

儀器總覽 Introduction to Instrumentation

環境及安全衛生檢測儀器 Environmental and Safety Analysis Instrument

行政院國家科學委員會
精密儀器發展中心出版

序言

工業革命以來，儀器技術伴隨科技發展、學術研究及產業需求而蓬勃發展，為人類生活帶來重大變革；近年來政府開始積極推動儀器產業發展，列為重點產業及重要關鍵技術之一，每兩年專案規劃儀器產業技術發展策略，以期帶動本土儀器產業技術發展。本中心進行精密儀器研究發展與技術服務廿餘年，深感國內儀器資訊之重要，陸續編輯出版『科儀新知』、『科儀叢書』等專業刊物及建立『全國科學儀器網路查詢系統』供各界使用。近年來科技發展一日千里，新穎設備不斷問世，系統愈形繁雜，新名詞、新術語層出不窮，本中心乃編纂兼顧廣度與普及性的儀器百科全書，有系統且廣泛地介紹各種科學儀器，『儀器總覽』便是此一構思下之產物，透由國內專家、學者參與，藉深入淺出的解說一方面為廣大青年學子與社會人士解讀各種科學儀器，另一方面亦作為相關技術人員補充專業領域之儀器知識的參考工具。

鑑於儀器係結合光、機、電、真空、控制等物理、化學及生命技術之整合系統，種類繁多，各國分類標準及涵蓋範圍亦隨該國產業現況而異，而我國在工業生產統計分類上尚無精密儀器產業類，「儀器總覽」則依儀器用途概分為八大類組，涵括基本物理量量測儀器、光學量測儀器、化學分析儀器、材料分析儀器、表面分析儀器、電子測試儀器、醫療儀器、環境及安全衛生檢測儀器等，從基本簡易的量測儀器到尖端複雜的分析儀器，盡皆包羅其中。每項儀器的內容儘可能以淺顯易懂的文字表達，避免太過專業的術語與公式，並著重基本原理的說明與實際的應用介紹。

本總覽自 84 年 11 月開始規劃，從架構的研擬，儀器項目的分類，到實際內容的撰寫與審核，共邀集了約二百位儀器相關領域的學者專家共同參與，其中包括大專院校教授、研究機構研究人員、醫學中心的醫生及技術人員等，本總覽承蒙專家學者於百忙之中鼎力協助，方能順利付梓，對所有參與撰稿、審稿及編輯的單位與人員，特致謝忱。本總覽內容如有疏漏之處，冀望各界先進不吝指正，俾供未來修訂增補時之參考。

國科會精密儀器發展中心主任

黃文雄 謹誌

中華民國八十七年九月一日

編審委員

總召集人

黃文雄 國科會精密儀器發展中心主任

副總召集人

陳建人 國科會精密儀器發展中心副主任

分組召集人

楊末雄 國立清華大學原子科學系教授

委員

吳家誠 國立台灣師範大學化學系教授

凌永健 國立清華大學化學系教授

黃顯達 國立清華大學化學系教授

董瑞安 國立清華大學原子科學系教授

鄭鴻鉸 工業技術研究院化學工業研究所研究員

(按姓名筆畫序)

編輯說明

一、編輯目的

儀器在科學研究與工業生產上是極為重要的工具，且與日常生活的關係，如食品檢驗、環境偵測、醫療診斷等，亦日趨密切。環視國內現有之儀器書刊，或為龐大深入之專書，或為尖端之技術性論文，欠缺對儀器廣泛而完整的介紹。精密儀器發展中心彙編本「儀器總覽」，即希望由全面性的角度出發，以較為淺易卻不失完整的方式，向讀者介紹各種儀器。

因為內容較為淺易，故適合大專院校學生與從事儀器相關工作人員，甚或一般社會大眾，建立對儀器基本的認識與瞭解。因為涵蓋了各種領域的儀器，故也適合對某類儀器相當熟悉之研究人員或儀器廠商參考使用。

二、範圍與分類

本總覽收錄之儀器項目以商業化產品為原則。功能過於簡單之工具，因不具備完整的量測或分析功能，不在收錄範圍。所收錄之儀器，依其應用領域，概分為八個類組：

- 基本物理量量測儀器
- 光學量測儀器
- 化學分析儀器
- 材料分析儀器
- 表面分析儀器
- 電子測試儀器
- 醫療儀器
- 環境及安全衛生檢測儀器

各類組依其所含儀器之功能、性質，再細分為不同次項目。

三、基本格式

每項儀器原則上以二至四頁之版面介紹，其內容由以下項目所構成：

1. 名稱：儀器的中、英文名稱
2. 關鍵字：列出該儀器內文中重要的關鍵字與關鍵詞，中、英文並列。
3. 基本原理：說明儀器運作的基本原理與概念。
4. 結構示意圖：利用平面結構圖標明儀器的各項元件，或以方塊圖說明儀器各部份的功能。

5. 規格與特徵：說明一般商業化產品的規格及其優、缺點。
6. 應用與用途：說明儀器主要的應用及其操作技巧。
7. 參考文獻：列出相關的書籍及文獻資料，以供讀者更深入探討之參考。

極少部份的儀器，因其特殊性或解說上的需要，未完全遵循上述原則，例如部份醫療儀器，因涉及人體安全，增列儀器使用安全事項。有些儀器則因其較為簡單或較為複雜，篇幅略有增減。這些都不會影響讀者之閱讀。

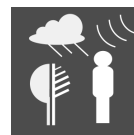
四、出版形式

為便於讀者閱讀與使用，本總覽依八個類組分冊編印，每一冊除有該類組收錄儀器之中、英文目錄外，並將該冊全部關鍵字，分別依中文及英文排序方式整理為索引，以利讀者查閱。全書並編印總目錄一冊，將八個類組的儀器目錄及索引彙整，除方便查閱，亦有助於不同類組間的參照。

在「基本物理量量測儀器」類組中，因收錄之儀器多與度量衡的標準檢測有關，特附錄經濟部公告之「度量衡單位及其所用之倍數、分數之名稱、定義及代號」，供讀者參考。

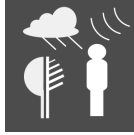
部份類組所涵蓋的儀器領域較廣，儀器種類與項目非常多，部份儀器項目於本輯中未能收錄，加上新產品陸續推出，本中心將持續增補出版。

目錄



空氣及煙道氣採樣檢驗類

- 1 動壓平衡態等速煙道採樣組裝
Isokinetic Stack Sampling Train
- 4 皮托管及壓差計
Pitot Tube and Differential Pressure Gauge
- 6 PM10 高流量採樣器
PM10 High Volume Sampler
- 8 高量空氣採樣器
High-Volume Air Sampler
- 11 揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器
Auto Volatile Organic Compound Canister Sampler
- 13 Tenax 吸附管－加熱脫附儀器
Tenax Tube-Thermal Desorption Equipment
- 15 揮發性有機化合物採樣組裝
Volatile Organic Sampling Train (VOST)
- 17 總氮氧化合物採樣組裝
Nitrogen Oxides Sampling Train
- 19 總硫氧化合物採樣組裝
Sulfur Oxides Sampling Train
- 21 氯化氫採樣組裝
Hydrogen Chloride Sampling Train
- 23 氣相層析／自動監測儀
Gas Chromatography/On-line Monitoring Device
- 25 開徑式監測儀器－差異吸收光譜儀
Differential Optical Absorption Spectrometer (DOAS)
- 28 不鏽鋼採樣筒／氣相層析質譜儀
Canister Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometer
- 31 開放路徑式－傅立葉轉換紅外光譜儀
Open-Path Fourier Transform Infrared Spectrometer
- 34 多行程吸收槽－傅立葉轉換紅外光譜儀
Multi-Path Absorption Cells FTIR (Extractive FTIR)



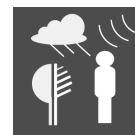
- 38 氣相層析／紅外光譜儀／質譜儀
Gas Chromatograph/Infrared Spectrometer/Mass Spectrometer (GC/IR/MS)
- 41 碳氫化合物分析儀
Hydrocarbon Analyzer
- 44 氮氧化合物自動分析儀
Nitrogen Oxides Analyzer
- 46 二氧化硫含量分析儀
Sulfur Dioxide Analyzer
- 48 非分散性紅外線分析儀
Non-dispersive Infrared Analyzer (NDIR)
- 50 奧塞特氣體分析儀
Orsat Apparatus
- 52 固定型酸雨自動分析儀
Automatic Acid Rain Monitor
- 55 可攜式氣相層析儀
Portable Gas Chromatography (PGC)

水質檢驗類

- 58 紫外光／可見光分光光度計
Ultraviolet-Visible Spectrophotometer
- 60 濁度計
Turbidimeter
- 62 海水採樣器
Seawater Sampler
- 64 高壓分解釜
High-Pressure Bomb (Autoclave)

土壤及廢棄物前處理檢驗類

- 67 自動元素分析儀
Automatic Organic Elemental Analyzer
- 70 吹氣捕捉設備
Purge and Trap Apparatus



-
- 73 毒性特性溶出裝置
Toxicity Characteristic Leaching Apparatus
 - 75 熱脫附／吹氣捕捉裝置
Thermal Desorption/Purge and Trap Apparatus
 - 78 閃點測定儀
Flash-Point Tester
 - 81 總有機碳分析儀
TOC Analyzer
 - 84 加速溶劑萃取儀
Accelerated Solvent Extractor (ASE)
 - 87 微波萃取設備
Microwave Extraction System
 - 90 土壤粒徑分析儀
Soil Particle Size Analyzer

輻射檢驗類

- 93 低背景加馬能譜分析儀
Low Background Gamma Spectrum Analyzer
- 97 低背景液體閃爍分析儀
Low Background Liquid Scintillation Analyzer
- 100 低背景阿伐能譜分析儀
Low Background Alpha Spectrum Analyzer
- 103 貝他能譜分析儀
Beta Spectrum Analyzer
- 106 熱發光劑量計
Thermoluminescent Dosimeter (TLD)
- 109 極低頻電磁場檢測儀
Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Monitor

-
- 111 中文關鍵字索引
 - 113 英文關鍵字索引

動壓平衡態等速煙道採樣組裝

Isokinetic Stack Sampling Train

關鍵字：動壓平衡態等速採樣、採樣組裝

Keywords：isokinetic sampling, sampling train

一、基本原理

動壓平衡態等速煙道採樣組裝乃依據發表在美國環保署 40CFR Part 60 Appendix A 上之標準方法而設計，用以等速吸引煙道排氣，檢測其中粒狀污染物濃度。

煙道排氣經由一吸氣嘴 (nozzle) 進入採樣組裝，經由加熱採樣管 (probe) 進入收集粒狀物之濾紙固定器，再通過一系列之冷卻吸收瓶，使其中易冷凝及酸性物質冷凝下來，同時冷卻氣體，最後通過抽氣馬達、乾式氣體流量計和針孔閥出口。

二、結構示意圖

動壓平衡態煙道採樣組裝包含 5 個部份：(1) 採樣管，(2) 濾紙加熱箱，(3) 氣體冷卻箱，(4) 導氣管線，(5) 控制器，如圖 1 所示。

1. 採樣管

- (1) 吸氣嘴：不鏽鋼、硼矽玻璃或石英製。
- (2) 採樣管：以直徑 16 mm 之硼矽玻璃、石英或不鏽鋼為主體，外置一直徑 25.4 mm 之不鏽鋼以為保護，採樣期間，需以一加熱系統維持引進之煙道氣體之溫度在 $120 \pm 14^\circ\text{C}$ 。
- (3) 溫度感應器及皮托管 (Pitot tube)：用以測知煙道氣溫度及流速。

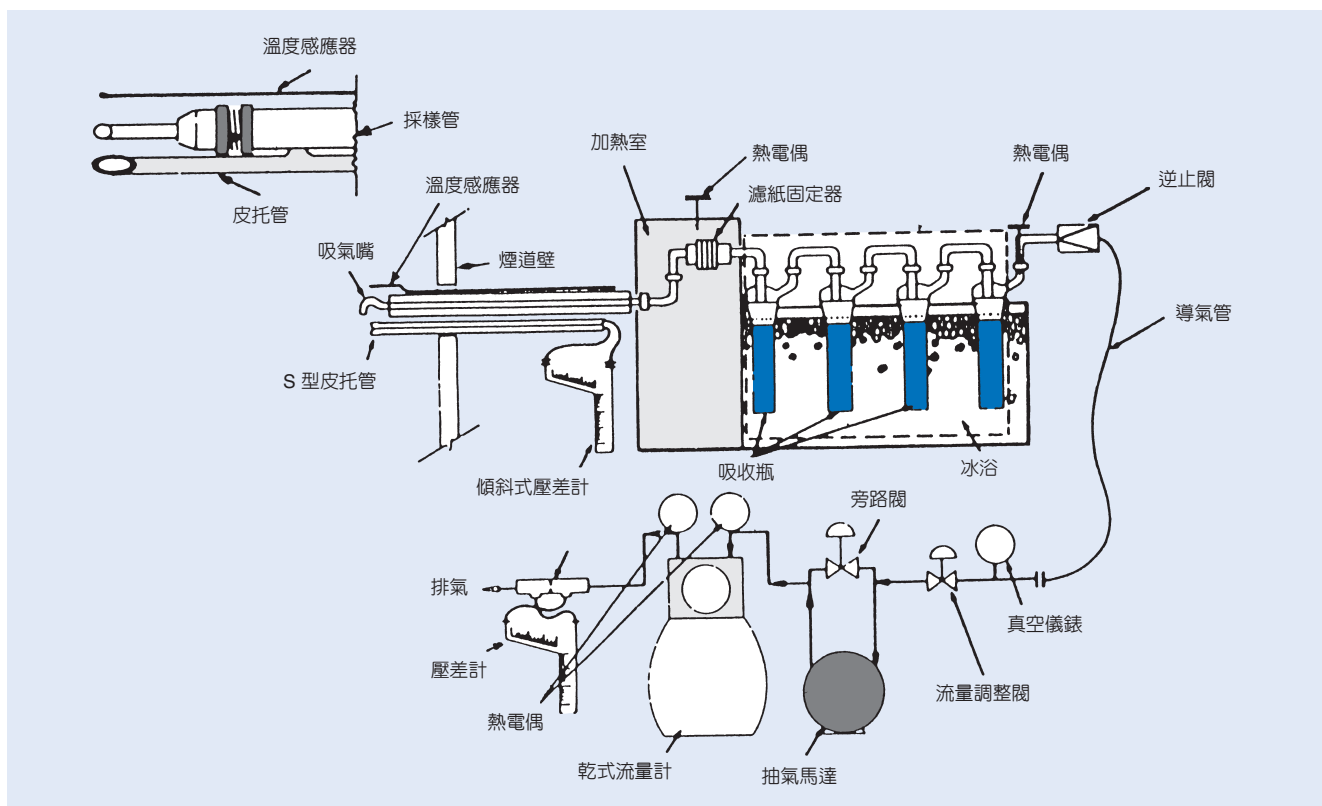


圖 1. 動壓平衡態煙道採樣組裝。

2. 濾紙加熱箱

此絕緣之加熱箱內有濾紙固定器，用以收集煙道氣中之粒狀物，同時防止氣體中之濕份冷凝下來，通常採用玻璃纖維濾紙，其必須對 $0.3 \mu\text{m}$ 之苯二甲酸二辛酯 (dioctyl phthalate, DOP) 顆粒具有 99.95 % 的過濾效果。具備一個可調整的加熱器用以維持加熱箱在 120°C ，並有熱電偶監控溫度。

3. 氣體冷卻箱

冷卻箱包括 4 支吸收瓶 (impinger) 用以去除煙道氣中之濕氣及可冷凝物質，並使氣體冷卻，其中第一、三、四支吸收瓶，必須是改良型 Greenburg-Smith 吸收瓶，第二支是標準型 Greenburg-Smith 吸收瓶。上述 4 支吸收瓶依次串連，第一、二支吸收瓶內裝 100 mL 蒸餾水，第三支不裝任何物質，第 4 支內裝 $200 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ 藍色矽膠 (silica gel) 或等量之乾燥劑。

4. 導氣管

導氣管包括：(1) 樣品管線、(2) 熱電偶線、(3) 皮托管線、(4) 聯絡管線、(5) 濾紙加熱箱及採樣管加熱器所需之電線管路。標準導氣管線長為 25 呎。

5. 控制器

用來調整並監測氣體流速，使達到等速吸引狀況，在這控制器內有一抽氣馬達來用抽氣。還有真空儀錶 (vacuum gauge)，在此測知氣流真空度，氣體流量計，在氣體流量計前後各有一熱電偶測知氣體溫度。最後氣體流經一校正過之針孔閥 (orifice) 再排出大氣。控制器亦具備採樣設備上所有溫度感應器之偵測與加熱設施溫度控制。

三、儀器規格與特徵

商業化的等速煙道採樣組裝型式有兩種，一為自動採樣組裝 (auto sampling train)，另一為手動採樣組裝 (manual sampling train)，主要規格差異在控制器。

1. 自動採樣組裝

自動採樣組裝之控制器是一電子式設備，如圖

2 所示，控制器面板共有 21 個鍵及液晶顯示器，用於美國環保署 40CFR Part 60 Appendix A Method 1-4 參數設定與數據計算儲存，並將資料顯示在液晶顯示器上。採樣過程中，煙道氣體經由 S 型皮托管進入控制器壓力感測器偵測到流速，控制器會利用預先輸入之參數換算出採樣流速，自動調整抽氣馬達吸引速度，達到等速採樣。而採樣組裝整個操作過程的所有參數設定值，壓力感測值、加熱設定值、溫度偵測值、採樣平均流速、等速吸引比例、採樣時間、採樣體積等等數據皆會自動儲存在控制器中，可經由磁片將數據轉錄下來，再藉電腦設備與印表機列印出所有數據資料。

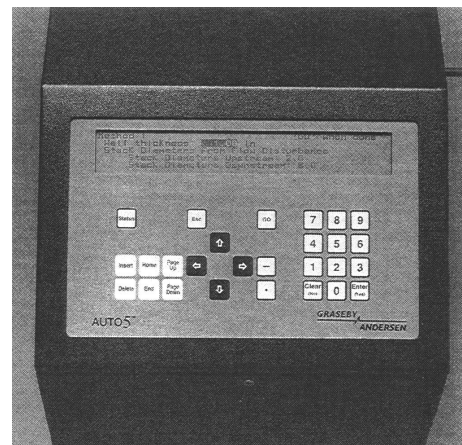


圖 2. 自動採樣組裝控制器。

2. 手動採樣組裝

手動採樣組裝之控制器是一機械式設備，如圖 3 所示，控制器本身包含乾式流量計、溫度控制器、溫度偵測顯示器、傾斜式壓差計、流量調整閥和計時器。等速吸引採樣的控制是藉由 S 型皮托管與傾斜式壓差計測定煙道流速產生的壓差值，經過換算後，手動調整乾式流量計針孔閥的壓力讀值，即可控制抽氣馬達吸引速度，達到等速採樣。手動採樣組裝的所有數據皆必須藉由操作人員逐一記錄下來。

上述兩種煙道採樣組裝各有優缺點，自動採樣組裝的優點在於操作便利，只要輸入參數及設定值，控制器即可換算數據並自動控制採樣速度達到等速吸引，所有數據也可自動計算、儲存及轉載列印，缺點則是採樣組裝及控制器皆為電子設備，維

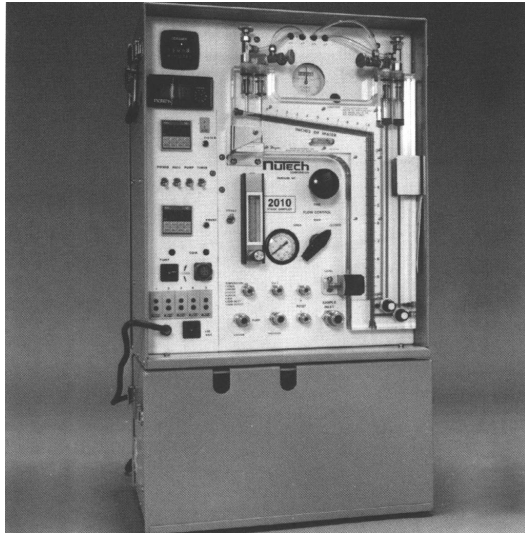


圖3. 手動採樣組裝控制器。

護不易，且儀器校正有別於一般採樣設備的校正程序。手動採樣組裝的優點恰與自動採樣組裝相反。

四、應用與用途

動壓平衡態等速煙道採樣組裝是應用在美國環

保署 40CFR Part 60 Appendix A Method 5，該方法是採集煙道排氣中粒狀污染物，測定其濃度或其內組成成分含量，採樣程序須先選擇測定位置，設置測定孔以及決定測定點。採樣管及吸氣嘴由測定孔插入管道內部，吸氣嘴之先端置於預定的測定點，以等速吸引法吸引採集煙道氣，其中所含之粒狀物將由玻璃纖維濾紙所捕集，並由粒狀物質量及吸引裝置所得之氣體量，求出粒狀物之濃度。

參考文獻

1. USEPA 40CFR Part 60 Appendix A Method 5, *Determination of particulate emissions from stationary source* (July, 1995).
2. Graseby Andersen Company, *Auto 5 Automatic Stack Sampler Operation Manual*.
3. Graseby Nutech Company, *Manual Sampling Train Operation Manual*.

作者：杜敬民先生為國立台灣大學化學碩士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

皮托管及壓差計

Pitot Tube and Differential Pressure Gauge

關鍵字：皮托管、壓差計

Keywords： Pitot tube, differential pressure gauge

一、基本原理

皮托管和壓差計是用來量測排放管道中氣流產生之壓力降 (動壓)，配合氣體密度計算氣流的平均速度。測定排氣之動壓時，測定器具組成如圖 1 所示，皮托管之全壓孔正對測定點之排氣流向，用壓差計測定其動壓，而動壓原則上須採用可讀壓 $0.1 \text{ mmH}_2\text{O}$ 值者，在該測點皮托管與排氣流向的角度偏差應在 10° 以下。

二、結構示意圖

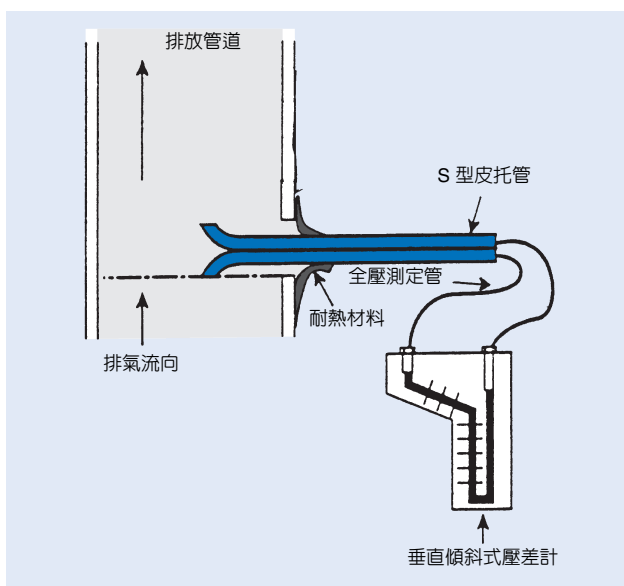


圖 1. S 型皮托管及垂直傾斜式壓差計組裝示意圖。

圖 1 所示之皮托管和壓差計分別稱為 S 型皮托管和傾斜式壓差計。金屬材質 (如不鏽鋼) 的 S 型皮托管，其外徑應介於 0.48 及 0.95 cm 之間，皮托管兩分管自底端至開口面應等距，且此距離最好介於皮托管外徑的 1.05 倍至 1.50 倍之間。

大部份的採樣組裝都裝置 250 mm (水柱) 垂直傾斜式壓差計，其傾斜部份最小刻度為 0.5 mm

H_2O ，範圍自 0 至 25 mm 之間，垂直部份最小刻度為 $2 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，範圍自 25 至 250 mm 之間。

三、儀器規格與特徵

S 型皮托管應有一已知係數，決定此數字的方法有兩者可供選擇：(1) 以標準皮托管校正 S 型皮托管，(2) 以 0.84 當作 S 型皮托管之基準係數值。以永久性之標示方式或雕刻的方法將此數字標明於皮托管上。標準皮托管應有一已知的係數，獲得方法可為：

- (1) 直接從 The National Bureau of Standards, Route 270, Quince Orchard Road, Gaithersbury, Maryland, USA；
- (2) 以具 NBS-Traceable 係數之標準皮托管校正其他的標準皮托管。其他依照以下規範所設計的標準皮托管，亦可使用，依照這些規範所設計之皮托管，如圖 2 所示，將有一 0.99 ± 0.01 的基準係數。
 1. 半球形 (如圖 2 所示)，橢圓形或圓錐形的管頭。
 2. 管頭與靜壓孔之間至少應有 6 倍管徑間距。
 3. 靜壓孔與外管之中心線至少需有 8 倍管徑間距，且為 90° 之彎曲。
 4. 靜壓孔應具相同尺寸大小 (約為 0.1 管徑) 且呈環狀均勻分佈。

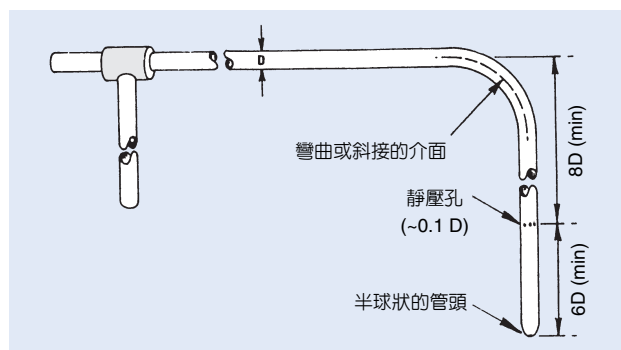


圖 2. 標準皮托管示意圖。

5. 以斜接或彎曲的方式獲 90° 彎曲度。

標準皮托管若符合上述的規範，亦可代替 S 型皮托管，標準皮托管靜壓孔在固態粒子較多的氣流中非常容易阻塞。因此在使用過程中，必須充分的確認孔洞不被阻塞。不能直接採用測定點最後的壓差值，必須以反向排除 (back-purging) 的方式以加壓空氣將此靜壓孔清理乾淨之後，再得一壓差讀數。倘若清除前壓差值與清除後壓差值相同 ($\pm 5\%$)，則此測試結果可採用，否則捨棄此測試值。

垂直傾斜式壓差計如圖 1 所示，此種型式的壓差計適用於量測高於 1.3 mmH₂O (0.05 inH₂O) 的壓差，若有下述任一情形發生時，必須使用更靈敏的壓差計：(1) 排放管道中測定點所有壓差讀數之算數平均值小於 1.3 mmH₂O，(2) 測定點若有 12 個或 12 個以上時，超過 10% 的個別壓差讀數低於 1.3 mmH₂O 時，(3) 測定點為 12 個以下時，若有一個以上的壓差讀數低於 1.3 mmH₂O。

另一種常用壓差計稱為斜臂傾斜式壓差計如圖 3 所示，此種壓差計管長為 300 mm，最小刻度 1 mm，充填純水相當於 1 mmH₂O，其本身具有傾斜度調整功能，一般擁有一段傾斜度調整可供選擇，分別為斜率 1/10、1/5 及 1/3，所得測值即為讀值的 1/10、1/5 及 1/3，如此最小測量單位即為 0.1

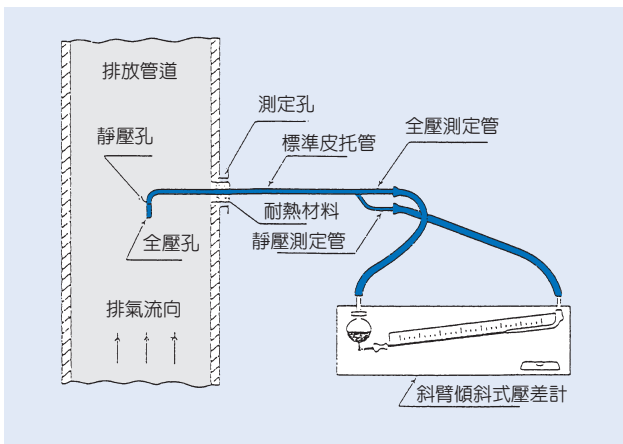


圖 3. 標準皮托管及斜臂傾斜式壓差計組裝示意圖。

mmH₂O，例如採用斜率 1/10 進行量測，所得讀值為 32 mmH₂O，而真正壓差測值即為 3.2 mmH₂O。

四、應用與用途

(1) 使用已知皮托管係數 (C) 之 S 型皮托管及傾斜式壓差計如圖 1 組裝，即可測得排放管道中氣流之動壓 (P_v)，若僅接上全壓測定管，另一端不連接壓差計，可測得全壓 (P_t)，靜壓 (P_s) 則以下式計算之。

$$P_s = P_t - C^2 \times P_v$$

(2) 使用已知皮托管係數 (C) 之標準皮托管及傾斜式壓差計如圖 3 組裝，即可測得排放管道中氣流之動壓 (P_v)，若僅接上全壓測定管，可測得全壓 (P_t)，若僅接上靜壓測定管，則可量測靜壓 (P_s)。

(3) 以上述任一種皮托管及壓差計量測排放管道各測定點之流速可以下式計算之。

$$v = C \sqrt{\frac{2gP_v}{\gamma}}$$

v ：流速 (m/s)

C ：皮托管係數

P_v ：皮托管動壓測定值 (mmH₂O)

γ ：管道內溼排氣單位體積之質量 (kg/m³)

g ：動力加速度 (9.81 m/s²)

參考文獻

1. USEPA 40CFR Part60 Appendix A Method 2, *Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate* (Type S Pitot tube), July (1995).
2. 排放管道中粒狀污染物採樣及其濃度之測定方法, 行政院環境保護署 NIEA A101.7 譯, 中華民國八十三年三月。

作者：杜敬民先生為國立台灣大學化學碩士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

PM10 高流量採樣器

PM10 High Volume Sampler

關鍵字：空氣動力直徑小於 10 μm 以下的懸浮微粒、懸浮微粒、採樣器

Keywords： PM10, suspended particulate, sampler

一、基本原理

高流量 PM10 採樣器的設計原理是利用一個粒徑選擇進口裝置 (size-selective inlet)，來去除空氣動力直徑大於 10 μm 以上的微粒，10 μm 以下 (PM10) 微粒則由採樣器內的濾紙收集。PM10 的測值是由濾紙所收集，並由天秤稱得的微粒重量除以通過採樣器的總標準空氣流量而得，單位以微克／標準立方米 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) 表示。目前常用的 PM10 高流量採樣器粒徑選擇進口裝置有兩種：一為衝擊式進口，另一為旋風式進口。

二、結構示意圖

1. 衝擊式進口 PM10 高流量採樣器

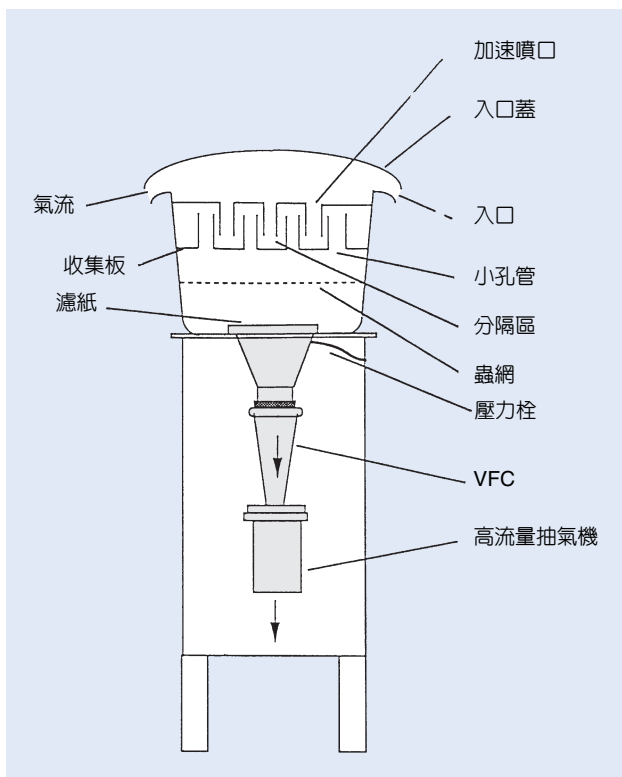


圖 1. 衝擊式進口 PM10 高流量採樣器示意圖。

衝擊式進口 PM10 高流量採樣器如圖 1 所示，在衝擊式的進口設計上，空氣進入進口之後，由九個加速噴嘴加速並將其中空氣動力直徑大於 10 μm 的微粒衝擊於塗有油脂的衝擊墊片上，小於 10 μm 的微粒則經由十六根排氣管並由下方的濾紙收集。為了使截取尺寸維持在 10 μm ，流量必須控制在設計值 1.13 實際立方米／分的 $\pm 10\%$ 範圍之內。此流量的控制係經由文氏管型的流量控制器來達成。

2. 旋風式進口 PM10 高流量採樣器

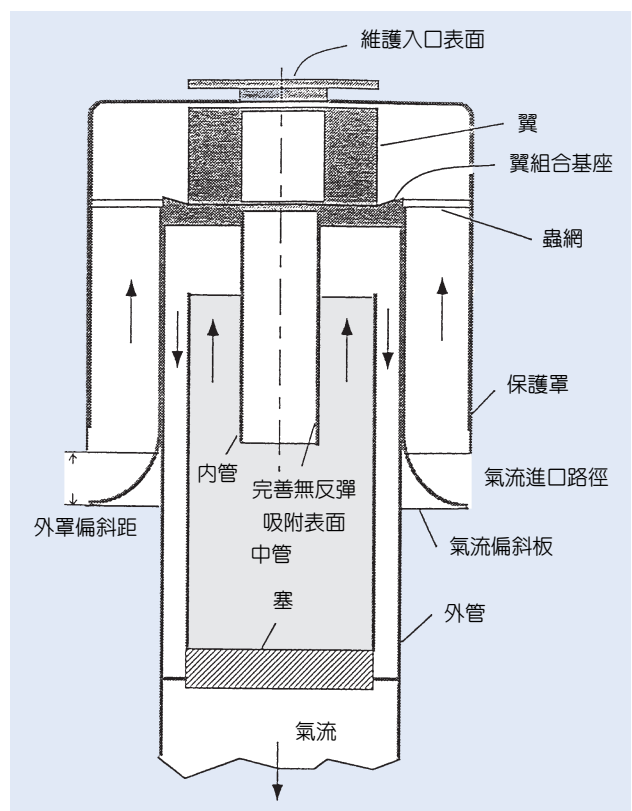


圖 2. 旋風式進口 PM10 高流量採樣器示意圖。

旋風式進口 PM10 高流量採樣器如圖 2 所示，在旋風式的進口中，空氣流經一排導翼而獲得角速

度量，其中 $10\ \mu\text{m}$ 以上的微粒受離心力而附著於含有油脂的內收集管壁之上。隨之空氣向上進入中間管後再轉而向下，其中小於 $10\ \mu\text{m}$ 的微粒由下方的濾紙收集。

三、儀器規格與特徵

一個 PM10 採樣器必須以空氣動力直徑為 3—25 μm 的單徑液體微粒在風洞中進行測試，並由 2、8 及 24 公里／小時風速下的收集效率曲線求得之質量濃度和規範之理想採樣器求得之濃度相差在 $\pm 10\%$ 之內。在各風速下，此收集效率曲線中的 50% 分隔點 (cutpoints) 必須在 $10 \pm 0.5\ \mu\text{m}$ 之內才算合格。美國環保署之 PM10 採樣器性能規範如表 1 所列。

表 1. 美國環保署之 PM10 採樣器性能規範。

| 性能參數 | | 規範 |
|--------------------|-------|--|
| 採集效率 | 液體粒狀物 | 在 3 種風速下由採樣效率曲線求得之質量濃度和規範之理想採樣器求得之濃度相差在 $\pm 10\%$ 之內。 |
| | 固體粒狀物 | 對 25 μm 粒子之收集效率不能高於液體粒狀物對同樣大小粒子收集效率之 5%。 |
| 50% 分隔點 (cutpoint) | | 空氣動力直徑 $10 \pm 0.5\ \mu\text{m}$ 。 |
| 精密度 | | 濃度小於 $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 為 $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 濃度大於 $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 為 7%。 |
| 流量穩定性 | | 平均 24 小時的流量必須在初始流量的 $\pm 5\%$ 以內。 所有量測的流量必須在初始流量的 $\pm 10\%$ 以內。 |

由於各型 PM10 採樣器的設計方式不同，進口採樣效率曲線也不同，因此無法期望每個 PM10 採樣器的測值均相同。一般而言，使用衝擊式進口的高流量採樣器，其 PM10 測值應該會比使用旋風式

進口的高流量採樣器的測值高。

在衝擊式的進口中，衝擊墊板必須塗上黏性物質，以防止 $10\ \mu\text{m}$ 以上的微粒反彈而影響 PM10 的測值。同樣的，在旋風式的進口中，內收集管的內壁亦必須定期清理、保養，以確保 $10\ \mu\text{m}$ 以上的微粒不會產生反彈現象。

四、應用與用途

有鑑於空氣動力直徑小的懸浮微粒可以穿透鼻喉區並沈積於支氣管及肺部區，對人體健康的影響重大，因此美國環保署於 1987 年 7 月公布了 PM10 (空氣動力直徑小於 $10\ \mu\text{m}$ 以下的懸浮微粒) 的國家空氣品質標準，以取代以往的總懸浮微粒 (total suspended particulates, TSP) 的標準。目前我國國家空氣品質標準中的微粒物質，係採行 TSP 以及 PM10 兩種標準。

而粒狀物濃度偏高是國內空氣污染主要的嚴重問題之一。空氣污染指標 (pollution standard index, PSI) 有 70% 以上，即以粒狀物為最大指標污染物。藉由 PM10 高量採樣器進行採樣檢測，可測得當地空氣品質中 PM10 微粒物質濃度是否符合國家標準。

參考文獻

1. *Instruction and Operation Manual High Volume PM10 Sampler*, Andersen Samplers, INC. (July, 1988).
2. 行政院環境保護署, 品質保證作業-PM10 懸浮微粒採樣器的準確度研究, EPA-82-L103-09-10 (June, 1993).
3. 行政院環境保護署, 對粒狀物以 TSP、PM10 及 β -gauge 測定方法之比較, EPA-79-007-02-102 (Aug., 1980).

作者：杜敬民先生為國立台灣大學化學碩士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

高量空氣採樣器

High-Volume Air Sampler

關鍵字：高量空氣採樣器、總懸浮微粒、採樣器

Keywords：high-volume air sampler, total suspended particulate, sampler

一、基本原理

高量空氣採樣器一般而言皆用於大氣環境中總懸浮微粒 (total suspended particulate, TSP) 之測定，大氣中粒徑小於 $100\ \mu\text{m}$ (氣動直徑, aerodynamic diameter) 之懸浮微粒經由高量空氣採樣器採集吸附於濾紙上，並由天秤稱得懸浮微粒重量，除以通過採樣器的總標準空氣流量 ($0\ ^\circ\text{C}$, $760\ \text{mmHg}$)，可得空氣中總懸浮微粒的濃度，其單位為 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。所採集的樣品亦可用來做其他分析之用，大氣環境採樣以 24 小時為原則，而工廠周界採樣視污染源濃度而定，通常以 1 小時為原則。

二、結構示意圖

高量空氣採樣器 (high-volume air sampler) 是由空氣吸引部、濾紙固定器、流量測定部及保護器 (shelter) 所構成，如圖 1 所示。

1. 空氣吸引部：是由整流馬達連結二段離心渦輪式風扇 (turbine type fan) 所構成，具有 $2\ \text{m}^3/\text{min}$ 之吸引量。
2. 濾紙固定器：能保護 $20\ \text{cm} \times 25\ \text{cm}$ (或 $8\ \text{inch} \times 10\ \text{inch}$) 之濾紙不致破損且不漏氣的一種裝置，直接與空氣吸引部連結，其使用各部之材質如下。
 - (1) 濾框 (frame)：使用耐腐蝕之材質 (如不銹鋼或高級鋁合金)，能固定濾紙使不致破損。
 - (2) 網狀物 (net)：在通氣時具有適當之強度可保護濾紙不會破損，其使用耐腐蝕之材質 (如不銹鋼) 製造，且此材質不可帶給濾紙任何不純物，其尺寸與濾紙相同，置於濾框內，又不通氣部份使用氟化樹脂製品之膠帶固定。
 - (3) 墊圈：其尺寸必須符合濾框，又其與濾紙接觸部份必須使用氟化樹脂製品之膠帶固定。
 - (4) 鎖具：裝卸濾紙時為防止破損及漏氣的一種裝

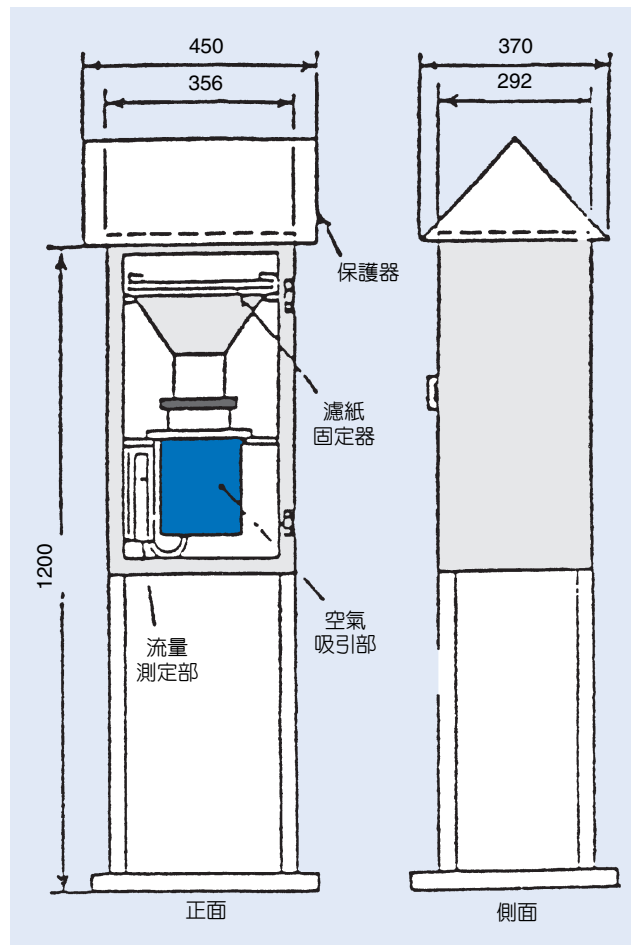


圖 1. 高量空氣採樣器之構造 (單位：mm)。

- 設，其為耐腐蝕之材質 (如不銹鋼或高級鋁合金) 所製成的。
3. 流量測定部：流量測定部通常是使用裝卸方便之浮子流量計，其相對流量單位為 $1.0-2.0\ \text{m}^3/\text{min}$ 之範圍。
 - (1) 流量調節器：可變電阻裝置，以調節採樣器適當之流量。
 - (2) 小孔校正器和 U 型水柱壓力計：用以校正採樣器之流量計讀數。

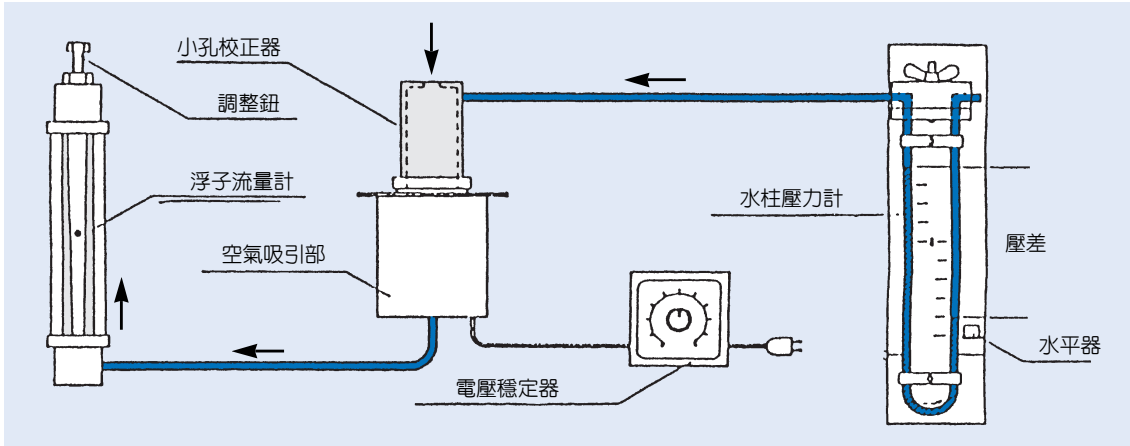


圖2. 小孔校正器之裝置。

4. 保護器 (shelter)：使用耐腐蝕性之材質製作，採樣時捕集面朝上，水平固定，保護器之構造及尺寸如圖1所示，可承受風雨而不致破損濾紙。
5. 採集用濾紙：須符合下列基本規格
 - (1) 濾紙尺寸：20 × 25 cm (或 8 in × 10 in)。
 - (2) 濾紙之有效採集面積：18 cm × 23 cm (或 7 in × 9 in)。
 - (3) 濾紙材質：一般使用玻璃纖維濾紙，若欲作化學分析，則可使用其他特殊材質濾紙。
 - (4) 濾紙之採集效率：原製造廠出廠時已經苯二甲酸二辛酯 (dioctyl phthalate, DOP) 試驗，確認對於 0.3 μm 粒狀物具有 99.95 % 之採集效率。

三、儀器規格與特徵

目前商業化的高量空氣採樣器廠牌頗多，主要規格皆如結構示意圖部份所述。使用前後須校正採樣器之流量，依照設備差異其校正方式可分為以下幾種。

1. 浮子流量計法

- (1) 將採樣器的過濾器承接組合拆除，換上小孔校正器 (orifice calibrator) 並連接 U 型水柱壓力計，如圖 2 所示。
- (2) 打開電源，以一系列不同之穩定流量 (通常 6 個) 操作採樣器，記錄水柱壓力差和浮子流量計讀數。
- (3) 查出水柱壓力差壓所對應的流量 (可表示為標準

狀態流量)，記錄下校正時大氣之溫度、壓力。

- (4) 以採樣器上流量計讀數和真正標準流量的數據，繪出關係曲線，並註明採樣器和流量計之編號，並將曲線圖貼於採樣器內，日後正式採樣可依浮子流量計讀數對應出真正的流量值。

2. 壓力計法

此法適用於以壓力計記錄流量之採樣器

- (1) 將採樣器的過濾器承接組拆除，換上小孔校正器並連接 U 型水柱壓力計。
- (2) 打開電源，以一系列不同之穩定流量 (通常 6 個) 操作採樣器，記錄水柱壓力差和壓力計讀數。
- (3) 將水柱壓力差壓所對應的真正流量查出。
- (4) 以壓力計讀數和實際流量的數據，繪出關係曲線，並註明採樣器和壓力計之編號，並將曲線圖貼於採樣器內，日後正式採樣可依壓力計讀數對應出真正的流量。

3. 臨界流量採樣器

利用機械原理調整流量，使採樣過程中之流量保持一定。

四、應用與用途

高量空氣採樣器主要應用於空氣中總懸浮微粒之測定，採集前先將濾紙置於矽膠乾燥器內 48 小時以上使之乾燥後，移於恒溫、恒濕之天平室內秤重 (W_s ，精確至 0.1 mg)，經秤量後之濾紙移置於濾

紙固定器，經高量空氣採樣器採集樣品，記錄吸引空氣量 (V)，採集後之濾紙其較長之一邊 (約 25 cm) 對摺，將粒狀物採集面摺於內，放入封套中取回檢驗。依上述之條件，放置達恒重後精確秤量 (W_e)。總懸浮微粒之濃度可依 (1) 式計算求出。

$$\text{總懸浮微粒之濃度 } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_e - W_s}{V} \times 10^6$$

W_e ：採集後之濾紙重量 (g)

W_s ：採集前之濾紙重量 (g)

V ：吸引空氣量 (m^3)

參考文獻

1. 行政院保護署, 空氣中粒狀污染物測定法—高量採樣法, NIEA A102.10A (1988).
2. 行政院環境保護署, 對粒狀物以 TSP、PM10、 β -gauge 測定方法之比較, EPA-79-007-02-102 (1990).

作者：杜敬民先生為國立台灣大學化學碩士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器

Auto Volatile Organic Compound Canister Sampler

關鍵字：揮發性有機化合物、不鏽鋼筒、採樣器

Keywords：volatile organic compound, canister, sampler

一、基本原理

揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器使用鼓風機自不鏽鋼採樣管對環境空氣作吸氣，從採樣管接點使用真空幫浦抽引；並用質量流量控制器作少量且定量之空氣採樣至不鏽鋼筒。6 公升之不鏽鋼筒 (canister) 充滿後之壓力大約為 23 psig；並有電子數位計時器，可用於控制採樣時間與間隔，及一個計時器用來記錄採樣總時數。

二、結構示意圖

揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器結構示意圖如圖 1 所示，說明如下。

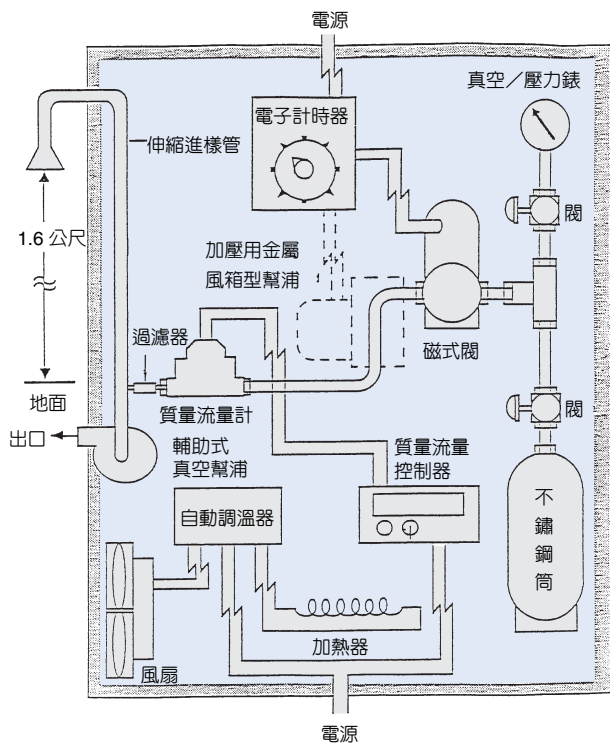


圖 1. 揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器結構示意圖。

1. 外殼

- (1) 可提式握把及可調式支架。
- (2) 各元件皆容易接觸到。
- (3) 符合需求的時間設定裝置。
- (4) 容易更換 6 公升不鏽鋼筒。
- (5) 預留大功能幫浦裝設空間。
- (6) 在戶外使用，具有適應不同天候的保護措施。
- (7) 具有恆溫裝置，可加熱或散熱。

2. 真空/壓力錶：30 inHg/30 psi。

3. 幫浦：置於防震架子上。

4. 計時器：可設定程式、電子式，符合 24 小時採樣功能。

5. 電子流量控制器：流量可選擇在 0 至 200 mL/min 或 0 至 2000 mL/min 之間。

6. 空氣過濾裝置。

7. 倒數計時器：可調整至 0.1 min。

8. 溫度測定器：裝置在外殼內，耐震。

9. 管線：不鏽鋼材質。

10. 採樣管：玻璃或不鏽鋼材質。

三、儀器規格與特徵

揮發性有機化合物不鏽鋼筒自動採樣器出廠前，已使用零級空氣 (zero air) 作整台儀器之清潔，可直接操作使用。一般皆為加壓式採樣設備，使用低壓不鏽鋼筒採集有機氣體；並可使用濕潤的零級空氣作筒子的清潔。某些機型另提供一個固態吸附裝置，可使特殊之有機氣體吸附於此固態吸附劑上，再使用儀器分析比較吸附方式與不鏽鋼筒方式之差異，在一般室內情況下，兩者使用上是無差別，但室外情況下，固態吸附方式，則無時間代表性，且吸附管的儲藏，冷凍運送方式皆是一大問題。

四、應用與用途

本儀器被設計利用被動式方式來採集空氣樣品，而此空氣樣品的採集方法是採用不鏽鋼筒，將已先抽至 10^{-2} mmHg 真空度之 6 公升不鏽鋼筒裝設於本採樣器中，以定流速 (0 至 200 mL/min) 進行常壓或加壓方式採集空氣，不鏽鋼筒中氣體再利用前濃縮技術濃縮一定量的空氣樣品，最後注入氣相層析儀 (GC) 連接質譜儀 (MS)、火焰離子化偵測器 (FID) 或電子捕集偵測器 (ECD)，測定空氣樣品中揮發性有機化合物的含量。

參考文獻

1. 行政院環境保護署, 空氣中揮發性有機化合物檢測方法驗證與研究(II), EPA-86-1304-09-01-05 (June, 1997).
2. USEPA, EMSL, Research Triangle Park, *Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*, TO-14 (1988).

作者：杜敬民先生為國立台灣大學化學碩士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

Tenax 吸附管—加熱脫附儀器

Tenax Tube-Thermal Desorption Equipment

關鍵字：熱脫附、Tenax 吸附管、吹氣捕集

Keywords：thermal desorption, Tenax tube, purge and trap

一、基本原理

應用熱脫附技術之分析方法相當廣泛，包含水樣、土壤及空氣樣品等不同基質，其中 Tenax 包含 Tenax-GC 及 Tenax-TA 等，是對空氣樣品最常使用之吸附劑，本文主要介紹使用此類吸附劑之分析方法及 Tenax 吸附管加熱脫附儀器。

目前已有許多國家級標準方法採用上述方法測定空氣中揮發性有機化合物 (volatile organic compounds, VOCs)，如美國環保署 (USEPA) 的空氣中毒性有機物分析方法 TO-1 及 SW-846 Method 0030 & 5041，吸附管均以 Tenax 為吸附劑在常溫採樣，經由加熱脫附後利用 GC-MS 分析，已被引進國內使用，環保署並公告為標準方法。

以 USEPA SW-846 Method 0030 & 5041 分析方法為例，其原理是將煙道排氣中揮發性主要有機有害成份 (principal organic hazardous constituents, POHCs)，利用揮發性有機化合物採樣組裝 (volatile organic sampling train, VOST)，以定流量採集煙道排氣至含 Tenax TA 及 Tenax TA—活性炭吸附劑之吸附管中，並同時收集經冷凝管冷卻的煙道水份，以熱脫附 (thermal desorption) 及吹氣捕集 (purge & trap) 方式將吸附管的待測有機物集中於分析吸附管後，再熱脫附注入氣相層析質譜儀 (GC/MS)，測定樣品中揮發性有機化合物的含量。其分析系統簡要流程圖如圖 1。

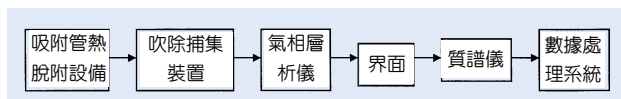


圖 1. 分析系統簡要流程圖。

二、結構示意圖

吸附管通常由一空管、吸附劑、具有固定功用的玻璃棉及防止污染的蓋子所組成，其材質可使用

玻璃或不鏽鋼製成，圖 2 為 Tenax 吸附管之圖示。Tenax 系列吸附劑是屬多孔聚合物，新的 Tenax 及玻璃棉必須以甲醇在索氏萃取裝置中萃取 24 小時後，置於 50 °C 的真空烘箱中乾燥 6 小時。吸附管填充 Tenax 後，加熱至 190 °C，並通以高純度氮氣，以 30 mL/min 流速連續沖提 12–28 小時後，靜置冷卻，以不鏽鋼帽或塑膠封套封緊並置於含活性碳之附鐵氟龍螺旋瓶蓋玻璃管中保存備用。當吸附管吸附高濃度之揮發性有機化合物時 (例如含 mg 以上的待測化合物)，Tenax 樹脂若欲重複使用，需以上述之過程處理之，否則在重複使用前經加熱淨化即可。

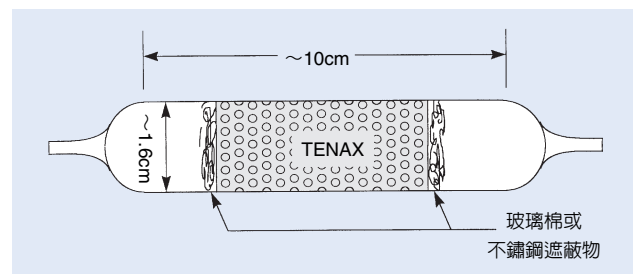


圖 2. Tenax 吸附管。

吸附管樣品進行熱脫附分析，為了增加分析效果，可將熱脫附出來的化合物經過冷凝濃縮，再經一次熱脫附，才進入分析系統。熱脫附及吹氣捕集裝置如圖 3，將吸附管裝置於熱脫附烘箱中，以高純度氮氣做為載流氣體，將揮發性有機化合物由吸附管反向帶出，經一吹氣捕集裝置，氣體經吹氣管後到分析吸附管，將揮發性有機化合物再一次吸附，然後再熱脫附至氣相層析分離管柱進行分析。

三、儀器規格與特徵

已商業化之吸附管加熱脫附儀器頗多，主要的規格差異在脫附溫度、脫附速率、傳輸管長度

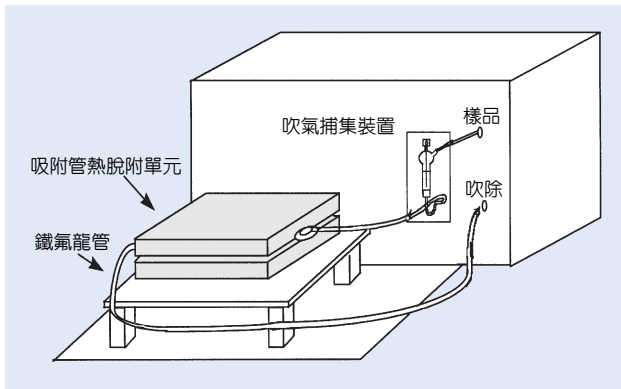


圖3. 吸附管加熱脫附及吹氣捕集裝置。

(transfer line)、有無分流裝置及冷凝捕集 (cold trap) 裝置等。其規格與功能各廠家均不相同，對分析的靈敏度及便利性亦有所不同，應視使用者之目的而定。

舉例來說，對於濃度較低的待測物，冷凝捕集裝置的使用可以獲得較佳之分析結果；但對於高濃度樣品，通常必須經過適當比例的分流。另外對於分析大量的例行性樣品，那麼儀器是否能夠自動化將是值得考量的因素。

四、應用與用途

一般搭配 Tenax 吸附管—加熱脫附儀器的分析

方法，幾乎皆為氣相層析法，且因大多用於測定揮發性有機化合物，故使用之偵檢器為火燄離子偵檢器 (FID) 以及具定性定量功能的質譜儀 (MS)。

熱脫附法自 1960 年代起國外即進行方法、儀器、吸附劑的開發與評估，而在 1980 年代之後此技術已步入成熟期，不僅開始有實際檢測應用，且陸續有相關的標準分析方法使用。可應用於煙道或周界排氣中揮發性有機化合物之檢測。

國內部份煙道或排放管道排氣中所含之有害揮發性有機污染物 (如苯) 濃度雖低，但若其排氣量大，則揮發性有機污染物的排放總量亦相當可觀，對這類煙道或排放管道，其檢測濃度範圍屬於 ppb 級，利用 USEPA SW 846 Method 0030 & 5041 方法即可達到此需求。

參考文獻

1. 作業環境有害物質採樣分析技術開發—熱脫附技術可行性評估先驅計畫, IOSH84-A304, 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 (1995).
2. 煙道排氣中揮發性有機化合物檢測方法之驗證, 行政院環境保護署 (1996).

作者：盧正權先生為美國加州大學 Irvine 分校化學博士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

揮發性有機化合物採樣組裝

Volatile Organic Sampling Train (VOST)

關鍵字：揮發性有機化合物採樣組裝、揮發性主要有機有害成份、破壞與去除效率

Keywords：volatile organic sampling train, principal organic hazardous constituents, destruction removal efficiency

一、基本原理

揮發性有機化合物採樣組裝 (volatile organic sampling train, VOST) 是用來採樣收集有害事業廢棄物焚化爐煙道排氣中揮發性主要有機有害成份 (principal organic hazardous constituents, POHCs)，此處所稱之揮發性主要有機有害成份是指沸點低於 100 °C 之污染物，若污染物的沸點低於 30 °C，在樣品收集過程中，這些揮發性有機化合物會穿透吸附管，因此，對於沸點低於 30 °C 之污染物現場應用，必須利用實驗數據來說明 VOST 採樣組裝的收集效率始可應用。

在採集沸點低於 30 °C 之揮發性有機化合物時，要將採樣流速由 1 L/min 調降至 250 和 500 mL/min 之間，且必須有足夠的實驗數據證實 VOST 採樣組裝的採集效率。一些沸點超過 100 °C 的污染物 (諸如氯苯)，亦可使用此方法有效採集及分析，然而同樣的也必須有實驗數據證實 VOST 採樣組裝的採集效率。

採集煙道樣品時，必須以玻璃內襯之採樣探頭及本組裝採集，抽引流速為 1 L/min，採集樣品總體積為 20 L (註：此條件之採集方式稱為快速－VOST, fast-VOST)。氣體由伸入排放管道的採樣探頭抽取廢氣進入 VOST 採樣組裝，先經一冷凝管使氣體溫度降到 20 °C 以下，再由一對吸附管將揮發性有機化合物吸附於內，所冷凝的水則收集於空吸收瓶內。因總採樣時間為 2 小時，故須使用六對吸附管，以進行一個測試運轉的揮發性主要有機有害成份採樣。

另外尚有其他方式的採樣技術，其方法為採樣體積小於或等於 20 L，流速則較先前之快速－VOST 為慢，此法稱之為慢－VOST (slow-VOST)。以慢－VOST 採樣時有兩種方式，其一為以 0.25 L/min 的流速，採集廢氣 20 min，樣品體積

為 5 L；其二為以 0.5 L/min 的流速，採集廢氣 20 min，樣品體積為 10 L。慢－VOST 採樣技術適用於沸點低於 35 °C 之揮發性主要有機有害成份，雖總採樣時間僅為 20 分鐘，仍須使用六對吸附管。

分析吸附管中污染物的方法是以吹氣－捕集方式 (purge-and-trap)，將管內污染物吹除後送至氣相層析／質譜儀分析。操作方式為將添加內標準之吸附管置於 200 °C 烘箱中，以不含有機物之高純度氮氣作為載流氣體 (流速 40 mL/min) 熱脫附 10 min，流經 5 mL 不含有機物質之試劑水，捕集於分析吸附管中，熱脫附 10 min 後，分析吸附管迅速加熱至 180 °C，以載流氣體將分析吸附管內揮發性主要有機有害成份，利用逆流方式直接注入氣相層析／質譜儀中，揮發性主要有機有害成份於程序昇溫之層析分離條件下，逐一成份進入低解析度質譜儀偵測，以內標準品定量計算各成份。

二、結構示意圖

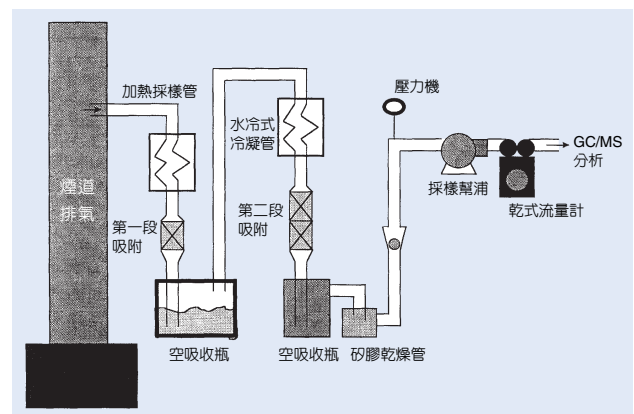


圖 1. 揮發性有機化合物採樣組裝示意圖。

揮發性有機化合物採樣組裝示意圖如圖 1 所示。包含一連結隔離之玻璃襯底採樣探頭、加熱採樣管、水冷式玻璃冷凝管、內部填充 Tenax (約 16

g) 之吸附管、收集凝結液之空吸收瓶、第二段水冷式玻璃冷凝管、內部填充 Tenax 及活性碳 (體積比 3:1, 各約 1 g) 之第二段吸附管、矽膠乾燥管、校正過之浮子流量計、採樣幫浦、乾式流量計。各項零組件之規格及功能如下。

1. 玻璃襯底採樣探頭

內含有硼矽玻璃或石英玻璃襯底的不鏽鋼管，探頭前端置入玻璃以去除粒狀物。在採樣進行時，溫度應保持在 130 °C 以上，但須確保排放管氣體通過 Tenax 吸附管的溫度在 20 °C 以下，當煙道溫度過高時，須使用水冷式採樣管，以保護採樣管並符合上述要求。

2. 加熱採樣管

以加熱線纏繞的鐵氟龍管，所有連接採樣管及 VOST 採樣組裝間管線的長度不超過 5 英尺，接頭處在不使用油脂封口的情況下能保持真空且不漏。

3. 水冷式玻璃冷凝管

能使排放管道氣流於進入第一段吸附管前溫度降為 20 °C 以下；冷凝管的前端接頭處應在不使用油脂封口的情況下能保持真空且不漏。

4. 內部填充 Tenax (約 16 g) 之吸附管

長約 10 公分，內徑 1.6 公分硼矽玻璃管構成，兩端出口處漸縮為 1/4 或 3/8 英寸，可使用 Swagelok 型螺帽密封，並以玻璃綿將吸附劑固定於其間，吸附劑的填充方式是每對吸附管的第一段填充約 1.6 g 的 Tenax 樹脂，第二段吸附管填充 Tenax 及活性碳 (體積比 3:1, 各約 1 g)。第二段吸附管填充方式須使氣流先流經 Tenax 層，再流經活性碳層。

5. 其他儀錶系統

包括浮子流量計、採樣幫浦、乾式流量計等。浮子流量計準確度為 2 % 以內。採樣幫浦抽氣量至少 5 L/min。

三、儀器規格與特徵

目前商業化之揮發性有機化合物採樣組裝，美國製造商經合併後僅剩下 Graseby Neutech-RTL 公司有提供該項產品。將其規格與特徵細分如下：

Universal Control Console —
Sample Module —
Heated sample Probe —
Umbilical Cable —
Condenser/Concentrator Glassware —
Coolant Recirculator —
Shipping Case —
Tenax and Tenax/Charcoal Cartridges —

(註：Graseby Neutech-RTL

地址：4022 Stirrup Creek Drive, Suite 325,
Durham, NC 27703-9000, USA

toll free：800-919-637-6312 TEL：919-544-8535

FAX：919-544-3770)

四、應用與用途

本揮發性有機化合物採樣組裝適用於採集一般垃圾焚化爐、醫療事業廢棄物焚化爐、有機廢氣焚化爐及排放管道中揮發性主要有機化合物，配合氣相層析／質譜儀分析後，可用來計算各焚化爐的破壞與去除效率 (destruction removal efficiency, DRE)。

參考文獻

1. USEPA SW-846 Method 0030, *Volatile Organic Sampling Train* (September 1986).
2. USEPA SW-846 Method 5041, *Protocol for Analysis of Sorbent Cartridges from Volatile Organic Sampling Train (VOST): Widebore Capillary Column Technique* (September 1994).
3. USEPA SW-846 Method 8260A, *Volatile Organic Compounds by GC/MS: Capillary Column Technique* (September 1994).
4. 杜敬民, EPA-85-3305-09-02, 煙道排氣中揮發性有機化合物檢測方法之驗證, 期末報告定稿 (1996).

作者：鄭鴻鈞先生現任化學工業研究所環境分析室正
研究員兼主任。

總氮氧化物採樣組裝

Nitrogen Oxides Sampling Train

關鍵字：氮氧化物、過氧化氫、採樣組裝

Keywords：nitrogen oxides, hydrogen peroxide, sampling train

一、基本原理

利用真空幫浦將裝有過氧化氫溶液之採集瓶抽真空，藉瓶內負壓將氣體樣品中之氮氧化物 ($\text{NO} + \text{NO}_2$) 氣體導入瓶內，經吸收液吸收後，被氧化形成硝酸根離子，使其再與酚二磺酸 (phenoldisulfonic acid) 反應呈黃色，可使用分光光度計於 405 nm 比色定量之。

二、結構示意圖

總氮氧化物 (NO_x) 採樣裝置如圖 1。

三、儀器規格與特徵

本裝置具有小型吸引幫浦及耐高度真空吸收

瓶，以手動方式操作，採樣時只需 15–30 秒且操作簡易，適於現場測定。缺點則是玻璃瓶組攜至現場測定時較易碰碎，而且樣品無法即時分析，須靜置 16 小時以上。

為不受廢氣中腐蝕性氣體侵蝕，氣體採樣管可用之材質，如玻璃管、石英管，若確定排氣中不含氯氣時亦可使用不銹鋼管。而且為防止廢氣中氮氧化物及水分冷凝，採樣管至吸收瓶之間須加熱至 120°C 。另外為防止粒狀污染物混入氣體中，採樣管之前端部份裝入適當之過濾材料，如玻璃棉。

四、用途

本裝置為環保署公告方法所採用，適於管道、

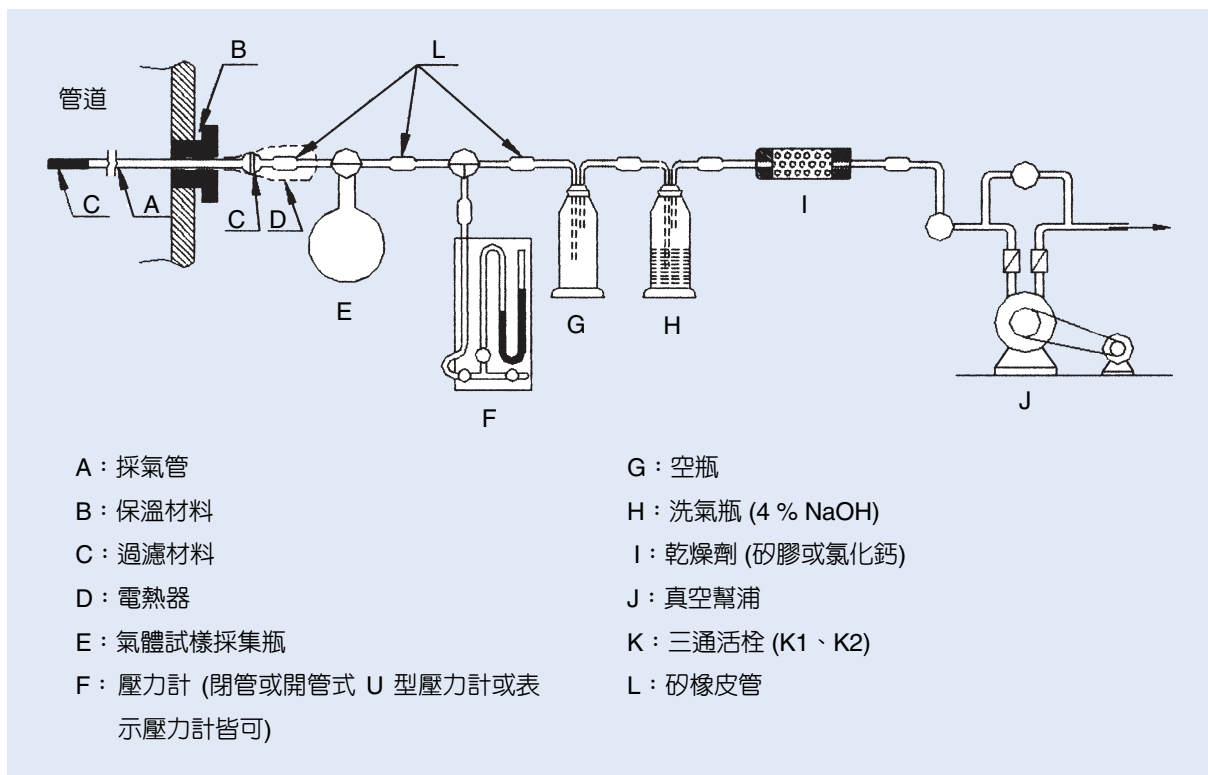


圖 1. 總氮氧化物氣體採集裝置。

表1.氯化氫採樣組裝的基本架構元件。

| | |
|--------------------|--------------------------|
| 氣體吸引管 (500 mm SUS) | 真空壓力計 |
| 加熱帶 (40 × 1000 mm) | 水銀壓力計 |
| 真空吸收瓶 (1000 mL) | 乾燥瓶 |
| 三通活栓 | 溫度計 |
| 洗氣瓶 | 尺寸 W450 × H400 × D250 mm |
| 調壓器 | 重量約 4.5 公斤 |

煙囪等燃燒排氣中總氮氧化物之測定，其濃度在 10–200 ppm 之範圍。濃度高於 200 ppm 時，應經適當稀釋後再行測定。若有無機硝酸鹽、亞硝酸鹽或有機氮化物的存在會使分析結果產生正誤差。二氧化硫濃度在 7000 ppm 以上時，則會使分析結果

產生負誤差。氯鹽濃度及其鹵素化合物的存在亦會使分析結果產生負誤差。氯離子含量在 3 mg 以上時，可先以硝酸銀將其含量降低至 0.1 mg。

參考文獻

1. 日本規格協會, JIS K0104 (1984).
2. 管道排氣中空氣污染物採樣程序操作規範之研訂, 行政院環保署 (1993).
3. (83) 環署檢字第 00540 號公告 NIEA A407.70A.
4. 經濟部中央標準局, 中國國家標準 CNS 4085 F2023 (1977).

作者：李怡萱小姐為私立靜宜大學應用化學碩士，現任工業技術研究院能源與資源研究所副研究員。

總硫氧化物採樣組裝

Sulfur Oxides Sampling Train

關鍵字：總硫氧化物、過氧化氫、採樣組裝

Keywords： sulfur oxides, hydrogen peroxide, sampling train

一、基本原理

管道排氣中利用總硫氧化物 (SO_x) 採樣裝置，然後以傳統化學分析方法檢驗之方法分述如下。

1. 總硫氧化物之檢驗方法

(1) 中和法

用過氧化氫吸收廢氣後，以氫氧化鈉溶液滴定

而可算出排氣中總硫氧化物之含量。本法適用於樣品氣體中總硫氧化物濃度在 500 ppm 以上。

(2) 鉍鹽滴定法

含硫氧化物 (SO_2 、 SO_3) 之樣品氣體，導入過氧化氫吸收液後，則形成硫酸根離子。在醋酸酸性之異丙醇溶液中，硫酸根離子與醋酸鉍-醋酸鉛滴定液 (醋酸鉛之添加可使滴定終點更鮮明而易於

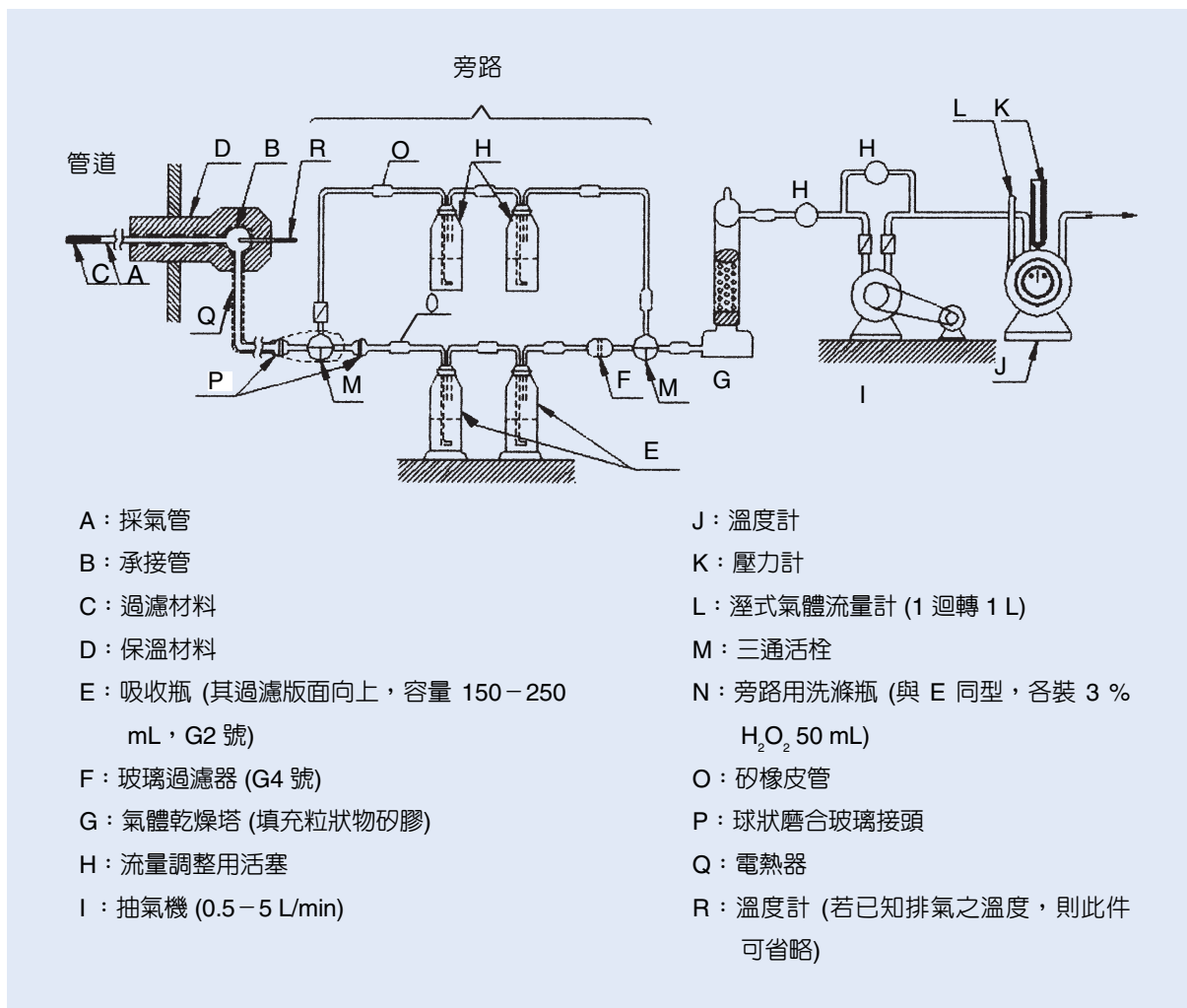


圖 1. 總硫氧化物氣體採樣裝置。

觀察) 生成硫酸鋇沈澱。當滴定終點時，多餘的鋇離子與鉛離子則會與砷萘紫 III 指示劑 (Arsenazo III) 形成錯合物，溶液由紅色轉變成藍色。由醋酸鋇滴定液消耗量及其濃度可算出排氣中總硫氧化合物之含量。本方法適用於排氣中總硫氧化合物濃度在 50–2000 ppm 範圍之檢測。

(3) 吸光度比色法

用過氧化氫吸收廢氣後，加緩衝液、乙醇及對雙氯酮分鋇，再以光電分光光度計或光電光度計測定吸光度而求出總硫氧化合物濃度。本方法適用於排氣中總硫氧化合物濃度在 200–2000 ppm 範圍之檢測。

2. 二氧化硫之檢驗方法

碘滴定法：用胺磺酸鹽溶液吸收廢氣後，以碘溶液滴定而算出二氧化硫濃度。本方法適用於排氣中二氧化硫濃度在 50–2000 ppm 範圍之檢測。

二、結構示意圖

總硫氧化合物採樣裝置如圖 1。

三、儀器規格與特徵

本裝置以手動操作，而且備有小型吸引幫浦，現場測定時搬運方便，操作亦簡易。缺點則是玻璃瓶組攜至現場測定時較易碰碎。

樣品氣體之流量以 1 L/min 為宜，採氣量以 20 L 為原則。為不受廢氣中硫氧化合物腐蝕，氣體採樣管所用之材質，如玻璃管、石英管或不鏽鋼管。

表1.總硫氧化合物採樣組裝的基本架構元件。

| | |
|--------------------|--------------------------|
| 氣體吸引管 (SUS 500 mm) | 流量計 (0–2 L/min) |
| 加熱帶 (40 × 1000 mm) | 三通活栓 |
| 洗淨瓶 | 吸引幫浦 (4.5 L/min) |
| 吸收瓶 | 尺寸 W400 × H360 × D230 mm |
| 乾燥瓶 | 重量約 4.5 公斤 |

而且為防止廢氣中硫酸及水分冷凝，採樣管至吸收瓶之間須加熱至 120–160 °C。另外為防止粒狀污染物混入氣體中，採樣管之前端部份裝入適當之過濾材料，如玻璃棉。採樣管至接頭或接頭至三通活栓之管路等被加熱部份應使用磨砂玻璃接頭或矽橡皮管連接，切不可用普通橡皮管。

四、用途

本裝置為環保署公告方法所採用，適於管道、煙囪等燃燒排氣中總硫氧化合物之測定，其濃度在 50–2000 ppm 之範圍。一般分取後之檢液中，其氮氧化物 (NO₃) 量在 0.5 mg 以下時，不致造成干擾。

參考文獻

1. 日本規格協會, JIS K0103 (1984).
2. 管道排氣中空氣污染物採樣程序操作規範之研訂, 行政院環保署 (1993).
3. (83) 環署檢字第 00540 號公告 NIEA A405.70A.
4. 經濟部中央標準局, 中國國家標準 CNS 3796 J2008 (1975).

作者：李怡萱小姐為私立靜宜大學應用化學碩士，現任工業技術研究院能源與資源研究所副研究員。

氯化氫採樣組裝

Hydrogen Chloride Sampling Train

關鍵字：氯化氫、氫氧化鈉、採樣組裝

Keywords：hydrogen chloride, sodium hydroxide, sampling train

一、基本原理

將含氯化氫 (hydrogen chloride, HCl) 之樣品氣體導入氫氧化鈉吸收液中，計加入硫氰化汞 (II) 溶液及硫酸鐵銨 (III) 溶液，使其與氯離子反應，生成橙紅色之硫氰化鐵 (III) 錯合物，於波長 460 nm 比色定量，求出排氣中氯化氫之濃度。

二、結構示意圖

氯化氫採樣裝置如圖 1 所示。

三、儀器規格與特徵

本裝置以手動方式操作且操作簡易，適合現場

測定使用。因使用 2 個吸收瓶，而且採樣速率較慢所以樣品吸收反應較完全。缺點則是採樣速率慢採樣時間則較長，且攜至現場測定時，玻璃瓶組及吸收液易碰碎或溢出。

為不受廢氣中腐蝕性氣體侵蝕，氣體採樣管可用之材質，如玻璃管、石英管、鐵氟龍管。而且為防止廢氣中水分冷凝，採樣管至吸收瓶之間須加熱至 120 °C 以上，被加熱部份應使用磨砂玻璃接頭或矽橡皮管連接。另外為防止粒狀污染物混入氣體中，採樣管之前端部份裝入適當之過濾材料，如玻璃棉。

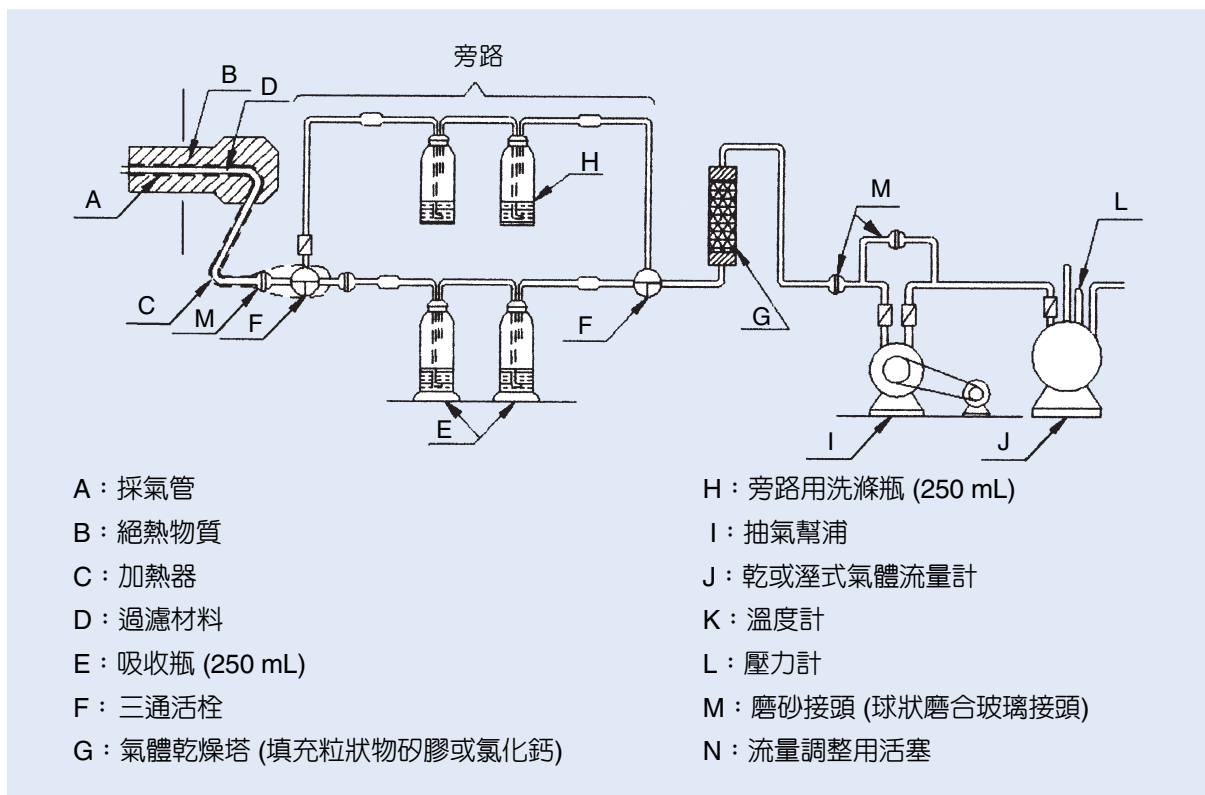


圖 1. 氯化氫氣體採樣裝置。

表1.氯化氫採樣組裝的基本架構元件。

| | |
|------------------------------|---------------|
| 氣體吸引管 (10.5 ϕ × 500 mm) | 洗淨瓶 |
| 加熱帶 (40 × 1000 mm) | U 型壓力計 |
| 球形接頭 | 調壓器 100 V，5 A |
| 吸收瓶 | 流量計 0—2 L/min |

四、應用與用途

本裝置適用於化學反應或燃燒所產生，經排氣管排放之廢氣中氯化氫之測定，當抽氣量為 40 升時，可定量之濃度範圍為 3—65 mg/Nm³。但增加

抽氣量或稀釋樣品溶液時，均可使定量範圍增大。排氣中若含有二氧化硫及其他鹵化物、氰化物、硫化物等會造成干擾。

參考文獻

1. 日本規格協會, JIS K0107 (1991).
2. (83) 環署檢字第 45834 號公告 NIEA A412.70A.
3. 經濟部中央標準局, 中國國家標準 CNS 7055 K9063 (1992).

作者：李怡萱小姐為私立靜宜大學應用化學碩士，現任工業技術研究院能源與資源研究所副研究員。

氣相層析／自動監測儀

Gas Chromatography/On-line Monitoring Device

關鍵字：氣相層析儀、揮發性有機化合物、自動監測

Keywords： gas chromatography, volatile organic compound, on-line monitoring

一、基本原理

目前可應用於空氣中揮發性有機化合物自動監測之技術及設備主要可歸納為光學偵測法、掌上型感測器、線上分析儀器等三大類。雖然光學偵測法為目前國內外主要應用於環境監測之技術，但由於易受水氣、二氧化碳等干擾，目前諸多關鍵技術尚處於學界探討階段，暫時無法廣泛應用於空氣中揮發性有機化合物之自動監測。

對主要應用於工安衛之可移動式分析儀器或掌上型感測器而言，由於其精密度較差，且不適合長期連續使用，經評估後認為亦不太適合作為揮發性有機化合物自動監測設備開發之基礎。對目前主要應用於製程監控之 on-line GC 或 on-line GC/MS 等較大型之線上分析儀器，若能配合固定污染源有機廢氣之排放特性，整合自動監測所需之週邊設備，如廢氣前處理系統、自動採樣系統、數據分析擷取系統等，應可發展為較適用於固定污染源之揮發性有機化合物自動監測系統。但由於這一類較大型之線上分析儀器一般造價較高，故有必要開發單機可掃描多點多成份之自動監測系統，以分攤自動監測成本，提高業者安裝之意願。

此外由於我國空污法中所列之參考方法幾乎均屬 GC 法，採用 on-line GC 作為揮發性有機化合物 (VOCs) 自動監測方法之另一優點為應用面廣，並可與傳統手動方法比對。以我國環保署對 VOCs 之管制趨勢而言，除訂定總碳氫化合物含量 (THC) 總量管制標準外，將針對各行業或製程訂定其中毒性較強或用量較大之揮發性有機化合物，訂定管制標準。因此可同時測得總碳氫含量及個別揮發性有機化合物之有機廢氣自動監測技術預期為未來之主流技術。

由自動採樣器搭配氣相層析儀構成之自動監測設備如圖 1 所示，自動監測原理為將多點污染源之

樣品以抽氣機經樣品傳輸管彙集後，再利用電動式之源流選擇器及採樣閥依序切入 GC/FID (氣相層析儀／離子化偵測器)，其中之採樣閥根據不同之設計方式 (如圖 2)，可同時達成自動監測總碳氫化合物及各別揮發性有機化合物濃度之功能。源流選擇器及採樣閥之切換控制及 GC/FID 所測得之訊號解析及紀錄均由微電腦完成。若將分離管柱以分子篩填充管取代，則廢氣樣品中非甲烷之 VOC 將被分子篩吸附，而測得甲烷含量。

二、結構示意圖

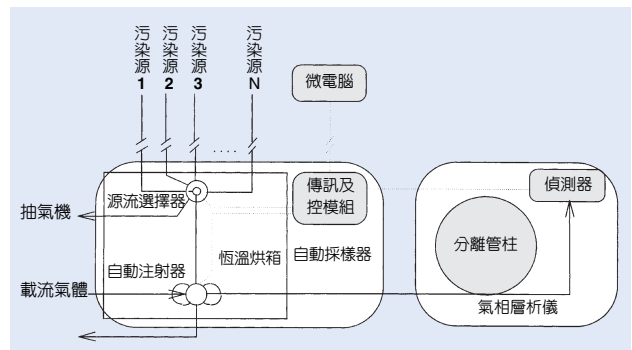


圖 1. 有機廢氣自動監測裝置示意圖。

三、儀器規格與特徵

選購以 on-line GC 為原理之有機廢氣自動監測設備時，應根據應用之對象考慮 GC、源流選擇器、監測項目、氣體供應方式及樣品傳輸管是否需加熱保溫、儀器之校正查核是否需自動化等。以一般用途而言，GC 多半採恆溫操作，以減少分析時間及系統之複雜性。源流選擇器之數目一般採用 6 至 16 點，監測項目可設定為可同時監測 THC 及 VOCs，或只監測 THC。若自動監測設備應用於固定污染源之長期監測，則氣體供應方式應採用零級空氣產生機，且應考慮採用自動化之校正查核設

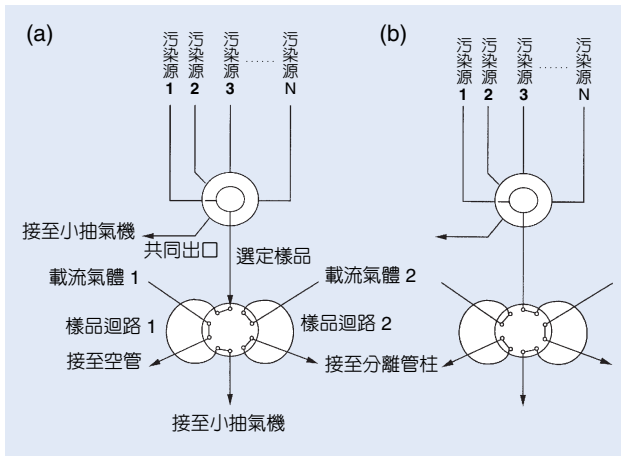


圖2. 二位式十向閥之接管設計。(a) 選定之樣品將充滿樣品迴路 1，載流氣體 2 將樣品迴路 2 之樣品送入分離管柱，樣品被分離後進入偵測器得個別 VOC 濃度。(b) 選定之樣品將充滿樣品迴路 2，載流氣體 1 將樣品迴路 1 之樣品送入空管，所有樣品進入偵測器得 THC 濃度。

計。反之，若自動監測設備應用於需要經常搬遷之短期監測 (7 天以內)，則氣體供應方式可採用高壓鋼瓶，且查核校正可以人工方式進行。對監測之污染源特性而言，若主要污染物之濃度過高，或含水率過高且主要污染物會溶解於水中，則樣品傳輸管需設有加熱保溫措施。反之，則以一般之不鏽鋼管即可。

四、應用與用途

1. 自動監測應用範圍

- (1) 固定污染源臭味或有機廢氣排放特性調查
 - 提供排放量大之固定污染源架設自動監測系統
 - 提供申報制度實施後之基本資料
 - 提供相關調查計畫之基本資料
- (2) 臭味或有機廢氣處理設備性能評估
 - 監視廢氣處理設備運轉效率
 - 驗收廢氣處理設備工程
 - 調整製程或廢氣處理設備操作條件
- (3) 作業環境空氣品質監視
- (4) 製程穩定性監視

2. 實測案例

利用本文所介紹之自動監測設備曾在國內實地

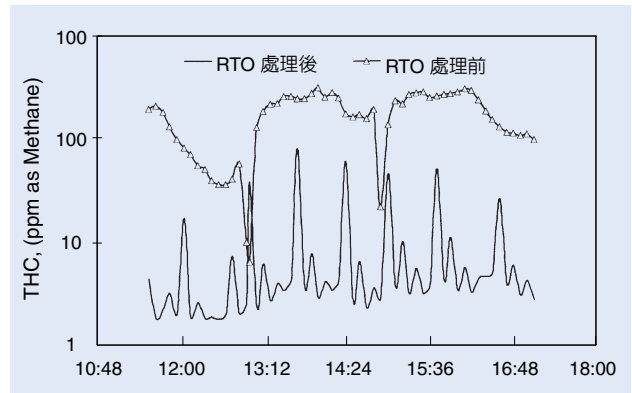


圖3. 某汽車製造業之有機廢氣 (THC) 處理前後排放特性。

檢測之行業有電子半導體業、製罐業、精密陶瓷業、PU 合成皮業、汽車零件製造業、漆包線業、橡膠業、人纖業、合成樹脂業、石化業、汽車製造業、汽車修理業、電化材料業等。以某汽車製造廠為例，該廠採用蓄熱式熱焚化器為乾燥室廢氣處理設備，其實際檢測結果如圖 3 所示，廢氣中之 THC 乃藉樣品通過無分離效果之空管後進入 FID 檢測器測得；廢氣中之甲烷則藉樣品通過會吸附 non-methane VOCs 之分子篩吸附管後，剩餘之甲烷再進入 FID 檢測器測得。檢測一個樣品所需的時間為 2 分鐘，on-line GC 可輪流掃描數個來源不同的廢氣樣品。實地檢測時，均先測一次背景值，作為空白測試，以確定不同樣品間無相互污染現象。由於廢氣處理前之預熱方式多半以燃燒天然氣進行，而天然氣中之主成份為甲烷，故評估處理效率時應扣除甲烷濃度較貼切，此點對觸媒焚化設備之效率評估尤其重要。

參考文獻

1. 賴慶智, 鄭鴻鈞, 陳碧蓉, 第 12 屆空氣污染控制技術研討會 (1995).
2. 蕭祥憲, 賴慶智, 朱漢文, 林美芬, 第 11 屆環境分析化學研討會 (1997).
3. 蕭祥憲, 賴慶智, 朱漢文, 工業污染防治報導, 10 (113), 9 (1997).

作者：賴慶智先生為國立清華大學化學工程博士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

開徑式監測儀器－差異吸收光譜儀

Differential Optical Absorption Spectrometer (DOAS)

關鍵字：差異吸收光譜儀

Keywords：differential optical absorption spectrometer

一、基本原理

開徑式監測儀器係利用差異吸收光譜法 (differential optical absorption spectroscopy, DOAS)，量測開放空間中量測光徑距離內的氣體平均濃度。其量測原理是比爾定律 (Beer-Lambert's law)，本定律主要是描述所吸收的光量與光徑中分子數之間的關係。由於每一種分子、每一種氣體皆具有其獨特的吸收光譜特性，或可稱為指紋 (fingerprint)，因此可以同時得到光徑中數種不同氣體的濃度。

發射器 (emitter) 使用特定光源－氙素燈 (xenon lamp)，經過透鏡投射後所發出的光束傳遞經過開放空間，形成一個特定的光徑，由另一端的接收器 (receiver) 捕捉並且導引入光纖 (optical fiber) 乃至分析儀內部，然後使用分析儀內部電腦計算評估並分析沿著光徑上因為分子吸收而造成的光源損失情況。氙素燈發出之光源極為強烈，包含可見光譜、紫外光及近紅外光波長。

分析儀內部主要包括光譜儀、電腦主機及其他相關電子控制迴路。光譜儀使用分光柵 (optical grating) 將光分割成狹窄的波長帶，此波長帶可以調整至所需偵測之最適波長範圍。被接收的光徑由直徑 0.6 mm 光纖纜傳送至分光光譜儀 (spectrometer) 內。分光光譜儀內的分光柵其位置由步進馬達 (step motor) 透過電腦軟體精確控制。由此最佳吸收波段 (約 40 nm 寬) 的光被選擇投射至偵測器 (PMT 或 IR-source)。偵測器前有一轉速每分鐘 300 轉的快速轉輪，轉輪上設有二十條完全一致的長條狹縫 (slit)。當轉輪轉動時，每分鐘將產生 6,000 組數位化的吸收光譜。此種掃描不斷重覆 (一秒鐘一百次)，並且貯存於電腦記憶體中，再經過類比／數位轉換器送至個人電腦進行即時資料的分析儲存與顯示。

光徑上所取得的各式吸收光譜可以與電腦計算

出來的結果比較，此計算出來的光譜為此次分析中所有參考光譜的總和。電腦比較每一個氣體原始參考光譜，由於各種氣體的吸收光譜特性皆不相同，利用比爾定律，可取得最佳對應圖形並計算出光徑中不同的氣體濃度。

開徑式監測儀完全由電腦化控制，系統十分彈性化，除可同時監測多種不同氣體濃度外，包括 O_3 、NO、 NO_2 、 SO_2 、 NH_3 、HCl、HF、Hg、 H_2S 、 CS_2 、CO、 CO_2 、 H_2O 、benzene、toluene、*p*-xylene、styrene 等；並具備可同時監測多條光徑的設計，形成一個區域的監測面，倘若再整合即時氣象監測資料，則更容易判斷出污染源所在位置。使用者可自遠端藉由數據機 (modem) 進入現場監測系統，監視系統分析儀即時的操作狀態、修改參數、擷取即時資料等；此外軟硬體配備昇級亦極為容易，包括增加量測光徑數目、增加監測氣體數目，新增軟體功能等。

就周界空氣監測應用領域來看，DOAS 因其開放式光徑的監測方式，可避免傳統單點式監測儀器易受局部變動影響的缺點，除了可準確且即時的監測周界氣體濃度外，其監測數據更具有空間代表性；就煙道暨製程監測應用領域來看，由於 DOAS 的反應時間快速，更適合製程監控，透過分析儀內建的外部訊號輸入／輸出模組 (IO256) 或是資料蒐集器 (data logger)，更可整合其它製程監測參數，如溫度、濕度、壓力、流速、含氧率、不透光率和粉塵濃度等，形成一個完整的監測及製程監控系統，除可避免抽取式 (extractive) 儀器於採樣中其氣體在輸送過程被污染或是發生化學變化外，採樣氣體亦無需經過調理系統 (conditioning system) 處理，由於不需採樣管路，亦不會與煙道或製程管路的排放氣體直接接觸，更可避免腐蝕性氣體，如 HCl、 H_2SO_4 等酸性氣體腐蝕。

隨著環保法規的要求日益嚴格，修正日趨頻繁，一般傳統監測儀器系統可能必須大幅度修改甚或重新建置，不但曠日費時且所費不貲；DOAS 的強大系統功能提升的特性，將可輕易達到新法規的要求。

二、結構示意圖

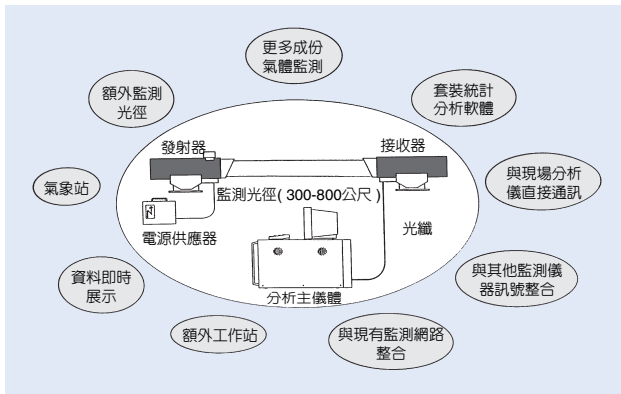


圖 1. 差異吸收光譜儀分析示意圖。

三、儀器規格與特徵

1. 儀器規格

- (1) 測定方式：開放式光徑監測 (open-path)
- (2) 光源：高壓氙燈
- (3) 光源波段：紫外光至紅外光 (約 200–10,000 nm)
- (4) 全幅偏移 (span drift)：每月的漂移小於 $\pm 2\%$ ；每年的漂移小於 $\pm 4\%$ 。
- (5) 反應 (量測) 時間 (response time)：對每一氣體成份建議至少 10 秒；視測項不同而異。
- (6) 線性 (linearity)：優於 $\pm 1\%$ F.S.
- (7) 準確度：優於 1% 讀值或等於最小偵測極限
- (8) 顯示方式：CRT 數位方式
- (9) 訊號輸出：4–20 mA (optional) 及數位 RS-232
- (10) 保護等級：分析儀 IP20；發射器與接收器 IP54
- (11) 周界環境溫度：分析儀 15–25 °C；發射器與接收器 –40–50 °C
- (12) 電源：230V (+6%, –10%) 或 115V ($\pm 10\%$)；50/60 Hz
- (13) 系統功能：分析儀整合電腦設計，具有自我診

斷功能，可經由數據機直接進入監測系統 (remote access)，進行儀器功能診斷、修改參數、擷取資料、更新軟體等功能，具手動及自動校正功能，可設定自動校正之時距，使用標準氣體校正。發射器及接收器為防腐蝕外殼，能承受嚴苛的大氣環境條件，具有足以保護光學感測設備之防護裝置。

2. 儀器特徵

- (1) 安裝施工簡易。
- (2) 不須取樣系統，反應時間快速。
- (3) 高靈敏度，高準確度，可監測極低濃度 (數個 ppb) 的氣體成份。
- (4) 不僅可監測總碳氫化合物 (THC)，亦可監測多種不同種類的碳氫化合物。
- (5) 可同時監測多個光徑，多種氣體，監測範圍極為廣泛。
- (6) 維護簡易，零配件耗材需求低。
- (7) 具遠端遙控 (remote control) 功能。
- (8) 功能提升 (upgrade) 容易，彈性大，僅需小幅度修改或更新軟體便可以增加監測氣體項目，可輕易達到環保法規的要求。
- (9) 經國際知名研究單位如 TUV 及 USEPA 等實際測試認證通過。
- (10) 具有完全商業化軟體，可進行資料蒐集、統計分析與展示以及模式模擬推估。

四、應用

1. 都會區空氣品質長期趨勢監測：主要是於建築物頂部安裝測站，即時監測都會區的空氣品質，並研究其長期趨勢。
2. 都會街道空氣品質監測：於離地面數公尺的地方，安裝固定式或移動式監測站，監測都市內近地面的空氣污染現況，主要監測對象為交通工具的排放物質。
3. 廠區周界空氣品質監測：於工廠周界安裝監測站，不只可瞭解廠區逸散性空氣污染物對鄰近社區的影響，亦可分辨出背景濃度與廠區逸散濃度的個別貢獻。
4. 機場空氣品質監測：可有效監測飛機排放空氣污

染，以及聯絡機場與市區交通工具污染與機場行政區及加油服務區等的污染情況。

5. 大氣背景濃度監測：適用極低濃度的潔淨空氣背景濃度研究。
6. 工廠製程區與煙道空氣污染物監測：適用工廠各種製程與煙道連續監測，並可瞭解製程排放情形以協助製程改善，包括：
 - (1) 發電廠 (DeNO_x、DeSO_x 前後)
 - (2) 廢棄物焚化爐 (HCl、HF、Hg 等各種特殊測項)
 - (3) 煉油廠 (SO₂、H₂S、CS₂ 等測項)

- (4) 化工廠 (H₂SO₄、HNO₃、HCN 等各種特殊測項)
- (5) 水泥廠 (NO_x、NH₃ 等)
- (6) 其他

參考文獻

1. OPSIS Information Materials.
2. OPSIS Analyzer User's Manual.

作者：吳怡靜小姐現任瑩諮科技股份有限公司業務副理。
周世英先生現任瑩諮科技股份有限公司副總經理。

不鏽鋼採樣筒／氣相層析質譜儀

Canister Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometer

關鍵字：揮發性有機化合物、不鏽鋼採樣筒、氣相層析／質譜儀

Keywords：volatile organic compounds, canister, GC/MS

一、基本原理

將已先抽至 10^{-2} torr (mmHg) 真空度之 SUMMA® 不鏽鋼採樣筒 (canister) 以瞬間吸入或採樣器採集方式收集空氣中揮發性有機化合物 (volatile organic compounds, VOCs)，再利用冷凍捕集方式濃縮一定量的空氣樣品及一定量之內標準品 (internal standard；簡稱 ISTD)，最後再利用熱脫附方式注入氣相層析／質譜儀 (GC/MS) 或氣相層析儀／火燄離子偵測器 (GC/FID) 中，測定樣品中揮發性有機化合物的含量。

二、結構示意圖

此分析方法之設備 (如圖 1 所示) 主要可由一台氣相層析／質譜儀或氣相層析儀／火燄離子偵測器、一組數據處理系統及已加裝一套在排氣口 (vent) 處且連接一組質量流速控制器及乾式流量計所組成的熱脫附冷凝裝置所組成；並在所有氣體經過的管路及控制閥都必須加以保溫，以避免造成污染而影響到分析結果。

三、儀器規格與特徵

一般對於空氣採樣最常被使用的方法大致上有吸附管 (Tenax tube、Charcol tube 等)、採樣袋

(Tedlar bag) 和不鏽鋼採樣筒三種不同的採樣方法。前面兩種採樣方法比較被使用在煙道排氣和作業環境空氣檢測方面，後者則是使用於工廠周界空氣及大氣空氣檢測方面；本文將僅對不鏽鋼採樣筒分析方法做一簡單介紹，其他兩種採樣及分析方法在此將不予討論。

目前國外已有多家商品化不鏽鋼採樣筒的製造廠商，不鏽鋼採樣筒的製造應該使用一高品質焊接、內部拋光及清洗技術方式來製造之；其產品規格大致上可分 1 L、2 L、6 L 等三種規格，然目前市面上大都使用 6 L 此種規格較多，原因為其內容量體積較大，所以可採得較多的空氣樣品。

使用此採樣筒採集空氣樣品，採樣時簡單快速是其優點之一。採樣時若連接自動採樣器，因可自動加壓至 30 psi，所以最大採樣體積為 18 L，且可依採樣目的不同而採取不同的採樣方式進行採樣，若是針對瞬間臭味源進行調查，則可採用瞬間採樣方式採樣，若是針對廠區周界進行逸散源或空氣品質進行調查，則可採用長時間採樣方式進行採樣，且樣品可多次重覆分析。因此樣品可多次重覆分析及彈性調整採樣方式或時間，也是此採樣方法優點之一。然因體積大攜帶較不方便及方法分析成本較高則為此方法之缺點。

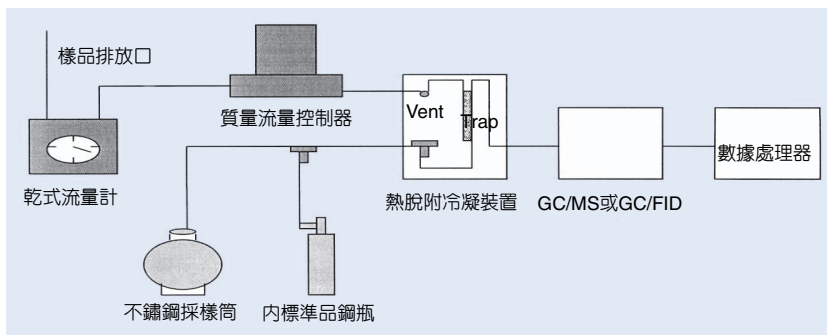


圖 1. 不鏽鋼筒與 GC/MS 基本裝置示意圖。

表1. USEPA TO-14 方法所列之 61 種化合物名稱。

| No | 化 合 物 名 稱 | No | 化 合 物 名 稱 |
|----|---------------------------|----|--|
| 1 | Acetone | 32 | 1,2-Dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane |
| 2 | Acetonitrile | 33 | Ethyl benzene |
| 3 | Acrolein | 34 | Heptane |
| 4 | Acrylonitrile | 35 | Hexachlorobutadiene |
| 5 | Benzene | 36 | Hexane |
| 6 | Benzyl Chloride | 37 | Methanol |
| 7 | Bromodichloromethane | 38 | Methyl chloride |
| 8 | Bromomethane | 39 | Methyl methacrylate |
| 9 | 1,3-Butadiene | 40 | 4-Methyl-2-pentanone |
| 10 | 2-Butanone | 41 | Alpha-Methyl styrene |
| 11 | Carbon tetrachloride | 42 | Octane |
| 12 | Chlorobenzene | 43 | n-Pentane |
| 13 | Chlorodifluoromethane | 44 | Propylene |
| 14 | Chloroethane | 45 | Styrene |
| 15 | Chloroform | 46 | 1,1,2,2-Tetrachloroethane |
| 16 | Chloromethane | 47 | Tetrachloroethene |
| 17 | 3-Chloro-1-Propene | 48 | Toluene |
| 18 | Dibromochloromethane | 49 | 1,2,4-Trichlorobenzene |
| 19 | 1,2-Dibromoethane | 50 | 1,1,1-Trichloroethane |
| 20 | 1,2-Dichlorobenzene | 51 | 1,1,2-Trichloroethane |
| 21 | 1,3-Dichlorobenzene | 52 | Trichloroethene |
| 22 | 1,4-Dichlorobenzene | 53 | Trichlorofluoromethane |
| 23 | Dichlorodifluoromethane | 54 | 1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane |
| 24 | 1,1-Dichloroethane | 55 | 1,2,4-Trimethyl benzene |
| 25 | 1,2-Dichloroethane | 56 | 1,3,5-Trimethyl benzene |
| 26 | 1,1-Dichloroethene | 57 | Vinyl acetate |
| 27 | cis-1,2-Dichloroethene | 58 | Vinyl chloride |
| 28 | trans-1,2-Dichloroethene | 59 | m-xylene |
| 29 | 1,2-Dichloropropane | 60 | p-xylene |
| 30 | cis-1,3-Dichloropropene | 61 | o-xylene |
| 31 | trans-1,3-Dichloropropene | | |

四、應用與用途

本方法主要是參照 USEPA TO-14 而來，所以本分析方法是設計用來分析大氣樣品中揮發性有機化合物，樣品之採集方法是採用 SUMMA® 不鏽

鋼製的採樣筒來採集如表 1 所列之揮發性有機化合物。

應用本方法進行空氣中微量 VOCs 的檢測時，首先最重要的是不鏽鋼採樣筒清潔與否，因此在清

洗不鏽鋼採樣筒方面必須利用真空幫浦及含水氣之零級空氣 (zero air) 重覆清洗直到空白分析時，總 VOCs 濃度低於 5 ppbv 方可進行採樣工作。而進樣方式又可分為負壓進樣與正壓進樣兩種方式。

1. 負壓進樣

氣相層析質譜儀及熱脫附冷凝裝置連線組裝完成後，將採樣後之不鏽鋼採樣筒連接於系統上，再利用真空幫浦抽取約 100–500 cm³ 空氣樣品。用壓力計時，可由壓力計所改變之壓力 (ΔP_1) 及採樣筒體積 (V_1)，利用 $\Delta P_1 V_1 = P_2 V_2$ ， P_2 為一大氣壓，即可求得樣品取出之體積 (V_2)。同時利用氣體注射針或自動注射閥注入一定量之內標準品後，經由熱脫附冷凝裝置所設定之操作條件操作，再進行 GC/MS 或 GC/FID 分析。

2. 正壓進樣

將採樣後之採樣筒用零級空氣加壓至 29.4 psi 後，將待分析之不鏽鋼筒連接於分析系統上 (如圖 1)，即可由不鏽鋼採樣筒本身之壓力將空氣樣品壓進分析系統，再利用質量流量控制器 (mass flow controller) 及乾式流量計控制空氣樣品體積，同時

由氣體注射針或自動注射閥注入一定量之內標準品，經由熱脫附冷凝裝置所設定之操作條件操作，再進行 GC/MS 或 GC/FID 分析。

本方法被廣範應用在空氣中微量 VOCs 的檢測，其樣品注射體積可依樣品濃度不同而做調整，一般樣品分析體積建議約可從 200 mL 至 500 mL，且同一樣品並可進行多次的樣品重覆分析。又因可做大量樣品濃縮步驟，經國內單一實驗室驗證結果證實如表 1 所列之化合物其偵測極限皆可至 1 ppbv 左右。

參考文獻

1. *Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*, USEPA, EMSL, Research Triangle Park TO-1 and TO-14, (1988).
2. *Analytical Method for the Determination of VOCs in Air Collected in SUMMA Canister and Analyzed by GC/MS* (December 1991).
3. 空氣中揮發性有機化合物檢測方法驗證與研究 (II), 行政院環境保護署環境檢驗所 (EPA-86-1304-09-01-05).

作者：盧正權先生為美國加州大學 Irvine 分校博士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

開放路徑式－傅立葉轉換紅外光譜儀

Open-Path Fourier Transform Infrared Spectrometer

關鍵字：傅立葉轉換紅外光譜儀、開放路徑、氣態化合物、環境分析、光學遙測

Keywords：Fourier transform infrared spectrometer, open-path, gaseous compound, environmental analysis, optical remote sensing

一、基本原理

開放路徑式紅外光光譜儀是以紅外光為工作光源，通過一開放的空間內，當紅外光與氣體接觸時，透過對能量的傳遞與交換，原入射之寬頻紅外光內所包含之特定頻率即因氣體吸收而造成能量減損，此一能量減損相對於其他未被吸收的頻率，即產生一強度與相對位置(頻率)固定之吸收譜線。理論上，除了同核的雙原子分子外，幾乎所有的化合物在紅外光區域內皆有其獨特的吸收峰存在；量測時，藉由對吸收譜線(吸收光譜)的辨識即可反推待測區間內所包含之氣體的種類(吸收光譜形狀)，與存在濃度(吸收光譜強度)。依此可作為分析的定性定量依據。建立於此基本原理下之紅外光分析法，光束直接導入待測區間內，所面對為一開放空間，故將此法稱之為開放路徑式紅外光分析法。

在定性方面，相較於其他頻率區間的光譜形狀，化合物在紅外光區結合振動與轉換能階，吸收光譜往往擁有較細微而專一的吸收帶，此點有助於強化該分析法在定性方面的能力，並降低誤判的發生機率。而定量方面，則是根據比爾定律(Beer's law)來換算氣體濃度。理論上，吸收譜線的強度正比於氣體濃度與光所行徑之總路徑長；在光徑長與吸收係數已知的前提下，化合物濃度可以依 $C = A_i / (\alpha_i \cdot l)$ 等式求出。在此， A_i 為光束在 i 頻率的吸收強度， α_i 為吸收係數， l 為光徑長。實際分析時，通常會由資料庫中叫出單一參考化合物光譜(reference spectrum)，此參考光譜為在實驗室中利用校正系統所建立的光譜，該光譜只包含某一特定化合物之吸收譜線，且該吸收譜線之吸收強度、濃度、與光路徑長皆已知。由參考光譜與測得待分析光譜比對，找出待測化合物種類，由於參考光譜所對應之濃度路徑乘積值($C_r \cdot l_r$)已知，在吸收係數

α_{u_i} 與 α_{r_i} 不變的假設下，未知物濃度便可依等式 $C_u = (A_u / A_r) \times (C_r \cdot l_r) \div l_u$ 求出，在此下標 u 代表待測物， r 代表參考物光譜。使用該式所求得的化合物濃度為一路徑平均濃度值(path-averaged concentration)，意即單趟(one-way)的光行走距離即是該分析法所能達到的最小空間解析，從數據上無法得知小於該距離的任何濃度分佈資訊。

開放路徑的量測模式意味著儀器採用現場量測的方式，由於不需採樣，該量測法在降低取樣誤差和分析高吸附性氣體方面有其獨特的優點，除此之外，即時的量測更可反應出較為接近現場當時情況的氣體種類與濃度分佈。

依照量測模式的不同，開放路徑式紅外光譜法可以分為被動(passive)與主動(active)兩種模式。主動模式方面又可依光源的擺設位置而分成雙態(bistatic)和單態(monostatic)兩種。

1. 被動式紅外光譜儀

被動式紅外光譜儀在硬體架構上，主要的特色在於儀器本身主體是一個接收體，除了該接收體外，主體不提供任何光源。該法的最大優點在於空間上不需受限於人為光源或反射鏡的擺設位置而能進行任何與目的物有關的鎖定與量測。接收到的訊號強度較弱，易受外界干擾之外，光譜分析困難，在環境分析應用不若下列的主動式來的普遍。

2. 主動式紅外光譜儀

主動式紅外光譜法在操作上主要是利用一外加的紅外光源來提供接收體的接收訊號。當射出的光束通過空氣時與分子作用而吸收部分頻率的光，最後由偵測器檢測入射光的頻譜。由於外加紅外光能量高於背景輻射，因此能有效鑑別輻射來源，降低

雜訊。光譜方面，主要以吸收光譜為主，較被動式光譜單純，有利分析。該法目前已是美國環保署 (US EPA) 所認可的標準方法 (TO-16)。主動式的紅外光譜儀又可依儀器的設計架構分成單態和雙態兩種。

雙態的儀器架構是將光源置於接收體的對面，從光源發射出的紅外光經待分析區間後由接收體接收，經干涉儀干涉後最終進入偵測器內。單態的儀器架構與雙態略有不同，彼此最大的差異在於光源的擺設位置。單態光譜儀是將光源與接收體置於同一主體上且通常是讓光束先通過干涉儀，由干涉儀調變 (modulate) 原入射光後，再將干涉光束導入待分析區間內，干涉光與分子作用後反射回接收體由偵測器收集訊號。為了使射出光線折回主機內，通常在主機的對面置一反射鏡，以利光束折回。雙態模組較單態模組簡單，且不需藉助反射鏡做光束轉折。儘管如此，由於單態模組是將干涉光導入作為工作光源，光束傳送過程可與外界背景輻射作有效區隔，避免不必要的黑體輻射顯示於光譜上，造成基線漂移；目前在環測應用上，單態模組較雙態模組使用廣泛。

在光譜計算方面，古典最小平方法 (classical least square methods) 能夠提供較精確且可靠的分析數據。所謂古典最小平方法主要是利用每一個化合物在光譜上的特有吸收峰來執行同時多點分析，累積多點所得的分析值除了可以判斷圖譜之間的相似程度之外，更可藉此評估誤差大小，決定數據之可靠度。目前已有許多商品化，且依此法所發展出的一系列分析軟體可為使用者提供接近全自動的分析功能，解決使用者必須處理龐大數據的困擾。

二、結構示意圖

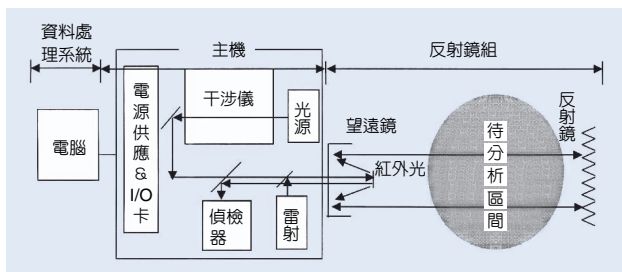


圖 1. 開放路徑式傅立葉轉換紅外光譜儀的基本結構示意圖。

簡單的儀器示意圖，以主動式、單態紅外光譜儀為主，如圖 1 所示。

圖 1 中所示的簡圖將該儀器分成三大主體，包括儀器主機、反射鏡組和資料處理系統等等。幾乎所有的傅立葉轉換紅外光譜儀主機內部皆包含幾個主要零件，包括紅外光源、干涉儀、偵檢器、電路控制系統等。從紅外光源所發射出的紅外光直接入射干涉儀，由干涉儀負責將入射寬頻紅外光調變為干涉光。干涉光經由幾面反射鏡反射後直接導入待測區間，進行吸收能量交換。干涉光最後經由反射鏡，回射原射出主機，回射過程與待測區間再次反應。入射主機的干涉光直接導入偵檢器，由偵檢器將干涉光的訊號轉換為電壓 (或電流) 的訊號，經放大器放大並過濾雜訊後，送至電腦做光譜與數據分析。開放式紅外光譜分析儀在操作上極為簡便，一旦架設完主機與反射鏡後，即可進行光束校整 (alignment)，確定主機已能接收從反射鏡回射之光束。所有校整的步驟皆可從電腦上隨時監控與回饋，確定硬體架設完成後，即可設定操作參數，執行連續監測。

三、儀器規格與特徵

目前提供商品化的開放式—傅立葉轉換紅外光譜儀儀器製造商大約有六家左右，其主要功能大致相同。原則上，凡是能提供相關之硬體設施使之能獲得待測區間內之待測物紅外光譜者，皆是可用之光譜儀。細部的規格差異在於解析度的高低、干涉儀的設計形式、主機的密封與否、自動化軟體的設計、偵測器的種類和其對應之可用頻率範圍 (如表 1) 等。

原則上，進行氣體分析的光譜儀解析度不得小於 4 cm^{-1} ，某些氣體需用到 1 cm^{-1} 以上的解析度才能避免受到其他化合物干擾。通常 1 cm^{-1} 是最佳的設備規格。反射鏡的部分，則以由角立方體 (corner cube) 所組成的方塊陣列反射鏡較其他形式恰當，原因是因為該設計可以容忍長距離量測進行時，微細對準上的不便或是減小系統因熱脹冷縮而受到的影響。主機密封除了可以避免整個系統除受到污染外，更重要的考量在於大部分的紅外光視窗及分光片皆是易潮解材料，以台灣的高濕度環境，

表1.三種常用偵測器之間的比較。

| 偵測器 | 通用頻率範圍 (cm^{-1}) | 最靈敏頻率位置 (cm^{-1}) | 感度 (sensitivity) | 價格 | 需低溫操作 |
|------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------|----|-------|
| DTGS | 全頻 | 全頻 | 低 | 低 | 否 |
| MCT | 500—4500 | ~980 | 高 | 高 | 是 |
| InSb | 1700—4500 | ~1900 | 高 | 高 | 是 |

唯有透過主機密封後通入乾燥氣體或抽真空才能有效杜絕零件受水氣的破壞。

光譜的擷取速度亦是使用者的考量之一。通常高解析度下，光譜的擷取速度往往與系統的穩定性成反比，使用者需視實際需要來權衡兩者的優先考量順序。以高穩定性的系統狀況而言，若以 1 cm^{-1} 解析度為基準，光譜擷取速度可高達每兩秒一個光譜以上的速度。軟體方面，基本功能皆可執行與主機之間的 I/O 和基本的運算功能，至於更複雜的自動分析軟體，則是隨各家的撰寫格式不同而有些功能上的差異。由於開放式的量測法在定量過程往往涉及光譜之間的彼此疊合、基線不平與雜訊等問題。最佳的自動分析軟體應是以能反應出最正確的分析濃度值為前提，使用者宜加以評估定量的正確與否來評判分析軟體的好壞。目前市售的參考光譜約有三百種左右，這些化合物及其所對應的參考光譜皆可被用來作為定量依據，其他未建立參考光譜的化合物則需使用者自行建立相關之檢量線。常見化合物的偵測極限 (200 m 光徑長) 介於幾至幾十 ppb。

四、應用與用途

開放路徑式傅立葉紅外光光譜儀在環境氣體污染物偵測上所扮演的角色和傳統的分析方法相比，最重要的特色有：無須取樣、即時量測、可同時偵測多種化合物、大範圍量測等優點。此外，光學遙測法可進行非接觸式量測，對於高危險性的待分析

區域可以遙測的方式進行量測避免人員直接接觸，故在分析上有其無法取代之優點。

由比爾定律，量測時之可測偵測極限隨光徑之總長而降低。儘管實測時之條件易受現場環境而改變，長距離遙測 (100—800 m) 仍有助於提升儀器之靈敏度；為此，應用上，該法仍以能拉長監測線為優先考量，例如廠外周界環測或廠區、廠內整廠之空氣品質分析。

根據已有的應用實例，本儀器可廣泛地應用在各種室內空氣品質的量測、廠區周界空氣品質環測、製程管線緊急洩漏監控、環境影響評估及都市空氣品質遙測等領域。

參考文獻

1. U.S. Environmental Protection Agency, *Long-Path Open-Path Fourier Transform Infrared Monitoring of Atmospheric Gases, Compendium of methods for the determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*, 2nd ed. (1997).
2. 張世易, 霍氏轉換紅外光譜儀在氣態化合物量測上的發展與應用, 國立清華大學博士論文 (1996).
3. T. L. Marshall, C. T. Chaffin, R. M. Hammaker, and W. G. Fateley, *Environ. Sci. Technol.*, **28**, 224A (1994).
4. P. R. Griffiths and J. A. de Haseth, *Fourier Transform Infrared Spectrometry*, New York: John Wiley and Sons (1986).

作者：張世易先生為國立清華大學原子科學研究所物理博士，現任工業技術研究院工業安全衛生技術發展中心研究員。

多行程吸收槽－傅立葉轉換紅外光譜儀

Multi-Path Absorption Cells FTIR (Extractive FTIR)

關鍵字：傅立葉轉換紅外光譜儀、多行程吸收槽、氣態化合物

Keywords：Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR), multi-path absorption cells, gaseous compound

一、基本原理

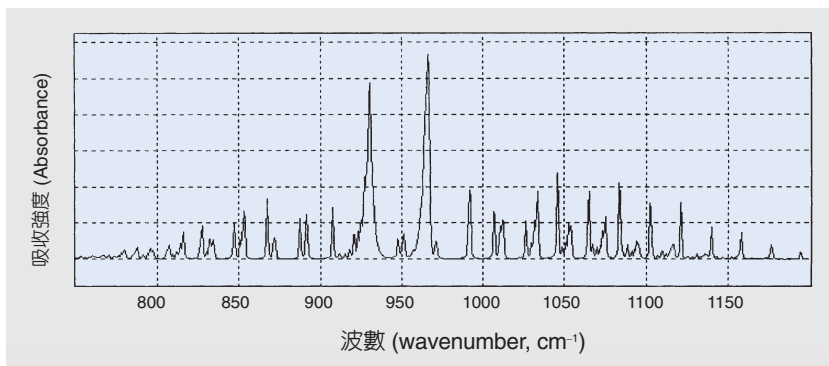
多行程吸收槽－傅立葉轉換紅外光譜儀 (multi-path absorption cells FTIR) 的操作原理與一般傅立葉紅外光吸收光譜儀相同，主要是利用紅外光 (以中紅外光為主) 與待測物質之間的能量交換而產生與物質結構特性相關之紅外光光譜。分析時，根據測得光譜之吸收譜線位置與相對強弱分佈，即可定出待測物種所包含之可能成份與鍵結。

氣態化合物的分析原理與固、液體相同，皆是利用紅外光的導入而產生特性吸收；所不同的是，氣態分子於空間中的運動較不受限，所反應出的吸收譜線包含轉動與振動的結合，對於分子量較小的化合物，在儀器解析度夠高的前提下，光譜儀能將整個振動帶內的大部份轉動吸收譜線分隔出來，使得在中紅外光吸收頻區內的氣態化合物吸收形狀專一而明顯，幾乎沒有重複的可能性 (如圖 1 中的吸收光譜)，通常將該吸收稱為「指紋吸收 (fingerprint absorption)」；此一固體和氣體之間的光譜表現差異，造成分析時能更有效辨識物種，降低物種彼此吸收譜線嚴重重疊的機率。一旦進行待測氣體分析時，只須對吸收譜線 (吸收光譜) 加以辨識即可反推待測氣體的種類 (吸收光譜形狀) 與存在濃度 (吸收光譜強度)。

吸收槽式紅外光譜分析儀主要是基於上述原理，將待測氣體抽入經過紅外光之吸收槽中，由光譜儀取得吸收光譜並分析。在定量方面則是根據比爾定律 (Beer's law) 來換算氣體濃度。理論上，吸收譜線的強度正比於氣體濃度與光所行經之總路徑長；在光徑長與吸收係數已知的前提下，化合物濃度可依 $C = A_i \div (\alpha_i \cdot l)$ 式求出。在此， A_i 為光束在 i 頻率的吸收強度， α_i 為吸收係數， l 為光路徑長。實際分析時，通常會由資料庫中叫出單一化合物參考光譜 (reference spectrum)，此參考光譜為在實驗室中利用校正系統所建立的光譜，該光譜只包含某一特定化合物之吸收譜線，且該吸收譜線之吸收強度、濃度、與光路徑長皆已知。由參考光譜與測得待分析光譜比對，找出待測化合物種類，由於參考物所對應之濃度路徑乘積值 ($C_r \cdot l_r$) 已知，在吸收係數 α_u 與 α_r 不變的假設下，未知物濃度便可依等式 $C_u = (A_u/A_r) \times (C_r \cdot l_r) \div l_u$ 求出；在此下標 u 代表待測物， r 代表參考光譜。

簡單的吸收槽式紅外光譜儀只要將傳統分析儀中的樣品固定區改為置入一長約十公分左右氣體吸收槽即可。儘管如此，由於儀器的最低偵測極限與光所行走之路徑長有關 (比爾定律)，欲降低該儀器之偵測極限唯有加長總光行長。基於此一考量，吸

圖 1.
氣態氮氣之紅外光光譜圖 (解析度 1 cm^{-1})。



收槽的設計是採取多行程的方式，亦即透過在吸收槽內置入反射鏡組，使光束在槽內入射後須經過多次來回反射後才能離開吸收槽，在有限槽長下，儘量加長總光行程長，達到降低偵測極限的目的。結合多行程吸收槽與紅外光譜儀技術即稱為多行程吸收槽式紅外光譜儀分析法。

吸收槽式紅外光譜儀操作上，不管是軟體與硬體方面除吸收槽外，其他皆與另外一種開放式紅外光譜儀 (open-path FTIR) 相同，換言之，若將開放式紅外光譜儀的鏡組加以密封，則操作上幾乎就與封閉式吸收槽光譜儀相同。

使用吸收槽式紅外光譜分析法的最大優點除了可以同時進行多種分析之外，尚可利用吸收槽來控制實驗條件，降低分析值的不確定性。相關的控制條件包括溫度、溼度、壓力及注入氣體濃度等。除此之外，背景的取得也較開放式紅外光譜法容易，只要在樣品注入前共注入相同實驗條件之氮氣或其他未與待測物吸收互相重疊之氣體，即可求取接近真實之背景光譜，進而獲取較少基線漂移現象存在之吸收光譜。

然而，相較於開放式量測法，樣品須被抽入吸收槽的取樣動作往往會為測值帶來某種程度的誤差，此外，該法亦無法進行類似開放式量測法般的長距離監測。若與氣相層析質譜法 (GC-MS) 作比較，則所須採樣體積大和偵測極限值較高是該法主要的缺點。

近幾年來，由於干涉儀 (interferometer) 和週邊處理設備的體積越做越小，許多製造商開始朝分析儀和吸收槽最小模組化方向發展，如此一來使用者便可將該儀器帶至現場進行及時量測，若再加上數據處理自動化和紅外光譜儀可測物種較不受限的有利因素下，該儀器在氣態化合物量測的應用領域上仍將扮演相當重要角色。

二、結構示意圖

簡單的儀器結構示意圖，如圖 2 所示。圖中所示的儀器主體已將所須的配備全部納入同一主機箱內；包括紅外光光源、干涉儀、吸收槽、偵檢器和相關控制系統、訊號傳輸系統和電源供應器等。當光源射出紅外光時，先經由干涉儀將原入射光加以

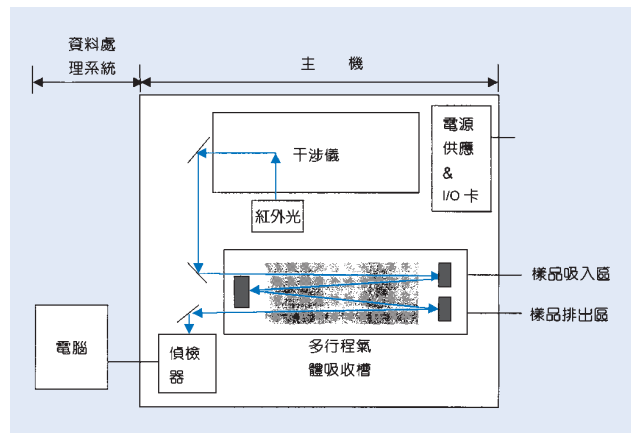


圖 2. 簡單的吸收槽—傅立葉轉換紅外光譜儀示意圖。

調制 (modulated)，而後將調制後的干涉光導入樣品吸收槽，使干涉光與槽內氣體作用，最後由偵檢器加以接收並透過電腦將所得干涉圖還原 (透過傅立葉轉換) 回以頻率為軸之單光束光譜 (single beam spectrum)；將該光譜與未吸收之背景光譜作吸收轉換，即可獲得吸收光譜而加以分析。

操作時，一旦供給電源後，使用者只須從電腦螢幕上監看光源強度值是否已達穩定狀態，即可進行分析動作。換氣部份可經由抽氣幫浦連續抽氣的方式或是將幫浦與電腦連線，由電腦控制分配幫浦取樣週期和數據擷取等。

三、儀器規格與特徵

目前市面上提供吸收槽式紅外光譜儀的廠商主要仍是以 FTIR 的製造商為主。部份製造商能替使用者設計所需的吸收槽和紅外光譜儀。就功能而言，配備上略有差異的選項包括偵檢器的種類、紅外光譜儀解析度、吸收槽能否加熱以及光徑長固定或可調等等。通常實驗室所使用的偵檢器主要以 DTGS 為主，其優點是可在常溫下操作，缺點則是雜訊太大，反應速度不夠快等等。若欲將該分析儀應用在低濃度的環測上，則須以液態氮冷卻的 MCT 或 InSb 為較佳，視實際需要而定。解析度方面，氣體的量測仍以 0.5 或 1 cm^{-1} 最適合，太高或太低易造成分析時間過久或光譜辨識不易。吸收槽的部份，有無加熱主要是考量於量測高吸附性或高腐蝕性氣體時 (如 HCl、acetic acid、 SO_2 等)，避免損害吸收槽，同時亦可確保分析濃度值。至於光徑

表1. 利用吸收槽式紅外光譜儀所量測之幾種常見化合物的偵測極限值 (10 m 光徑長，DTGS RMS雜訊 0.005，MCT RMS 雜訊 0.0002)。

| 化合物 | 偵測極限 | | 化合物 | 偵測極限 | |
|-------------------------|------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|
| | DTGS (ppm) | MCT (ppb) | | DTGS (ppm) | MCT (ppb) |
| Acetic Acid | 2.1 | 84 | Hydrogen Bromide | 1.8 | 72 |
| Acetone | 4.4 | 173 | Hydrogen Chloride | 1.0 | 40 |
| Acetylene | 1.2 | 44 | Hydrogen Fluoride | 0.3 | 12 |
| Acrylonitrile | 2.3 | 89 | Isobutane | 1.2 | 45 |
| Ammonia | 0.3 | 12 | Isobutanol | 0.6 | 21 |
| Arsine | 2.6 | 100 | Isopropanol | 1.7 | 68 |
| Benzene | 5.1 | 204 | Methane | 5.3 | 213 |
| 1,3 Butadiene | 1.4 | 56 | Methanol | 0.7 | 28 |
| n-Butane | 3.2 | 128 | Methyl Acetate | 1.2 | 48 |
| Carbon Disulfide | 30 | 1200 | Methyl Methacrylate | 1.0 | 40 |
| Carbon Monoxide | 2.0 | 80 | Methyl Vinyl Ketone | 2.9 | 112 |
| Carbon Tetrachloride | 0.4 | 16 | Nitrous Oxide | 2.9 | 112 |
| Carbon Tetrafluoride | 0.3 | 12 | Ozone | 1.0 | 40 |
| Carbonyl Sulfide | 0.8 | 32 | Phosgene | 0.3 | 12 |
| Chlorodifluoromethane | 0.4 | 16 | Propylene | 0.3 | 80 |
| Chloroform | 0.4 | 16 | Propylene Oxide | 3.3 | 132 |
| Cyclohexane | 0.3 | 12 | Styren | 1.8 | 72 |
| Dichlorodifluoromethane | 0.3 | 12 | Sulfur Dioxide | 0.7 | 108 |
| 1,2 Dichloroethane | 11 | 440 | Sulfur Hexafluoride | 0.3 | 12 |
| Dichloromethane | 2.0 | 80 | Toluene | 5.1 | 204 |
| Diethy Ether | 0.4 | 12 | Trichloroethene | 0.4 | 16 |
| Ethanol | 1.4 | 56 | Trichlorofluormethane | 0.3 | 12 |
| Ethylene | 1.0 | 40 | Vinyl Acetate | 1.2 | 48 |
| Ethylene Oxide | 1.7 | 68 | Vinyl Chloride | 2.4 | 96 |
| Formaldehyde | 0.7 | 28 | <i>m</i> -Xylene | 2.3 | 82 |
| Formic Acid | 1.2 | 48 | <i>o</i> -Xylene | 2.1 | 164 |
| n-Hexane | 0.7 | 28 | <i>p</i> -Xylene | 2.1 | 84 |

長的可調，目的有二，其一是為待測環境氣體濃度高低差異極大時，使用者可調整最適光徑長，避免氣體濃度太高造成光譜吸收飽和或光徑太短造成偵測極限過高；另一用途則是利用光徑可調改變吸收強度，建立標準氣體吸收強度校正曲線。光譜擷取速率方面，通常 1 cm⁻¹ 解析度，16 次疊加，大約 1 分鐘可以完成一張光譜擷取。

軟體方面，基本的功能包括：1. 儀器狀況檢視 (訊號強度)，2. 光譜擷取條件設定和光譜擷取，3. 光譜形式轉換 (吸收、穿透、K-M 等)，4. 光譜存讀取，5. 定性比對，6. 手動或自動定量分析，7. 繪圖等。使用吸收槽式紅外光譜儀，若以一長 10 cm 吸收槽 (體積約 2.5 L) 為例，幾種常見化合物的偵測極限值如表 1 所示。

四、應用與用途

吸收槽式紅外光譜儀主要用途可分為實驗室研究用途和實測分析兩方面。實驗室的應用包括標準光譜的建立、鑑定配置氣體濃度、化學反應機構分析和未知物鑑定等等。實測分析方面，包括作業場所現場抽樣分析、劇毒，易燃、易爆氣體監控、超高純度氣體純度 (所含雜質) 鑑定、水氣含量鑑定等。

儘管吸收槽式分析儀分析法之偵測極限值偏高，然而由於大部份化合物皆有單一之紅外光吸收譜線且應用該儀器作為分析時，所容許之濃度變化範圍相當大 (~1 ppm 至 10000 ppm)，對於許多 ppm 級以上之有機、無機氣體濃度分析佔有相當大的優勢，對於非超微量分析或不需極高準確度的應用而言，該分析儀不失為一方便、實用之分析工具。

參考文獻

1. U. S. EPA, *Protocol for the use of Extractive Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometry for the Analysis of Gaseous Emissions from Stationary Sources*, EMTIC Bulletin Board (1995).
2. 張世易, 霍氏轉換紅外光譜儀在氣態化合物量測上的發展與應用, 國立清華大學博士論文 (1996).
3. D. E. Bartak, R. A. Wiley, C. Crome and M. Rover, *Analysis of Volatile Organic Compounds (VOCs) by Extractive FTIR Spectroscopy*, in *Proceedings of the AWMA 89th Annual Meeting and Exhibition*, 96-WA65.06, Tennessee, June 23-28 (1996).
4. P. R. Griffiths and J. A. de Haseth, *Fourier Transform Infrared Spectrometry*, New York: John Wiley and Sons (1986).

作者：張世易先生為國立清華大學原科物理博士，現任工業技術研究院工安衛中心研究員。

氣相層析／紅外光譜儀／質譜儀

Gas Chromatograph/Infrared Spectrometer/Mass Spectrometer (GC/IR/MS)

關鍵字：氣相層析儀、質譜儀、紅外光譜儀

Keywords： gas chromatography, mass spectrometer, infrared spectrometer

一、基本原理

氣相層析／紅外光譜儀／質譜儀為氣相層析儀、紅外光譜儀及質譜儀之串聯或並聯式分析儀器。一般，當分析複雜有機混合物之成份時，氣相層析儀是一很好之樣品成份分離儀器，其原理為樣品內之各種成份化合物在層析管柱中，與動相 (mobile phase) 與靜相 (stationary phase) 之親和力不同造成移動速度差異，而達到成份分離的效果，由於毛細管柱的技術 (有較高的理論板數，分離效果佳) 發展，使得分離複雜有機混合物成份之能力更為提升；經過管柱分離流出之各成份，導入質譜儀及紅外光譜儀進行偵測，可同時獲得質譜儀及紅外光譜儀之光譜資料，利用彼此的特性，可提供更多的資訊來判讀複雜混合物中之成份分析。

氣相層析質譜儀由於具較佳之靈敏度及提供質譜資料，因此被廣泛使用。其原理是樣品中各成份從層析管柱分離後，進入質譜儀之游離源，各化合物以高能粒子撞擊或其他方式改變成離子或帶電荷碎片後，再以質量分離器分析而得該化合物之特徵質譜圖。質譜儀之型式很多，而常應用於一般實驗室仍以四極矩質譜儀最為普遍，近年來，離子阱質譜儀亦漸被重視，以下即針對此兩種質譜儀作一介紹。

1. 四極矩質譜儀

以四根結構均勻之拋物線面型之圓形金屬棒，精確架成四角形，並在兩對對角棒通以直流電及外加可調式之射頻交流電，使四支棒間產生不同電場，而形成質量過濾裝置，其穿越其中之離子荷質比 (m/z) 為

$$\frac{z}{m} = 0.354 \frac{r^2 \omega^2}{2V}$$

r ：四極柱所圍之空間半徑

ω ：頻率

V ：射頻電位

由於四極矩質譜儀在體積的縮小及價位上的降低，而使得使用率更為廣泛。

2. 離子阱質譜儀

其原理與四極矩質譜儀相似，皆以帶電粒子在電場中的穩定變化，而濾掉不同荷質比之粒子。在四極矩之質量分析過程中，只作二維 (XY 平面) 電場變化，如在 Z 軸加一射頻電壓，則整個空間即形成一電場阱，離子將被困在此空間運動而無法逃出，再改變電壓偵測阱內之離子質量。由於離子阱質譜儀具有體積小、靈敏度高、價格便宜、化學游離法 (chemical ionization, CI) 及 MS/MS 功能，因此漸被重視。

氣相層析紅外光譜儀雖早在 1960 年代即已發展出來，然由於偵測極限之限制，一直到 1980 年代 HgCdTe 感測器 (MCT detector) 及光管 (light pipe) 傅立葉轉換紅外光譜儀的應用，才使氣相層析／紅外光譜儀有較廣泛之應用。而目前應用於氣相層析之紅外光譜儀型式有：光管、介質隔離 (matrix isolation) 及直接附著 (direct deposition)。

1. 光管式紅外光譜儀

光管式紅外光譜儀是將樣品成份由層析管柱分離後，流經一內壁鍍金之光管，與通過光管內之紅外光作用，再由光管出氣口附近之檢測器測得各成

份之紅外光譜資料。此型式之紅外光譜儀最大缺點是其偵測極限較差 (約比質譜儀差 50–100 倍)，且樣品中各成份經毛細管柱層析後進入光管，因體積上的差異，將會降低層析之解析度，因此如何找出氣相層析／紅外光譜儀之最佳條件，將是偵測結果好壞的重要指標。

2. 介質隔離式紅外光譜儀

介質隔離式紅外光譜儀是將介質 (通常為氫氣或氮氣) 氣體混於載流氣體中，將層析出之化合物氣體，噴灑於一旋轉之超低溫鍍金表面，期使每一種化合物之個別分子完全被介質氣體所冷凍包圍，以減少化合物分子間之交互作用，再以紅外光束檢測懸轉盤上之各附著成份。由於此法為非即時 (off-line) 分析，訊號的平均可使偵測極限到達 pg 之程度。

3. 直接附著式紅外光譜儀

其原理類似介質隔離式紅外光譜儀，亦將管柱之層析流出物冷凝捕捉於冷凍表面。其差異點在於不須介質氣體且可進行即時分析。

當從氣相層析儀連結質譜儀及紅外光譜儀時，質譜儀之型式較沒限制，而紅外光譜儀由於即時偵測及介面考量，目前仍以光管式為主。因此針對紅外光譜儀之偵測極限問題，Maeon 及 Rodriguez 發展一套注射系統可濃縮大量體積並去除大部份基質或溶液，以使紅外光譜儀之偵測極限可達 1 ppbv。因此，結合質譜儀及紅外光譜儀，以紅外光譜儀對某些官能基 (如胺類、烯類及羰類化合物) 有明顯之不同吸收波長且對異構物光譜上之差異，可彌補質譜儀偵測上之不足，並由兩種資料之相互比對，更提高複雜混合物中成份確認之可靠性及準確性。

二、結構示意圖

質譜儀及紅外光譜儀連接於氣相層析儀，有並聯及串聯兩種方式。並聯系統中，樣品各成份從管柱層析分離後，分流進質譜儀及紅外光譜儀；於串聯系統中，樣品之層析流出物則先進入紅外光譜儀後，再流入質譜儀。由於質譜儀之操作環境為高真空狀態 ($\sim 10^{-5}$ torr)，而紅外光譜儀則在常壓下操

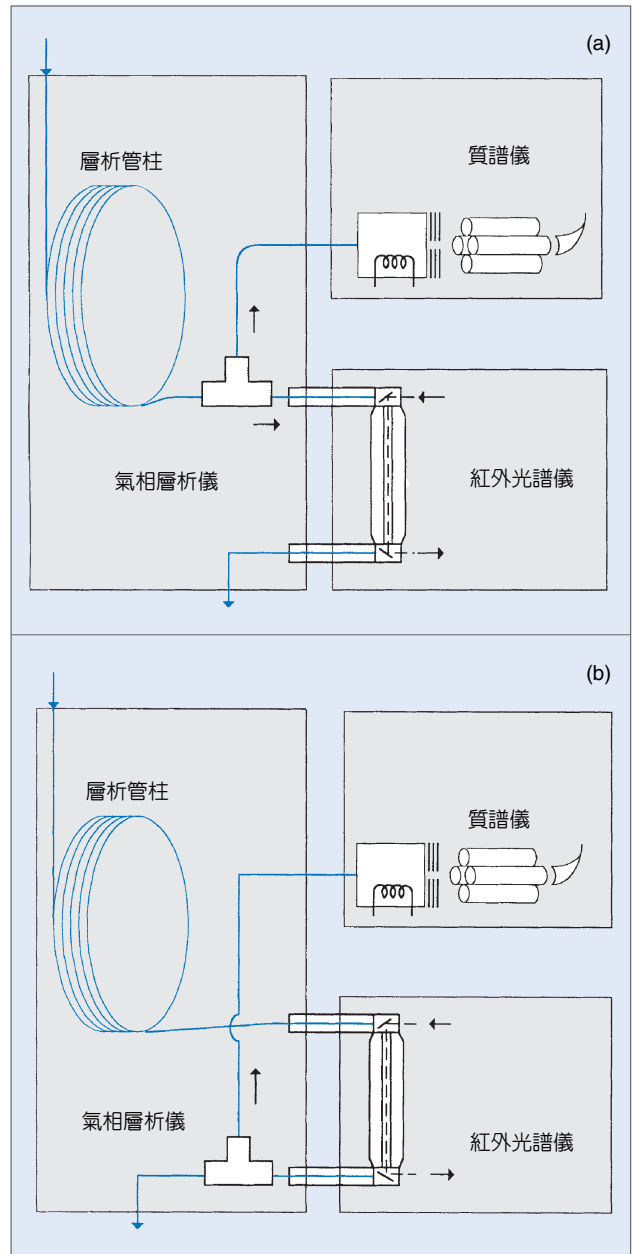


圖 1.(a) 並聯式氣相層析／傅立葉紅外光譜儀／質譜儀裝置圖，(b) 串聯式氣相層析／傅立葉紅外光譜儀／質譜儀裝置圖。

作，因此在分析流量上，須特別注意各系統之需求，才能達到最佳之分析結果。在並聯系統中，樣品各成份層析流出後，約 90–99 % 分流進紅外光譜儀，於進入光管前，通常會加入一補充氣體 (make-up gas)，以減少因光管體積突增而造成層析波峰峰形變寬，而降低解析度之現象。另須注意進入光管之氣體流速，會對物種之紅外光譜偵測有所

影響；例如對低碳鏈碳氫化合物在低流速之反應比高碳鏈碳氫化合物佳，而高流速時則剛好相反，因此適當之流速才能得到最佳之偵測結果。於串聯系統中，管柱層析物流入紅外光譜儀後，再經一「T」型管分流入質譜儀。此方式之優點在於全部樣品完全被紅外光量測，因此可得最大反應之紅外光譜，且分流入質譜儀之流量，可藉調整輔助氣體之流量來達成進入質譜儀之分流比，然此方式最大的缺點為層析之解析度會比並聯式為差，且隨著輔助氣體流速的增加，亦會降低進入質譜儀的樣品量。

三、儀器規格及特徵

目前商業化之氣相層析／紅外光譜／質譜儀型式並不多，主要規格差異在於質譜儀及紅外光譜儀之偵測型式。質譜儀以四極矩及離子阱為最常被應用，紅外光譜儀則仍以光管式偵測為主。而各種型式偵測之優缺點表列於下。

表 1. 質譜儀及傅立葉轉換紅外光譜儀之種類及優缺點。

| 種 類 | 偵測極限 | 優 缺 點 |
|------------|--------|---------------------------|
| 四極矩質譜儀 | 50 pg | 價格便宜 普遍性 |
| 離子阱質譜儀 | 5 pg | 靈敏度高 體積小 具 MS/MS 功能 |
| 光管式紅外光譜儀 | 50 ng | 靈敏度差 即時偵測 |
| 介質隔離式紅外光譜儀 | 200 pg | 靈敏度佳 操作後偵測 |
| 直接附著式紅外光譜儀 | 200 pg | 靈敏度佳 即時偵測 |

四、應用與用途

氣相層析／紅外光譜／質譜儀於文獻上之報告，主要應用於四方面：(1) 有機化學、(2) 生物化學、(3) 環境分析及 (4) 聚合物及石油化學。有機化學方面，主要在有機反應對不穩定之反應物、產物與中間體間關係之研究；而在生物化學方面之應用則限制較大，由於氣相層析儀主要為分析揮發性有機化合物，因此，目前的文獻報導上，只看到分析植物中之揮發性化合物及荷爾蒙方面之研究；利用此技術應用於環境分析上最為普遍，原因之一為環境中之氣態、液態或固態樣品，皆能以此技術分析，且紅外光譜儀提供之異構物確認，亦可彌補質譜在這方面之缺憾；此外，亦有此技術分析石油裂解中條件的變化而產生產物成份組成之差異。

目前氣相層析／紅外光譜儀／質譜儀仍未被廣泛使用，除價位問題外，紅外光譜儀偵測感度及層析解析度之提升，將是未來儀器開發中重點。然對複雜混合物中化學成份之確認，氣相層析／紅外光譜儀／質譜儀之組合仍是一相當好用之技術。

參考文獻

1. J. C. Demirgian, *Gas chromatography-Fourier transform infrared spectroscopy-mass spectrometry--A powerful tool for component identification in complex organic mixtures, trends in analytical*, vol. 6, no. 3 (1987).
2. M. J. Tomlinson, T. A. Sasaki, and C. L. Wilkins, *Mass spectrometry Reviews*, **15**, 1 (1996).
3. Hewlett-packard coworker, *IRD system handbook*, Hewlett-packard company press (1993).

作者：葉銘鵬先生為清華大學原科所碩士，現任工業研究院工業安全衛生技術發展中心副研究員。
余榮彬先生為愛荷華大學分析化學博士，現任工業研究院工業安全衛生技術發展中心研究員。

碳氫化合物分析儀

Hydrocarbon Analyzer

關鍵字：碳氫化合物分析儀、火焰離子偵測器、紅外光吸收法

Keywords：hydrocarbon analyzer, flame ionization detector, infrared absorption method

一、基本原理

本儀器主要用於量測空氣中揮發性有機化合物之濃度，並以碳為濃度計算基礎，藉由此種方法檢查有機氣體溢散或石油化學相關工業之作業環境安全和污染排放情形。由於本分析儀無法詳細分析氣體樣品中之各種碳氫化合物種類，僅能以總碳氫化合物 (total hydrocarbon, THC) 濃度加以表示，所以本儀器又稱為「總碳氫化合物分析儀」。本儀器主要測試原理為以火焰燃燒或紅外線吸收法探求氣體樣品中碳氫化合物之總濃度，如欲調查碳氫化合物之種類，則可進一步使用氣相層析法或其他適當方法加以鑑定。

甲烷是最基本之碳氫化合物，由於自然環境中水體底部淤泥及動植物屍體厭氧分解之結果，產生大量甲烷氣體，因此甲烷氣體一般可以視為大氣氣體成份。在進行 THC 分析時，大多將甲烷氣體濃度加以分離，所測得之總碳氫化合物濃度便可分為甲烷 (methane) 濃度及非甲烷碳氫化合物 (non-methane hydrocarbon, NMHC) 濃度。甲烷濃度及 NMHC 濃度表示方面則以甲烷或丙烷之 ppm 含量為主。但是在天然氣相關工業、垃圾場排放廢氣或污水處理之厭氧處理程序之氣體檢驗時，甲烷氣體則是主要偵測項目。以下兩種分析方法為目前發展較為成熟之 THC 分析方法。

1. 火焰離子偵測法 (flame ionization detector method, FID)

本方法之基本測試原理為在一定的氣體採樣速率下，氣體樣本先經由一個可加熱的濾紙過濾器去除氣體樣本中之懸浮微粒，而後進入一個真空的氣體樣品槽，再由此氣體樣品槽分別分析甲烷及 NMHC 濃度。甲烷氣體濃度之分析過程是先將氣體樣本通過氣體層析管柱，將 CO、CO₂、甲烷及

其他非甲烷有機氣體加以分離，再由 FID 先偵測得到甲烷氣體濃度。至於 NMHC 分析過程，則將上述之非甲烷有機氣體通過一個氧化觸媒，氧化所有碳氫化合物為 CO₂，再以一個還原觸媒將 CO₂ 還原為甲烷，再由 FID 偵測得到甲烷氣體濃度，此濃度即為 NMHC 濃度。本方法可以應用在一般大氣化學之甲烷與 NMHC 濃度分析，亦可使用於碳氫化合物污染源排放廢氣之分析。然而，本方法之主要干擾物質包括水蒸氣及 CO₂，如果氣體樣品中同時含有 CO₂ 及水蒸氣時，則會在氣體層析管柱分離產生干擾及 FID 偵測電流產生變化，結果造成 NMHC 分析上明顯之偏差。因此使用本方法於煙道燃燒廢氣檢測時，應一併檢查其 CO₂ 和水蒸氣之濃度，以防止本方法之誤差。

2. 紅外線吸收法 (infrared absorption method)

由於紅外光照射碳氫化合物時，碳氫化合物可吸收紅外光之能量造成原子價鍵間之彎曲、轉動與振動。因此可以使用固定波長之紅外光照射氣體樣本，而後以紅外光之吸收度來定量碳氫化合物之濃度。一般的紅外光光源用電將惰性固體金屬加熱至 1500–2000 K，其放出紅外光之頻率範圍約在 600–4000 cm⁻¹。由光源射出紅外光，經由可改變寬度之狹縫及單色光鏡組件，以及數個反射鏡及聚光鏡，藉以減小紅外光吸收帶寬度，使紅外光之吸收光譜更容易定位，且不虞光線散射的現象。紅外光之偵測器主要可用熱偵測器或光導電偵測器，熱偵測器除了較短波長部份外，適合所有的紅外光區。熱偵測器之主要偵測原理是以一個可吸收輻射之黑體量測其溫度上升的差值，藉以定量紅外光被氣體樣品吸收程度。光導電偵測器是由半導體吸收紅外光輻射後，激發不導電之電子至導電狀態，藉由導電度之改變，測量氣體樣本吸收紅外光之程度。此

方法之主要優點為其簡便性，依照紅外光之氣體樣本吸光強度，便可立即鑑定出碳氫化合物之濃度，無須 FID 方法之氣體層析管柱、轉換觸媒、空氣與輔助燃料，但此紅外光分析儀之測值為總碳氫化合物 (THC) 濃度。

二、結構示意圖

1. 火燄離子偵測法

FID 之主要分析裝置如圖 1。其中之主要構造為氣相層析管柱、氣體轉換觸媒及 FID。氣相層析管柱先將 CO、CO₂、甲烷及其他非甲烷有機氣體加以分離，而後以氧化及還原觸媒分別將甲烷及其他非甲烷碳氫化合物轉化成甲烷氣體，最後以 FID 檢測此二部分之甲烷氣體濃度。FID 之主要測試原理是混和氫氣與空氣後之火焰燃燒自層析管柱流出之氣體樣本，由於不同氣體樣本的燃燒狀況下將產生不同數量的離子，再將一個極化電壓靠近燃燒之火燄，則這些離子即可轉換為電流，最後以電流收集器記錄電流變化情形。

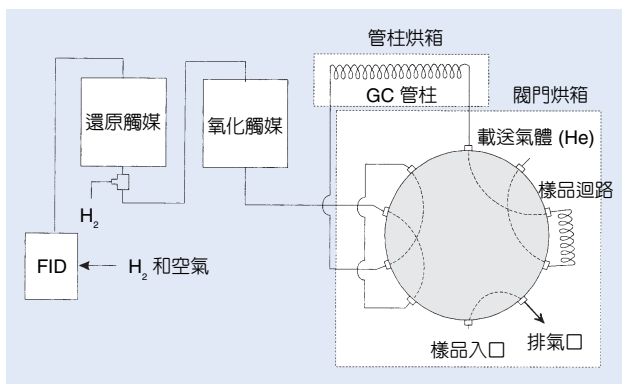


圖 1. 碳氫化合物火燄離子分析儀。

2. 紅外線吸收法

紅外線吸收法之主要分析裝置如圖 2。本方法之基本分析裝置包含有紅外光光源、紅外光過濾鏡、氣體樣本室、偵測器及抽氣幫浦等。紅外光光源及其配合之濾光鏡將紅外光放射波數調整至目標檢測化合物之適合範圍。由於碳氫化合物種類繁多，一般適當之紅外光波數範圍約在 600–3500 cm⁻¹ 之間。如果檢測特定之碳氫化合物，波數範圍可更小，也更精確。高級之紅外光分析儀可以調整濾光鏡及光柵，以改變紅外光發射週波數，以檢測

不同之化學物質。本儀器先以抽氣幫浦將欲測試之氣體通過氣體樣本槽，而後以發射穩定之紅外光加以照射，由於碳氫化合物會吸收紅外光能量，因此偵測器可測得氣體樣本與參考氣體之溫度或電導度差異，並藉由標準氣體校正，獲得濃度檢量曲線，最後依此濃度檢量曲線測試樣本氣體。如果氣體濃度過低，則可藉由反射鏡增加紅外光之穿透長度，亦即增加氣體樣本吸收紅外光之程度，達到檢測低濃度氣態化合物之目的。

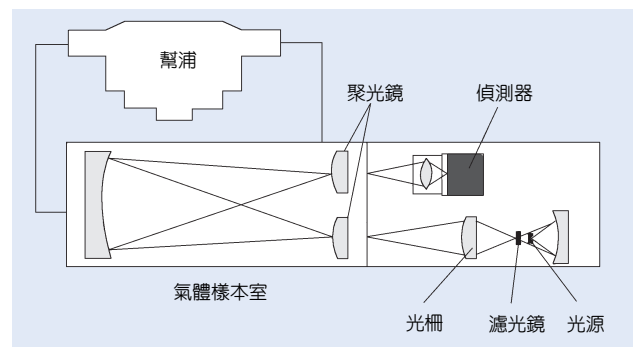


圖 2. 碳氫化合物之紅外光吸收裝置。

三、儀器規格與特徵

碳氫化合物分析儀 (FID) 之主要規格在於轉換觸媒之有效性、空氣與氫氣之供應性及 FID 檢測濃度之線性範圍。氧化及還原觸媒之轉換有效性可以用標準的碳氫化合物氣體加以檢測，例如以 100 ppm 之正己烷注入此分析儀，則其 NMHC 氣體濃度應為 600 ppm 之甲烷。如果濃度偏低，先以標準調整鈕加以校正，倘若仍無法達到應有之設定值，則轉換觸媒即需更換。空氣與氫氣之供應也是主要考量因素，一般可使用鋼瓶氣體作為氣體來源，也可使用自然空氣與氫氣產生器，為後者需做空白校正且較適合高濃度之碳氫化合物檢測。FID 檢測濃度之線性範圍則以不同濃度之碳氫化合物氣體予以校正即可。

紅外光之碳氫化合物分析儀之主要規格在於紅外光波長範圍、光源穩定性與持久性、分析精確性及操作方便性等，做一般濃度鑑定時，僅需要固定紅外光波長範圍之簡單型儀器即可。

四、應用與用途

本儀器主要之應用範圍及相關用途如下：

(1) 工業安全

由於碳氫化合物具有潛在之爆炸及燃燒特性，基於工業操作安全之考量，作業場所及碳氫化合物可能溢散之處所，均須以碳氫化合物分析儀定期檢查，並加以記錄，以降低意外事故發生之機率。測試過程可分管線連接處、密閉作業場所及廠區周界測試等。

(2) 污染鑑定與防治

近年來工業生產之固定污染排放源及交通廢氣造成大量碳氫化合物排放至大氣，除了顯著地惡化空氣品質外，碳氫化合物均可能造成之二次光化反應 (如臭氧) 及潛在人體健康之威脅。本儀器可使

用於污染源碳氫化合物濃度之檢測，藉此判定污染排放或防治設備改善效率之情形，例如汽機車尾氣檢測、加油站油氣排放檢測及表面塗裝業有機氣體排放檢測等。

參考文獻

1. D. A. Skoog and J. J. Leary, *Principles of Instrumental Analysis*, 4th ed. (1992).
2. C. N. Sawyer, P. L. McCarty, and G. F. Perkin, *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th ed. (1994).
3. *Detectors for Gas Chromatography*, Hewlett Packard (1991).

作者：劉希平先生現任輔仁大學公共衛生學系副教授。

氮氧化物自動分析儀

Nitrogen Oxide Analyzer

關鍵字：氮氧化物、化學發光法、非分散性紅外線法

Keywords：nitrogen oxide, chemiluminescence, nondispersive infrared method

一、基本原理

一般大氣中氮氧化物主要是一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂)，測定方法有化學發光法 (chemiluminescence) 和非分散性紅外線法 (nondispersive infrared, NDIR) 等。化學發光法是一氧化氮與臭氧 (O₃) 之氣相反應後會放出光，其強度與一氧化氮濃度成正比。將二氧化氮轉化成一氧化氮後，與臭氧反應，偵測其所放出之光，即為二氧化氮的濃度。若樣品氣體不經過轉化作用，所得量測之值即為一氧化氮濃度；而經轉化作用則為氮氧化物濃度，二者之差即為二氧化氮的濃度。而非分散性紅外線法將氮氧化物經過氣體樣品冷卻器及 NO₂-NO 轉換器轉換為 NO 後，以非分散性紅外線氣體分析儀 (NDIR gas analyzer) 對 NO_x 作自動檢測。同樣地，若不經過 NO₂-NO 轉換器，則為 NO 含量；將所測全量氮氧化物含量減掉 NO 含量，即可得出 NO₂ 的含量。

表1. 氮氧化物自動分析儀性能規格。

| | | |
|------------|-----------|-----|
| 1. 測定適用範圍 | 0.03—0.50 | ppm |
| 2. 雜訊 | 0.005 | ppm |
| 3. 偵測極限 | 0.01 | ppm |
| 4. 干擾當量 | | |
| 單一當量 | ± 0.02 | ppm |
| 總當量 | 0.04 | ppm |
| 5. 零點偏移 | ± 0.02 | ppm |
| 6. 全幅偏移 | | |
| 上限濃度之 20 % | ± 20.0 | % |
| 上限濃度之 80 % | ± 5.0 | % |
| 7. 遲滯時間 | 20 | min |
| 8. 上升時間 | 15 | min |
| 9. 下降時間 | 15 | min |
| 10. 精密度 | | |
| 上限濃度之 20 % | 0.02 | ppm |
| 上限濃度之 80 % | 0.03 | ppm |

二、結構示意圖

1. 化學發光法

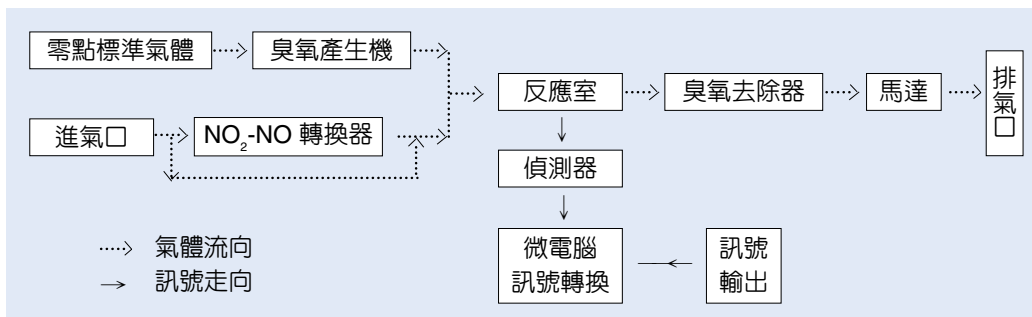


圖1. 化學發光法測定氮氧化物的儀器結構示意圖。

2. 非分散性紅外線法

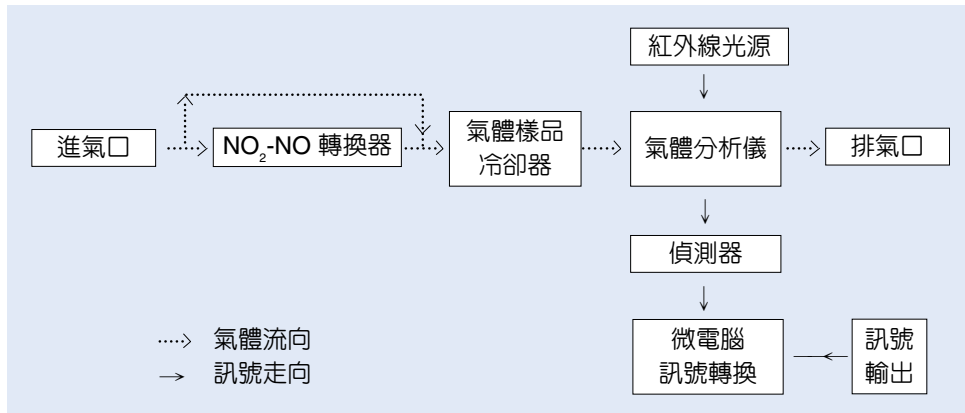


圖2.
非分散性紅外線法測定氮氧化化合物的儀器結構示意圖。

一般氮氧化物使用化學發光法之自動分析儀的校正方法有二：(1) 氣相滴定法 (gas phase titration, GPT)；(2) 二氧化氮滲透管法 (NO₂ permeation device)。其校正方法可參考文獻⁽⁴⁾。

三、儀器規格與特徵

以化學發光法為原理的自動分析儀器，其性能須符合表 1 所列規格 (US EPA)。

以非分散性紅外線法，其性能參照環保署 (1993) 固定污染空氣污染物連續自動監測設施管理要點，如表 2 所述。

四、應用與用途

化學發光法適用在大氣中氮氧化物之自動檢驗，但若有過氧乙醯硝酸 (peroxyacetyl nitrate) 存在會被轉化成一氧化氮，這是主要的干擾來源。此化學發光法適用於測定大氣及周界中濃度可介於 0.0 至 0.5 ppm 之氮氧化物。非分散性紅外線法適用在煙道排氣中氮氧化物自動檢測；唯一要注意的是分析儀內的樣品槽易受水氣干擾，應加裝除溼裝

表2. 氮氧化物自動分析儀性能規格。

| | | |
|--------------|----------|-------|
| 零點偏移 (24 小時) | ≤ 2.5% | 全幅 |
| 全幅偏移 (24 小時) | ≤ 2.5% | 全幅 |
| 應答時間 | ≤ 15 min | |
| 操作測試時間 | ≥ 168 | hours |

置去除干擾；且 NO₂-NO 轉換器的轉化率需達 90 % 以上，否則應加以維修或清洗才能使用。CO 和 CO₂ 會造成干擾，但濃度低於待測物 20 %，其干擾程度可以忽略。此非分散性紅外線法適用於排放管道中，濃度介於 0—2000 ppm 之氮氧化物。

參考文獻

1. US EPA, Code of Federal; Regulation (CFR), 40 CFR Part 50, APP. F. (1990).
2. US EPA, Code of Federal; Regulation (CFR), 40 CFR Part 53, Subpart B (1990).
3. US EPA, 40 CFR Part 60, APP. A, Method 7C, 7D, 7E (1990).
4. 行政院環境保護檢驗所, 環境檢測方法, 空氣檢測方法 (86 年版), NIEA, A411. 70A, A417. 10T.

作者：謝嘉峰先生現任國立中興大學化學系副教授。

二氧化硫含量分析儀

Sulfur Dioxide Analyzer

關鍵字：紫外光螢光法、非分散性紅外線法

Keywords：ultraviolet/fluorescence method, non-dispersive infrared method

一、基本原理

1. 紫外光螢光法 (UV/FLD)

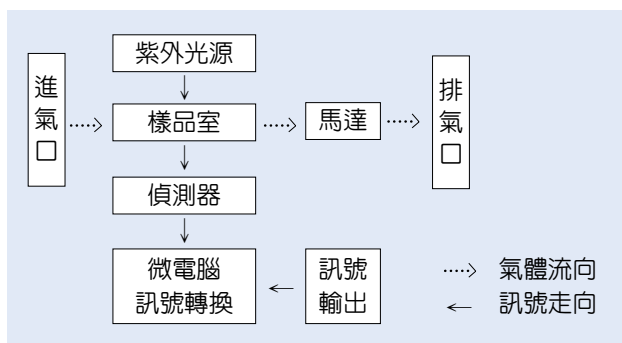
利用波長介於 190 nm–230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再量測其降回基態時所發出 350 nm 的螢光強度，以測定大氣或煙道排氣中二氧化硫的濃度。

2. 非分散紅外線法 (NDIR)

從煙道排氣中連續抽出的氣體，引入非分散性紅外線光為分析器之儀器內，以測定其中所含二氧化硫之濃度。

二、結構示意圖

1. 紫外光螢光法



2. 非分散紅外線法

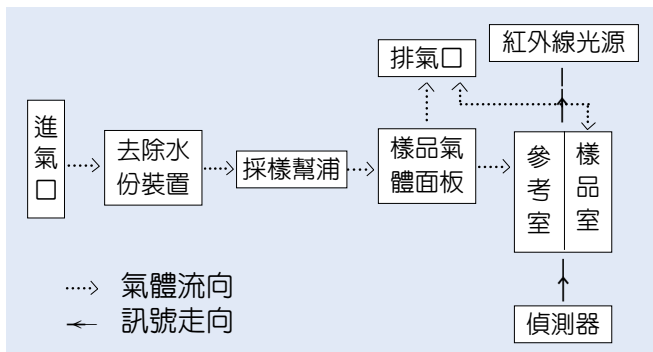


表 1. 二氧化硫自動分析儀性能規格。

| | |
|------------|--------------|
| 1. 測定適用範圍 | 0.03–0.5 ppm |
| 2. 雜訊 | 0.005 ppm |
| 3. 偵測極限 | 0.01 ppm |
| 4. 干擾當量 | |
| 單一當量 | ± 0.02 ppm |
| 總當量 | 0.06 ppm |
| 5. 零點偏移 | ± 0.02 ppm |
| 6. 全幅偏移 | |
| 上限濃度之 20 % | ± 20.0 % |
| 上限濃度之 80 % | ± 5.0 % |
| 7. 遲滯時間 | 20 min |
| 8. 上升時間 | 15 min |
| 9. 下降時間 | 15 min |
| 10. 精密度 | |
| 上限濃度之 20 % | 0.01 ppm |
| 上限濃度之 80 % | 0.015 ppm |

三、儀器規格與特徵

1. 紫外光螢光法

一般以紫外光激發而放出螢光的方法，其自動分析儀器之性能必須符合表 1 之規格 (US EPA)。一般使用紫外光螢光法自動分析二氧化硫之儀器可使用下列二種方法作校正：(1) 動態液體稀釋法：使用高濃度二氧化硫鋼瓶氣體，經稀釋成各種所需的濃度；(2) 二氧化硫滲透管法。其校正方法可參考文獻⁽³⁾。

表 2. 二氧化硫自動分析儀性能規格。

| | |
|--------------|-------------|
| 零點偏移 (24 小時) | ≤ 2.5 % 全幅 |
| 全幅偏移 (24 小時) | ≤ 2.5 % 全幅 |
| 應答時間 | ≤ 15 min |
| 測試時間 | ≥ 168 hours |

2. 非分散紅外線法

一般以非分散紅外線法測定二氧化硫，可用於連續量測煙道排氣之分析儀，其性能須符合表 2 所列之規範。(環保署 (1993) 固定污染物連續自動監測設施管理要點)其自動分析儀可用動態氣體稀釋法作校正。

四、應用與用途

一般紫外光螢光法 (UV/FLD method) 可適用於大氣或煙道排氣中的二氧化硫之測定。但若有芳香族碳氫化合物會吸收由二氧化硫所放出來的螢光，是主要的干擾源。二硫化碳、氮氧化合物及乙烯等化合物在 216 nm 處會產生些微螢光。可使用寬頻濾鏡來允許介於 240 至 420 nm 間由二氧化硫產生

之螢光通過，以濾除主要之干擾。

而非分散紅外線法適用在煙道排氣的測定，分析儀的樣品槽易受水氣干擾，並逐漸降低訊號值，應加裝除水份裝置去除干擾。另在二氧化硫吸收範圍內，會出現許多干擾物的吸收波峰 (如 CO、CO₂、CH₄ 或 HC 等)，定量時要特別注意。

參考文獻

1. US EPA, *Code of Federal Regulation (CFR)*, 40 CFR Part 53, Subpart B (1990).
2. US EPA, *Code of Federal Regulation* Part 60, App. A, Method 6C (1990).
3. 行政院環境保護檢驗所, 環境檢測方法, 空氣檢測方法 (86 年版), NIEA, A413. 70A, A414. 70A, A416. 101.

作者：謝嘉峰先生現任國立中興大學化學系副教授。

非分散性紅外線分析儀

Non-dispersive Infrared Analyzer (NDIR)

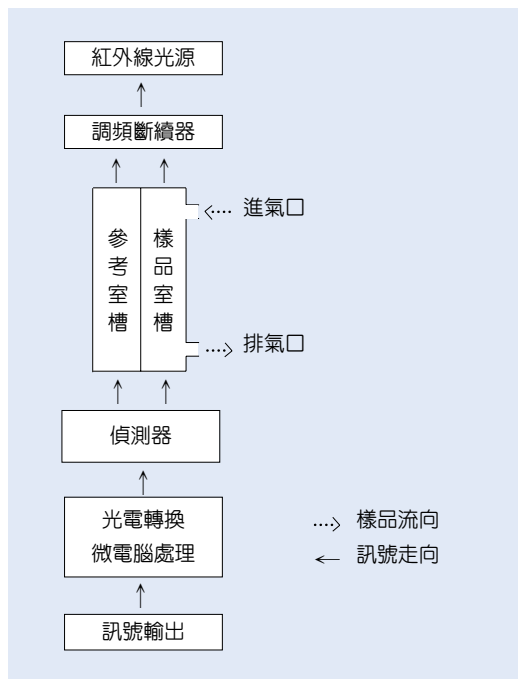
關鍵字：非分散性紅外線光譜

Keywords：non-dispersive infrared spectrum

一、基本原理

本儀器是根據一般紅外線吸收分光法的原理而設計，即由紅外線發射光源 (infrared source) 經斷續器 (chopper) 照射到樣品，最後由熱偵測器 (heat detector) 檢測樣品中待測物的含量，如選定約 4.5 – 7.0 μm 範圍可測定一氧化氮 (NO) 的含量。由於紅外線輻射不經過稜鏡或光柵來形成分光色散，故稱為非分散型 (non-dispersive) 的紅外線分析儀。

二、結構示意圖



典型的非分散性紅外線分析儀，其紅外線光源與樣品室槽 (及參考室槽) 間置有一斷續器 (chopper)，並使用雙光束 (double beam) 原理，即分為二個小室槽，一為樣品室槽，另一為參考室槽內裝有不吸收紅外線之氣體，如乾燥之氮氣或惰性氣體；其二者之體積相同。利用樣品通過樣品室槽吸

收紅外線光，因參考室槽不吸收輻射線能量，會使得偵測器內之氣體吸收紅外光產生熱而與樣品室槽相對之偵測器內氣體形成差異，再利用此差異使得偵測器內之彈性金屬隔板產生撓曲，藉由撓曲所引起之容量變化，直接與樣品室槽內待測物成分之濃度成正比。

三、儀器規格與特徵

一般市面上非分散性紅外線分析儀種類不同，表 1 所列是其基本的共同事項。

若依照行政院環保署 (1993) 固定污染源空氣污染物連續自動監測設施管理要點，其性能應符合表 2 所列之規範。

四、應用與用途

近年以來大氣及煙道排氣的各種氣狀污染物的測定，均朝向自動分析儀的使用。而非分散性紅外線法是一個很適合自動分析的儀器，因此其應用非

表 1. 非分散紅外線分析儀之性能。

| | |
|-----------|---|
| 1. 顯示 | 可讀數 mA, ppm, %, mg/m^3 or g/m^3 |
| 2. 測定特性 | 線性誤差在 $\leq 10\%$ 幅矩內 |
| 3. 反應時間 | 3 – 10 sec |
| 4. 零點偏移 | $< 1\%$ 全幅 |
| 5. 靈敏度偏移 | $< 1\%$ 全幅 |
| 6. 雜訊 | $< 0.5\%$ 全幅 |
| 7. 樣品氣體流速 | 10 – 100 L/h |
| 8. 樣品氣體壓力 | ≤ 20 kpa |
| 9. 樣品氣體溫度 | 5 – 45 $^{\circ}\text{C}$ |
| 10. 暖機時間 | 45 min |
| 11. 傳送溫度 | -20 – 70 $^{\circ}\text{C}$ |
| 12. 周圍溫度 | 5 – 45 $^{\circ}\text{C}$ |
| 13. 相對濕度 | $\leq 90\%$ |

表 2.自動分析儀性能規格。

| | |
|-----------------|-------------|
| 1. 零點偏移 (24 小時) | ≤ 2.5 % 全幅 |
| 2. 全幅偏移 (24 小時) | ≤ 2.5 % 全幅 |
| 3. 應答時間 | ≤ 15 min |
| 4. 測試時間 | ≥ 168 hours |

常廣，除可測定大氣中有機物種外，其他如大氣中一氧化碳 (CO)、煙道排氣中氮氧化物 (NO_x)、二氧化碳 (CO₂)、二氧化硫 (SO₂) 的自動檢測均可使用非分散性紅外線分析儀。唯一要注意的是非分散

性紅外線分析儀內的樣品室槽易受水氣干擾，使得訊號降低，故應加裝除濕裝置以便去除干擾。

參考文獻

1. US EPA , Code of Federa; Regulation (CFR), 40 CFR Part 53, Subpart B (1990).
2. MAIHAK UNOR 600 NDIR Gas Analyzer Manual (1994).
3. 行政院環境保護檢驗所, 環境檢測方法, 空氣檢測方法 (86 年版), NIEA, A421. 10T, A411. 70A, A415. 70A, A413. 70A.

作者：謝嘉峰先生現任國立中興大學化學系副教授。

奧塞特氣體分析儀

Orsat Apparatus

關鍵字：奧塞特氣體分析儀、吸收液

Keywords：Orsat apparatus, absorption liquid

一、基本原理

將一定之氣體樣品體積引入抽氣球中，分別以吸收液依序吸收樣品中二氧化碳 (CO₂)、氧 (O₂) 及一氧化碳 (CO)，由樣品氣體體積減少量求得各種成份所佔百分比。

二、結構示意圖

奧塞特氣體分析儀其結構如圖 1 所示。

三、儀器規格與特徵

1. 規格

- (1) 氣體量管 (100 mL)
- (2) 氣體吸收瓶
- (3) 水準瓶 (250 mL)
- (4) 橡皮採樣袋
- (5) 尺寸 (390 × 430 × 180 mm)
- (6) 重量 (約 6 kg)

2. 特徵

奧塞特氣體分析儀是一種化學吸收裝置，以手動操作分別使 CO₂、O₂ 及 CO 分別吸收於各吸收液中，然後由體積減少量即可得知各種成份所佔原百分比。利用奧塞特氣體分析儀所求出之氣體組成是乾燥氣體之組成百分比。優點是裝置簡便，可現場分析或以採氣袋或採樣瓶採樣後，攜回實驗室分析亦可。缺點則是攜至現場測定時，玻璃瓶組及吸收液易碰碎或溢出，且一氧化碳濃度需 2000 ppm 以上時，始能測出。

四、用途

奧塞特氣體分析儀一般應用於鍋爐或其他燃燒設備所產生之廢氣組成 (CO₂、O₂、CO) 測定，並可做為計算排氣密度之用或計算排放標準時需用到排氣中氧氣之含量。而空氣污染防治相關法規中通常與韓培爾 (Hempel) 氣體組成分析儀並列，但奧

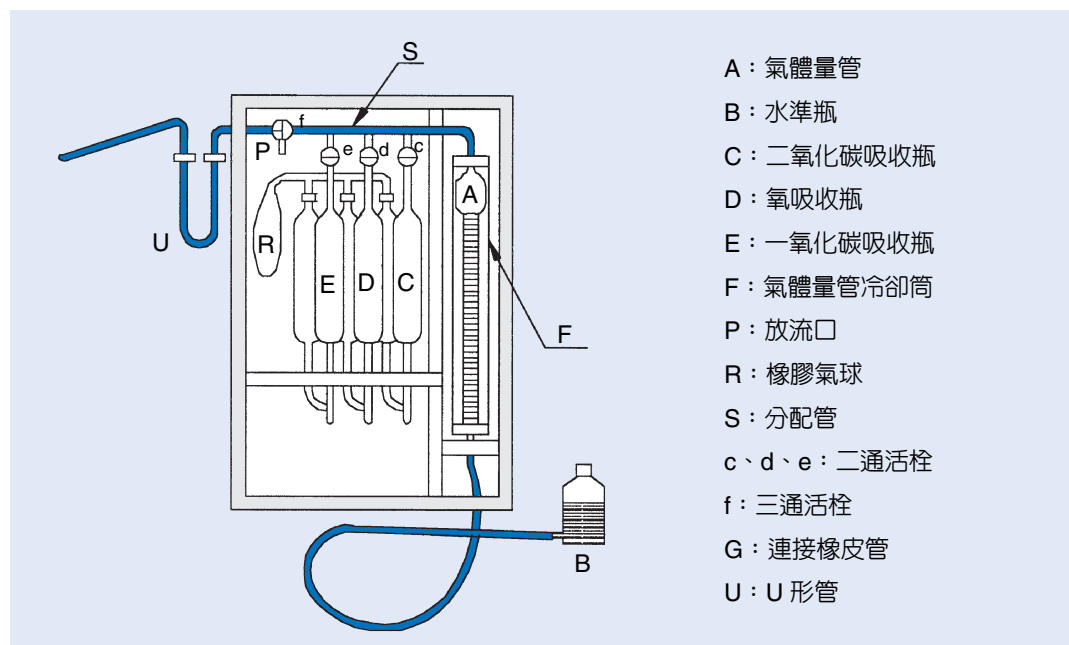


圖 1.
奧塞特分析裝置。

塞特氣體分析儀之裝置在使用上較為方便，所以被廣泛採用。

參考文獻

1. 日本規格協會, JIS B7983 (1979).
2. 管道排氣中空氣污染物採樣程序操作規範之研訂, 行政院環

保署 (1993).

3. 甲級空氣污染防治專責人員訓練教材, 行政院環保署環訓所 (1996).

作者：李怡萱小姐為私立靜宜大學應用化學碩士，現任工業技術研究院能源與資源研究所副研究員。

固定型酸雨自動分析儀

Automatic Acid Rain Monitor

關鍵字：自動酸雨分析儀、乾沉降、離子層析

Keywords： automatic acid rain monitor, dry deposition, ion chromatography

一、基本原理

固定型酸雨自動分析儀主要功能包括收集乾、濕降，自動貯存酸雨樣品，監測降水量並分析水樣中氫離子濃度指數 (pH)、導電度 (conductivity)。部分新近發展中的儀器則增加離子層析儀 (ion chromatography)，以供分析水樣中的陰離子，但目前尚未普遍商品化，其分析基本原理與一般化學分析相同。商品化固定型酸雨自動分析儀一般主要測定項目僅包括氫離子濃度指數及導電度，前者係利用玻璃電極及參考電極，測定水樣中氫離子之氧化電位，以決定氫離子活性，而以氫離子濃度指數 (pH) 表示之，於 25 °C 理想條件下，氫離子活性改變 10 倍，即改變一個 pH 單位，電位變化為 59.16 mV。導電度為電流通過 1 cm² 截面積，長 1 cm 之液柱時電阻 (resistance) 之倒數，單位為 Ω/cm (mno/cm)，導電度較小時以其 10⁻³ 或 10⁻⁶ 表示，記為 m Ω/cm (mho/cm) 或 $\mu\Omega/\text{cm}$ ($\mu\text{mho}/\text{cm}$)。

二、結構示意圖

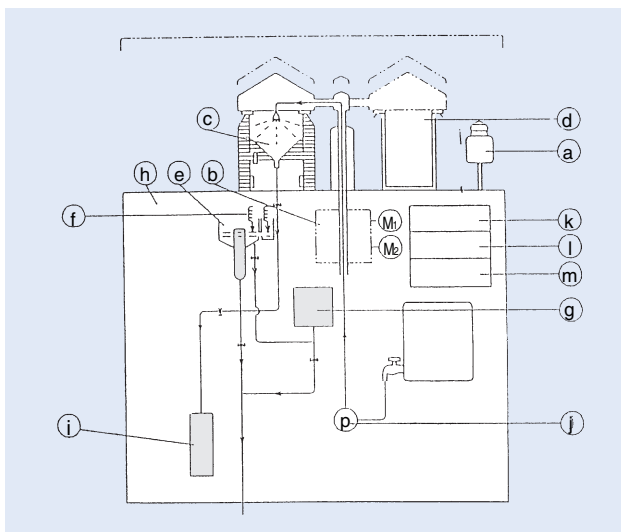


圖 1. 固定型酸雨自動分析儀結構圖。

固定型酸雨自動分析儀系統如圖 1 所示，圖中標誌如下說明。

- | | |
|----------|------------|
| a：降雨感測器 | h：外殼 |
| b：蓋子操作單元 | i：採樣容器 |
| c：雨水收集部 | j：自動清洗幫浦 |
| d：落塵收集桶 | k：控制單元 |
| e：量測部 | l：轉換器 |
| f：水位電極 | m：I/O 端子單元 |
| g：量測分析部 | |

三、儀器規格與特徵

固定型酸雨自動分析儀具自動偵測有無降雨存在之功能，依降雨有無之狀況決定是否打開蓋子，儀器各主要部分單元規格特徵如下。

1. 降雨感測器 (rain sensor)

當雨滴的直徑超過 0.5 mm 以上，感測器就會感應，當雨水與感測器接觸時，即輸出一傳動感應信號，因為它是圓錐狀的構造，所以沒有方向的限制，而且感測器外表處在加溫狀態，可以防止露水等誤動作發生，當降雨時感測器會自動提高加熱溫度，迅速將表面上的水份蒸發，降雨終了將恢復原來狀態。

2. 乾濕沈降轉換驅動裝置

它是由雨量感測器的信號來控制程序控制器，當下雨時就打開蓋子，收集濕沈澱於漏斗形內，而當沒雨時，則啟動逆轉程序關上蓋子，收集乾沈澱 (dry deposition) 於儲存桶內，乾沈澱收集器口徑為 200 mm，驅動裝置之開關動作包含上升、旋轉、下降以達更佳之氣密度。

3. 雨水收集部

收集降雨等濕沈降之單元，收集器直徑為 200 mm，降水量 0.5 mm 折合雨量體積為何 15.7 mL (收集部的面積是 314 cm²)。若是降雪時因外界溫度改變，融雪裝置自動地運作，可將雪融化成雨水加以收集，因為是低溫加熱，融雪將不致影響所採水樣的性質，收集器底部並裝置過濾網以避免昆蟲及樹葉等掉入測量部。

4. 量測分析部 (measuring analysis section)

被收集在收集部 (receiving section) 的 15.7 mL 的雨水樣品中，有 5 mL 雨水被儲存在測量部 (measuring section)，藉由感測器 (電極棒) 的訊號，傳送到樣品儲存器，而剩餘的 10.7 mL 則送到測量分析部進行 pH 值及導電度值量測，量測後這些訊號傳輸到轉換器 (converter)。當下一個 0.5 mm 降水的樣品送達後，先前的樣品即會自動排出，並進行新樣品的測量，本項過程將重複進行直至降雨停止。

5. 自動清洗機制 (automatic washing mechanism)

當下雨結束時，或是開始下雨及停止時，自漏斗處到測量部及分析部將由自動清洗單元進行清洗，而清洗後之廢水則自動排除，以避免留下各種干擾因子影響下一次量測分析，這種清洗的去離子水會保留在測量分析部，以避免 pH 電極棒及導電度量測池缺水乾燥。下雨結束之後，若雨在 24 小時之內不再下時，由於具有清洗功能，內部殘存的水會自動更換，使測量／分析部可保留清洗水，避免設備腐蝕。

6. 轉換器

由測量分析部所傳送來的 pH 值及導電度訊號，及由下雨感測器 (電極棒) 來的脈動訊號，和由雨水偵測器來的接觸訊號，均被輸入並轉換成直流電的訊號輸出。

7. 儀器的操作環境及量測範圍

固定型酸雨自動分析儀操作環境依製造商不同而略有差異，一般作業環境狀況要求為溫度：-20

°C—+50 °C，濕度：0—100 % RH，量測範圍酸鹼度 (pH) 0—10、導電度 0—1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。固定型酸雨自動監測儀主要優點在於具備乾、濕沉降收集採樣系統，可連續監測降雨量及強度，自動監測氫離子濃度指數及導電度，惟其仍有相當限制，如：(1) 自動監測項目 (pH & conductivity) 不足，(2) 由於檢測器 (sensors) 到反應讀值穩定一般約需 30 秒至 2 分鐘，降大雨時，無法即時充分監測，(3) 毛毛細雨時，雨量計準確性差，(4) 樣品容易受昆蟲、鳥類排泄物及枯枝落葉所污染，(5) 資料處理軟體不足，(6) 系統複雜維修困難，(7) 價格昂貴。

表 1. 儀器各參數之量測範圍。

| 參數 | 量測範圍 | 資料處理器輸出 | 遙測發射器輸出 |
|------|--------------------------------|-----------|-----------|
| PH 值 | 0—10ph | 0—1 VDC | 0—1 VDC |
| 導電度 | 0—1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ | 0—1 VDC | 0—1 VDC |
| 水溫 | 0—40 °C | 0—1 VDC | 0—1 VDC |
| 下雨 | | 0.5 mm 脈衝 | 0.5 mm 脈衝 |
| 雨水偵測 | 無 | 接觸 OFF | 接觸 OFF* |
| 雨水偵測 | 有 | 接觸 ON | 接觸 ON* |

*接觸容量為 DC 30 V、0.5 A 阻抗負荷。

四、應用與用途

固定型酸雨自動監測儀最主要使用於環境酸雨調查監測，一般測定降水 pH、導電度、降水量、降水強度，若加裝離子層析儀則可以測定硫酸根及硝酸根。除上述監測項目外並可自動採取水樣貯存於附屬保存容器以供實驗室分析，在較寒冷地區降雪則經由加熱裝置融化後量測，無降水時則採取落塵，落塵與降水之採樣則由感應器自動切換。本項儀器一般使用以政府部門及研究機關為主，設置地點多位於都市化人口密集區，使用地區包含我國、日本、中國大陸、韓國、敘利亞等。由於儀器構造複雜，操作保養維修不易，加以設置於野外易受外界天然因素，如地震、颱風、雷電等影響，且價格昂貴，目前離子層析自動酸雨計商業化產品尚屬萌芽階段，由於本項儀器具上述各項特性及使用限制，對於使用者、計畫使用者及製造商，製造使用上應考量因素彙整如表 2。

表2. 儀器製造使用上應考量因素。

| 項目別 | 使用中 | 計畫中 | 製造商 |
|------------------|-----|-----|-----|
| 1. 是否為達成目標之最佳方案 | N | Y | Y |
| 2. 對於現有監測系統之影響 | N | Y | N |
| 3. 增加樣品儲存冷藏設備 | Y | N | Y |
| 4. 資料處理軟體改善加強 | N | N | Y |
| 5. 自我診斷及資料傳送功能 | Y | Y | N |
| 6. 操作維護保養能力 | Y | Y | Y |
| 7. 使用維修經驗技術取得與流通 | Y | Y | Y |

Y: 考慮因素 N: 非考慮因素

參考文獻

1. Kazuhiko Ogata and Naoto Minakawa, *The Present State of Technology of Automatic Monitoring of Acid Precipitation in Japan* (東亞空氣污染與酸雨之長期演變暨酸雨國際研討會論文集), 環保署 (1996).
2. *Instruction Manual for Automatic Acid Rain Analyzing System*, Ogasawara Keiki Co. Ltd.
3. 水質檢測方法行政院環境保護署環境檢驗所 (1995).

作者：謝炳輝先生為國立中興大學碩士，現任行政院環境保護署監資處科長。

陳明正先生現任行政院環境保護署監資處專業維修工程師。

可攜式氣相層析儀

Portable Gas Chromatography (PGC)

關鍵字：可攜式氣相層析儀、毛細管柱、填充柱

Keywords：portable gas chromatography, capillary column, packed column

一、基本原理

層析分析的主要作用是將一混合物的試料，經過層析作用後，使其中各成份一一分開。再經適當的方法，檢定各成份的量，求出混合物試料的組成，在做層析分析時，必須有一個固定相和一個流動相，流動相不斷的流過固定相，少量的試料注入流動相中，流動相即將注入的試料帶到固定相中，由於固定相有吸附作用，試料進入後立即一一被吸附。但是，試料只是注入一股後即停止，是以脈衝方式進入流動相中，所以試料被固定相吸附後，流動相再繼續向前流過就會將已吸附的試料，從固定相中沖洗出來。試料通常是混合物，其中各成份和固定相吸附時，其親合力各不相同，因此，當流動相欲將試料沖洗出時，各成份中親合力較大者，較難被沖洗出，而親合力較小者，則沖洗出就較容易。於是試料中各成份吸附時，親合力小者先被流動相沖出；而親合力大者就被後沖出，如此就達到了將試料中各成份分開的目的，用氣體為流動相的層析就叫做氣相層析。氣相層析儀是一種使用非常普遍的分析儀器，可以分析有機或無機化合物，分析物的分子量約在 2—1000 g/mole 的範圍，適用於

揮發性，而不會被熱分解或化學重組之化合物的定性或定量分析。在環境保護及作業安全衛生方面，常常要到現場取樣立即分析，不但要迅速，攜帶方便外，精密度、準確度亦不錯的可攜式氣相層析儀便活躍於化學分析儀器的市場。

一般層析儀的心臟即是分離層析管柱 (chromatographic column)，此又分為填充柱管柱 (packed column) 及毛細管柱 (capillary column) 兩種，填充柱通常使用內徑 2 mm—4 mm 的不透鋼、銅、銅鎳合金或玻璃的管柱，彎成 U 型管圈，管長 120 cm 至 15 m，在各種固定相中可使用矽膠 (silica gel)、分子篩 (molecular sieve)、礬土及活性炭等吸附劑。而毛細管柱是利用細長的毛細管，管壁作為固定相的載體 (carrier)，毛細管的內徑 0.1 mm—0.5 mm，常用的長度為從 5 至 100 m，對複雜多組合的混合物可使用 50 m 以上長度的管柱，毛細管柱可分為空心柱 (open tubular column) 與填充毛細管柱兩類，一般的毛細管柱，多數是指空心毛細管柱，根據管柱內固定相塗敷情況的不同，空心柱又可分為如下。

表 1. 氣相層析管柱的性質與特性。

| | 管柱型式 | | | |
|-------------|-----------|-----------|----------|--------------------|
| | FSOT | WCOT | PLOT | 填充柱 |
| 長度 (m) | 10—100 | 10—100 | 10—100 | 1—6 |
| 內徑 (mm) | 0.1—0.3 | 0.25—0.75 | 0.5 | 2—4 |
| 有效板數 (板數/m) | 2000—4000 | 1000—4000 | 600—1200 | 500—1000 |
| 樣品大小 (ng) | 10—75 | 10—1000 | 10—1000 | 10—10 ⁶ |
| 相對壓力 | 低 | 低 | 低 | 高 |
| 相對速度 | 快 | 快 | 快 | 慢 |
| 化性隋性 | 最好 | 好 | 適中 | 較差 |
| 適用彈性 | 有 | 無 | 無 | 無 |

1. 塗壁式的空心柱 (wall-coated open tubular column, WCOT)

內壁上直接塗敷固定液相的管柱，不含任何固態的載體。

2. 塗載式的空心柱 (fused-silica open tubular column, FSOT)

內壁上沉積載體後塗敷固定液相的空心柱，沉積載體的目的是在表面上形成微孔層，使表面積大大提高，可提高固定液相塗敷量，從而可以增大進樣量，適用於微量分析。

3. 多孔層式的空心柱 (porous-layer open tubular column, PLOT)

內壁上有多孔層固定相的空心柱，這種空心柱的內壁表面用熔融石英或伸長的結晶狀沉積物等物質加以擴張，更適合超微量分析，此多孔層式的空心柱又可稱為支撐塗壁式的空心柱 (support-coated open tubular column)，上述毛細管柱的重要特性對稱於填充管柱可參考表 1。

毛細管柱的出現，大大地提高了氣相層析分離的能力，對於分析複雜的有機混合物的環境生態及安全衛生樣品方面開展了廣闊的遠景，近年來，新的可攜式氣相層析儀，在許多新的管柱型，配合新的感測技術 (可參見儀器規格與特徵)，再加上筆記型個人電腦的數據處理，使得輕、薄、短、小多用途的可攜式氣相層析法不斷地完善，正日益廣泛地應用於各個領域中。

二、結構示意圖

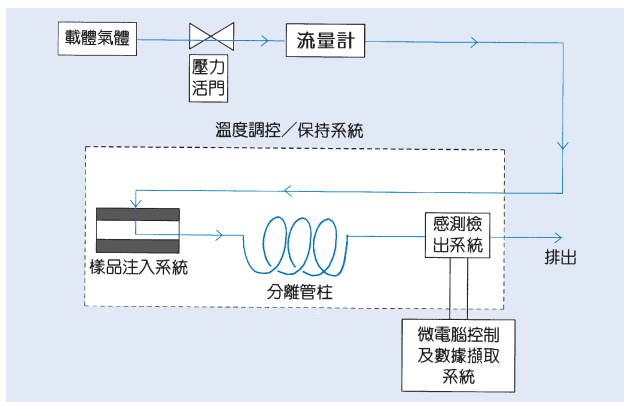


圖 1. 基本可攜式氣相層析儀裝置圖。

氣相層析法是一個物理方法用來分離混合物的組成。基本上無論所有實驗式或可攜式氣相層析法儀器均包含有六個主要部份：(1) 載體氣體壓力調節控制系統 (pressure regulator system)，(2) 試料／樣品注入系統 (injection system)，(3) 分離管柱 (separation column)，(4) 溫度調控及保持系統 (oven temperature control system)，(5) 感測檢出系統 (detector system)，(6) 數據處理顯示系統 (data acquisition and display system)，可攜式氣相層析儀基本裝置如圖 1 所示，載體氣體 (carrier gas) 連續通入氣相層析儀內部，將試料由樣品注入系統注入溫度調控的分離管柱內，此時試料成分由於受到展開流動氣相與固定相中不同的作用力，其移動速率亦有快慢之分，因而流出管柱的順序也就有前後之別，最後由適當的感測檢出系統偵測試料，配合微電腦操作控制及資料擷取系統對特定物種做定性及定量的分析。

三、儀器規格與特徵

目前可攜式氣相層析儀商業化產品種類繁多，主要規格的差異性在於分離管柱的彈性化，溫度控制及維持系統的可調準確系統及感測檢出系統的多變化性，若以感測檢出系統不同種類來區分，可攜式氣相層析儀大致可分為五種。

1. 熱傳導偵測器 (thermal conductivity detector, TCD)

此偵測器是氣相層析中應用最廣泛的通用偵測器之一，分析原理為各種氣體對熱具有不同的熱傳導率，換言之，即不同的氣體流過同一受熱體時會產生不同的熱消散率，利用惠斯登電橋平衡原理，將燈絲阻抗和熱散失成比例關係可求出不同成份不同濃度的氣體流經燈絲時，燈絲 (鎢) 阻抗會隨其不同熱消散率而改變，可求出各成份物大小比例。

2. 火焰離子化偵測器 (flame ionization detector, FID)

通常氣體分子是不導電的，但受一定能源激發後，氣體分子被離子化，在電場作用下定向運動形成離子流而被記錄，當組成成份濃度大時，形成的離子流強度大，因此由離子流的強度變化就可以得

表2. 常用偵測器的主要性能。

| 偵測器性能 | 熱傳導 TCD | 火焰離子化 FID | 電子捕獲 ECD | 火焰光度 FPD | 氮磷 NPD |
|--------|-------------------|---------------|---|-----------------------|---------------|
| 適用範圍 | 通用型 (有機/無機化合物) | 可燃有機化合物 | 負電性(鹵化物) 化合物 | 含硫, 磷化合物 | 含氮磷鹵素 化合物 |
| 干擾噪音 | 10^{-2} mv | 10^{-14} A | $^3\text{H} : 10^{-12}\text{A}$ $^{63}\text{Ni} : 2 \times 10^{-12}\text{A}$ | 4×10^{-10} A | 10^{-14} A |
| 最低檢測極限 | 0.1 ppm | 1 ppb | 0.1 ppb | 10 ppb | 0.05—0.01 ppm |
| 線性範圍 | 10^4 | $10^7 - 10^8$ | $10^3 - 10^5$ | 硫 10^2 磷 10^3 | 10^5 |
| 應答時間 | 0.1—0.2 s | 0.01 s | — | — | 0.01 s |
| 基線電流 | — | 10^{-12} A | 3×10^{-8} A | 10^{-8} A | 10^{-11} A |

到組成成份濃度變化大小的信號，進而求出各成份物大小的比例。由於 FID 結構不複雜操作，維修也比較容易。

3. 電子捕獲偵測器 (electron capture detector, ECD)

利用放射源 Ni^{63} 或 H^3 輻射 β 射線使載氣電離成正離子和低能量電子，當加入極化電壓時帶電粒子向正極移動產生電流，如果負電性物質如鹵素、硫、磷、氧、氮物質進入低能電子被負電性物質所捕獲，電流就會降低，相對輸出信號，可求出各成份物大小的比例。

4. 火焰光度偵測器 (flame photometric detector, FPO)

是一種對硫、磷物質具有高選擇性和高靈敏度的檢測器，它是由氫火焰和光度計兩部分構成，含有硫、磷化合物的載氣和空氣混合進入噴嘴，周圍通入 H_2 ，點燃燃燒產生激發態 S_2^* 與發光的磷裂片 HP^*O ，同時發射出不同波長的分子光譜， S_2^* 的特徵光譜為 394 nm， HP^*O 為 526 nm，此光譜經過干涉過濾光片而投射至光電倍增管，產生光電流大小的信號並求出各成份硫磷大小的比例。

5. 其他常用的偵測器

如氮磷偵測器 (NP detector)、惰性氣體偵測器

(noble-gas detector)、超音波偵測器 (ultrasonic detector) 等，前者對氮靈敏度約為 10^{-13} g/s，對磷為 10^{-14} g/s，中者適用於偵檢惰性氣體，後者適用於氮、氫、二氧化碳、甲烷等低分子量的氣體，一般商業化產品因感測檢出系統的彈性運用不同，而適用的範圍用途價格亦有所不同，表 2 列出幾種常用檢測器的主要性能可供參考。

四、應用與應途

可攜式氣相層析儀由於價格低廉、分離速度快、攜帶方便已成為今日最普遍的分析儀器，可廣泛地應用於各種環境污染防制分析及作用安全衛生，醫藥與臨床的分析工作上。由於配備不同的檢測器，應用範圍亦有所不同，常見的適用範圍可參考表 2 常用檢測器的要性能。

參考文獻

1. D. A. Skoog, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 5th ed. (1988).
2. Sen Tex systems Inc; Portable Gas Chromatographs.
3. MTI Analytical Instruments; Portable Micro Gas Chromatographs.
4. *US EPA Test Methods for Evaluating Solid Waste*, Method 1986.

作者：葉陶淵先生為美國紐約市立大學分析化學博士，現任工研院量測技術發展中心正研究員。

紫外光／可見光分光光度計

Ultraviolet-Visible Spectrophotometer

關鍵字：紫外光／可見光分光光度計

Keywords：ultraviolet-visible spectrophotometer

一、基本原理

分光光度計是以測量紫外光和可見光吸收度，分析鑑定無機物和有機物的一種儀器。

分子具有電子能級、振動能級和轉動能級。當分子從外界吸收能量後，就引起分子能級的躍遷，由基態能級躍遷到激發態能級。由分子中價電子的能級躍遷而產生的吸收光譜主要位於紫外光及可見光區域，可利用一般分光光度計的所能分辨和觀察到。紫外吸收光譜及可見吸收光譜之吸收峰波長及其吸收度，與分子中價電子的分布和結合狀況相關連。以下為吸收紫外光及可見光之物質種類。

1. 有機化合物的吸收

有機化合物分子中擁有低激發能之價電子官能基(稱作發色團 chromophores)者，其最大吸收峰波長位於利於偵測之長波(> 180 nm)紫外及可見光區範圍內，表 1 為常見之有機發色團及其大致之吸收位置。若化合物具共軛雙鍵，其吸收高峰會往長波方向偏移，且呈色作用加強。芳香烴化合物為環狀共軛體系，具有三組特性吸收，環上若有發色團取代且與苯環共軛，則會顯著影響其特性吸收，尤其是長波的兩個吸收帶。

2. 無機物之吸收

無機化合物之吸收通常與有機物之光譜相似，有寬的吸收峰，除鏷系及鈾系元素例外。大多數鏷系及鈾系元素的離子因 f 電子之躍遷在紫外及可見光區有吸收，其光譜由尖銳明確的吸收峰組成。週期表中第一及第二列的十八個過渡元素，其離子或錯合物中至少有一個氧化態因低能 d 軌道電子的躍遷，在可見光區範圍內有吸收而呈色，例如二價銅離子所呈之淡藍色和銅氨離子之深藍色。此外，許多無機錯合物呈現電荷遷移吸收(charge transfer

absorption)，亦即電子由給予體(electron-donor)遷移至接收體(electron-acceptor)一種內部氧化還原程序，其生成物為激發態而產生之輻射吸收，如三價鐵之硫氰錯離子以及呈普魯士藍之亞鐵-鐵氰錯離子。

上述具紫外或可見光區吸收性質之有機化合物或無機物，可利用分光光度計對波長之適當選擇與控制，進行單一波長吸收度測量之定量分析，或者，多波長吸收特性測量之定性分析。

二、結構示意圖

分光光度計的基本裝置如圖 1 所示，組件包括：(1) 穩定之輻射源，(2) 選擇波長的裝置，(3) 用於裝樣品和溶劑的透光容器，(4) 檢知器及 (5) 訊號顯示器。

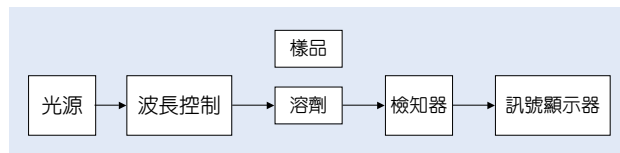


圖 1. 分光光度計基本裝置圖。

光源有鎢絲燈及氫燈(或氬燈)兩種，可見光區(360–1000 nm)使用鎢絲燈；紫外光區(180–375 nm)使用氫燈或氬燈。單色光器將光束按其波長分解，一般包含有一組狹縫和透鏡以及分光組件如石英稜鏡或光柵。盛裝溶液用的吸收槽材料必須能透過特定區間的輻射，石英可同時用於可見光區及 350 nm 以下之紫外光區，矽酸鹽玻璃則適用於 350 nm–2 μm 的光區。檢知器使用兩只光電管，一為氧化銫光電管，用於 625–1000 nm 波長範圍，另一為銻銫光電管，用於 200–625 nm 波長範圍。有的儀器則使用光電倍增管。近年來由於二極管陣列(photodiode array)技術的發展，併由此構成

表1. 常見發色團的吸收特性*。

| 發色團 | 化合物 | 溶劑 | 最大吸收波長 (nm) | 最大吸收係數 |
|-----|---------------------------|--------|-------------|--------|
| 烯基 | $C_6H_{13}CH=CH_2$ | 正庚烷 | 177 | 13,000 |
| 炔基 | $C_5H_{11}C \equiv CCH_3$ | 正庚烷 | 178 | 10,000 |
| | | | 196 | 2,000 |
| | | | 225 | 160 |
| 羰基 | CH_3COCH_3 | 正己烷 | 186 | 1,000 |
| | | | 280 | 16 |
| | CH_3CCHO | 正己烷 | 180 | 極大 |
| | | | 293 | 12 |
| 羧基 | CH_3COOH | 乙醇 | 204 | 41 |
| 醯胺 | CH_3CONH_2 | 水 | 214 | 60 |
| 偶氮 | $CH_3N=NCH_3$ | 乙醇 | 339 | 5 |
| 硝基 | CH_3NO_2 | 異辛烷 | 280 | 22 |
| | | | 300 | 100 |
| 亞硝基 | C_4H_9NO | 乙醚 | 665 | 20 |
| | | | | |
| 硝酸酯 | $C_2H_5ONO_2$ | 二氧雜環己烷 | 270 | 12 |

* 資料來源：D. A. Skoog and D. M. West, *Principles of Instrumental Analysis* (1980)。

的二極管陣列分光光度計，使得紫外及可見分光光度計取得重大進展。

三、儀器規格與特徵

目前商業化之分光光度計型式頗多。按所使用之限制光區分類，可分為用於紫外光區、可見光區或紫外—可見光區之儀器。按吸收度測量之設計分類，則可分為單光束與雙光束之儀器，前者儀器組件簡單、維護容易，後者儀器組件多且複雜，但速度快、測量方便。按數據顯示系統分類，可分為直讀式及零示器 (null instrument) 定吸收度之方式，直讀式儀器方便且容易操作，但需要較高精確度時，必須使用零示器。

四、應用與用途

1. 定性分析

利用吸收光譜鑑定化合物時，可以藉由已知樣品和未知樣品之光譜 (最高、最低和反曲點) 比較，研判其化性。在紅外光吸收光譜常含有許多尖

銳而且明確的吸收峰，特別適於定性分析。但在紫外光和可見光的吸收光譜由於吸收帶寬，尖銳吸收峰少，在定性分析上受到限制，無法明確鑑定有機化合物，僅能偵測發色團官能基。

2. 定量分析

分光光度計是最有力之定量分析工具之一，目前在環境及工業安全檢測方面的應用相當普遍，應用範圍包括：

(1) 應用於吸收物質

表 1 列出許多常見之有機發色團，含一個或多個這種官能基之有機物可以容易的以吸收光譜分析。一些吸光的無機物如幾種過渡元素及硝酸根、亞硝酸根、高錳酸根、鉻酸根離子等，也可用光譜直接測定。

(2) 應用於非吸收物質

許多試劑與非吸收物作用後產生在紫外光或可見光區具強烈吸收之物質。呈色劑與待測之非吸收物結合後之產物，其分子吸收係數往往較結合前高出千百倍。利用此種技巧的定量分析，其成功關鍵在於呈色反應能否接近完全。有許多用於無機物定量分析之錯合劑，較具代表性者如硫氰離子用於鐵、鈷、鉬；過氧化氫陰離子用於鈦、鈾、鉻；碘離子用於鉍、鈹、碲等。更重要的有些有機螯合劑與陽離子形成穩定、有色之錯離子，如定量鐵用 o-phenanthroline；定量鎳用 dimethylglyoxime；定量銅用 diethyldithiocarbamate；定量鉛用 diphenyldithiocarbazone。

參考文獻

1. Burgess, *Standards in Absorption Spectrometry-Techniques in Visible and Ultraviolet Spectrometry*, Vol. I, Chapman and Hall (1981).
2. H. Onishi, *Photometric Determination of Traces of Metals*, 4th ed. (Chemical Analysis, Vol. 3), John Wiley & Sons Inc. (1986).
3. D. F. Boltz & J. A. Howell, *Colorimetric Determination of nonmetals*, John Wiley & Sons, Inc. (1978).

作者：陸瑩女士現任工業技術研究院化學工業研究所正研究員。

濁度計

Turbidimeter

關鍵字：濁度、濁度計、散射濁度計、散射

Keywords： turbidity, turbidimeter, nephelometer, light scattering

一、基本原理

水中濁度是由懸浮物質，如黏土、矽土、微細有機及無機物質、可溶性有色有機化合物、浮游植物及微生物所引起的。濁度是一種光學性質量測方法。由於水樣中存在著上述物質，當光線通過水樣時，該光線可能被水中之物質散射或吸收，殘餘之光線則將穿透水樣。所謂散射包括懸浮物質對光的反射、繞射及折射。濁度可以兩種型式量測，其一以樣品對穿透光之效應量測者稱穿透測濁法 (turbidimetry)，而量測穿透光及入射光強度間關係

之濁度計統稱為穿透濁度計 (transmissometer)。另一以樣品對散射光之效應量測者稱散射測濁法 (nephelometry)，係於與入射光成某一角度處量測散射光與入射光強度間之關係。此種濁度計統稱為散射濁度計 (nephelometer)。於低濁度水樣之量測上，散射濁度計較穿透濁度計更為準確。

濁度之量測深受水中固體顆粒之尺寸、形狀、顏色、折射率、所用之儀器及校正方法所影響。據研究顯示，顆粒尺寸大於 $1\ \mu\text{m}$ 時，顆粒愈小者散射程度愈高；顆粒尺寸小於 $1\ \mu\text{m}$ 時，顆粒愈小者散射程度愈低。另外，顆粒尺寸對入射光之散射角度亦有影響，如圖 1 所示，小於 $0.05\ \mu\text{m}$ 之顆粒於各方向之散射光強度相若；而大於 $1\ \mu\text{m}$ 之顆粒在與入射光同方向處之散射光強度最大。顆粒及液體之折射率均會影響到光之散射，例如矽在水中之濁度較在糖水中為高。由光學設備本身、視窗及樣品槽內表面所產生之迷光 (stray light) 亦會影響濁度之量測，濁度愈低時，迷光之影響愈大。其他影響濁度量測尚有槽視窗結垢、流體之流速及氣泡之形成等因子。

需注意的是，濁度為一操作型定義名詞，與水污染類型、使用之量測儀器及校正方法具強烈相關性，其值僅代表相對之意義，不代表絕對量。當報告濁度時應將標準懸浮液及測量儀器類型併同列入。

二、結構示意圖

濁度計依其光束多寡可分為單光束 (single beam) 型 (圖 2(a) 所示) 及雙光束 (double beam) 型 (圖 2(b) 所示)。通常雙光束型較單光束型更為準確。濁度計之組成包括一鎢絲光源、光學組件 (反射鏡、聚焦鏡、遮斷器等)、樣品槽、光電偵測器及讀出裝置。

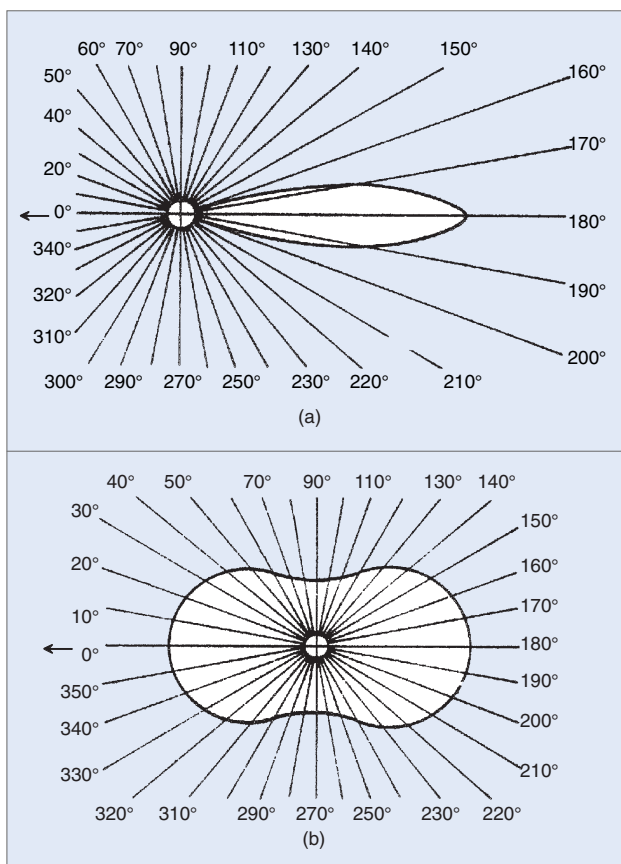


圖 1.(a) 大於 $1\ \mu\text{m}$ 顆粒之光散射情形，(b) 小於 $0.05\ \mu\text{m}$ 顆粒之光散射情形。

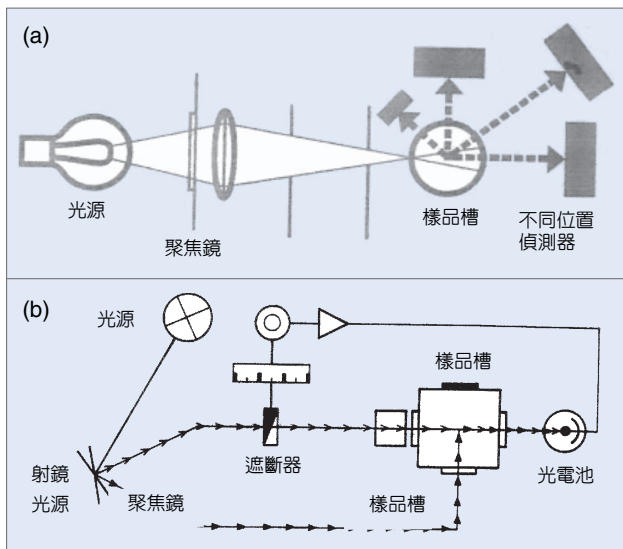


圖2. (a) 單光束濁度計之構造圖，(b) 雙光束濁度計構造圖。

按照量測方式之不同，散射濁度計可分為下列三種型式，置入式 (incidence type)、降流式 (falling stream type) 及表面散射式 (surface scatter type)，其構造如圖 3 所示。置入式濁度計 (圖 3(a)) 乃於與入射光成 90 度角之處量測散射光，此型式常用於環境檢測上。降流式濁度計 (圖 3(b)) 則量測穿過自由流下液體光束之散射光。表面散射式濁度計 (圖 3(c)) 之入射光束與液面成一角度，而於與液面垂直處量測散射光。

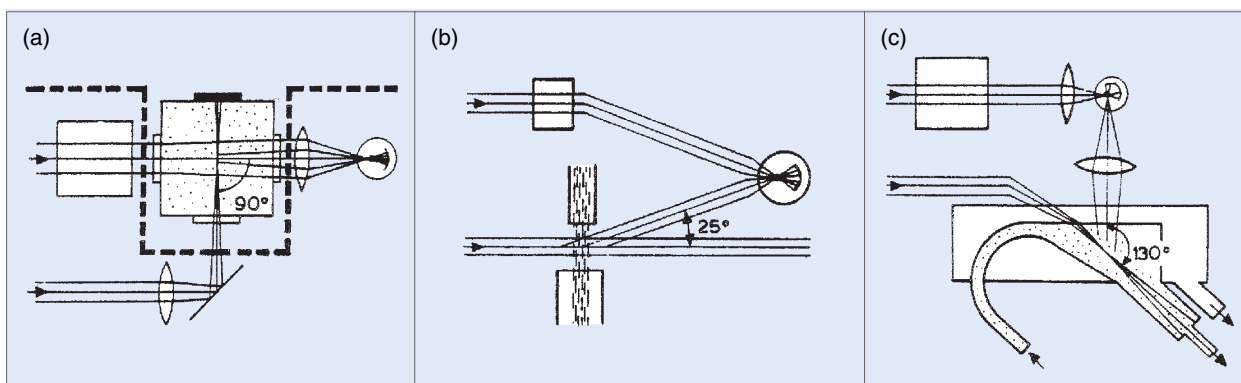


圖3. (a) 置入式濁度計，(b) 降流式濁度計，(c) 表面散射式濁度計之基本構造圖。

三、儀器規格與特徵

為使濁度之量測不致造成太大差異，不同機型亦應使用相同之校正懸浮液。此外亦應符合下述規範：鎢絲光源之色溫最好介於 2200 K 至 3000 K 之間，入射光及散射光所行經之距離不得大於 10 cm，偵測器及光過濾系統之光敏感範圍應位於 400 至 800 nm。

四、應用與用途

在環境及衛生上濁度計常用於下述兩方面，給水處理時水源濁度之量測，以估計所需混凝加藥劑量及相關設備之規格；另外亦用於污水處理廠中，化學混凝沉澱單元處理後放流水之濁度，以了解該處理單元之效能是否良好。除此之外，濁度計亦使用於對水質要求較高之製造業、飲料業及食品業等行業，以量測水之潔淨程度。

參考文獻

1. T. R. Crompton, *Comprehensive Water Analysis*, 2, 76, England: Elsevier (1992).
2. C. N. Sawyer, F. L. McCarty and G. F. Parkin, *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th ed., New York: McGraw-Hill, 409 (1994).

作者：陳世裕先生為國立臺灣大學環境工程學博士，現任輔英技術學院環境衛生工程系副教授。

海水採樣器

Seawater Sampler

關鍵字：採水瓶、輪盤式採水器、海況儀

Keywords： sampling bottle, rosette sampler, conductivity-temperature-depth

一、基本原理

進行海域環境調查時，須要採集不同地點與不同深度的海水水樣。深海的壓力很大，海流紊亂，如何確定採樣深度、確保水樣未受污染，須要特殊的採水裝備。雖然市面上相關的儀器種類相當多，本文以介紹我國海洋研究船「海研一號」(R/V Ocean Researcher I) 的標準採樣設備為主。

一套完整的採樣設備包括下列五個部份：(1) 採水瓶 (sampling bottle)，(2) 輪盤採水器 (rosette sampler)，(3) 海況儀 (conductivity-temperature-depth，簡稱 CTD)，(4) 纜繩與絞車 (cable wire and winch)，(5) 甲板主控單元 (deck unit)。通常一個輪盤採水器可容納十二個 2.5 L 採水瓶或六個 5 L 採水瓶，再連上海況儀，與纜繩形成一個下放的採樣組合，由船甲板絞車控制下放速度與放纜長度。在船上的操作基本方式為，當儀器下放時 (down-cast)，海況儀的探針以 24 Hz 的頻率透過纜繩中的電纜傳回即時 (real-time) 的壓力、電導、溫度資料，由甲板主控單元的螢幕立即顯示之並儲存於磁碟中。當達到某一深度 (或壓力) 時，在船上可至送出一信號 (trigger signal)，通知輪盤採水器關閉指定瓶號的採水瓶。每一個下放及上收 (up-cast) 的梯次最多可以採集十二瓶不同深度的海水。

如果只有上述 (1) 採水瓶及 (4) 鋼纜及絞車兩項設備，也是可以用來採樣的，可是過程比較麻煩，因為每個採水器上必須附上兩種抗壓性不同的顛倒溫度計 (protected/unprotected reversing-thermometer)，每支溫度計各有主、副表。由兩支溫度計的差別 (因抗壓性不同) 可計算出實際的採樣深度。操作的方法是每次下放將一串的採水瓶夾在鋼纜上的指定位置上，到達深度時，由船舷送出一個重力信號鏈 (messenger)，即可逐一將整串採水瓶關蓋，同時將溫度計顛倒。取上甲板後，讀出溫

度計的刻度，計算採樣的實際深度，再標示到儲樣瓶上。

二、結構示意圖

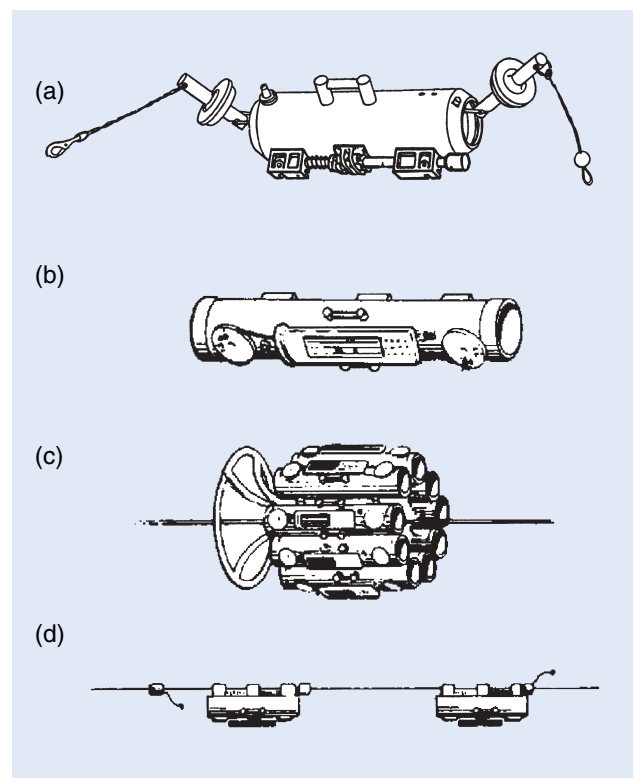


圖 1. (a) Niskin 瓶之基本結構 (b) GoFlo 瓶之基本結構 (c) 九個 GoFlo 瓶掛在輪盤式採水器上下放操作 (d) GoFlo 瓶在纜繩上串接操作。以上圖形摘自 General Oceanics, U. S. A. 公司之技術手冊。

三、儀器規格與特徵

採水瓶依製造廠商 (General Oceanics, USA) 命名共分為 Niskin 及 GoFlo 兩種。兩者主體均為厚質 PVC 材料做成的筒狀結構，兩端由閥控制採水瓶的開、閉，可耐壓至一萬公尺深。體積規格有很

多種，計有 2.5 L、5 L、10 L、20 L、100 L 等。Niskin 瓶的閥由為瓶內的一個彈性橡皮所控制，入水時瓶閥打開，到指定深度接受信號關閥。因橡皮材質會釋出重金屬，故 Niskin 瓶僅供一般水文調查用。至於 Goflo 瓶的閥為球型，控制關閥的彈簧在瓶外，瓶內通常作一層 Teflon 覆膜處理，所以不會直接污染瓶內的樣水。另一個特色是，GoFlo 瓶在甲板上是關閉的，須入水達十米深時才會自動彈開，此舉是用以避免採水瓶經過海水表面時，為漂浮的油膜所污染。GoFlo 瓶的構造較複雜，球型閥容易漏水須特別小心保養。

四、應用與用途

用於海域環境調查、深海探勘時採取指定深度的樣水。Niskin 瓶採取的水可供基本水文分析如鹽度、溶氧、pH、營養鹽類、二氧化碳、高濃度化學物質等。GoFlo 瓶採取的水則除了前述用途外，

可進一步的分析如微量重金屬、油脂、放射性物質、微量有機成份等。

採水瓶回收時，每一個瓶須自上端放氣減壓，再打開下方的取水閥。取樣時先取測溶氧及氣體的樣水，再取水裝入其他瓶中作指定化學項目測定用。裝瓶時須由一軟管伸入瓶中作逆洗 (reverse flushing)，使樣水自瓶口溢出 (over-flow) 相當體積，以免受到瓶中殘存水的干擾。

參考文獻

1. Sales Representative Workbook, General Oceanics Inc. 1295 N. W. 163rd Street, Miami, Florida, U. S. A.
2. 魏慶琳, 郭廷瑜, 採水瓶使用技術手冊, 技術手冊第 006 號, 國科會海研一號貴重儀器中心, 18頁 (1990).

作者：白書禎先生為利物浦大學博士，現任國立台灣大學海洋研究所教授。

高壓分解釜

High-Pressure Bomb (Autoclave)

關鍵字：高壓分解釜、高壓鍋、密閉式消化

Keywords：high-pressure bomb, autoclave, closed vessel digestion

一、基本原理

近年來在分析化學領域上，已發展出來各種的光譜儀器分析如 AAS (atomic absorption spectrometer)、ICP-AES (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer)，以及 ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometer) 等，可以精確地應用在多種元素定量分析上。但一般言，在進行相關之儀器分析前，樣品化學前處理步驟往往是不可或缺的工作。這類化學前處理工作包括了將樣品轉化成液體或氣體狀態、分離可能干擾分析的成份，以及濃縮微量的待分析物質等。樣品前處理經常是分析過程中最繁複費時的步驟，且極易因人為操作而導致誤差。

傳統常用的前處理方式以溼式法為主，而其中又可分為酸消化法及酸萃取法兩類；兩者的不同處是酸消化法將樣品完全的分解破壞，而酸萃取法僅以適當的酸液將樣品中的金屬離子萃取出來。一般言，利用萃取法來萃取樣品中的金屬元素，由於各種元素的特性不同，對於相同酸萃取液的反應性差異極大。因此萃取法僅能針對某些特定元素進行部分分析。在以酸消化法分析濾紙樣品時，由於使用的濾紙多以玻璃纖維材質為主，其中含有大量的金屬不純物，可能會在消化過程中溶解釋出而導致過高的空白值，這是消化法的主要缺點。以下即為一些常見的樣品前處理方法。

1. 酸熱萃取法

硝酸 (HNO_3)、鹽酸 (HCl)、硫酸 (H_2SO_4) 與過氯酸 (HClO_4) 等強酸可以用來萃取樣品中之金屬元素；由於它們具相當的氧化能力，能有效地分解有機物及氧化金屬化合物形成可溶性金屬離子，利於後續之儀器分析。

2. 超音波萃取法

主要是利用高強度的超音波，將酸液中的樣品震盪，使吸附在顆粒上的金屬成份經由震盪的效果，不斷與萃取酸接觸而被溶解出來。與傳統的酸萃取法比較，具有快速、便宜且無毒性等優點。

3. 微波消化 (萃取) 法

微波消化法主要是在密閉的條件下，利用具有高能量的微波，在酸液中進行消化 (萃取)。由於樣品與酸液同時被微波加熱，因此能快速的加熱、震盪與溶解樣品，而快速有效地將金屬消化 (萃取)。

4. 開放式消化法

利用石英板加熱酸液，使樣品在開放的條件下緩慢加熱分解。

5. 高壓釜消化法

將樣品及酸液在高壓的條件下，穩定加熱至高溫 (一般約 150°C)，使樣品完全消化分解。應用此方法分析含有矽氧化物的樣品時，常加入氫氟酸 (HF) 使一些不易分解的矽氧化物能完全溶解。

在分析高純度物質如：半導體、陶瓷、貴重金屬與合金等樣品或含有矽氧化物等極難溶解的環境樣品時，傳統的酸萃取或開放式酸消化方法，無法將樣品有效地破壞或分解。基於此，近年來所發展出來將樣品在高溫高壓的密閉反應器中，以混酸快速消化溶解的「高壓分解釜」儀器，被認為是最適合處理這類極難消化樣品的利器之一。高壓分解釜是以傳統的加熱方式，透過不鏽鋼外殼與鐵氟龍容器將內置之樣品緩慢加熱，並長時間維持在一定溫度與壓力下，使樣品完全消化溶解；過程平緩易控制。由於不鏽鋼壁與鐵氟龍容器，壁厚足以負荷消

化反應過程壓力上升的問題，實驗不易失敗；且不虞有揮發性待測物逸散的問題。

二、結構示意圖

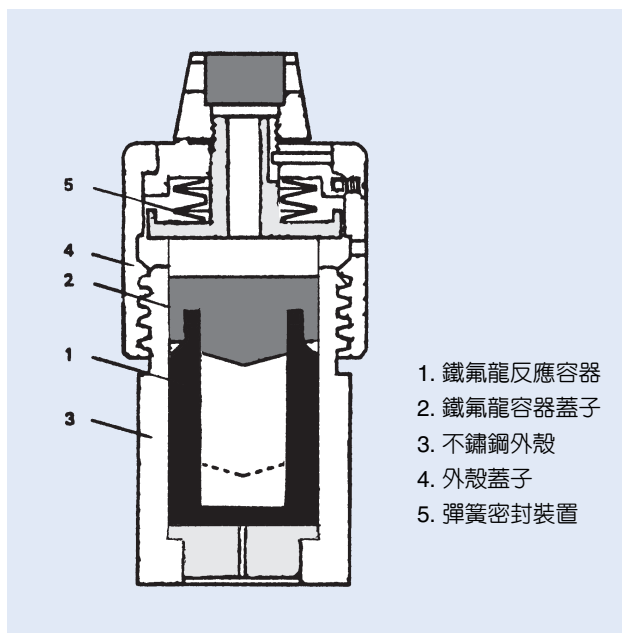


圖 1. 高壓分解釜的結構圖。

典型之高壓分解釜如圖 1 所示，它包括了一個圓柱形鐵氟龍反應容器，內置於一可由螺帽栓緊的不鏽鋼外殼中。將定量之待消化樣品與酸液加入反應容器中；為使消化反應能完全，固體樣品以能完全被消化酸液覆蓋較佳。利用不鏽鋼容器中之彈簧片鎖緊，加壓在鐵氟龍容器蓋上，使其形成完全密閉之反應空間。將高壓分解釜置於烘箱中或加熱平板上，以熱傳導的方式緩慢加熱樣品與酸液，直至樣品完全消化為止。若在消化過程中，不鏽鋼容器鎖緊之壓力無法承受瞬間反應產生之高溫時，鐵氟龍蓋會彈開使壓力外洩，避免產生高壓爆炸的危險。因此為確保實驗不致失敗，消化樣品之種類與酸量、外殼栓緊程度、鐵氟龍容器的體積與壁厚、溫度的控制，以及加熱時間等，均應謹慎地予以計算。

三、儀器規格與特徵

目前國內商業化的高壓分解釜產品不多，各實驗室可以依照需要自行設計與製作。高壓分解釜之

不鏽鋼材質需能耐強酸腐蝕；盛裝樣品及酸液之消化容器則以鐵氟龍材質為主，內部體積從 3—30 mL 不等。建議之最大操作溫度為 230 °C，可承受壓力為 5 MPa。消化之樣品形態不拘，但宜控制在 200 mg 以下。加熱裝置宜有控溫之設備，以保持長時間穩定的消化狀態。

表 1 即針對目前幾種消化方法的優缺點予以比較，提供欲使用高壓分解釜實驗室的參考。

四、應用與用途

在以高壓分解釜消化樣品時，消化酸或混酸溶液的選擇極為重要。一般而言，高溫高壓條件的控制，將有助於消化反應的進行；並可加強回流循環的效果。因此，高壓分解釜多用來配合混酸消化，應用在極難溶解樣品 (如：空氣粒塵) 的消化分析上。目前已知常用的無機酸包括了：硝酸、過氧酸與氫氟酸等。硝酸被視為是最能有效破壞樣品中有機化合物的氧化劑之一，而過氧酸則具有極強烈的氧化能力；此外，氫氟酸雖然不具氧化能力，但為唯一能破壞矽化物結構如土壤、玻璃的無機酸。三者依樣品的特性混合使用，除了能有效破壞樣品的結構外，彼此間尚有加成的氧化能力，促使欲分析的待測元素被完全氧化成可以溶解的離子狀態。

但上述的三種酸液的沸點均不高，且易在消化的過程中，因有機化合物的破壞而產生大量的氣體 (尤其是過氧酸在高溫下會反應生成易爆炸性的氧氣)，而導致實驗危險或失敗。由於高壓分解釜所使用的不鏽鋼壁與鐵氟龍容器，壁厚足以負荷消化反應過程壓力上升的問題，實驗不易失敗；且不虞有揮發性待測物逸散的問題。

一般而言，殘留在溶液中之混酸溶液極易造成 AAS、ICP-AES，以及 ICP-MS 等光譜儀器在量測時的干擾問題。例如：過量的氫氟酸易腐蝕儀器系統中之石英玻璃部份，而造成量測之干擾儀器損害；過量之 Cl、N、F 等原子在 ICP-MS 量測過程中會在高溫下與 Ar 氣體形成多原子分子離子 (polyatomic ions)。因此在消化步驟完成後，應再在開放條件下，將殘留溶液中之低沸點混酸緩慢加熱移除。若氮元素為待測之分析物質之一，可建議以雙氧水取代過氧酸作為強氧化劑。此外，不建議在

表1. 不同消化方法優缺點之比較。

| 消化方法 | 優點 | 缺點 |
|---------|---|--|
| 平板加熱消化法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 易被接受 (約有 100 年歷史) 2. 無樣品量之限制 3. 裝置與操作簡單 4. 試劑或樣品添加容易 5. 成本低廉 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 消化速率慢且不完全 2. 酸液易快速損失 3. 揮發性元素易流失 4. 易生成腐蝕性酸霧 5. 酸液使用量大 6. 環境污染嚴重 |
| 高壓分解釜 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 易維持高溫高壓條件 2. 酸液使用量不大 3. 消化完全 4. 樣品不易流失或污染 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 僅適用少量樣品之分析 2. 處理時間長 3. 裝置及操作複雜 4. 冷卻時間久 |
| 微波消化法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 消化時間短且完全 2. 易維持高溫度條件 3. 酸液使用量不大 4. 可避免揮發性元素流失 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 僅適用少量樣品之分析 2. 成本昂貴 3. 裝置及操作複雜維修不易 4. 可能產生大量氣體而導致實驗失敗或爆炸 |

高壓分解釜中使用硫酸，因其易在反應過程形成局部性的高溫而損壞鐵氟龍消化瓶。

在以高壓分解釜混酸消化方法處理濾紙樣品 (尤其是石英或玻璃纖維濾紙時)，氫氟酸的使用會導致濾紙中大量不純物的溶出。因此建議使用兩階段式的混酸消化方式來處理樣品：首先以硝酸與過氯酸之混酸消化樣品，俟附著在濾紙上之顆粒溶解脫離後，將空白濾紙取出再以氫氟酸與過氯酸之混酸破壞矽氧化物晶體結構，並進一步消化包含在其中的待測物質。

參考文獻

1. Zdenek Sulcek and Pavel Povondra, *Methods in Decomposition in Inorganic Analysis*, Boca Raton, Inc., Florida: CRC Press (1989).
2. C. F. Wang et. al., *Analyst*, **114**, 1067 (1989).
3. C. F. Wang, M. F. Huang, E. E. Chang, and P. C. Chiang, *Analytical Science*, **12**, 201 (1996).

作者：王竹方先生為美國普渡大學物理化學博士，現任國立清華大學原子科學系副教授。

自動元素分析儀

Automatic Organic Elemental Analyzer

關鍵字：自動元素分析儀

Keywords：automatic organic elemental analyzer

一、基本原理與結構

目前用來定性及定量分析有機化合物中所含之碳、氫、氧、硫及氮等基本元素的自動元素分析儀，都是基於利用高溫將有機化合物分解轉化成易於偵測的氣體分子，然後分離偵測。較新的儀器大都採用層析管柱分離氣體，早期的儀器則是利用各種不同的吸收劑以達到分離鑑定的目的。絕大部份的元素分析儀都是以熱導計 (thermal conductivity detection, TCD) 作為最終的偵測器。現在通用的元素分析儀都配備有自動化的樣品秤重、裝填裝置，故稱自動元素分析儀。

圖 1 和圖 2 是兩種典型的商品化自動元素分析儀的系統示意圖，分別採用了傳統式以吸收劑分離不同氣體以及較新式的氣相層析管分離方法，然而兩者在前半段利用高溫分解有機物的原理是一樣的。

如圖 1 之儀器中，樣品在純氧環境下以 900 °C 靜態燃燒，氧化產生二氧化碳、一氧化碳、水、元素態氮及氮氧化合物的混合氣體。樣品在純氧環境停留二至六分鐘後，產物氣體藉由氦氣吹入流經一

750 °C 的爐管，管中置有銅，在高溫下將氮氧化物還原成元素態氮而多餘的氧則與元素態銅結合生成氧化銅而移除之，同時氧化銅則亦將一氧化碳進一步氧化成二氧化碳。鹵素則以填充的銀絲與其結合成鹵化銀而移除之。

接著產物由反應爐進入一混合艙中混合均勻並使其達到定溫狀態。最後均勻混合的氣體產物通過一系列三個串聯的熱導度計進行偵測，每一個偵測器皆由一對感應電池組成。在第一對感應電池之間的是過氧酸鎂吸收槽，用來除去水蒸汽，兩個感應電池之間的信號差即為樣品中氫元素的測量值。二氧化碳在第二對感應電池之間的吸收槽被吸收移除，同樣的，第二對感應電池之間的信號差即為樣品中碳元素的測量值。最後剩餘的氣體包含氮氣和氮氣通過第三個偵測器的感應電池之一，另一個感應電池則通以純氮氣作為參考值，兩感應電池間的電壓差即為樣品中氮元素的測量。

欲分析氧元素時，反應爐管改成填充鍍鉑碳 (platinized carbon) 的石英管。當樣品在氮氣下被熱解 (與前述碳、氫元素分析不同之處在於此時並未

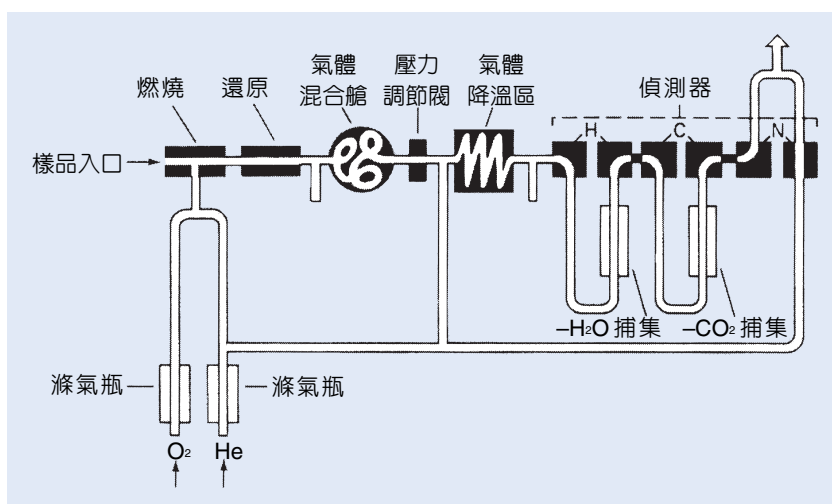


圖 1. 典型之自動元素分析儀，利用不同的吸收劑以達到分離之目的⁽¹⁾。

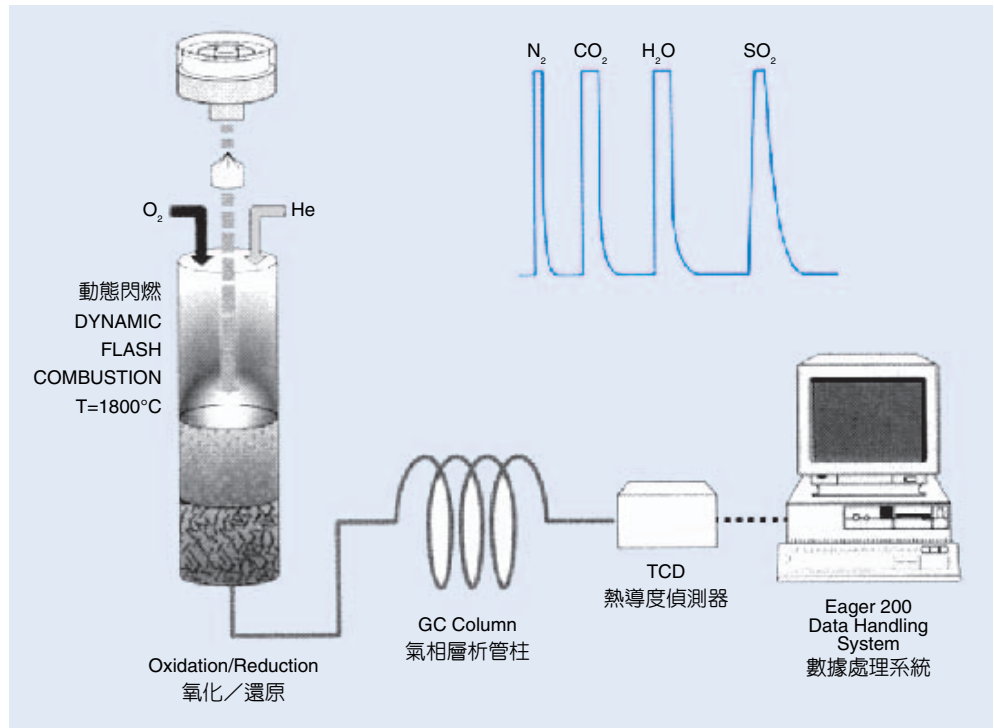


圖2. 典型之自動元素分析儀，利用氣相層析以達到分離之目的 (CE INSTRUMENTS 提供)。

通入氧氣) 並吹經反應管後，所有樣品中的氧與碳結成一氧化碳，然後再流經熱氧化銅後轉變成二氧化碳。最後產物氣體經降溫、混合均勻後通過熱導度偵測器，二氧化碳被吸收前後的感應電池訊號差，即作為樣品中氧元素的含量測量。

分析硫元素時，樣品在填充有氧化錫或氧化銅的反應管中通以純氧燃燒，產物中的水氣在反應管後部的冷卻段以脫水劑除去。最後產物含乾燥的二氧化硫氣體以熱導度偵測器偵測之，偵測器的兩個感應電池之間是氧化銀試劑的吸收槽以吸收二氧化硫。像圖 1 這樣的機型可以完全自動化操作，一次可以自動填充分析數十個樣品。

如圖 2 中之儀器可同時測定樣品中的碳、氫、氧、硫等元素含量，而氧元素含量則如圖 1 之儀器亦須另行單獨分析。不同於前一種機型，圖 2 之機型採用所謂的動態閃燃 (dynamic flash combustion) 的方式分解樣品。少量樣品包封於錫箔囊中投入燃燒艙中，艙中裝填有催化劑並維持 1000 °C 左右之高溫。當樣品進入燃燒艙後，定量的氧氣注入攜行氮氣中並流經燃燒反應器，此時錫的氧化作用產生高熱使艙內溫度升高至 1800 °C，使得樣品確保能夠完全燃燒。接著燃燒產物氣體經攜行氮氣帶入還

原反應器中，在此氮氧化物被還原成元素態氮氣，而三氧化硫被還原成二氧化硫，多餘的氧氣同時亦被捕集移除。最後產物氣體 N₂、CO₂、H₂O、SO₂ 經層析管柱分離後以熱導度計偵測之。當欲分析樣品中氧元素含量時，燃燒艙以填裝有包覆鎳金屬的碳的熱解艙取代之。樣品在熱解艙中溫度維持約 1060 °C，樣品中所含之氧元素與碳結合成 CO，由氮氣攜經層析管柱與其他產物氣體分離後以熱導度偵測之。

二、儀器規格與特徵

自動元素分析儀的產生主要是為了改進傳統管狀燃燒爐耗時、危險及誤差大的缺點而發展出來的，故與古典的元素分析方法相較其明顯地更為方便迅速、安全、準確。然由於分析的原理仍延依傳統的燃燒方法，只是在樣品秤量、進料方法、氣體分離及偵測器精準度方面改進，故原有先天性的限制依然存在。例如，不論任何廠牌機型都需要多種的分析模式，以便分別分析 C、H、N 或 C、H、N、S，而氧總是必須另行分析。再者自動元素分析儀總是限於分析有機物樣品，而且其中氧元素部分往往採用扣除法求得，故含磷、氟、矽及金屬陽

表1.自動元素分析儀之部分規格及其與傳統管狀燃燒爐法之比較。

| 項目 | 自動元素分析儀 | 管狀燃燒爐法 |
|----------------|--|--|
| 所需樣品量 | 約一至數毫克。 | 約數百至數千毫克。 |
| 自動連續分析 | 可連續分析數十個樣品 | 否 |
| C、H、N、S | 可同時分析C、H、N、S。 | 只能同時分析C、H。 S需須另行分析。 不能分析N。 |
| S、Cl | 不能分析Cl。 | 同時分析，分別測定。 |
| 分析時間 (每一樣品) | C、H、N、S同時分析少於10分鐘。 O分析少於十分鐘。 | C、H同時分析需10至18分鐘之燃燒時間。 S、Cl同時分析需30分鐘之燃燒時間。 |
| 偵測方法 | TCD：C、H、N、S、O ECD：C、H、N、S MS：C、H、N、O | 重量法：C、H、S、Cl 扣除法：O |
| 偵測範圍 | 約0.001至數毫克 | 約數十至數百毫克 |
| 準確度 | C、H、N ≤ 0.5% C、H、N、S ≤ 0.5% O ≤ 0.5% | C、H、S、Cl ≥ 10% |
| 精確度 | C、H、N ≤ 0.5% C、H、N、S ≤ 0.5% O ≤ 0.5% | 人為誤差大 |
| 數據處理 | 可自動化 | 需另行處理 |

離子之化合物則通常被排除於分析行列之外，或者在分析之前必須先去除礦物組成。

近來較新式的機型除了傳統的TCD之外亦可選購配備較靈敏的質譜儀偵測器MS (mass spectrometry for isotopic mass ratio) 或電子捕獲式偵測器 (electron capture detector, ECD)，再搭配精密的數據處理系統以增進分析的精準度。表1為一般自動元素分析儀之部分規格及其與傳統管狀燃燒爐法之比較。

三、應用與用途

傳統上自動元素分析儀為天然物化學 (phytochemistry)、藥物化學及合成化學家鑑定化合物元素組成之基本分析工具。近年來由於廢棄物處理程序之設計及操作過程中，環境工程師必須了解廢棄物之化學組成特性，故亦廣泛被運用於廢棄

物化學組成分析方面。特別是生垃圾之分析以及廢棄物焚化前的進料分析，成為定期且大量的日常工作。

然而，由於自動元素分析儀之原理基本上只適用於有機物之分析，當應用於含相當礦物組成之垃圾或廢棄物時，其適用性目前卻乏人探討。

參考文獻

1. D. A. Skoog and J. J. Leary, *Principles of Instrumental Analysis*, 4th ed., Saunders College Publishing (1992).
2. 垃圾採樣分析手冊, 行政院衛生署環境保護局, 民國七十三年五月訂定.
3. R. L. Shriner, D. Y. Curtin, The late R. C. Fuson and T. C. Morril, *The Systematic Identification of Organic Compounds*, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc. (1980).

作者：趙慶光先生為國立台灣大學農業化學博士，現任輔英技術學院環境工程學系副教授。

吹氣捕捉設備

Purge and Trap Apparatus

關鍵字：吹氣捕捉、揮發性有機化合物

Keywords：purge and trap, volatile organic compounds

一、基本原理

吹氣捕捉設備乃執行揮發性有機化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 分析時的樣品製備及萃取方法。吹氣捕捉流程：於室溫下，將惰性氣體灌入溶液中，使其中之揮發性成份自液相轉成氣相，再將其吹入吸附管中，使所有的揮發性有機成份吸附在其中。當吹氣過程完成後，將吸附管加熱，並以惰性氣體將吸附於其內的成份逆向吹洗下來，使其脫附並導入氣相層析儀 (GC) 分離管中進行分析。對土壤／沉積物和固體廢棄物樣品利用密閉式吹氣捕捉方式分析其揮發性有機化合物含量。在分析前將樣品瓶裝於吹氣裝置上，以無干擾之試劑水添加內標準品及擬似標準品注入樣品瓶中，樣

品瓶加熱至 40 °C 同時通惰性氣體將揮發性成份帶至捕捉管中，吹氣結束後，將捕捉管加溫，把捕捉之揮發性成份藉由惰性氣體注入氣相層析分離管中進行分析。

二、結構示意圖

吹氣捕捉裝置本體之結構示意圖如圖 1，它包括三個獨立的設備：樣品吹氣設備、捕捉管及脫附設備。樣品吹氣設備之吹氣腔構造如圖 2；捕捉管之填充劑及構造如圖 3；吹氣捕捉系統之吹氣吸附功能如圖 4；吹氣捕捉系統之脫附功能如圖 5。

三、儀器規格與特徵

吹氣捕捉裝置包括三個獨立的設備：樣品吹氣設備、捕捉管及脫附設備，樣品置入吹氣腔經由惰

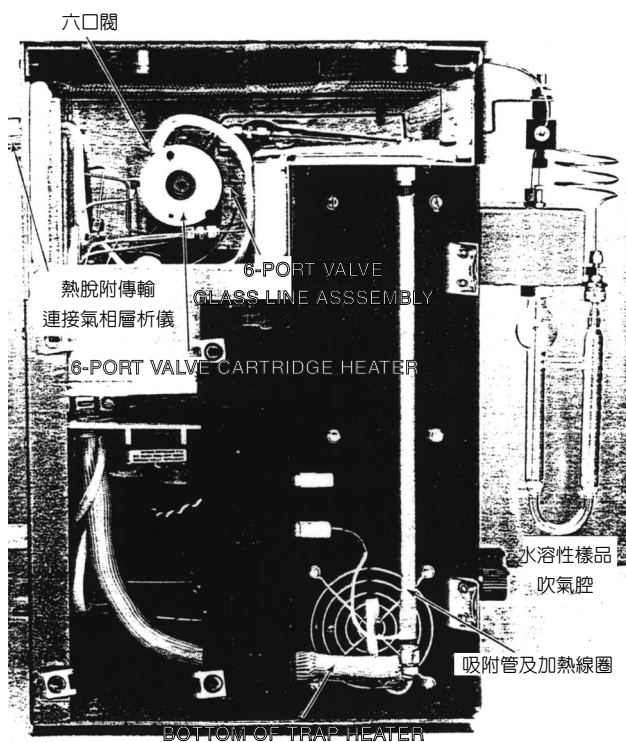


圖 1. 吹氣捕捉裝置本體之結構示意圖。

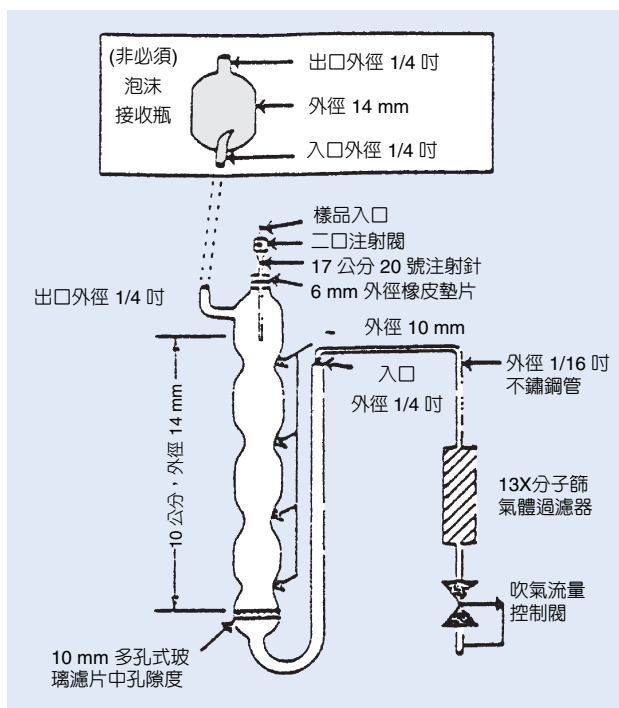


圖 2. 樣品吹氣設備之吹氣腔構造。

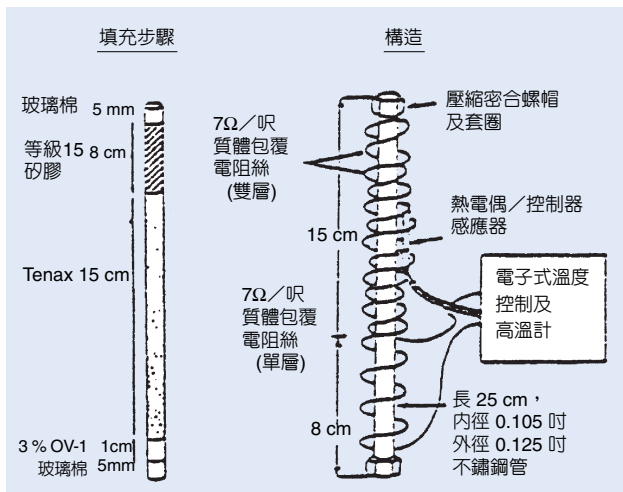


圖3. 捕捉管之填充劑及構造。

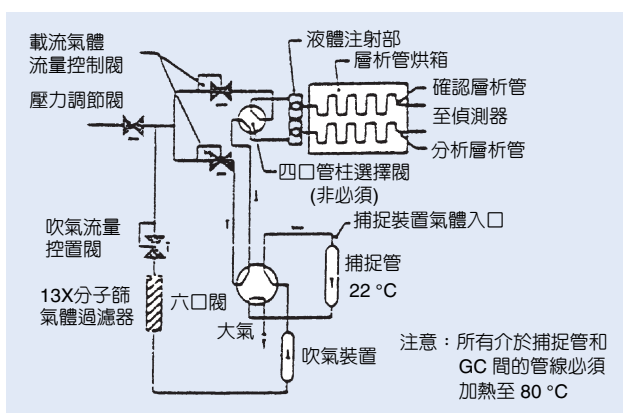


圖4. 吹氣捕捉系統之吹氣吸附功能。

性氣體吹氣導入六口閥至捕捉管將揮發性有機化合物吸附，爾後將捕捉管急速加熱將揮發性有機化合物脫附直接導入氣相層析儀之分離管。有數種全套市售商品可供使用。

1. 吹氣腔

吹氣腔需備有一至少 3 公分高的盛水管柱，可承裝 5 mL 的樣品，在管柱與捕捉管之間的氣體空間總體積必須少於 15 mL，樣品吹氣用之氣體必須通過盛水管柱，於氣體入口處以直徑小於 3 mm 的細微氣泡形式通過，該氣體導入口與盛水管柱底部距離須少於 5 mm。圖 2 之樣品吹氣設備符合上述設計條件。土壤／沉積物及廢棄物樣品：為 40 mL 樣品瓶，可承裝 5 g 的樣品及 10 mL 試劑水，樣品吹氣用之氣體必須接觸樣品液面。若其他型式的樣

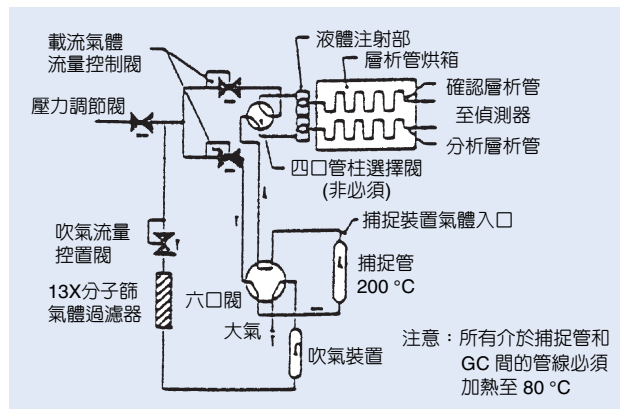


圖5. 吹氣捕捉系統之脫附功能。

品吹氣設備可證明其具相同功能者，亦可使用。

2. 捕捉管

捕捉管長度至少需 25 公分，內徑至少需 0.105 吋，自入口處起，必須填充下列吸附劑：全管的 1/3 填充 2,6-次聯苯氧化物之聚合物 (2,6-diphenylene oxide polymer)，1/3 為矽膠，另 1/3 為椰子殼活性炭。最好在捕捉管的入口處填充 1 公分被覆矽化甲基填充物，以增加捕捉管使用期限 (參見圖 3)。若不分析二氯二氟甲烷或其他相似揮發性的氟化碳化合物，則不必填充活性炭，而將 2,6-次聯苯氧化物的聚合物填充 2/3；若只分析沸點在 35 °C 以上的化合物，則矽膠及活性炭皆不必填充，而將全管填充聚合物即可。於第一次使用前，捕捉管需以 180 °C 隔夜加熱調整，並通入 20 mL/min 的惰性氣體逆吹洗，將捕捉管排出的氣體通入抽氣櫃中，不要導入分析管柱中。每日使用前捕捉管需通氣於 180 °C 加熱 10 分鐘，所排出的氣體可導入分析管柱中，但此分析管柱於分析樣品前必須先經過升溫設定步驟空跑一次。

3. 脫附設備

脫附設備需能將捕捉管快速加熱至 180 °C 以進行脫附。於加熱烘脫功能執行時，捕捉管中填充的聚合物段，溫度不應高過 180 °C，其餘填充劑段，溫度不應高過 220 °C。圖 4 及圖 5 為吹氣捕捉系統之吹氣吸附功能及脫附功能，符合上述設計條件。

表1. 吹氣捕捉操作條件。

| 分析方法 | A | B | C/D | E |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| 吹氣之氣體 | 氮氣或氬氣 | 氮氣或氬氣 | 氮氣或氬氣 | 氮氣或氬氣 |
| 吹氣流率 (mL/min) | 40 | 20 | 40 | 20 |
| 吹氣時間 (min) | 11.0 ± 0.1 | 15.0 ± 0.1 | 11.0 ± 0.1 | 15.0 ± 0.1 |
| 吹氣溫度 (°C) | 室溫 | 85 ± 2 | 室溫 | 85 ± 2 |
| 脫附溫度 (°C) | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 逆吹洗惰性氣體流率 (mL/min) | 20-60 | 20-60 | 20-60 | 20-60 |
| 脫附時間 (min) | 4 | 1.5 | 4 | 1.5 |

A: 揮發性鹵化有機物之氣相層析法
 B: 揮發性非鹵化有機物之氣相層析法
 C: 揮發性芳香族有機物之氣相層析法
 D: 揮發性有機鹵化物之毛細管柱氣相層析法以串聯式之光離子化偵測器及電解導電感應偵測器之檢測方法
 E: 丙烯醛及丙烯腈之氣相層析法

4. 吹氣捕捉裝置

吹氣捕捉裝置可拆開成各自獨立的設備，或可與氣相層析儀聯接。

5. 捕捉管填充劑

- (1) 2,6-次聯苯氧化物之聚合物：60/80 mesh (Tenax GC 或同級品)。
- (2) 矽化甲基填充物：OV-1 (3 %) 於 Chromosorb-W 上，60/80 mesh 或同級品。
- (3) 矽膠：35/60 mesh，Davison，等級 15 或同級品。
- (4) 椰子殼活性炭：由 Barnebey Cheney 製造 CA-580-26 批號 #M-2649 或同級品，壓碎後通過 26 號篩網過篩。

四、應用與用途

吹氣捕捉設備所製備的樣品可供揮發性鹵化有機物之氣相層析法、揮發性非鹵化有機物之氣相層析法、揮發性芳香族有機物之氣相層析法、揮發性有機鹵化物之毛細管柱氣相層析法以串聯式之光離子化偵測器及電解導電感應偵測器之檢測方法、丙

烯醛及丙烯腈之氣相層析法、揮發性有機化合物之氣相層析/質譜 (GC/MS) 法及揮發性有機化合物之氣相層析/質譜 (GC/MS) 法—毛細管柱法。

檢測大多數沸點低於 200 °C，水溶性與非水溶性液體樣品、固體、廢棄物及土壤/沉積物等之揮發性有機化合物含量，吹氣捕捉操作條件如表 1 所示。

參考文獻

1. *Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS): Capillary Column Technique*, U.S. EPA, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 8260B, Jan. (1995).
2. *Purge-and-Trap*, U.S. EPA, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 5030A, July (1992).
3. *Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Wasted Sample*, U.S. EPA, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Method 5035, Jan. (1995).
4. 水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉/填充管柱氣相層析法，行政院環境保護署環境檢驗所環境檢測方法彙編，NIEA W780.50T (1994).

作者：盧正權先生為美國加州大學 Irvine 分校化學博士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

毒性特性溶出裝置

Toxicity Characteristic Leaching Apparatus

關鍵字：毒性特性溶出程序、零空間式萃取器

Keywords：toxicity characteristic leaching procedure, zero-head space extractor

一、基本原理

毒性特性溶出裝置是針對固體或液體廢棄物需以陸上掩埋方式處理時，用來評估廢棄物中所含之有毒化學物質是否會因地下水或雨水的浸蝕而造成溶出，並污染地下水，使飲用或使用的居民受到危害的一種預先評估的裝置。整個萃取過程依毒性特性溶出程序主要的重點有下列幾項。

1. 萃取液的選擇

依廢棄物的酸鹼 (pH) 值使用不同 pH 值的萃取液，對於酸性或中性廢棄物，萃取液模擬雨水或地下水狀態維持 pH 值在 5.0 左右，對於鹼性的廢棄物，因萃取過程中 pH 為 5.0 之萃取液較難維持在 pH 值 5.0 左右，因此改用醋酸水溶液使其萃取前之 pH 值為 2.88。

2. 廢棄物粒徑的減小

進行萃取之廢棄物必須維持在一定的粒徑下，即最大之長度不得大於 1 公分或其表面積不得小於 3.1 cm²/g，在此一粒徑下，模擬廢棄物經固化掩埋後，受外界之壓力粉碎而造成溶出的量大增。

二、結構示意圖

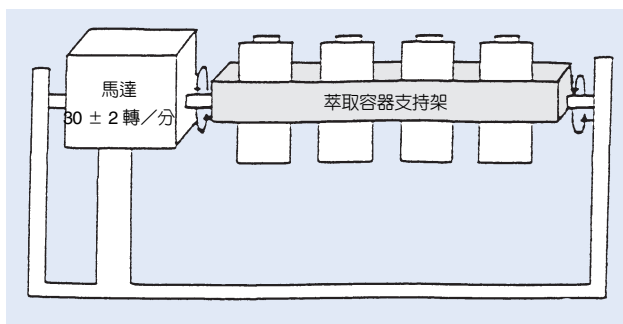


圖 1. 毒性特性溶出試驗旋轉裝置。

本裝置包含兩個部份，其一為萃取旋轉裝置，另一為萃取容器。

1. 旋轉裝置

旋轉裝置是為了承載萃取器的裝置，以 360° 方式旋轉，轉速需設定在每分鐘 30 ± 2 轉，如圖 1 所示，可以為夾式或是由上下固定的方式來操作，有些裝置同時連接定時器。

2. 萃取容器

萃取容器依萃取化合物性質不同可以區分為金屬、半揮發性有機化合物及揮發性有機化合物，金屬與半揮發性有機化合物以硼矽玻璃瓶來進行萃取，而揮發性有機化合物則使用特殊之零空間式萃取器 (zero-head space extractor, ZHE) 其外觀如圖 2，主要是一個密閉式的利用氣壓驅動活塞控制萃取壓力及以 O 環保持氣密的裝置，當廢棄物樣品置入其中後，將底部氣閥打開使活塞向上推擠，排出剩餘空氣；再關閉氣閥以液體傳送幫浦將萃取液由液體進出閥推入含廢棄物之空間內，完成後保持密閉，此時內部壓力由壓力表顯示可保持在 20 psi 下進行或是以稍高於大氣壓下置入水中確認氣密性，並於實驗完成後仍需確認此一程序，以確保萃取過程的氣密性。

零空間式萃取器其材質由 S316 鋼材所組成的主體，其至少應包含：

- 1) 壓縮空氣進出閥。
- 2) 液體進出閥。
- 3) 含 O 環之活塞。
- 4) 可拆之含 O 環頂蓋及底蓋。
- 5) 可支撐於頂蓋下之濾紙支持篩網。
- 6) 活塞之操作完全由壓縮空氣的洩放來達成。

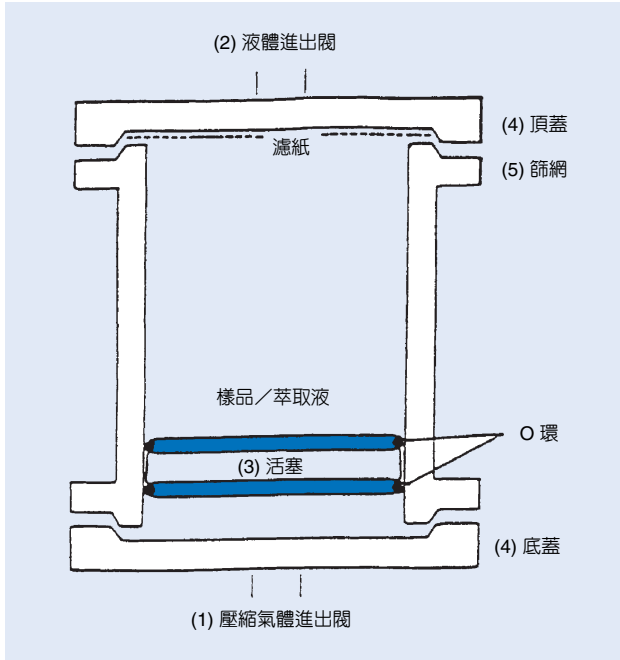


圖 2. 零空間式萃取容器萃取完成後則利用 Tedlar 採樣袋或是氣密式不銹鋼針筒，以氣壓驅動活塞取出萃取液並分別保存及分析。

三、儀器規格與特徵

儀器規格及特徵依其主要單元分述如下。

1. 旋轉器

旋轉器主要是馬達驅動，每分鐘需能維持 30 ± 2 轉，一般操作時僅需調整轉速即可，其旋轉方式

必須為 360° 方式旋轉。

2. 零空間式萃取器

零空間式萃取器本體為 S316 鋼材所組成，O 環為消耗品，需定期更換外其餘零件不易耗損，值得注意的是最好加裝壓力表以顯示於萃取及過濾過程中對於壓力的改變保持監視狀態，以避免漏氣或壓力過大使萃取程序未能符合方法之需求。

四、應用與用途

毒性特性溶出程序與傳統之萃取程序 (extraction procedure) 比較，其避免持續調整 pH 值及增加了揮發性有機污染物的項目，但此方法之應用範圍限於廢棄物以陸上掩埋處理前的評估於法規上所列管之項目之毒性物質可能溶出的特性，而以海拋或酸雨嚴重地區，由於周圍溶出液基質及 pH 值偏低則就必須另外考量萃取液 pH 值的調整。

參考文獻

1. 事業廢棄物毒性特性溶出程序, 行政院環保署環境檢驗所環境檢測方法彙編, NIEA E201.10T (1994).
2. 陸瑩, 劉沛宏, 固體廢棄物有毒物質特性溶出方法介紹, 化學工業資訊月刊, 26 (1988).
3. *US Federal Register*, 51, 40643 (1986).

作者：盧正權先生為美國加州大學 Irvine 分校博士，現任工業技術研究院化學工業研究所研究員。

熱脫附／吹氣捕捉裝置

Thermal Desorption/Purge and Trap Apparatus

關鍵字：熱脫附／吹氣捕捉裝置、揮發性有機化合物

Keywords：thermal desorption/purge and trap, volatile organic compounds

一、基本原理

欲將土壤或固態樣品中的有機化合物從樣品基質中分離以分析其濃度，除使用溶劑萃取的方式外，可以靜態平衡 (static equilibrium) 方式，如頂空間平衡法 (headspace equilibrium)，將定量樣品置入定容容器中加熱平衡，取其頂空間氣體進行分析。另一種方法則為動態平衡 (dynamic equilibrium) 方式，樣品經熱脫附／吹氣捕捉裝置，將待測化合物與樣品基質有效分離、濃縮。

熱脫附／吹氣捕捉的基本原理，係將定量樣品在吹氣槽中預熱至定溫進行樣品脫附，之後經由吹氣針將惰性氣體通入樣品中進行吹氣 (purge)，將待測化合物載送至填充吸附介質之捕捉阱 (trap)。俟吹氣達設定的時間而停止瞬間，捕捉阱被急速加熱 (升溫速度可達 900 °C/min)，將介質上之待測化合物脫附，由 GC 之載送氣體逆沖 (back flush) 進入 GC 系統或冷凍濃縮阱 (cryogenic)，再一次熱脫附後，進入 GC 系統。

二、結構示意圖

本裝置之結構示意圖如圖 1 所示，在吹氣捕捉時為圖 1(a)，在熱脫附時如圖 1(b)。

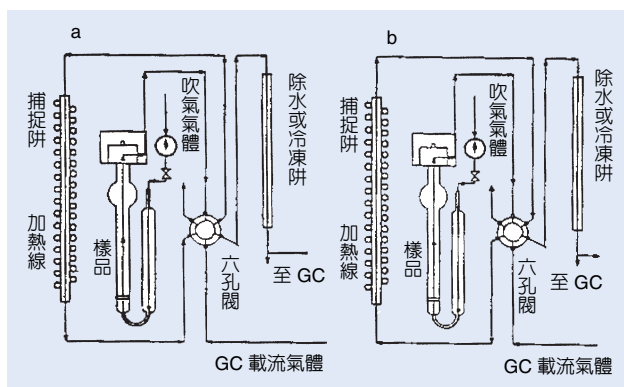


圖 1. 吹氣捕捉簡圖 (a)吹氣捕捉狀態，(b)熱脫附狀態。

三、儀器規格與特徵

熱脫附／吹氣捕捉裝置，目前市售規格化之系統包括 Tekmar 3000 及 O.I. Analytical Model 4560 等，其主要原件包含加熱器、吹氣槽、捕捉阱，以及除水裝置。

1. 加熱器

樣品置入吹氣槽後，先加熱以加速化合物自基質上分離，加熱器可以是直接包覆於吹氣槽之加熱包 (pocket heater)、加熱管 (tube heater)，或紅外線加熱箱等。加熱的溫度依樣品基質及待測化合物的性質而定，一般介於 40 °C—85 °C，以有效達到脫附效果，又不破壞待測化合物為原則。

2. 吹氣槽

固態樣品使用之吹氣槽與液態樣品略有不同，係在一單管吹氣管中以一支尾端有小孔之吹氣針伸入樣品中吹氣。

3. 捕捉阱 (trap) 及吸附介質 (adsorbent material)

捕捉阱是一根 25 cm 長，外徑 1/8 英寸內部填充適當吸附介質之不銹鋼管。由於每次分析的待測物往往可達數十種之多，如何針對所有待測物的特性 (如極性、沸點等) 選擇適當的吸附介質，是影響捕捉及濃縮效率的重要關鍵。適當的吸附介質，除須在捕捉階段有效的捕捉待測化合物，且在脫附階段，亦須能快速的釋出待測物。常用的吸附介質包括 Tenax® (一種多孔隙聚合物，非親水性，適於略高沸點，非極性化合物)、矽膠 (親水性，適於沸點在室溫附近之極性化合物)、椰子殼活性炭 (非親水性，適於低沸點之化合物)、石墨化碳黑 (graphitized carbon black，性質與 Tenax® 相似)，以及碳分子篩 (carbon molecular sieves，非親水性，

適用於極低沸點化合物，熱脫附效率極佳)。表 1 所列常用之捕捉阱，係針對各種環境分析標準方法之待測物特性，以不同組合的吸附介質填充而成。

4. 除水裝置 (water management system)

在熱脫附／吹氣過程，系統將待測化合物及水份皆載送至捕捉阱，當使用之吸附介質為非親水性時，水份會由排氣系統 (venting) 排出；若使用親

水性介質，則吸附的水氣在脫附過程中，即隨待測化合物進入冷凍阱或 GC 系統。經冷凍阱之水份常易結冰堵塞 GC 分離管柱口。而直接進入 GC 系統的水份，常造成光離子化偵測器 (PID) 或質譜偵測器 (MSD) 的干擾，如造成負值基線或感應尖峰變寬 (broadening) 等。因此，商業化的吹氣／捕捉阱系統，皆有除水裝置。如 Tekmar 3000，係在捕捉阱與 GC 系統 (或冷凍阱) 之間裝設一鎳管，當吹氣

表 1. 常用之捕捉阱吸附介質組合。

| 捕捉阱吸附介質 | 適用之美國 EPA 方法 | 適用化合物特性 | 建議最高操作溫度 |
|---|--|------------------------|----------|
| 24 cm Tenax® | — | 沸點略高，非極性 | 300 °C |
| 15 cm Tenax® 8 cm 矽膠 | CLP | 沸點在室溫附近至沸點略高 極性及非極性 | 180 °C |
| 8.7 cm Tenax® 7.7 cm 矽膠 7.7 cm 活性炭 | — | 低沸點至略高沸點 極性或非極性 | 180 °C |
| 16 cm Tenax® 7.7 cm 活性炭 | — | 沸點低至略高沸點 | 220 °C |
| 1 cm 3 % OV-1/ Chromosorb W AW 7.7 cm Tenax® 7.7 cm 矽膠 7.7 cm 活性炭 | 502. 1 502.2 524. 1 601 8240 8260 | 低沸點至略高沸點 極性及非極性 | 220 °C |
| 1 cm 3 % OV-1/ Chromosorb W AW 15 cm Tenax® 7.7 cm 矽膠 | 624 | 室溫至略高沸點 極性及非極性 | 180 °C |
| 1 cm 3 % OV-1/ Chromosorb W AW 23 cm Tenax® | 602 603 8020 8021 8030 8031 | 略高沸點，非極性 | 300 °C |

資料來源：SUPELCO 1996 Catalog

註：1. OV-1/Chromosorb W AW 為液態 dimethylpolysiloxane 混合於 60/80 mesh 之支持物上 (如矽藻土)，常填充於捕捉阱前端，其目的在保護吸附介質，避免吸附高沸點化合物造成脫附不完全。

2. CLP—美國環保署合約實驗室計畫 (Contract Laboratory Program)。

時，鍍管被加熱，至脫附階段，則冷卻至 30 °C 以凝結通過的水份。又如 O.I. Analytical Model 4560，係利用一離心／振動裝置，移除伴隨待測物的水份。此外在吹氣階段完成後，不經吹氣管直接以吹氣氣體乾吹 (dry purge) 捕捉阱，亦有助於水份的移除。

四、應用與用途

熱脫附／吹氣捕捉裝置，一般常用於含較低濃度 (如 <1 mg/kg) 揮發性有機化合物的固態樣品 (如 USEPA 方法 8260) 或含水溶性揮發性有機化合物之液態樣品。適用的方法如表 1 所示。

參考文獻

1. A. K. Vickers and Meera Datta, *A Purge-and-Trap System for Analyzing VOCs in Drinking Water*, American Laboratory, January (1993).
2. Restek Corporation, *Helpful Hints for Analyzing Volatile Organics* (1996).
3. *Supelco Chromatography Products Catalog*, 408 (1996).
4. R. Soniassyi, P. Sandra, and C. Schletl, *Water Analysis-Organic Micropollutants*, Hewlett Packard press (1994).
5. USEPA, SW-846, *Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods*, 3rd. ed. (1986, Revised 1995).

作者：林銘達先生為美國 Montana 大學環境化學碩士，現任上準環境科技股份有限公司技術經理。

閃點測定儀

Flash-Point Tester

關鍵字：閃點、潘一馬氏密閉式閃點測定儀、快速閃點測定儀

Keywords： flash-point, Pensky-Martens closed tester, setaflash closed apparatus

一、基本原理

閃點 (flash-point) 測定係在實驗室控制條件下，量測待測樣品和空氣混合形成易燃混合物的傾向，將待測樣品置於固定尺寸容器中，在連續攪拌下，以固定且緩慢的速度加熱，於固定的升溫間隔中，將試驗火焰導入待測樣品容器中，並於試驗火焰導入的瞬間停止攪拌，當試驗火焰點燃待測樣品上之氣體的最低溫度稱之為閃點。依據測定目的需求之不同，閃點測定儀可用來測定某物質的確定閃點溫度或試驗某物質的閃點是否為某預期的溫度，執行此二種測定時，只需將閃點測定儀的測定系統依照儀器說明書調整至所需求的模式。

基於防火防爆等安全因素的考量，需針對各種不同性質、成份的樣品執行閃點測定，目前已商業化的產品，如潘一馬氏密閉式閃點測定儀 (Pensky-Martens closed tester) 可測定燃料油、潤滑油、含懸浮固體之液體、於測定條件下易形成表面薄膜之液體和其他於 40 °C 時黏度大於或等於 5.5 mm²/s (1 cSt = 1 mm²/s, 9.5 cSt ≅ 45 SUS) 等液體 (含廢液) 樣品之閃點；特氏 (Tag) 密閉式閃點測定儀可測定於 40 °C 時黏度小於 5.5 mm²/s 之液體、不含懸浮固體之液體、於測定條件下不形成表面薄膜之液體樣品之閃點；快速閃點測定儀 (setaflash closed apparatus) 可測定閃點在 0° C 至 110° C 之間，於 25° C 時黏度低於 150 cm²/s (1 St = 1 cm²/s) 之液體樣品之閃點。茲將潘一馬氏密閉式閃點測定儀及密閉式快速閃點測定儀之結構示意圖如圖 1。

二、結構示意圖

潘一馬氏密閉式閃點測定儀如圖 1 所示，有自動式及手動式二種機體，加熱方式有瓦斯或電阻式兩種。其主要元件包含：樣品試驗杯、杯蓋本體及

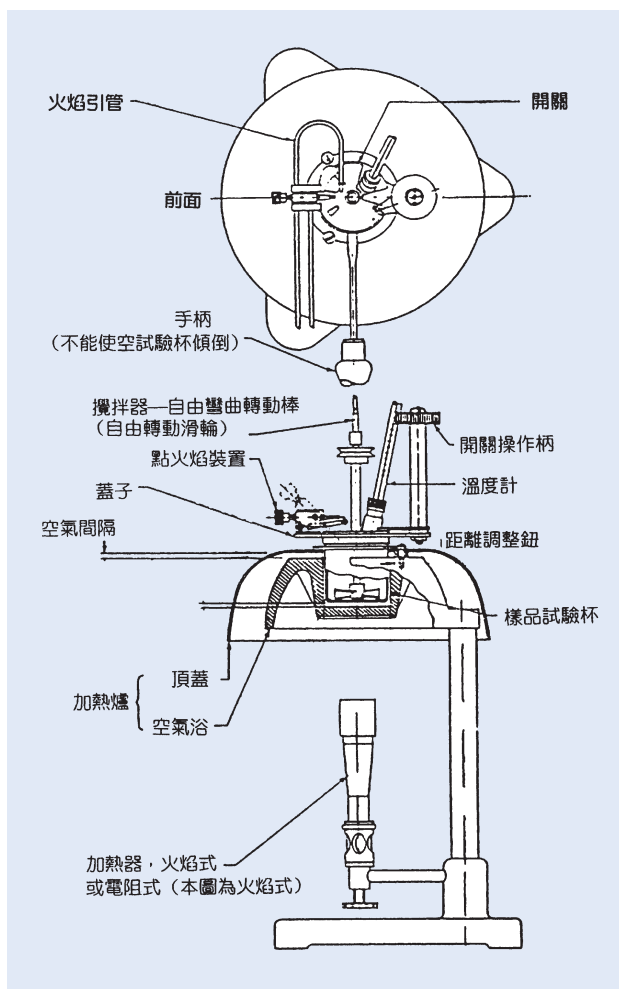


圖 1. 潘一馬氏密閉式閃點測定儀。

開關、火源、點火焰裝置、試驗火焰、攪拌器、加熱爐、頂蓋、空氣浴、加熱器 (火焰式或電阻式)、溫度計等。密閉式快速閃點測定儀之主結構如圖 2 所示，主要元件包含：樣品部 (由附杯蓋之樣品槽杯及完全密合之冷卻體組成，杯蓋上附可自動開啟的滑座裝置及樣品填充孔)、火源、試驗火焰、溫度計等。

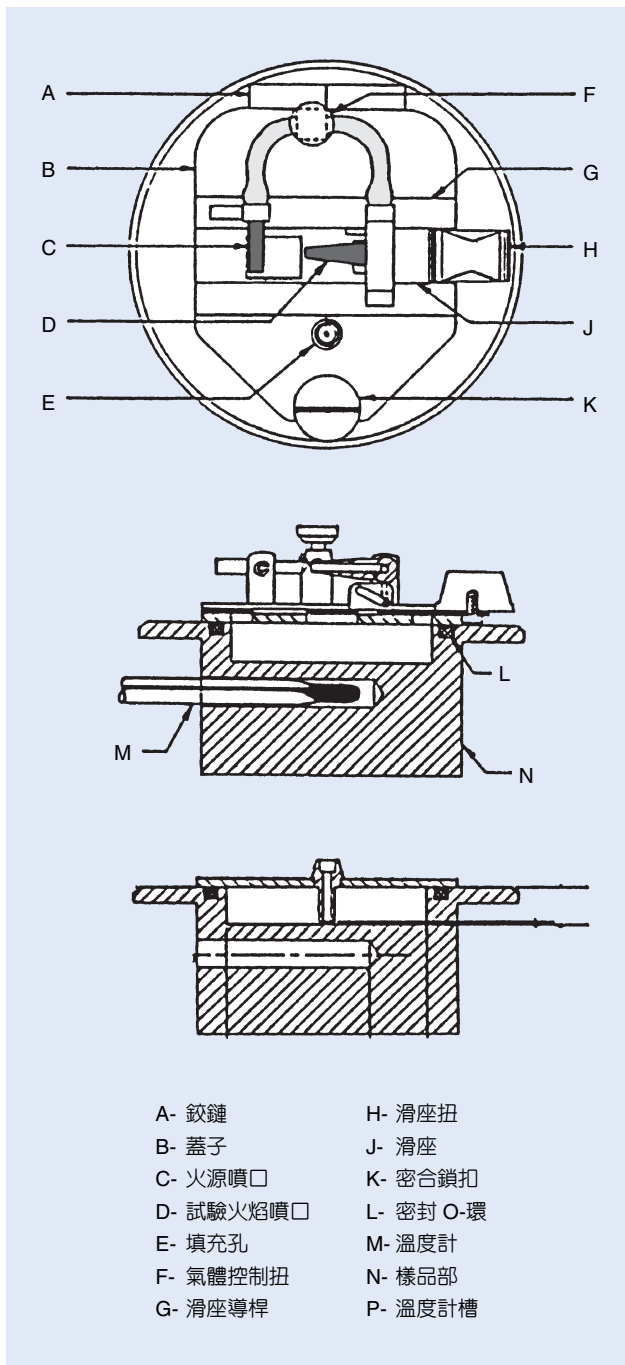


圖2. 快速閃點測定儀。

三、儀器規格與特徵

用於閃點測定之溫度計需符合 ASTM 訂定之溫度計規格，可分為低、中、高三種不同刻度範圍，對於溫度計的全長、桿直徑、水銀球 (形狀、長度、直徑) 尺寸、刻度區間長度、水銀球底至溫

表1. 溫度計規格編號。

| 溫度計編號 | | |
|--------------|------|-------|
| 溫度範圍 | ASTM | IP |
| -5 至 +110 °C | 9 C | 15 C |
| +10 至 200 °C | 88 C | 101 C |
| +90 至 370 °C | 10 C | 16 C |

度刻線之距離、長刻度線之間距、刻度上數字之間距、尺寸誤差等皆有特定規範。針對不同閃點之物質，需選擇適當的溫度範圍及刻度之溫度計。若使用電阻式溫度計或熱電偶，則於相同溫度下，需能顯示與水銀溫度計所顯示的溫度相同。執行測定前需依儀器操作說明書的規定校正溫度測定裝置。溫度計規格編號及各編號溫度計規格如表 1、表 2 所示。

四、應用與用途

閃點為量測或描述材質、產品、或組合品於控制的實驗條件下，對熱和試驗火焰所產生之反應的性質，但不可用來描述或評估其對真實燃燒情況之燃燒危害性或燃燒危險性。然而，對於需將所有因素皆考慮進去之評估燃燒危害性的特殊用途，則閃點測試結果可當做是評估燃燒危險性的一個評估因子。於運輸和安全法規中，閃點可用來定義物質為可燃物或易燃物。

閃點測定時可能會涉及危險性之物質，如廢棄物、廢液、含揮發性污染物等，故於執行測定前需先行建立適當且符合法規需求的安全及衛生操作規範。例如，待測樣品中若含有低閃火點的物質，當開始導入試驗火焰於樣品試驗杯中時，會引起極強烈的閃火，測定人員需建立適當的安全防護措施；有些樣品於熱裂解後會生成有害的蒸氣或產物，則可將測定儀周圍加裝擋風板後，置於抽風櫃中，測定時，調整抽風櫃的通風至適當風速，使有害蒸氣可被抽離，但不會使樣品試驗杯上產生氣流而影響閃點的測定。

各種儀器皆有其特定的使用及維護步驟，測定人員於操作儀器之前，需詳細閱讀廠商提供之使用說明書。

表2. 各編號溫度計規格。

| 溫度計編號 | IP 15C | IP 16C | IP 101C |
|----------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 溫度範圍 | 低範圍 -5 至 +110 °C | 高範圍 90 至 370 °C | 中間範圍 20 至 150 °C |
| 刻 度 | 0.5 °C | 2 °C | 1 °C |
| 插入深度 (mm) | 57 | 57 | 57 |
| 全長 (± 5 mm) | 290 | 280 ± 10 | 290 |
| 桿直徑 (mm) | 6.0 至7.0 | 6.0 至7.0 | 6.0 至7.0 |
| 球形狀 | 圓柱形 | 圓柱形 | 圓柱形 |
| 球長度 (mm) | 9 至 13 | 7 至 10 | 9 至 13 |
| 球直徑 (mm) | 大於 5.5 小於桿直徑 | 大於 4.5 小於桿直徑 | 大於 5.5 小於桿直徑 |
| 有刻度區間之長度 (mm) | 140 至 175 | 143 至180 | 140 至175 |
| 球底至溫度線之距離 (mm) | 0 °C 85 至95 | 90 °C 80 至 90 | 20 °C 85 至95 |
| 長刻度線之間距 | 1 和 5 °C | 10 和 20 °C | 5 °C |
| 刻度上數字之間距 | 5 °C | 20 °C | 5 °C |
| 完工後頂部形狀 | 環狀 | 環狀 | 環狀 |
| 尺寸誤差 不得超過 ± | 0.5 °C | 1 °C (260 °C 以下) 2 °C (260 °C 以上) | 1 °C |

參考文獻

1. D93-94, *Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester*, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, Jan. (1995).
2. *Standard Test Methods for Flash Point of Liquids by Setaflash Closed-Cup Apparatus*, American Society for Testing and Materials, D3278-95 (1995).
3. M. Umana, W. Gutknecht, C. Salmons, et al., *Evaluation of Ignitability Methods (Liquids)*, EPA/600/S4-85/053 (1985).
4. *Specification for ASTM Thermometers*, Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.03.

作者：王文忻女士現任中國醫藥學院職業安全與衛生學系副教授。

總有機碳分析儀

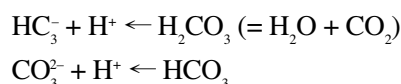
Total Organic Carbon (TOC) Analyzer

關鍵字：總有機碳、高溫氧化法、過硫酸 UV 氧化法、濕式氧化法、封管式測定法、非散式紅外線偵測器

Keywords：total organic carbon, combustion, persulfate-ultraviolet oxidation, wet-oxidation, ampule, NDIR detector

一、基本原理

機碳在水或廢水中的組成相當複雜且多樣化，某些碳的氧化物可以藉著生物性或化學性的方法分解之，而以生化需氧量 (BOD) 及化學需氧量 (COD) 表示之，但整體而言，COD 及 BOD 的數據並不足以代表總有機碳在水或廢水中的數據，而總有機碳 (total organic carbon, TOC) 確可以藉一些相關的經驗法則估算出與 COD、BOD 之相關性，求取總有機碳之主要方法是將複雜的有機碳鍵結分解成較單純的組成份 CO_2 ，再以紅外吸收法定量。無機碳方面，一般無機碳低於 pH 3.0 時，即轉換成 CO_2 釋出，化學式如下：



因此在測定總有機碳前，一般均加入適量之磷酸使其 pH 值低於 3，再以曝氣方法將 CO_2 釋出以 NDIR 分析 TIC 值，一般較常用的方法有五種，(1) 高溫氧化法、(2) 過硫酸搭配紫外光氧化法、(3) 100 °C 下過硫酸氧化法、(4) 紫外光氧化法，及 (5) 封管測定法。

1. 高溫氧化 (combustion) 法

(1) 公告的認定方法

1. EPA Method：415.1, 9060
2. ASTM Method：D2579
3. Standard Method：5310B (old 505A)
4. AOAC Method：33.044

(2) 測試原理

待測水樣導入高溫槽，在 680–950 °C 溫度下，將所含碳素氧化成 CO_2 氣體，再經由非分散性紅外線偵測器 (NDIR) 加以檢測。但此所得結果僅為總碳化合物 (total carbon, TC)，故必須要將總無

機碳化合物 (total inorganic carbon, TIC) 去除，才能得到總有機碳化合物 (TOC) 的數值。TIC 的去除方法是藉由加酸於水樣中，將無機碳轉換成 CO_2 後，以鈍性氣體將 CO_2 帶至 NDIR 處偵測。最後將所得的 TC 值減去 TIC 值，就得 TOC 的結果。

優點：(1) 分析快速，(2) 低用藥量，(3) 可做高濃度 TOC 的分析，(4) 可氧化不易分解的有機碳化合物。

缺點：(1) 分析低濃度有機碳 (< 1 ppm) 時，其結果不準確。(2) 無法直接分析 TOC，必須以 TIC 的方式求得結果，易產生計算上的誤差。(3) 高空白值，(4) 易受氯鹽干擾，(5) 遇有高溫的溶解固體或鹽類分析時，需經常保養、清潔。

2. 過硫酸搭配紫外光氧化法 (persulfate-ultraviolet oxidation)

(1) 公告的認定法

1. EPA Method：415.2, 9060
2. ASTM Method：D4779, D4839
3. Standard Method：5310 C (old 505B)

(2) 測試原理

待測水樣先經酸化，將無機碳轉換成 CO_2 氣體，以鈍性氣體將所產生的 CO_2 氣體趕出或帶至 NDIR 處偵測，再將酸化後的水樣導入反應槽，藉由過硫酸鹽氧化及紫外光照射分解，將所含的有機碳氧化成 CO_2 氣體，以 NDIR 偵測。

優點：(1) 低濃度 TOC 分析時，有很高的靈敏度，(2) 精確度高，(3) 在許多應用方面，有很好的驗證性，(4) 低空白值，(5) 直接讀取 TOC 值。

缺點：(1) 易受顆粒或濁度因素的干擾，(2) 大於 0.2 μm 的顆粒，不易被氧化完全，(3) 無法

分析高濃度 TOC，(4) 高濃度氯常會影響紫外光分解的效果。

3. 100 °C 下過硫酸鹽氧化法又稱濕式氧化法 (wet-oxidation)

(1) 公告的認定法

1. EPA Method : 415.1, 9060
2. ASTM Method : D4779, D4839
3. Standard Method : 5310D (old 505 C)

(2) 測試原理

待測水樣導入反應槽後，先加酸液使 TIC 轉化成 CO₂ 氣體，以鈍性氣體將之趕出或帶至 NDIR 處偵測，接著反應槽升溫至 90 °C - 100 °C 溫度，再加入過硫酸鹽做為氧化劑，將酸化水樣中的有機碳轉化成 CO₂ 氣體，以 NDIR 做偵測。

優點：(1) 低濃度 TOC 分析時，有很高的靈敏度，(2) 精確度佳，(3) 驗證性好，(4) 無需經樣品的前處理步驟，即可進行含有氯鹽及懸浮固體水樣的分析，(5) 受鹽類及粒子干擾低，(6) 直接讀取 TOC 值，(7) 對不易分解的有機碳化合物，亦有不錯的量化驗證性，(8) 低空白值，(9) 對有機化合物，有較高的驗證性。

缺點：(1) 高濃度 TOC 分析時，僅達約 98 %，(2) 無法完全氧化石墨、木質素等特定化合物。

4. 紫外光氧化法 (UV oxidation)

(1) 公告的認定法：無

(2) 測試原理

僅靠紫外光照射分解，將待測水樣中的有機物氧化成 CO₂ 氣體，以 NDIR 做偵測或者測量電導度大小的改變。

優點：(1) 能做即時 (real time) 的 TOC 分析，(2) 由於無藥品使用，低保養清潔，故操作費用低。

缺點：(1) 氧化效率差，(2) 易受照射波長及光強度改變的影響，(3) 水樣中含有大量氯鹽、濁度、顆粒時，常會延緩反應時間，(4) 對複合有機物的氧化甚緩，或根本沒有氧化效果。

5. 封管式測定法 (ampule)

此法多用於粉狀或固態樣品之測定，一般以 10 mL 之 ampule 管，加入過硫酸鹽氧化劑，再經由氧氣之曝氣 (purge) 除掉無機碳及室溫狀況下之二氧化碳，再以火焰密封之，此後於 95 °C - 100 °C 下加熱約 30 分鐘，以將有機碳氧化成 CO₂ 再萃取 (trap) 入高分子篩萃取器 (molecular sieve trap) 存取，再經由快速之加熱釋出 CO₂ 以 NDIR 分析之。

二、結構示意圖

總有機碳分析儀其結構如圖 1 所示。

三、儀器規格與特徵

一般市面上之 TOC 分析儀其原理均不泛高溫法、UV 法、濕式氧化法之範疇，而固體、粉狀、膠狀之樣品，則必須採封管式測定法 (如 O. I. A 公司之 Solid TOC) 其效率依樣品之 TOC 範圍各有其適用性，其比較如表 1。

因此選擇一部適用的 TOC 分析儀至少需具有下列特性：

1. 可同時偵測出 TOC、TIC、TC。
2. 由於 NDIR 偵測器對 CO₂ 之偵測相當靈敏，因此在偵測器 (detector) 之選用上最好能為 NDIR 偵測器。

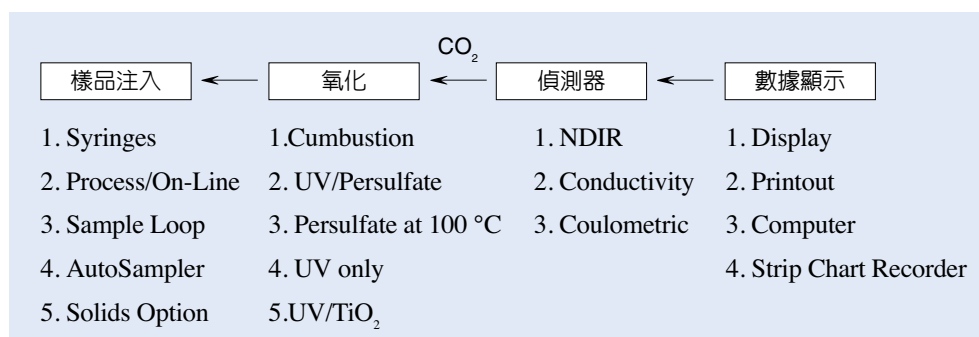


圖 1. 總有機碳分析儀的分析結構圖。

表1. 不同分析原理之 TOC 分析儀的應用比較。

| 方法 | 適用濃度範圍 |
|--|---|
| 1. 燃燒法 (combustion) | Medium to High Levels (200 ppbC – 4000 ppmC) 適用於廢水及高濃度分析 |
| 2. 濕式氧化法 (persulfate at 100 °C) | Low to Medium Levels (2 ppbC – 125 ppmC) 適用於飲用水源之較低濃度分析 |
| 3. UV 法 | Low Levels (1 ppbC – 10 ppmC) 適用 on-line 監測之設備 |
| 4. UV/persulfate | Low to Medium Levels (20 ppbC – 100 ppmC) |
| 5. 封管式測定法 | 100 ppbC to 100 %C 適用於固體、粉狀、膠狀之樣品 |
| 註：美國 O.I Analytical 之 TOC1010 (濕式氧化法)，若採注射器樣品注入可達 10,000 ppmC。 | |

表2. 一般樣品之 TOC 值範圍及適用法。

| 樣品 | 濃度 | 適用方法 |
|--------|------------------|--|
| 蒸餾水 | 100 – 200 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 純水 | 10 – 200 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 鍋爐用水 | 1 – 200 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 半導體用水 | 0.5 – 200 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 製藥業 | 50 – 500 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 飲用水 | 0.5 – 5 ppbC | 過硫酸 UV 氧化法及濕式氧化法 |
| 河川、湖泊水 | 0.5 – 5 ppbC | 高溫氧化法及濕式氧化法 |
| 地下水 | 0.4 – 10 ppbC | 高溫氧化法及濕式氧化法 |
| 海水 | 0.3 – 2 ppbC | 濕式氧化法 (UV 及高溫氧由於 Cl ⁻ 之干擾不適用) |
| 廢水 | 100 – 10000 ppbC | 高溫氧化法 |
| 固體樣品 | ----- | 封管式測定法 |

3. 樣品之注入最好能有多功能選擇，如：注射器 (syringes)、自動採樣器 (autosampler)、樣品管線 (sample loop)。
4. 自動偵測樣品管線之樣品注入量及適當之樣品量調整。
5. 能提供事後數據之統計分析，並能接個人 PC，且最好是在 Windows 環境下作業之軟體。
6. 能具自動潤濕 (rinse) 樣品功能，並排出。
7. 設備空間不要太大、太笨重。
8. 自動採樣器之樣品注入，可完全與主機連線，並能由主機全功能控制。
9. 可提供先前資料之貯存功能。
10. 固態及粉狀、膠狀樣品之設備必須選擇封管式

測定法 (ampule) 法測定，不適用其他方式。

四、應用與用途

TOC 值可作原水或廢水中之污染指標。表 2 為一般樣品之 TOC 值範圍及適用法。

參考文獻

1. *Standard Method for the Examination of Water and Waste*, 18th ed., Wather.
2. *Total Organic Carbon Analyzer Operating Procedure and Service Manual*, O. I. Corporation Model 1010.
3. *Total Organic Carbon Analyzer Operating Procedure and Service Manual*, O. I. Corporation Model 1020.

作者：蕭逸群先生現任今日儀器股份有限公司企劃部。

加速溶劑萃取儀

Accelerated Solvent Extractor (ASE)

關鍵字：加速溶劑萃取儀、靜態模式萃取、動態模式萃取

Keywords：accelerated solvent extractor, static mode extraction, dynamic mode extraction

一、基本原理

加速溶劑萃取之主要原理係在密閉的固定容器內，升高壓力則萃取溶劑之沸點亦隨之提高，使得萃取程序能在高於正常溶劑沸點之溫度，而溶劑仍維持液體狀態的狀況下進行。此方法可大幅提高萃取效益，其萃取模式與一般傳統索氏萃取類似，但萃取時間僅需 5–30 分鐘，且萃取溶劑只需 5–45 mL，與傳統索氏萃取方式相較，時間更為經濟，溶劑使用量更少。

加速溶劑萃取是近幾年才發展的萃取技術，其反應機制至今尚未提出特定理論，至目前為止之文獻報導，大都趨向以溶解作用、表面平衡破壞、質量轉移等基本萃取現象為主要的研究來探討有關加速溶劑萃取原理，分別說明如下。

1. 溶解作用

加速溶劑萃取之特性即是高溫溶解，實際操作時係利用提高壓力而使萃取溫度能高於正常沸點之溫度來進行萃取。簡言之，待測物和溶劑間之平衡分佈，因高溫而加速待測物往溶劑相分佈。以熱力學作用過程而言，溶解作用通常伴隨下列四種過程之淨自由能變化：

- A、溶劑分子和溶劑分子間之交互作用力消滅。
- B、待測物分子和待測物分子之交互作用力消滅 (cohesiveness)。
- C、溶劑分子和待測物分子間之交互作用力。
- D、待測物分子與溶劑分子，混合過程之熵 (entropy)。

若以 ΔG 代表熱力學過程之淨自由能變化值， ΔS 代表熱力學過程之淨熵值，則以 A、B 項而言， $\Delta G > 0$ ；而 C、D 項 $\Delta G < 0$ ， $\Delta S > 0$ 。故溶解作用是否自然發生之條件，繫於 C 項淨自由能變化是否足以抵消 A、B 項。加速溶劑萃取過程所涉

及之高溫環境即可改變 A、B 與 C 項等所描述的效應，此將有利高溫溶解作用自然發生。再者，高溫溶解作用可增加含水基質之萃取效率。基質若含有水份時，在常溫常壓下易形成水膜 (water-seal pore) 將待測物圍住，而阻隔有機溶劑與待測物接觸，但這種現象可在加速溶劑萃取環境獲得改善，其高溫有利於水對有機溶劑的溶解度，同時在超高壓下，使得溶劑較易進入水膜，完成萃取功能。

2. 表面平衡的破壞

待測物和基質間之交互作用，如凡得瓦爾力、氫鍵、偶極-偶極、分佈效應 (dispersion) 與基質活性間之交互作用，均會因溫度之升高而減弱。加速溶劑萃取過程所提供之熱能亦可提供脫附 (desorption) 過程所需之活化能，破壞待測物和待測物間之交互作用和待測物和基質間之交互作用 (adhesiveness)，所以萃取效率自然提高。

溶劑的黏滯性 (viscosity) 和表面張力 (surface tension)，會因溫度的提高而降低。溶劑若具有低黏滯性和低表面張力，則其滲透性 (penetration) 越佳，潤溼 (wet) 基質的能力越好，加速溶劑萃取法可提供此作用之足夠溫度。另外再加上上述的高壓條件，溶劑更易進入基質內部，溶劑與待測物接觸的機會可因而提高，萃取效果自然增加。

3. 質量轉移

典型加速溶劑萃取之質量轉移包含三個步驟：待測物從基質核心擴散到基質表面，待測物從基質表面再轉移至萃取液，導入新鮮之溶劑將萃取液流洗到收集瓶，整個質量轉移過程之快慢取決於分子擴散 (diffusion)，而分子擴散與待測物、基質、溶劑和溫度等等因素，均有密切的關係。溫度愈高，待測物從基質核心擴散至基質表面之轉移速率愈

快；而基質表面和待測物間之交互作用，也會因溫度升高而減弱；溫度愈高，待測物對溶劑的溶解度愈大，亦即，待測物趨向於從基質表面往萃取液擴散。若質量轉移的效益為待測物從基質核心擴散到基質表面，則較長時間的靜態模式 (static mode) 萃取可增加萃取效率。若萃取效益側重於待測物從基質表面轉移至萃取液，則動態模式 (dynamic mode) 萃取較為有利。若在萃取前將基質顆粒磨細 (<2 mm) 或加入一些膨脹劑 (swelling agents)，均可加速擴散速率，使質量轉移更有效率。

一般加速溶劑萃取模式可分為三種，即靜態模式萃取、動態模式萃取，以及包括靜態和動態的混合型萃取，說明如下。

1. 靜態模式萃取

樣品在超高壓及高溫的條件下，以溶劑進行萃取，其萃取過程，並無新鮮溶劑的加入和排出，直至萃取系統之平衡達到一定程度後，再以新鮮溶劑快速流洗萃取液，最後並以氮氣吹出殘餘在基質上之溶劑。靜態模式萃取之特色可令待測物有充分的時間從基質核心擴散至基質表面，萃取溶劑的使用量非常少是其優點，但也可能因溶劑使用量少，造成萃取效率不理想。

2. 動態模式萃取

樣品在超高溫、高壓的條件下，以溶劑進行萃取，但在萃取過程中不斷地導入新鮮溶劑至萃取槽以置換萃取液，直至萃取完成後，再以氮氣吹出殘餘在基質上之溶劑。動態萃取之原理類似 HPLC，基質可視為固定相，萃取溶劑視為移動相，而溶劑 (移動相) 將吸附在基質 (固定相) 表層的待測物沖提至收集瓶，因不斷地導入新鮮溶劑，基質表面和萃取液間易形成濃度差而加速質量轉移。但若待測物被包含於基質核心或待測物含量極微，均不利於動態萃取，且溶劑使用量較多是其另一缺點。

3. 靜態和動態混合模式萃取

混合式萃取包含靜態和動態兩種模式，基質樣品以靜態模式萃取一段時間後，再以幫浦控制新鮮溶劑以一定的流速導入萃取槽而進行動態模式萃

取。混合模式萃取可以利用動態模式萃取彌補靜態模式萃取因溶劑使用量太少而導致萃取不理想之缺點，而且也可利用靜態模式萃取來彌補有些待測物因留在基質核心無法以動態模式萃取之問題，此種混合模式應是最具實用價值的萃取方式。

二、結構示意圖

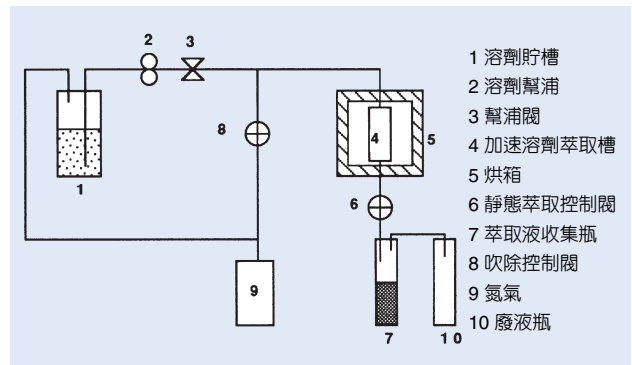


圖 1. 加速溶劑萃取結構示意圖。

加速溶劑萃取最大之優點係操作簡單，又可沿用與原傳統系統所使用之萃取溶劑。加速溶劑萃取之構成示意如圖：先將樣品基質置於萃取槽中，在設定的溫度下，將溶劑導入萃取槽以完全充滿整個萃取槽，隨後利用高溫環境與微處理回饋閥件，控制氮氣壓力以維持系統設定之高壓狀態，進行設定時間之靜態、動態或混合型萃取 (依機器配備而定)，適當時間後，以新鮮溶劑置換萃取液，流洗之萃取液自動導入收集瓶中，最後以氮氣將萃取槽基質中之萃取液吹出。

三、儀器規格與特徵

目前應用加速溶劑萃取技術者，多以商業產品和自行組裝為主。商業化加速溶劑萃取型式，僅有 Dionex 公司生產 Dionex-ASE200 全自動加速溶劑萃取機，可自動進樣 24 件，約在 10 小時之內完成萃取，其萃取溫度範圍 35 °C – 200 °C，萃取壓力範圍為 (500 psi – 3000 psi)，依樣品數量多寡可選用 11 mL、22 mL、33 mL 等萃取槽。儀器本身並設計溫度、壓力、溶劑外漏等安全考量之自動感應顯示器和警告聲，可告知操作者機器之運作狀況，甚至有系統關閉裝置以保護儀器和操作者。最新之

表1. 加速溶劑萃取之應用和其操作之參數表。

| 待測物 | 基質 | 溶劑 | 溫度 (°C) | 壓力 (psi) | 時間 (min) |
|----------------------------|----------------------------|--|---------|----------|----------|
| PAHs | Clay Loam, Sediment, Soil, | Acetone/DCM | 100 | 1500 | 10 |
| | Urban Dust, Solid | Cyclohexene/THF/MeOH | | | |
| PCBs | Tissue Sample | Isooctane | 100 | 2000 | 10 |
| | Sewage Sludge | Hexane/Acetone | 100 | 2000 | 10 |
| Organophosphorus Pesticide | Soil | Acetone/DCM | 100 | 2200 | 12 |
| | Food | Ethyl Acetate | 100 | 1500 | <20 |
| Organophosphorus Herbicide | Soil | Acetone/DCM 4 % Phosphoric acid-Water | 100 | 2200 | 12 |
| Phenols | Soil | Acetonitrile | 70 | 1800 | 15 |
| TPH | Soil | Perchloroethylene | 100 | 1500 | 10 |
| BNA | Soil (Clay, Loam, Sand) | Acetone/DCM | 100 | 2000 | 10 |
| PCDDs/PCDFs | Fly Ash, Soil, Sediment, | Toluene, Toluene/THF, Toluene/Hexane/MeOH | 195 | 2500 | 30-45 |
| | Chimney Brick, Urban Dust | Toluene | | | |
| Gasoline | Sand | DCM | 100 | 1500 | 10 |
| BTEX | Sand | DCM | 100 | 1500 | 10 |
| Monomers, Oligomers | Polymeric | Hexane | 150 | 2900 | 10 |

Dionex-ASE200 機型可以加裝類似 HPLC 的多種溶劑進樣控制模組，可同時選用不同溶劑或複方溶劑，此將對於待測物與基質應用上更具選擇性。Dionex-ASE200 萃取操作主要是先加熱萃取槽 (pre-heat) 再導入溶劑進行設定時間之靜態模式萃取，在設定時間到達後，導入新鮮溶劑置換原來部份萃取液 (如同有限程度之動態萃取)，再進行設定時間靜態模式萃取。

自行組裝的加速溶劑萃取儀可使用 HPLC 幫浦等配件組裝，依實驗需要設計成動態、靜態或混合形式萃取等模式。萃取槽大小也可自行設計，以符合實際需要。便宜且可塑性大為其主要優點，但其缺點是一次只能萃取一個樣品，且無自動安全偵測裝置，在超高壓和高溫度操作條件下，需格外謹慎小心，以免發生意外。

四、應用及用途

加速溶劑萃取與一般改良式或傳統萃取相比，主要特色是速度快、效率高、溶劑使用量少，且可沿用與一般傳統萃取相同溶劑系統。但因其在高溫

和高壓的條件下萃取，待測物是否會導致非預期反應 (如衍生或分解等)、基質是否會溶解而阻塞管路等等問題均需詳加注意。加速溶劑萃取可應用的範圍很廣泛，如環境、食品、天然物、聚合物，甚至實驗器材預處理之清洗等等。表 1 所示為有關加速溶劑萃取之應用和其操作參數。目前國內應用加速溶劑萃取技術的實驗室或研究單位已有環保署環境檢驗所 (Dionex-ASE200)、師大化學系吳家誠教授 (自行組裝) 和成大桂椿雄教授實驗室 (自行組裝) 等。

參考文獻

1. B. E. Richter, B. A. Jones, J. L. Ezzell, N. L. Porter, N. Avdalovic, C. Pohl, *Anal. Chem.*, **68**, 1033 (1996).
2. H. G. Jansseon, X. Lou, C. A. Cramers, *Anal. Chem.*, **69**, 1598 (1997).
3. 王文珊, 鍾仁棋, 沈一夫, 許梓文, 加速溶劑萃取方法在戴奧辛分析應用研究 (一) 適用性研究, 行政院環境保護署環境檢驗所環境調查研究年報, 第 5 號.

作者：王文珊女士為國立成功大學化學碩士，現任行政院環境保護署環境檢驗所薦派副研究員。

微波萃取設備

Microwave Extraction System

關鍵字：微波萃取、環境分析、樣品前處理

Keywords： microwave extraction, environmental analysis, sample pretreatment

一、基本原理

微波萃取是指在密閉容器內受微波加熱之有機溶劑直接與樣品接觸，將分析物從樣品中萃取而出的過程。微波萃取是較新的有機分析前處理技術，傳統上常用索氏萃取裝置是最簡單的固體樣品萃取設備，雖僅需要極少的人力，但通常需要較長 (16 小時以上) 的萃取時間。微波是一種磁波形式，與一般可見光類似，其頻率通常設定為 300 至 300000 百萬赫茲 (MHz)，無法激發電子及改變分子的結構。但具有電偶極 (dipole) 的分子在微波電磁場下依電磁場極向而排列 (如圖 1)，微波電磁場又隨頻率快速地改變其極向，亦即每秒完成 30 億至 3000 億次，因此吸收微波的分子隨著快速轉

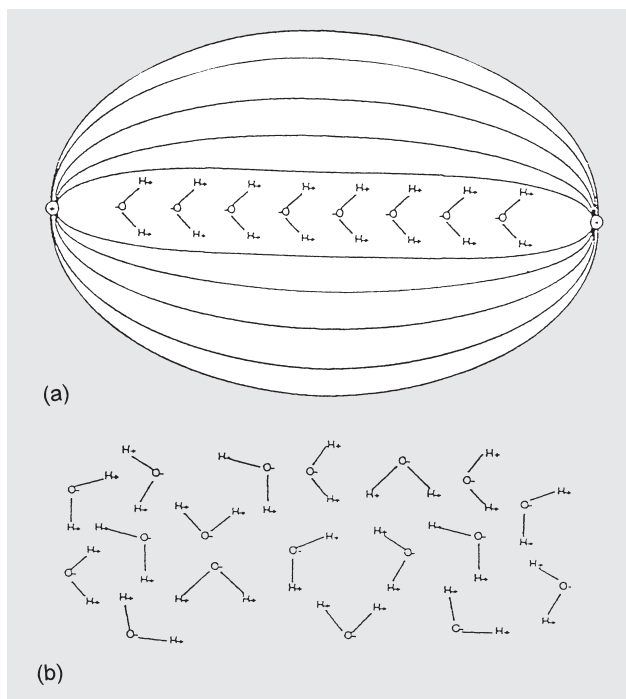


圖 1. 水分子在微波電磁場之排列方式，(a) 極性分子受電磁場影響排列整齊，(b) 無電磁場影響時，水分子呈散亂狀。

表 1. 有機溶劑之分子偶極矩和介電常數。

| 溶劑 | 偶極矩 | 介電常數 |
|---------------------------|------|-------|
| Acetone ¹ | 2.77 | 20.7 |
| Benzene ¹ | 0.00 | 2.27 |
| Cyclohexane ¹ | 0.00 | 2.02 |
| Ethanol ¹ | 1.71 | 25.00 |
| Acetonitrile ¹ | 3.47 | 37.50 |
| Hexane ¹ | 0.00 | 1.89 |
| Methanol ¹ | 1.68 | 33.62 |
| Methylethyl Ketone* | 2.76 | 18.51 |
| Methylene Chloride* | 1.14 | 8.93 |

¹Lang's Handbook of Chemistry, 14th ed., McGraw Hill, Inc., New York (1992).

*Burdick to Jackson Laboratories Solvent Handbook.

表 2. 各種溶劑在密閉系統之沸點比較。

| 溶劑 | 沸點 (°C) | 密閉系統內沸點 (°C) (175 psi) |
|---------------------------------|---------|------------------------|
| Dichloromethane | 39.8* | 140 |
| Acetone | 56.2* | 164 |
| Methanol | 64.7* | 151 |
| Hexane | 68.7* | — |
| Ethanol | 78.3* | 164 |
| Cyclohexane | 80.7* | — |
| Acetonitrile | 81.6* | 194 |
| 2-Propanol | 82.4* | 145 |
| Petroleum Etjer | 35—52* | — |
| Acetone:Hexane 1:1 v/v | 52 | 156 |
| Acetone:Cyclohexane 70:30 v/v | 52 | 160 |
| Acetone:Petroleum Ether 1:1 v/v | 39 | 147 |

¹Lang's Handbook of Chemistry, 14th ed., McGraw Hill, Inc., New York (1992).

*indicated no heating in a microwave

動，引起分子碰撞，因而提高其溫度，即一物質若吸收微波，其溫度會升高，其加熱速率與其介電損失因數 (dielectric loss factor) 有關。

在微波萃取過程中因為採用密閉容器，加熱時可保持較高之壓力，萃取溫度亦隨之增加，因此萃取時間大為縮短。但是，在萃取時常使用的有機溶劑如苯、己烷等電偶極為零，微波可完全穿透，不適合使用。丙酮、二氯甲烷等較高的電偶極和介電常數極為適合此設備 (表 1)，一般使用此萃取設備時須考慮使用極性溶劑，方能達到微波加熱萃取的效果。微波萃取設備主要關鍵在於密閉容器的設計，將樣品及溶劑放置於萃取瓶為一密閉容器，耐壓可達 175 psi，在此壓力下溶劑沸點提升很多 (參見表 2)，以微波加熱下高溫萃取，使分析物自樣品中分離及進入溶劑的速率加快，萃取時間大為縮短至幾分鐘。一般微波萃取樣品量為 1-10 克，所需的溶劑 5-50 毫升左右。

二、結構示意圖

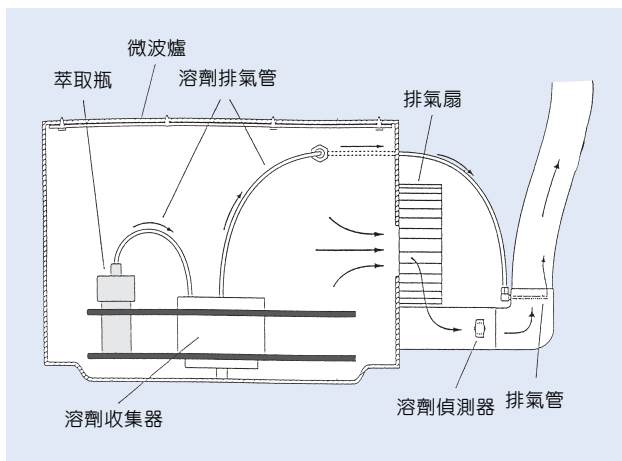


圖 2. 微波萃取設備示意圖。

微波萃取設備 (圖 2) 包括一微波爐，爐內最多可連接 12 萃取瓶 (圖 3)，當萃取瓶中有機溶劑外洩時，有排氣裝置可將洩漏之氣態溶劑排出微波爐外，避免產生爆炸危險，並裝設溶劑偵測器，可監測微波爐內及四週之有機溶劑。微波功率可調整 0-100%，萃取內瓶及狹蓋材質均為鐵扶龍 (teflon)，其他配備有光纖熱感探針作為溫度及壓力控制之用。

三、儀器規格與特徵

目前商業化的微波萃取設備型式不多，主要的規格差異在微波功率及安全控制系統。普通家用微波爐並不適宜使用，因為缺乏溫度及壓力控制系

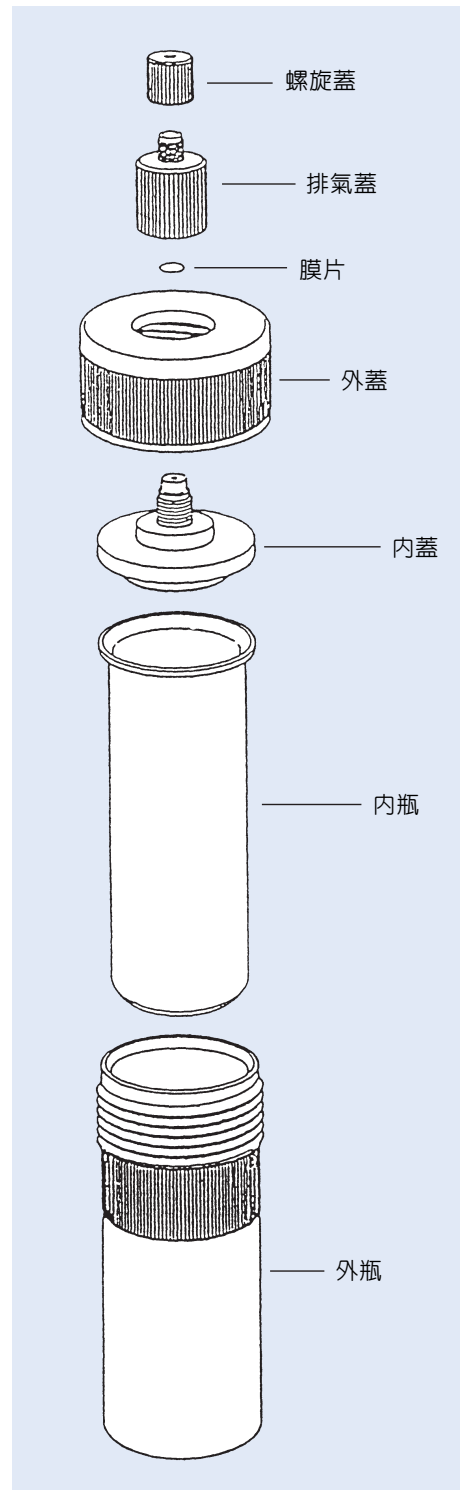


圖 3. 萃取瓶細部結構圖。

統，即溫度超過 200 °C 時或壓力超過 200 psi 時，微波產生器自動關閉。另外，溶劑偵測器一旦感應溶劑存在，整個設備自動停機。微波升溫條件可任意設定為單一或多重升溫速率，並且貯存於微電腦內。微波萃取設備可同時處理 12 個樣品，萃取時間只需 3–20 分鐘，萃取回收率與傳統萃取方法相當，溶劑消耗約 10–50 毫升。

四、應用與用途

微波萃取可應用範圍頗廣，包括環境樣品，如土壤、沉積物、淤泥及飛灰等萃取農藥，多環芳香烴 (PAH)、總石油烴 (TPH)、多氯聯苯 (PCB) 等；食品樣品，如膽固醇、脂肪酸及黴菌毒素等之萃

取；塑膠、橡膠及紡織品等，如抗氧化劑、著色劑及穩定劑等添加物之萃取；及化學合成上的應用。

參考文獻

1. J. R. J. Pare, J. M. R. Belanger and S. S. Stafford, *Trends in Anal. Chem.*, **13**, 176 (1994).
2. V. Lopez-Avilla, R. Young, J. Benedicto, P. Ho, and R. Kim, *Anal. Chem.*, **67**, 2096 (1995).
3. E. I. Onuska and K. A. Terry, *Chromatographna*, **36**, 191 (1993).
4. V. Lopez-Avila, J. Benedicto, C. Charan and R. Young, *Environ. Sci. Technol.*, **29**, 2709 (1995).

作者：許道平先生為美國喬治亞大學分析化學博士，現任淡江大學水資源及環境工程研究所環境化學組副教授。

土壤粒徑分析儀

Soil Particle Size Analyzer

關鍵字：粒徑分析儀、雷射繞射、震盪搖篩機、音波篩選機

Keywords： particle size analyzer, laser diffraction, vibratory sieve shaker, sonic sieve shaker

一、基本原理

土壤粒徑分析儀之分析原理，基本上是利用雷射繞射原理來測定不同土壤粒徑大小的分佈（一般測定之土壤顆粒大小多在 600 或 1250 μm 以下）。氦-氬雷射光源在某一角度下通過不同之土壤粒子後，各平行的雷射光束碰到不同粒徑大小之顆粒，因其不同之形狀會產生不同之繞射，可用偵測器加以偵測。偵測器內之聚光鏡片會將不同大小之散射光聚集在不同大小之光環上，且以感應器加以記錄其不同大小光環之傅立葉光譜 (Fourier Spectrum)。而不同土壤粒徑大小的分佈可透過 Fraunhofer 或 Mie 理論之複雜的數學計算公式計算出來。

商業化的土壤粒徑分析儀，是用氦-氬雷射作光源（使用電力為 3 mW，波長為 632.8 nm，其光束直徑約 0.8 到 20 mm），當其穿過不同大小土壤顆粒時，就產生不同之繞射光環，可用感應器加以接收及偵測，並將資料傳至電腦作統計與分析。

依據雷射繞射原理，利用公式 (1) 可以計算其不同土壤顆粒大小之分佈。

$$d = 1.84 \frac{\gamma}{\pi \sin \theta} \quad (1)$$

$$\tan \theta = \text{感應器半徑} / \text{焦距長度} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \tan \theta = \theta \quad (\text{在 } \theta \text{ 很小時}) \quad (3)$$

其中 d ：土壤顆粒直徑

γ ：偵測器 (或感應器) 之半徑

λ ：雷射波長

θ ：雷射光束入射角 (通常很小)

以 (2) 式及 (3) 式代入 (1) 式，可得到

$$d = \frac{1.84 \lambda \times \text{焦距長度}}{\pi \times \text{感應器半徑}} \quad (4)$$

如為氦-氬雷射光源，此時 (4) 式則為

$$d = (0.371 \times \text{焦距長度}) \div \text{感應器半徑} \quad (5)$$

由此可知，在感應器半徑固定的情況下，土壤顆粒大小與焦距長度成正比。因此，在儀器操作上，可調整不同的焦距以測量不同的土壤粒子大小範圍。

一般土壤粒徑分析儀之分析結果，可測定之土壤顆粒大小大多在 600 或 1250 μm 以下，在電腦上可作下列粒徑大小之分析：(1) 不同粒徑大小含量成分之累積分佈圖，(2) 不同粒徑大小的相關統計分析，如粒徑大小之平均值、中數值、標準偏差及其他相關統計分析，與 (3) 某一顆粒大小範圍之百分比等，非常方便。

土壤顆粒大小之定義為小於 2 mm 之粒子，因此對於想測定大於 600 或 1250 μm 之土壤顆粒，則必須再配合使用震盪搖篩機 (vibratory sieve shaker)，可篩選 5-400 mesh (約 4 mm 至 40 μm 之土壤顆粒大小) 或 5 至 100 μm 之土壤顆粒大小。或再配合使用音波篩選機 (sonic sieve shaker)，可篩選 5.6 mm 至 5 μm 之土壤顆粒大小。

二、結構示意圖

1. 土壤粒徑分析儀

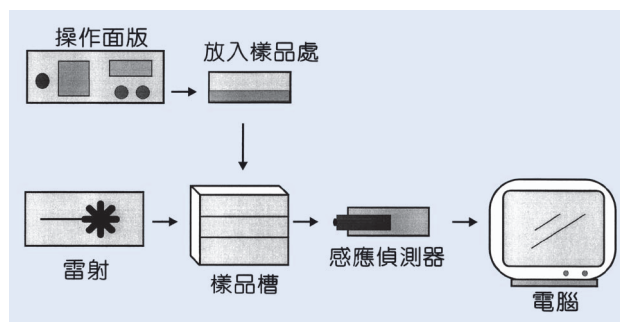


圖 1. 土壤粒徑分析儀的結構圖。

一般土壤粒徑分析儀包括下列各單元：

(1) 操作面版 (控制樣品之輸送馬達、攪拌樣品，及

使用超音波分散粒子等)。

- (2) 放入樣品處 (original samples) 及其水槽。
- (3) 雷射光束 (laser beam) 產生處。
- (4) 被送入之樣品槽 (sample cell) 及其連接管。
- (5) 感應偵測器 (sensor)。
- (6) 電腦 (資料處理)。

2. 震盪搖篩機

震盪搖篩機的構造可分為下列幾個單元：

- (1) 不同顆粒大小之篩子 (最多 8 個)，以橡膠鋼絲固定。
- (2) 控制面板 (控制轉速及時間)。
- (3) 電腦 (資料處理)。

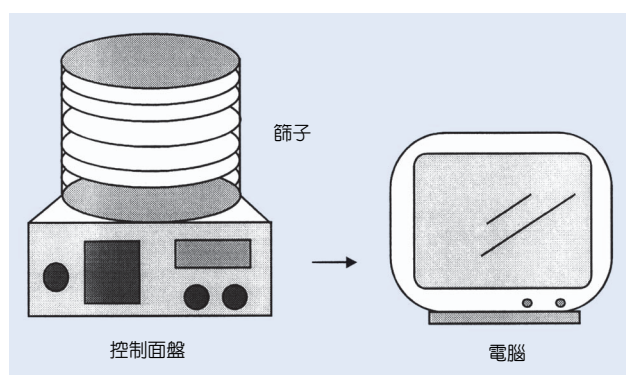


圖2. 震盪搖篩機的結構圖。

表2. 不同機型之土壤粒徑分析儀之規格及其優缺點。

| 型號 (FRITSCH 公司) | 粒子大小範圍 | 測定時間 (分鐘) | 樣品重量 (g) | 優點及缺點 |
|--------------------|------------------------|-----------|-------------------------|---------------------------------------|
| 22.102 (簡單型) | 0.3–300 μm | 1 | 0.2–1 g | 乾樣品才可測 最大測定粒徑為 300 μm |
| 22.122 (簡單型) | 0.3–300 μm | 1 | 在 200 mL 溶液中放 0.2–1 g | 最大測定粒徑為 300 μm |
| 22.905 (經濟型) | 0.1–600 μm | 1 | 在 400 mL 溶液中放 0.2–1 g | 最大測定粒徑為 600 μm |
| 22.295 (舒適型) | 0.1–1250 μm | 1 | 0.2–1 g | 乾樣品才可測 最大測定粒徑為 1250 μm |
| 22.590 (舒適型) | 0.1–600 μm | 1 | 在 400 mL 溶液中放 0.2–1 g | 最大測定粒徑為 600 μm |
| 22.610 (經濟型) | 0.1–600 μm | 1 | 在 100 mL 溶液中放 0.1–0.5 g | *微量樣品 最大測定粒徑為 600 μm |
| 22.630 (簡單型) | 0.1–100 μm | 1 | 在 1 mL 溶液中放 2 mg | *迷你型機器 最大測定粒徑為 100 μm |
| 22.980 (舒適型) | 0.8–1250 μm | 1 | 0.1–2 cm^3 | *乾樣品才可測 最大測定粒徑為 1250 μm |

三、儀器規格與特徵

以德國 FRITSCH 公司製造之土壤粒徑分析儀 Analysette No. 22 為例，基本上有三大類型，即 (1) 經濟型、(2) 舒適型，及 (3) 簡單型 (或小型)。其測定範圍簡示如表 1，大多在 1250 μm 以下。不同機型之規格與特徵及其優缺點，詳列如表 2。

表1. 不同機型之土壤粒徑分析儀之測定粒徑範圍。

| 型號 / 類別 | 土壤為濕的狀態 | 土壤為乾的狀態 |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 舒適型 | 0.1–1,250 μm | 0.8–1,250 μm |
| 經濟型 | 0.1–600 μm | --- |
| 簡單型 | 0.3–300 μm | --- |

從表 2 可以知道不同機型有不同的優缺點，主要的優點為：(1) 測定大範圍之土壤粒子大小，一般在 0.1–600 μm ，最大粒子可測至 1250 μm ，(2) 成本低，(3) 分散粒子效果良好，(4) 操作簡單、快速，(5) 有的型號可將樣品放在液體中測量，有的型號其樣品一定要乾燥成粒狀，(6) 所需樣品之重量一般在 0.2 至 1 克，但有的僅需 2 mg 即可。主要的缺點為：(1) 需小心的清洗。(2) 所需樣品太少時或針狀之樣品時，易造成大的誤差。(3) 篩選過程中如有樣品損失時，易造成大的誤差。(4) 小於 1 μm 之含量分析之準確性值得檢討。(5) 大於 600

μm 或 $1250\ \mu\text{m}$ 之樣品，需使用震盪搖篩機。

四、應用與用途

雷射土壤粒徑分析儀與一般土壤粒徑分析工作相比，其主要特色是：速度快、量少、固體及懸浮液體均可測定，由電腦程式控制操作簡單方便。它可應用於水泥、海水及河川水庫之底泥、砂粒、土壤、飛塵、塑膠、陶瓷、顏料、化學及各種鹽類、飛灰、乳化劑、肥料、礦石粉體、金屬粉體、各種粉體工業及粉體之研究。可研究不同物質及土壤粒子之粒徑大小分佈、成分組成等，非常快速方便。

參考文獻

1. Y. C. Agrawal, I. N. McCave, and J. B. Riley, *Laser Diffraction Size Analysis. In: Principles, Methods and Applications of Particle Size Analysis*, 119-128, New York: Cambridge University Press (1991).
2. M. Konert, and J. Vandenberghe, *Sedimentology*, **44**, 523 (1997).
3. Advantage Scientific, Inc., *Laser Particle Sizer (FRITSCH Analysette 22)*, Taipei, Taiwan (1997).
4. J. L. Loizeau, D. Arbouille, S. Santiago, and J. P. Vernet, *Sedimentology*, **41**, 353 (1994).

作者：陳尊賢先生為國立臺灣大學農學博士，現任國立臺灣大學農業化學系教授。

低背景加馬能譜分析儀

Low background Gamma Spectrum Analyzer

關鍵字：加馬能譜分析、鍺半導體偵檢器

Keywords： gamma spectrum analysis, germanium semiconductor detector

一、基本原理

目前加馬能譜分析的偵檢器有碘化鈉偵檢器與純鍺半導體偵檢器，但因為純鍺半導體偵檢器具有較佳的能量解析度 (resolution)，所以已成為主流。半導體偵檢器是在 60 年代發展出來的，它的特點有結構簡單、偵測效率高、能量解析度高、線性關係佳、操作方便。

半導體偵檢器的原理，是由於在半導體價帶中的電子，受到加馬射線的激發躍遷至傳導帶，變成自由電子，並在價帶中留下帶正電而可以移動的電洞。這些產生的電子電洞對則藉著電場方向，在二極體形成偵測輻射的訊號。一般在半導體中 p-n 接合處加逆方向的電壓，使得在半導體內的載體，因著電場的作用而離開，形成無載體的耗乏層 (depletion layer)，耗乏層的作用就像高電阻率的平行板游離腔一樣，很適合於用在偵測輻射。當輻射入射時，則產生與輻射動能成正比例的電子電洞對。這些電子電洞對受兩電極的吸引而產生電訊號。

近年由於鍺晶體純化技術的提升，已可使鍺晶體內所含的雜質僅為 10^{10} 原子/立方厘米。因此以純鍺晶體製作 p-n 接合的純鍺偵檢器已成為事實。而高純鍺半導體偵檢器也成為目前普遍使用的偵檢器。

高純鍺半導體偵檢器 (high-purity germanium (HPGe) detector) 由半導體結晶、前置放大器、液態氮容器構成。其中半導體結晶，是依據入射加馬射線與偵檢器的相互作用所產生的高速電子，而產生與其能量成比例的電荷。前置放大器的功能則是輸出與在偵檢器結晶中所產生電荷量成比例高度的信號。高純鍺半導體偵檢器可以儲存在室溫環境中，但在使用操作時，為了減低雜訊的干擾，提高對能量的解析度，故須操作在低溫下，所以需要液態氮容器來冷卻高純鍺半導體結晶便能正常工作。

二、儀器沿革

高純鍺半導體偵檢器因其有良好的能量解析度，在不需要化學分離等之下同時定量定性多數核種，已急速發展而普及成為低背景環境試樣中加馬核種的定性與定量分析儀器。

半導體偵檢器是六十年代以來得到迅速發展的偵測儀器。它的特點有能量解析度高、線性關係佳、脈衝上升時間短、結構簡單、偵檢效率高、偏壓低、操作方便。這使得半導體偵檢器在許多應用上漸漸取代碘化鈉閃爍偵檢器。

利用半導體來偵測輻射是美國貝爾實驗室在 1949 年首先提出的。當時發現，用磷銅絲壓在鍺塊上構成耐反向高壓的二極管，在受到阿伐射線照射時會有脈衝輸出，這說明這種二極管可以構成輻射偵檢器。

第一個做為半導體偵檢器的材料是金剛石，它在 1956 年便被使用。但因為它不易獲得、原子序太低、能量解析度不好，所以在 1958 年前後被加反向偏壓的鍺和矽擴散型半導體偵檢器所淘汰。

到了 1962 年，第一個鍺鋰漂移加馬偵檢器完成，關於加馬射線，鍺比矽有更高的偵測效率，所以鍺鋰偵檢器受到重視，迅速發展。

從 1966 年起，人們就開始對半導體偵檢器化合物的研究。到七十年代初期，所使用的化合物半導體材料有砷化鎵、碲化鎘及碘化汞。

1967 年起，關於鍺 (鋰) 偵檢器的效率研究實驗已經很少，因為當時已經能提供 ^{60}Co 1.33 MeV 加馬射線的能量解析度為 2 keV 的小平面鍺 (鋰) 偵檢器，及解析度優於 3 keV 的大體積同軸型偵檢器。對於低能量 X 射線，解析度也已經達到 200 eV 的程度。所以在電子線路上的改進已經比提高偵檢器的品質來得重要。之後，採用了前置放大器，系統的解析度可達到 140 eV，對於 ^{60}Co 的

1.33 MeV 加馬射線的解析度為 1.3 keV。

為了解決銻 (鋰) 偵檢器必須在低溫下工作與存放的問題，六十年代末期就開始研究高純銻材料，七十年代初就研製出高純銻偵檢器。之後得到很快的發展，現在已經能製造出性能與銻 (鋰) 偵檢器相當的高純銻偵檢器了。

材料的研發已趨成熟，但在如此多不同材料的偵檢器之中，存在著一個共同的問題，就是偵檢器的表面處理需要進一步解決。偵檢器的表面處理對其耐壓和漏電流的影響很大。它與選擇好的單晶材料一樣重要，是製造偵檢器的關鍵之一。而在這個問題上，高純銻偵檢器已做到表面保護。所以是目前受到普遍使用的偵檢器。

三、結構示意圖

加馬能譜分析儀，一般是由高純銻半導體偵檢器、電路、多頻道脈高分析儀、數據解析用電腦構成，如圖 1 所示。

其中高純銻半導體偵檢器為由銻半導體結晶、前置放大器、低溫恆溫器及液態氮容器構成。液態氮容器是為偵檢器的冷卻所設，若在偵檢器未冷卻的情況下施加高壓，會因結晶通過大的漏電流，而導致前置放大器的損壞，所以必須加裝此裝置。

在偵檢器內部是依據入射加馬射線與偵檢器的相互作用所產生的高速電子，而產生與其能量成正

比的電荷。在偵檢器結晶中所產生的電荷量，在經過前置放大器後，會得到一與電荷量成正比的信號。

為了將從前置放大器得到的脈衝信號，依照脈衝高度分類表示成能譜，顯示於 CRT 顯示器，我們需要多頻道波高分析儀。多頻道波高分析儀 (MCA) 是由類比數值轉換器 (ADC)、能譜記憶體顯示裝置構成。

前置放大器得到的脈衝信號，經由類比數值轉換器後，變成與其脈衝高度值成比例的數值量，也就是頻道值。再經由能譜記憶體，依脈衝高度 (頻道) 分別記憶信號的個數。

當使用高純銻半導體偵檢器時，一次的測定將得到 4096 或 8192 個不同頻道的大量計數資料。所以我們需要電腦來計算處理。加馬能譜解析裝置優先決定解析程式。決定軟體之後，再決定電腦的機種、記憶體的大小、硬碟機的容量、印表機等的周邊裝置。並非任何機型的波高分析儀皆能傳送數據到所選定的電腦，故須選擇能傳送資料的多頻道波高分析儀。

四、加馬能譜分析

高純銻半導體偵檢器的偵檢效率不如碘化鈉偵檢器，但具有良好的能量解析能力，故目前已大量使用於加馬能譜分析儀。因為具有極佳的能量鑑別

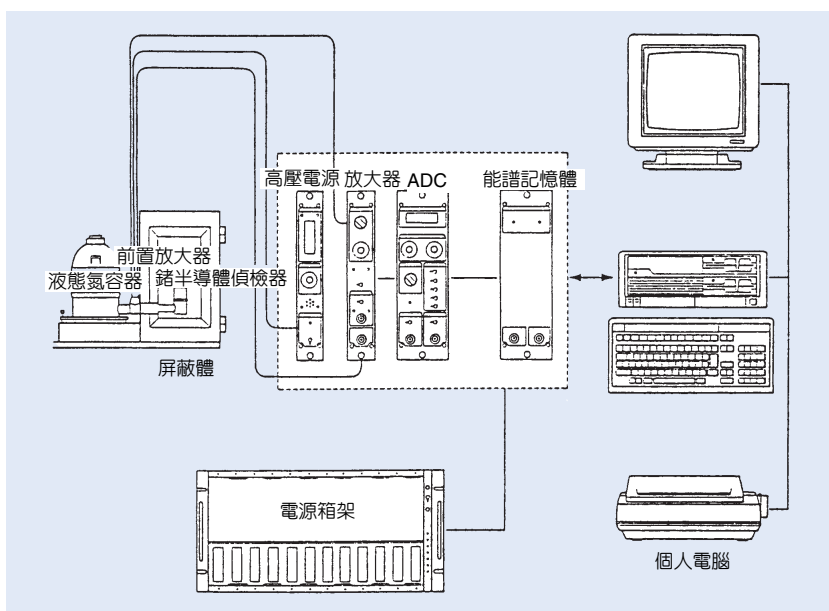


圖 1.
加馬能譜分析儀。

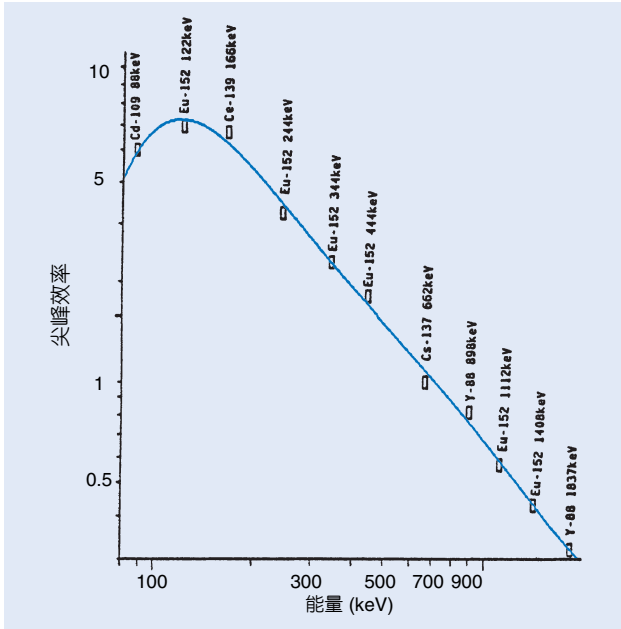


圖2. 高純鍺偵檢器能峰效率圖。

率，可以產生很高、很窄的能峰，不僅可以將兩條很靠近的能峰分開，而且可以將很微弱的射源，由很寬的背景值裡顯示出來，這樣就可以減少統計性雜波的干擾，而獲得良好的定性定量結果。

利用高純鍺半導體偵檢器偵測加馬能譜時，必須先對各個頻道的能量做精確的校正，通常是利用多能峰混合的標準射源對量測範圍內逐點的校驗。校正的精確性與整個系統能量的解析度、系統的穩定性及量測所需的時間均有很大的關係。若想要獲得加馬射線的絕對量，則必須先校正系統的偵測效率，一般量測系統的效率校正，多以已知活度的標準射源來完成，將每一能峰的活度由不同的加馬釋出率求之，再和所得能峰下面積比較，即可求出量測系統的效率。通常偵測效率隨能量不同而改變，故選用之射源必須能涵蓋低至高能量，才能精確地定出系統的校正曲線，以供以後進行偵測時定量用。

除了系統的能量、效率校正外，在分析樣品前，還須計測背景值，所得計測值經背景值修正後才是我們所欲測得的核種活度。

能峰下的面積是定量時的重要依據，是經由一連串統計理論的推導，而後積分求得。由於統計時主要假設為各能峰計數值成高斯分布，故能峰形狀成良好鐘型的話，所得值精確度越高。此外，能峰

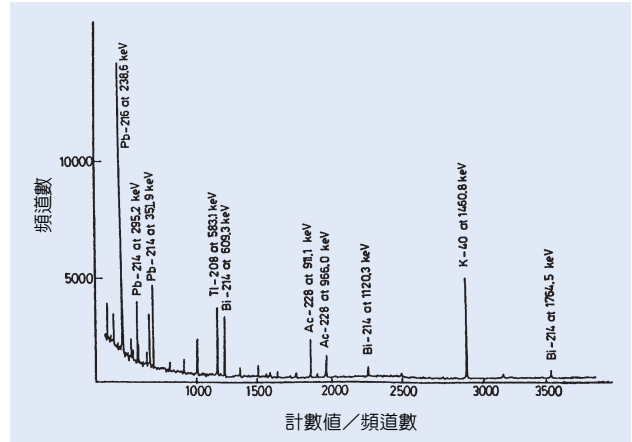


圖3. 岩石試樣的加馬能譜圖。

形狀良好與否，也關係到解析度的問題，一次偵檢結果的優劣可由能峰形狀一窺大概。

加馬能譜分析的軟體，可以自動分析能譜中的放射性核種，並分析在試樣中的含量，並可以自動作干擾分析，判斷出真正存在的核種。但是由於高純鍺半導體偵檢器的偵測效率不高，一些活度很低的核種容易被排除 這些都是在使用軟體時應該注意的。

在使用軟體分析加馬射線的能譜結果時，必須先建立常用的核種庫，將我們所感興趣的核種資料，如釋出輻射的種類、半衰期、能量等。接下來是利用標準財源的資料做能量校正以及效率校正，所得的能峰效率曲線圖如圖 2。效率曲線呈現如此的分布，是因為在低能量區，光子被金屬蓋的吸收率增加；而在高能量區，則因為加馬射線與偵檢器的相互作用減少，所以效率下降。之後再進行背景值的計測。得到能量校正曲線、效率校正曲線，以及背景值之後，我們便可以展開待測樣品的計測。

五、應用

環境試樣中能放出加馬射線的放射性核種的分析，一般採用低背景加馬分析儀。其主要的原理是利用厚的鉛和鐵的材料做成良好的把純鍺偵檢器包封起來的密閉屏蔽體，它可以阻擋環境背景輻射對偵檢器的影響，有效的降低加馬能譜的背景值，而使環境試樣中微量的放射性核種所發射出來的加馬能峰顯示出來，獲得良好的定性定量結果。例如分析岩石中鈾與釷系列核種時，在進行加馬能譜計測

前，所有的試樣均磨至 200 網目，使其均質化，並密封包裝，靜置 1 個月以上，使氦 222 與其母核鐳 226 達到放射平衡，然後以純鍺偵檢器計測。

訊號經前置放大器和主放大器的放大、整型之後，輸入多頻道脈高分析儀，轉換成數值信號呈現螢幕上。介面裝置可使儀器的輸出信號適合作為電子計算機的輸入，電子計算機可以作為實驗結果的資料處理，又可使用嚴密的數學方法控制實驗的進行，例如背景的減除、計數統計、無感時間計數損失修正等。

圖 3 便是一岩石試樣的加馬能譜圖，此時鐳與氦及其短半化期的蛻變產物成放射平衡。其中鐳 226 的濃度是以鉛 214 及鉍 214 的 295 keV、352

keV 及 609 keV 的加馬射線而測定。鐳 228 及鈾 228 的濃度是以鈾 228 及鉍 208 的 911 keV 及 583 keV 的加馬能峰決定。鉀 40 及鉛 210 的濃度則是以本身 1460 keV 及 46.5 keV 的加馬能峰決定。藉此就可以定量出放射性核種在岩石試樣中的含量。

參考文獻

1. Science and Technology Agency in Japan, *Gamma ray spectrometry using a germanium semiconductor detector*, Radioactivity measurement series, no.7, Chiba, Japan: Japan Chemical Analysis Center (1992).

作者：朱鐵吉先生為日本東北大學理學博士，現任國立清華大學原子科學系教授。

低背景液體閃爍分析儀

Low Background Liquid Scintillation Analyzer

關鍵字：液體閃爍分析儀、閃爍液、符合、反符合

Keywords： liquid scintillation analyzer, scintillator solute, coincidence, anti-coincidence

一、基本原理

液體閃爍分析儀是量測低能量 β 輻射的有效方法，當然也可以用來量測 α 、中子、 γ 等輻射。由於可量測自然界中的放射性氬和碳十四核種，以及加標記化合物和同位素示蹤技術已廣泛被應用，液體閃爍分析儀被廣泛應用於農業、工業、化學、醫學、生物、地質、考古、環境保護等範疇。

液體閃爍分析儀的基本量測原理包含以下三個重要的作用機制：(1) 試樣的輻射線與閃爍液作用，將輻射能轉換成光子；(2) 偵測光子的光電倍增管和前置放大器，把光訊號轉換成電子訊號；(3) 線性放大器將電子訊號進行放大，以方便分析及記錄。其中閃爍液由溶劑、第一閃爍體，第二閃爍體及少量助溶劑所組成。試樣與閃爍液直接混合，射線能量大部分被溶劑分子吸收，溶劑分子被激發可相互傳遞能量，同時把能量傳遞給有機閃爍體，將閃爍體分子激發，處於激發態的分子在返回基態時釋放出光子。試樣在閃爍液中產生的光子被光電倍增管內的光陰極吸收，轉變產生光電子，緊接著這些光電子被管內的倍增電極逐級放大後在光電倍增管的陽極上產生脈衝信號，這些信號再經由放大器放大後，被計數器分析及記錄。

優值 (figure of merit) $F = E^2/B$ 常作為比較儀器特性優劣的指標，其中 E 為儀器之計測效率，而 B 為儀器之空白背景。對液體閃爍分析儀而言，其空

白背景主要來源有：

- (1) 宇宙射線：宇宙射線直接或間接與分析儀作用產生背景計數，為液體閃爍分析儀空白背景的主要來源。
- (2) 周圍環境的放射性：包括安置儀器的建物在內，主要的放射性核種為鉀四十 (^{40}K)，另鈾、釷、釷系的子核也可能造成影響。
- (3) 分析儀屏蔽材料：常用的屏蔽材料有鉛和鐵。鐵中有時會有鈷六十 (^{60}Co) 等放射性核種，鉛中可能有 ^{210}Pb 。
- (4) 分析儀本身的材料：例如光電倍增管的材質內可能含有 ^{40}K ；閃爍液中含有 ^{14}C 、 ^3H 等。

其他如電子雜訊、化學發光、外界干擾、靜電等均為液體閃爍分析儀空白背景來源。

增進液體閃爍分析儀靈敏的主要途徑為：(1) 提高計測效率；(2) 降低空白背景；(3) 增加待測試樣量。自 1950 年液體閃爍分析儀問世以來，各種增進靈敏度的技術陸續發展，例如光電倍增管的光收集系統、計測瓶材料和閃爍液等的改良；精選屏蔽材料；符合計測的應用等等；這些技術的精進使得 1980 年代液體閃爍分析儀對 ^3H 的計測效率由 10 % 提高到 65 %，而空白背景由 80 cpm 降至 18 cpm。圖 1 和圖 2 為液體閃爍分析儀的組成方塊圖。

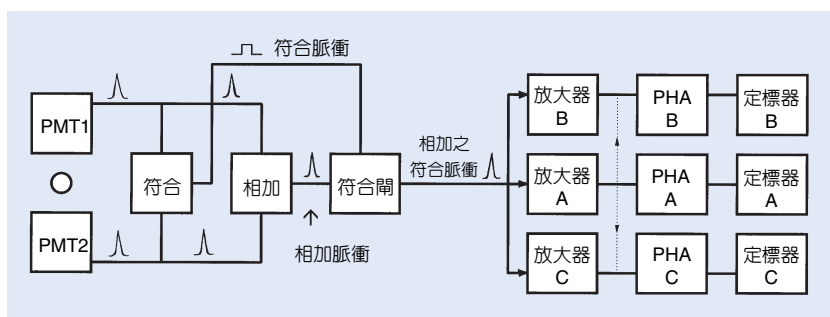
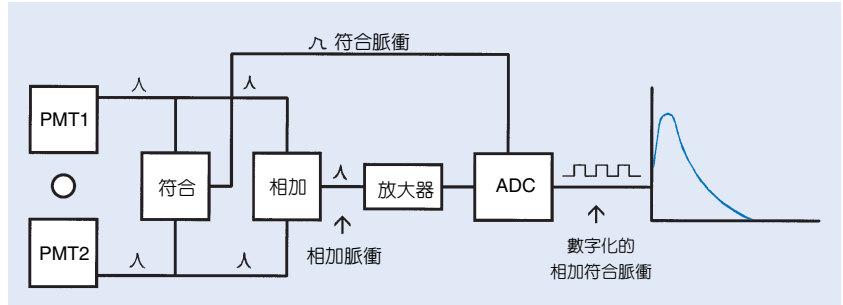


圖 1. 具有脈衝分析器的液體閃爍分析儀的組成方塊圖。PMT：光電倍增管；PHA：脈衝分析器；定標器：SCALER。

圖2. 具有能譜分析器的液體閃爍分析儀的功能方塊圖。PMT：光電倍增管；ADC：類比數位轉換器。



反符合屏蔽偵檢器應用於液體閃爍分析儀，更降低了宇宙射線與環境輻射背景的影響，常用的反符合屏蔽偵檢器有 NaI，塑膠閃爍體，近年來更採用銻酸鉍 (BGO) 晶體。其中 BGO 晶體對 γ 射線的靈敏度高，不怕潮，化學物理特性穩定，易加工不易損壞等特性，是理想的反符合屏蔽偵檢器。近年來已被廠商用做低背景液體閃爍分析儀必備的反符合屏蔽偵檢器。

近來年 Packard 公司發展出新的降低背景專利技術，應用於低背景液體閃爍分析儀上，簡單的說：因為 68 % 的液體閃爍分析儀的背景係來自宇宙射線或計測瓶材質所含之天然放射性與光電倍增

管的玻璃或計測瓶周圍的物質作用而產生，其所產生的能譜形狀與典型的貝他能譜不同 (參見圖 3)，此類型的背景能譜有數個較小的尾端脈衝 (after pulse)，藉由鑑別尾端脈衝的數目即可剔除此類背景的影響，且儀器使用者可依個別之需求設定尾端脈衝剔除值來減低背景的影響。

二、結構示意圖

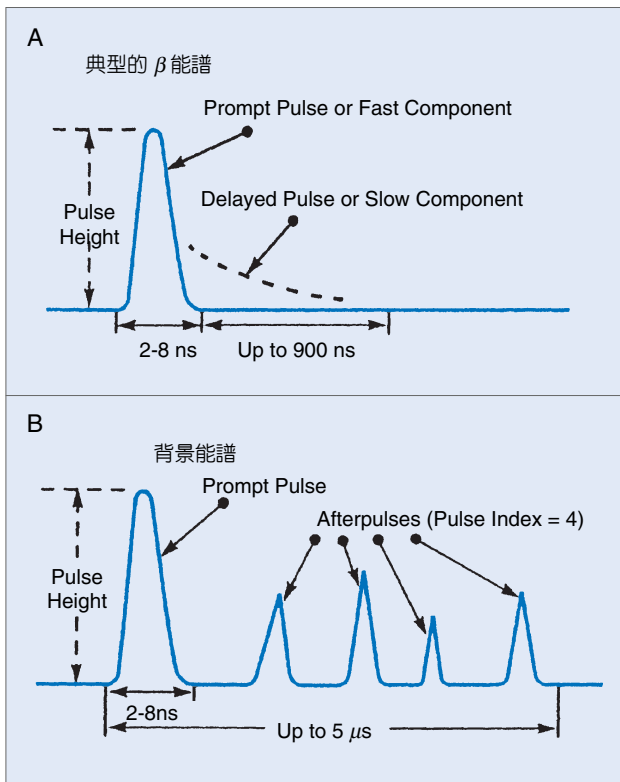


圖3. 典型的 β 能譜與背景能譜圖。

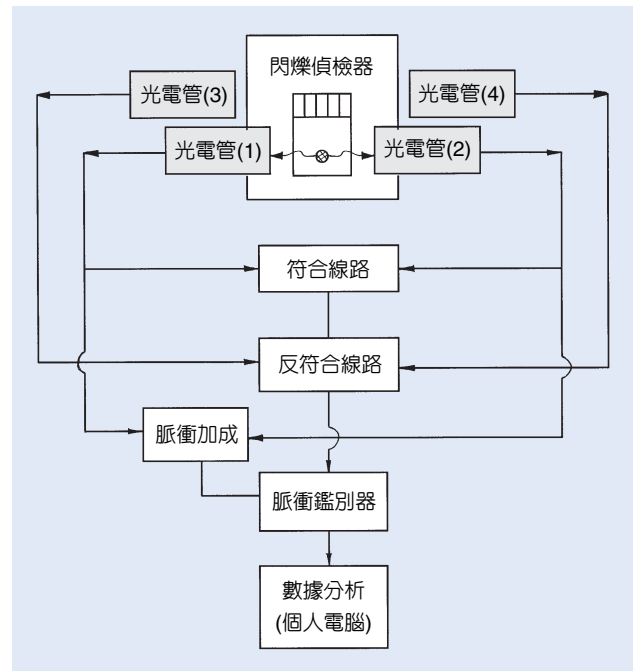


圖4. 低背景液體閃爍分析儀系統示意圖。

低背景液體閃爍分析儀運用符合計測，反符合屏蔽偵檢器，選擇適宜之屏蔽與計測瓶材料，閃爍液的改良等技巧，達成提高計測效率與降低背景影響之目的；圖 4 為低背景液體閃爍分析儀的系統示意圖。

表1. 低背景液體閃爍分析儀的應用。

| 領 域 | 題 目 | 量 測 之 核 種 |
|--------------------|---------------------------------------|---|
| 環境科學 | 核電廠和核設施周圍環境放射性的監測，各地放射性的水平。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{35}S 、 ^{55}Fe 、 ^{85}Kr 、 $^{89,90}\text{Sr}$ 、 ^{99}Tc 、 ^{241}Pu |
| 生物學 | 示蹤實驗，核醫學。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{36}Cl |
| 大氣現象 | 宇宙射線與大氣的相互作用，宇宙射線的變化，大氣的混合，水蒸氣對大氣的作用。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{36}Cl ^{55}Fe |
| 海洋學 | 空氣—海洋的水交換，示蹤劑在海洋中的行為，海水的蒸發。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{55}Fe 、 ^{90}Sr |
| 水文學 | 地下水的來源，地下水年齡與貯量的評估。 | ^3H 、 ^{14}C |
| ^{14}C 斷代 | 考古學，古生物學，沉積學。 | ^3H 、 ^{14}C |
| 食品工業 | 鑑定食品製作年代和原料來源。 | ^3H 、 ^{14}C |
| 地球科學 | 地熱的利用，火山、溫泉的研究。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl |
| 冰河 | 冰河和極地冰的斷代、累積率。 | ^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl |

三、儀器特徵與規格

目前商業化的低背景液體閃爍分析儀有多家廠牌，各廠牌均採用 (1) 設法降低背景值並增加被測試樣的體積，以提高計測效率；(2) 在閃爍液中加入界面活化劑，使試樣量與閃爍液混合的比例提高，來提升儀器的靈敏度。以下僅對日本 ALOKA 和美國 PACKARD 二家廠牌低背景液體閃爍分析儀較特殊的設計作一簡述。

1. ALOKA

- (1) 鉛屏蔽厚 37 公分，使儀器重達 2 噸，也相對的提高了成本。
- (2) 使用冷凍系統控制光電倍增管周圍的溫度以降低背景，並使大體積試樣混合液呈透明狀，提高計測效率。
- (3) 可計測 100 mL 大體積試樣 (一般液體閃爍分析儀之試樣約為 20 mL)。

2. PACKARD

- (1) 使用低能量之 Ba-133 作外標準射源。
- (2) 可計測 7 mL 之小體積試樣。
- (3) 效率追蹤 (efficiency tracing) 法之軟體設計，可

供放射性核種之活度計測。

四、應用與用途

液體閃爍分析儀除了對 ^3H 和 ^{14}C 的量測有獨特的優越性外，還能測量 ^{35}S 、 ^{32}P 、 ^{36}Cl 、 ^{55}Fe 、 ^{85}Kr 、 $^{89,90}\text{Sr}$ 、 ^{99}Tc 等核種。對 α 核種和低能量的 γ 核種也能量測；近年來更由於低背景液體閃爍分析儀的進步，更增廣了應用的範圍，表 1 列出低背景液體閃爍分析儀主要的應用領域和範圍。

參考文獻

1. C. J. Passo and G. T. Cook, *Handbook of Environmental Liquid Scintillation Spectrometry-A Compilation of Theory and Methods*, U. S. A.: Packard-A Canberra Company press (1994).
2. M. J. Kessler, *Liquid Scintillation Analysis-Science and Technology*, U. S. A.: Packard Instrument Company press (1989).
3. 陳清江, 低背景液體閃爍能譜分析儀簡介, 原子能委員會彙報, 第 24 卷第 4 期 (1984).
4. D. L. Horrocks, *Applications of Liquid Scintillation Counting*, U. S. A.: Academic Press (1974).

作者：武及蘭先生為國立中央大學物理系學士，現任原子能委員會核能研究所助理研究員。

低背景阿伐能譜分析儀

Low Background Alpha Spectrum Analyzer

關鍵字：阿伐能譜分析儀、面障式偵檢器、柵極式游離腔、耗乏層、電鍍法、直接沉積法

Keywords： alpha spectrum analyzer, surface barrier detector, grid ionization chamber, depletion layer, electroplating, direct deposition

一、基本原理

現今核能工業的發展，對量測環境中自然與人造的阿伐核種濃度，或偵測核能設施氣體、液體放流物中超鈾元素的濃度，皆須借助低背景阿伐能譜分析儀，量測阿伐低比活度的試樣。阿伐能譜分析儀主要有兩種型式，一是採用面障式半導體偵檢器 (surface barrier detector)，另一種型式則採用柵極式游離腔 (grid ionization chamber)，以下簡述這兩種阿伐能譜分析儀之原理。

1. 面障式偵檢器之阿伐能譜分析儀

面障式偵檢器為半導體二極管偵檢器 (semiconductor diode detector)，使用矽半導體材料，經過特殊製程做成 p 型或 n 型半導體；p 型半導體以電洞為主載體，而 n 型半導體以電子為主載體，將 p 型和 n 型半導體接合，並加上逆向電壓 (即在 p 型端加上負電壓，n 型端加正電壓)，接合面附近之電洞與電子載體，受電場作用而分向兩端移動，形成無載體的耗乏層 (depletion layer)。當阿伐粒子進入耗乏層時，因游離產生電子電洞對，這些電子電洞受電場作用分別向兩端移動而產生電流信號，此電流信號的大小與輻射能量成正比。圖 1

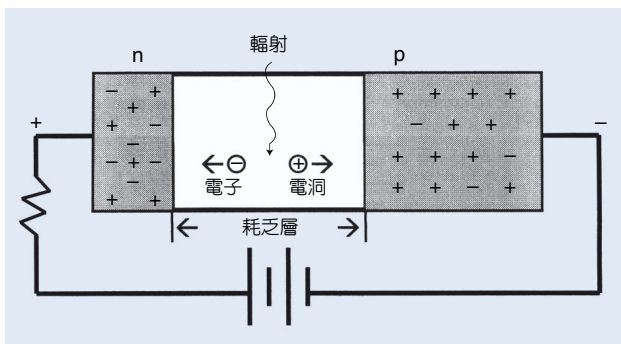


圖 1. 半導體偵檢器之計測原理。

為半導體偵檢器之計測原理。

2. 柵極式游離腔之阿伐能譜分析儀

柵極式游離腔是利用氣體游離現象來偵檢輻射的，亦即當阿伐粒子通過游離腔時，會使腔內氣體介質游離產生離子對，若游離腔內有適當的電場，則游離產生的離子對即被外電路收集而產生電流或脈衝信號。一般游離腔內電子移動的速度比正離子快 1000 倍，若採用脈衝方式量測輻射量，將因脈衝尾部含有正離子所帶的電量而降低分解力，故須採用微分迴路將正離子所帶的電荷分離掉，只利用電子所帶的電量，以提高分解力而達到脈衝計測，此即為脈衝式游離腔 (pulse ionization chamber)。但電子所帶電量，隨電極間離子對發生位置的不同也有差異，所產生的脈衝強度也會不同。柵極式游離腔 (參見圖 2) 可解決上述問題，柵極將游離腔分為兩部份，所有輻射作用均限制在柵極與陰極之間，施給柵極較陽極小的正電壓，陰極與柵極間形成一平行板型游離腔，通過柵極之電子，全部經過相同的距離方到達陽極，故量測柵極與陽極間的脈衝即

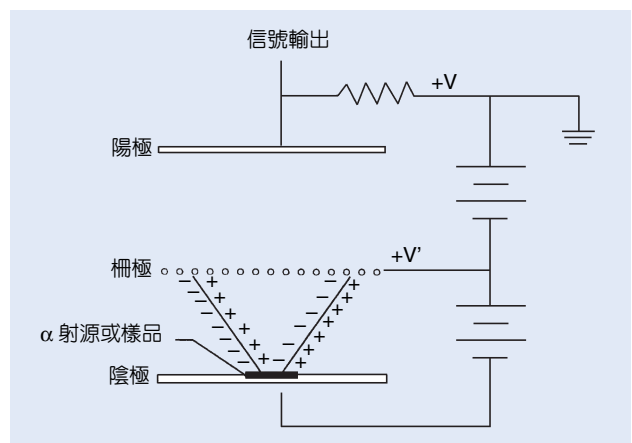


圖 2. 柵極式脈衝游離腔之計測原理。

與離子對產生的位置無關，而脈衝之強度與離子對的數目 (亦即入射阿伐粒子的能量) 成正比，此即為柵極式游離腔的計測原理。

二、結構示意圖

1. 面障式偵檢器之阿伐能譜分析儀

此系統主要由面障式偵檢器、前置放大器、主放大器、偏壓放大器等組成，其結構如圖 3 所示，其中脈衝產生器 (pulse generator) 主要是用來模擬不同能量之脈衝信號進行能量校正，供核種鑑定之用 (定性分析)；而量測阿伐活度 (定量分析) 則需以標準阿伐射源做計數效率校正來達成。面障式偵檢器阿伐能譜分析儀使用時，試樣與偵檢器之間距離保持在 2–5 mm 之間，且計測腔內需抽真空減低阿伐粒子的能量被空氣所吸收，提升系統之能量分解力。

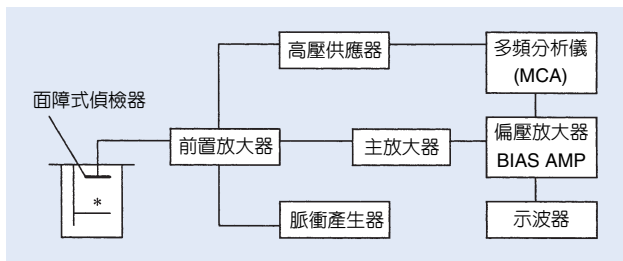


圖 3. 面障式偵檢器之阿伐能譜分析儀結構示意圖。

表 1. 面障式偵檢器與柵極式游離腔阿伐能譜分析儀特性比較。

| 特 性 | 柵極式游離腔 | 面障式偵檢器 |
|------------|--|--|
| 分解力 (FWHM) | 一般為 30–40 keV | 一般為 15–20 keV |
| 立體角 | 2π ，對表面為不知或複雜形狀的試樣，看不到或非均質的試樣均可測量，不需做修正。 | $<2\pi$ ，測定困難、不精確。需加入示蹤劑 (tracer) 一起經各種放射化學處理，並做成高品質的試樣。 |
| 計測效率 | 50 % (立體角： 2π) | 視試樣與偵檢器的尺寸與距離而定，約 1–5 %。 |
| 計測低限 | 低 (比面障式系統小 5–10 倍) | 高 |
| 自吸收與回散射 | 其修正結果經常比面障式偵檢器基於立體角誤差評估更精確。 | |
| 試樣尺寸 | 直徑大於 80 mm，分解力不減退。 | 與偵檢器的大小有關，但直徑大的偵檢器，分解力減退，甚至比柵極式游離腔差。 |
| 其他 | 偵測時需充 P-10 氣體 | 偵測時需抽真空 |

2. 柵極式游離腔之阿伐能譜分析儀

此系統之結構與面障式偵檢器系統類似，圖 4 為其系統示意圖，計測時柵極式游離腔需充填 P-10 氣體。

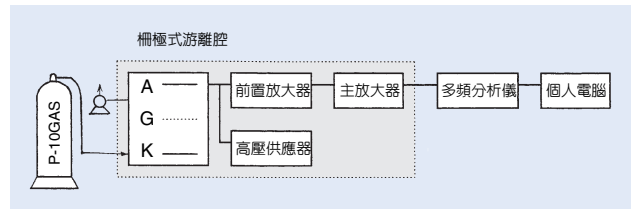


圖 4. 柵極式游離腔之阿伐能譜分析儀結構示意圖。

三、儀器規格與特徵

目前面障式偵檢器阿伐能譜分析儀已有商業化產品，其體積小，可配合多頻分析儀 (multichannel analyzer, MCA) 採用多類比數位轉換介面卡 (multi-ADC interface)，即可將四套面障式阿伐能譜分析儀接到同一台多頻分析儀上，同時計測四組試樣爭取時效；而柵極式游離腔阿伐能譜分析儀與面障式偵檢器阿伐能譜分析儀相較，價格較昂貴，一般僅以一套系統進行試樣之分析。表 1 為此兩套系統之特性比較。

四、試樣之處理

量測阿伐能譜的準確性與試樣的處理有密切的

表2. 電鍍法與直接沉積法試樣處理之比較。

| 特 性 | 電 鍍 法 | 直接沉積法 |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|
| 沉積量 (volume deposition) | 小，單一分子層之膜厚 | 大，數個分子層之膜厚 |
| 沉積效率 (deposition yield) | 不定：30—90 % | 固定：100 % |
| 校準 (calibration) | 需加入示蹤劑一起做放射化學處理 | 與試樣處理無關，不需示蹤劑 |
| 計測特性 | 使用面障式偵檢器系統 計測效率：1—5 % 分解力：15—20 keV (分解力約有 5 % 的退變率) | 使用柵極式游離腔系統 計測效率：50 % 分解力：40 keV |
| 能譜品質 (quality of spectrum) | 能峰分離較好 | 有來自 α 能峰尾部干擾的存在 |

關係，一般使用面障式偵檢器分析儀量測的試樣，以電鍍法 (electrodeposition) 製作為多，處理費時且操作較困難，需要複雜的放射化學技術與熟練的技術人員；試樣需加入示蹤劑一起處理，為其化學回收率之校準，並且依所分析的核種不同有不同的放射化學處理程序；另對低活度之試樣，除增加電鍍難度外，尚需較長之計測時間。使用柵極式游離腔分析儀量測的試樣，能夠以直接沉積法 (direct deposition) 滴附在不鏽鋼盤中，不需放射化學之處理。表 2 為此兩種計測法所需試樣處理之比較。

五、結語

由兩套分析儀之特性比較，我們可知面障式偵檢器能譜分解力好且背景低，但與試樣間之立體角小，計測效率低，適用於短半衰期、比活度較高之試樣量測。而柵極式游離腔與直接沉積法處理試樣

配合應用，節省計測時間，可達到靈敏、簡單迅速量測阿伐能譜，適合例行性環境試樣阿伐核種之分析。此二類阿伐能譜分析儀有互補的特性，可依試樣比活度、試樣處理方式和計測時間長短需求而選用適宜之分析儀。

參考文獻

1. S. Saro and M. Pikna, *Appl. Radiat. Isot.*, **38**, 5, 399 (1987).
2. NUMELEC-INSTRUMENTS, *Application Report, Alpha-Spectrometry with Grid Chamber*, France, May (1987).
3. 武及蘭, 邱垂煥, 界面偵檢器之阿爾伐能譜分析, 核能研究所對內報告, INER-T1295 (1988).
4. G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, 2nd ed., U. S. A. : John Wiley & Sons, Inc. (1989).

作者：武及蘭先生為國立中央大學物理系學士，現任原子能委員會核能研究所助理研究員。

貝他能譜分析儀

Beta Spectrum Analyzer

關鍵字：貝他能譜分析儀、塑膠閃爍體、符合計測

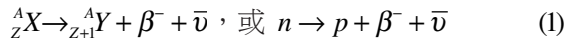
Keywords：beta spectrum analyzer, plastic scintillator, coincidence mode

一、基本原理

一般貝他 (β) 衰變有 β^- 衰變和 β^+ 衰變兩種型式。其衰變原理簡述如下。

1. β^- 衰變

當原子核中的中子數目超過穩定所需時，該原子就會從原子核中釋放出一個帶負電的電子而使原子核趨於穩定。但根據理論計算，電子不能獨立存在於原子核中，因此自原子核裡所釋放出來的電子(稱為 β^- 粒子)，應是中子在原子核中蛻變為質子及電子後將電子釋放出來的。其反應式為：



2. β^+ 衰變

利用加速器製造放射性核種，通常是利用高能粒子撞擊母核，使其擊出一個中子，而使原母核形成放射性核種。當原子核中的中子較穩定時少，原子核中的質子即會蛻變為中子和正電子，將中子留在核中而將正電子 (β^+) 釋放出來。其反應式為

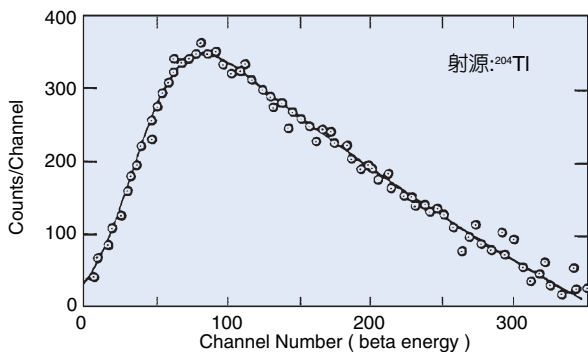
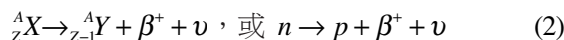


圖 1. 典型之貝他能譜。

在 β 衰變過程中伴隨產生 ν (微中子) 和 $\bar{\nu}$ (反微中子)， β 衰變能量在 β 粒子、微中子 (或反微中子) 與子核間分配， β 粒子能量可能為零至最大能量 (E_{\max}) 間的任何值，故 β 能譜呈連續性的。核種進行 β 衰變所釋放的能量係指 β 粒子的最大能量。圖 1 為典型的 β 能譜。

二、貝他能譜分析儀

貝他能譜分析儀目前尚無商業化產品，文獻中常見用於貝他能譜度量的偵檢器有液體閃爍偵檢器、塑膠閃爍體、半導體偵檢器、充氣式偵檢器等；貝他能譜分析儀一般均由使用者依實際需求選擇適當的偵檢器組裝而成，以下將介紹三種貝他能譜分析儀的組合。

1. 半導體偵檢器之貝他能譜分析儀

面障式偵檢器 (surface barrier detector) 為半導體偵檢器的一種，不僅可用於阿伐能譜度量亦可應用於貝他能譜的量測，圖 2 即面障式偵檢器之貝他能譜分析儀之結構方塊圖。

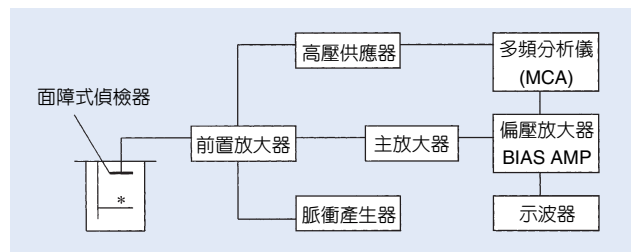


圖 2. 面障式偵檢器之貝他能譜分析儀結構方塊圖。

與阿伐能譜分析儀類似，此型貝他能譜分析儀使用脈衝產生器 (pulse generator) 模擬不同能量之信號進行能量校正；最大貝他能量採用 Kurie 作圖法決定。

2. 塑膠閃爍體之貝他能譜分析儀

磷光物質先溶於溶劑 (為塑膠單體, 如 styrene 或 vinyltoluene), 再將此種溶劑加以聚合形成塑膠閃爍體。塑膠閃爍體有易成形加工成各種尺寸的特性, 且價格較低廉。當輻射入射使溶劑產生激發作用, 然後把激發能量傳給溶質 (閃爍劑), 其衰變時發出螢光。溶劑被激發的機制主要是由荷電粒子所造成, 若是加馬或 X 射線入射到塑膠閃爍體, 則必須先產生康普吞電子或光電子, 這些電子再使溶劑激發進而使閃爍劑發光。圖 3 為塑膠閃爍體之貝他能譜分析儀示意圖。

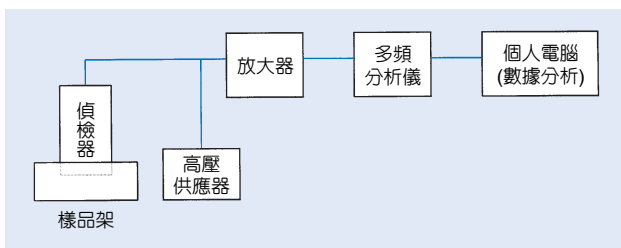


圖 3. 塑膠閃爍體之貝他能譜分析儀方塊圖。

塑膠閃爍體之貝他能譜分析儀不屬符合計測型, 能譜在低能量側之背景計數率分佈所佔比例偏高, 故對中能量以上之貝他能譜分析較適宜。對試樣之貝他活度計測應用, 此型能譜分析儀量測結果與一般比例計數器量測結果相若。

3. 符合型貝他能譜分析儀

塑膠閃爍體能譜分析儀量測之貝他能譜, 比半導體能譜分析儀測得之貝他能譜較符合理論所預期的結果。但塑膠閃爍體對加馬射線作用機制為康普吞效應, 會產生康普吞電子能量分佈, 是為間接加馬能譜。因此若僅用塑膠閃爍體貝他能譜分析儀來量測貝他能譜, 則將受到加馬作用的影響使得貝他能譜變形而有失真的現象。若採用兩個偵檢器, 以符合計測模式剔除加馬的影響, 可減少貝他能譜失真的現象。圖 4 為符合型貝他能譜分析儀之結構方塊圖。

圖 4 之貝他能譜分析儀主要是由薄平型氣流式比例計數器、塑膠閃爍體及核儀電子模組組合而成符合型計測系統, 以降低背景的影響。比例計數器對加馬射線的作用不敏感, 在此當作閘偵檢器, 用

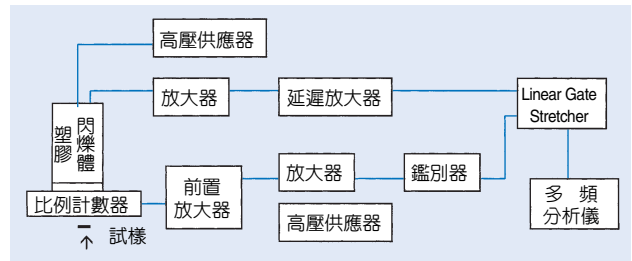


圖 4. 符合型貝他能譜分析儀方塊圖。

以控制來自塑膠閃爍偵檢器的信號。當比例計數器感測到有貝他粒子通過, 且閃爍偵檢器的信號與比例計數器達到符合時, 令閘控單元 (linear gate-pulse shaping, LGPS) 之閘門打開, 讓閃爍偵檢器輸出的信號傳送到多頻分析儀加以記錄, 如此量測的結果即為貝他能譜。

符合型貝他能譜分析儀, 在度量貝他能譜之際, 能剔除加馬效應並有效降低由環境加馬與電子雜訊等所致之背景。降低背景約可達 17 倍之多, 有益於低活度試樣之分析量測。另配合電腦程式將混合核種的複合能譜加以分離純化, 可取代繁複的化學純化分離作業。

三、符合型貝他能譜分析儀之應用

貝他能譜分析儀沒有固定的組合, 使用者可依實際的需求, 選擇適當的偵檢器組裝適用之貝他能譜分析系統。由前面的介紹可知符合型貝他能譜分析儀的背景較塑膠閃爍體貝他能譜分析儀降低非常多, 較適用於低活度環境試樣之分析鑑定, 以下將介紹符合型貝他能譜分析儀的幾種用途。

1. 已知核種 (單一或混合) 的活度量測

若系統建有數個核種的校準檔資料庫, 而受測試樣所含核種是其中之一或其中數個, 則可同時作定性定量分析, 唯混合核種數不能太多, 多則會提高核種之最低可測敏度 (LLD)。

2. 未知核種之鑑別

分析一未知試樣之貝他能譜, 測定其貝他端點能量 (貝他最大能量), 據以研判可能之核種。某些試樣可收集在濾紙上, 不必經由化學處理而直接量測, 可節省試樣處理程序與時間。

3. 檢測射源

射源製作因用途不同而形狀、材質、包裝、活度各異，如向國外採購之 ^{90}Sr 標準射源，有專供計數器系統之計數效率校正用者，亦有專供能譜分析用者。其中計數效率校正用之射源覆膜較厚，幾近將 ^{90}Sr 的貝他能量全部吸收，僅可測得 ^{90}Y 的高能量貝他能譜，故實質上等於利用 ^{90}Sr 射源之子核 ^{90}Y 進行計數效率之校正，因為母核半衰期長，其子核半衰期短的情況下，只要置等一段時間 (如 14 天) 以上，則子核 ^{90}Y 的活度將與母核 ^{90}Sr 的活度相等。而供能譜分析用的 ^{90}Sr 射源覆膜較薄，度量貝他能譜時 ^{90}Sr 和 ^{90}Y 之譜線均顯現；藉由量測貝他能譜之形狀可檢測射源核種的特性。

4. 混合同位素之分析

混合同位素 (某一核種和其同位素之混合物，例如 ^{89}Sr 和 ^{90}Sr ， ^{57}Co 和 ^{60}Co ， ^{103}Ru 和 ^{106}Ru) 無法

以化學法分離，可用貝他能譜分析儀加以分析，但需注意同位素間的貝他能量需不同。

參考文獻

1. K. Siegbahn, ed., *Alpha-, Beta-, and Gamma-Ray Spectroscopy*, Vols. 1 and 2, Amsterdam: North Holland Publishing Co. (1965).
2. T. Maruyama, E. Tanaka and T. Hiramoto, *Role of Low-Background Beta-Ray Spectrometers for Rapid Assay of Environmental Samples*, IAEA-SM-148/42, Vienna (1971).
3. ORTEC, *AN34 Experiments in Nuclear Science*, ORTEC Application Note (1976).
4. 許銀茂, 塑膠閃爍體之貝他能譜分析, 核能研究所對內報告, INER-T1080 (1985).
5. 許銀茂, 具有加馬射線鑑別功能之貝他能譜度量, 核能研究所對內報告, INER-T1998 (1994).

作者：武及蘭先生為國立中央大學物理系學士，現任原子能委員會核能研究所助理研究員。

熱發光劑量計

Thermoluminescent Dosimeter (TLD)

關鍵字：熱發光劑量計、熱發光

Keywords：thermoluminescent dosimeter, thermoluminescence

一、基本原理

當不導電的固體受游離輻射或紫外線光照射時，或當它遭受一定化學反應或機械壓力時，有不同百分數的釋放電子 (liberated electrons) 或空穴被這些晶格缺陷 (電子陷阱或空穴陷阱) 所俘獲。如溫度很低和 (或) 陷阱很深，那麼在通過充分的「激發」把它們釋放出來之前，它們可被俘獲幾百年或幾千年，「激發」的作用是增加它們從陷阱逃出的機率。「激發」通常是把光能或熱能傳遞給此固體。電子 (或俘獲空穴) 返回到穩定狀態的過程稱為回火 (假若這種過程進展得很緩慢則稱為消光)，這個過程伴隨著能量釋放，其中大多數是熱能。然而，也有少部分能量以可視光或紫外光的形式釋放出來，此效應稱為熱發光 (thermoluminescence, TL)。

利用熱發光效應製作出的熱發光劑量計 (TLD)，主要可以應用作人員劑量計的使用上、環境輻射的量測上、或在醫學上應用於假體的實驗測量及實際人體內的治療、診斷量測劑量上。TLD 是一體積小、靈敏度高、準確度高、環境變化對測量結果影響小，且又可重複使用的便利量測工具。

二、熱發光的發光機制

1. 發光曲線

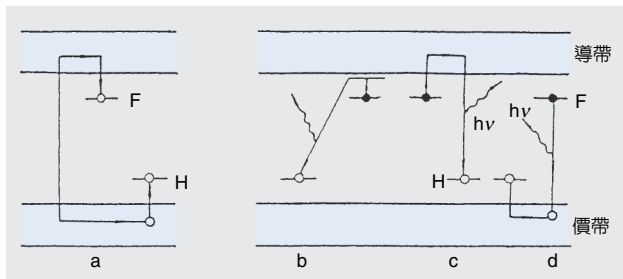


圖 1. 熱發光發光機制的能階模型。

根據晶體的能帶理論，參雜雜質之無機晶體被游離輻射照射時，引起游離，部分獲得足夠能量的電子由價帶躍遷到導帶並在價帶中形成空穴。俘獲了電子的陷阱形成 F 中心；俘獲了空穴的陷阱形成 H 中心 (圖 1(a))。加熱時 F 中心的電子和 H 中心的空穴獲得足夠能量時可以被釋放出來，或者電子與空穴迅速復合 (圖 1(b))，或者電子到導帶後再與 H 中心的空穴復合 (圖 1(c)) 或者空穴回到價帶與電子復合 (圖 1(d))。在上述過程中產生的光叫熱發光，發光物質本身叫熾光體。由於電子從特定能階的陷阱中逃逸的機率與溫度有關，因此相應的發光強度隨溫度而變化，當按一定的升溫規律加熱熾光體時，所測得的發光強度與加熱溫度的關係曲線叫發光曲線。各種不同的熾光體具有不同的陷阱能階，同一熾光體存在著一個或多個不同陷阱能階，當加熱熾光體時，能量較低的淺陷阱中的電子首先被釋放，形成發光曲線的第一峰，在該陷阱中的電子逐漸被釋放使陷阱完全騰空，此發光強度下降，當加熱溫度繼續增加時，較深能階陷阱中的電子開始較快地被釋放並出現第二，第三等數目不等的發光峰。每個發光峰下的面積正比於俘獲電子的數目，因而正比於輻射劑量，對恆定的升溫率，峰高也正比於劑量。

2. 熱發光回應的超線性和敏化

大部分熱發光材料對低 LET 輻射，在低劑量水平有較寬的線性回應範圍，但在高劑量水平出現超線性回應 (回應比按一次方增加更快)。不同的熾光體發生超線性的劑量水平不同，並且隨 LET 的增加而減小。由實驗得知高 LET 輻射和粒子引起較小的超線性，高 LET 的氬核未見到超線性。

某些熾光體經過 $10^2 - 10^3$ Gy ($10^4 - 10^5$ rad) 大劑量照射之後再經過 $280^\circ\text{C} - 320^\circ\text{C}$ 回火 1 小時，

如果再照射時，其回應可增加數倍，該磷光體即為敏化元件，回應增加的係數叫做敏化係數。目前雖然提出了很多理論模型來解釋熱發光回應的超線性和敏化效應，但是都不能圓滿的解釋這些現象。

3. 熱發光的衰退和回火

衰退是指在磷光體經過輻射照射後熱發光隨時間而衰減的現象。隨溫度的增加衰退也變大。不同的熱發光材料，由於它們具有不同深度的俘獲陷阱，所以衰退也就不同。回火的目的是為了在一定的溫度下破壞掉一切對劑量測量有貢獻的 F 中心和 H 中心而騰出所有的俘獲陷阱，這樣處理過的磷光體能重複使用。

三、熱發光材料

熱發光的材料很多，一般對熱發光材料的要求要考慮其線性劑量範圍、能量響應、重複性、信息貯存的穩定性、無向性、劑量計性能的環境效應、批次非一致性及其他指標。不同的劑量計必須視環境與欲量測之物做不同的選擇。目前用於劑量測量的熱發光元件多為：LiF、Li₂B₄O₇(Mn)、CaF₂(Mn)、BeO、CaSO₄(Mn)、CaSO₄(Dy) 等。表 1 列出了這些元件的特性。

對於特定的熱發光晶體或玻璃，其熱發光峰位是完全恆定的，峰下面的光總量正比於輻射劑量。TL 材料可以是一種鬆散的粉末、也可以是塑膠化合物、玻璃、燒結片或單晶體 (或永久封裝在玻璃管，玻璃球中等) 可以用電阻加熱法加熱也可以曝露於熱氣中加熱。加熱期間通常測量磷光體截體的溫度。熱發光經由紅外線濾片和 (或) 附加的光學濾片過濾之後，由光電倍增管偵檢，用記錄峰高的微安培表，或用電荷積分電路記錄光輸出，然後畫出電流對時間或電流對溫度的圖 (根據研究目的而定)。

發光強度與加熱溫度的關係曲線，稱為發光曲線。不同材料的熱發光元件有不同的發光曲線，這是由於有的熱發光元件存在著不同能階深度的陷阱，LiF (Mg,Ti) 的發光曲線如圖 2 所示，當 LiF (Mg,Ti) 受熱時，存在於較淺陷阱的電子首先被釋放出來，當這些陷阱中儲存的電子全部釋放完時就

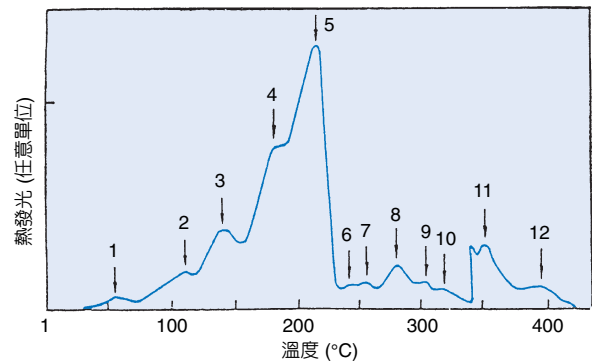


圖 2. LiF (Mg, Ti) 發光曲線。

形成第一個發光峰。隨著溫度的升高，較深陷阱中的電子相繼被釋放出來，依次成了其他的發光峰。一般來說，低溫峰不穩定，有嚴重的衰退現象。很高溫度的發光峰是紅外線貢獻的，也不適合用作劑量測量。因此，選擇熱發光峰的溫度不宜太高，對 LiF (Mg,Ti) 而言，最好在 200 °C 左右。實際上不少熱發光元件都有幾個發光峰，測量所用的發光峰稱為主峰。如對 LiF (Mg,Ti) 元件來說，主要是測量第 5 峰。

熱發光材料的發光強度需要專門的儀器進行測量。對於特定的一種熱發光元件，在同一加熱溫度下，不同的發光峰面積對應於不同的輻射劑量。因此測量主峰下發光峰積分強度，即相應於主峰下發光曲線面積，即可確定輻射劑量，這種方法稱為積分法。此外，也可以通過測量發光峰的高度來確定劑量，這種方法稱為峰高法。但這一方法必須嚴格控制熱發光元件加熱速度的一致性，因為發光峰高度會因加熱速度不同而不同。

四、應用及用途

熱發光劑量計，可用於測量 X、γ 射線、電子束及較高能量的 β 射線的劑量，當用熱發光元件 CaF₂、CaSO₄ 測量低能光子時，它們的熱發光回應有相當大的能量依存性，這時，同樣需用過濾的辦法加以改善。LiF、Li₂B₄O₇(Mn) 和 BeO，由於它們僅含低原子序的物質，且它們的有效原子序數與空氣、組織相近，因此，它們對光子的回應與能量的關係較小。如熱發光材料中含有一定量的 ⁶Li 或 ¹⁰B，則它們也可用來測量中子劑量。

表1. 目前用於劑量測量的熱發光元件的特性。

| 類型 | 元件 | 應用 | 有效原子序數 | TL 發射光譜 | ⁶⁰ Co的 γ 射線對 LiF 的靈敏度 | γ 射線 能量回應 | 劑量測量範圍 | 消光 |
|----------------------|--|-----------------------|--------|----------------------------|---|------------------|-----------------|----------------------------------|
| TLD-100 | Lithium Fluoride LiF(natural) | 保健物理 醫學物理 劑量計 | 8.2 | 3500-6000Å (4000 max) | 1.0 | 1.25 | 10 uGy – 10 Gy | 微小 5 %/yr 在 20 °C |
| TLD-100H (Gr-200) | Lif:Mg,Cu,P (Natural) | 環境 人員 四肢 劑量計 | 8.2 | 4000Å | 15 | 1.06 | 1 uGy – 10 Gy | 微小 |
| TLD-600 | Lithium-6 isotope Fluoride | 中子劑量計 | 8.2 | 3500 – 6000Å (5000 max) | 1.0 | 1.25 | 10 uGy – 10 Gy | 微小 5 %/yr 在 20 °C |
| TLD-600H (GR-206) | Lif:Mg,Cu,P (Natural) | 中子劑量計 | 8.2 | 4000Å | 1.5 | 1.06 | 1 uGy – 10 Gy | 微小 |
| TLD-700 | Lithium-7 isotope Fluoride | γ 劑量計 | 8.2 | 3500 – 6000Å (4000 max) | 1.0 | 1.25 | 10 uGy – 10 Gy | 微小 5 %/yr 在 20 °C |
| TLD-700H (GR-207) | Lif:Mg,Cu,P (Li isotope) | γ 劑量計 | 7.4 | 4000Å | 15 | 1.06 | 1 uGy – 10 Gy | 微小 |
| TLD-200 | Calcium Fluoride Dysprosium CaF ₂ :Dy | 環境 劑量計 | 16.3 | Peaks 在 4835Å | 30 在 5765Å | ~12.5 | 1 uGy – 10 Gy | 最初 24 小時 10 % 16% / 2 周 |
| TLD-400 | Calcium Fluoride Manganese CaF ₂ :Mn | 環境與高劑 量的劑量計 | 16.3 | 4400 – 6000Å (5000 max) | 10 | ~13 | 1 uGy – 100 Gy | 最初 24 小時 10 % 15 % / 24 小時 |
| TLD-500 | Aluminum Oxide Al ₂ O ₃ :C | 環境 劑量計 | 10.2 | 4200Å | 30 | 2.9 | .05 uGy – 1 Gy | 3 % / 年 |
| TLD-800 | Lithium Borate Manganese Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn | 數十至數萬 戈雷劑量計 | 7.4 | 5300 – 6300Å (6050 max) | 0.15 | 0.9 | .5 uGy – 105 Gy | < 5 % / 3 個月 |
| TLD-900 | Calcium Sulphate Dysprosium CaSO ₄ :Dy | 環境 劑量計 | 15.5 | 4800Å 5700Å | 20 | ~12.5 | 1 uGy – 100 Gy | 2 % / 1 個月 8 % / 6 個月 |

在環境量測上，可以選擇靈敏度高、消光情況不嚴重（熱穩定性及光穩定性）及對環境的變化不敏感（高抗潮性及化學穩定性）的元件來做環境的監測。在醫學應用上，可以利用熱發光劑量計做假體上的間接測量，或置入人體內直接測量放射診斷及治療病人所接受的劑量，以及粒子束標定和普查。在材料要求上必須是組織等效的材料，不然就要考慮光子能量和 LET 對測量的影響。

參考文獻

1. S. W. S. McKeever, *Thermoluminescence of Solids*, New York: Cambridge University Press (1985).
2. Y. S. Horowitz, *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*, Boca. Raton. Fla.: CRC Press (1984).
3. K. Mahesh, P. S. Weng, C. Furetta, *Thermoluminescence in Solids and its Applications*, England: Nuclear Technology pub. (1989).

作者：林松彥先生現為清華大學原子科學系碩士班學生。

極低頻電磁場檢測儀

Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Monitor

關鍵字：非游離輻射、極低頻電磁波、法拉第定律

Keywords： non-ionization radiation, extremely low frequency EM wave, Faraday's law

一、基本原理

極低頻 (extremely low frequency, ELF) 電磁場在電磁波的頻譜中涵蓋頻率範圍為靜電磁場到三萬赫茲 (DC—30 kHz) 的波段。在一般環境電磁場勘查的情況，都屬於「感應性近場」(reactive near field) 電磁波的形式。因此，在勘查時需量測電場及磁場各別的強度分佈，而不若「遠場」(far field) 電磁波只需量測電場或磁場一者之強度分佈即可推算出另一者之強度分佈。對於電場和靜磁場之量測，在一般的環境勘查較少使用，故在本文中將簡要介紹其量測基本原理。本文對動態磁場儀器量測原理將做較為詳細之說明。至於本文中將討論的量測注意事項，在極低頻的波段中，各個電磁場的情況則是相通的。

靜電場的量測，主要使用的方法有二。(1) 為感應平行電板，利用二平行電板感應之電荷而量得電場強度。(2) 為利用一旋轉裝置將靜電場以固定的週期阻隔於一電場感應裝置之外。如此，可將電場感應裝置所在位置的靜電場轉換成交變電場而加以量測。而靜磁場一般的量測法分兩種，一為利用霍爾效應 (Hall effect)。另一為使用一旋轉的迴圈而利用通過迴圈磁通量之時變，而導致迴圈上產生感應電流，量測此電流便可推知靜磁場之大小。進行電場之量測時，因為該場極易受到量測人員的存在而產生變化。故通常使用一長絕緣棒銜接量測儀器，以增加量測人員和待測場之距離。

以下我們將說明動態磁場量測的原理。量測裝置所利用的基本物理為法拉第定律 (Faraday's law)，亦即通過線圈迴圈面積總磁通量的變化將導致線圈上的感應電動勢。而量取此感應電動勢即可推得磁場的強度。而在儀器的響應範圍內，感應電

動勢的時變頻率即為磁場的時變頻率。因為磁場為一向量，所以量測儀器也分兩大類。一為單一方向性之量測儀，另一為等向性之磁場量測儀。單一方向之磁場量測儀由一組線圈構成，故可量得磁場之偏極方向，然而量測時必須以量測點為中心在空間中不同方向掃描而尋得最大值。等向性之磁場量測儀為由三組互相垂直之線圈構成，如圖 1 所示。最後顯示的量測結果為三組線圈各別量測值的平方和開平方根。因此其量測結果不受磁場偏極方向和量測儀在空間中方向的影響。在環境電磁場安全勘查的應用上，以使用等向性之電場或磁場量測儀較為適宜。然而，若欲得知場的偏極方向則需輔以單向量測儀。

二、結構示意圖

等向性磁場量測儀的結構如圖 1 所示。量測值為三組線圈讀值之平方和開平方根。圖中所示每組線圈為單一圈，實際的儀器為增加敏感度每一組線圈皆為多圈纏繞。至於單一方向性的磁場量測儀如

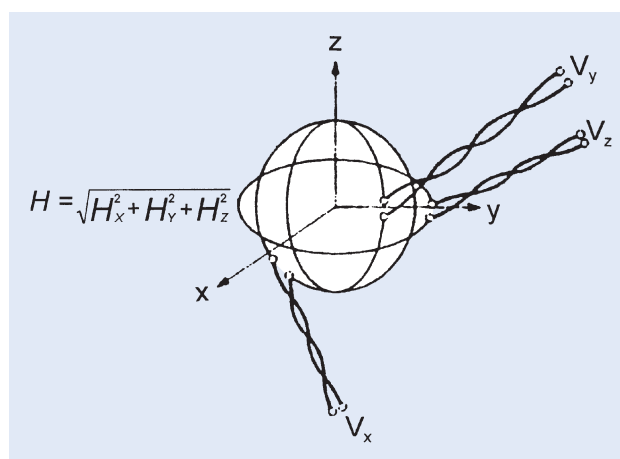


圖 1. 等向性磁場量測儀示意圖。

圖 1 所示，只是僅有一組線圈，故亦無需平方和之數學處理。

三、量測注意事項

由於勘查量測的場量都相當小，所以儀器的定期校正相當重要。量測環境週圍是否有其他電磁波來源亦需加以評估注意。量測儀器本身及量測人員對於待量測電磁場的干擾及影響經常有不可忽略的效應，進行勘查時應對這些效應的嚴重性加以了解。另外，若對家電用品及儀器設備的電磁場進行勘查時，在待測物開機的瞬間經常會有較強的電磁場脈衝的短暫現象，此時應將量測儀器置於較遠的地方，以避免量測儀器受到這強脈衝電磁場的影響而有飽和現象發生，因而破壞該量測儀器的良好校正狀況。

四、應用與用途

非游離輻射的生物效應至今在科學學術上，尚未有大家可以接受的定論。因此，對於此電磁場的管理規範，目前尚未完整。全世界亦無統一的規範

建議值。然而，各個國家依其國情的不同，人民反應的不一，社會及經濟狀況的差異，仍有訂定出一些管制值或建議值。因此，民眾在這方面有疑慮時，即可利用本文所提的量測儀器加以勘查，而向民眾加以說明或者要求該電磁場產生源相關單位、公司或個人加以改善。然而，本文所述的儀器僅限於「極低頻」的非游離輻射。除「極低頻」電磁場外，非游離輻射尚有「高頻電磁波」(radiofrequency EM wave)，以及紅外光、可見光(雷射)、紫外光及高強度超音波。以上這些並沒在本文討論到。

參考文獻

1. W. Horton and S. Goldberg, *Power Frequency Magnetic Fields and Public Health*, New York: CRC Press (1995).
2. R. Matthes, *Non-ionizing Radiation*, ICNIRP (1996).
3. W. R. Bennett, Jr., *Health and Low-Frequency Electromagnetic Fields*, Yale University (1994).

作者：許志模先生為威斯康辛州立大學麥迪遜分校物理博士，現任國立清華大學原子科學系副教授。

中文關鍵字索引

Tenax 吸附管 Tenax tube 13, 14, 16

四劃

不鏽鋼筒 canister 11, 12, 28-30

化學發光法 chemiluminescence 44, 45

反符合 anti-coincidence 97, 98

毛細管柱 capillary column 38, 39, 55-57

火焰離子偵測器 flame ionization detector (FID) 12, 14, 23, 24, 28, 30, 41, 42, 56, 57

五劃

加馬能譜分析 gamma spectrum analysis 93-96

加速溶劑萃取儀 accelerated solvent extractor (ASE) 84-86

可攜式氣相層析儀 portable gas chromatography (PGC) 55-57

皮托管 Pitot tube 1, 2, 4, 5

六劃

光學遙測 optical remote sensing 31, 33

多行程吸收槽 multi-path absorption cells 34

自動元素分析儀 automatic organic elemental analyzers 67-69

自動監測 on-line monitoring 23, 24, 45, 47, 48, 53

自動酸雨分析儀 automatic acid rain monitor 52, 53

七劃

吹氣捕捉 purge and trap 13, 14, 70-72, 75-77

吸收液 absorption liquid 17, 19, 21, 50

快速閃點測定儀 setaflash closed apparatus 78, 79

貝他能譜分析儀 beta spectrometer 103-105

八劃

法拉第定律 Faraday's law 109

直接沉積法 direct deposition 100-102

空氣動力直徑小於 10 μm 以下的懸浮微粒 PM10 6, 7, 10

阿伐能譜分析儀 alpha spectrometer 100-102

非分散性紅外光譜 non-dispersive infrared spectrum (NDIR) 48

非分散性紅外線法 non-dispersive infrared method 44-47

非散式紅外線偵測器 NDIR detector 81

非游離輻射 non-ionization radiation 109, 110

九劃

封管式測定法 ampule 81-83

柵極式游離腔 grid ionization chamber 100-102

毒性特性溶出程序 toxicity characterisaching procedure (TCLP) 73, 74

紅外光吸收法 infrared absorption method 41, 42

紅外光譜儀 infrared spectrometer (IR) 31-35, 38-40

面障式偵檢器 surface barrier detector 100, 101

音波篩選機 sonic sieve shaker 90

十劃

差異吸收光譜儀 differential optical absorption spectrometer (DOAS) 25, 26

氣相層析/質譜儀 GC/MS 13, 15, 16, 23, 28, 30, 35, 72

氣相層析儀 gas chromatography (GC) 12, 23, 24, 28, 35, 38-40, 55-57, 70-72

氣態化合物 gaseous compound 31, 33-35, 37, 42

海況儀 conductivity-temperature-depth 62

破壞與去除效率 destruction removal efficiency (DRE) 15, 16

耗乏層 depletion layer 93, 100

閃點 flash-point 78, 79

閃爍液 scintillator solute 97-99

高量空氣採樣器 high-volume air sampler 8-10

高溫氧化法 combustion 81, 82

高壓分解釜 high-pressure bomb 64-66

高壓鍋 autoclave 64

乾沉降 dry deposition 52, 53

十一劃

動態模式萃取 dynamic mode extraction 84-86

動壓平衡態等速採樣 isokinetic sampling 1, 3

密閉式消化 closed vessel digestion 64

採樣瓶 sampling bottle 50, 62, 63

採樣組裝 sampling train 1-4, 13, 15-17, 19, 21

採樣器 sampler 6-12, 23, 28, 62, 83

氫氧化鈉 sodium hydroxide (NaOH) 17, 19, 21

液體閃爍分析儀 liquid scintillation analyzer 97-99

符合 coincidence 97, 98

符合計測 coincidence mode 103, 104

粒徑分析儀 particle size analyzer 90-92

十二劃

傅立葉轉換紅外光譜儀 Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) 31-35

揮發性主要有機有害成分 principal organic hazardous constituents (POHCs) 13, 15

揮發性有機化合物 volatile organic compounds (VOCs) 11-13, 15, 16, 23, 24, 28-30, 37, 68, 70-73, 75, 77

揮發性有機化合物採樣組裝 volatile organic sampling train (VOST) 15, 16

散射 light scattering 60, 61

散射濁度計 nephelometer 60

氮氧化物 nitrogen oxides (NO_x) 17, 18, 20, 27, 44, 45, 49, 67, 68

氯化氫 hydrogen chloride (HCl) 21, 22, 25, 27, 35, 64

紫外光／可見光分光光度計 ultraviolet-visible spectrophotometer 58, 59

紫外光氧化法 persulfate-ultraviolet oxidation 81-83

紫外光螢光法 ultraviolet/fluorescence method (UV/FLD method) 46, 47

開放路徑 open-path 26, 31-33, 35

十三劃

塑膠閃爍體 plastic scintillator 98, 103-105

填充管 packed column 23, 56, 72

奧塞特氣體分析儀 Orsat apparatus 50, 51

微波萃取 microwave extraction 87-89

極低頻電磁波 extremely low frequency EM wave 109, 110

過氧化氫 hydrogen peroxide (H₂O₂) 17, 19, 20, 59

雷射繞射 laser diffraction 90

電鍍法 electrodeposition 100-102

零空間式萃取器 zero-head space extractor 73, 74

十四劃

碳氫化合物分析儀 hydrocarbon analyzer 41-43

十五劃

樣品前處理 sample pretreatment 64, 87

潘一馬氏密閉式閃點測定儀 Pensky-Martens closed tester 78

熱脫附 thermal desorption 13-15, 28, 30, 70, 75-77,

熱脫附／吹氣捕捉裝置 thermal desorption/purge and trap 75-77

熱發光 thermoluminescence (TL) 106-108

熱發光劑量計 thermoluminescent dosimeter (TLD) 106-108

質譜儀 mass spectrometer (MS) 12-16, 28, 30, 38-40, 69

輪盤式採樣器 rosette sampler 62

震盪搖篩機 vibratory sieve shaker 90-92

十六劃

濁度 turbidity 60, 61, 81, 82

濁度計 turbidimeter 60

靜態模式萃取 static mode extraction 84-86

十七劃

鍺半導體偵檢器 germanium semiconductor detector 93-95

壓差計 differential pressure gauge 1, 2, 4, 5,

濕式氧化法 wet-oxidation 81, 82

環境分析 environmental analysis 16, 24, 31, 40, 76, 87

總有機碳 total organic carbon (TOC) 81-83

總硫氧化物 sulfur oxides (SO_x) 19, 20, 27

總懸浮微粒 total suspended particulate (TSP) 8-10

十八劃

離子層析 ion chromatography (IC) 52, 53

二十劃

懸浮微粒 suspended particulate 6-10, 41

英文關鍵字索引

A

absorption liquid 吸收液 17, 19, 21, 50
accelerated solvent extractor (ASE) 加速溶劑萃取儀 84-86
alpha spectrometer 阿伐能譜分析儀 100-102
ampule 封管式測定法 81-83
anti-coincidence 反符合 97, 98
autoclave 高壓鍋 64
automatic acid rain monitor 自動酸雨分析儀 52, 53
automatic organic elemental analyzers 自動元素分析儀 67-69

B

beta spectrometer 貝他能譜分析儀 103-105

C

canister 不鏽鋼筒 11, 12, 28-30
capillary column 毛細管柱 38, 39, 55-57
chemiluminescence 化學發光法 44, 45
closed vessel digestion 密閉式消化 64
coincidence mode 符合計測 103, 104
coincidence 符合 97, 98
combustion 高溫氧化法 81, 82
conductivity-temperature-depth 海況儀 62

D

depletion layer 耗乏層 93, 100
destruction removal efficiency (DRE) 破壞與去除效率 15, 16
differential optical absorption spectrometer (DOAS) 差異吸收光譜儀 25, 26
differential pressure gauge 壓差計 1, 2, 4, 5,
direct deposition 直接沉積法 100-102
dry deposition 乾沉降 52, 53
dynamic mode extraction 動態模式萃取 84-86

E

electrodeposition 電鍍法 100-102

environmental analysis 環境分析 16, 24, 31, 40, 76, 87
extremely low frequency EM wave 極低頻電磁波 109, 110

F

Faraday's law 法拉第定律 109
flame ionization detector (FID) 火焰離子偵測器 12, 14, 23, 24, 28, 30, 41, 42, 56, 57
flash-point 閃點 78, 79
Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) 傅立葉轉換紅外光譜儀 31-35

G

gamma spectrum analysis 加馬能譜分析 93-96
gas chromatography (GC) 氣相層析儀 12, 23, 24, 28, 35, 38-40, 55-57, 70-72
gaseous compound 氣態化合物 31, 33-35, 37, 42
GC/MS 氣相層析/質譜儀 13, 15, 16, 23, 28, 30, 35, 72
germanium semiconductor detector 鍺半導體偵檢器 93-95
grid ionization chamber 柵極式游離腔 100-102

H

high-pressure bomb 高壓分解釜 64-66
high-volume air sampler 高量空氣採樣器 8-10
hydrocarbon analyzer 碳氫化合物分析儀 41-43
hydrogen chloride (HCl) 氯化氫 21, 22, 25, 27, 35, 64
hydrogen peroxide (H₂O₂) 過氧化氫 17, 19, 20, 59

I

infrared absorption method 紅外光吸收法 41, 42
infrared spectrometer (IR) 紅外光譜儀 31-35, 38-40
ion chromatography (IC) 離子層析 52, 53
isokinetic sampling 動壓平衡態等速採樣 1, 3

L

laser diffraction 雷射繞射 90
light scattering 散射 60, 61

liquid scintillation analyzer 液體閃爍分析儀 97-99

M

mass spectrometer (MS) 質譜儀 12-16, 28, 30, 38-40, 69

microwave extraction 微波萃取 87-89

multi-path absorption cells 多行程吸收槽 34

N

NDIR detector 非散式紅外線偵測器 81

nephelometer 散射濁度計 60

nitrogen oxides (NO_x) 氮氧化合物 17, 18, 20, 27, 44, 45, 49, 67, 68

non-dispersive infrared method 非分散性紅外線法 44-47

non-dispersive infrared spectrum (NDIR) 非分散性紅外光譜 48

non-ionization radiation 非游離輻射 109, 110

O

on-line monitoring 自動監測 23, 24, 45, 47, 48, 53

open-path 開放路徑 26, 31-33, 35

optical remote sensing 光學遙測 31, 33

Orsat apparatus 奧塞特氣體分析儀 50, 51

P

packed column 填充管 23, 56, 72

particle size analyzer 粒徑分析儀 90-92

Pensky-Martens closed tester 潘—馬氏密閉式閃點測定儀 78

persulfate-ultraviolet oxidation 紫外光氧化法 81-83

Pitot tube 皮托管 1, 2, 4, 5

plastic scintillator 塑膠閃爍體 98, 103-105

PM10 空氣動力直徑小於 10 μm 以下的懸浮微粒 6, 7, 10

portable gas chromatography (PGC) 可攜式氣相層析儀 55-57

principal organic hazardous constituents (POHCs) 揮發性主要有機有害成分 13, 15

purge and trap 吹氣捕捉 13, 14, 70-72, 75-77

R

rosette sampler 輪盤式採樣器 62

S

sample pretreatment 樣品前處理 64, 87

sampler 採樣器 6-12, 23, 28, 62, 83

sampling bottle 採樣瓶 50, 62, 63

sampling train 採樣組裝 1-4, 13, 15-17, 19, 21

scintillator solute 閃爍液 97-99

setaflash closed apparatus 快速閃點測定儀 78, 79

sodium hydroxide (NaOH) 氫氧化鈉 17, 19, 21

sonic sieve shaker 音波篩選機 90

static mode extraction 靜態模式萃取 84-86

sulfur oxides (SO_x) 總硫氧化合物 19, 20, 27

surface barrier detector 面障式偵檢器 100, 101

suspended particulate 懸浮微粒 6-10, 41

T

Tenax tube Tenax 吸附管 13, 14, 16

thermal desorption 熱脫附 13-15, 28, 30, 70, 75-77,

thermal desorption/purge and trap 熱脫附/吹氣捕捉裝置 75-77

thermoluminescence (TL) 熱發光 106-108

thermoluminescent dosimeter (TLD) 熱發光劑量計 106-108

total organic carbon (TOC) 總有機碳 81-83

total suspended particulate (TSP) 總懸浮微粒 8-10

toxicity characterisaching procedure (TCLP) 毒性特性溶出程序 73, 74

turbidimeter 濁度計 60

turbidity 濁度 60, 61, 81, 82

U

ultraviolet/fluorescence method (UV/FLD method) 紫外光螢光法 46, 47

ultraviolet-visible spectrophotometer 紫外光/可見光分光光度計 58, 59

V

vibratory sieve shaker 震盪搖篩機 90-92

volatile organic compounds (VOCs) 揮發性有機化合物 11-13, 15, 16, 23, 24, 28-30, 37, 68, 70-73, 75, 77

volatile organic sampling train (VOST) 揮發性有機化合物採樣組裝 15, 16

W

wet-oxidation 濕式氧化法 81, 82

Z

zero-head space extractor 零空間式萃取器 73, 74

儀器總覽－環境及安全衛生檢測儀器

發行人／黃文雄

發行所／行政院國家科學委員會精密儀器發展中心

新竹市科學工業園區研發六路 20 號

電話：(03) 5779911 轉 303,304

傳真：(03) 5773947

編輯／伍秀菁・汪若文・林美吟

美術編輯／吳振勇

初版／中華民國八十七年十月

初版二刷／中華民國九十二年二月

行政院新聞局出版事業登記證局版臺業字第 2661 號

定價／單冊新台幣 250 元・全套新台幣 2200 元

郵撥戶號／0017343-1 國科會精密儀器發展中心

打字／志丞商業設計社 (03) 5617562

印刷／泰銘照像製版社有限公司 (06) 2910838

ISBN 957-02-2526-2 (套)

ISBN 957-02-2535-1

國家圖書館出版品預行編目資料

儀器總覽 = Introduction to instrumentation
/ 伍秀菁, 汪若文, 林美吟編輯. -- 初版. --
新竹市 : 國科會精儀中心, 民87
冊 ; 公分
含索引
ISBN 957-02-2526-2 (一套 : 平裝)

1. 精密機械工業 - 儀器 - 手冊, 便覽

471.026

87012756