

廢氣處理

粒狀物質的煙道採樣方法

楊瑞雲*、蔡春進**

摘 要

空氣源頭採樣或煙道採樣，顧名思義，就是從煙囪採集樣品，其是決定空氣污染設備效率及評估工廠是否能符合排放標準的必須步驟。現行的採樣方法有 EPA 方法 5、方法 17、方法 0010、方法 0020，而稀釋採樣法是最新開發出來的採樣技術，方法 5、方法 17 因為沒有冷凝設備，所測得的微粒濃度會比污染源放至大氣環境時所測得的微粒濃度低；而方法 0010、方法 0020 因為有冷凝設備，所以其所測得的微粒濃度會比污染排放源排放至大氣環境時所測得的微粒濃度高；稀釋採樣器是在模擬污染源排放至大氣環境時的情況來採集樣品，所以其所採集的微粒濃度會與實際上污染源排放至大氣環境時的微粒濃度相近。方法 5、方法 17、方法 0010 的最大收集流量只有在 1 cfm，若要作詳細的化學分析，所收集到的樣品量是不夠的；方法 0020 和稀釋採樣器其所收集之樣品量至少在 4 cfm，所以其樣品量足夠提供作詳細的化學分析，本文將詳述這些採樣方法的原理及特性，並且比較它們的優缺點。

【關鍵字】

1. 煙道(stack)

*國立交通大學環境工程研究所研究生

**國立交通大學環境工程研究所教授

一、前 言

由於台灣地區工商業迅速發展，各種工商活動也相形活躍，人民生活水準不斷提昇，許多資源不斷被開發，造成各種污染物大量排放，使得生活環境的品質越來越差。為了改善日趨惡化的空氣品質，行政院環保署大幅修正空氣污染防治法，並於 81 年後明確宣示建立『固定污染源設置、變更及操作許可辦法』及『固定污染源空氣污染物排放標準』，藉著管制污染物的排放，而來改善空氣品質。

粒狀污染物是法規污染物之一，是懸浮在煙道氣中隨著廢氣一起排出的固體或液體物質。粒狀物所造成的影響，包括了能見度降低、建築物及材料上的污損及腐蝕、氣候變遷、植物生長緩慢等；而對人類的影響則有不同的途徑，有些粒狀污染物有毒性或是有致癌性，有些則是在它的表面上吸附化學物質，而增強對肺部的傷害。粒狀物會穿過呼吸系統，進入肺泡區造成危害，一般而言，小於 10 微米以下的微粒，才會進入肺部且會沉積於支氣管、微氣管和肺泡上，而影響人體健康。

許可制度的規定是工廠都必須取得排放許可後才可以操作，且必須設置污染防制設備來控制排放量。因此，為了決定污染防制設備的效率及評估工廠是否可合乎排放標準，必須執行煙道採樣分析以決定空氣污染源的排放量和濃度。而污染源採樣方法有很多，其中 EPA 方法 5、方法 17、方法 0010、方法 0020 及稀釋採樣法，是用來測量微粒的方法。EPA 方法 5、方法 17、方法 0010、方法 0020 是現行的採樣方法，而稀釋採樣法是新開發的採樣技術。因為製程條件和原料使用上的不同，會使排煙中的微粒物質亦不盡相同，一般而言，大致上有硝酸鹽、硫酸鹽、銨鹽、有機物、金屬微粒、金屬氧化物及硫酸等物質，這些污染物會因溫度的不同而以不同的型態存在。在煙道內，因為高溫的關係，大多以蒸氣型態存在為主，但於環境條件下，則以氣懸膠型態存在為主，所以使用不同的採樣方法求得的微粒濃度會與實際上污染源排放至大氣環境時的微粒濃度會有差異。

二、粒狀物的煙道採樣方法

在煙道的粒狀物採樣方法中，有下列幾種：

- (1) EPA Method 5 : Determination of particulate emission from stationary source.
(EPA 方法 5：固定污染源粒狀物排放量的決定法)⁽¹⁾
- (2) EPA Method 17 : Determination of particulate emission from stationary source
(in-stack filtration method) .
(EPA 方法 17：固定污染源粒狀物排放量的決定法—煙道內部過濾法)⁽²⁾
- (3) EPA Method 0010 : Modified Method 5 sampling for the determination of destruction and removal efficiency of semivolatile principal organic hazardous compounds from incineration systems.
(修正方法 5 對焚化爐系統所排放之半揮發性主要有機危害性化合物的移除效率和破壞率的決定)⁽³⁾
- (4) EPA Method 0020 : source assessment sampling systems (SSAS) .
(污染源評估採樣系統)⁽⁴⁾
- (5) A dilution stack sampler for collection of organic aerosol emissions.
(收集有機氣懸膠微粒排放的稀釋採樣法)⁽⁵⁾

3.1 EPA 方法 5：

EPA 方法 5 所用的儀器系統如圖 1 所示，系統包含的基本組成儀器有：

- 1.採樣管：由採樣噴嘴 (sampling nozzle) 和採樣管 (sampling probe) 所組成，可自煙道中收集樣品和將樣品輸送至過濾器，外面包裹有玻璃纖維且必須被加熱保溫在 $120^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($248^{\circ}\text{F} \pm 25^{\circ}\text{F}$) 之間。
- 2.熱電偶 (thermocouple)：用於控制溫度，以使採樣管及濾紙固定器可維持在一定之溫度內。
- 3.逆衝式皮托管 (reverse-impact pitot static tube)：由兩個壓力感應管連接在差分壓力計所組成，可測量煙道內氣流的壓力，進而計算出氣流之速度。

30 粒狀物質的煙道採樣方法

- 4.纖維濾紙固定器和加熱箱：濾紙固定器是用來過濾微粒物質的，而加熱箱是用來維持濾紙固定器的溫度，在此方法中濾紙固定器是位於煙道外部（out-stack），因此為了維持煙道氣在管中的溫度，避免在導管中發生水汽凝結現象，必須使用加熱保溫箱。
- 5.吸收瓶組（Greenbury-Smith Impingers）：由四個吸收瓶所組成，且浸泡於冰水槽中，有時內部會充填吸收劑，用來收集水份、腐蝕性液體及有機物。
- 6.真空泵（leak-free pump）：可用來控制吸引氣體的量。
- 7.乾式氣體流量計（dry gas meter）：可測定氣體流量。
- 8.出口端的孔口流量計（outlet orifice）：可測定出口處氣體流量。

除了上述的儀器外，還有一些壓力錶、溫度計、流量控制閥……等附件。

方法 5 是利用設置於衝擊瓶前面的玻璃纖維過濾器來收集微粒，在這個採樣器組合中，過濾器和過濾器之前所有的管線都必須被加熱保溫，維持在大約 120 °C (250°F) 的溫度，這樣是為了使被採集的煙道氣可保持在水汽的露點 (dewpoint) 以上，以預防任何半揮發性有機蒸氣在通過過濾器時被冷凝成液體或固體。在 EPA 方法 5 中較麻煩的是在某些不同的的情況下，有些液滴或微粒會衝擊在噴嘴 (nozzle) 和採樣管 (sampling probe) 的內表面上，這些沉澱於表面的微粒必須吹除出來並且加在被濾紙收集的微粒質量之中。在方法 5 中因為採樣管和加熱箱是連接在一起的，所以在使用方法 5 之採樣器時，因為其採樣管和過濾箱是連接在一起的，若要在同一截面上不同點採樣時，必須將整個採樣儀器系統移動，所以需要將採樣器裝上圓形把手，移動才較為方便。這個採樣器的設計流量很小，僅為 1 cfm。

3.2 EPA 方法 17：

EPA 方法 17 所用的儀器系統如圖 2 所示，系統包含的基本組成儀器和方法 5 的採樣器大同小異，唯一不同處是在這組儀器系統中，濾紙固定器是位於煙道的內部（In-stack），沒有加熱箱，而濾紙固定器是接在噴嘴附近，並且於採樣時濾紙固定器是插進煙道內直接與氣流接觸，EPA 方法 17 是於煙道溫度下收集微粒物質，所以採樣完畢取出採樣管時，要用丙酮或其他溶劑來清理採樣管和過濾器

的前半部。另外在這組儀器系統中，是利用軟管將未加熱保溫的採樣管接在冷凝器上，所以在同一橫截面上測點之間的移動較容易且採樣管末端之清理較為快速，也因為軟管的使用，在方法 17 只要一個人就可以同時握住並移動採樣管。

3.3 EPA 方法 0010：

EPA 方法 0010 其所用的儀器系統如圖 3 所示，系統包含的基本組成儀器和方法 5 的採樣器大同小異，唯一不同處是 EPA 方法 0010 在濾紙固定器和衝擊瓶之間加入一個冷凝螺管 (condenser coil) 和吸收室 (adsorption chamber)，加入這些單元的目的是用來收集穿越過玻璃纖維過濾紙的氣相半揮發性有機物質。

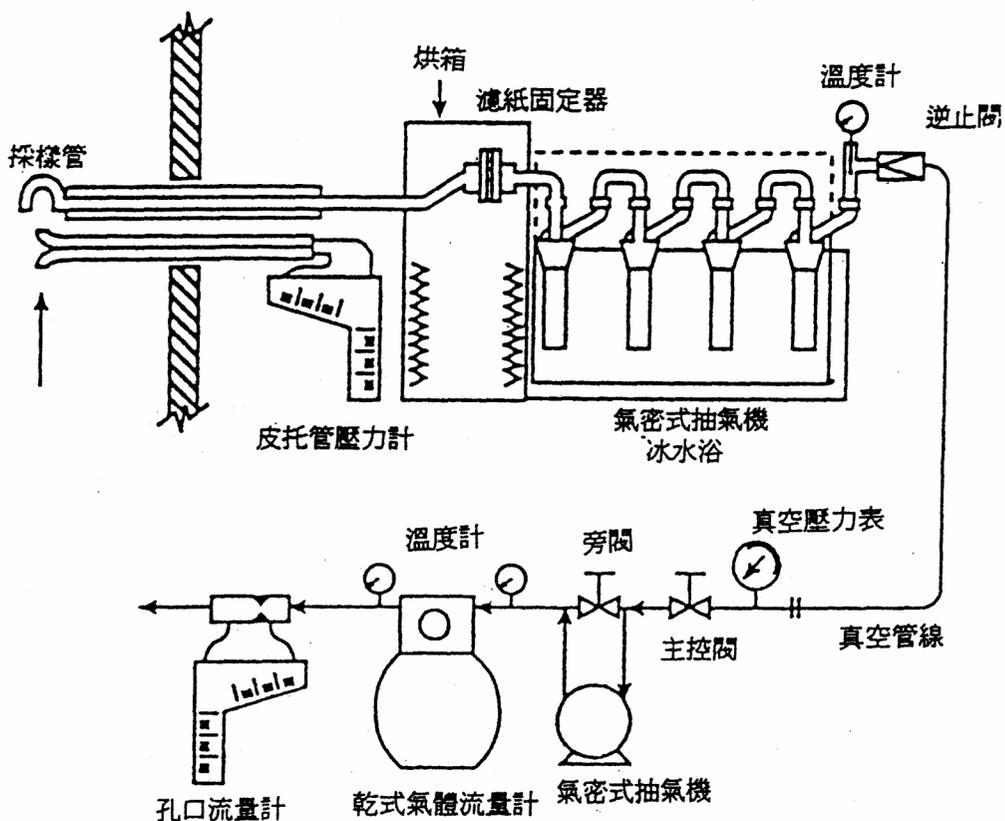


圖 1 EPA 方法 5 採樣器系統 (1)

32 粒狀物質的煙道採樣方法

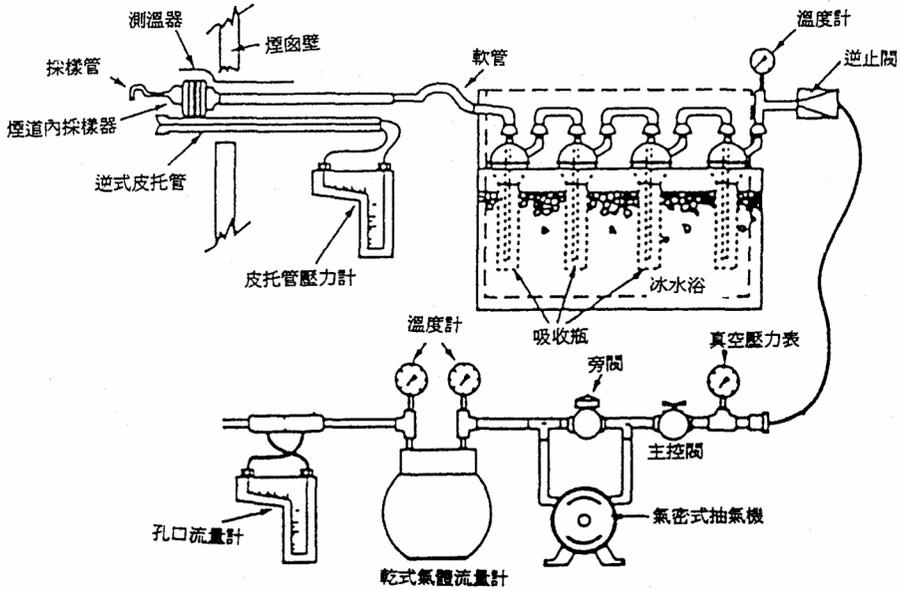


圖 2 EPA方法 17 採樣器系統⁽²⁾

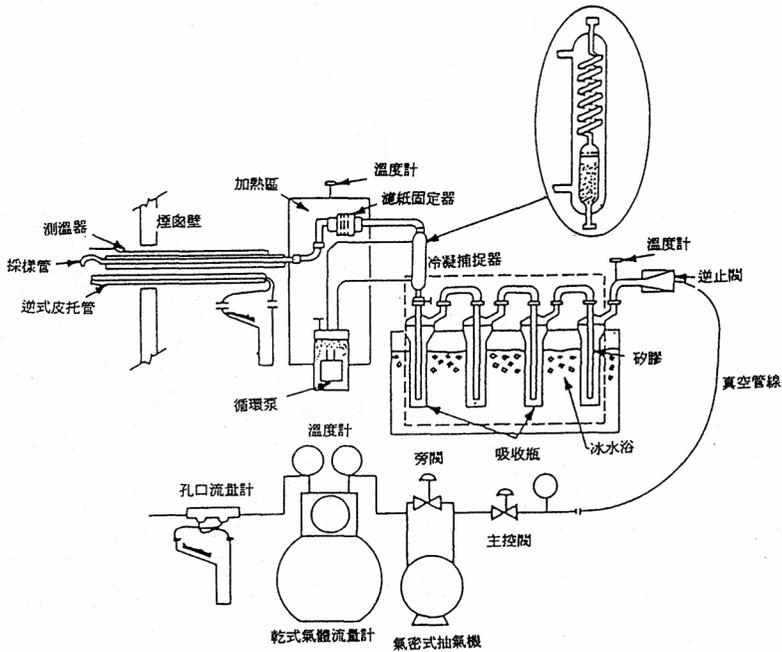


圖 3 EPA方法 0010 採樣器系統⁽⁴⁾

3.4 EPA 方法 0020 (SASS) :

EPA 方法 0020 所用的儀器如圖 4 所示，系統包含的基本組成儀器有：

- 1.採樣噴嘴 (probe nozzle)：是由不銹鋼所製成的，它由一彎管 / 鈕扣鉤 (elbow / buttonhook) 所組成。
- 2.導管之襯裏 (probe liner)：包裹採樣導管之襯裏是由一不銹鋼材料所製造的，目的是要維持採樣管的溫度在 $204^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ($400^{\circ}\text{F} \pm 36^{\circ}\text{F}$) 之間。
- 3.S 型皮托管 (S-type pitot tube)：可測量氣流的速度。
- 4.差分壓力計 (differential pressure gauge)：這組採樣器使用了三個差分壓力計，一個用來監測孔口流量計的壓力降，其他的用來監測皮托管的壓力差，以計算出煙道氣的速度。
- 5.濾紙固定器和濾紙支撐器 (filter holder and filter support)：濾紙固定器和濾紙支撐器的隔板是由不銹鋼材質所建造的，包含有鐵氟龍襯墊，可使整個過濾組合更加的密閉，這個組合是接在 $1\mu\text{m}$ 的旋風分離器或旋風分離器旁閥的出口處。

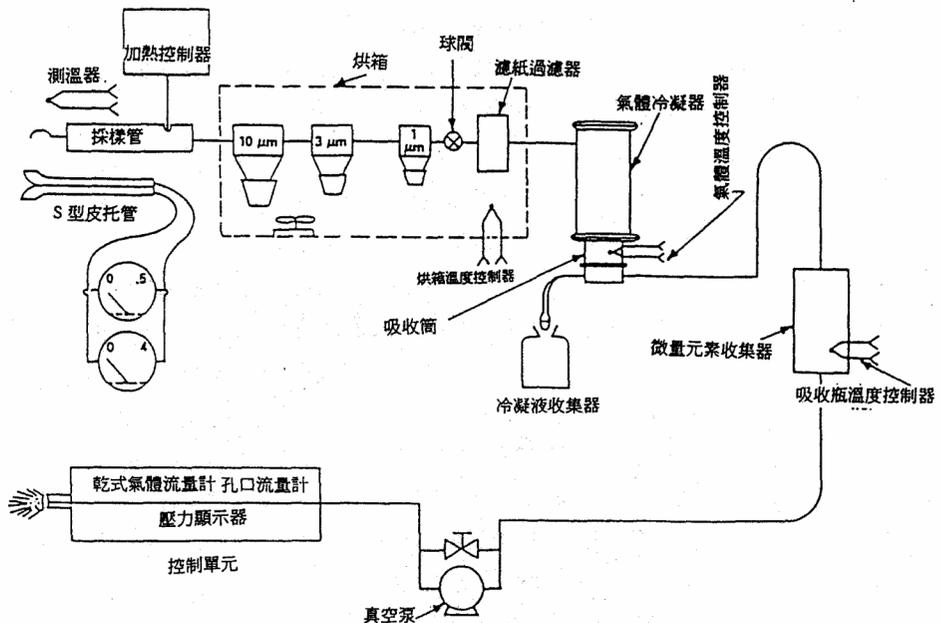


圖 4 EPA方法 0020 採樣器系統⁽⁴⁾

34 粒狀物質的煙道採樣方法

- 6.旋風分離器/過濾器加熱系統 (cyclone/filter heating system)：加熱系統是一個有雙層隔離壁的烘箱，能讓旋風分離器和濾紙固定器的周圍溫度維持在 $204^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ($400^{\circ}\text{F} \pm 36^{\circ}\text{F}$)，並有熱電偶可回饋控制烘箱的溫度。
- 7.旋風分離器組 (cyclone train)：包含有三個旋風分離器，截取直徑分別為 $10\ \mu\text{m}$ 、 $3\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 。
- 8.有機物單元 (organic module)：由薄膜熱交換器/氣體冷凝器 (thin-film heat exchange/gas collector)、吸收筒 (sorbent cartridge) 和冷凝器收集捕捉器 (condensate collection trap) 所組成的，可收集濕氣及有機冷凝物。
- 9.吸收瓶組 (Impinger train) 包含有四個吸收瓶，內裝有蘇打水，使污染物流出的量減至最少。
- 10.真空泵 (leak-free pump)：可用來控制吸引氣體的量。
- 11.出口端的孔口流量計 (outlet orifice)：可測定出口處氣體流量。

EPA 方法 0020 (SASS) 由不銹鋼材質所製成的，襯墊為石英材質，所以 SASS 系統可應用於高溫的採樣，微粒收集的設備包含了三個旋風分離器及一個過濾器，所以可利用氣動直徑來分離出不同大小的微粒物質。而吸收筒內的多孔性吸收劑可吸收有機物質，而一些稀少的元素會被收集至吸收瓶中。

3.5 稀釋採樣法：

稀釋採樣法其所用的儀器系統如圖 5 所示，系統包含的基本組成儀器有：

- 1.採樣噴嘴 (sampling nozzle)：以等速採樣的方式吸取煙道氣。
- 2.煙道內旋風分離器 (In-stack cyclone)：這是一個理論上截取氣動直徑為 $10\ \mu\text{m}$ 的旋風分離器，可去除粒徑為 $10\ \mu\text{m}$ 的微粒，這樣的話，可避免大微粒沉積在系統內，後來的冷凝程序也可忽略大微粒所產生的影響。
- 3.鐵氟龍導管 (teflon inlet line)：這條管子是接在煙道內旋風分離器的出口，可將收集到的煙道氣輸送至採樣器的稀釋區中，因為煙道氣要維持在高溫，所以這條鐵氟龍管子必須加熱保溫，所以蒸氣不會冷凝在輸送管線的內壁上。
- 4.稀釋通道 (dilution tunnel)：煙道氣和稀釋空氣會因紊流的關係而在此區混合均勻，煙道氣會被冷卻和稀釋至幾近環境條件。

- 5.熱交換器 (heat exchanger)：此熱交換器沉浸於冰水槽中，可用來降低稀釋空氣的溫度，目的是使煙道氣和稀釋空氣混合後能達到環境溫度的情況。
- 6.高效率微粒空氣過濾器 (high efficiency particulate air filter)：因為稀釋空氣來自於環境大氣，含有許多的微粒物質，所以此過濾器可將稀釋空氣中的微粒去除。
- 7.活性碳床 (activated carbon bed) /濾紙 (filter)：空氣中有許多微量的有機物質，雖然這些有機物的濃度很小，但在高稀釋倍率下，也可能妨礙煙道氣中有機物的分析，所以必須以活性碳床來去除稀釋空氣中的有機物，而石英濾紙則是預防揚起的活性碳顆粒進入系統中。
- 8.停留室 (residence chamber)：氣流在通過相當於 10 倍通道直徑長的稀釋通道後，部分的氣流會由稀釋通道進入一個很大的停留室中，在此停留室中會於氣懸膠被濾紙收集前，提供一額外的停留時間。
- 9.停留室底端採樣口：在停留室底端的 12 個採樣口，可接 12 個不同氣動直徑的旋風分離器，如此可同時收集不同尺寸大小的微粒。這 12 個旋風分離器每個的操作流量為 0.98 cfm，可以收集大量細小的有機氣懸膠，便於後續的化學分析。
- 10.高流量採樣器 (high volume sampler filter)：未進入停留室中之其他氣流，在排放之前會先通過此採樣器。
- 11.文氏計 (venturi meter)：用來測量進口端煙道氣的流率。

這個稀釋型採樣器可於環境條件下採集樣品，採樣器完全由不銹鋼材質所製造的，所有的 O 型環和襯墊都是鐵氟龍的材質，這樣就可避免採樣期間的有機物污染。本稀釋型採樣器系統重量約為 17 kg。

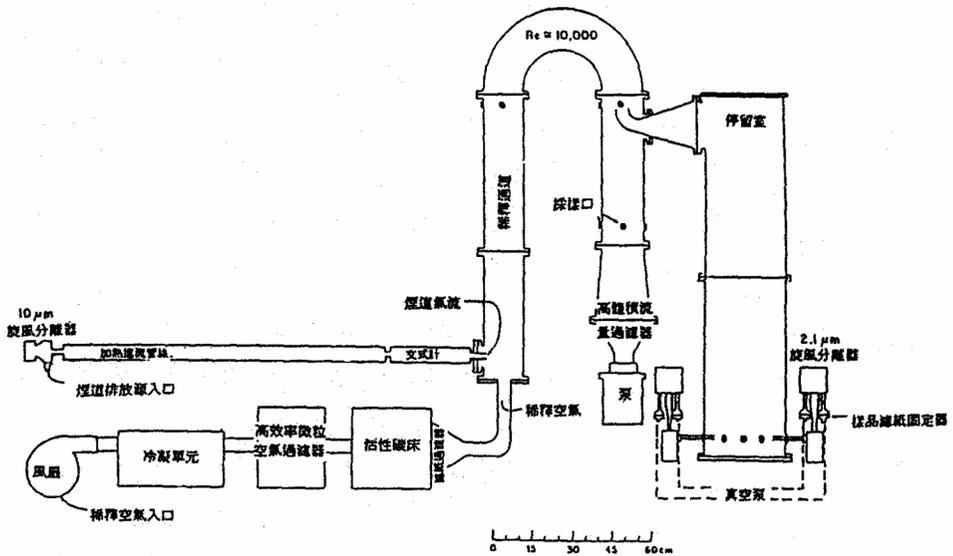


圖 5 稀釋採樣法採樣器組合 (5)

三、不同採樣方法的比較

經上述採樣方法的敘述後，我們可知不同的採樣器有不同的組合。以下針對各種方法做一整理比較，可知方法 17 的微粒收集器的位置和其餘的採樣方法之微粒收集器的位置不同，前者位於煙道內部 (In-stack)；而後者則是位於煙道外部 (out-stack)。我們可由表 1 來看煙道內部、外部採樣的優缺點，及表 2 來看各種採樣系統之異同。由於方法 5、方法 17 和方法 0010 大部分的組成均相同，所以優缺點均相似，只是方法 0010 可以收集微粒和有機物質外，尚可收集半揮發性的有機物質，而其餘的兩種只能收集微粒和有機物質。而方法 0020 異於方法 5、方法 17、方法 0010 之處為其有微粒的分徑採樣裝置。

稀釋型採樣系統是最近新開發出的採樣系統，與其他四種方法的差異較大。稀釋型採樣器最早被用來採集交通工具排氣樣品，這些早期汽車的稀釋型採樣器不能用於現場固定源的採樣，因為這些採樣器無法攜帶，直到最近可攜帶型的採

樣器才被發展出來，利用來收集固定污染源的有機氣懸膠。這個由美國加州理工學院所設計的採樣器完全不同於其他的採樣器，稀釋通道和停留室為其獨特的設計，被採集的煙道氣會先在稀釋通道中先與稀釋空氣混合成為環境條件下之氣體後才會被收集過濾。為了使被收集的煙道氣與稀釋空氣能充分的混合而達到實際的環境情況，稀釋通道的設計必須要有充分的長度。這個稀釋通道的長度相當於十倍的稀釋通道直徑，雷諾數是為 10,000 屬於亂流的情形，可使煙道氣與稀釋空氣充分混合。停留室的設計是希望提供足夠的停留時間讓冷凝作用發生，於環境條件下應該要形成微粒的有機氣懸膠完全形成微粒，以測得煙道氣於大氣環境下實際的微粒濃度。

在設計這個稀釋採樣系統時，有幾點是必須注意的：第一點是這個採樣系統是模擬大氣的稀釋作用，設計時的稀釋狀況應與實際大氣的稀釋作用接近；第二點是設計時應要使樣品受污染的程度達到最小化，所以不可使用橡膠、塑膠、油脂等會溶出有機物質；第三點是停留時間是重要的設計因子，因此應有足夠的停留時間讓過飽和的有機蒸汽能夠擴散至核粒上並凝結成氣懸膠微粒；第四點則是要能夠收集足夠的樣品作後續的化學分析。

許多於大氣環境條件下會以氣懸膠狀態存在的有機化合物，在燃燒源的煙囪溫度下，仍然會以氣相的形態存在，因此不能從熱煙道氣中直接用過濾的方法來捕捉有機化合物。若於採樣系統中使用冷卻液體吸收瓶（cold liquid impinger）或冷凝捕捉器（cryogenic traps），則會使許多原本在環境條件下不能凝結的有機化合物，也會凝結成氣懸膠而被收集。因此，使用未稀釋冷卻的過濾法採集微粒，則會低估環境大氣中所存在的有機氣懸膠微粒之濃度很多；相反的，若於系統中使用冷凝捕捉器，則可能將環境大氣中有機氣懸膠微粒的濃度高估了。稀釋採樣器是模擬大氣稀釋作用的情況，所量出的有機氣懸膠濃度會與環境大氣中氣懸膠濃度相似。由表 3 我們可知道 EPA 方法 0020 和稀釋採樣法所採集到有機碳濃度的比較，EPA 方法 0020 因為有冷凝器的關係，所收集的有機碳量較稀釋採樣法所收集的有機碳濃度多，最高可達 23 倍左右。而由圖 6 我們可知 EPA 方法 5 和稀釋採樣法所採集到有機碳濃度的比較，EPA 方法 5 因為沒有冷凝器的關係，所收

38 粒狀物質的煙道採樣方法

集的有機碳濃度較稀釋採樣法所收集的有機碳量少，最多可少於 19 倍左右。

表 1 煙道內部與煙道外部過濾器之優缺點

方法	優點	缺點
方法 17 (煙道內部)	<ol style="list-style-type: none"> 1.可在接近氣流處採集煙道氣 2.採樣管上沒有微粒沉積問題 3.在收集器上沒有水汽凝結的問題 4.一般所需的設備較小 	<ol style="list-style-type: none"> 1.收集器的選擇受到限制 2.採樣體積受到限制 3.採樣器的捕捉容量較小 4.需要較大的採樣孔 5.樣品的移除較困難
方法 5 (煙道外部)	<ol style="list-style-type: none"> 1.可取得較大的樣品體積 (長時間採樣) 2.採樣器具有較大的捕集容量 3.小型和簡單的採樣管設計 (小的煙道孔) 4.較容易更換收集器或將樣品移除 5.收集之前樣品可被冷卻 6.樣品損失的可能性小 7.收集器的選擇上較具彈性 8.在收集器前就可測量樣品體積 9.吸引速度可操作於最佳的收集器速度 	<ol style="list-style-type: none"> 1.採樣管上會有微粒物質的沉積 2.採樣管中可能發生凝結作用 3.需清理採樣管上的樣品 4.所需的設備較大，必需有加熱保溫設備的採樣過濾器箱

表 2 各種不同採樣器之差異

特徵	採樣方法				
	方法 5	方法 17	方法 0010	方法 0020	稀釋法
微粒收集器/位置	微粒收集器為玻璃纖維，過濾器位於煙道外	微粒收集器為玻璃纖維，過濾器位於煙道內	微粒收集器為玻璃纖維，濾過濾器位於煙道外	微粒收集器為三個不同大小的旋風分離器和位於煙道外的一個高效率纖維過濾器	有 13 個不同截取氣動直徑的旋風分離器，一個位於煙道內，其餘的位於煙道外
加熱保溫設備	採樣管和濾紙固定器都有加熱保溫設備	沒有加熱保溫設備	採樣管和濾紙固定器都有加熱保溫設備	採樣管和旋風分離器都有加熱保溫設備	採樣管有加熱保溫設備
可收集之物質	微粒、分子量較大的粒狀有機物	微粒、有機物	微粒、有機物、半揮發性有機物質	微粒、半揮發性有機物質	微粒、有機物、半揮發性有機物質
分選裝置	沒有分徑裝置，不同大小的微粒無法分離	沒有分徑裝置，不同大小的微粒無法分離	沒有分徑裝置不同大小的微粒無法分離	分徑裝置為旋風分離器，不同大小的微粒可分離	分徑裝置為旋風分離器，不同大小的微粒可分離
流量	1 cfm	1 cfm	1 cfm	4 cfm	16 cfm
方便性	因加熱箱之關係所以操作時需要有人	一人操作即可	因加熱箱之關係所以操作時需要有人	因加熱箱之關係所以操作時需要有人	稀釋通道可拆卸攜帶方便
冷凝器設備	沒有冷凝器	沒有冷凝器	有冷凝器	有冷凝器	沒有冷凝器
污染問題	因橡膠襯墊和油脂的使用，於高溫時會溶出有機污染物而污染了樣品	因橡膠襯墊和油脂的使用，於高溫時會溶出有機污染物而污染了樣品	因橡膠襯墊和油脂的使用，於高溫時會溶出有機污染物而污染了樣品	濾紙固定器等都是不銹鋼材質，而襯墊是鐵氟龍材質，所以可避免污染樣品的問題	採樣器完全由不銹鋼材質所製造，所有的 O 型環和襯墊都是鐵氟龍材質，可避免污染樣品的問題

表 3 EPA方法 0020 和稀釋採樣法所收集有機碳的比較⁽⁶⁾

燃 料	總有機碳， mg/m ³		
	方法 0020	稀釋通道	倍 數
松樹	1,450	563	2.6
橡樹	770	322	2.4
重油， 1.1 實驗	8.4	0.36	23
重油， 1.2 實驗	5.5	0.36	15
重油， 2.1 實驗	5.2	0.32	16
重油， 2.2 實驗	3.2	0.17	19

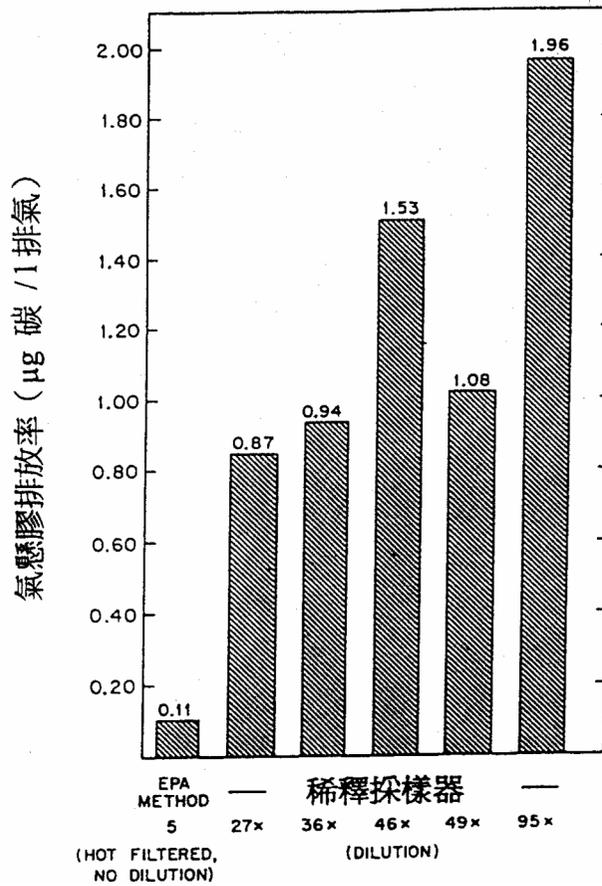


圖 6 EPA方法 5 和稀釋採樣法所收集有機碳的比較⁽⁵⁾

四、結 論

本文分析比較了不同的煙道粒狀物採樣方法並列出其優缺點。未利用稀釋通道採樣系統的粒狀物的測量，濃度會與實際排放至大氣時的濃度不同，有時會高估或低估很多。稀釋採樣法提供了空氣污染防制人員，在計算污染源的排放對大氣粒狀物濃度影響時，所需的正確採樣法，可以作為本國管制環境粒狀物濃度時的另一思考方向。國內現行的污染源粒狀物採樣方法，以法規符合度為主要的考量因素，但仍需注意各個不同的方法所測得的粒狀物濃度會有很大的差異。

五、參考文獻

- 1.Environmental Protection Agency (1971).“Method 5 : Determination of Particulate Emission from Stationary Source “,Federal Register 36(247) .
- 2.Environmental Protection Agency (1978).“Method 17 : Determination of Particulate Emission from Stationary Source (in-stack filtration method) “,Federal Register 36(247).
- 3.Environmental Protection Agency (1986)” Method 0010 : Modified Method 5 sampling for the determination of destruction and removal efficiency of semivolatile principal organic hazardous compounds from incineration systems”,sw846.
- 4.Blake,D.E. (1986).“Source Assessment Sampling System:Design and Development “, EPA-600/7-78-018,U.S.Environmental Protection Agency,Research Triangle Park,NC.
- 5.Hildemann,L.M.,G.R.Cass,and G.R.Markowski (1989).“A Dilution Stack Sampler for Collection of Organic Aerosol Emission:Design,Characterization,and Field Tests”, Aerosol Science and Technology,10:193-204.

6. Johnson, L.D., and R.G. Merrill (1983) "Stack Sampling for Organic Emissions",
Toxicological and Environmental Chemistry, 6 : 109-126.