

我國室內環境量測技術之發展

巫月春¹ 陳重方² 阮國棟³

摘要

我國已於 100 年 11 月 23 日制定室內空氣品質管理法，管制項目包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、粒徑小於等於 10 微米之懸浮微粒 (PM₁₀)、粒徑小於等於 2.5 微米之懸浮微粒 (PM_{2.5})、臭氧、細菌、真菌及其他經中央主管機關指定公告之物質。環境中這些物質量測技術，環境保護署已公告相關檢測方法，未來亦會配合室內空氣品質標準值之訂定，關注國際檢測技術發展，隨時檢討修訂相關檢測方法與技術，作為室內空氣品質管制之依循。

關鍵字：室內空氣品質管理法、室內空氣品質標準、檢測方法

前言

每人每天約 90% 的時間處於室內的環境中，室內空氣品質之良窳，直接影響人體健康、生活品質或工作效率，尤其室內空氣污染物對人體健康之影響更是備受重視。我國於 100 年 11 月 23 日制定室內空氣品質管理法，並將於公佈之一年後生效實施⁽¹⁾，從此我國成為全球繼韓國之後，第二個將空氣品質管理立法的國家。此一立法，開創我國室內空氣品質管理新紀元，使我國從過去室外大氣管制為主的空氣污染防制策略，延伸至公共場所室內空氣品質的管理。這個管理法所規範之室內，不只是供公眾使用之建築物，還包括大眾運輸工具，對於一些公眾聚集量大、進出量高，或對空氣品質有特殊需求的公共場所，該法並已規範應設置自動監測設施，連續監測室內空氣品質，監測結果也應即時公布於該場所內或入口明顯處，讓民眾很清楚的了解哪些場所是屬於健康的⁽¹⁾。

雖然室內空氣品質管理法完成立法公布，其所規範之室內空氣

行政院環保署環境檢驗所¹組長²副研究員³所長

品質標準及管理目前尚在研訂作業階段，但由室內空氣品質管理法第三條可以得知，室內空氣污染物係指室內空氣中常態逸散，經長期性暴露足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質，包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、粒徑小於等於 10 微米之懸浮微粒（PM₁₀）、粒徑小於等於 2.5 微米之懸浮微粒（PM_{2.5}）、臭氧、細菌、真菌及其他經中央主管機關指定公告之物質。而室內空氣品質即指室內空氣污染物之濃度、空氣中之溼度及溫度⁽¹⁾。因此未來室內環境空氣污染物質質量測之目標物種即以此 9 項為主。

我國室內空氣污染物質質量測技術發展

我國室內空氣品質管理法尚未完成立法之前，環境保護署即已於 94 年 12 月 30 日訂定發布「室內空氣品質建議值」⁽²⁾，率先跨出我國室內空氣品質管制之第一步。該建議值所列之空氣污染物物種即為室內空氣品質管理法所訂之二氧化碳等 9 項（詳如表 1）。此後，環境保護署環境檢驗所即配合此一建議值，陸續訂定相關檢測方法⁽³⁻¹³⁾，其量測技術概分為：

一、現場直接測定：

1. 一氧化碳及二氧化碳：紅外線法，利用紅外光和待測物分子作用所產生的分子振動的原理，來測定分子吸收紅外光之後所呈的強度。
2. 臭氧：紫外光吸收法，利用臭氧對紫外光的吸光特性，量測樣品氣體於 254 nm 的吸光強度，以計算得空氣中臭氧的濃度。
3. PM₁₀：貝他射線衰減法，利用低能量貝他衰變，貝他粒子穿透物質時因游離損失而衰減，其衰減量與物質的電子密度有關，穿透物質的貝他粒子束與物質的表面質量密度會遵循 Beer-Lambert 定律，依據此一遞減效應原理作為量測基礎。
4. PM₁₀：慣性質量法，利用粒狀物的慣性作用，環境空氣中之粒狀物經由篩分器篩分出特定粒徑範圍之粒狀物，以微量天平上，直接測出瞬間重量的變化。

二、採樣後檢測分析：

1. 甲醛：空氣中甲醛檢測方法係以定流量之採氣泵收集至含2,4 - 二硝基代苯肼 (2,4 - Dinitrophenylhydrazine, DNPH) 和過氯酸溶液之收集瓶中，經由高效能液相層析測定樣品中醛類化合物之含量。
2. 總揮發性有機化合物：以不銹鋼採樣筒採集空氣中揮發性有機化合物後，攜回實驗室以液態氫 (約 -186°C) 冷凍捕集濃縮，注入火焰式離子化偵測器，測定甲烷除外之總揮發性有機化合物 (TVOC) 濃度。
3. 懸浮微粒 (PM_{10})：利用空氣採樣器以定流量抽引大氣經一特定形狀之採樣入口，在此採樣入口依微粒之慣性將其分選為一或多個落於 PM_{10} 粒徑範圍內之分徑樣品。在採樣前、後(經濕度調節後)將每張濾紙秤重，以決定所收集之 PM_{10} 微粒淨重。
4. 細懸浮微粒 ($\text{PM}_{2.5}$)：以定流量抽引空氣進入特定形狀之採樣器進氣口，經慣性微粒篩分器，將氣動粒徑小於或等於2.5 微米 (μm) 之細微粒 ($\text{PM}_{2.5}$) 收集於濾紙上。而此濾紙於採樣前、後均於特定溫度與濕度環境中調理後秤重，以決定所收集之 $\text{PM}_{2.5}$ 細微粒之淨重，換算24小時之採樣之質量濃度。
5. 細菌：使用衝擊式採樣器抽吸適量體積之空氣樣本，直接衝擊於適合細菌生長之培養基上。並於 $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 培養 48 ± 2 小時生長後，計數培養基上細菌之菌落數。
6. 真菌：本方法係使用衝擊式採樣器抽吸適量體積之空氣樣本，直接衝擊於適合真菌生長之培養基上。並於 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 培養 4 ± 1 天生長後，計數培養基上真菌之總菌落數。

上述檢測方法適用範圍與干擾等資料，詳見表2。

檢測技術未來發展

未來室內空氣品質之檢測方法，除配合所訂定之室內空氣品質標準值，檢討修正其適用性外，檢測技術未來可能發展方向分述如下：

一、有檢測方法之檢討與增修訂：

1. 現行空氣中甲醛檢測方法，使用具揮發性之 DNPH 為吸收溶液，因此甲醛採樣時其吸收液將造成 TVOC 之干擾，使得甲醛與 TVOC 無法同時採樣，且必須 TVOC 採樣後，再進行甲醛之採樣，以避免 DNPH 所帶來之正干擾，未來將增訂乾式吸附劑吸附之檢測方法，以避免 DNPH 對 TVOC 造成干擾，並可節省檢測時間及成本。
2. TVOC：目前使用之檢測方式為樣品不經層析管柱進行分離，而直接導入火焰離子化偵檢器(FID)之檢測方式測得樣品之總碳氫化合物含量。因 FID 對苯環類偵測感度不及光離子化偵檢器(PID)，而苯環類揮發性有機物為室內裝潢、油漆之逸散、室外交通工具排放之重要揮發性有機物成分，若室內空氣中含苯環類揮發性有機物，兩種偵測器測得之 TVOC 濃度可能因此產生差異，未來視室內空氣品質標準所訂 TVOC 實質管制數值與化合物種，在研議以 PID 檢測 TVOC 之適用與必要性。

二、室內空氣品質連續監測部分，環境保護署公告之方法中，甲醛、TVOC、PM_{2.5}、細菌及真菌等檢測均為批次式，我們將持續關注國際間這些項目連續自動監測技術之發展，以便適時將此類量測技術引進國內。

三、數據品質管制：目前室內空氣品質檢測相關方法，均訂有檢測品質管制事項，包括標準件或標準品之追溯、品質管制樣品（包括空白樣品、重複樣品、添加樣品與查核樣品）等品質管制措施，以確保檢測數據品質。惟檢測時採樣點與採樣時間之選定，為檢測數據是否具代表性之關鍵，目前環境保護署規劃以較易現場測定之項目（例如 CO₂）作為選點之篩選指標，其與待測項目之共存或指標性。另外，不同性質之場所其監測時間範圍之選擇（例如週間或週末、白天或夜間）等均宜先釐清。

結 語

環境保護署訂定檢測方法，廣義上亦屬於環境法制上之一環，而環境檢驗所於各項環境品質檢測技術之開發建立上，均是採取併合於法規政策需求與技術規範品質(QA/QC)之策略，持續接軌國際潮流，公告並更新各項檢驗測定技術，務求使各項污染物管制項目之檢測技術具備可供依循之公示外觀，以及嚴謹而具備公信力之檢測結果，作為我國各項環境保護工作推動之後盾。

參考文獻

- 1.室內空氣品質管理法，100年11月8日。
- 2.室內空氣品質建議值，94年12月30日。
- 3.空氣中二氧化碳自動檢測方法—紅外線法（NIEA A448.10C），95年6月19日。
- 4.空氣中一氧化碳自動檢測方法—紅外線法（NIEA A421.11C），95年5月11日。
- 5.空氣中氣態之醛類化合物檢驗方法—以DNPH衍生物之高效能液相層析測定法（NIEA A705.11C），95年5月29日。
- 6.空氣中總揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／火焰離子化偵測法（NIEA A732.10C），95年6月19日。
- 7.空氣中粒狀污染物自動檢測方法—貝他射線衰減法（NIEA A206.10C），89年11月30日。
- 8.空氣中粒狀污染物自動檢測方法—慣性質量法（NIEA A207.10C），89年11月30日。
- 9.大氣中懸浮微粒〈PM₁₀〉之檢測方法—手動法（NIEA A208.12C），93年11月10日。
- 10.空氣中懸浮微粒（PM_{2.5}）檢測方法—手動採樣法（NIEA A205.11C）（草案），101年3月22日。

- 11.空氣中臭氧自動檢驗方法－紫外光吸收法（NIEA A420.11C），95年5月11日。
- 12.室內空氣中總細菌數檢測方法（NIEA E301.11C），97年12月23日。
- 13.室內空氣中總真菌數檢測方法（NIEA E401.11C），97年12月23日。

表 1 室內空氣品質建議值(2005,12,30)

項 目	建 議	值	單 位	
二氧化碳 (CO ₂)	8 小時值	第 1 類	600	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳 (CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	9	
甲醛 (HCHO)	小時值		0.1	ppm (體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時值		3	ppm (體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於 10 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM ₁₀)	24 小時值	第 1 類	60	μg/m ³ (微克/立方公尺)
		第 2 類	150	
粒徑小於等於 2.5 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM _{2.5})	24 小時值		100	μg/m ³ (微克/立方公尺)
臭氧 (O ₃)	8 小時值	第 1 類	0.03	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	0.05	
溫度(Temperature)	1 小時值	第 1 類	15 至 28	°C (攝氏)

- 註：1. 1 小時值：指 1 小時內各測值之算術平均值或 1 小時累計採樣之測值。
 2. 8 小時值：指連續 8 個小時各測值之算術平均值或 8 小時累計採樣測值。
 3. 24 小時值：指連續 24 小時各測值之算術平均值或 24 小時累計採樣測值。
 4. 最高值：依檢測方法所規範採樣方法之採樣分析值。
 5. 本建議值所稱第 1 類及第 2 類適用場所如下：
 (1) 第 1 類：指對室內空氣品質有特別需求場所，包括學校及教育場所、兒童遊樂場所、醫療場所、老人或殘障照護場所等。
 (2) 第 2 類：指一般大眾聚集的公共場所及辦公大樓，包括營業商場、交易市場、展覽場所、辦公大樓、地下街、大眾運輸工具及車站等室內場所。
 6. 中央各目的事業主管機關及地方政府為改善室內空氣品質得另訂較嚴格之標準值。

表 2 各檢測方法適用範圍、干擾資料摘述

項目	檢測方法	適用範圍	干擾
二氧化碳	空氣中二氧化碳自動檢測方法—紅外線法 (NIEA A448.10C)	本檢驗方法適用於測定空氣中之二氧化碳，測定範圍依儀器設計而定，一般可測定空氣中濃度於 2000 ppm 以下之二氧化碳檢測	水氣及一氧化碳等與二氧化碳具相同吸收特性的物質易造成干擾，懸浮微粒亦是干擾來源之一，在氣體進入儀器之前，應以玻璃纖維或鐵氟龍濾膜濾除之
一氧化碳	空氣中一氧化碳自動檢測方法—紅外線法 (NIEA A421.11C)	本檢驗方法適用於測定空氣中濃度 100.0 ppm 以下之一氧化碳檢測	水氣及二氧化碳等與一氧化碳具相同吸收特性的物質易造成干擾，懸浮微粒亦是干擾來源之一；在氣體進入儀器之前，應以玻璃纖維或鐵氟龍濾膜濾除之
甲醛	空氣中氣態之醛類化合物檢驗方法—以 DNPH 衍生物之高效能液相層析測定法 (NIEA A705.11C)	本方法適用於空氣中氣態的甲醛等共 16 種醛類化合物之分析。	1. 分析過程中主要干擾來自吸收液中不純物之干擾。 2. 干擾亦可能來自成分複雜的空氣樣品，以致造成層析圖中訊號的部分重疊，此時可變換層析條件，重新定性及定量。
總揮發性有機化合物	空氣中總揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／	本方法適用於空氣中 TVOC (甲烷當量) 濃度在 0.02 ppm 至 10 ppm 範圍。	1. 水氣會導致火焰離子偵測器基線之漂移，此漂移效應會對 TVOC 波峰積分面積產生影響。

物	火焰離子化偵測法 (NIEA A732.10C)		<p>2. 使用氦氣為載體氣體時，火焰離子偵測器對大多數碳氫化合物之感應相當一致，但對少數含羰基、醇類、鹵化碳…等官能基之有機化合物檢測，其結果可能較不準確。</p> <p>3. 本方法不宜使用其他較液態氫沸點低之冷凍捕集劑（例如液態氮），否則樣品中甲烷將被捕集造成檢測結果不正確。</p>
PM ₁₀	空氣中粒狀污染物自動檢測方法—貝他射線衰減法 (NIEA A206.10C)	本方法適用於空氣中粒徑在 10 微米 (μm) 以下粒狀污染物 (PM ₁₀) 濃度之自動測定，其適用濃度範圍介於 $0 \sim 1 \times 10^4 \mu\text{g} / \text{m}^3$	<p>1. 水氣可能形成干擾，可以適當加熱控制機制排除之。</p> <p>2. 濾紙上捕集微粒若過量，亦可能使量測結果產生誤差</p> <p>3. 在臨海地區執行檢測時，海水鹽沫之干擾亦可能造成誤差</p>

	空氣中粒狀污染物自動檢測方法—慣性質量法 (NIEA A207.10C)	本方法適用於空氣中粒徑在 10 微米 (μm) 以下之粒狀污染物 (PM_{10}) 濃度之自動測定，其適用濃度範圍介於 $0 \sim 5 \times 10^6 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ($5 \text{ g} / \text{m}^3$)。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水氣可能形成干擾，可以適當加熱控制機制排除之。 2. 檢測元件之加熱控制機制可能會造成某種揮發性成分散失 (例如：硝酸鹽)。
	大氣中懸浮微粒 (PM_{10}) 之檢測方法—手動法 (NIEA A208.12C)	重量濃度測定範圍下限由重覆測得之濾紙重量及採樣器之空氣樣品體積決定。測定範圍上限，於 24 小時之採樣方法，採樣器在特定流量限制下操作，應可以測量至 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之廿四小時 PM_{10} 重量濃度。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濾紙上收集之揮發性微粒常會在運送濾紙或採樣後秤重前之濾紙儲存過程中損失。 2. 人為污染：此類誤差包括二氧化硫及硝酸之滯留影響。 3. 大氣濕度對樣品的效應是不可避免。 4. 濾紙處理在採樣前及採樣後秤重間的過程中，因濾紙破損或收集到的微粒自濾紙上散失所造成的誤差。 5. 採樣器操作時流量變異可能改變採樣頭的微粒分選粒徑特徵。 6. 空氣體積計算的誤差。
$\text{PM}_{2.5}$	空氣中懸浮微粒 ($\text{PM}_{2.5}$) 檢	本方法適用溫度 -30 至 $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ，	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濾紙上所採集之揮發及半揮發性細微粒常會在濾

	<p>測方法—手動採樣法</p>	<p>相對溼度 0 至 100%，大氣壓力 600 至 800 mmHg 之環境 空氣中氣動粒徑小於或等於 2.5 微米 (μm) 細微粒 ($\text{PM}_{2.5}$) 24 小時之質量濃度值測定。經 24 小時之採樣，其偵測極限可達 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$；濃度偵測上限則取決於細微粒在濾紙上之質量負載所引起的壓降，是否已造成採樣器無法維持其在規定之流率下運轉而定，在 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度值達 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之情況下，若採樣器在規定之流率範圍內仍可維持運轉 24 小時。</p>	<p>紙運送或採樣後秤重前之保存過程中損失，因此應在可執行的範圍內儘快秤重，以將此誤差減到最小。 2. 濕度亦會對樣品造成影響。 3. 在採樣前及採樣後秤重的過程中，必須小心處理濾紙以避免因濾紙破損或所採集到的細微粒自濾紙上散失而造成誤差。使用濾紙夾、濾紙匣及其保護容器可以減少這些誤差。 3. 採樣流率變異可能改變採樣頭的細微粒分選粒徑特徵，此誤差會受到採樣期間入口採樣流率變異以及空氣中細微粒粒徑分布影響。 4. 實際採樣空氣體積計算的誤差可能來自採樣流率誤差及(或)採樣時間測量。</p>
<p>臭氧</p>	<p>空氣中臭氧自動檢驗方法—紫外光吸收法 (NIEA A420.11C)</p>	<p>本檢驗方法適用於測定大空氣及周界中濃度介於 0.50 ppm 以下之的臭氧之檢測</p>	<p>凡與臭氧有相同吸收光帶 (254 nm) 的物質，均易造成干擾</p>

細菌	室內空氣中總細菌數檢測方法 (NIEA E301.11C)	本方法適用於室內場所空氣中總細菌數之檢測。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採樣器之幫浦及蓄電池功能異常或功率衰減，造成採樣器操作時流量變異，將影響微粒注入。 2. 空氣體積計算的誤差可能來自流量或採樣時間測量所產生。通常以流量控制設備用以減少空氣體積計算的誤差，此外亦可使用計時器將採樣時間測量的誤差減至最小。 3. 採樣器不可直接放置於空調進出口下方或正對空調進出口。 4. 真菌數量過多將遮蔽或抑制細菌之生長，並可能影響總細菌數之判讀與計數。
真菌	室內空氣中總真菌數檢測方法 (NIEA E401.11C)	本方法適用於室內場所空氣中總真菌數之檢測。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採樣器之幫浦及蓄電池功能異常或功率衰減，造成採樣器操作時流量變異，將影響微粒注入。 2. 空氣體積計算的誤差可能來自流量誤差及（或）採樣時間測量。通常以流量控制設備用以減少空氣體積計算的誤差，此外亦可使用計時器將採樣時間測量的誤差減至最小。

			<p>3. 採樣器不可直接放置於空調進出口下方或正對空調進出口。</p> <p>4. 細菌數量過多可能影響總真菌數之判讀與計數。</p>
--	--	--	--