

處理技術

## 除塵技術 (四)

徐永錢\*

## 肆、過濾式除塵設備（續）

#### 4.5 選定過濾速度

爲了降低過濾袋之價格，所採用的濾布，其單位面積所處理的風量要大，亦即其過濾風速要大。如此將能使設備小型化。如果過濾風速太快時，其壓力損失就大，則不但會減少處理風量，而且會降低其除塵效率，並且會使損耗加速。一般除塵設備之濾袋性能不良，及其壽命縮短，其主要的原因乃是選錯濾布之種類及過濾風速太快而導致的關係。

一般濾布之過濾風速  $u_f$  (m/min) 為用過濾面積  $A_f[m^2]$  除其處理風量 [ $m^3/min$ ] 來表示，如下式

此種過濾風速僅僅是表示一種假想的過濾風速，嚴格說並不是代表真正地通過濾布孔之風速，採用此種假想過濾風速之主要用意，乃是爲便於計算。另一方面，在於方便計算所需的過濾面積。

最適當的過濾風速，應按照濾布之種類，纖維之種類，紡織方式，粉塵的物性及其粒度、濃度、粒子之形狀，所要求之除塵效率，容許壓力損失，耐久性，設備本身之構造及方式等而異，一般在經驗上都是採用  $1\sim3$  cm/sec，如遇有特殊情況，可加速至 5 cm/sec。

實用上，常用濾布之單位面積所處理之過濾風量  $\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$  來代替過濾速度，此比值當稱為 F 值 (filter ratio or air ratio)。

當設計時，如何來決定  $F$  值呢？在理論上還無法計算，可用經驗的方法來決定。如下式

$$F = K \times A \times B \times C \times D \times E \dots \dots \dots \quad (4)$$

這些符號爲

**K** = 由除塵設備之形式及其他因子所定之係數。

$A =$ 由粉體之種類而定的校正值。

$B$  = 溫度之校正值。

$G$  = 粉塵濃度之校正值。

D = 粉塵粒度之校正值。

E = 按使用之用途之校正值。

但一般 F 採用之範圍為 1~3 之間。

\* 本小組禾昌

國立臺灣工業技術學院化工系教授

表五 F 值之決定因子表

### 粉體種類之校正值A

A	1.5	1.2	1.0	0.9	0.6
物質名	糖可飼小穀皮木煙	菓粉粉粉麥類	粉石纖化鑄石	粉棉質類膏	肥碳土劑灰粉
	粉	纖	化	類	性潔皂
	粉	化	鑄	膏	活清奶肥
	粉	鑄	石	類	由反應器出來之蒸
	粉	石	膏	類	汽或反應物質
	屑	氣	鉀	膏	
		重	石	石	
		橡	品	橡	
			晶	膠	
			膠	天	
			鹽	然	
			砂	橡	
			砂	高	
			蘇	陵	
			滑	土	
				(Kaoline)	
備註	普通其物理、化學性質的安定物質			此類包括吸濕性、昇華性、或聚合性等之不安定化學物質。	

溫度校正值 B

粒度校正值 D

温 度	B
30°C 以 下	1.0
30°C~50°C	0.9
50°C~80°C	0.8
80°C~130°C	0.7

粒度 ( $\mu\text{m}$ )	D
100 以上	1.2
50~100	1.1
10~50	1.0
3~10	0.9
3 以下	0.8

含塵濃度之校正值 G

使 用 途 之 校 正 值 E

含塵濃度 [g/m <sup>3</sup> ]	C
10 以下	1.2
10~20	1.0
20~40	0.95
40~90	0.9
90~250	0.85

用 途	例 子	E
除 塵 集 塵	粉體在移動時，輸送機等在輸送所發生的粉塵之清除。	1.0
成 品 收 集	空氣輸送、粉碎機、乾燥機、分級機等之成品收集。	0.9
處理氣體之過濾	噴霧乾燥、反應器等之氣體過濾	0.8

#### 4.6 過濾之壓力損失：

粉塵過濾袋內之濾布，其前後的壓力損失  $\Delta P$  為濾布本身之壓力損失  $\Delta P_f$  與粉塵附着層所引起的壓力損失  $\Delta P_d$  之和，可用下式表示：

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_d = (h_f + m\alpha) \mu u_f \quad \dots \dots \dots (5)$$

在此  $h_f$ ：濾布之阻力係數。

$m$ ：濾布上之粉塵負荷，即單位面積上所附着之粉塵量。

$\alpha$ ：附着粉塵層的比阻力。

$\mu$ ：處理氣體或空氣之粘度係數。

$u_f$ ：假想過濾速度 (Appearance Velocity)

將(5)式改寫成如下

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_f} - 1 = \frac{\Delta P_d}{\Delta P_f} = \frac{m\alpha}{h_f} \quad \dots \dots \dots (6)$$

(6)式左邊稱為壓力損失比。這些式子與比阻力之間的關係可用下式表示

$$\alpha = \frac{K}{r_s d_s^2} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad \dots \dots \dots (7)$$

在此  $r_s$ ：粉塵之真比重。

$d_s$ ：粉塵粒子之比表面積之平均粒子徑。

$\varepsilon$ ：附着粉塵層之空隙率（一般之粒子大約為 0.60~0.72）。

$K$ ：由粉塵粒子之形狀所決定之常數。

(6)式中，雖然壓力損失比與粉塵負荷  $m$  成一次方比例，但是實際上並不是如此。

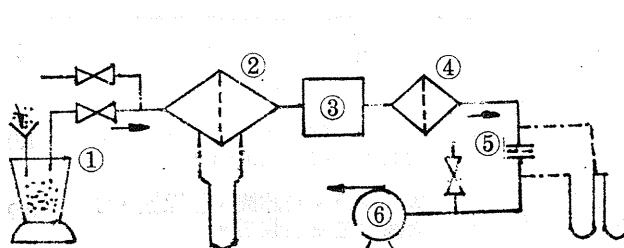
因此，以下式表示較為合理。

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_f} - 1 = k_m^q \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$\Delta P = \Delta P_f (1 + k_m^q) = (a + b_m^q) u_f \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{在此, } a = h_f \mu, b = h_f \mu k \quad \dots \dots \dots (10)$$

今以代表性之濾布，取直徑 100 mm 做實驗，其流程圖如圖十二。



①粉塵之分散供給機。

②裝設濾布設備。

③數字粉塵計量計。

④裝設濾紙設備。

⑤小孔流量計。

⑥真空泵浦。

圖十二、濾布實驗流程圖

表六、濾布之阻力係數  $h_f$  及實驗常數  $q$ 、 $a$ 、 $b$

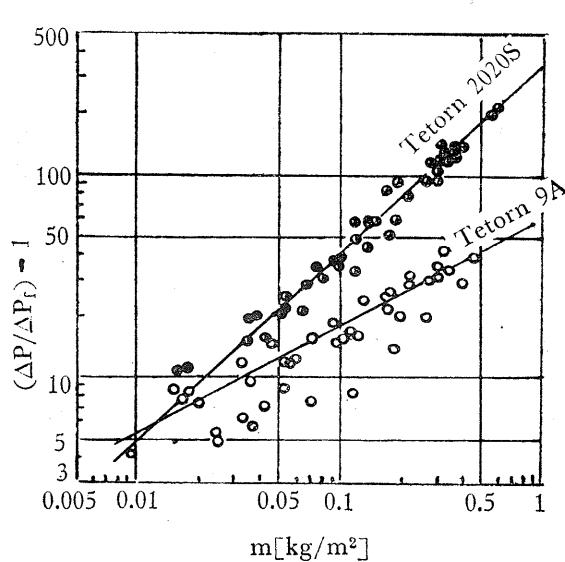
濾布名		$h_f [1/m]$	$q$	$a$	$b$
Tetorn	9A	$3.50 \times 10^7$	0.528	56.5	$3.27 \times 10^4$
Tetorn	2020 S	$5.76 \times 10^7$	0.929	106	$3.72 \times 10^4$
Nylon	9A	$3.12 \times 10^7$	0.591	60.5	$3.36 \times 10^4$
Nylon	2020 S	$1.52 \times 10^7$	1.19	292.0	$3.44 \times 10^4$
玻璃	FR2043F	$1.63 \times 10^7$	0.876	32.0	$3.46 \times 10^4$

表七、電弧爐所發生的粉塵物性值（例）

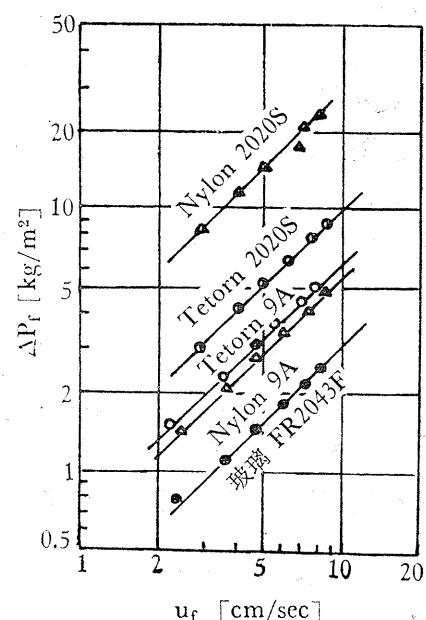
項目	數值	項目	數值
粒子徑 重量基準 50% 粒子徑	$0 \sim 25 \mu\text{m}$ $13.5 \mu\text{m}$	真比重 假想比重	$3.72 \text{ g/m}^3$ $0.61 \text{ g/m}^3$
比表面積粒子徑	$1.56 \mu\text{m}$	安息角	$45.5^\circ$

#### 4.6—1 清潔濾布之壓力損失 $\Delta P_f$

有關清潔濾布之過濾速度與壓力損失之關係，可用圖十三表示之。這些  $\Delta P_f$  與  $u_f$  大約成一次方之比例。在清潔狀態下，短纖維濾布比長纖維之濾布的壓力損失大。由此結果，再由(5)式中，所定之濾布阻力係數  $h_f$  與(7)式，(8)式之實驗常數  $a$ 、 $b$  及指數  $q$  代入整理，可得圖十四。



圖十三 清潔濾布之壓力損失

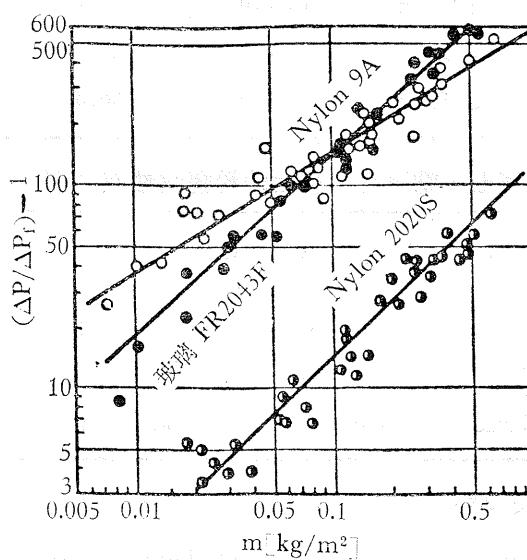


圖十四 粉塵負荷與壓力損失比之關係(1)

#### 4.6—2 過濾中之壓力損失

實驗中之粉塵採用電弧爐內所發生之粉塵。其物性值如表七所表示。實驗照圖十二之流程。

有關實測所得之粉塵負荷m與壓力損失比( $\Delta P/\Delta P_f$ ) -1之間的關係圖如圖十四及圖十五。由這些圖中可知粉塵負荷愈大其壓力損失比也將隨著增大。兩者之關係，各依據濾布之不同而呈一直線關係。



圖十五 粉塵負荷與壓力損失比之關係(2)

## 4.7 除塵效率

含塵氣體流量  $Q$ ，當流過過濾層內之微小距離  $dx$  時，其含塵濃度之變化為  $dc$ ，則除去塵埃量為  $-Q \times dc$ 。

今假定濾材 (filter medium) 是由同一直徑  $D$  之細纖維所組成的。其中一條所能捕集粉塵之除塵效率為  $\eta_D$ ，則  $\eta_D = (b/D)$  定義之。在此  $b$  表示向纖維相衝擊之流線的纖維開始至相當遠的位置之寬度。假定能適用於過濾面全體時，又以  $\epsilon$  表示濾材之平均空隙率，因此在微小距離  $dx$  所捕集之粉塵量可用下式表示。

此式表示，由過濾層之入口至出口，而 $C$ 為由 $C_i$ 至 $C_e$ ，今對 $x$ 作 $O$ 至 $L$ 積分之。得

$$\ln \left( \frac{C_e}{C_i} \right) = - \frac{4\eta_D(1-\varepsilon)L}{\pi D}$$

對過濾式之除塵裝置全體而言，其除塵效率  $\eta$  爲

$$\eta = \left(1 - \frac{C_e}{C_i}\right) \times 100\%$$

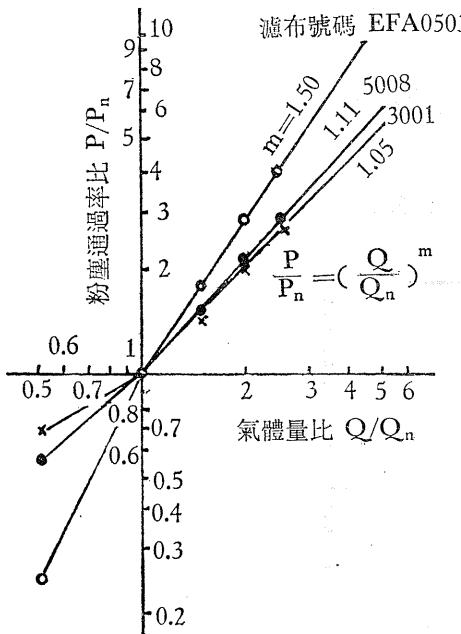
$$\therefore \eta = 1 - \frac{C_e}{C_i} = 1 - \exp \left\{ - \frac{4\eta_D(1-\varepsilon)L}{\pi D} \right\} \quad (12)$$

假如，正規風量  $Q_n$ ，其除塵效率  $\eta_n$ ，粉塵之通過率  $P_n$  之過濾式收集器，今以不同風量  $Q$  操作，其除塵效率為  $\eta$ ，粉塵通過率  $P$  之間的關係為

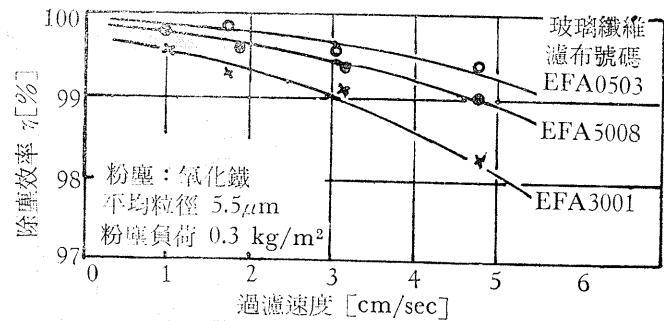
$$\frac{P}{P_n} = \frac{1-\eta}{1-\eta_n} = \left(\frac{Q}{Q_n}\right)^m \quad (13)$$

$$\therefore \eta = 1 - (1 - \eta_n) \left(\frac{Q}{Q_n}\right)^m \quad (14)$$

利用玻璃纖維做實驗，結果如圖十六及圖十七由此圖可知  $m=1.05 \sim 1.50$  之間。



圖十六 濾袋處理氣體量比與粉塵通過率比之關係



圖十七 濾袋之過濾速度與除塵效率之變化

#### 4.8 過濾速度對除塵效率之影響

使用表四及表八之濾布及粉塵，再用圖十二之實驗裝置做實驗，其結果求得下列之累積收集效率  $\bar{\eta}$  及其累積透過效率  $100 - \bar{\eta}$ 。

$$\bar{\eta} = \frac{W_f}{W_f + W_e} \times 100\%$$

$W_f$ ：用濾布收集到的粉塵量 [kg]

$W_e$ ：通過濾布之粉塵量 [kg]

其結果如圖十八及圖十九由這些圖中可了解粉塵負荷  $m$  增加時，其累積收集效率  $\bar{\eta}$  就愈大，但累積透過率  $100 - \bar{\eta}$  將減少。這種情形表示粉塵負荷量愈多，則通過濾布向外吹出之量就愈少，由此可知粒子之收集情形，主要地，還是受附有粉塵層之濾布來支配，僅僅靠着濾布本身，其

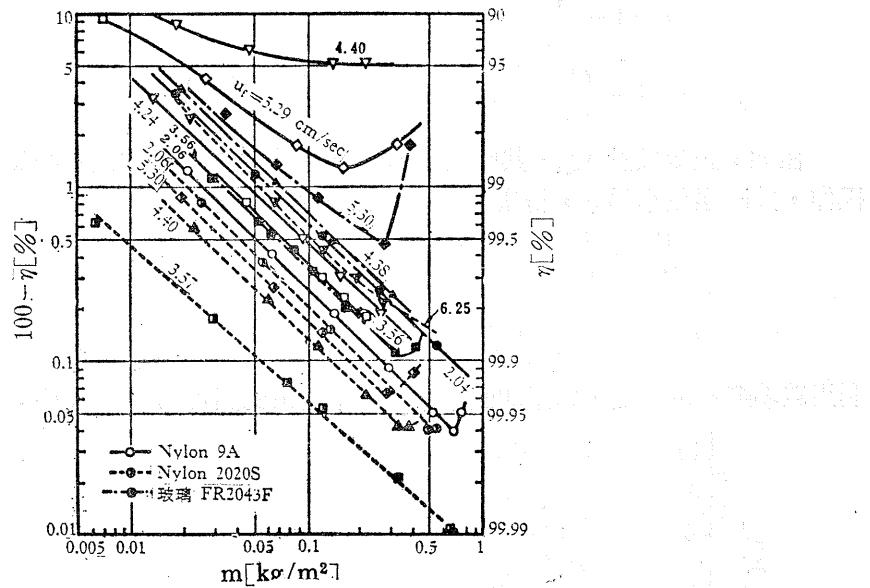


圖18 粉塵負荷與累積透過率之關係(1)

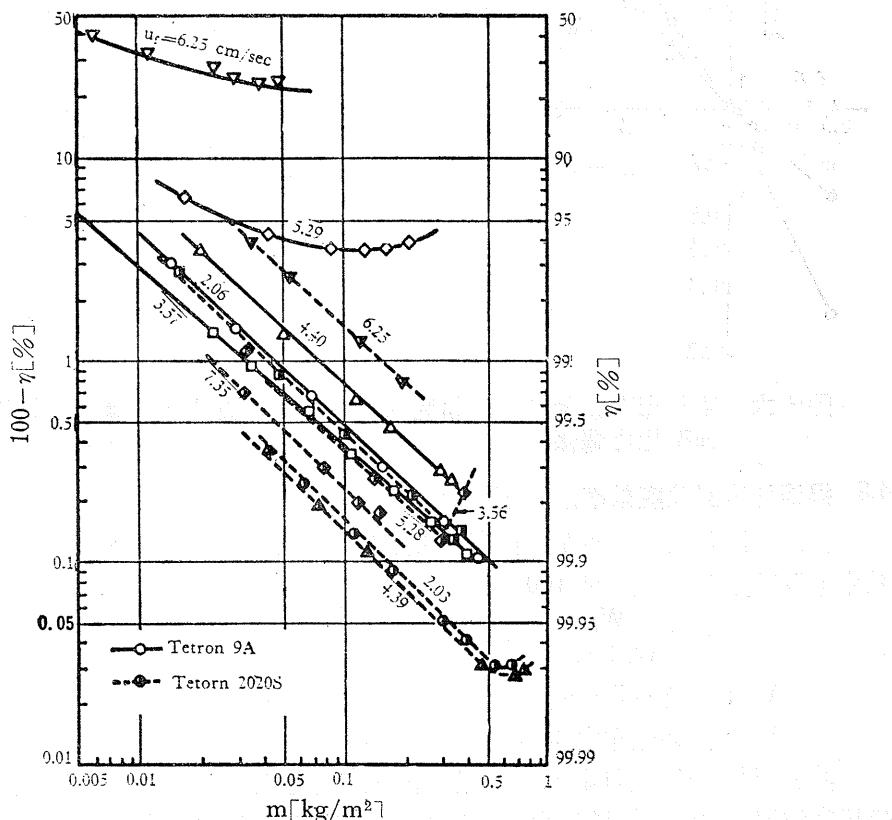
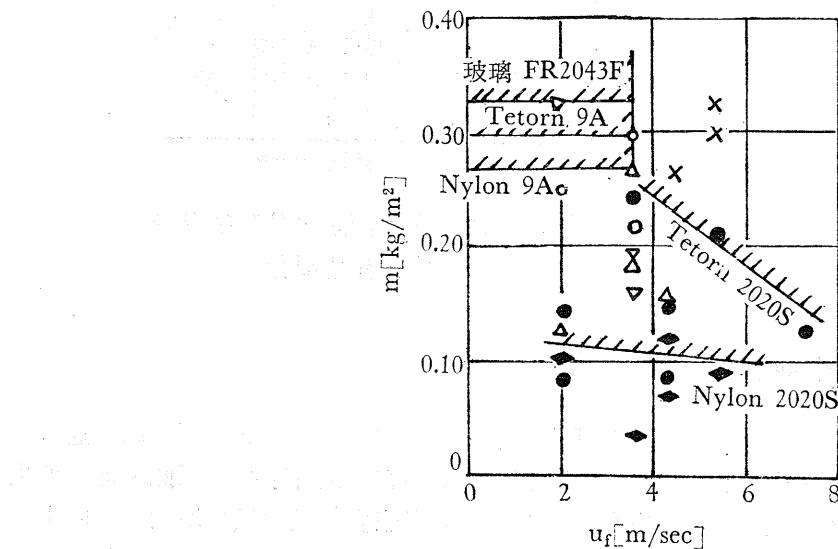


圖19 粉塵負荷與累積透過率之關係(2)

效果不彰。又由圖中知，採用長纖維濾布，在快速的過濾速度的條件下，其累積收集效率  $\eta$  將緩慢地增加，當粉塵負荷達某一定值後， $\eta$  反而有減少的傾向。此種情形是受發生吹漏的影響。發漏起因為，當整個濾布之表面有相當的粉塵層附着後，連續飛過來的粉塵也能够附着於該粉塵層上，幫助收集，但是由於粉塵層量過於厚，間接地會增加其壓力，在濾布的局部發生部份粉塵層脫落，以致部份之粉塵被吹漏。如採用短纖維之濾布時，在實驗範圍之內，就沒有這些現象發生。今以 99.8% 之除塵效率為條件，把粉塵負荷  $m$  與過濾風速  $u_f$  作圖可得圖二十由此結果得知，採用長纖維濾布時，其過濾風速不可超過 3.5 cm/sec，一旦超過時，就會有吹漏的現象發生，然而採用短纖維者，找不到其過濾風速之界限。也就是要依據各濾布，以定其操作範圍，即在斜線範圍以內即可。



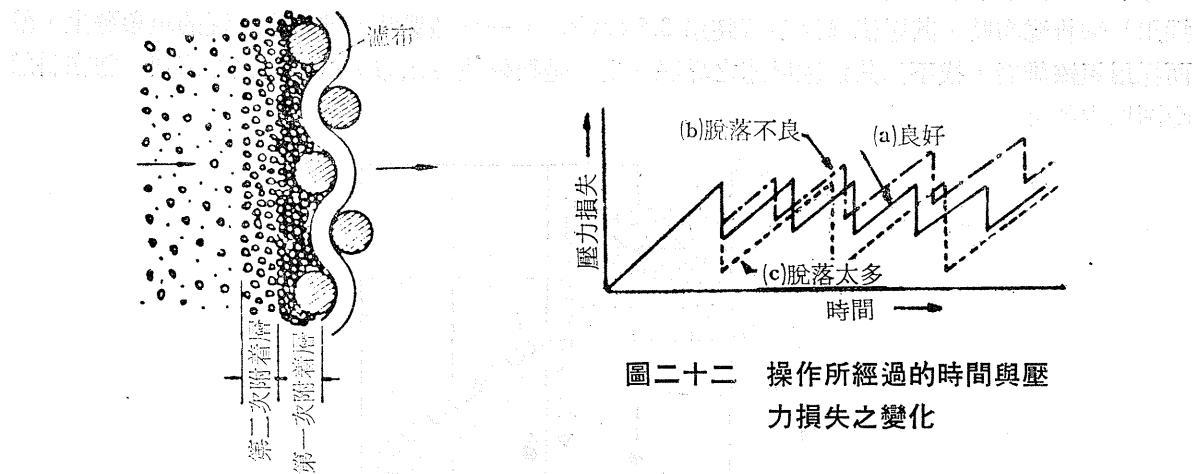
圖二十 濾布之使用範圍

以上之結果，乃是根據直徑 100 mm 之濾布的實驗結果。實際設計之際，應當考慮實際之氣體與粉塵之物理化學性質之變化情形，操作條件，設備之構造，氣流之流動方式，濾布之裝設，附着粉塵層之脫落方法，以及希望之壽命長短等加以綜合研辦後再做決定。

#### 4.9 濾布上粉塵層的脫落

不論濾布是由不織布 (Felt) 或織布所製成，在纖維或紡織布之間，必定會有一相當之間隙存在，其間隙不一定比粉塵小。因此當新的濾布被使用之初，難免有一些無法收集之粉塵而直接通過濾布之情形發生，但經過一短暫的操作後就會自然地消失。此種洩漏消失時之粉塵層，吾人稱為第一次附着層。此後飛過來的粉塵將連續附着於一次附着層上堆積，而逐漸形成另一粉塵層，吾人又稱為第二次附着層。當操作時間增加後，在第二次附着層上之塵埃將逐漸增厚，而其壓力損失也增大，如圖二十二之 (a) 曲線，必須在某一間隔之內，把該粉塵層脫落，以恢復原來之壓力損失，使它連續不斷地操作不止。假如粉塵層之脫落不够，將像 (b) 曲線情形，其壓力損失逐漸昇高，最後，會達到不能操作之地步。又如果其脫落太多時如 (c) 曲線，其壓力損失很低，經常會有粉塵外洩之情形發生。

雖然收集之粉塵層其脫落方法有許多種，但，今以小型的濾袋過濾設備而論，多半採用低速電動機，以 100 次／分之程度向左右振動，使粉塵層脫落為主。普通之振動脫塵法的濾布設備，最有效之脫落階段，乃是開始振動至 30—60 秒之間，超過此時間後，在經驗上得知，其效果很有限。然而，一般在振脫之際，必須停止進行過濾操作，故在停止操作時間，愈短愈好，最好能在 30 秒以內完成。



圖二十一 向濾布堆積粉塵層

又脫落之粉塵係靠重力而下降的，要沉降至塵埃箱下，需要有相當之時間才可。如果遇到微細之粉塵，將隨着氣流浮游，另外加上 Brown 運動作用，很不容易沉降下來。因此，如果停止操作時間太短者，將會使脫落的粉塵從新往濾布面上堆積，使得濾袋之壓力損失增大。實際上，並非如此，因為這些粉塵一旦附着於濾布上時，其粒子間之相互接觸，雖然是振脫了，但它們之間仍然會互相凝聚在一起，而往下沉，不像吾人所擔心的，要有相當的沉降時間才可。一般中小容量之濾袋設備，所設計之停止時間大約在 2.5—3 分鐘以上。

至於大容量的濾袋設備，要使用振動器，實際上是有困難，故一般將設備本體區分為幾個區，按照各區順序通以逆流之氣流，使粉塵層脫落。為了縮短逆洗時間，常把逆洗氣流速度增加至過濾速度的 1.5—2 倍。又逆流效果一般在逆洗初期之衝擊力最為有效。故常把逆洗速度稍為降低一些，以返復 2 次衝擊來代替，其效果最好。

另一種間歇噴射空氣 (pulse air) 式之濾袋設備，氣流是由濾布外面向內面通過，則粉塵將附着於濾布之外，在濾布之內上部，每隔一定的時間，以高壓空氣在一短瞬間噴射，由於受該氣流之衝擊在濾布外面所附着之粉塵將被振脫，像這種脫落方式，就可以不必有停止操作的時間，而可以連續地操作，其脫落情形也良好，同時亦可採用不織布為濾布，縱然是高濃度之氣流，也可用較快之速度來過濾。

#### 4.10 操作管理

各種除塵設備中，尤其是濾袋除塵設備，所能獲得之優良性能及耐久性都有其一定的限度，吾人應當視其技術及經濟性加以設計之。因此，如果與當初所預定的條件不同之操作時，不但無

法達成所預期的性能，而且會縮短其壽命，甚至於形成無法操作的狀態。實際上，所發生的毛病也大都是由這些原因所引起的。

在計畫之初，應把握各種必要條件，加以研究，而後綜合檢討再決定之。同時必須跟設計值一樣的條件下，作連續操作。操作管理上，應當每天監視送風機之操作情況，電流量、壓力、溫度等，並加以記錄之，每月做一次內部檢查，查看內部是否有需要調整的部位。有關於容易發生的毛病，列表於表九。

表九 濾袋設備主要的異常現象及其排除方法

現象	原 因	排 除 方 法
吸 引 不 良	<p>(1)送風機之吸引量不足</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 壓力損失太大。</li> <li>b. 葉片被粉塵附着。</li> <li>c. 葉片被磨損、腐蝕。</li> <li>d. Bleb 有滑動。</li> <li>e. 軸承阻力過大。</li> </ul> <p>(2)漏空氣</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 變形、破損而發生間隙。</li> <li>b. 鎖緊不良。</li> <li>c. 磨損穿孔。</li> <li>d. Damper 閥門不良。</li> </ul>	<p>詳細如下欄。</p> <p>清掃。</p> <p>增加其厚度，更換新品。</p> <p>從新調整。</p> <p>清掃、調節、供油。</p> <p>修理、焊接。</p> <p>從新鎖緊。</p> <p>修理焊接。</p> <p>調整修理、更換新品。</p>
壓 力 損 失 太 大	<p>(1)濾布不良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 過濾風速太大。</li> <li>b. 濾布之孔隙被阻塞、脫落不良。</li> <li>c. 粉塵負荷太大。</li> </ul> <p>(2)機械的不良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 導管、Damper、冷卻器等、粉塵堆積。</li> <li>b. Damper 關閉不良。</li> <li>c. 收集箱粉塵太滿。</li> </ul> <p>(3)流體之不良</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 風速太大。</li> <li>b. 冷却不良。</li> </ul>	<p>用 Damper 縮小、從新設計。 (詳下欄)。</p> <p>促進脫落方法。</p> <p>清掃、保溫。</p> <p>清掃調整控制系統。</p> <p>檢查排放機，防止架橋作用。</p> <p>用 Damper 縮小，變更送風機轉數。 增加冷卻水，增加熱傳效應。</p>

排 除 污 染	(1)濾布不良 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 濾布不適當。</li> <li>b. 破裂、燒損、劣化。</li> <li>c. 按裝孔隙洩漏。</li> <li>d. 濾布裂開。</li> <li>e. 脫落太多，發生洩漏。</li> </ul> (2)構造不良 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 過濾式短路、障壁破損。</li> <li>b. Damper 開閉不良、時間的調節不良。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>變更種類。</li> <li>更換新品。</li> <li>重新按裝。</li> <li>更換新品，降低過濾速度。</li> <li>縮短脫落時間。</li> <li>焊接、修理。</li> <li>清掃、調整控制回路。</li> </ul>
濾 布 壽 命 短	(1)設計不良 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 濾布不適當。</li> <li>b. 過濾風速太大。</li> <li>c. 粉塵濃度太濃。</li> <li>d. 粉塵負荷太多。</li> <li>e. 溫度過高。</li> </ul> (2)操作保養不良 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 固着、結露。</li> <li>b. 冷却不良。</li> <li>c. 脫落不良。</li> <li>d. 脫落太多。</li> <li>e. 濾布變曲、引張過大。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>更換種類。</li> <li>用 Damper 縮小、降低送風機轉數。</li> <li>前段作粗略脫落。</li> <li>促進脫落。</li> <li>促進冷卻。</li> <li>保溫、排除水份。</li> <li>除去堆積粉塵、增加冷卻水。</li> <li>增加振動力、或逆洗風量。</li> <li>減少振動力、逆洗風量。</li> <li>調整按裝。</li> </ul>