

VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

劉希平*

摘 要

近年來空氣品質中之臭氧已成為污染事件日的主角，更顯現出臭氧前驅物－揮發性有機物（Volatile Organic Compound, VOC）管制的重要。建制 VOC 自廠排放係數是提升現有污染排放資料庫的重要歷程，瞭解 VOC 的排放特性、排放量估算、檢驗和查核審查方法，均有助於目標工廠 VOC 自廠排放係數之建立。本文以質量平衡為基礎之環境會計方式，配合有效的 VOC 檢驗調查技術，確實評估各項 VOC 資料的可信度，逐步提升 VOC 排放係數與資料庫之完整性。

隨著國際原油價格持續攀升，更不應視可回收再利用之 VOC 為污染物質。藉由建立 VOC 自廠排放係數之契機，積極輔導與監督相關業者建立整廠 VOC 物質流向觀念，以防範 VOC 洩漏和進行物理性回收措施，減少 VOC 排放。政府機關更須積極培養 VOC 監測、檢驗、污染防治和管理人才，建立 VOC 排放申報表格，落實資料有效性之審查評估制度，方可在未來 VOC 空氣污染管制中，奠定深厚可信的基礎。

【關鍵字】揮發性有機物(VOC)、質量平衡、排放係數、洩漏檢查與維修

*輔仁大學公共衛生學系 副教授

一、前言

全球暖化的溫室效應和海水昇溫的聖嬰現象造就了全球氣候異常，日漸耗竭的石油資源和無法預期的糧食短缺震驚了全球經濟。芸芸眾生在面對環境污染的無言抗議時，體驗了地球沈默又無情的反撲。半世紀能源的恣意使用，雖成就了經濟成長，環境品質卻蠢蠢欲動地向下沈淪。爲了讓經濟成長過程兼顧環境權的公平使用，將工廠製造過程中合法排放污染的外部環境成本，藉由污染收費制度，轉嫁爲內部生產成本，更必須反應到其產品價格。廠商除了必須合乎現有環境管制法規外，更須有效降低污染排放量，以期減少繳交之污染費用。環境保護機關也藉由徵收環境污染費用，進而投入環境管制所需策略和方法，平衡日益上升之環境負荷。如此方能在兼顧經濟成長與環境保護間，充分利用環境涵容能力，維持環境品質。

在現有空氣污染物中，臭氧是特殊的二次光化污染物。在穩定、低風速的大氣環境下，強烈陽光照射在工廠煙囪、交通廢氣、民生活動排放的有機化合物和氮氧化物，形成氧化力強、刺激性高的臭氧。近年台灣西部地區空氣污染事件日中，過量臭氧成爲高達八成的指標污染物。過量臭氧會無孔不入地氧化有機物質，無所不在地劣化橡膠與紙張。當汽機車的新輪胎失去彈性，導致道路上爆胎交通事件比例增加；當高價的古畫失去顏色，投資的金錢化爲易脆的畫布，臭氧便不再僅是環保署例行公告之空氣污染物質，反而是無時無刻均影響威脅到個人交通安全與財產投資之一大夢魘。揮發性有機物（Volatile Organic Compounds, VOC）是重要的臭氧前驅物質，因此控制 VOC 之排放，除了有助於抑制臭氧之形成外，在石油日益短缺、價格飆漲之際，藉由 VOC 管制，更可有效使用這非再生性能源，有助於產業未來之競爭力。

VOC 僅是揮發性有機物之統稱，Carter^[1]提出不同 VOC 物種在大氣經光化反應產生之臭氧潛勢，以最大反應增量（Maximum Incremental Reactivity, MIR）作爲不同 VOC 物種的光化效應指標，MIR 值越高顯示其單位濃度產生臭氧之潛勢也越高，因此 VOC 物種排放資料庫是管制臭氧之重要基礎。加州空氣資源局^[2]（California Air Resources Board, CARB）定期更新不同 VOC 物種對於空氣品質之影響，迄今公告了 SAPRC-07 資料庫^[3]，詳細列出 1,100 種 VOC 之 MIR 值，作爲

空氣污染管制之模式模擬與 VOC 減量依據。如瞭解管制區域中各種目標 VOC 排放資料庫，在空氣品質惡化時，可提供環保管制單位重要之參考依據。例如甲苯（ C_7H_8 ）與二甲苯（ C_8H_{10} ）具有神經毒性，也是在大氣中產生臭氧潛勢較高物種（MIR 分別為 3.93 與 9.73），更是膠帶業、表面塗裝業、印刷業等重要原物料。相較於甲苯之臭氧污染潛勢，汽油中之苯（ C_6H_6 ）參與臭氧反應潛勢不高（MIR = 0.69），卻是危害人體健康的有害空氣污染物，更是未來 VOC 管制之主要標的物。

二、建立 VOC 自廠排放係數之背景

為了有效管制國內揮發性有機物排放和其衍生之光化效應，環境保護署已於民國 96 年開始徵收 VOC 空氣污染防制費，希望藉由 VOC 空污費之徵收，達成 VOC 減量成效。傳統上空氣污染物排放量申報方式大致分為：（1）連續自動監測系統（Continuous Emission Monitoring System, CEMS）；（2）定期煙道排氣檢測；（3）排放係數（Emission Factor）；（4）質量平衡（Mass Balance）等，前二者偏重於煙道排氣檢測，適用於傳統管制之空氣污染物，如硫氧化物、氮氧化物、粒狀物與酸性氣體等；而排放係數與質量平衡則較傾向環境會計稽核和檢驗查核方式。VOC 之揮發性與逸散性，使其排放方式迥異於傳統製程產生的空氣污染物，由原物料之有機氣體或溶劑到製程化學合成化學物質，若未使用有效收集方式、污染防治設備或管理制度時，VOC 之揮發逸散是現階段環保機關較難管理之痛。隨著國內西岸臭氧濃度逐年攀高，VOC 可能是最主要之光化前驅物質，加上 VOC 的潛在致癌效應，徵收 VOC 空污費和促使相關廠商體認 VOC 污染嚴重性，配合原油價格日益高漲趨勢，以有效方式建立廠商 VOC 自廠排放情形，是管制 VOC 之重要基石。

為了有效遏阻台灣地區空氣中臭氧濃度持續攀高之趨勢，環境保護署在 96 年空氣污染防制費中新加入 VOC 之計費方式，主要採用工廠申報之 VOC 排放量作為徵收基準。但環保署考量各地方環保單位對於 VOC 計量之完整性與確實性仍待加強，所以採用工廠活動強度、行業別 VOC 均化係數法與控制因子，以簡化 VOC 排放量之申報過程，作為推估各工廠 VOC 排放量之主要依據。VOC 均化係數乃參

114 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

照美國相關產業之 VOC 排放情形，再加上國內過去歷年對於主要 VOC 產業之 VOC 排放調查結果，配合環保署與產業界最終協商之 VOC 排放量計算方式。在 VOC 空污費之初期徵收，的確省卻了對於各廠 VOC 排放量查核之麻煩，也使得 VOC 收費制度得以順利開始，有利於未來開啓有害空氣污染物與臭氧之管制。

然而，不同工廠之製程、原物料使用、產品生產、廢棄物回收、廢氣收集、廢水處理與污染防治措施等均有明顯差距，如果單獨採用 VOC 均化係數可能造成偏頗情形。尤其針對 VOC 物料使用量較低之產業或已投入 VOC 防制工廠而言，相同產業之 VOC 排放單一均化係數會嚴重高估其排放量，也會溢繳金額可觀之 VOC 排放費用。因此環保署亦提出自廠 VOC 排放係數建立方式，作為產業界自行評估其 VOC 排放量參考，並公佈「自廠建立 VOC 排放係數規劃要點與作業指引」^[4]。

當工廠認為 VOC 排放均化係數遠高於其自廠 VOC 排放量時，也可以根據此指引，依據其廠內製程實際物料、產品、廢料、污染流向與處理情形，備齊相關調查與 VOC 檢測資料，精確計算代表自廠之 VOC 排放量，提出申請，經中央主管機關（執行初期為環保署）審核通過後，即為該廠之 VOC 排放量，並據以繳納空污費。依據環保署「自廠建立排放係數作業指引」，VOC 排放量主要以各工廠具代表性之活動強度、產業分類之均化排放係數與各工廠污染防治設備之控制係數因子，計算公式如下：

$$\text{排放量 (公噸/季)} = \text{活動強度} \times \text{排放係數} \times (1 - \text{控制因子})$$

活動強度代表工廠在不同時期之生產狀況，一般多半以產品產量做為計算基礎，而產品之單位數量則依據產業特性、產品特質做分類，例如汽車表面塗裝業、印刷電路板製造業與膠帶業以產品表面積（m²）為活動強度計算基礎。排放係數則為本文探討之重點，可依據環保署公告之排放係數或業者建制之自廠排放係數，再經由環保署審查核可，而控制因子則做為未來管制 VOC 之重要減量依據。

自廠 VOC 排放係數是推估工廠 VOC 排放的一種方法，經由相同產業、類似製程的生產方式，以原物料、產品、燃料、水電等各項基礎資訊，評估各行業之 VOC 排放量，除了可依據排放係數徵收空氣污染費用外，更可依據不同行業之 VOC 排放量，擬定適當之輔導與管制措施。然而相同產業、不同規模之工廠仍有生產狀

況、VOC 逸散的收集有效性、防治措施的去除效率等差異，未必可使用相同 VOC 排放係數推估相同產業類別的工廠。對於已投入 VOC 污染防治設備之環保績優廠商而言，更應依據實際 VOC 使用、控制與排放狀況，詳細計算製程中各階段 VOC 實際排放量，主要目的並非僅止於計算 VOC 排放量和繳交空污費，反而是藉由 VOC 管制和自廠係數之建置，確實瞭解可以回收 VOC 製程或改善作業方式，除了 VOC 減量外，更有助於積極有效地使用未來更為昂貴的 VOC。

本文依據 VOC 相關排放特性、排放量推估、檢驗量測方式，以質量平衡作為計算基礎，針對 VOC 查核、申報與審查核驗方面進行環境會計方式探討，並著重於 VOC 資料之可信度進行評量，建制長久 VOC 管制基礎。此外亦針對 VOC 排放量推估可能潛在問題加以探討與建議，期盼有助於國內 VOC 能源有效利用和減量。

三、VOC 之排放特性與管制法規

VOC 與傳統氮氧化物、硫氧化物等以燃燒為主的無機空氣污染物不同，因為 VOC 揮發性較高且物種繁多，其在常溫、常壓狀況下之蒸發、逸散、溶解等特性，使得掌握 VOC 排放成為棘手的環保污染管制。清查 VOC 排放不僅需要政府單位之技術引導，更需要業者的認知和配合，瞭解 VOC 是有價資源，具有未來長期回收遠景，並藉由排放 VOC 之污染費用計算與收繳，方能達到清查與管制目的。建立主要行業別之自廠 VOC 排放係數，進而依據工廠申報之 VOC 排放量作為 VOC 管制基礎，是環保署積極推動 VOC 自廠排放係數之重要考量。

台灣產業優勢在於生產應變性，產業每年除了維持固定生產外，也會依據國內外市場需求變更生產流程，因此污染排放情形亦隨之改變。台灣地區固定污染源之許可審查與年度污染申報方式已行之有年，但是台灣產業界積習已久的逃避稽查和年度排放檢測之可信度，均需以經常性之稽查檢測加以查核，遑論種類多、複查性高之 VOC 排放申報。VOC 管制之複雜性主要在於多數產業的管理階層認為除了產品外，其餘皆屬於無用之污染物，必須增添污染防制設備或設法逃避，對於揮發性較高的 VOC 而言，自然逸散方式轉化為無影無蹤氣體是最佳防制方式。因此 VOC 之排放特性與管制需從整體質量平衡方式著手，由各工廠購入原料、製程、

116 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

產品、廢氣、廢水、廢棄物流向，由物質流通量調查著手，質量不減是管制 VOC 重要基礎，無論是物理性製程、化學反應或是破壞性污染防治設備，VOC 流向大多有跡可尋。在完全無法掌握質量平衡情形下，便可假設 VOC 是經由自然蒸發逸散排放到大氣，後續之管制或收費制度，方得以執行。

以現有排放管道定期檢測制度而言，由工廠業者依據其生產週期與產能，委託環保署認證通過之環境檢測業進行排氣管道或相關污染排放設施（例如儲槽、元件與設備洩漏等）之檢測，並依據檢驗結果，進行適法性的判定與空污費之繳交。因此，絕大多數工廠多半在進行定期檢測前，進行設備維修與保養，以期符合法規與降低空污費繳納之目的。此外配合環保專責人員制度，固定污染源現有管制措施已逐漸達到管制目標，空氣品質監測也顯示出顯著改善成效。表 1 列出現有 VOC 管制之主要行業，除了以 VOC 排放量較大之化學製造業、汽車製造業、PU 合成皮業外，與民生活動密切相關之加油站、乾洗業，亦包含在管制範圍之內。

表 1 國內現有之 VOC 管制法規與相關行業

行業別	管制法規	公告日期
一般行業	固定污染源空氣污染物排放標準	96.09.11
加油站業	加油站油氣回收設施管理辦法	94.09.13
汽車製造業	汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準	94.12.16
化學製造業	揮發性有機空氣污染物管制及排放標準	94.09.12
PU 合成皮業	PU 合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準	92.01.29
光電業	光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準	95.01.05
半導體製造業	半導體製造業空氣污染管制及排放標準	91.10.16
乾洗作業	乾洗作業空氣污染防制設施管制標準	88.09.22
交通工具	交通工具空氣污染物排放標準	96.06.28

資料來源：環境保護署網頁^[5]

四、VOC 排放量推估方式

現階段台灣仍為管制 VOC 初期，應該先以 VOC 總量作為建制 VOC 資料庫基礎。若生產事業單位使用或排放顯著 VOC 時，即可逐步立法要求該行業建制主要 VOC 物種資料庫，一方面以申報與審核方式促使其改善製程或限用 VOC；另一方

面加嚴其排放標準，減少該工廠 VOC 排放量，這些方式在汽車製造業與 PU 合成皮製造業均獲得顯著 VOC 減量效果。

對於不易掌握之 VOC 排放量推估而言，建議進行方式為使用質量平衡之物質不滅定律。無論是物理性製程或化學性反應，任何物質之質量在反應追蹤與輔助證據下，大多有跡可尋。對於複雜化學反應製程而言，先行量測該製程的控制區域 (Control Volume) 中，於單位時間內輸入、產出之物質質量流通率 (例如：ton/day 或 kg/hr)，如圖 1 所示。在廢氣、廢水、廢棄物與回收物質流方面，利用重量量測或體積-密度量測，亦可分析其中 VOC 濃度或含量，以確定 VOC 物質流通情形，最後平衡整個製程進出 VOC 物質之質量差異，所得差異可能為 VOC 逸散或是尚未調查完善之 VOC 物質流通情形，也是 VOC 調查完整性之重要評估。對於批次式或大規模的製程反應而言，在可能範圍內先切割成數個次要反應，逐步計算各次要反應進出物質之質量平衡，追蹤各流向之誤差與其來源，進而減少差異，最後綜合所有次反應成獨立製程之質量平衡圖。

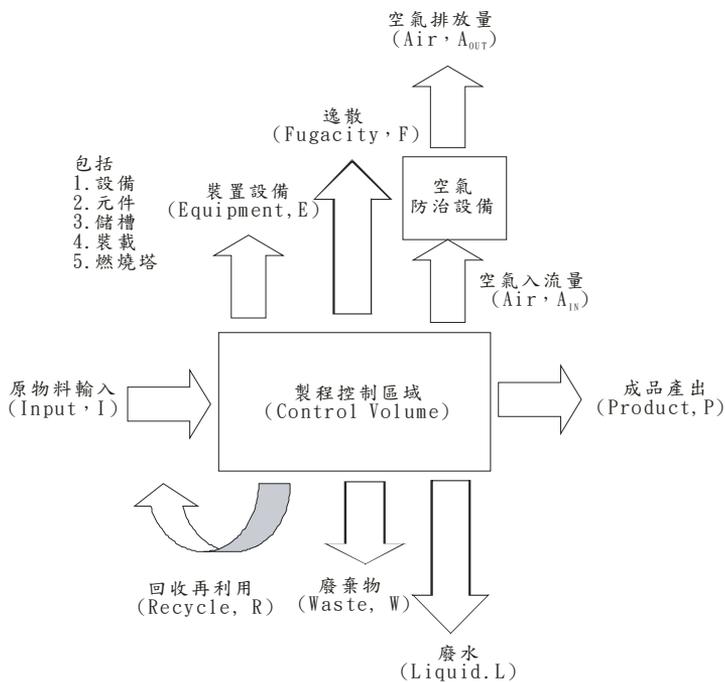


圖 1 VOC 質量平衡計算示意圖與 VOC 流通情形

118 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

以質量平衡為推算 VOC 排放量時，調查需針對個別製程進行，由小而大，個別系統之輸入物料與產出成品的差異，再扣除空、水、廢與回收之相關污染防治設備所去除 VOC 量即為潛在性 VOC 排放量，所有資料均需有完善的佐證或檢驗結果。但 VOC 之揮發特性和檢驗之不確定性，均使得輸入與產出可能存在一段差距，這也是質量平衡推估方法中必須詳加評估之重點。質量平衡中，可將上述項目區分為八大類，如下：

1. 原物料：原物料中 VOC 含量之輸入量 (I)
2. 成品：成品中 VOC 含量之產出量 (P)
3. 設備元件、儲槽、裝載設施、燃燒塔：VOC 排放量 (E)
4. 逸散：質量平衡中最不易量測之 VOC 排放量 (F)
5. 廢氣：管道 VOC 收集量 (A_{IN}) 及污染控制後排放量 (A_{OUT})
6. 回收：循環利用之 VOC 含量 (R)
7. 廢棄物：廢棄物內 VOC 含量 (W)
8. 廢水：廢水 VOC 收集量 (L)

綜合上述八項分類，可計算總輸入量與總產出量，如以下二式：

$$\text{總輸入量 (Gross Input, } G_{IN}) = I + R \quad (\text{EQ.1})$$

總產出量 (Gross Output, G_{OUT}) = P + E + F + A_{IN} + R + W + L (EQ.2) 在理想狀況下，質量平衡方程式為：

$$G_{IN} = G_{OUT} \quad (\text{EQ.3})$$

由於八大項目中最難檢測與計量之項目為 VOC 逸散量 (F)，因此在質量平衡中，建議將此無法檢測項目加以獨立，但仍併入 G_{OUT} 內。圖 1 需注意物質進出通量需以控制體積為主， A_{IN} 為移出控制區域，而進入空氣污染防治設備之 VOC 流通量，但是必須與防治設備出口之 A_{OUT} 加以區分，主要目的是計算空氣中 VOC 收集效率與污染防制效率。回收物質之 VOC 量 (R) 需出現於總輸入量與總產出量之計算。在廢水方面，亦可增加 VOC 入流量與處理後排放量等，但廢水 (L) 與廢棄物 (W) 之 VOC 排放量應不屬於空氣排放範圍。

在完善的 VOC 調查過程中，假設自物料輸入至成品產出，均可經由逐步調查與計算，獲得各個項目之物質 VOC 流通量。唯一欠缺的是無法測試之 VOC 逸散量， F 。因此，可藉由總輸入量與總產出量之差額，獲知可能之 VOC 逸散量，計算 F 值。如下式：

$$F = G_{IN} - G_{OUT} \quad (\text{EQ.4})$$

但若在製程控制區域中，VOC 可能存在於廢氣中蒸發與收集效率不佳、設備元件正常或意外洩漏、燃燒塔 VOC 流率監測不確實等情形下，使得 $G_{IN} > G_{OUT}$ ，而此差額均可視為 VOC 逸散至大氣的排放量 (F)。因此，總 VOC 之空氣排放量， G_{VOC} ，可修正為下式：

$$G_{VOC} = E + F + A_{OUT} \quad (\text{EQ.5})$$

計算 VOC 自廠排放係數應盡量以環境會計查核方式求得總輸入量與總產出量，總輸入量需有確實量測數據或表單，各項目之產出量也需盡量完整調查，以免造成 $(G_{IN} - G_{OUT})$ 之差額計入額外 VOC 排放量。換言之， $(G_{IN} - G_{OUT})$ 越趨近於 0，顯示 VOC 質量平衡之環境會計查核方式越顯完善，以質量平衡為基礎之 VOC 排放申報完整性也越高。

依據圖 1 質量平衡計算之基礎，以可能 VOC 排放狀況與調查情形做範例說明。圖 2 為假設理想狀況下之製程 VOC 質量平衡圖，原物料總輸入量為 100，假設調查各項目後，獲得 VOC 流通量皆為 10，成品之產出量為 50，回收再利用之質量也是 10，廢氣在經由污染防治設備處理後，以 80% 去除效率，獲得 A_{OUT} 之排放率為 2。由於無法測試製程中 VOC 逸散情形，所以 $F=0$ 。

使用質量平衡方式建立 VOC 自廠排放係數時，需注重申報 VOC 量之完整性，VOC 申報完整性如下式所示：

$$\text{VOC 申報完整性} = \frac{G_{OUT}}{G_{IN}} \times 100\% \quad (\text{EQ.6})$$

VOC 申報完整性越高，顯示該工廠掌握所有 VOC 輸入與產出量的資訊較佳，姑且不論其資料品質，但所顯示的是不明 VOC 蒸發逸散之比例也較低，對於未來 VOC 減量管制工作有莫大之助益。

以下以範例介紹質量平衡方式，推求空氣中之 VOC 排放量：

120 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

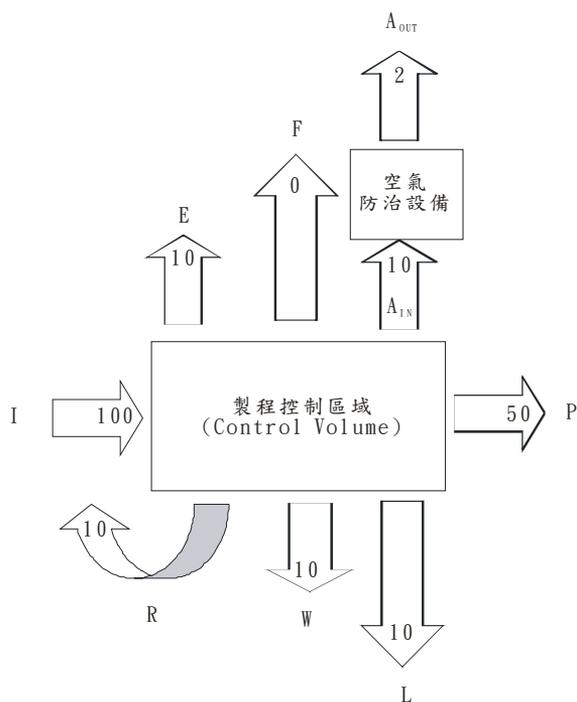


圖 2 VOC 質量平衡圖（理想狀況），F 無法量測

1. $G_{IN} = I + R = 100 + 10 = 110$ (VOC 總輸入量)

2. $G_{OUT} = P + E + F + A_{IN} + R + W + L = 50 + 10 + 0 + 10 + 10 + 10 + 10 = 100$
(VOC 總產出量)

3. $F = G_{IN} - G_{OUT} = 10$ (VOC 逸散量)

4. VOC 申報完整率： $G_{OUT} / G_{IN} = 100 / 110 = 90.9\%$

5. $G_{VOC} = E + F + A_{OUT} = 10 + 10 + 2 = 22$ (VOC 排放量)

但是實際狀況可能與理想有明顯差異，圖 3 顯示可能實際 VOC 調查情形。

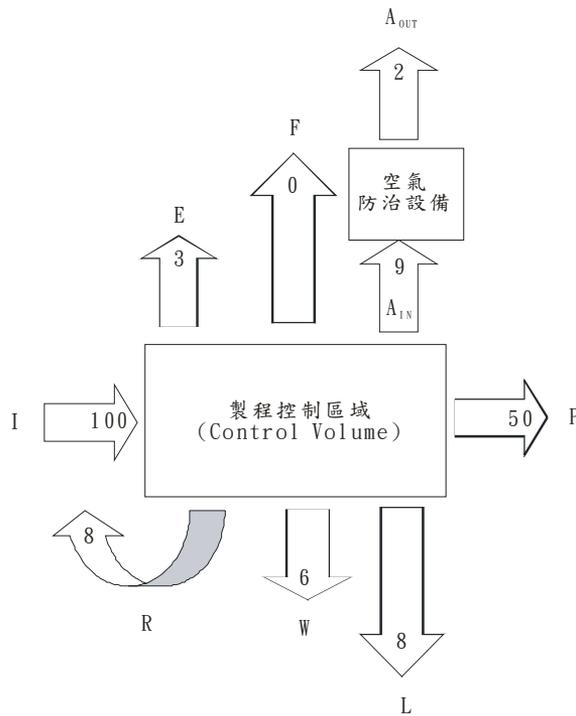


圖 3 VOC 質量平衡圖 (可能實際狀況)

$$1. G_{IN} = I + R = 100 + 8 = 108$$

$$2. G_{OUT} = P + E + F + A_{IN} + R + W + L = 50 + 3 + 0 + 9 + 8 + 6 + 8 = 84$$

$$3. F = G_{IN} - G_{OUT} = 24 \text{ (VOC 逸散量)}$$

$$4. \text{VOC 申報完整率} : G_{OUT} / G_{IN} = 84 / 108 = 77.8\%$$

$$5. G_{VOC} = E + F + A_{OUT} = 3 + 24 + 2 = 29 \text{ (VOC 排放量)}$$

圖 3 中各項目顯示之數值為調查 VOC 流通量情形，因為調查技巧與檢驗妥善率，使得多數 VOC 流通量較圖 2 的理想狀態為低。雖然 VOC 逸散之 F 值有顯著差異 ($F_{理想} = 10$ 與 $F_{實際} = 24$)，兩者 VOC 排放量相差 14。與理想狀況相較下，主要誤差來源是

$$1. E : 10 - 3 = 7$$

$$2. A_{IN} : 10 - 9 = 1$$

$$3. W : 10 - 6 = 4$$

$$4. L : 10 - 8 = 2$$

122 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

但是，對於整體 VOC 排放量 (G_{VOC}) 而言，兩者 ($G_{VOC, 理想} = 22$ 與 $G_{VOC, 實際} = 29$) 之差異為 7，主要誤差來源是

1. $A_{IN} : 10 - 9 = 1$

2. $W : 10 - 6 = 4$

3. $L : 10 - 8 = 2$

裝置設備之 VOC 排放量 (E) 原本即排放於大氣，但是 A_{IN} 、 W 、 L 之調查低估現象是計入原本不屬於空氣之 VOC，所以才提高空氣中 VOC 排放量。因此以質量平衡方式推估 VOC 排放量，若對於 VOC 物質流通量調查未盡詳細時，均可能高估空氣中 VOC 排放量。

所以欲計算整廠或特定製程之 VOC 揮發量，需備齊整廠或製程之控制區域內物質流向資料，方得以正確地計算其差額。上述方程式應僅為簡化質量平衡觀念之 VOC 排放量計算公式，若工廠為大型石化廠，具有多種製程（例如設備、元件、燃燒塔、裝載設施、儲槽、反應槽等），可先將主要製程分為多組細部製程，評估各細部製程之活動強度、排放係數與控制因子，再予以累加，成為全廠之自廠 VOC 排放係數。

五、VOC 之檢驗量測方式

以環境會計制度針對所有 VOC 相關原物料、產品、製程、污染防治設備等流向作質量平衡之推算基礎，但實際上仍須仰賴實場調查或採樣檢測，作 VOC 排放量與物種認定之確認工作，因此精密性、準確性、代表性、完整性與可比較性（precision, accuracy, representation, completeness, comparativeness, PARCC）是 VOC 檢驗量測之重要程序。宜依循相關標準環境檢驗方法之規定，進行 VOC 排放之量測。

檢驗 PARCC 需依其邏輯順序，一個檢驗需先具備精密性與準確性，而後才能評估代表性與完整性，最後方可與其他相同類別之檢驗進行比較。表 2 列出不同環境介質中 VOC 檢驗方法和相關 VOC 物種。由於 VOC 的揮發性、易衰退性與在氣體中之擴散性，因此最佳之檢驗為現場立即測試，例如 A433（煙道 THC）、A723

(甲烷與 NMHC) 與 A706 (元件、設備洩漏檢測)，三者均為現場以火焰離子化 (Flame Ionization Detector, FID) 進行即時分析，檢測精密性與準確性較佳，可立即獲得煙道採樣或污染防治設備之去除效率，因此 VOC 檢驗較為正確、客觀。

表 2 主要 VOC 檢驗方法和檢驗 VOC 項目

一、排氣管道氣體檢測	檢測摘要
總碳氫化合物分析法 NIEA A433.71C NIEA A723.72B	以 FID 檢測氣體樣本中之 THC 可區分 CH ₄ 與 NMHC
個別 VOC 物種： NIEA A722.73B NIEA A721.70B	以 Tedlar 採樣袋收集煙道氣體樣本，攜回實驗室， 以氣體直接注射氣相層析法，分析樣本中 VOC 種類 及成份。 以 Tenax 吸附管採集 VOC，以 GC/FID 或 MS 分析
二、周界空氣、作業場所	檢測摘要
NIEA A732.10C NIEA A505.11B NIEA A710.10T NIEA A714.10T NIEA A715.12B NIEA A001.10C NIEA A002.10C	Canister + 總 VOC 即時監測 有機光化前驅物連續 GC 監測 活性碳吸附 + GC/FID Tenax 吸附 + GC/FID(鹵素) Canister + GC/MS 抽氣式 FTIR 開徑式 FTIR
三、洩漏檢測	檢測摘要
NIEA A706.72C	元件、設備洩漏檢測
四、水中 VOC 檢測	檢測摘要
NIEA W780.50T	水中吹氣捕捉-GC/FID、ECD 檢驗有機或鹵素物種
NIEA W784.51C	水中吹氣捕捉-GC/PID、ELCD 檢驗鹵素 VOC 物種
NIEA W785.54B	水中吹氣捕捉-GC/MS 檢驗 VOC 物種
五、物料 VOC 檢測	檢測摘要
NIEA A716.10C	表面塗料之揮發物含量、水含量、密度、固形物體積、 及重量測定法
NIEA A717.10C	印刷油墨及相關塗料揮發物含量及密度測定法

資料來源：環境保護署環境檢驗所網頁^[6]

煙道排氣之 VOC 檢測中，較常使用的方法為 A433 與 A723，兩者之特性如下：

1.A433：使用火焰離子化偵測器 (Flame Ionization Detector, FID)，燃燒樣本中

124 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

碳氫化合物以產生電流，依據其電流強度，檢測 THC 濃度。由標準氣體檢量線之濃度校正，檢測 THC 濃度。由於 A433 以 FID 直接量測，檢測頻率較高，反應時間也較快，約數秒即可檢測氣體樣本之 THC 濃度。

2.A723：以樣本迴路注入 1mL 氣體樣本於層析管柱，分離甲烷（methane）與總碳氫化合物（THC），而後以 FID 檢測，兩者差為非甲烷碳氫化合物（Non-methane hydrocarbons, NMHC）。由於使用層析方式，每分鐘僅可檢測一筆資料，反應時間以分鐘為單位。

由於環境中甲烷濃度僅約 1 至 2 ppm，使用兩種方法獲得 THC 與 NMHC 差別不大，但 A433 可即時獲得數秒之反應時間，可立即顯現 THC 濃度；相對地，A723 每分鐘一筆資料容易失去時間解析性。此外由於 FID 燃燒含氧 VOC 時，氧離子將會壓抑火焰解離之電流訊號，導致 A433 與 A723 均低估 THC 濃度約 30-40%，因此低 THC 濃度造成之誤差不大。但在檢測出高濃度 THC 濃度情形下，建議以 A722 氣相層析分離方法檢測 VOC 物種，以確定 VOC 各物種之真正濃度。建議使用兩種方法之時機如下表：

表 3 A433 與 A723 之建議使用時機

使用時機	A433	A723
1.未使用甲烷之製程	優先	
2.污染防治設備之前、後處理效率	優先	
3.含甲烷氣體製程：如厭氧分解、煉鋼		優先
4.連續長時間監測	均可	均可

但若需檢驗 VOC 物種，則需藉助採樣袋、容器或吸附劑收集 VOC 樣本，攜回檢驗室中以氣相層析儀（Gas Chromatography, GC）和相關檢測器分析，樣本運送過程可能發生 VOC 冷卻、衰退、採樣袋材質吸附等現象，因此所獲致之 VOC 物種檢驗結果可能有低估情形。對於一般行業而言，中、低 VOC 排放污染情形或可容許適度之 VOC 物種檢驗誤差；但對於主要 VOC 排放源，建議以現場 GC 檢測，以取得可靠之 PARCC，作後續 VOC 物種排放量推估與資料庫之應用。

其餘檢驗方法均需在採樣現場採集樣本，如水樣、廢棄物與物料樣本。水樣中之 VOC 分析方法多半為先以純淨氮氣沖提水樣，在密閉狀況下進行水樣曝氣，將水樣中 VOC 揮發至氣相，再以氮氣載送 VOC 樣本到以液態氮冷卻至低溫的 GC 注射器。待累積一定曝氣量後，將 GC 注射器加熱脫附 VOC 至氣相層析管柱，進行 VOC 物種分離與分析工作。水樣中 VOC 檢驗主要困難處為無法分離水溶性較佳之 VOC，例如醇類與酮類，需在檢驗後作適當比例修正或以液相層析方式進行分析。廢棄物與物料中之 VOC 檢驗可用高溫烘烤物料，蒸發其中之 VOC，再量取物料在蒸發前、後的重量差，作為 VOC 含量之計算。

VOC 檢驗之 PARCC 關鍵在於精密性，相同樣本重複分析之偏差程度可評估 VOC 精密性；在相同採樣區域或來源採集多組樣本，個別進行 VOC 分析，依據此多組 VOC 結果之變異性，評估樣本之代表性。一般而言，水樣、混合溶劑或濃稠狀物料樣本可用重複檢測，以評估其精密性；空氣樣本則多靠密集檢測進行精密性評估。若在長時間工廠生產運轉時，定期採樣樣本進行 VOC 分析，更可評估各項樣本 VOC 檢驗之代表性。

工廠在建置 VOC 自廠排放係數時，多針對污染排放源（如煙函等）進行污染排放檢驗與計算，也是傳統空氣污染物排放量之重要依據。因為 VOC 揮發逸散性，所以 VOC 之逸散多半不經由排放管道，即使規範風罩收集風速和煙道排氣之 VOC 濃度限值等，促使廠商重視 VOC 之收集與處理，但考量實際執法上之可行性仍待評估。因此，對於中、小型 VOC 物理性操作（VOC 蒸發逸散為主之生產製程）工廠而言，應以 VOC 原物料管制，不得含有有害性 VOC，勿超過煙道排氣標準，更需配合勞工作業環境檢測，限制小型工廠 VOC 運作。

對於大型工廠或石油化學工業工廠等，應先依據 VOC 運作資料，判斷主要 VOC 場所原物料、產品和空氣、水質與廢棄物流通量，而樣本抽驗方式也是針對主要 VOC 流通量為主，建議檢測之優先順序為：（1）樣本中可能內含有害 VOC、（2）樣本為高濃度和高用量、（3）樣本為高濃度和低用量、（4）樣本為低濃度和高風量等。質量平衡是建立 VOC 自廠排放係數之重要基本觀念，需盡量能詳細查出 VOC 在工廠製程之流向與流通量，若可在該行業類別之輸入與產出 VOC 重量平衡達到既定水準以上，未來再逐步增加 VOC 調查項目，更可提高 VOC 申報

完整性。

以質量平衡建制之自廠排放係數中，VOC 檢驗費用是重要考量因素，需選擇適量、具代表性之檢驗以降低工廠自建 VOC 排放係數之負荷。VOC 檢驗技術層次較一般空氣污染物為高，主要原因是其揮發性與多樣性，更需要較為精密之儀器，例如氣相、液相層析儀。建置 VOC 自廠係數時，須有效利用經費作重點檢測，將主要 VOC 物料、產品、主要排放通路做為重點調查和採樣檢測目標。將 VOC 量少且次要之項目放置於後續調查，如此方可在有限經費狀況下，獲致可觀 VOC 成果。以環境會計角度來看 VOC 質量平衡計算，生產流程的 VOC 質量物流圖中，應可輕易獲知 80% 以上 VOC 質量流通分佈狀況，輔以重點 VOC 檢驗結果，驗證各種 VOC 流通量 (Flux) 在整體質量平衡估算之可靠性。

對於 VOC 排放量較低且未使用有害性 VOC 之工廠而言，花費過多檢驗費用來計算與建立其自廠排放係數，不僅無必要，且浪費資源。較為適當之檢驗方式為針對主要 VOC 使用處，例如主要物料、產品、流程進行調查，以簡易方式初篩物料密度、VOC 含量與濃度，部分簡易檢驗可由工廠內專業人員自行實施與檢驗，以節省檢驗經費。申報自廠 VOC 排放係數時，建議由工廠委託合格之檢測機構執行，原則上以獨立採樣樣本進行兩次檢驗，採樣過程需詳實記錄採樣人與監督者，以此二次檢驗評估其精密性與代表性，作為第三次檢驗考量，而 VOC 自廠係數審查單位亦擁有再次採樣與抽查之權力。

六、VOC 自廠係數資料之可信度探討

國內現有污染物資料庫以空氣污染物較為完整，主要原因是由於空氣污染防治費之開徵。然而經由多年中央與地方使用此空污資料庫之經驗，表面上的完整性卻潛藏著缺乏資料品質之可信度評等。或許因為國內各級考試、人員升遷和評鑑制度始然，所有資料均需達到盡善盡美之理想狀態，無法容忍錯誤，因而陷入資料庫為 100 分完美境界的迷思。

歷年管制工廠的空污排放量與相關資料之更新，耗費大量現場查核與資料品管人力、財力與物力，每年例行工廠稽查工作均著重於現有資料之反覆查對、更新

與修正。無論各項資料取得方式、來源與品質評估等，僅化為資料庫中的數字，無從考察其資料可信度。年復一年，工廠製程轉換、污染防治設備提升、專責人員更迭；查核顧問公司工程師之經驗與訓練；環保機關人員之調動與品質管制，在在影響各項排放資料之可信度。猶如一個人例行健康檢查一般，各項血液、生理指標檢驗數據均需經由檢驗師在檢驗後，提供初步檢驗與評估意見，交由醫師作第二次判斷。在嚴重疾病情形下，更需要徵詢第二位醫師或第二家醫院之檢驗與判斷，方可訂出較適當之醫療治療方式。

就是因為世事存在諸多的不完美，所以才需要在缺失中努力；所以才需要在落後處改進；所以才需要在遺憾中妥協。美國環保署採用之 AP-42 固定源與面源排放係數^[7]也體認各項資料的不完美和不完善，因此使用 AP-42 時需認知各項資料之使用限制，其建立基礎也在於調查資料的可信賴程度。AP-42 中並非每筆資料可信度均高，主要原因為資料取得之正確性仰賴污染源配合度、索取資料可信度、檢驗資料可信度、調查人員經驗與熟悉度、資料品質管制方式等，因此針對各種資料可信度調查，組合成 AP-42 排放係數之重要基礎。對於複雜之 VOC 自廠係數與資料庫而言，更需建置可信度分析方式與紀錄，在未來調閱相關資料時，可以判斷此資料之確實可信程度，評估其潛在誤差，作為後需更新資料或再次調查之依據。

建議國內 VOC 資料可信度可參考美國環保署 AP-42 資料庫之分類等級。由於污染物排放係數最主要牽涉到檢驗品質，因此 AP-42 先將檢驗數據分為甲、乙、丙、丁等四種等級，如下表。

表 4 AP-42 之檢驗數據等級分類說明

檢驗等級	說明
甲	檢驗是依據正式公告方法，其檢驗報告具有足夠可信度之評估
乙	檢驗是依據一般接受之檢驗方法，但檢驗報告缺乏可信度之評估
丙	檢驗是依據尚未證實或新式檢驗方法，並缺乏詳細之背景資料
丁	檢驗是依據尚未接受之方法、但可提供目標污染源十筆以上資料

而後再將目標污染源之排放係數等資料可信度等級分為 A、B、C、D 與 E 等

五等級，各等級之意義說明如下。

表 5 美國環保署 AP-42 資料庫資料可信度等級分類情形

等級	意義	說明
A 級	優良	排放係數由各種目標工業隨機選取甲與乙等級檢測結果之工廠排放情形計算而成，選擇工廠數目足以排除變異性
B 級	中上級	排放係數由各種目標工業選取甲與乙等級檢測結果之足量 (moderate number) 工廠計算而成。雖然沒有明顯之偏差，但無法證實工廠是由隨機選擇而得。如果檢測結果為 A 等級，選擇工廠數目足以排除變異性，亦屬於此等級之排放係數。
C 級	中級	排放係數由各種目標工業選取甲、乙與丙等級檢測結果之適量 (reasonable number) 工廠計算而成。雖然沒有明顯之偏差，但無法證實工廠是由隨機選擇而得。如果檢測結果為甲等級，選擇工廠數目又足以排除變異性，亦屬於此等級之排放係數。
D 級	中下級	排放係數由各種目標工業選取甲、乙與丙等級檢測結果之少量 (small number) 工廠計算而成，可懷疑選擇之工廠是由並非隨機選擇而得。排放係數具有某些程度之變異。
E 級	不佳	排放係數由各種目標工業選取丙與丁等級檢測結果之非常少數 (very few number) 工廠計算而成，可質疑選擇之工廠並非隨機選擇而得。排放係數具有某些程度之變異。

美國政府無論由何政黨主事，每隔 10 年均需大規模進行全面性人口普查，由訓練有素之社工人員親赴樣本數極大之目標家戶，調查人種、年齡、教育程度、工作、信仰、收入、支出等事項，社工人員需面對面溝通和詢答。受訪者也需誠實回答所有事項，因為每次人口普查均做為未來政府施政之重要參考。即使如此，調查資料也需經由後續專業人員審核、評估，在缺乏可信度基礎時，會由不同社工人員針對特定對象進行第二次調查，調查項目則專注於缺乏可信度之問題。國內所得稅申報程序也是如此，個人所得資料、扣繳憑證均需填入相關報稅表格，表格中均有查核欄，作為資料可信度評估。相關查核與複驗人員必須具備豐富經驗與判斷能力，因為肩負稅務收繳等重責大任。

對於環保污染管制而言，可信度是一個抽象名詞，國內工廠長存已久的逃避

心態、顧問公司查核工程師之專業訓練水準、審核人員之評估經驗等，不同人員與單位意見均有明顯差異，因此資料庫之可信度需建立在詳實記錄各種參與專業人士評估意見和其對於資料可信度評等。資料庫中除目標工廠各種調查數字外，工廠稽查人員之查核過程需說明資料來源與可信度，資料審核人員需對調查報告提出評估意見與確認可信度評等，在異常狀況時，品質管制/品質保證人員需提出處理方式，列出後續調查方向與收集資料等。因此空污資料庫在每年更新時，均可查閱過去數年之紀錄，若目標工廠諸多查核項目中均顯示可信度不佳，表示其缺乏環保配合度，自然將其列於優先現場稽查與調查對象，直到其工廠各管制項目結果均達既定品質，也是每年空污計畫查核管制更新之目的。反之，環保單位不應經常打擾管制優良之工廠，如果其可信度亦高，必要之調查可用網路與電子郵件、電話方式獲得，減少擾民之情形。

依據以往經驗，國內執行 VOC 可信度調查困難程度極高，主要原因為調查稽核人員對於 VOC 熟悉度不佳，加上固定污染源對於 VOC 管制方向之不確定度，固定污染源中 VOC 資料可任意更新與替代，過去建置之資料無跡可循。因此本文建議 VOC 資料庫可依循美國環保署建置資料庫之評等方式，將各項攸關 VOC 資料庫之訊息與資料，分別依據可信度建置追循紀錄，做為建制與使用 VOC 資料庫之參考。在各項紀錄方面，需列出各項資料調查、評估人員之姓名代號和其相關可信度評等與意見。如此經由 VOC 排放係數與資料庫之建立，逐步建立參與人員評估其在現場查核、數據品質時之意見，列出其專業判斷後之可信度評等。

參考美國 AP-42 之資料評等，建議國內 VOC 污染物排放資料可信度評等需依據資料的來源、提供資料人員與可能誤差範圍，分別列舉如下表。

表 6 建議之 VOC 固定污染源查核評等與換算計分方式

評等	換算計分	狀況	評等原因與代表情形
A 級	100	幾乎正確	<ul style="list-style-type: none"> • 佐證資料完全確實，並有確實來源。 • 人員或資料詳實提供各項資訊。 • 估計之誤差範圍在 25% 以內。
B 級	80	正確性高，但	<ul style="list-style-type: none"> • 佐證資料大部分齊全，並有確實來源。

130 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

評等	換算計分	狀況	評等原因與代表情形
		仍有部分疑問	<ul style="list-style-type: none">人員以記憶或經驗回答事項。估計之誤差範圍在 50% 以內。
C 級	60	資料具有可信度	<ul style="list-style-type: none">資料完整性約 50%，可估算出相關數值，但仍具有可信度。資料提供者態度不明確。估計之誤差範圍在 1-2 倍以內。
D 級	40	可信度待加強	<ul style="list-style-type: none">資料來源不明，可估算出相關數值，但仍具有可信度。資料提供者態度不明確。估計之誤差範圍在 2-10 倍以內。
E 級	20	不可信	<ul style="list-style-type: none">資料明顯錯誤。人員或資料無法判斷資料來源。無法判斷資料誤差。
U 級	0	無資料	

工欲善其事，必先利其器。經由可信度評等方式建制之資料庫，所建立的不僅是工廠事業單位各種可能污染源之 VOC 調查，還包括：（1）檢測機構之專業性與採樣代表性；（2）環境工程顧問公司現場查核檢測工程師之專業訓練與稽查技巧；（3）地方環保機關審查自廠係數相關資料之品質管制/品質保證水準；（4）VOC 排放資料庫之資料可信度、更新程度與過去查核、排放之歷史資料等。提升 VOC 採樣與檢驗技術人才、培養污染查核與稽查人才、訓練數據管理與考核人才，方可逐年在花費大量人力、物力建制之 VOC 自廠排放係數，獲得可信度高、排放掌握度高之 VOC 資料庫。

七、VOC 排放係數申報之完整性

調查自廠 VOC 排放係數過程中，不同品牌、來源的原物料中 VOC 含量、使用方式與使用量，是推估工廠使用與排放 VOC 之重要基礎，使用量越大，VOC 排放潛勢越高。如果物料或產品種類繁多，計算 VOC 總量時，宜先針對使用量較大、含有 VOC 濃度較多之物料為優先調查對象。在自廠係數調查過程中，仍使用產出

量與輸入量 (G_{OUT}/G_{IN} 比值) 作為自廠 VOC 排放係數申報之完整度。

如果 G_{OUT}/G_{IN} 值超過一定數值 (例如 90%)，顯示該自廠係數申報或以質量平衡方式申報時，已掌握到 VOC 輸入量之九成。先不論其申報內容品質，九成完整度顯示該次申報內容具有可參考之價值。如果 G_{OUT}/G_{IN} 僅 40%，則有絕大多數之產出內容仍需要調查，現階段若將未調查項目計入 VOC 排放量，將高估該廠 VOC 排放係數，亦對於業者較為不利。反之，也有可能 G_{OUT}/G_{IN} 比值超過 100%，形成 VOC 排放量為負，此情況可能發生在化學反應性製程，需探究可能原因和尋求改善方式。

G_{OUT}/G_{IN} 之合理門檻可交由廠商自行評估，因為輸入量 (G_{IN}) 與產出量 (G_{OUT}) 之差額將算成 VOC 排放量。 G_{OUT}/G_{IN} 為 90% 時，顯示在既定調查範圍內已掌握到九成 VOC 資料，可能也花費了相當多的檢測費用與調查人力。如果再深入追究剩餘的 10%，若必須以更為詳細之調查或檢測方式進行，花費之時間與費用可能遠超過上述九成 VOC 範圍，可能也不符合經濟原則。如同一位學生努力考到 90 分以上，繼續強記和背誦，要達到 100 分的確是一件耗時、費力的工作，廠商可斟酌直接繳納空污費或繼續完整調查。

如果工廠方面認為 90% 之 G_{OUT}/G_{IN} 仍過低，仍可繼續調查 VOC 流向，畢竟 G_{OUT}/G_{IN} 越高，顯示不明 VOC 逸散比率越低，更有助於以後 VOC 總量管制之實施。 G_{OUT}/G_{IN} 完整性之關鍵在於舉證，依據自廠係數指引與作業要點，舉證需要明確之檢驗分析結果，申請業者必須考量有限經費進行自廠係數之建制或直接繳交剩餘 VOC 空污費，選擇有利於自廠的方式進行之。舉例而言，當一個人健康出現警訊時，如果在有限經費下，應該做有效、經濟之健康檢查，將主要費用用於治療方面。工廠之生產亦然，不應花費過多的檢驗費用，如果剩餘的 10% VOC 可用證明文件或合理推估方式，可以節省相當多的費用，並增加工廠自行提出 VOC 自廠排放係數之意願。在自廠係數審核方面，相同工業類別不同廠商之 G_{OUT}/G_{IN} 值可供申請業者與環保署審核者做資料判定參考， G_{OUT}/G_{IN} 過低顯示未掌握所有 VOC 流向；相對地， G_{OUT}/G_{IN} 過高亦有不實申報之可能。

90% 之 G_{OUT}/G_{IN} 值可以應用在原物料 VOC 含量調查，在此建議對於明顯易見之物品中 VOC 量，可以使用各分項之「VOC 貢獻率」觀念。先針對所有原物料之

132 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

數量與 VOC 含量做初步計算，對於使用量大、VOC 含量高之原物料作為最優先之調查對象。一旦統計原物料已超過 VOC 貢獻率之 90%（假設值），對於剩餘之 10%，業者可以使用物料證明文件、產品物質安全資料表（MSDS）或其他有效文件，證實其 VOC 含量。即使這些原物料之誤差甚大，對於整體 VOC 總量而言，影響也極為有限。

在以有限經費調查 VOC 自廠係數時，建議先以供應商之物質安全資料表、售貨證明或檢驗證明等，佐證其原物料中 VOC 含量。以該廠 VOC 總使用量排名之前五大或需達總 VOC 量之 90%（需考量多數產業界狀況）之原物料，進行具有代表性之檢驗。如該項目有環境檢驗許可機構項目者，需送其檢驗；如尚未具有合格檢測機構者，則轉送具有公信力之檢驗機構進行檢測；如自行檢測，則需提出自廠之檢驗品質管制與品質保證方式。

本文以某家工廠化學合成的生產批次製程作為調查基礎，在工廠充分配合下，進行該廠最大製程中的三種次製程進行原物料、中間產品、成品、廢水、回收溶劑、廢棄物等重量調查，每個次製程均進行三次重複製造過程之詳細量測與紀錄，獲得所有原物料重量、產品重量、中間物料之密度檢測、廢水量調查、回收溶劑儲槽液面與體積換算資料。在每次總重量約為 27 至 28 公噸製造反應情形下，便獲得超過 $95.9 \pm 3.4\%$ 之物質流向，對於無法查出之物質數量差額，可歸類於 VOC 排放，進而計算其潛在之 VOC 排放量和排放係數。本次調查主要依據環保署自廠係數建制準則^[8-9]外，亦在可信度極高之調查中，建制完善之原物料、半成品與產品、廢氣、廢水與廢棄物等環境會計資訊系統，以評估該製程之反應完全性，更希望有助於該製程之生產。所以自廠係數調查並非完全針對 VOC 收費，對於有心提升生產效率的工廠而言，建制自廠物質流向和 VOC 排放係數是一項提升生產品質之契機。

八、建置 VOC 自廠係數之建議

VOC 自廠排放係數之建制仍在起步階段，僅就現階段可能的重要事項提出建議，以加速 VOC 自廠係數和資料庫之建制。專業人才之培養與訓練是所有完善制

度的開端，配合詳實 VOC 調查表單和查核訓練，確實達成各項資料之可信度評等，才是建立 VOC 自廠排放係數與 VOC 資料庫之契機。

九、VOC 人員之專業訓練與 VOC 申報機制

VOC 專業人員是實施 VOC 相關排放係數建制、資料庫管理以及未來 VOC 管制之重要核心。專業人員首先需建立 VOC 為可再利用、價值逐年飆升的原物料，而非傳統上認定之空氣污染物。專業人員應透過教育訓練、查核機制與考核評估機制，確實瞭解 VOC 之使用、排放、逸散、收集、處理和檢驗，均有助於所有的 VOC 管制與管理。無論是協助工廠事業單位減少 VOC 排放、有效地回收 VOC，或是協助政府環保單位查核工廠、污染排放源或管理 VOC 資料庫等，均將有助於國內相關產業之未來競爭力。

工廠事業單位主要執行者與空氣污染專責人員均有責任確實瞭解 VOC 相關原物料、中間產品、最終產品和空、水、廢之流向，落實物理性回收與再利用，錙銖必較地計算各項流程之 VOC 損耗和回收效率。環境會計制度除了適用於近年之收入與支出外，更應估計未來石油減產、價格飆漲之後果，更顯現出現今投入建置 VOC 自廠係數時之經濟估算利益。建議經由加強與持續之 VOC 宣導說明會方式，使工廠相關人員得知回收 VOC 與 VOC 減量有助於企業未來之長期經營。

相較於每年所得稅申報過程，制式化的申報表格、詳細家戶資料、收入列管、支出證明均使得所得稅之徵收順利執行，雖有少數逃漏稅情形，但在稅務人員積極查緝下，均瑕不掩瑜。建置 VOC 自廠係數亦應參考所得稅之申報方式，建置有效之申報表單和審核機制。廠商對於各項資料均需經由廠內之負責人員與污染防制專責人員確認和查核；各縣市環保單位與稽查人員依據廠商的申請文件，做現場查核和資料比對，品質保證人員需對主要申請事項進行可信度確認和排放量估算。如此，訓練完善的 VOC 相關人才逐步提升 VOC 資料之品質，才可落實 VOC 資料庫的建制和未來管制臭氧前驅物之遠景。

十、大處著眼、注重資料可信度評等

依據 VOC 質量平衡計算，計算含有 VOC 物質之輸入量和產出量，在鉅細靡遺的申報項目中，求出 VOC 可能之排放量，進而計算其單位活動強度下之 VOC 排放係數。但是不同規模工廠之生產方式與製造程序變異性，使得質量平衡的加總平衡觀念不易達成。就如同製作麵包工廠一般，麵粉或材料總有少數微量無法清查之處，因此自廠係數之推算也應該要容許微量無法清查之 VOC。少數、微量之 VOC 項目，在現階段之自廠係數建制作業中，需要花費許多時間、經費，進行檢驗和計算，但對於整體 VOC 質量平衡計算中，可能較不符合成本之經濟效益。

調查 VOC 排放量之複雜性不在於檢測準確性與精密性，而在於整體製程中「主要」VOC 排放源。如同「九牛一毛」，VOC 調查應注意在牛隻重量之貢獻，而非「一毛」之差異。若已掌握九成以上之原物料中的 VOC，而具有顯著的可信度，則應留一些彈性給予業者。業者可以申報主要之 VOC 原物料，將含量甚少之水性溶劑以原生產單位證明即可，主要原因為其 VOC 含量甚低，若使用強度亦不高情形下，即使在作業要點規定之範圍外，對於 VOC 總量之貢獻度亦不大。但是，若工廠主要使用含量甚低之原物料，而其使用量亦極為可觀，則雖然 VOC 濃度甚低，亦會明顯地呈現於 G_{OUT}/G_{IN} 申報過程中。同理，在產品方面亦可比照辦理。VOC 申報與審核之精神應在於掌握九牛之變化，給以一毛的空間，勿花費過多經費於 VOC 檢驗。

建制 VOC 自廠係數時，但可用 G_{OUT}/G_{IN} 值作為調查完整性限值，各產業可能存在不同 G_{OUT}/G_{IN} 限值，視其產業特性而定。 G_{OUT}/G_{IN} 值越高顯示調查完整性越高，該工廠掌握 VOC 程度也越高，因此申請自廠係數之意願業較高。相對地， G_{OUT}/G_{IN} 值較低者，顯示該工廠有許多 VOC 隱藏在不同項目中，極有可能直接逸散，可列為未來優先調查對象。

十一、石化業元件檢測之建議方式

石化業一向是 VOC 污染排放之重要污染源，廠區內設備、元件、儲槽、裝載設施、廢氣燃燒塔等 VOC 排放應該獨立要求進行例行檢測，並建立其個別的 VOC

排放係數，方可達到石化業 VOC 之管制。其目的不僅僅是推估 VOC 排放量，更必須要求廠商積極維修已發現洩漏之設備、元件，以免影響到附近區域之空氣品質。有效監督石化業之 VOC 排放，需有積極、嚴格地監測其所有可能 VOC 洩漏處，以獨立監督檢測方式，查核其設備、元件之維護情形。

元件檢測較具成效之方式為美國石化業實施洩漏檢驗與維修策略（Leak Detection and Repair program, LDAR）^[10]，石化廠先將其廠內相關元件進行編碼與定位，定期進行分區元件檢驗、查核。若元件發生異常洩漏，即可通知維修單位，積極維修減少 VOC 洩漏。但是運送化學性氣體、溶劑的設備和元件彼此關聯性高，未必相關設備元件均可立即維修，有時必須等待單元維修時，方得以進行，此時必須針對高洩漏性元件或設備進行掛牌動作，提醒廠內員工與製程監控單位，LDAR 策略更適用在地震、颱風頻繁之台灣。

美國伊利諾州與德州之煉油廠早已體認到原油價格日益攀升之購買壓力，唯有依靠詳實之 LDAR 減輕 VOC 洩漏，提高生產量，同時也減少 VOC 空污費之繳交。為鼓勵 LDAR 之確實性，廠內設備元件之 LDAR 管制策略是以檢測出設備元件洩漏數量與維修後降低 VOC 排放量程度，作為評估員工工作績效的依據。檢測出洩漏設備元件後，立即通知維修部門，在技術維修更換可行狀況下，積極維修設備元件，維修後再通知作後續檢測。設備元件之相關檢測頻率、結果與維修紀錄均需保持特定時間，並提交當地自然資源保護局（Texas Natural Resource Conservation Commission, TNRCC）^[10]或環境保護局。

美國生產事業單位中管理污染處理與排放計算的基本人力是工廠內之專責人員，其重要工作除了廠內污染防治設備操作與維護外，建制詳實、可追溯之相關資料，以提供地方環保管制需求和繳交相關污染費用。在工廠規模過大時，廠內需設立專業環保單位或聘請獨立查核之環境技師，以協助管理環保單位規範之事項。環保單位再依據工廠提交資料，進行書面審核或現場查核等工作，必要時，委託合格檢測機構進行複驗。

國內化學工業與煉油業一向是 VOC 主要排放源，設備、元件數量驚人。以現階段依據廠方數以萬計的設備、元件申報資料進行查核方式，較難獲知廠商申報內容之真實性，例如設備元件數量、形式、內含物、過去檢驗紀錄等，這些相關紀錄

136 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

均與 VOC 排放管制息息相關。本文建議之設備元件調查方式如下：

- 1.VOC 洩漏調查人員需配置 VOC 檢測儀器及附屬器材、衛星定位儀、測距儀、聯絡對講機、檢測難以檢測元件之輔助器材和錄影器材等。
- 2.在中央或地方環保人員協助進場後，請目標工廠負責人員配合協同抽查設備元件檢測。查核人員直接進廠區後，以 THC 偵測器量測上風處 THC 背景值，而後以此 THC 偵測儀搜尋該廠內 THC 濃度顯著製程區，並以此區作為主要設備、元件抽查區。
- 3.選擇該可能洩漏區顯著不易改變位置，做為參考座標，以衛星定位其座標，攝影存證。相較於該參考座標，而後直接進行該區域內設備、元件檢測工作，檢測過程中需確認各設備、元件之相對位置、形式、尺寸等，量測過程並配合攝影，紀錄所有檢測過程。
- 4.檢測過程中，請目標工廠協助人員調閱該廠之設備、元件相關資料，以利檢測後立即比對工廠申報資料之有效性。
- 5.對於異常洩漏之設備或元件，需立即進行第二次檢測確認，並作精密之衛星定位與照相攝影，以利維修後之複驗工作。

石化業設備、元件之數量、種類、內含物、直徑、位置高度與 VOC 排放和擴散有密切關連性。雖然管制法規中對於石化業設備元件管制標準已逐步加嚴，歷年來石化業設備、元件受檢驗數量也一直提高，但無法達到預期計算 VOC 排放量之目標，遑論管制其污染情形。隨著近年來石化工業區空氣品質惡化程度加劇，設備、元件檢測勢必成為重要關鍵。此抽查方式之優點為節省查核人員事前尋找特定設備、元件時間，即使在規模複雜龐大和數以萬計設備元件的製程中，因為調查之區域 THC 濃度顯著高於背景區，可以立即查出潛在洩漏之設備或元件。並以現場查核之設備、元件資料核對目標工廠原先向環保單位提交之申報資料，方可查明工廠申報資料之正確性。

十二、結論與建議

直到今日，大多數人仍推崇最聰明的智者是公元前五世紀之希臘哲學家 – 蘇格拉底，他的重要哲言是「我只知道一件事，這件事就是我什麼都不知道。」或許

蘇格拉底過於謙虛與保守。但在凡事要求完美的現代社會，我們可以對於未知的事物提供自我的觀點，拋磚引玉，這樣我們就可以看到他人更好的見解。對於 VOC 資料亦然，對於肉眼看不見之污染，以現有之科技和調查方式，建立可依賴的信用資料作為無價資產；對於不可追溯的數據則避免浪費資源。本文建議藉由「自廠 VOC 排放係數」之建立，落實專業 VOC 人才之培養與訓練，配合詳實 VOC 調查表單和查核訓練，確實達成各項資料之可信度評等，是建立 VOC 自廠排放係數與 VOC 資料庫之契機。

以質量平衡觀念為基礎，在環境會計查核方式下，建立主要製程之控制區域內，VOC 輸入量與產出量等相關物質流通量資料，藉由精密、正確、具代表性、完整性與可比較性之 VOC 檢測與計算，提高 VOC 申報之完整性，進而計算其自廠 VOC 排放係數。以適量 VOC 樣本與有限檢測費用，提高廠商申請自廠係數之意願，對於未來 VOC 管制有莫大之助益。VOC 自廠排放係數絕非單純的污染防治與減量，更攸關國內產業確實利用資源有限之石油。在全球貿易推波助瀾下，要提升國內產業競爭力，要從確實核算與回收 VOC 做起。

十三、參考資料

1. Carter, W.P.L., "A Detailed Mechanism for the Gas-Phase Atmospheric Reactions of Organic Compounds," *Atmos. Environ.*, 24A, 481-518 (1990)。
2. 加州空氣資源局網頁，<http://www.arb.ca.gov/>
3. Carter, W.P.L., "Development of the Update SAPRC-07 Chemical Mechanism and Ozone Reactivity Scales," CARB final report of Contract No. 03-318.
4. 行政院環境保護署網頁，「自廠建立 VOC 排放係數規劃要點與作業指引」
<http://share1.epa.gov.tw/>
5. 行政院環境保護署網頁，<http://www.epa.gov.tw/>
6. 行政院環境保護署環境檢驗所網站，<http://www.niea.gov.tw/>
7. USEPA, AP-42 排放係數，<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>
8. 工研院環安中心，固定污染源揮發性有機物排放係數訂定指引手冊(初稿 2.0)

138 VOC 自廠排放係數建立之探討與建議

版)，環保署，2005年。

9.環科公司，「固定污染源揮發性有機物自廠排放係數建制及規範要點」，96年9月。

10.美國德州自然資源保護局網頁，<http://www.tceq.state.tx.us/>