

空氣污染防治技術(十)

—空氣污染控制設備研選之重要數據收集—

鄭福田*

一、前

言

煙道廢氣處理與高煙肉排放，乃是工廠空氣污染之最後二道防線，否則只好聽憑污染物任意排放，污染週遭環境了。欲圓滿達到這兩種控制方法之目的，必須對廢氣特性，充分瞭解，才能選取適當之處理方法，計算處理設備之容量，預期處理之效果。廢氣特性方面，又因污染物存在之型式不同而可區分為粒狀性污染物及氣體性污染物；氣體性污染物（如二氧化硫，氮氧化物等）由於氣體分子之擴散特性能充分如載流氣體(carrier gas)混合，因此在廢氣採樣分析上比較不會產生重大之誤差。粒狀物方面，由於顆粒本身之慣性力以及在煙道中之流動特性，較難採集到真正代表煙道廢氣特性之粒狀物樣品。

目前臺灣工廠所安裝之空氣污染控制設備，由於不能充分掌握其廢氣之特性，以致處理設備容量太大，太小甚或選用不適合之處理方法或設備，實有必要介紹載流氣體與污染物之各種特性及其對於處理設備，處理效率之影響，本文本期將先介紹煙道廢氣粒狀物採樣應注意之事項，以供採樣分析之參考。

二、等速採樣之理論 (Theory of Isokinetic Sampling)

為採集到具有代表性之煙肉廢氣試樣，在採樣點抽取微粒進入採樣管之速率必須和煙道廢氣流之平均速率相等才可，此即為等速採樣。若非等速採樣，則會因下列兩種原因而使採樣結果產生系統性誤差：(1)在大於或小於等速情況下採樣時，會得到較大或較小體積之樣品，(2)粒徑大於 $3 \sim 5 \mu$ 之微粒具有足夠之慣性力，以致微粒運動明顯地偏離氣體流線模式，因此所採取微粒之粒徑分佈便與實際存在於煙道者不同。

一般粒徑小於 4μ 者可忽略其慣性力，故其運動遵循載流氣體之流線，粒徑大於 50μ 之微粒，則因其具足夠之慣性力，故其運動與載流氣體之流線無關，至於粒徑 $4 \sim 50 \mu$ 之微粒其運動之相對行為(Relative behavior)可用慣性力參數 K_1 來加以描述， K_1 值越大，則慣性力越大。

$$K_1 = \frac{C \rho_p D_p^2 U_s}{18 U_g D_n} \quad (1)$$

其中 C = 無因次修正係數

ρ_p = 微粒密度 lb/ft^3

* 臺灣大學環境工程研究所副教授
本小組委員

D_p =粒徑, ft

U_s =氣體流速, ft/sec

U_g =氣體粘滯性, $\text{lb}/\text{ft} \cdot \text{sec}$

D_n =採樣孔口直徑, ft

若慣性力參數小於0.05，則慣性影響可忽略，若其值大於50.0，則微粒運動行為與載流氣體之流線無關。

三、影響等速採樣之因素

1. 採樣速率之影響

Watson 藉方程式(2)來描述當採樣速率和煙道廢氣平均流速不同時，其採集之微粒濃度與真正微粒濃度之相對關係：方程式如下：

$$\frac{C_m}{C_s} = \left(\frac{U_s}{U_n} \right) \left\{ 1 + f(p) \left[\left(\frac{U_n}{U_s} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \right\}^2 \quad (2)$$

其中 C_m =量測之微粒濃度, grains/ ft^3 ($1\text{lb}=7000\text{grains}$)

C_s =廢氣之真正微粒濃度, grains/ ft^3

U_s =在採樣點廢氣流之真正流速, ft/min

U_n =在採樣孔口處之平均氣體流速, ft/min

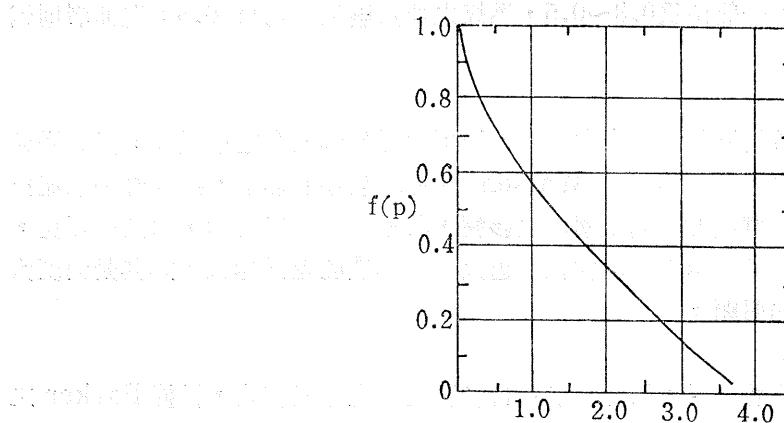
$f(p)=P$ 之函數，依式(3)及圖一決定之

$$P = \frac{\rho_p D_p^2 U_s}{18 U_g D_n} \quad (3)$$

其中 D_p =採樣孔口頂之內徑, ft

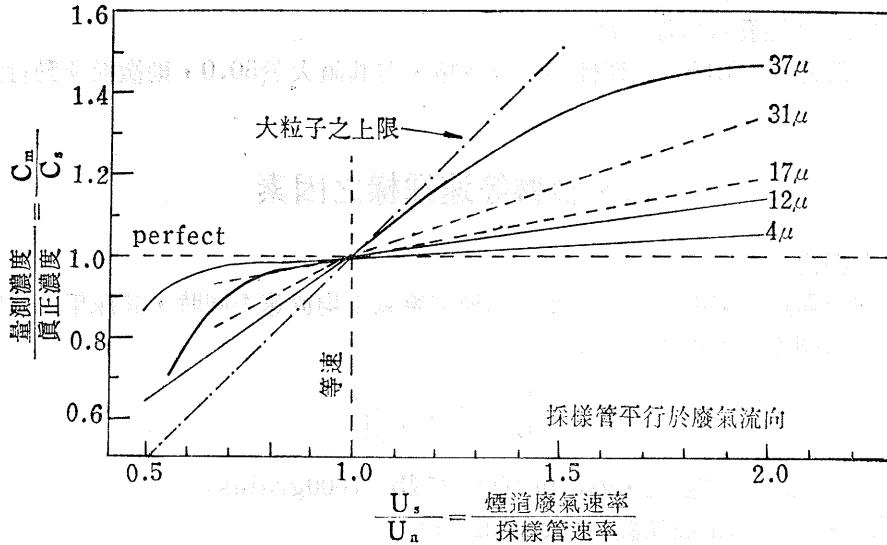
ρ_p =微粒密度, lb/ft^3

D_p =微粒粒徑, ft



圖一 $f(p)$ 與 P 之關係

由以上可見，不在等速條件下採樣時，則需要有微粒之粒徑分佈，才能作適當之修正。Watson 綜合速度與粒徑之關係，加以測定實驗，其結果如圖二。



圖二 量測濃度受採樣速率影響圖

由圖二可見，對粒徑 4μ 之微粒而言，採樣管速度小於廢氣平均等速率時，所量測之微粒濃度誤差僅為 10%，而粒徑愈大且愈偏離等速採樣情況時，則有較明顯之誤差。

Badzioch 用方程式(4)表示在偏離等速採樣時，量測濃度與真正濃度比之變化情況。

$$\frac{C_m}{C_s} = K_1 \left(\frac{U_s}{U_n} \right) + (1 - K_1) \quad (4)$$

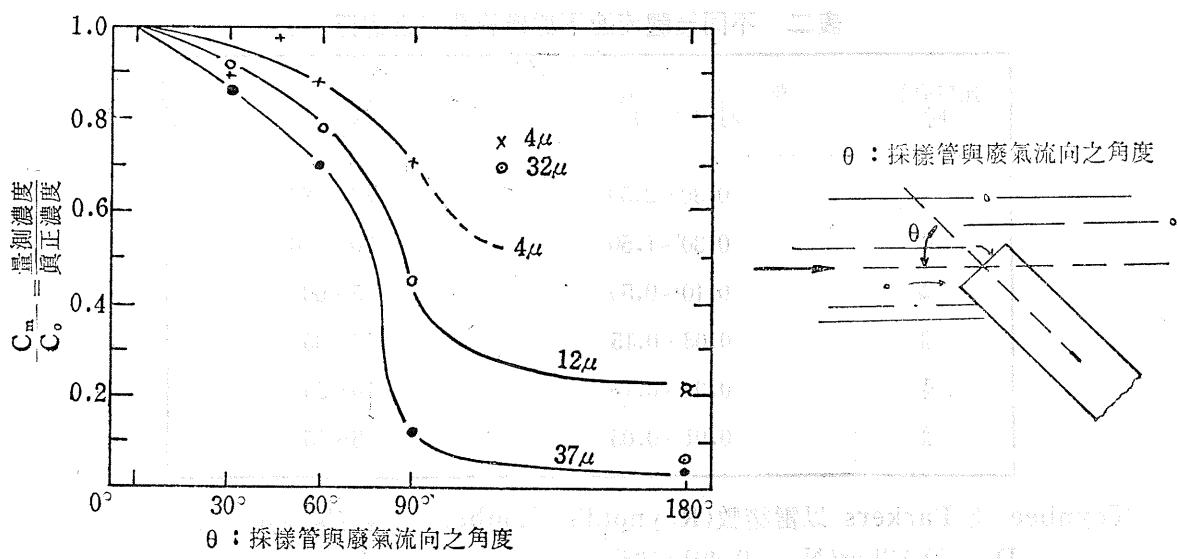
其中 C_m, C_s, U_s, U_n 之意義同前， K_1 為慣性參數，對粒徑小於 5μ 之微粒而言， K_1 值趨近於零，對大微粒而言，則近於 1，一般值為 $0.3 \sim 0.5$ ，燃煤之煙道廢氣平均為 0.5，燃油者則因微粒粒徑小， K_1 幾乎為 0。

2. 採樣管與廢氣流方向之影響

採樣管內廢氣流方向應與煙道內廢氣流之方向平行，否則會採集到較多之小微粒，但大顆粒反而比真正之情況者少，因而產生誤差。圖三乃 Watson 研究在等速採樣時，採樣管和氣流排列之角度變化對不同粒徑微粒其量測濃度與真正濃度之影響，其結果如圖三所示，由圖三可見，量測濃度皆小於真正濃度，排列之角度越大且微粒粒徑越大，則其濃度差異越大，尤其是角度大於 30 度，且粒徑在 4μ 以上者更加明顯。

3. 採樣孔口形狀之影響

採樣孔口乃煙道廢氣進入採樣管之處，因此其形狀會影響廢氣之流線模式，根據 Parker 之研究，刀刃形 (knife-edge) 採樣管，自外側面逐漸向內尖銳化，形成銳利邊緣，其對載流氣流線之擾動比其他如方形者為小，Hawksley 亦發現方形等 (Square-edged)，會使較大之顆粒「跳入」(bounce) 採樣管中。



圖三 採樣管角度對量測結果之影響

4. 採樣孔口大小之影響

採樣管進氣口之大小有一下限值，其原因有二：(1)不適當之孔口截面積會排除掉某些大微粒而產生系統誤差。(2)孔口面積減少一倍，則單位時間內所採之氣體體積減少 1.5倍，因而使隨機誤差增大。燃煤或燃油之燃燒源或其他製造源之採樣管孔口內徑至少為 $\frac{1}{8}$ 吋，而焚化爐排氣之微粒粒徑較大，故應使用 $\frac{1}{8}$ 吋者。

Hemeon 及 Haines 曾研究三種採樣口徑($\frac{1}{8}$ "", $\frac{1}{4}$ "", $\frac{3}{8}$ "")對於粒徑 $5 \sim 25 \mu$, $400 \sim 500 \mu$ 之微粒採樣時微粒濃度之影響，結果發現對小顆粒而言，三種口徑並無明顯之影響，但對大顆粒而言， $\frac{1}{8}$ "者所收集之微粒少於口徑較大者，其結果如表一所示。

表一 採樣管孔口大小對微粒收集效率之影響

孔口大小 (吋)	$C_m / C_o = \frac{\text{量測濃度}}{\text{真正濃度}}$					
	小微粒			粗微粒		
$\frac{1}{8}$	1.00~1.04			0.78~0.80		
$\frac{1}{4}$	1.00~1.03			0.84~0.90		
$\frac{3}{8}$	1.00			1.00		

採樣孔口亦不能太大，否則難以維持等速採樣，其大小依廢氣來源及所用採樣設備而定，一般為 $\frac{1}{8} \sim 1\frac{1}{2}$ 吋。

如使用套筒式 (thimbles)，衝擊器或過濾系統作微粒之收集介質，且氣體之流量範圍在 $0.5 \sim 2.0 \text{ cfm}$ ，壓力差範圍為 $1.0 \sim 10.0 \text{ mmHg}$ 者，則採樣孔口大小之選擇可如表二所示者。

表二 不同氣體流速下採樣管孔口之選擇

孔口直徑 吋	壓力差範圍 吋(水柱)	速度範圍 呎/秒
$\frac{3}{16}$	0.80~2.50	80~180
$\frac{1}{4}$	0.30~1.50	50~120
$\frac{5}{16}$	0.10~0.50	25~60
$\frac{3}{8}$	0.03~0.15	15~35
$\frac{1}{2}$	0.02~0.10	10~25
$\frac{5}{16}$	0.01~0.03	5~15

Toynbee 及 Parkers 以雷諾數(Reynold's Number)來選定採樣孔口之大小，如公式(5)

$$D_n = [0.33 \log(N_{Re} - 0.491)]^{0.25} \quad (5)$$

其中 $N_{Re} = \frac{\rho_g U_n D_n}{\mu_g}$ 為雷諾數，其餘符號如前。

四、後語

本文僅是煙道廢氣採樣分析之開端，爾後將針對各種重要控制設備研究參數作系列之介紹。