

污染防治技術

處理技術

除塵技術(三)

徐永錢*

參、濕式除塵設備

3.1 概論

這種方式的除塵設備，其種類相當多。主要的原理仍是靠噴霧的水滴或是沾濕在牆壁液膜與氣流中的粉塵接觸，把粉塵吸附，以清除氣流中之粉塵，然後排出外界。此種構造比較簡單，如與同價格之乾式除塵設備相比較，則其除塵性能較好，很有吸引力。但是，如在排水有困難之處，採用此方法不適當。對性能而言，它是介於旋風分離器與濾袋除塵之間。有時，為了順便要中和氣流中之酸或鹼性，可採用有適當化學品之水溶液進行噴霧除塵，如此將能同時達到除塵及中和的目的，由於需要處理該污水之關係，設計時要考慮盡量減少用水，且要兼顧高除塵性能，同時，其操作維護要簡易，價格要便宜。

3.2 濕式除塵之形狀與特徵

(一)多管形如圖一

原理：利用重力與水滴附着方法

特徵及應用重點

- (1)使管內形成水膜，以便含有粉塵之氣流互相接觸，然後除去該塵埃。
- (2)收集之粉塵經沖洗後，跟該液體排出。
- (3)此設備可利用殼側，通以冷卻水，以便同時降低氣流之溫度。
- (4)構造簡單，操作容易。
- (5)其除塵效率差，但可適用於分離含有粗粒之粉塵。

(二)衝擊板式

原理：利用重力與水面附着方式

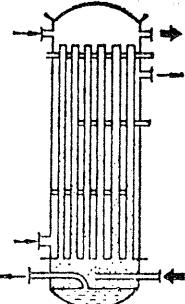
(a) 簡便型如圖二。

特徵：

- (1)利用含有粉塵之氣流直接衝擊液面收集粉塵之方式。
- (2)收集之粉塵可直接與液體同時排出，或利用沈澱後再清除之。

* 本小組委員

工業技術學院化工系教授



圖一 多管形



圖二 簡便型

(b) 環狀小孔型，如圖三。

特徵：

(1) 帶粉塵之氣流，經由環狀小孔以 10 m/sec 之速度，直接衝擊液面，以達到分離氣流之粉塵目的。

(2) 壓力降大約 $150\sim400\text{ mmAq}$ 。液與氣體之比 $0.1\sim0.3\text{ l/m}^3$ 。

(c) 固體填充塔形，如圖四。

原理：利用水膜附着方式

(a) 各種填充物充填塔

特徵：

(1) 塔內填充一些富有很大之表面積的固體填充物，以便能提供含有粉塵之氣流與液體有充分之接觸。

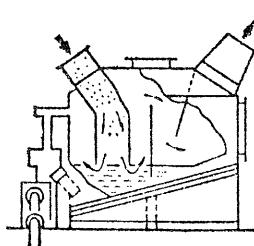
(2) 接觸效果很好，在硫酸工廠也常採用此法來吸收 SO_2 。

(3) Superficial Velocity: $0.3\sim1.0\text{ m/sec}$

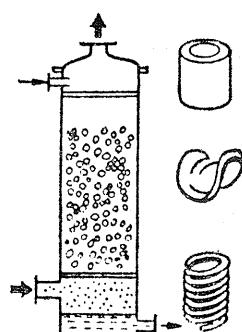
壓力降： $50\sim200\text{ mmAq}$ 。

液氣比： $0.5\sim2.0\text{ l/m}^3$ 。

(4) 如處理氣量大者，將不適合。



圖三 環狀小孔型



圖四 各種填充物充填塔

(b) 格子板填充塔，如圖五。

特徵：

(1) 利用木板排列，因此價格便宜。

(2) 可適合應用在含有大量粉塵之氣流，及稀薄氣體。如排氣中含有 SO_2 時，也可應用此種設備。

(3) 壓力降：10~30 mmAq。

Superficial Velocity: 0.5~5 m/sec

液氣比：0.5~3 ℓ/m^3 。

四 填充塔式除塵器

原理：利用噴霧水滴形成水膜方式。

(a) 相對流型，如圖六所示。

特徵：

(1) 在多孔板上堆積均勻的玻璃球，以便提高其接觸面積。

(2) 水自中間層，以向下噴霧，上層填充 eliminator 收集飛揚水滴。

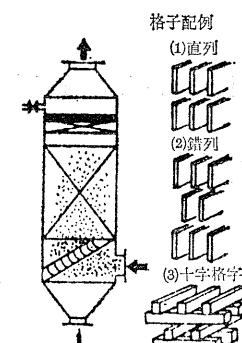
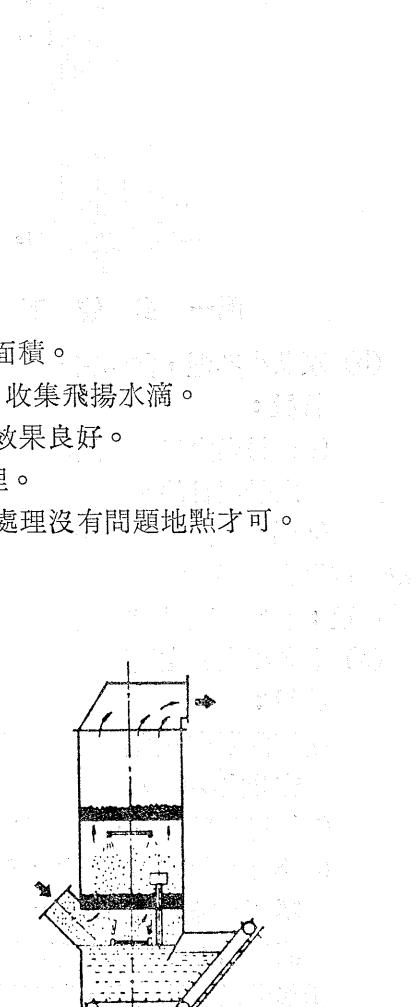
(3) 此種可同時處理粉塵及排氣中所含有的成份，其效果良好。

(4) 沖洗下來的粉塵可利用 Sludge Conveyer 來清理。

(5) 可適用於中小型之煉鋼爐除塵之用，但必須要水處理沒有問題地點才可。

(6) 壓力損失：50~200 mmAq。

液氣比：0.5~1.0 ℓ/m^3 。



圖五 格子板填充塔

圖六 相對流型

(b) 同向流型，如圖七。

特徵：

(1) 多孔板上填充玻璃球。

(2) 水在填充層下端，跟氣流同向噴霧。

(3) 提高氣體之流速，使已被水收集之粉塵，自填充層上方之溢流管排出。

(4) 壓力損失：100~250 mmAq。

液氣比：0.5~1 ℓ/m^3 。

五 多孔板形，如圖八。

原理：利用噴霧所形成的水滴收集粉塵。

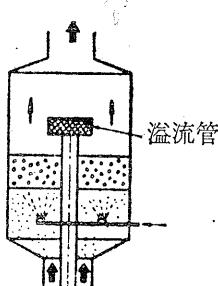
特徵：

- (1) 採用開口比15~30%之多孔板，液體自上層順次往下形成滴狀流下。
- (2) 此種方法可同時達到除塵及吸收氣體之某種成份之目的，其效果良好，例如可應用於排氣中含有 SO_2 之處理設備。
- (3) 一座可處理 $10^3 \text{ m}^3/\text{min}$ 之氣體。
- (4) 壓力損失： $20\sim40 \text{ mmAq}$ 。

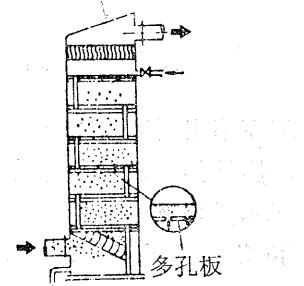
液氣比： $2\sim3 \ell/\text{m}^3$ 。

（六）水洗型：

原理：利用運動中的水滴來吸附粉塵。



圖七 同向流型



圖八 多孔板型

- (a) 噴霧塔：如圖九所示。

特徵：

- (1) 由幾層噴霧口分別噴射水滴。
- (2) 噴霧方向與氣流之流向，可分為相對流及同向流兩種。
- (3) 在最上層裝設 eliminator。
- (4) 噴射口易於阻塞，設計時要特別留意。
- (5) 一般被裝設在他種除塵設備之前，同時亦可應用於增濕，冷卻等之用途。
- (6) 壓力損失： $2\sim20 \text{ mmAq}$ 。

Superficial Velocity : $2.2\sim1.0 \text{ m/sec}$ 。

液氣之比： $0.2\sim1.5 \ell/\text{m}^3$ 。

- (b) 浮遊球噴霧，如圖十所示。

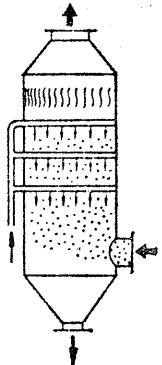
特徵：

- (1) 在多孔板上填充易於浮上之合成樹脂之小球，此小球可利用上升氣體使其在塔內浮沈。
- (2) 自上部向下噴水霧使氣流作相對運動。
- (3) 最上部裝設 eliminator。
- (4) 適合應用於中小型之除塵或吸收氣流體之某種成份之用。

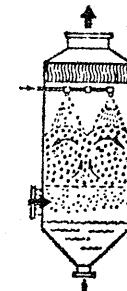
- (c) 旋轉噴霧除塵機，如圖十一所示。

特徵：

- (1) 在塔內裝設密閉式馬達，以轉動噴霧機。



圖九 噴霧塔



圖十 浮遊球噴霧塔

- (2) 所噴出霧滴受離心力的作用，與水流成直角運動，對於細微粉塵的除塵效果很好。
- (3) 旋轉部位要能耐磨損及設計成易於交換修復之構造。
- (4) 可適用於中小容量之除塵及作氣體吸收之用。
- (5) Superficial Velocity : $0.4 \sim 1.4 \text{ m/sec}$ 。

液氣比 : $0.2 \sim 1.0 \ell/\text{m}^3$ 。

除塵效果 : 對 $1 \mu\text{m}$ 粒子而言可達 $90 \sim 98\%$ 。

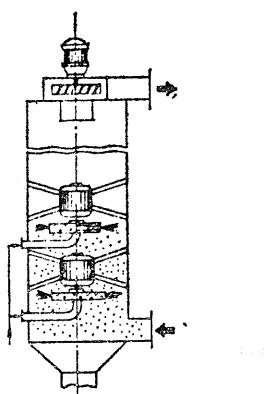
(七) 水力噴射器，如圖十二所示。

原理 : 利用水滴之運動以附着粉粒子。

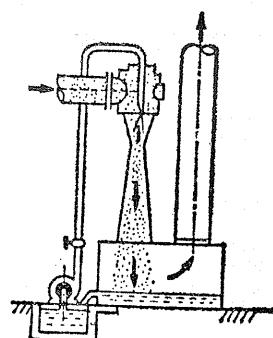
特徵 :

- (1) 利用高速度的水經由噴嘴產生抽引氣體之作用。
- (2) 粉塵受水滴的收集後，再落下排除。
- (3) 所需要的水量很多，如風量大，則不適合。
- (4) 壓力損失 : $20 \sim 200 \text{ mmAq}$ 。

液氣比 : $10 \sim 100 \ell/\text{m}^3$ 。



圖十一 旋轉噴霧除塵機



圖十二 水力噴射器

(v) 文氏管除塵器，如圖十三所示。

原理：利用水滴的運動以附着粉粒子。

特徵：

- (1)使擴散器的風速達 $30\sim80 \text{ m/sec}$ ，同時進行噴水。
- (2)由於水的擴散現象良好，收塵效果非常好。
- (3)對於吸收氣體的效率亦佳。
- (4)壓力損失： $200\sim800 \text{ mmAq}$ 。

液氣比： $0.3\sim1.0 \ell/\text{m}^3$ 。

(vi) 旋風除塵器，如圖十四所示

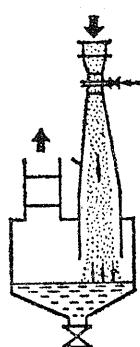
原理：利用水滴的運動以附着粉粒子。

特徵：

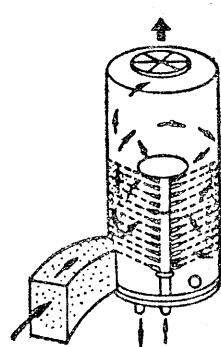
- (1)含塵之氣流由切線方向進入旋風除塵器，同時，在中心部位，向周圍噴水以除去塵埃。
- (2)由於利用離心力，故對除塵及氣體之吸收之效果都很好。
- (3)如果除塵器的內直徑增大，其效果亦將下降。
- (4)可適用於中小容量之除塵，及氣體吸收之用。
- (5)壓力損失： $50\sim200 \text{ mmAq}$ 。

Surface Velocity : $1\sim2 \text{ m/sec}$ 。

液氣比： $0.5\sim1.5 \ell/\text{m}^3$ 。



圖十三 文氏管除塵器



圖十四 旋風除塵器

(vii) 氣泡沖洗除塵器，如圖十五所示

原理：利用滿水槽來吸附粉塵。

特徵：

- (1)由幾層多孔板所組成，水由上層往下層流。
- (2)含有粉塵的氣流，流經多孔板下之小孔而發生氣泡及攪拌作用，有增進除塵及氣體吸收的效果。
- (3)構造簡單。
- (4)應用於硫酸工業之燃燒爐之除塵設備。

(5) Superficial Velocity : 2 m/sec。

液氣比： $2\sim4 \ell/m^3$ 。

(2) 水路形沖洗除塵器如圖十六所示

原理：利用滿水槽來吸附粉塵。

特徵：

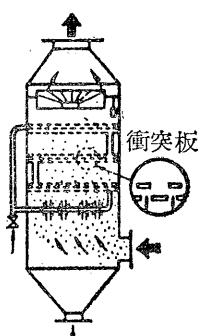
(1) 含粉塵氣體經由引導板之間隙。在此處與水作攪拌作用。

(2) 對於微細的粉塵之除塵效果相當有效。

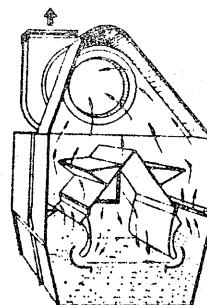
(3) 可適用於中小容量之除塵及氣體之吸收。

(4) 壓力損失： $150\sim200 \text{ mmAq}$ 。

液氣比： $0.05\sim0.3 \ell/m^3$ 。



圖十五 氣泡沖洗除塵器



圖十六 水路型沖洗除塵器

(2) 軸心流的除塵器如圖十七所示

原理：利用滿水槽來吸附粉塵。

特徵：

(1) 在下面貯滿水之渦卷室內，含有粉塵之氣體，由切線方向引導進入，將水經數次揚起，以達除塵目的。

(2) 附着於水滴之粉塵，受離心力的作用，沿着牆壁落下。

(3) 對於較粗大粒子之除塵很有效。

(4) 壓力損失： $100\sim150 \text{ mmAq}$ 。

液氣比： $0.05\sim0.3 \ell/m^3$ 。

(2) 橫形旋轉板式除塵器如圖十八所示

原理：強制沖洗。

特徵：

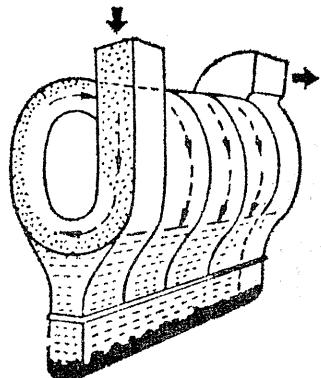
(1) 橫形機體下面盛滿水，由旋轉軸上所裝設之攪拌葉片攪拌，使水能往上飛揚，以達吸塵及吸收氣體之作用。

(2) 需要有相當的動力，但是體積較小。

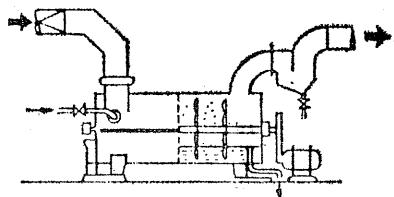
(3) 可適用於中小容量之吸塵及氣體之吸收之用。

(4) 旋轉數： $380\sim800 \text{ rpm}$ 。

Superficial Velocity : $0.5\sim1.0 \text{ m/sec}$



圖十七 軸心流的除塵器



圖十八 橫型旋轉板式除塵器

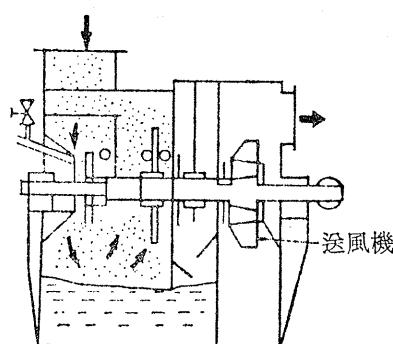
(d) 強制沖洗除塵器如圖十九所示

原理：強制沖洗。

特徵：

- (1) 排氣風扇可用同一馬達，而能高速旋轉。
- (2) 可適用於中小容量之除塵及氣體的吸收之用。
- (3) 壓力損失： 75 mmAq 。

液氣比： $0.3 \ell/\text{m}^3$ 。

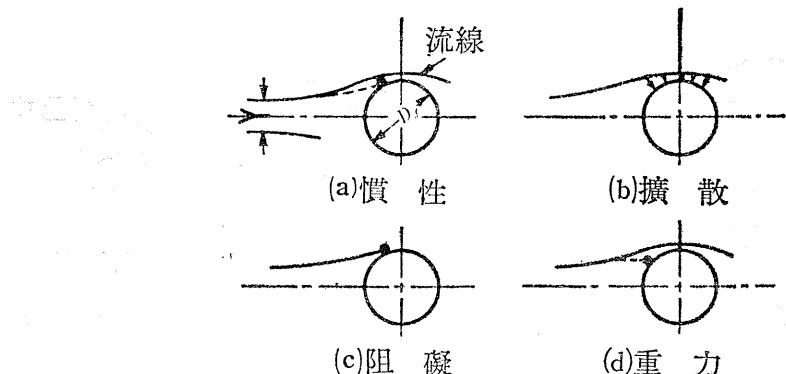


圖十九 強制沖洗除塵器

3.3 利用衝擊收集粒子之理論

3.3.1 概論

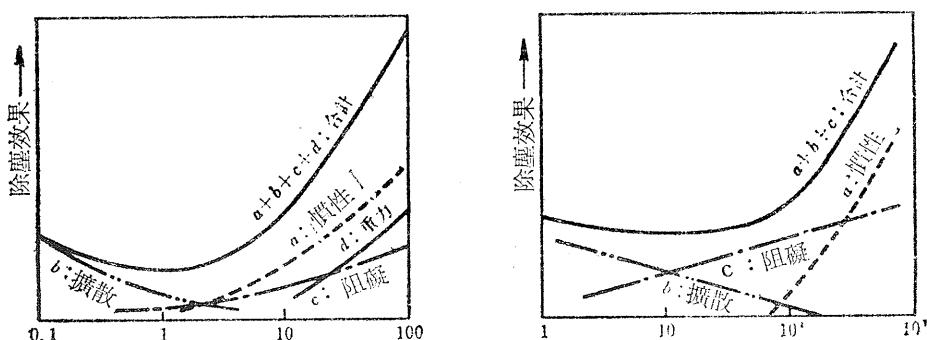
濕式除塵設備，主要原理為粉塵粒子，用水滴或水膜擴散或衝擊，而達到收集粉塵的目的。另外，像過濾式除塵設備之原理，也同樣是利用粉塵粒子向過濾材的纖維作擴散或衝擊，以達收集粉塵之目的。像這些收集粉粒子的機器構造而言，在本質上是相同的，今分述四種主要影響因子如圖二十所示：



圖二十 收集粒子的基本因子

- (i) 慣性效應：因為粒子所擁有的運動慣性，自氣流之流線中分離向水滴、水膜或過濾用纖維衝擊的現象，其主要起因因為粒子與氣流之密度相異而引起的一種自然現象。
- (ii) 擴散效應：此為粒子呈布朗運動而產生接觸收集現象，此種現象與氣體之分子運動有關，特別是粒子愈微細則其影響就愈顯著。
- (iii) 阻礙效應：雖然粒子跟氣流同樣在運動，但是粒子還是有它的大小，可利用阻礙物之相接觸而達到收集之目的。
- (iv) 重力效應：運動中之粒子將受重力之影響而發生沈降，產生堆積附着現象。

實際上，這些基本因子都相互重疊作用的，至於對各因子之作用所佔的比例，可由下圖二十一表示，但也常隨粒子之大小與速度而異。假如比吾人所需要收集粉塵粒子直徑 $0.5 \mu\text{m}$ 還要小者，則以擴散為主要影響因子，但是比 $0.5 \mu\text{m}$ 還要大者，則以衝擊效應為主要的影響因子。至於以速度而論，速度小者，以擴散為主，速度大者，以慣性效應為主要控制因子。



圖二十一 粒子徑與速度對收集效果之影響

一般濕式及過濾式除塵設備之主要因子為粉粒子之慣性效應，以下乃依據力學的原理討論之。

今如考慮靜止物體之周圍，帶有粉塵的氣流在流動，則粉塵將受慣性之作用，自流線中脫離，再與物體相衝擊，因此，許多研究者，即由此模式來研究粒子運動與除塵效率之現象。研究者研究時，導出各種微分方程式，以數值計算方法，求出粒子之運行軌跡及除塵效率，從這些研究

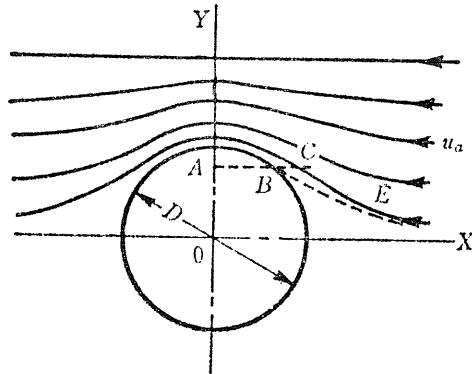
之結果發現，關於粒子之運動微分方程式都是非線性，而且其數值計算也不簡單，常需花費相當之時間，有的縱然利用電腦計算，也不是簡單的事，但爲了簡便起見，今列舉圓柱、平板、以及斜板的方法來討論各式之推導，再經由實驗證實其妥當性。

今假設的條件如下：

- ①圓柱及平板為無限長，把它們放置於含有粉塵氣流之流動的垂直方向上。
 - ②對粒子之作用，僅考慮承受自氣流 Stokes 阻力而已，因粉粒子的直徑很小，對於重力之作用，可以不必考慮。
 - ③當粒子離開物體很遠時，可把粒子之流速看成氣流之流速，但當粒子接近物體時，粒子將受慣性作用，從流線中脫出。
 - ④雖然粒子附着在圓柱或平板上，但其形狀及其周圍之流線不受改變。

3.3.2 受圓柱體所形成之除塵情形

如圖二十二，速度 U_a 之流線中，安置直徑為 D 之圓柱體。



圖二十二 圓柱周圍之流線

圓柱體之中心點做為直角座標 (X、Y) 之原點，k 為一無因次變數。

則

$$\text{圆柱方程式: } X^2 + Y^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$Y = \left\{ 1 - \frac{D^2}{4(X^2 + Y^2)} \right\} = kD \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

當流動中之粒子流至接近圓柱之某一相接近之距離時，受慣性作用之影響，則粒子將脫離原有之流線，而改變成 EB 曲線向圓柱衝擊。此種沿着流線流過來的粒子，附着在圓柱點設爲 B，再由該點作 X 軸之平行線 A B C，於 Y 軸交於 A 點，與流線之交點爲 C， $\overline{OA} = Y_0$ ， $\overline{BC} = \delta$ 則

$$\delta = \overline{AC} - \overline{AB} = \left[\left\{ \left(\frac{D}{2} \right)^2 - Y_0^2 \right\} + \frac{kD^3}{4(Y_0 - kD)} \right]^{\frac{1}{2}} - \left\{ \left(\frac{D}{2} \right)^2 - Y_0^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (3)$$

在此，今把粒子由流線中脫離向圓柱衝擊看成圓柱往流線移動 δ 距離情形相同。故今圓柱移向流線相接觸之距離 δ ，應當是此兩者之最小距離。

則由 $d\delta/dY_0 = 0$ 到接觸點之 Y 座標 Y_0 必能滿足下式

$$4Y_0^5 - 10kDY_0^4 - (1/2 - 8k^2)D^2Y_0^3 + (9/8 - 2k^2)kD^3Y_0^2 - k^2D^4Y_0/2 - kD^5/32 = 0$$

由於 k 值一般都很小，在 2 次以上之指數項可以省略不計，可化簡得

把(4)式代入(3)式整理可得

$$\delta = \frac{2\sqrt{2} k D}{(2\sqrt{2} - 5k)} \quad (5)$$

另一方面，直徑爲 d_s ，比重爲 γ_s 之粒子自流線脫離，往圓柱體附着之距離，在X方向成份爲S時，其時間爲 t ，則

今假設水平運動之粒子受空氣的阻力，其速度變化與時間之關係，可依據 Stokes 阻力定律來決定，則

$$t = \frac{r_s \frac{d_s^2}{18\mu g}}{\ell n \frac{u_{s0}}{u_s}} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

此式右邊的絕對值項為表示速度變化，不論是加速或減速，其變化由 u_{s0} 變成 $(1/e)u_{s0}$ 或由 u_{s0} 變成 $3eu_{s0}$ ，假設比此速度更慢時，將發生衝擊。

$$t = t_{\max} = \frac{\gamma_s d_s^2}{18\mu g} \dots \dots \dots \quad (8)$$

將(8)式代入(6)式則

$$\delta = \frac{u_a r_s d_s^2}{18 \mu g} \dots \dots \dots \quad (9)$$

由於(5)式與(9)式兩者是相等，經寫成等式再整理可得

又由前述除塵效率之定義，把氣流中之粒子，假設爲均勻分佈，則其效率可用向圓柱衝擊的粒子之流線從無窮遠飛向圓柱之寬 $2Y_x = \infty$ 與圓柱之直徑 D 比，來表示。在此種情形下，(2)式之 $X = \infty$ 時，則 $Y_{\infty} = kD$

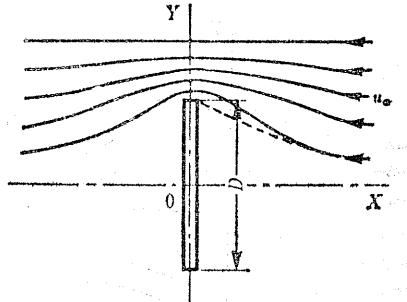
因此，除塵效率 η 為

$$\eta = \frac{Y_{x=\infty}}{\frac{D}{2}} = \frac{kD}{\frac{D}{2}} = 2k = \frac{4\sqrt{2}\lambda}{5\lambda + 4\sqrt{2}} = \frac{\lambda}{0.885\lambda + 1} \dots \dots \dots (12)$$

3.2.2 把平板裝設與流線成垂直狀態之除塵原理

如圖二十三所示，帶有粒子均勻流動之流線中，裝設一垂直於流線之平板，該平板之寬D，並以該平板之中心為座標軸之原點，今取座標(X、Y)考慮上半部，則流線之函數為：

$$\psi = u_a \left[\frac{(Y^2 - X^2 - D^2/4) + \{(Y^2 - X^2 - D^2/4)^2 + 4Y^2X^2\}^{1/2}}{2} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (13)$$



圖二十三 在平板周圍之流線

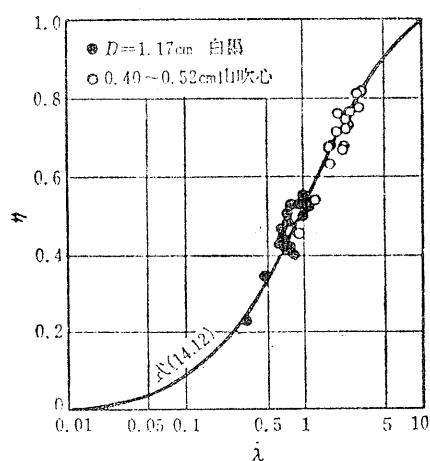
考慮方式跟圓柱相同，能被平板所收集的界限粒子之流線與平板相切所需距離，平板向X軸右方移動之距離相等，也就是等於(9)式。因(13)式的X、Y相切點座標 $(S, \frac{D}{2})$ 代入、再用(1)式，則切於平板之流線，可用下式表示之

$$\psi_{S, \frac{D}{2}} = u_a \left[\frac{-S^2 + S\sqrt{S^2 + D^2}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{u_a D}{2} \left[\frac{-\lambda^2 + \lambda\sqrt{\lambda^2 - 4}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (14)$$

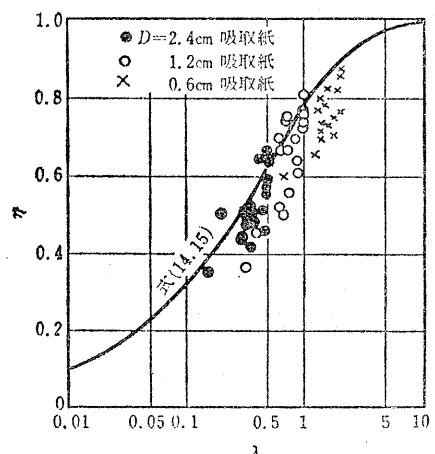
又由(13)式， $X = \infty$ 時，則 $\psi_{S, \frac{D}{2}} = u_a Y_{X=\infty}$ ，其除塵效率 η

$$\eta = \frac{Y_{X=\infty}}{\frac{D}{2}} = \frac{\psi_{S, \frac{D}{2}}}{\frac{D}{2}} = \left[\frac{-\lambda^2 + \lambda\sqrt{\lambda^2 - 4}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (15)$$

由理論所推導出來的(12)式與(14)式，經由實驗結果相比較如圖二十四，圖二十五，所示



圖二十四 圓柱對霧粒收集率

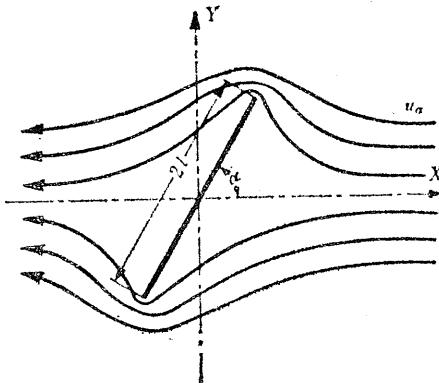


圖二十五 平板對霧粒收集率

由這些圖所示可知，理論值與實驗相近似。

3.2.3 把平板裝設與流線形成一傾斜角度之除塵原理：

如圖二十六所示，平板裝設或與流線成 α 角，平板寬為 D 的狀態來考慮其除塵的效果。以板之中心為座標軸之原點，座標為直角座標 (X, Y) 其流線函數為



圖二十六 在斜板周圍之流線

$$\left. \begin{aligned} K &= \left[\frac{(X^2 - Y^2 + D^2/4) + \{(X^2 - Y^2 - D^2/4)^2 + 4X^2Y^2\}^{1/2}}{2} \right]^{1/2} \\ M &= \left[\frac{(X^2 - Y^2 - D^2/4) + \{(X^2 - Y^2 - D^2/4)^2 + 4X^2Y^2\}^{1/2}}{2} \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

今考慮流線之上半部， $X = \infty$ 時則 $\psi_{(\frac{D}{2})\cos\alpha+s, (\frac{D}{2})\sin\alpha} = u_a Y_{X=\infty}$ 因此，除塵效率 η ，由(18)式可得

$$\eta = -\frac{Y_{x=\infty}}{\frac{D}{2} \sin \alpha} = -\frac{\psi(\frac{D}{2}) \cos \alpha + s_a(\frac{D}{2}) \sin \alpha}{u_a(\frac{D}{2}) \sin \alpha} = M \sin \alpha - (K - \lambda) \cos \alpha + 2 \cos^2 \alpha \dots \dots (19)$$

此式之 λ 由(11)式, K , M 由(17)式。

$$\left. \begin{aligned} K &= \left[\frac{\{(\cos \alpha + \lambda)^2 - \sin^2 \alpha + 1\} + [\{(\cos \alpha + \lambda)^2 - \sin^2 \alpha + 1\}^2 + 4 \sin^2 \alpha (\cos \alpha + \lambda)^2]^{\frac{1}{2}}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \\ M &= \left[\frac{\{(\sin \alpha - (\cos \alpha + \lambda)^2 - 1\} + [\{\sin^2 \alpha - (\cos \alpha + \lambda)^2 - 1\}^2 - 4 \sin^2 \alpha (\cos \alpha + \lambda)^2]^{\frac{1}{2}}}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

又圖之下半部想法也一樣，其切點座標爲 $\left\{-\left(\frac{D}{2}\right) \cos \alpha + s, -\left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha\right\}$ 其流線只要把上半部轉 180° 即可，其流線函數爲，

除塵效率

$$\eta = \frac{-Y_{x=\infty}}{-\left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha} = \frac{\psi_{\left\{-\left(\frac{D}{2}\right) \cos \alpha + s, -\left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha\right\}}}{u_a \left\{-\left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha\right\}} \\ = \frac{\psi_{\left\{\left(\frac{D}{2}\right) \cos \alpha + s, \left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha\right\}}}{u_a \left(\frac{D}{2}\right) \sin \alpha} \dots \dots \dots (22)$$

因此其結果與(19)式相等，所以對平板全體而論，其除塵效率，可用(19)式代表之。

3.2.4 使用衝擊除塵原理應用到濕式除塵。

前項中所考慮為 Stokes 的阻力定律，它適用於微小粒子中，但對於較大粒子，也同理可導出其慣性參數 λ 的計算式，例如下式即是。

Allen 的阻力定律，其適用範圍為中型的粒子

Newton 的阻力定律，其適用範圍為大粒子的情形，

利用水滴或機器的方式，使沾濕的面來收集粒子的除塵效率 η ，在理論上可用(12)式，(15)式或(19)式。這些式子中，所含的慣性參數 λ 是依據粒子之大小，比重來決定應使用那種阻力定律，即可由(11)式，(22)式及(24)式中選擇適合的式子。

今討論關於氣流中含有微粉粒子，使用噴射所形成的水滴，做為收集粉塵的情況。在此因為粉塵很微小，可視為與氣流同一速度在流動，當水被噴出之初，對氣流而言，仍保持某一速度，但很快地，其相對速度就會達到終端速度 u_t 。因此，在理論式中之 d_s 為粉粒子之直徑， D 為水滴的直徑， u_a 為相對速度以 u_t 來處理即可。

終端速度之計算式可由下列各式求之。

(i) 如水滴很小者，應可採用 Stokes 阻力定律

$$u_t \propto D^2, \lambda \propto u_t/D \propto D \quad \dots \dots \dots \quad (25)$$

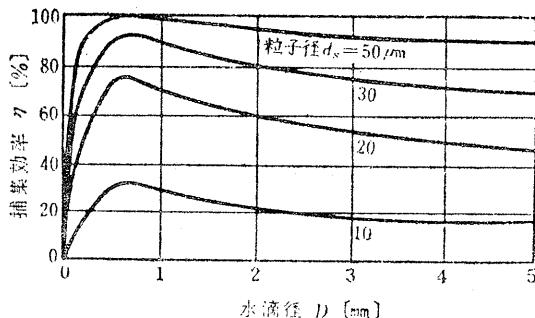
由此可知，水滴的直徑D愈大，則 λ 值就愈大，故可由(12)式之關係得知其除塵效率將增大。

(ii) 如水滴很大，應可採用 Newton 之阻力定律

亦即水滴之直徑D愈小，其 λ 值就愈大，再由(12)式可知，其除塵效率就大。

由上述之結果得知，要求得除塵效率最大，必有一最適當水滴直徑存在，也就是在流體阻力之中間範圍內，以重力場而言，其 $D = 0.1 \sim 1\text{mm}$ 之範圍，如果是以離心力場的情形，其 D 徑將會更小。

在重力場之情形，用(12)式計算，以水滴直徑D與除塵效率 η 之關係可由圖二十七來表示。



圖二十七 重力場上水滴之直徑與除塵效率之關係

以上所討論的雖然是以一滴水滴的除塵現象，但是，如用一定量水條件下，水滴羣之全投影面積與水滴直徑將成反比例地增大。此種情形，假如其除塵效率，一滴水滴之除塵效率與水滴羣的全投影面積之乘積成比例，則其噴射的水滴之大小最好要比一滴水滴所能得到最大除塵效率還要小的一水滴，才能獲得最大之除塵效率。

3.3 除塵效率

含塵氣體之風量 Q ，或空氣在除塵裝置內之微小距離 ΔX 中流動時，其含塵濃度之變化量為 ΔC ，則收集到粉塵量應為 $-Q \cdot \Delta C$ 。

直徑爲 D ，一個球形液滴對粉塵之衝擊效率爲 η_D 時，則 $\eta_D = (\frac{\ell}{D})^2$ ，此 ℓ 表示向液滴衝擊之流線液滴在很遠處之寬度。又單位時間內，液滴之移動距離爲 r ，裝置內之空氣通過距離爲 L ，單位時間之全噴霧量爲 W ，則微小距離 ΔX 所收集粉塵量可由下式表示之。

$$-Q \cdot \Delta C = \frac{W \times (\Delta X / L)}{\pi D^3 / 6} \times \eta_D \frac{\pi}{4} D^2 \times c_f = \frac{3}{2} \frac{C_{\eta_D} W r}{L D} \Delta X$$

此式由裝置入口至出口為止，對C而言為 C_i 至 C_e 為止，x 為由 O 至 L 為止積分後，整理得

$$\ln \left(C_e / C_i \right) = -\frac{3}{2} - \frac{\eta_D W_r}{D_O}$$

因對裝置整體之除塵效率 η ，可由(3)式來表之，則由上式得

$$\eta = 1 - \frac{C_e}{C_i} = 1 - \exp \left\{ - \frac{3}{2} \frac{\eta_D Wr}{DO} \right\} \dots \dots \dots (28)$$

3.4 處理風量對除塵效率之變化

正常的風量 Q_n ，其除塵效率為 η_n 之濕式衝擊式除塵器，常在不同風量 Q 中操作時之除塵效率 η 可由下式表之。

一般像文氏除塵器之情形，處理氣體量愈多即 throttle 之流速 U_j 就愈大，及液氣比（處理風量每 $1m^3$ 之噴射水量 ℓ ）愈多，其除塵效率就愈好，但是文氏除塵器，其壓力損失比一般之除塵器要大很多，為其缺點。其壓力損失 ΔP_m ，可由下式表示。

實用上，為了使壓力損失不致於太大，以減輕送風機之動力，一般採用 $W = 0.4 \sim 0.7 \text{ kN/m}^3$, $U_i = 60 \sim 80 \text{ m/sec}$ 來設計。

3.5 異常現象與解決方法

濕式除塵設備之唯一特徵是使用水來收集粉塵之一種方法。因此要比其他方式之除塵設備還會有更多的異常現象發生，其主要原因乃是由水所引起的為多。例如供水、排水設備的機械磨損，控制不良，水位不夠，排氣管之阻塞、腐蝕之發生等。尤其是採用噴水或噴霧方式，常見有噴嘴阻塞現象。故在設計之初，應特別考慮所設計之構造必須是不易附着粉塵者，此外，亦考慮設計之構造，要能容易檢查，清掃及交換者。

如果，收集之粉塵以 Sludge 狀態排出，必須特別考慮其處理與污水處理。為此，常因本身之設備費佔很少，但操作費及污水處理費用大，工程人員在規劃時必須事先做周詳研究後才能決定。

然而，一般需要能除塵同時吸收有害氣體兩者兼顧者，大部分都採用以此法爲主，也就是它的長處所在，常被利用於煉鋼廠及許多化學工廠。

至於濕式除塵設備，有各樣的形式，而且其實際情形也不盡相同，今只列出一般常見的異常現象及其解決方法。

(一) 現象：吸引不良

原因	解決方法
(1) 抽風量降低 (a) 壓力降太大 (b) 冷却不良 (c) Damper 之關閉不良 (d) 排氣管 Damper，之阻塞 (e) 葉輪粉塵附着 (f) 葉輪磨損，腐蝕 (g) 輸送帶滑脫 (h) 承軸阻力太大	縮小 Damper，降低送風機之回轉數 增加冷却水量以提高熱傳效果 清掃、調整控制回路 清掃、調整 清掃 增補其厚度，或更換新品 從新調整其鬆緊度 清掃、調節、供油
(2) 漏空氣 (a) 變曲，破損所生之孔隙 (b) 鎖緊操作不良 (c) 磨損、腐蝕穿孔 (d) Damper 閥門操作不良	修理焊接 從新鎖緊 修理焊接 調整修理、更換新品

(二) 現象：排氣不清潔

(1) 供水不足 (a) 供水量及水壓不足 (b) 供水管、閥門阻塞 (2) 水位不足、水位太高 (3) 噴霧不良 (a) 阻塞噴嘴 (b) 噴霧粒子徑太小 (c) 噴霧粒子徑太大 (d) 噴霧偏向 (4) 水滴外洩 (a) 水位過高 (b) 分離不良	檢查泵浦或修理 清掃、變更構造，變更材質 清掃水位調整裝置或改良 清除 降低供水壓力，清除噴嘴 增加供水壓力，更換新噴嘴 從新調整噴嘴方位。 清掃水位調節裝置 風速太慢，改良構造
---	---

(三) 現象：粉塵 Sludge 排放不好

(1) 在機械內附着 (2) 排出管、閥門阻塞 (3) 腐蝕穿孔 (4) Sludge 排出機不良	清掃，改良構造、水洗構造物 清掃，改良構造 修理焊接、變更材質 清掃、調節、改良構造
--	---

(四) 現象：排水污染

(1) 粉塵分離不良 (2) 化學處理不良	整理沈澱池 加強化學處理度
--------------------------	------------------