

# 空氣中粒狀污染物自動檢測方法—慣性質量法

中華民國 89 年 11 月 30 日(89)環署檢字第 71416 號公告  
自中華民國 90 年 3 月 2 日起實施  
中華民國 101 年 12 月 28 日環署檢字第 1010119225 號公告修正  
自中華民國 102 年 1 月 15 日起實施  
NIEA A207.10C

## 一、方法概要

空氣中的粒狀污染物經由粒徑篩分器，以適當的吸引量採集到濾紙上，濾紙直接裝在擺動式錐狀微量天平上，直接測出瞬間重量的變化，再經儀器自動換算出即時濃度值。

## 二、適用範圍

本方法適用於空氣中粒徑在 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下之粒狀污染物 ( $\text{PM}_{10}$ ) 濃度之自動測定，其適用濃度範圍介於  $0 \sim 5 \times 10^6 \mu\text{g} / \text{m}^3$  ( $5 \text{ g} / \text{m}^3$ )。

## 三、干擾

- (一) 水氣可能形成干擾，可以適當加熱控制機制排除之。
- (二) 檢測元件之加熱控制機制可能會造成某些揮發性成分散失 (例如：硝酸鹽)，在此狀況下可設定「大氣溫度」進行採樣或自行評估差異性。

## 四、設備

以慣性質量法為原理之自動分析儀器，其性能需符合表一所列規範，一般而言，此種自動檢測儀，其空氣採樣流程及重要單元如圖一所示。主要元件如下：

- (一) 粒徑篩分器及分流器：
  1. 粒徑篩分器：需能篩除氣動粒徑大於 10 微米之粒狀污染物，其 50 % 收集效率下之粒徑截斷點 ( $D_{50}$ ) 為  $10 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 。
  2. 採樣空氣分流器：可視需要設置採樣空氣分流器，使經過粒徑篩分器之採樣流以等速流體方式分成兩部分，主流量進入檢測元件

進行檢測，輔助流量由旁路濾出。

(二) 慣性質量檢測元件：

採樣濾紙直接裝置在慣性質量檢測元件上，將主流量中的粒狀污染物採集在濾紙上，藉由檢測元件擺動頻率改變直接量測粒狀物重量。在濕度大的環境中須有適度加熱控制機制，本方法建議控溫在 30 - 50 °C 之範圍，以抑制濾紙或採集之微粒吸收水份（濕度），惟如以高於環境溫度操作時，應考慮可能因採樣之微粒揮發所致誤差。

(三) 控制單元：

須有採樣流量控制、數值計算及紀錄、濾紙負載指示等功能。

(四) 真空吸引泵 (Vacuum pump)：

真空吸引泵及其流量，必須能使整體採樣順利操作。

## 五、試劑

(一) 採樣濾紙：採用被覆鐵弗龍之玻璃纖維濾紙 (Teflon - coated glass fiber filter cartridges; Pallflex EMFAB TX40HI20WW)，若欲作化學分析，則可使用其他特殊材質濾紙。濾紙之採集效率應由原製造商出廠時，經過鄰 - 苯二甲酸二辛酯試驗 (o - Dioctyl Phthalate test; DOP test)，確認對於粒徑 0.3 μm 之粒狀物具有 99.5 % 之捕集效率。

(二) 標準濾紙：材質與採樣濾紙相同，且經精密天平 (可追溯之標準微量天平，如 NIST - traceable microbalance) 秤重，質量確認，精秤到 0.01 mg。

## 六、採樣與保存

本檢測方法為現場直接自動採樣檢測，樣品無須保存及運送。

## 七、步驟

(一) 操作程序：

將粒狀污染物自動檢測儀器設置妥當後，先行檢查管路系統等配備，確定無誤，方可進行檢測工作。儀器操作方法會因廠牌不同而異，一般操作程序如下：

1. 依分流器之型式設定主流量與輔助流量，總流量應等於主流量與輔助流量之和。
2. 視需要設定除濕溫度。
3. 裝上收集濾紙。
4. 起動儀器，完成自動暖機程序後，開始採樣檢測。

## (二) 流量檢查：

採用小孔流量校正器（可追溯性之標準如 NIST - traceable）及差壓計，把粒徑篩分器（採樣頭）取下，直接把小孔流量校正器套在分流器上，讀取壓差值，代入公式(1)，計算流量：

$$Q_{act} = \left[ m \left( \sqrt{\frac{(\Delta P)(T_{amb})}{(P_{amb})}} \right) \right] + b \dots\dots\dots (1)$$

$Q_{act}$ ：小孔流量校正器實際流量。(L / min)

$m$ ：小孔流量校正器參數。(常數)

$b$ ：小孔流量校正器參數。(常數)

$\Delta P$ ：差壓計讀值。(水柱)

$T_{amb}$ ：當時之凱氏溫度。(K = °C + 273)

$P_{amb}$ ：當時之大氣壓力。(atm)

## (三) 流量校正：

### 1. 零點流量 / 全幅流量校正：

- (1) 在流量校正前需將所有流量控制器類比輸出 / 輸入之電壓校正後，方可進行。

- (2) 連接流量計和主流量控制器。
  - (3) 打開儀器電源，待儀器穩定後，開始進行流量校正。(暖機時間依各廠牌設計不同，一般而言，流量校正前未運轉者，暖機 30 分鐘；流量校正之前是在運轉狀態者則暖機 5 分鐘)。
  - (4) 零點流量校正：將流量控制器流量設定為 10 % 之全幅，調撥電子接點以使主流量誤差在  $\pm 0.03 \text{ L / min}$  以內；輔助流量誤差在  $\pm 0.2 \text{ L / min}$  以內。
  - (5) 全幅流量校正：將流量控制器流量設定為 90 % 之全幅，調撥電子接點以使主流量誤差在  $\pm 0.03 \text{ L / min}$  以內；輔助流量誤差在  $\pm 0.2 \text{ L / min}$  以內。
2. 操作流量檢查：將流量控制器流量設定為實際操作之流量，檢查主流量誤差是否在  $\pm 0.03 \text{ L / min}$  以內；輔助流量誤差是否在  $\pm 0.2 \text{ L / min}$  以內，否則應重新做校正。

## 八、結果處理

(一) 在慣性質量系統中，質量的大小與振動頻率的關係如公式(2)：

$$f = (K/M)^{0.5} \quad \text{或} \quad M = \frac{K}{f^2} \dots\dots\dots (2)$$

$f$ ：頻率。(radians / sec)

$K$ ：彈簧常數。(Spring rate)

$M$ ：質量。(Mass)

由於  $K$  是常數，所以可得質量改變與頻率的關係如公式(3)：

$$dm = k_0 \left\{ \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_0^2} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$dm$ ：質量的變化量。

$K_0$ ：彈簧常數。

$f_0$ ：初始頻率 (Hz)

$f_1$ ：最終頻率 (Hz)

(二) 慣性質量法粒狀污染物自動檢測儀濃度計算如公式(4)：

$$C = \frac{m}{Q \cdot t} \times 10^3 \dots\dots\dots (4)$$

C：濃度 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

m：粒狀物質量 ( $\mu\text{g}$ )

Q：採樣流量 (L / min)

t：採樣時間 (min)

(三) 由於自動檢測儀器有微電腦處理系統可自行計算，使用者直接讀取儀器輸出資料即可，無需做任何換算。

## 九、品質管制

### (一) 洩漏檢查

每次更換濾紙或每季應定期執行系統管路洩漏檢查，儀器主流量與輔助流量之洩漏檢查都必須低於 0.15 L / min 以下。

### (二) 流量校正

每季需以標準流量計依七、(三) 執行流量校正。

### (三) 質量校正

每季應執行質量校正，其步驟如下：

1. 取一個已知重量 (m) 的慣性質量法校正用標準濾紙，此濾紙應經過精密天平 (可追溯性之標準微量天平如 NIST - traceable microbalance) 秤重後保存於乾燥器中。
2. 將採樣濾紙自慣性質量元件上取下，使儀器維持操作狀態，待儀器頻率穩定時，記錄當時操作頻率 ( $f_0$ )。

3. 再將校正用標準濾紙裝上，使儀器維持操作狀態，待儀器頻率穩定時，記錄當時操作頻率 ( $f_1$ )。
4. 將 ( $f_0$ )、( $f_1$ ) 及慣性質量法校正用標準濾紙的重量 ( $M_{Filter}$ ) 代入公式(5)計算  $K_0$  校正值：

$$K_0 = \frac{M_{Filter}}{\left\{ \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_0^2} \right\}} \dots\dots\dots (5)$$

$K_0$  校正值 (Implied  $K_0$ )；此值與儀器出廠時的原始  $K_0$  值之差異需低於  $\pm 2.5\%$ ，若高於此範圍時需再重做一次，其結果仍高於此範圍時應進行維修調整。

- (四) 儀器新設置、移動、儀器停機三日以上或故障修復後應重覆上述步驟。
- (五) 應定期對有疑議之測站以 PM - 10 高量採樣法作數據數值比對測試。

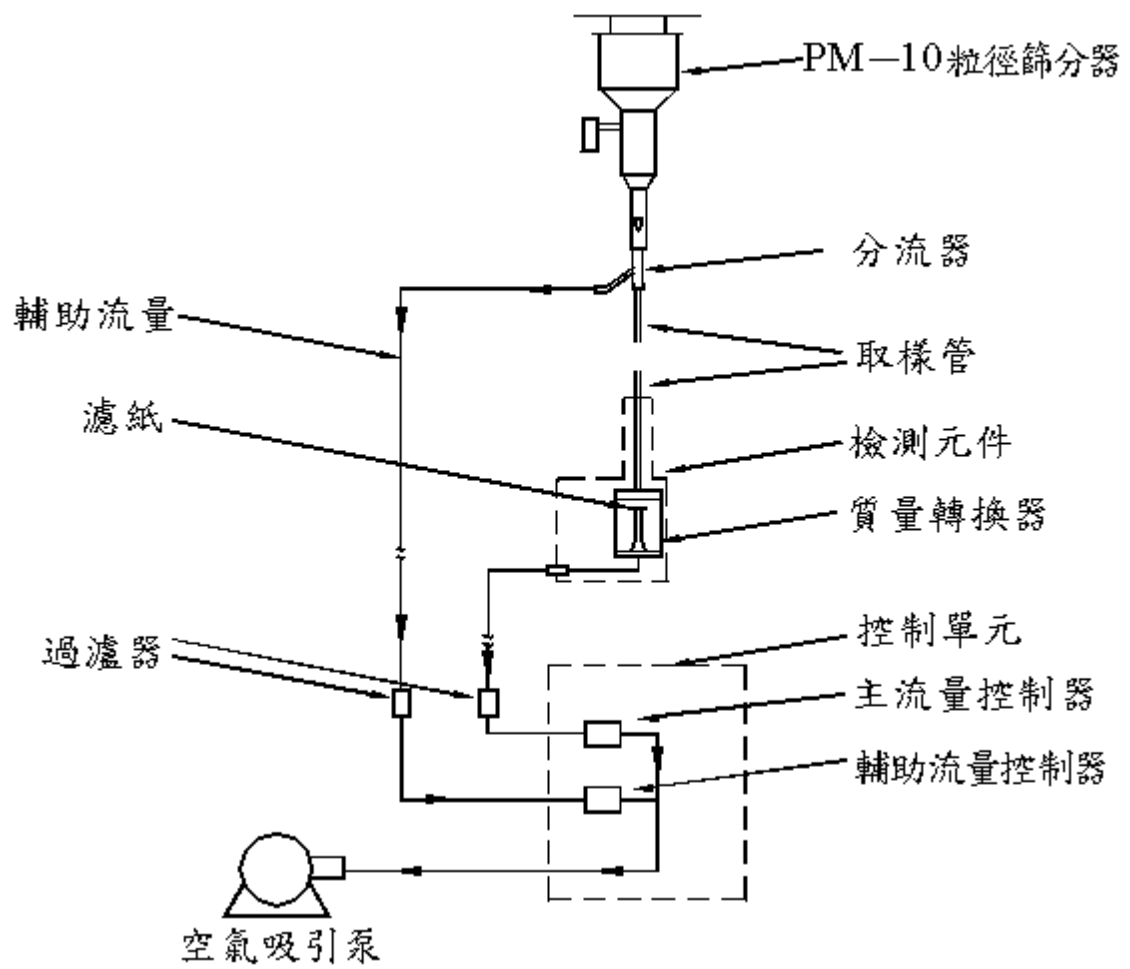
#### 十、準確度及精密度

準確度 (Accuracy)： $\pm 0.75\%$ ；精密度 (Precision)： $\pm 1.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 。

#### 十一、參考資料

- (一) Biotechnology R&D Quality Assurance, "Microweighing Goes on Line in Real Time," Research & Development Technical Publishing. , June 1986
- (二) Rupprecht & Patashnick Co., Inc. USA, "TEOM Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor – Operating Manual, Revision B", May 1996
- (三) US EPA "Supplemental Interim Guidance for Quality Assessment of Continuous PM<sub>10</sub> Analyzers", Quality Assurance Branch/AMRD, William J. Mitchell (MD - 77B) & Frank F. McElroy (MD - 77), November 3, 1995

- (四) US EPA “Revised Requirements for Designation of Reference and Equivalent Methods for PM<sub>2.5</sub> and Ambient Air Quality Surveillance for Particulate Matter ; Final Rule” 40 CFR Parts 58, Appendix A, July 18, 1997
- (五) US EPA “Revised Requirements for Designation of Reference and Equivalent Methods for PM<sub>2.5</sub> and Ambient Air Quality Surveillance for Particulate Matter ; Final Rule” 40 CFR Parts 53, Section 53.34 Test procedure for methods for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, July 18, 1997
- (六) ACUREX Corporation “TEOM Series 1400 Ambient Particulate Monitor PM<sub>10</sub> Equivalent Method Tests”, Acurex Project No. 9446, May 18, 1990
- (七) RWTÜV ANLAGENTECHNIK GMBH “Report on the supplementary test of the TEOM airborne Particulates concentration measuring instrument, Model 1400a, Revision B, from Rupprecht & Patashnick Co., Inc., 25 Corporate Circle, Albany, NY 12203, USA” Fall 1996



圖一、系統氣體流程示意圖



表一、空氣中 PM<sub>10</sub> 粒狀物檢測儀器測試規範

規 範 (Specification)		PM <sub>10</sub>
1、可接受濃度範圍 (R <sub>j</sub> ) μg / m <sup>3</sup>		30 — 300
2、檢測位址之最少數目		2
3、每個檢測位址上候選方法採樣器之數目		3
4、每個檢測位址上參考方法採樣器之數目		3
5、PM <sub>10</sub> 採樣器在每個採樣位址上可接受之最少採樣樣品數目	R <sub>j</sub> < 80 μg / m <sup>3</sup>	3 以上
	R <sub>j</sub> > 80 μg / m <sup>3</sup>	3 以上
	總 數	10
6、參考方法重複採樣之精密度 (P <sub>j</sub> 或 RP <sub>j</sub> , 各以最大值表示)		5μg / m <sup>3</sup> (P <sub>j</sub> ) 或 7 % (RP <sub>j</sub> )
7、參考方法與候選方法兩者間之迴歸運算關係斜率		1±0.1
8、參考方法與候選方法兩者間之迴歸運算關係截距 μg / m <sup>3</sup>		0±5
9、參考方法與候選方法兩者間之相關性		≥0.97

附註：1. 參考方法 (reference method) 係泛指人工稱重檢測方法。

2. 候選方法 (candidate method) 係指欲進行測試之方法。

3. R<sub>j</sub> 表示參考方法檢測儀器採樣所得濃度範圍。

4. P<sub>j</sub> 係參考方法檢測儀器所得濃度 < 80 μg / m<sup>3</sup> 時，其精密度以計算樣品偏差值表示。

5. RP<sub>j</sub> 係參考方法檢測儀器所得濃度 > 80 μg / m<sup>3</sup> 時，其精密度以計算樣品偏差百分比表示。

6. 計算公式：

(1) 計算平均濃度

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^3 R_{ij}}{3}$$

$$\bar{C}_j = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{ij}}{3}$$

$R_{ij}$ : 第  $j$  組檢測樣品中，參考方法之第  $i$  個採樣器所得濃度值 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )。

$C_{ij}$ : 第  $j$  組檢測樣品中，候選方法之第  $i$  個採樣器所得濃度值 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )。

$\bar{R}_j$ : 第  $j$  組檢測樣品中，參考方法之 3 個採樣器濃度平均值 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )。

$\bar{C}_j$ : 第  $j$  組檢測樣品中，候選方法之 3 個採樣器濃度平均值 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )。

(2) 計算參考方法採樣器檢測所得濃度值之精密度

A. 當第  $j$  組檢測樣品之參考方法採樣器濃度範圍  $< 80 \mu\text{g} / \text{m}^3$  時，參考方法重複採樣之精密度計算公式為

$$P_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 R_{ij}^2 - \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 R_{ij} \right]^2}{2}}$$

$P_j$ : 第  $j$  組檢測樣品中，參考方法之重複採樣偏差值 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )。

B. 當第  $j$  組檢測樣品之參考方法採樣器濃度範圍  $> 80 \mu\text{g} / \text{m}^3$  時，參考方法重複採樣之精密度計算公式為

$$RP_j = \frac{1}{R_j} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 R_{ij}^2 - \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 R_{ij} \right]^2}{2}} \times 100 \%$$

$RP_j$ : 第  $j$  組檢測樣品中，參考方法之重複採樣偏差百分比 (%)。

(3) 篩選可接受之檢測樣品組。當第  $j$  組檢測樣品中參考方法之樣品濃度超過  $30 - 300 \mu\text{g} / \text{m}^3$  之範圍時，或者當精密度  $P_j$  或  $RP_j$  超過  $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$  或  $7 \%$  之限值時，均需捨棄該  $j$  組全部檢測樣品。至少選擇 2 個位址進行測試，每個檢測位址上，篩選後可接受之檢測樣品組數目必須達 10 組 (含) 以上。

(4) 線性回歸運算候選方法與參考方法樣品平均濃度，以決定該候選

方法檢測儀器是否測試通過。針對每個檢測位址上，各組候選方法樣品之平均濃度 ( $\bar{C}_j$ ) 與參考方法樣品之平均濃度 ( $\bar{R}_j$ ) 進行線性回歸運算，當每個檢測位址均達到斜率符合  $1 \pm 0.1$ 、截距符合  $0 \pm 5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 、相關係數符合  $\geq 0.97$  之限值時，該候選方法檢測儀器為測試通過。

參考資料：US EPA “Revised Requirements for Designation of Reference and Equivalent Methods for PM<sub>2.5</sub> and Ambient Air Quality Surveillance for Particulate Matter ; Final Rule, 40CFR Parts 53, Table C - 4. Test Specifications for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Methods ”  
July 18, 1997