

## 處理技術

## 除塵技術 (四)

徐永錢\*

## 肆、過濾式除塵設備

## 4.1 概論

關於過濾式除塵設備之主要應用對象，大體上可分為兩種：一為固體與氣體之混相流，另一為固體與液體之混相流。本章將集中討論前者之情形。前者亦可分為空氣過濾器及濾袋過濾器兩種。

#### 4.2 空氣過濾器 (Air Filter)

此種空氣過濾器將於下列分述其形狀及特徵。其主要的功用仍是將氣流中所含有的粉塵經由過濾器清除之。至於過濾器，應依據其設備使用之用途，而採用各種不同之過濾材，例如金屬網、金屬纖維，天然或合成纖維、濾布及紙類等。過濾速度大約在  $0.1 \sim 3$  m/sec 左右。過濾過程中，其粉塵附着達一定厚度後，其壓力降將增高，亦即達一規定值以上時，應清理過濾材或更換新品，以維持其過濾效果。至於其更換方式有自動及手動兩種。如果需要提高其除塵效率時，可適當地噴水於過濾材上。

這種設備的構造簡單，操作保養方便，但僅限於使用於含塵濃度較少者，以便於清除氣流中之異物而已，並且都應用於中小容量之空氣清潔器，或是應用於醫院方面無菌室之換氣。

濾材纖維之除塵原理與上章之濕式除塵者相同。設備之壓力降  $\Delta P$  與過濾速度  $u_f$  之 2 次方成正比。可用下式表之

此式中、 $\epsilon$ ：濾布之孔隙率， $D_f$ ：濾材纖維之直徑，

$L$ ：過濾層之厚度， $r_a$ ：過濾空氣之比重。

$g$  : 重力加速度、各單位 kg、m、S 別表之

C為阻力係數…可用木村氏之實驗公式求之

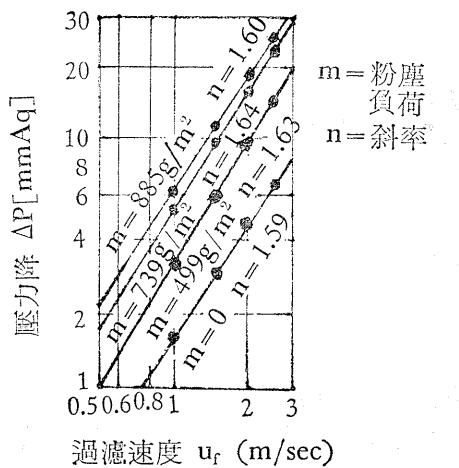
$$C = 0.6 + \frac{4.7}{\sqrt{R_e}} + \frac{1}{R_e} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$R_s = u_s D_s / \nu$$

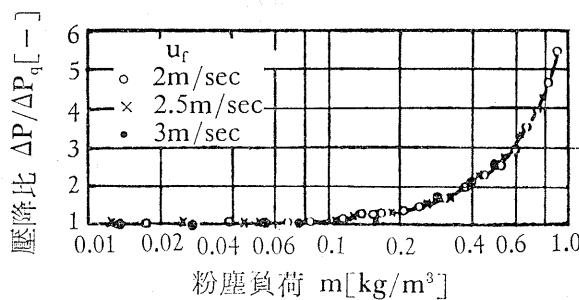
實際而論、此種壓力降  $\Delta P$  與過濾速度及粉塵含量有關。其除塵效率也隨著粉塵含量之增加而提高。但達某一限度後會發生局部吹落而降低。關於壓力降與風速之關係如圖一，又粉塵之堆集量與壓力降之關係如圖二。

\* 木小組禾昌

臺灣工業技術學院化工系副教授



圖一、不織布之風速對壓力降之關係



圖二、粉塵之堆集量對壓力降之關係

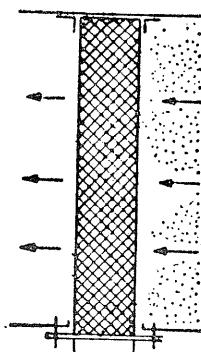
#### 4.2.1 空氣過濾器之形狀與特徵：

(a) 填充層形、如圖三

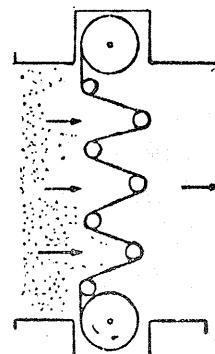
特徵：

- ①在導管或吸引口中充填纖維類的填充物、以清除粉塵。
- ②當粉塵堆積至規定之壓力降後，取出清除之。
- ③適合應用於中小容量者，而且其粉塵濃度較小者。
- ④一般應用於抽風機前，以防止雜物之吸引。

(b) 濾紙形，如圖四



圖三、填充層形



圖四、濾紙形

特徵：

- ①採用濾紙來除去粉塵。
- ②當濾紙之壓力降達一規定值以上時，可用自動或手動把紙卷揚，以更換濾紙。
- ③也有濾紙以低速自動卷揚之形式。
- ④適合應用於含塵量小者，或無菌室之淨化空氣之用。

(c) 旋轉筒式如圖五

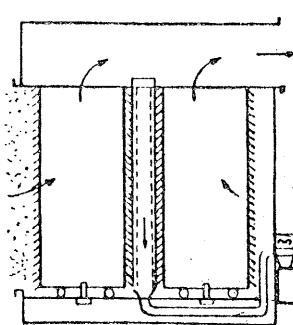
特徵：

- ① 將粗孔隙之合成纖維卷於圓筒形設備上、使此圓筒作旋轉。
- ② 當粉塵堆積圓筒表面後，再用清掃用之清除器清除。
- ③ 裝設操作簡單，縱然粉塵濃度很大、也能適用。
- ④ 過濾速度  $1.5 \sim 3.0 \text{ m/sec}$ 、初期壓力降： $5 \sim 18 \text{ mmAq}$  處理風量： $150 \sim 900 \text{ m}^3/\text{min}$

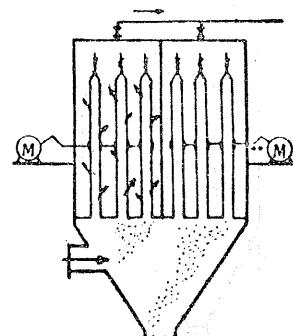
#### 4.3 濾袋除塵器 (Bag filter)

應用圓筒形或平板形之濾布、經由過濾收集氣流中的粉塵之一種設備。然而、這種設備常依據容量之大小，附着濾布上之粉塵的脫落方式，及適用方式等，有各種不同之形式，今列述於下。

##### 4.3.1 機械振脫式 如圖六



圖五、旋轉筒式



圖六、機械振脫式

特徵：

- ① 靠濾布收集粉塵。
- ② 濾布大部份是屬於圓筒形的、但也有平板形者。
- ③ 圓筒形濾布者，一般可分為由內面向外過濾的方式與此方向相反的方式。
- ④ 附着濾布之粉塵的脫落方式、有振脫式、氣流逆洗式及逆洗噴射式等。
- ⑤ 濾布材質：  
尼龍、Tetorn 者之耐熱溫度  $150^\circ\text{C}$   
Vinyolon，羊毛者之耐熱溫度  $100^\circ\text{C}$   
玻璃纖維之耐熱溫度  $250^\circ\text{C}$
- ⑥ 合成纖維可分為長纖維及短纖維。紡織方式有平織、綾織、朱子織。
- ⑦ 應依據粉塵及氣體之物理化學性質作適當選擇。
- ⑧ 縱然是細微的粉塵、其除塵效率也很高。
- ⑨ 不適宜處理含有水份之粉塵的氣體。
- ⑩ 適用於中小容量。

#### 4.3.2 氣流逆洗式如圖七

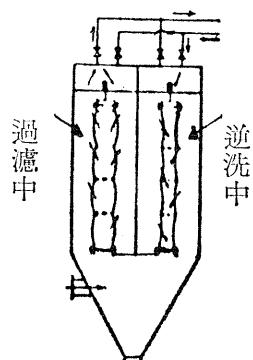
特徵：

- ①特徵大體與機械振脫式同
- ②但適用於大中容量

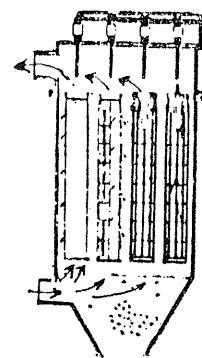
#### 4.3.3 噴射脫落式如圖八

特徵：

- ①使用圓筒形的濾布、過濾方式由外面向內面過濾。
- ②每一濾布之上部各裝設高壓空氣噴射之噴嘴，以便在瞬間噴射高壓空氣振落濾布之粉塵。
- ③振落濾布之粉塵，可在操作中進行，亦即順序噴射濾布，脫落粉塵。
- ④可適用於含有粗粉塵且含粉塵量高之氣流中除去塵粉。



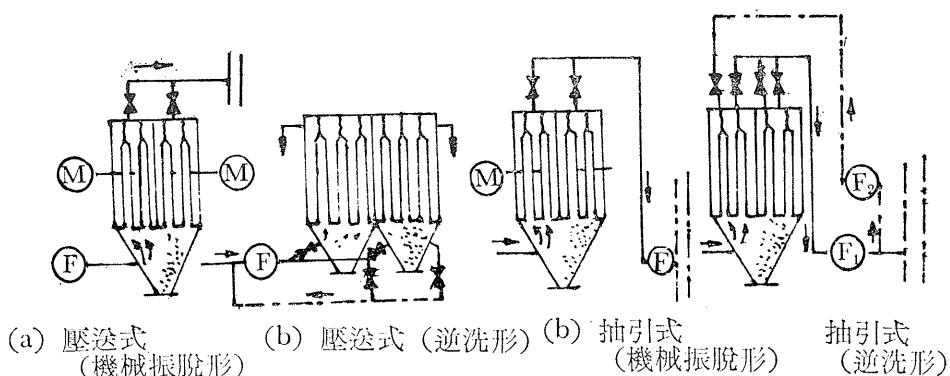
圖七、氣流逆洗式



圖八、噴射脫落式

#### 4.3.4 主要之設備系統：

此系統一般如圖九所示，有鼓風機或送風機按置於濾袋之前，含塵氣流經由鼓風機，以正壓的方式送入濾袋設備者，另一種為把鼓風機或送風機按置於濾袋器之後，以抽風方式把含塵氣流抽入濾袋，分離粉塵者兩種。一般都採用前者為多，因它的結構強，設計製作容易，而且價格便宜，又可適用於大風量者，但僅適宜含塵濃較度低者。



圖九、代表性的濾袋除塵設備系統

以上所述之兩種方式，其除塵效率都很好，對於處理粒徑在  $0.1 \mu\text{m}$  以上的粉塵效果都很好，可除去 100% 之  $1 \mu\text{m}$  以上之粒子，但是不適宜採用它來處理含有水份之粉粒子，或氣體者，可應用於一般條件及其範圍可參考表一

表一 濾袋除塵器之適用條件及範圍

項 目	條 件 及 範 圍	備 註
1.含塵氣流溫度	常溫~ $250^\circ\text{C}$	依據濾布之種類而異
2.收集界限粒徑	沒有特別之規定，大約在 $0.2 \mu\text{m}$ 以下者，其收集效率低。	依據濾布之紡織方式而異。
3.含塵濃度	一般： $300\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下 特別者：幾 $\text{kg}/\text{Nm}^3$	依形式而異。
4.除塵效率	一般：99%以上	為各種除塵設備中最好最安定者。
5.過濾速度	一般： $1\sim 3 \text{ cm/sec}$ 以下 特別：幾 $\text{cm/sec}$	依照形式，濾布之種類要求之除塵效率及耐久性而異。
6.壓力降	$50\sim 250 \text{ mmAq}$	特別的情況可達 $500 \text{ mmAq}$
7.處理風量	原理上而言沒有限制	約有 $40000 \text{ m}^3/\text{min}$ 之例子

#### 4.3.5 規劃濾袋除塵器之考慮事項：

##### (a) 選擇形式：

抽引形（負壓）、送押形（正壓）、粉塵之脫落方式（振落式、逆洗氣流式，逆洗空氣噴射式等）是否適合。

##### (b) 選擇濾布：

採用長纖維或短纖維，絲的粗細度，紡織法以那種較適當。另外考慮氣體之性狀，粉塵之性狀，特別是其粒度分佈、化學成份，酸鹼性、溫度、吸濕性，帶電性、爆炸性、附着性、脫落之難易，壓力降、強度、伸長性、耐久性、價格、供應之難易。

##### (c) 過濾速度

依據粉塵性況，氣體性狀，濾布之種類，粉塵之濃度，容許壓力降，希望之耐久時間等之綜合而定。

##### (d) 濾布之懸吊法：

應依據內側或外側過濾別，一條濾袋之內徑及其長度，全部之條數與其配置情形，本體之構造，濾布之伸縮量，粉塵之脫落方法，所給與之伸張力，及懸吊構造等，綜合考慮後決定之。

##### (e) 粉塵脫落方式：

根據粉塵的脫落性，濾布的耐久性，以及其他因子等綜合考慮後決定之，並同時考慮脫落之循環期，停止時間，脫落所需之強度，機構等，這些都與本體的構造有關，在選擇控制設備及控制系統時也將多加考慮。

##### (f) 保養、檢查

為保養檢查方便起見，應注意下列事項：

規定壓力損失標準，及其檢查方法，更換濾布基準，更換操作方法，設計成容易更換本體之構造及其濾布的排列方式，並裝設有人孔，檢查架，梯子，走廊，照明燈，安全閥，交換之

damper, 儀器, 以及適量之預備品等。

(g) 本體之構造：

考慮本體之構造能否承受正壓，負壓，其返復之週期，及衝擊力等之疲勞強度，另外要考慮對氣候之適應性，是否需要保溫或加熱，以及耐腐蝕性如何？

(h) 收集下來之粉塵，應如何處理：

粉塵物性及壓力對其架橋有關，為了防止此現象發生，排出口的大小，排出閥，排放機，應如何決定，有無需要裝設造粒機，搬送方法，搬運地點之有無需要加以檢討。

#### 4.4 濾布之種類及其特性：

目前大約有 1,500 種濾布上市，在設備計劃之初，應當依據粉塵之性狀及氣體之物理化學性質及操作條件，做為選擇材質的標準。下列將敘述其主要重點。

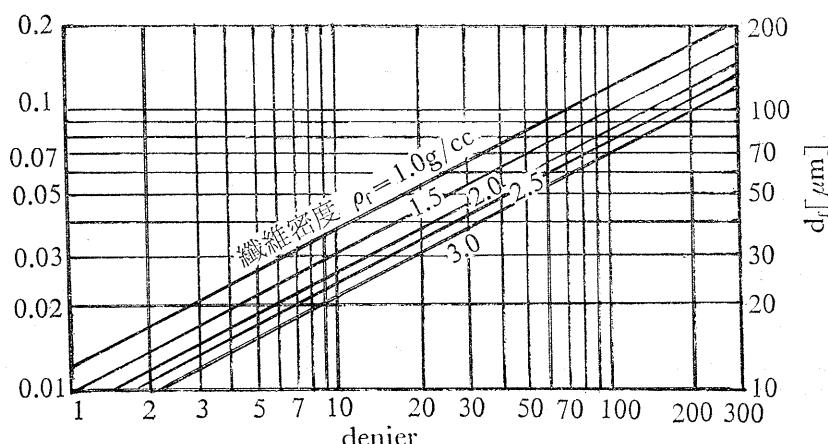
##### 4.4.1 纖維之種類：

濾布所採用的纖維大體上可分為長纖維 (mono filament) 及短纖維 (spun staple) 等兩種。

(a) 長纖維：該纖維，一條如同針尖之細長物，把它互相交織成絲，然後再紡織成濾布。像這種纖維所製成之濾布，因表面光滑，容易使附着其表面上之粉塵脫落，可應用附着性較大之粉塵在過濾之用，但亦有其缺點，即如粉塵負荷很大，短期之內，孔隙就會有被阻塞現象發生，因而容易引起壓力降過大之情形。又容易發生吹漏現象，故在計劃時，應把過濾速度降低才可。

(b) 短纖維：1 條之長度大約 50 mm 左右，由此種纖維相互交織成絲，再經由紡織成濾布者。其表面留有許多纖維絲毛，使人感覺有柔軟之感。由於它的表面有此特性、能吸附較為細微之粉塵，故其除塵效率很高，又因能維持其通氣性良好，所以其壓力降亦小。因為有上述之特性，在決定過濾速度時，不妨考慮增加其速度。然而因其附着性很好，需要有強力之脫落設備才可以。其壓力降隨著時間之增加而增大。

一條纖維之粗細度，都以 denier 單位表示（即 1 denier 為重 0.05g 之材料其長度為 450m 時之粗細度，有關於 denier 與纖維之直徑 (mm) 之關係如圖十。



圖十、纖維直徑與 denier 之關係

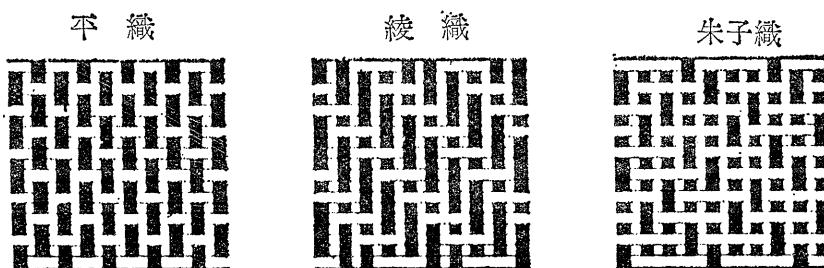
##### 4.4.2 紡織方式：

一般採用之濾布大致上可分為不織布 (felt) 與織布 (cloth) 。

### (a) 不織布 (Felt) :

此為用綿狀之短纖維加壓成形的，纖維以立體狀地組合而成，因此其內部存有微細之孔隙，自然形成壓力降很小的材料，並且它的除塵效率很高為其特徵之一。因此設計時可提高其過濾速度，但要特別注意，它對於附着性高的粉塵並不適當，因附着於濾袋上的粉塵不易脫落。

(b) 織布：由絲所紡織成的布都稱之。紡織方式如圖十一所示共有三種。



圖十一、紡織方式

(i) 平織：縱絲與橫絲上下相互交織，由於能緊密交織，所以其強度很好，如與其他紡織法相比較，孔隙整個形成平面狀，對於細微的粉塵除塵效率很低。

(ii) 綾織：其縱絲與橫絲之交織法如圖十一所示，其孔隙度比平織者易形成立體狀，故其除塵效率高，最受一般人採用之方式。

(iii) 朱子織：它是屬於綾織之變形，孔隙更易形成立體狀，因此其除塵效率很多，但是其強度及耐久性稍差，但已開發，像五張朱子織，斜文織等，可改良此種之缺點。

以上所述之外，亦有只單面起毛與兩面起毛之濾布，或為了防止靜電發生，把金屬線混紡而成的等。假如濾布有滑面及粗面者，一般含塵氣流都由平滑面進入為多。關於不織布與織布之特性如表二。

#### 4.4.3 材質

濾布所採用之材料很多，但主要的乃是如表三所列的為主。由於羊毛之表面有稍微凸起之形狀，因此對微細粉塵之附着性很好，常被採用做為濾布之材料，但因價格高，在特別情況才採用。因此一般都用合成纖維來代替，為了合乎過濾之用，利用長纖維、短纖維為原料，再配合各種紡織方法製成優秀之濾布。

尼龍製品：雖然其耐熱可高達  $110^{\circ}\text{C}$ ，且有耐鹼性，但是對抗酸性却很弱，雖然已發明有能耐更高溫達  $280^{\circ}\text{C}$  者，但應用於含有硫份的粉塵氣流中，其耐久性就很差。一般能使用溫度大約在  $130\sim180^{\circ}\text{C}$  為止。

聚酯纖維 (Tetorn)：此種材料原耐溫達  $150^{\circ}\text{C}$ ，在市面上也有各種產品，一般工廠喜歡採用。對抗酸性強，抗鹼却很弱。

玻璃纖維：能耐溫達  $250^{\circ}\text{C}$  適用於處理高溫氣體之除塵之用。纖維之表面如進行矽質加工可增加其柔軟性，但跟其他濾布相比較，則彎曲性不良。因此在縫製、捆包、按裝時，必須小心不得馬虎。由於此種纖維在對於已收集粉塵之機械振動脫落時易傷害按裝部位，一般都採用逆洗氣流方式為主。

表二 不織布與織布之特性比較表

	不織布	織布
1.纖維	短纖維	短纖維長纖維
2.材質	玻璃以外者即可	所有的都可能
3.粉塵收集	表面及內部(三次元)	表面而已(二次元)
4.脫落方法	逆壓、噴射逆洗	振動逆洗
5.抗張、破裂強度	小	大
6.耐磨耗強度	中~大	小~大
7.耐久性	按使用條件1~2年	按使用條件1~2年
8.濾布之重量	約 250~800 g/m <sup>2</sup>	約 100~400g/m <sup>2</sup>
9.單位面積之價格	高	低
10.一條之有效面積	0.2~3.5m <sup>2</sup>	0.3~10 m <sup>2</sup>
11.除塵設備之規模	適宜小~中	適宜小~大
12.過濾速度	1~5 cm/sec	0.5~3 cm/sec
13.最高使用溫度	~180°C (耐熱尼龍)	~250°C (玻璃)
14.壓力降	約 250 mmAq	約 250 mmAq

表三 不織布濾布之種類及其特性

特 性 種 類	物 理 性 質					耐 蝕 性		價格比耐久年數	
	強 度	比 重	吸 濕 性 %	最 高 使 用 溫 度 C°	耐 酸 性	耐 鹼 性			
天然 纖 維	木 棉	大	1.55	~ 7	90	小	中	1	2~5
	羊 毛	中	1.3	~ 15	100	中	小	6	2~4
	紙	小	1.5	~ 10	90	小	中	—	—
合 成 纖 維	尼 龍	大	1.14	5	110	中	大	42	2~5
	Tetorn	大	1.38	0.4	150	大	中	5	2~5
	Saran	中	1.7	0	80	大	中	4	1~4
	Vinylon or lan	大	0.95	0	100	中	中	4	2~5
		中	2.3	0	150	大	大	5	1~4
無 機 纖 維	玻 璃	小	2.5	0	250	中	中	7	0.5~3
	碳化纖維	小	~ 2.0	~ 10	250	中	大	10	0.5~1

選擇濾布之際，首先必須選擇能適合使用條件為第一，其次再考慮品質均勻性，易取得新品之可能性，及其縫製加工的可靠性，一般市面能採購得到的主要濾布之各種特性如表四。

表四 主要的濾布其特性值

項目 濾布名	紡織絲之纖維	組 織	紡 織 數	布的厚度 mm	通氣度 cm/sec	使用絲之粗度	纖維徑 $\phi$ (mm)	強度(乾)		伸長度	
								W (kg)	F (kg)	W (%)	F (%)
Tetorn 9A	長纖維	綾 織	166×68	0.56	38.6	250d/48f	0.0239	171.5	119.8	30.2	18.6
Tetorn 2020S	短纖維	五張朱子織	75×52	0.64	20	20 S	—	142.5	96.0	39.5	37.3
Nylon 9A	長纖維	綾 織	179×68	0.47	34	210d/15f	0.0416	231	96.0	57	44
Nylon 2020S	短纖維	五張朱子織	72×51	0.69	20—24	21/2	—	156	103	40	37.4
玻 璃 2043 F	長纖維	破斜文織	48×22	0.49	65	—	0.005~0.006 $\mu\text{m}$	160	45	—	—

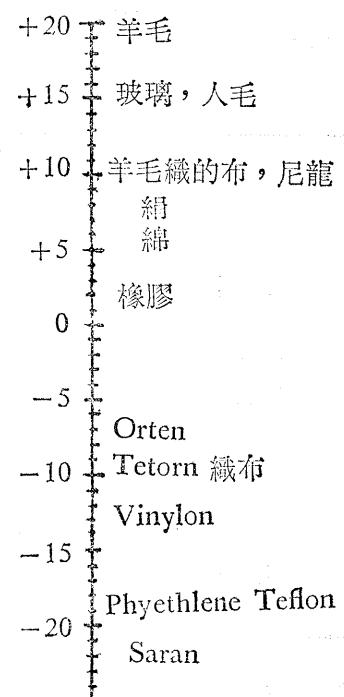
## 4.4.4 帶電性

在操作中之濾布及氣流中之粉塵，不是帶有正電，就是帶有負電，雖然最近已有進行研究此種帶電現象，但是仍然還有許多不明之處。吾人可想成帶有正電之粒子與帶有負電之粒子相互混合後，而顯示出的一種綜合結果。縱然是同種物質其帶電程度，常受其經歷，粒子徑，氣流之相對速度、溫度、濕度等之不同而異。

過濾除塵而言、因粉塵與氣流或壁面之間的摩擦，以及粒子之間的相互衝擊而形成帶電體，特別是從電弧爐出來之粉塵，本身在發生時，就已帶有靜電。像這種粉塵一旦與濾布接觸後更能提高其接觸帶電量。接觸帶電之程度與其極性有相當微妙之關係存在。今可利用表五之帶電次序來預測之。在此表上部是屬於易帶正電的物質。如果選用與粉塵所帶之電極相反的濾布，則粉塵將易於附着於濾布，其除塵效果將會提高，然而濾布是屬於電的不良的導體，而且濾布內所附着的粉塵層亦含有許多孔隙，使得粉塵層與濾布之間的電荷很難進行授受，故形成始終都帶有電荷狀態，而附着於其上。自然形成不易用振落或不易用逆洗法把它脫除，常有逐漸提高壓力降之現象。

相反地，如採用與粉塵所帶的電極相同之濾布，過濾時僅受氣流之強制進行，將不會有問題。因為它在附着之粉塵與濾布之間無電荷之附着性存在，故一般都比較容易脫落，而且其壓力降不會有提昇現象。

粉塵帶電不但會妨礙粉塵層之脫除而且會因大量的電荷蓄存，一旦瞬間放電，易引起粉塵爆炸危險。特別是屬於食品，合成樹脂及含高純度之金屬粉末者等，其危險性很大，需要特別注意。因此為了防止此種粉塵之靜電發生，一般常把細銅絲一齊織入濾布內，以提高其導電性。有時通以  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  在粉塵氣流中來確保其安全性。



表五 各種纖維之帶電次序