

# 空氣中粒狀污染物自動檢測方法—慣性質量法

中華民國 108 年 4 月 30 日環署授檢字第 1080002412 號公告  
自中華民國 108 年 8 月 15 日生效  
NIEA A207.11C

## 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小於等於 10 微米( $\mu\text{m}$ )之懸浮微粒( $\text{PM}_{10}$ )濃度之自動測定，其適用濃度範圍介於  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  至  $5 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $5 \text{g}/\text{m}^3$ )。

## 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、設備與材料

以慣性質量法為原理之自動檢測儀器，其性能需符合表一所列規範，一般而言，此種自動檢測儀，其空氣檢測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：需能篩除氣動直徑大於 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  $10 \mu\text{m} \pm 0.5 \mu\text{m}$ 。
2. 檢測空氣分流器：可視需要設置檢測空氣分流器，使經過粒徑篩分器之檢測流以等速流體方式分成兩部分，主流率進入檢測元件進行檢測，輔助流率由旁路濾出。

### (二) 慣性質量檢測元件：

檢測濾紙直接裝置在慣性質量檢測元件上，將主流率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  $30^\circ\text{C}$  至  $50^\circ\text{C}$  之範圍，以抑制濾紙或採集之微粒吸收水分(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：

須有檢測流率控制、數值計算及紀錄、濾紙負載指示等功能。

(四) 真空吸引泵 (Vacuum pump)：

真空吸引泵及其流率，必須能使整體採樣順利操作。

## 五、試劑

(一) 檢測濾紙：採用被覆鐵氟龍之玻璃纖維濾紙 (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  $\mu\text{m}$  之粒狀物具有 99.5% 以上之捕集效率。

(二) 標準濾紙：材質與檢測濾紙相同，且經可追溯至國家或國際計量機構所維持之國家量測標準精密天平 (例如：Traceable to the standard maintained by NIST) 秤重，質量確認，精秤到 0.01 mg。

## 六、採樣與保存

本檢測方法為現場自動檢測，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率與輔助流率，總流率應等於主流率與輔助流率之和。
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，開始檢測。

(二) 流率檢查：

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

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

$Q_{act}$ ：小孔流率校正器實際流量。(L/min)

$m$ ：小孔流率校正器參數。(常數)

$b$ ：小孔流率校正器參數。(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) 流率校正：

#### 1. 零點流率 / 全幅流率校正：

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

(2) 連接流率計和主流率控制器。

(3) 打開儀器電源，待儀器穩定後，開始進行流率校正。(暖機時間依各廠牌設計不同，一般而言，流率校正前未運轉者，暖機 30 分鐘；流率校正之前是在運轉狀態者則暖機 5 分鐘)。

(4) 零點流率校正：將流率控制器流率設定為 10% 之全幅，調撥電子接點以使主流率誤差在 ±0.03 L/min 以內；輔助流率誤差在 ±0.2 L/min 以內。

(5) 全幅流率校正：將流率控制器流率設定為 90% 之全幅，調撥電子接點以使主流率誤差在 ±0.03 L/min 以內；輔助流率誤差在 ±0.2 L/min 以內。

2. 操作流率檢查：將流率控制器流量設定為實際操作之流率，檢查主流率誤差是否在 ±0.03 L/min 以內；輔助流率誤差是否在 ±0.2 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)：

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

$f$ ：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)：

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

$C$ ：濃度 ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

$m$ ：粒狀物質量 ( $\mu\text{g}$ )

$Q$ ：採樣流率 (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，儀器主流率與輔助流率之洩漏檢查都必須低於 0.15 L / min 以下。

(二) 流量校正

每季需以標準流率計依七、(三) 執行流率校正。

(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 (可追溯至國家或國際計量機構所維持之國家量測標準之標準微量天平，例如：Traceable to the standard maintained by NIST) 秤重後保存於乾燥器中。

2. 將檢測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 3 日以上或故障修復後應重覆上述步驟。

#### 十、精密度與準確度

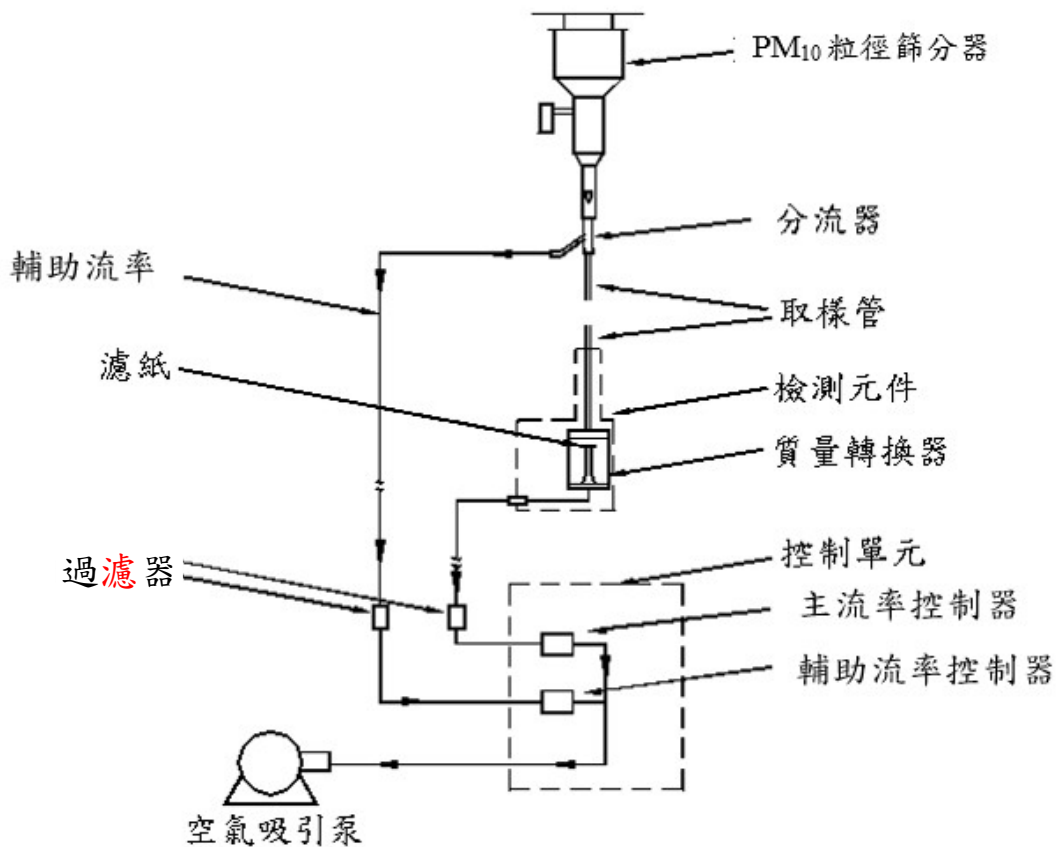
略

#### 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, 40 CFR Part 53, Subpart C, Section 53.34, Test procedures for

methods for PM<sub>10</sub> and Class I methods for PM<sub>2.5</sub>, July 1, 2017.

- (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>		15 – 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> ≤ 60 μg / m <sup>3</sup>	3 以上
	R <sub>j</sub> ≥ 60 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) 係指「空氣中懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)之檢測方法—手動法」(NIEA A208)。

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

3. R<sub>j</sub> 表示參考方法檢測之濃度範圍。

4. P<sub>j</sub> 係參考方法檢測之濃度小於(≤) 60 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> 係參考方法檢測之濃度大於(≥) 60 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<sub>ij</sub>：第 j 組檢測樣品中，參考方法之第 i 個採樣器所得濃度值 (μg / m<sup>3</sup>)。

C<sub>ij</sub>：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小於 ( $\leq$ )  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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大於 ( $\geq$ )  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  時，參考方法重複採樣之精密度計算公式為

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

$RP_j$ ：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  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  至  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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) 線性迴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 ( $\bar{R}_j$ ) 進行線性迴歸運算，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。