针刺毡生产工艺示意图

A—帘式运卷机 B—上部纤维层 C—下部纤维层 D—针刺架 E—压滚

制造针刺毡不需经过纺纱和编织等过程，生产工序简单。但是，为了获得理想的集尘性能，在成毡之后，还必须经过烧毛、热压、表面树脂加工以及热定型等后整理工艺。

滤袋的材料可用织布（如耐高温的长丝玻璃纤维布）、起绒织布（如 208 涤纶绒布和呢料）、压缩毡和针刺毡。

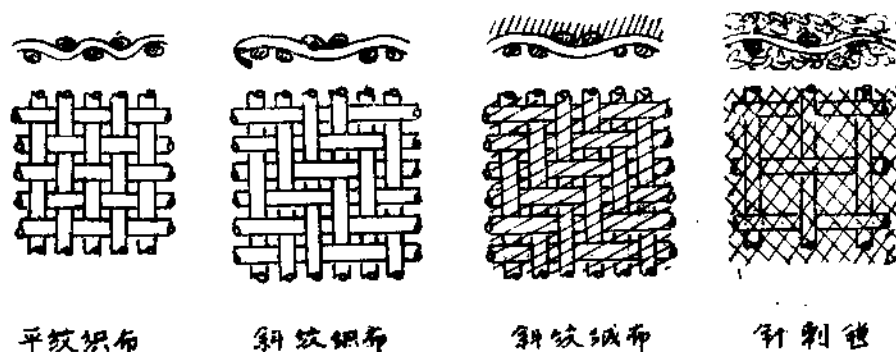


图 3 常用滤料结构示意图

滤袋的集尘过程首先是在滤袋上形成一次粉尘层，随后它也参与滤尘。一次粉尘层形成的快慢和稳定与否以及随后继续扑集的粉尘是否容易被清除就决定了滤料的集尘性能。滤料的这些性能虽与滤料所用纤维种类有关，但是，更主要的是取决于滤料的结构特征。

织布、起绒织布以及毡类滤料的细孔直径都可以控制到 $20 \sim 50 \mu$ 。但是，针刺毡是直接由细的短纤维在空间交错刺成，细孔分布比较均匀，总孔隙率可达 $70 \sim 80(\%)$ 。而各种织布都是用加捻的纱（或合成纤维长丝）作经纬线编织而成。它的总孔隙率虽也可达 $60(\%)$ ，但因经纬线和交织点处比较致密，气体主要通过经纬线间的孔隙，而这部分孔隙率只有 $30 \sim 40(\%)$ ，仅为针刺毡的一半。也就是说，当真滤速（ $Q/A\varepsilon$ ， Q —处理风量、 A —过滤面积、 ε —孔隙率）一样的情况下，相同过滤面积的滤袋，针刺毡的处理能力可以是织布的二倍。

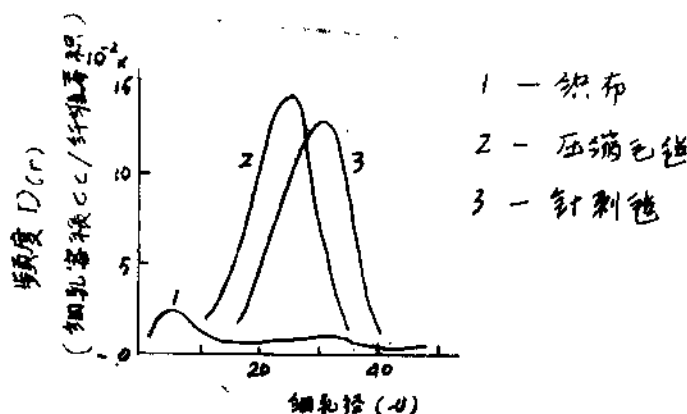


图 4 织布与毡的细孔分布

各种织布的细孔都是直通的，而针刺毡的细孔交错排列有利于集尘。起绒的织布在其表

面和经、纬线间都有长约3毫米的短绒，其滤尘效果虽优于一般织布，但因绒毛较短又是自由伸向气流，仍不如针刺毡。

常用滤料的结构特征如表1，其物性如表2。

滤料结构特征

表1

	滤料种类	单位结构内		交织点	孔隙率	透气度	强度	表面状态
1	平纹织布	1	1	多	最小	最小	大	平纹
2	斜纹织布	1	1~4	中	小	小	中	斜对角纹
3	缎纹织布	1	>5	少	中	中	小	光滑缎纹
4	起绒斜纹布	1	1~4	中	较小	较小	中	短绒
5	针刺毡	基布	1	1	最少	最大	最大	中
		纤维层	无	无	无			

国产常用滤料物性

表2

顺序	滤料名称	结构	厚度 mm	单重 g/cm ²	真比重	容重 g/cm ³	孔隙率 (%)	断裂功 kg/cm		破断强度 kg/5cm	
								径向	纬向	径向	纬向
1	玻璃长丝布	缎纹	0.418	497	2.5	1.19	0.525	—	—	125	125
2	涤纶绒布①	斜纹单面起绒	1.55	392	1.38	0.26	0.812	742	594	213.3	104.8
3	№3 针刺毡②	针刺毡	1.79	405	1.30	0.23	0.824	493	483	79	70
4	№4 针刺毡②	针刺毡	2.16	519	1.31	0.24	0.825	824	647	93	100

注 ① 为国产 208 涤纶布

② 为抚顺第三毛纺织厂产 ZLN 针刺毡 (Z—针刺、L—滤气用、N—呢毡)

三、试验装置及方法

试验装置是由过滤面积为 1.1 平方米的两个扁滤袋组成的袋滤器。利用压缩空气脉冲喷吹清灰。通过测定设于净气管道的孔板压降，确定滤袋的处理风量及滤速。试验装置及测试系统如图 5。

试验用粉尘为 325 目筛下滑石粉，真比重 2.82。利用巴寇离心分级机分析，其粒度分布如图 6。按 Rosin-Rammler 方程， $\beta = 0.0248$ ， $n = 1.649$ ，中位径为 $X_{R50} = 7.54(\mu)$ 。

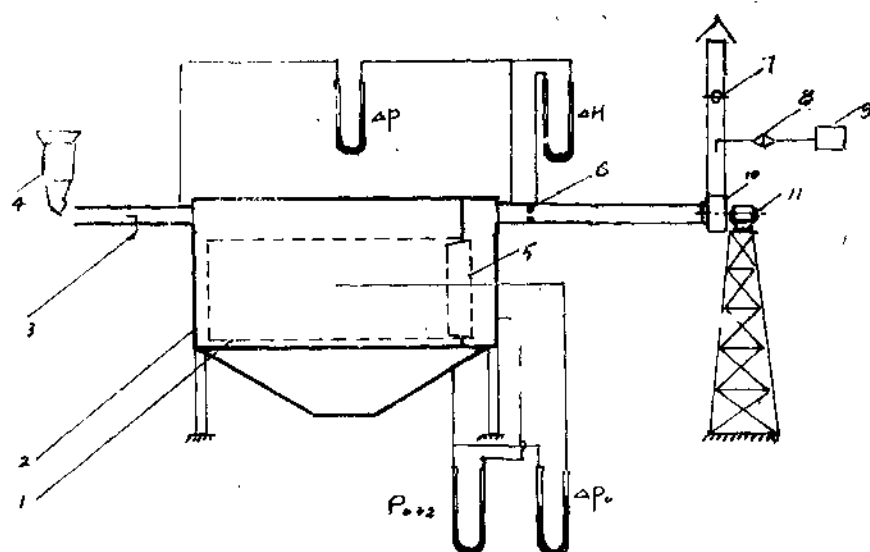


图 5 试验装置及测试系统

1—扁布袋 2—袋滤器箱体 3—皮托管 4—电磁振动发尘器 5—文氏管 6—孔板 7—闸门 8—测尘取样器
9—电动吸尘器 10—风机 11—电机 ΔP_0 —滤袋压损 ΔP —袋滤器全压损 $\Delta P_{0,2}$ —滤袋十文氏管压损

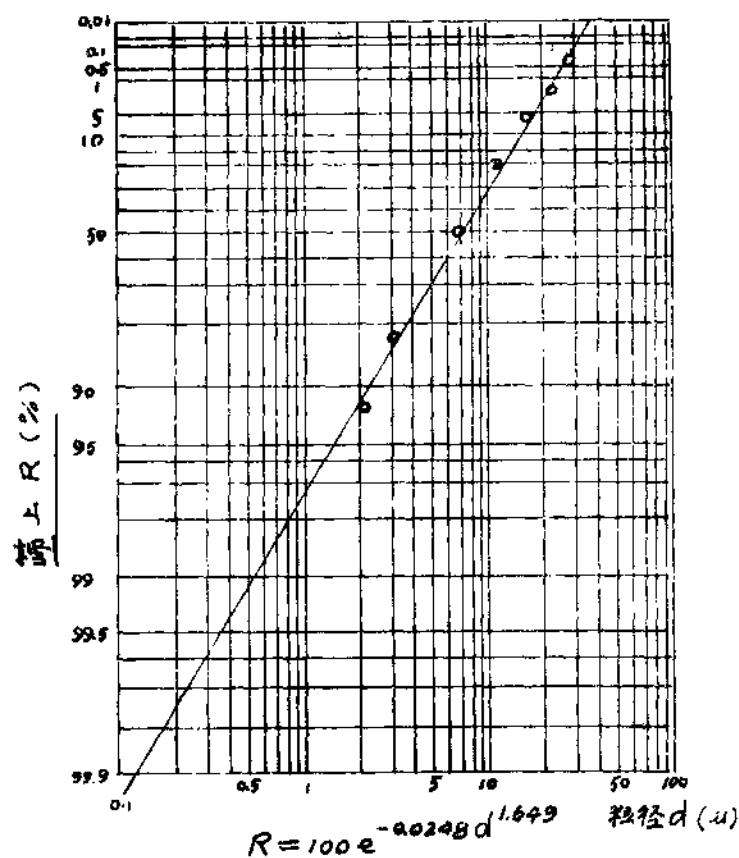


图 6 试验用粉尘粒度分布

利用电磁振动发尘器向试验装置内发尘。当入风流中粉尘平均浓度为 $14.85(\text{克}/\text{米}^3)$ 时, 试验过程中瞬间浓度如图7。最大误差为 $-5.3(\%) \sim +2.6(\%)$, 均方根差 $\sigma_c = 0.26$ 。

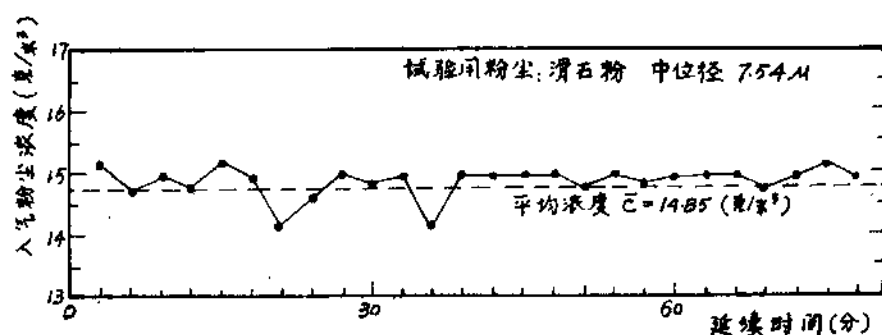


图7 入气流中粉尘浓度随时间的变化

本研究报告中所指滤袋压损只是滤料, 本身不包括文氏管的压损。测定时, 压差计一端接到尘气箱的测压孔, 而另一端直接连到滤袋内部。

四、洁净滤袋压损特性

在试验装置上, 对用国产针刺毡A、B、C, 日本进口针刺毡D和国产208涤纶绒布E三种材料制成的滤袋, 在不发尘并保持滤袋不因其他原因容尘(为此必须事先彻底清洗袋滤器箱体, 以免箱体内积尘飞扬造成滤袋容尘, 此外, 实验室内也必须保持清洁)的条件下, 测得不同风速时洁净滤袋的压损如图8。试验用滤料的结构特性如表3。

试验用滤料结构特性

表3

代号	滤料名称	单重 (kg/m^2)	透 气 度 ($\text{cc}/\text{cm}^2/\text{sec}$)	来 源
A	针 刺 毡	500	29.2	抚顺第三毛纺厂产品 ZLN 滤气呢
B	针 刺 毡	519	17.8	抚顺第三毛纺厂产品 ZLN 滤气呢
C	针 刺 毡	527	13.8	抚顺第三毛纺厂产品 ZLN 滤气呢
D	针 刺 毡		25.8	鞍钢自日本进口 3.5 万立制氧机入 气净化袋滤器的备用滤袋
E	涤纶绒布	468	12.7	
F	涤纶绒布	468	9.6	

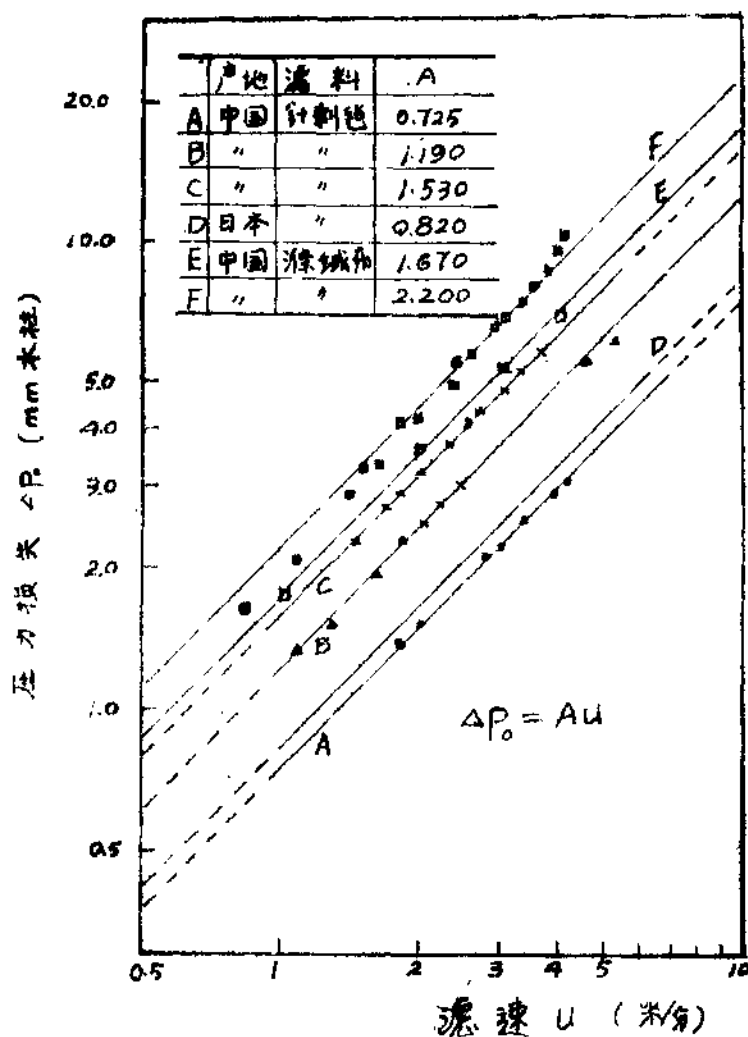


图 8 洁净滤袋压力损失

分析试验结果可以看出如下几点:

1. 用三种滤料制成的滤袋, 在洁净状态时, 其压力损失 ΔP_0 都与滤速的一次方成正比, 即

$$\Delta P_0 = Au \quad (\text{mm水柱}) \quad (1)$$

式中 u —过滤速度 (米/分)

A —与滤料种类有关的系数,

$$A = \xi_0 \frac{\mu}{g} \quad (3) \quad (2)$$

ξ_0 —洁净滤料阻力系数

μ —空气粘性系数

g —重力加速度

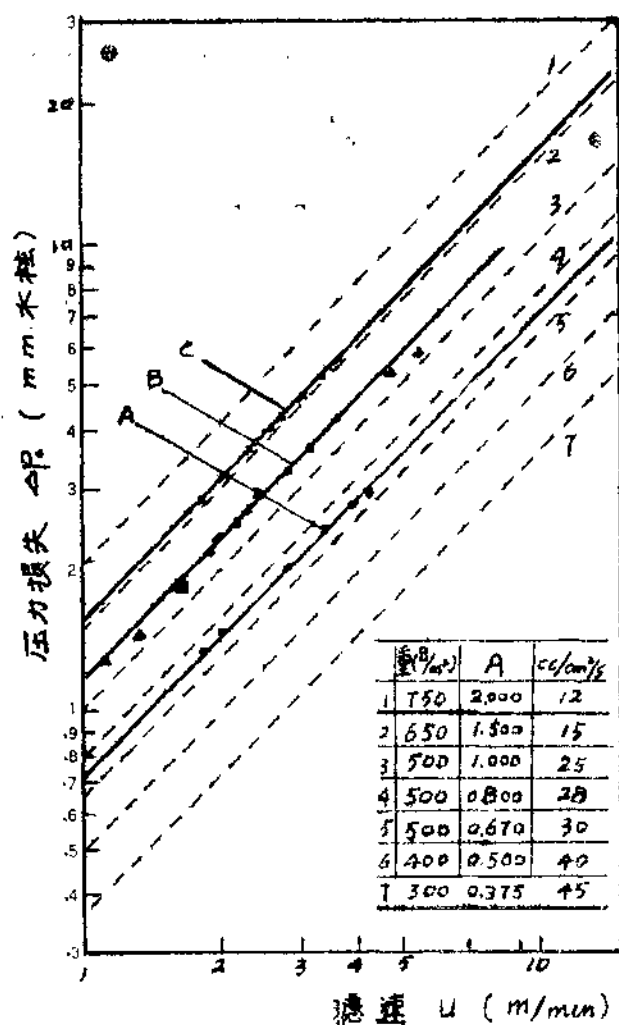


图 9 国产与日本产针刺涤纶毡洁净滤袋压损特性比较,
1—7 日本针刺毡, A、B、C 国产针刺毡

常温而且温度变化不大的情况下, 在工程计算中粘性系数 μ 的影响可以忽略。根据试验数据给出常温条件下三种滤料的阻力系数 A 如表 4。

三 种 滤 料 阻 力 系 数

表 4

滤 料 名 称	来 源	阻 力 系 数 A
ZLN 针刺涤纶毡	抚顺第三毛纺厂	0.725~1.530
日本针刺涤纶毡	鞍钢氧气厂	0.375~2.000
208 涤纶绒布		1.670~2.200

2. 在相同滤速条件下, 针刺毡滤料的净袋压损均低于涤纶绒布, 约为后者的百分之三十到七十。

3. 国产针刺毡与日本针刺毡相比, 当规格相同 (如单重相同皆为 500 毫/米²) 时, 阻力系数 A 接近, 即二者的透气度基本相同 (图 9)。

五、静态集尘特性试验

在只发尘但不清灰的条件下, 对国产针刺毡的集尘率 η 、透过率 P 和压力损失 ΔP_1 随粉尘负荷 m_d 增长所发生的变化进行了测定。两种滤速时测定数据如表 5 及表 6。

静态容尘特性实测数据 ($u = 1.5$ 米/分)

表 5

顺序	粉尘负荷 m_d (g/m ²)	集尘率 η (%)	透过率 $P = 100 - \eta$ (%)	滤袋压损 ΔP_1 (mm 水柱)	二次粉尘层压损 ΔP_d (mm 水柱)
1	0.0	99.95	0.0500	0.40	0.00
2	45.5			0.60	0.20
3	90.9	99.9746	0.0254	0.70	0.30
4	136.4			0.86	0.46
5	181.8			0.90	0.50
6	227.2	99.9810	0.0190	1.00	0.60
7	272.2	99.9810	0.0190	1.25	0.85
8	318.2			1.48	1.08
9	363.6	99.99355	0.00645	1.71	1.31
10	590.9			3.20	2.80
11	636.4			3.59	3.19
12	454.5			2.22	1.81
13	500.0			2.51	2.11
14	545.5			2.85	2.41

在试验过程中, 将容尘滤袋利用脉冲喷吹清灰后重新使用, 称这种滤袋为再生净袋。根据实测数据 ZLN 针刺毡再生净袋压损 $\Delta P'_0$ 与滤速 U 的关系如图 10。

容尘滤袋的压损 ΔP_1 由两部分、即由再生净袋压损 $\Delta P'_0$ 和二次粉尘层压损 ΔP_d 所组成。于是:

$$\Delta P_1 = \Delta P'_0 + \Delta P_d \text{ (mm 水柱)} \quad (3)$$

$$\Delta P_d = \Delta P_1 - \Delta P'_0 \text{ (mm 水柱)} \quad (4)$$

静态容尘特性实测数据 ($u=2.0$ 米/分)

表 6

顺序	粉尘负荷 $m_d(g/m^2)$	集尘率 $\eta(\%)$	透 过 率 $100 - \eta(\%)$	滤袋压损 $\Delta P_1(mm水柱)$	二次粉尘层压损 $\Delta P_d(mm水柱)$
	0.0	99.90	0.1000	3.24	0.00
	90.9	99.9535	0.0465	5.27	2.03
	181.8			7.29	4.05
	272.7	99.9577	0.0423	10.13	6.89
	363.6			14.18	10.94
	454.6	99.9789	0.0211	18.23	14.99
	545.5			23.49	20.25
	636.4	99.9831	0.0169	28.76	25.52
	727.3			34.83	31.59
	818.2	99.9873	0.0127	41.72	38.48
	909.1			49.82	46.58

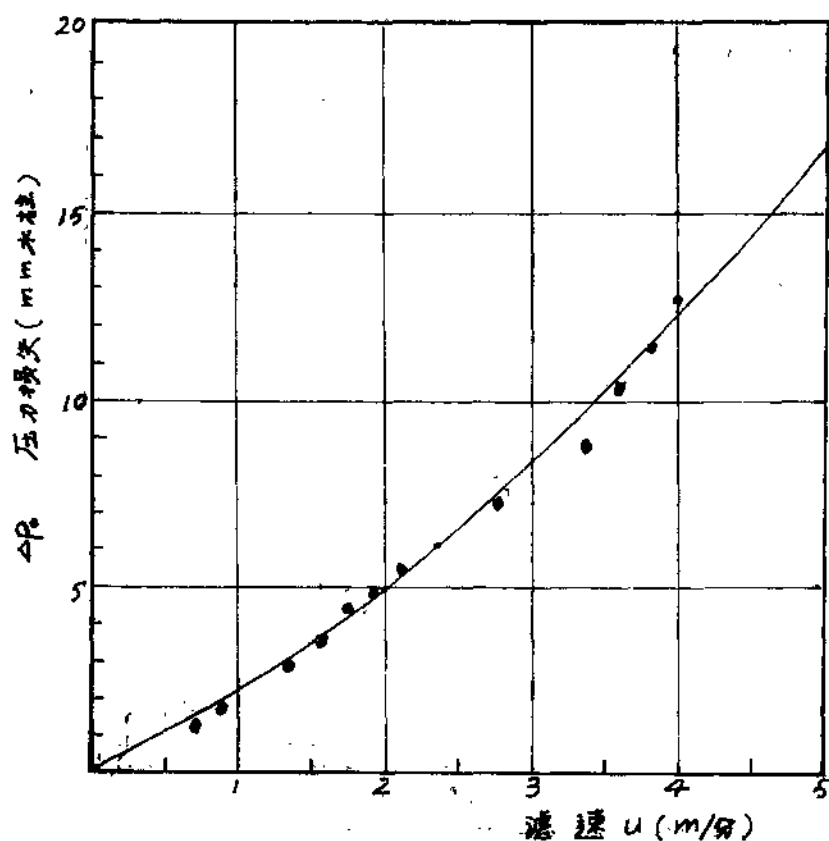


图 10 ZLN 针刺毡再生滤袋压损与滤速的关系

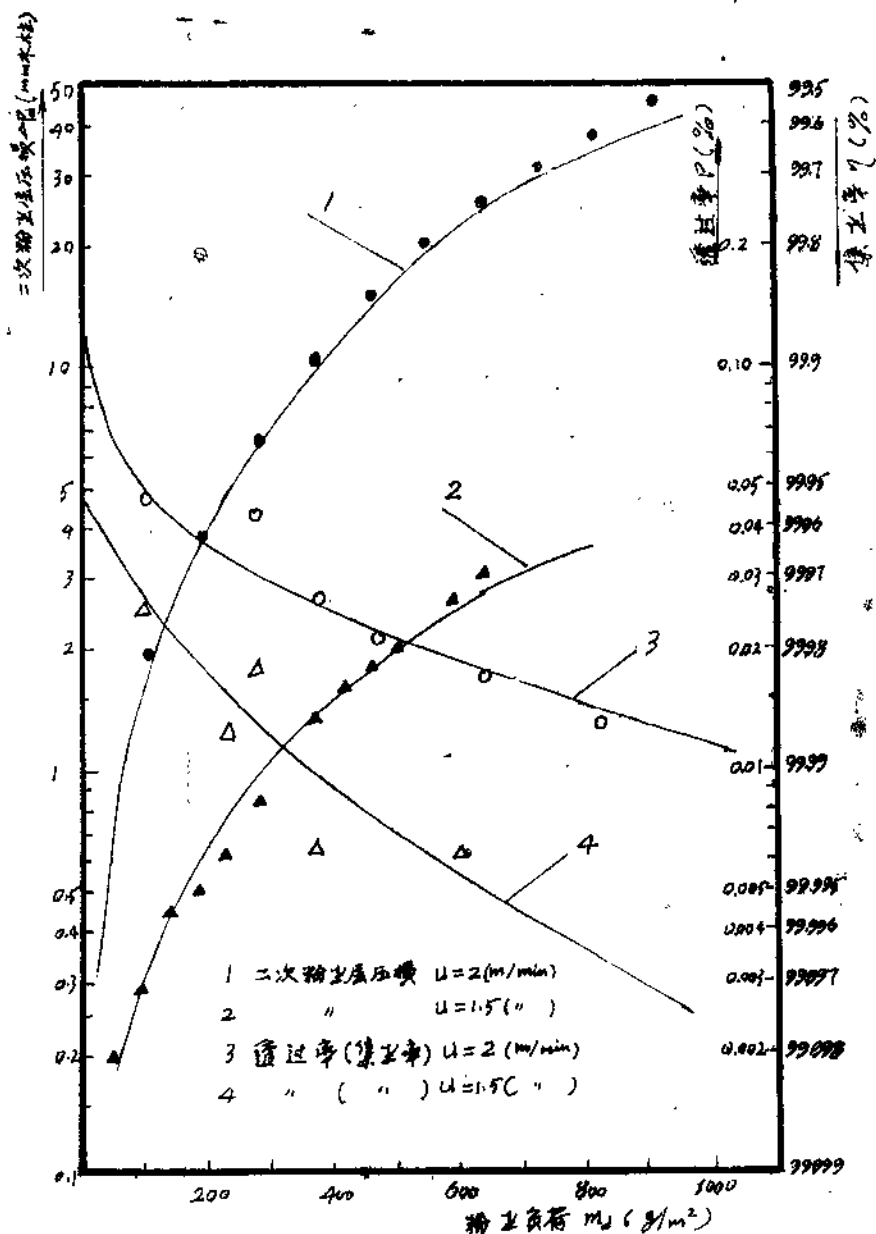


图 11 ZLZ 针刺毡静态集尘特性

利用实测数据绘成图 11。从图中曲线 1, 2 可以看出二次粉尘层的压损 ΔP_d 随粉尘负荷 m_d 和滤速 U 的增加而升高。在流速一定时, 与粉尘负荷 m_d 有下列关系

$$\Delta P_d = B m_d^n \quad (\text{mm 水柱}) \quad (5)$$

式中 B 、 n 是与滤料和粉尘性质有关的系数和指数。利用最小二乘法求得两种滤速条件下的 B 、 n 值如表 7。

ZLN 针刺毡二次粉尘层阻力系数

表 7

滤 速 (米/分)	B	n
1.5	0.00215	1.097
2.0	0.00318	1.393

另外, 图 11 中曲线 3,4 表明, 随着滤袋粉负荷增加, 其透过率下降, 即集尘率升高。它们之间的关系可用下列公式表示。

$$P = P_0 \exp(-Km_s^n) \quad (\%) \quad (6)$$

$$\eta = 100 - P_0 \exp(-Km_s^n) \quad (\%) \quad (7)$$

式中 P_0 —再生净袋的透过率。

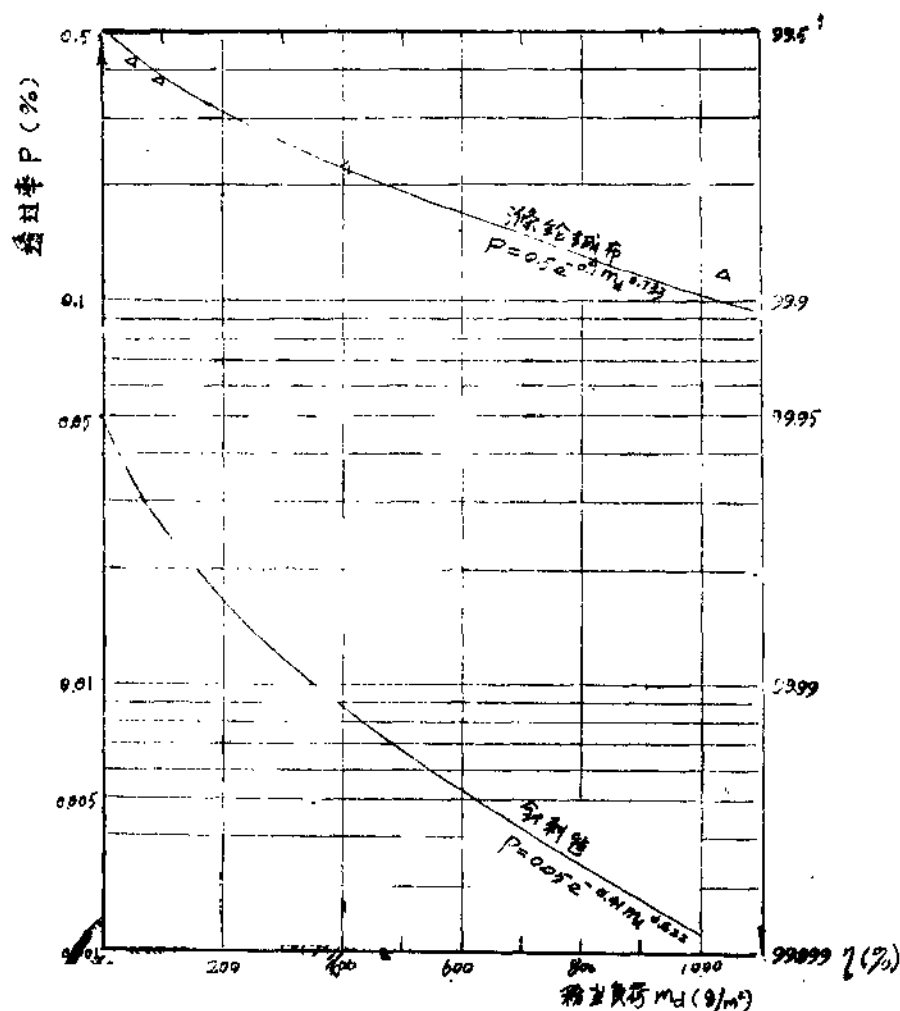


图 10 涤纶帆布与针刺毡集尘特性及其与针刺毡的比较 (滤速 $u=1.5$ 米/分)

K 、 m ——与粉尘和滤料性质有关的系数与指数。

为了进行比较,对涤纶绒布的透过率与粉尘负荷的关系也进行了试验。所得结果及其与针刺毡的比较如图 12。

根据实测数据求得的 P_0 、 K 、 m 数值如表 8。

表 8

滤料名称	试 验 条 件		P_0	K	m
	滤速 u (m/min)	粉尘负荷 m_d (g/m ²)			
针 刺 毡	2.0	909~ 909.1	0.10	0.0787	0.480
针 刺 毡	1.5	45.4~ 636.4	0.05	0.0500	0.622
涤纶绒布	1.5	45.5~1045.5	0.50	0.0100	0.733

静态特性试验结果表明,针刺毡滤袋的集尘率可达 99.9 (%)到 99.99(%)以上,高于涤纶绒布约一个数量级。

六、动态集尘特性试验

在发生同时进行脉冲喷吹清灰(即模拟袋滤器正常工作)条件下对三种滤料的集尘特性进行了测定。整个试验过程中保持脉冲喷吹清灰条件不变,其工作参数为:

压缩空气压力	5±0.5	公斤/厘米 ²
喷吹周期	59	秒
脉冲宽度(喷吹时间)	0.15	秒

利用测试数据回归绘成的曲线如图 13。

根据试验结果,可以看出如下各点:

1. 和静态集尘时滤料透过率与粉尘负荷的关系相似,动态集尘时滤料的透过率随袋滤器入风流中粉尘浓度 C 的增加而减小。脉冲喷吹虽然可以清除滤袋上扑集的粉尘(二次粉尘层),但是,在停止喷吹(即滤尘)的过程中滤袋上的粉尘负荷与入气粉尘浓度成正比。根据实测数据建议用下列数学式表示袋滤器动态集尘时的透过率 P' 与入风流中粉尘浓度 C 的关系:

$$P' = P_0 \exp(-K'C') \quad (\%) \quad (8)$$

袋 滤 器 动 态 工 作 参 数

表 9

代号	符号	滤 料 名 称	滤速 u (米/分)	P_0	K'	m'
1	□	涤 纶 绒 布	2.0	1.00	0.222	0.637
2	△	ZLN 针 刺 毡	3.0	0.15	0.089	0.952
3	×	ZLN 针 刺 毡	2.0	0.10	0.832	0.200
4	○	日 本 针 刺 毡	2.0	0.05	0.426	0.311
5	●	ZLN 针 刺 毡	1.5	0.05	0.068	0.399

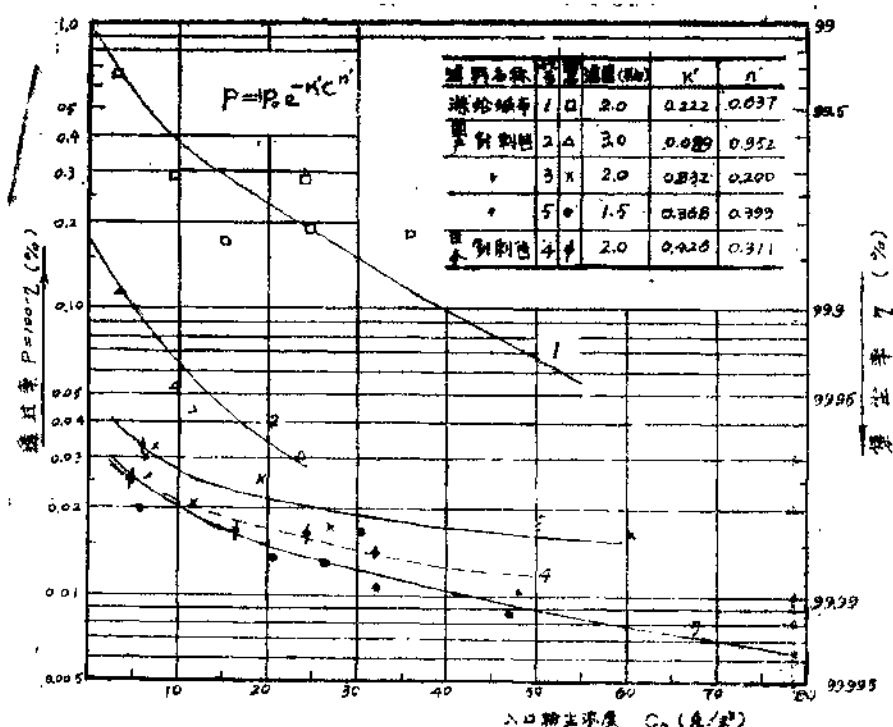


图 13 滤料动态集尘特性

上式中的 P_0 、 K' 、 n' 数值如表 9。

2. 当滤速大于 1 (米/分) 时在粉尘浓度相同的条件下, 提高滤速, 透过率也相应上升, 即集尘率下降。

3. 三种滤料在相同滤速 (2米/分)、但入气粉尘浓度不同的情况下, 排气浓度如图 14, 透过率如表 10。

各种滤料的透过率

表 10

滤料名称	滤速 (米/分)	袋滤器入气粉尘浓度 (克/米³)					
		5	10	15	20	25	30
ZLN 针刺涤纶毡	1.5	0.0248	0.0199	0.0169	0.0148	0.0132	0.0120
ZLN 针刺涤纶毡	2.0	0.0317	0.0268	0.0239	0.0220	0.0205	0.0193
ZLN 针刺涤纶毡	3.0	0.0994	0.0676	0.0464	0.0321	0.0223	
日本进口针刺毡	2.0	0.0247	0.0209	0.0186	0.0170	0.0157	0.0147
208 涤纶绒布	2.0	0.5386	0.3820	0.2876	0.2239	0.1781	0.1440

从表 10 及图 14 中数据可以看出, 国产 ZLN 针刺毡滤料的动态集尘特性与日本同类产品相似, 比涤纶绒布的透过率小一个数量级。当入气浓度为 5~30 (克/米³) 时, 涤纶绒布滤袋的排气浓度可能比针刺毡滤袋高 12~14 倍。

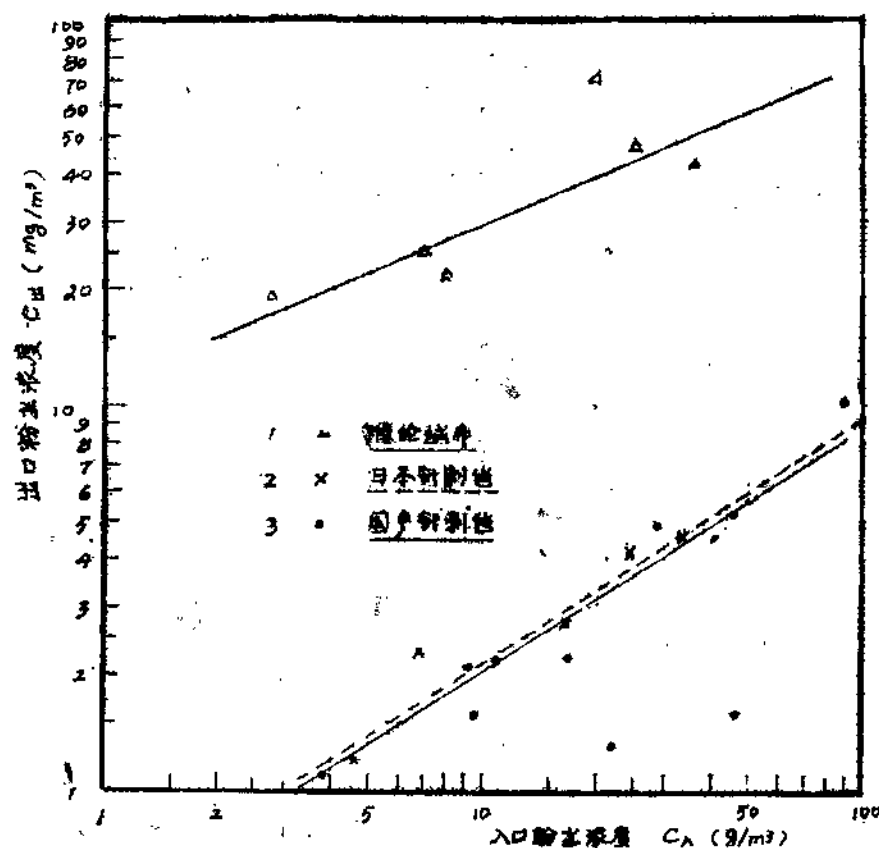


图 14

D. Leith 和 M. W. First 用涤纶针刺毡滤袋，在脉冲喷吹清灰条件下试验，得出了如下计算滤袋压损 $\Delta P'$ 的公式〔4〕：

$$\Delta P' = 2.72 \Delta W^{0.45} P^{-1.38} u^{2.34} \quad (9)$$

式中 P ——脉冲喷吹压力

u ——滤速

ΔW ——二次粉尘层负荷

$$\Delta W = C_i u t \quad (10)$$

C_i ——入口粉尘浓度

t ——脉冲喷吹周期

他们的试验条件是： $u = 3 \sim 7.5$ 米/分、 $P = 5 \sim 9$ 大气压， $\Delta W = 0.12 \sim 0.72$ 毫克/厘米²。

我们的试验数据如图 15。从中可以看出，只要脉冲喷吹效果正常，滤袋粉尘层的压损 $\Delta P'$ 主要决定于滤速 u 而受入口粉尘浓度 C_i 的影响并不大。

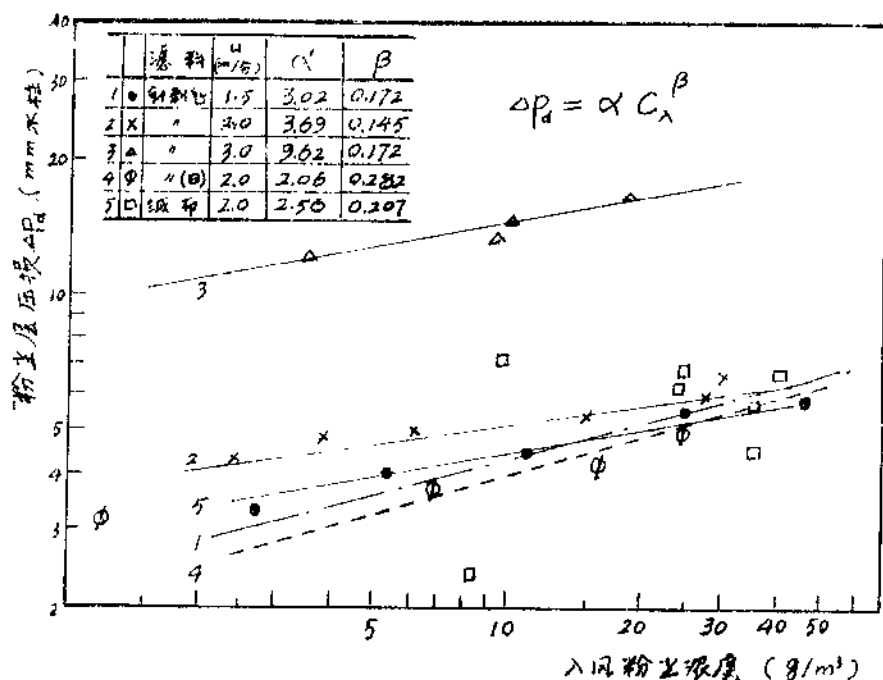


图 15 粉尘层压损与入风粉尘浓度的关系

七、结 语

1. 针刺毡的压损和透过率均低于涤纶绒布，用以作为滤袋能为提高袋滤器的集尘率和降低能耗创造有利条件；
2. 本试验是在用一种粉尘、固定喷吹清灰制度条件下进行的，关于其它因素对集尘性能影响的试验以及理论分析的工作有待继续进行；
3. 试验中发现所选相同规格的针刺毡试验样品，其单重（克/米²）和透气度有时不同，今后应加强生产管理、进一步完善后整理工艺，以便进一步提高产品质量。

参 考 文 献

1. 池森毫鹤、小坂井、康博，针刺毡的集尘率与压力损失及二者的关系，空气清浄
Vol 16 No 3
2. 井伊谷钢一 バグフィルターハンドブック 1976 年版
3. 井伊谷钢一 集尘工学 1980 年版
4. D. Leith and M. W. First Pressure-Drop in Pulse-jet fabric filter,
Filtration and separation Vol. 14 No 5 1977