

95 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

計畫名稱：中部雲嘉南空品區臭氧污染成因調查研究分析
子計畫三：固定源及面源 VOC 排放推估及光化潛勢研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 95-EPA-Z- 168 - 001 -

執行期間：95 年 3 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

總計畫主持人：謝祝欽

計畫主持人：許逸群

計畫參與人員：張立鵬、何伊婷

執行單位：崑山科技大學環境工程系

中 華 民 國 96 年 1 月 20 日

目 錄

目錄.....	I
摘要.....	II
第一章 前言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 揮發性有機物製程排放.....	3
2.2 排放量推估.....	6
2.2.1 排放量推估之基本方法.....	6
2.2.2 排放係數資料庫介紹.....	7
第三章 研究方法.....	10
3.1 有機污染排放量及 VOCs 資料.....	10
3.1.1 建置污染源 VOCs 排放推估方法.....	10
3.2 品保品管規範建立煙道檢測作業程序.....	13
3.3 固定源 VOC 廢氣採集及排放係數建置.....	14
3.3.1 建構固定源及面源 VOCs 排放清單.....	14
3.4 彙整六輕 VOCs 排放量資料.....	14
3.5 高光化 VOCs 臭氧生成潛勢解析.....	16
第四章 結果與討論.....	18
4.1 中部空品區揮發性有機污染物排放量.....	18
4.1.1 固定源及面源揮發性有機污染物排放量-依行業別.....	18
4.1.2 固定源及面源指紋建檔.....	20
4.2 煙道檢測作業程序與品保品管規範建立.....	23
4.3 建構固定源及面源 VOCs 排放指紋資料.....	31
4.3.1 煙道樣品實測.....	31
4.3.2 煙道樣品與資料庫之 VOCs 係數比較.....	33
4.4 彙整六輕 VOCs 排放量資料.....	36
4.4.1 六輕揮發性有機物排放量.....	36
4.4.2 六輕排放揮發性有機污染物特徵.....	38
4.4.3 六輕 VOCs 排放差異分析.....	39
4.5 高光化 VOCs 臭氧生成潛勢解析.....	42
4.5.1 中部空品區固定源排放 VOCs 之臭氧生成潛勢解析.....	42
4.5.2 中部空品區面源排放 VOCs 之臭氧生成潛勢解析.....	47
第五章、主要建議意見及未來或後續執行建議.....	51
第六章、參考文獻.....	52

固定源及面源 VOC 排放推估及光化潛勢研究

Emission Estimation and Photochemical Potential of VOCs for the Stationary and Area Sources

中文摘要

固定污染源為台灣地區主要之空氣污染排放來源之一，根據環保署全國空氣污染物排放資料庫顯示，固定源(含逸散面源)排放之揮發性有機物約佔總非甲烷碳氫化合物(NMHC)年排放量 60-70%，且為台灣地區臭氧問題之主要前趨物。目前台灣地區雖然已經建立排放源資料庫(Taiwan Emission Databases, TEDs)，但是此資料庫並未包括碳氫化合物特徵成份組成資料。且國內外文獻對固定污染源管道廢氣及面源逸散之光化學反應及其臭氧增量，相關研究著墨不多，但考量國內工業製程排放揮發性有機物高排放量與高 VOC 濃度之排氣特性，伴隨工業區附近高濃度的氮氧化物，可能亦為區域高臭氧成因的主要推手。因此，區域高光化固定源及面源 VOCs 排放量及其光化潛勢評估，實有確認的必要。

本研究乃以方法論架構固定源及面源 VOCs 排放量推估，參考現行污染源排放資料庫數據，針對中部空品區及六輕固定源排放資料，配合污染源分類碼 (Source Classify Code) 及細項有機污染物排放分率換算，建構固定源及面源 VOCs 成分排放清單。固定源及面源 VOCs 成分排放清單乃參考 TEDs，援引 SCC Code 及行業別資料，彙整單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料，配合國外 FIRE6.25 及 SPECIATE3.2 指紋資料庫載錄細項有機污染物排放係數之分率換算，估算單一工廠之管道排放與製程逸散 VOCs 成分排放量。彙集中部空品區固定源和面源，以及六輕 VOCs 成分之排放清單。配合 10 處重要有機污染源實際檢測 VOCs，估算比對其排放量資料，並援引 Carter 建構之 VOCs 最大臭氧增量潛勢 (MIR)，評估中部空品區固定源(含面源)及六輕 VOCs 之臭氧光化潛勢，藉以確認重要高光化潛勢之固定源及面源。

研究結果彙整六輕許可之活動強度資料，輔以 FIRE6.25 之 VOCs 排放係數，估算六輕 VOCs 排放量結果顯示與環評資料有明顯差異，以 FIRE6.25 估算之 VOCs 排放量比環評高出 1231 (ton/yr)。比較 FIRE 6.25 之 VOCs 排放量與環評資料，台化部份差異最大，其 PS/ABS 塑膠廠、苯乙烯一、二廠、對苯二甲酸廠之 FIRE6.25 推估 VOCs 排放量較環評量高出 502-1077 ton/yr。環評資料較 FIRE6.25 推估偏低之差異是否為引用係數正確與否，或因以煙道實測值估算時未能測得低分子量污染物濃度所致，導致以 FIRE6.25 之 VOCs 排放量與環評資料呈現不一之現象，應有確認之空間。

依據 TEDS 6.0 版排放量推估結果，中部空品區揮發性有機污染物固定源排放約 40 千噸/年，面源排放則約 68 千噸/年。各縣市固定源排放部分，台中市約 9 千噸/年，台中縣約 16 千噸/年，南投縣約 3 千噸/年，彰化縣約 12 千噸/年，此中部固定源排放量為

台中縣居多。面源排放部分，台中市約 11.5 千噸/年，台中縣約 25 千噸/年，南投縣約 7.5 千噸/年，彰化縣約 24 千噸/年，此中部面源排放量亦以台中縣居多。本研究亦援引 FIRE6.25 有機污染物排放係數，配合工廠操作許可產能推估 VOCs 排放量，中部空品區揮發性有機污染物(Volatile Organic Compounds, VOCs)總排放量約為 115 千噸/年，其中固定源排放約 54 千噸/年，面源排放則約 61 千噸/年，FIRE6.25 排放係數推估固定源及面源 VOCs 排放量結果與 TEDS6.0 有 20-30% 差異。

另依據 SPECIATE3.2，中部空品區固定源排放 VOCs 致臭氧最大生成潛勢約為 27 千噸 O₃/年，其 VOCs 單位臭氧潛能為 0.5 gO₃/gVOC 年；中部空品區面源排放 VOCs 致臭氧最大生成潛勢約為 58 千噸 O₃/年產生，其 VOCs 單位臭氧潛能為 0.95 gO₃/gVOC 年，固定源與面源最大來源皆為台中縣，分占中部空品區固定源與面源排放量 42%、40%。中部空品區各縣市固定源排放 VOCs 致臭氧生成特徵行業別部份，台中市，彰化縣為金屬製品處理業，台中縣為塑膠製造業，南投縣為紡紗業。其特徵排放物種為 Toluene、Ethyl acrylate、Methyl ethyl ketone、Styrene 等。各縣市面源排放特徵行業別部份，台中市、台中縣、南投縣、彰化縣主要排放行業來自於建築表面塗裝-油性塗料，主要來源物種為：Toluene、o-Xylen、Isomers of butylbenzene、Styrene。

關鍵字：台灣排放源資料庫、揮發性有機物、污染源分類碼、最大臭氧增量潛勢

英文摘要

Photochemical ozone is formed from nitrogen oxide and volatile organic compounds through non-linear interactions, and the relationship between ozone and precursor pollutants will be different from place to place due to the emissions distribution and meteorology. VOCs and oxides of nitrogen form ozone and photochemical smog and cause secondary pollution under adequate conditions of sunlight and photochemical reaction.

This study investigates the emission assessment and photochemical reactivity of VOC released from stationary and area sources. Field sampling works for the exhaust gas of 10 stacks in the industrial manufactory will be conducted to measure the VOC profile of stationary sources. The concentrations of 51 VOCs were quantified by GC/MS. Base on the literatures and the Taiwan Emission Data System (TEDS 6.0), we select the major VOC emission sources to survey the VOC emission factor and Factor Information Retrieval (FIRE6.25) System and Speciation Data System (SPECIATE 3.2) of speciation profile in Taichung air basin. The localized VOC emission factor and detailed VOC emission list are also set up for stationary and area sources. According to the maximum incremental reactivity (MIR), the ozone formation potential of VOCs will be estimated. The importance of VOC from the special photochemical characteristics of stationary and area sources will be also discussed.

The main objective of this study was to collect the intensity of manufactory processes for the No.6 Naphtha Cracking Project (6-NCP) and calculate VOC emission by FIRE6.25 databases. Comparison with the emissions of the environmental impact assessment (EIA) for the 6-NCP, the result of FIRE6.25 databases assessed is higher 1231 ton/yr than the EIA value. The difference of VOC emission for the evaluated part was from Formosa Chemicals & Fiber Corporation, which may come from the incorrect emission factor quoted or the low molecular VOC unmeasured.

Accroding to the assessed emissions for TEDS 6.0 database, the VOC emissions from the stationary sources and area sources are 40 and 68 thousand ton/yr, respectively. For the Midst-Taiwan Air Basin, there are more of emissions for the stationary and area sources in Taichung County, 16 and 25 thousand ton-VOC/yr. We have collected the intensity of the

major manufacturing processes in the Midst-Taiwan Air Basin, and the calculated VOC emissions of the stationary sources and area sources are 54 and 61 thousand ton/yr by FIRE6.25 databases. the VOC emissions from the stationary sources and area sources are 40 and 68 thousand ton/yr by the assessed emissions for TEDS 6.0 database,, respectively. Comparison with the VOC emissions of TEDS 6.0 database for the Midst-Taiwan Air Basin, There are 20-30% difference for the VOC emissions between the result of SPECIATE3.2 databases and the TEDS 6.0 values. Besides, ozone formation (ton yr^{-1}) of VOCs was initially calculated based on the respective MIR values for each VOC. Then the annual O_3 formation for the major processes were 27(stationary sources) and 58 (area sources) ton/yr determined in this research. Overall, the average O_3 yield of the stationary sources exhibited the higher ($0.5 \text{ g-O}_3/\text{g-VOC}$), higher than one of area sources ($0.95 \text{ g-O}_3/\text{g-VOC}$). The characteristic manufacturing processes for the higher O_3 formation are plastic goods, sureface coating for industrial products, and the major VOC species including Toluene 、 Ethyl acrylate 、 Methyl ethyl ketone 、 Styrene 、 o-Xylen 、 Isomers of butylbenzene.

Keywords: Taiwan Emission Database 、 Volatile Organic Compounds 、 Source Classify Code 、 Maximum Incremental Reactivity

第一章、前言

1.1 研究背景

大氣揮發性有機物屬普遍且顯著之問題，VOCs 除造成令人厭惡之惡臭氣味外，與臭氧、光化學煙霧形成亦有重要關聯性。國外許多都會區如洛杉磯、芝加哥、雪梨、東京，長期以來 VOCs 污染及光化學煙霧問題甚為嚴重，十多年前即開始致力於 VOCs 污染控制與 VOCs 於光化學反應機制之解析。不同地區光化學參數之適用，會因不同日照輻射量、溫度、濕度、VOC/NO_x 比值及初始 NO_x，VOC 濃度時會有不同光化學反應機制的差異，這些差異來自於代表化合物、代表性反應式及代表性反應速率常數之選擇不同所造成(Dodge, 1990)。因此一個具有良好預測臭氧濃度能力之有機光化學反應機制，必須謹慎地決定機制中之代表性化合物、反應式及速率常數等三要素。然而這三項要素乃必須根據有機物成份之排放量比例及其反應活性而決定。由於各地區不同排放源之排放量比例並不相同，因此，適合於某地區之光化學反應機制並不必然適用於另一個地區，應經過適當修改後才能達到良好的預測能力。

台灣地區由於土地利用十分密集，都市化之程度極高，工業區與住家毗鄰併用型態十分普遍，考量 VOCs 之來源甚多且複雜，部分 VOCs 屬毒性空氣物質 (Toxic Air Pollutants, TAPs)，對人體具致癌性、致突變性、致畸胎性等健康危害，因此大氣中之 VOCs 濃度變化及地表高臭氧生成關聯值得關心。依環保署資料顯示臺灣地區民國九十年污染源排放量貢獻比例 NMHC 主要來自汽油車佔 19%、工業表面塗裝佔 15%、商業消費佔 13%、工業製程佔 13%、營建施工佔 11%、機車佔 11%、工業溶劑使用佔 9%及其他佔 10%。此排放推估結果顯示移動源之 NMHC 排放量及排放特性皆應受重視。以台灣地區 NMHC 區位排放量分析北部佔 33%、高屏佔 21%、中部 18%、雲嘉南佔 17%。因此中部空品區污染源排放 NMHC 能量實不容忽視。因排放量資料建置能不完整，因此建構中部空品區揮發性有機物之基本資料而急切工作。

依行政院環境保護署空氣品質監測資料顯示中部及雲嘉南空品區之空氣品質有逐年惡化之趨勢。而空氣品質副指標中又以臭氧污染的成長趨勢特別顯著，台灣地區歷年來臭氧污染月平均濃度比較中即可發現各月份之臭氧濃度自 84 年起幾乎皆有明顯提升，然而若比較其空氣品質不良事件日 (PSI > 100) 站日數佔全年日數比例，即可發現其中又以雲嘉南空品區之空氣品質惡化情形較為明顯，其不良率已由 84 年的 3.4 % 至 93 年的 6.1 %，與高屏空品區由 84 年的 18.4 % 至 93 年的 14.1 % 空氣品質逐漸改善之趨勢相較，顯示雲嘉南空品區空氣品質惡化成因有進一步分析探討，並謀求改善之必要。儘管近六年來各空品區空氣品質不良率之變化趨勢呈下降趨勢，然而由臭氧所引起空氣品質不良站日數比例有明顯上升現象，尤其 91 年之不良日站日數中，以 O₃ 為指標

污染物之站日數已明顯超過PM10 為指標之站日數，而中部空品區、雲嘉南空品區、高屏空品區臭氧與懸浮微粒為指標污染物比值高達 1.8-2.4 倍的差異，可見臭氧問題之嚴重性，顯示探討此問題之急切性。

1.2 研究目的

本研究為「中部雲嘉南空品區臭氧污染成因調查研究分析計畫」整合型計畫的一項子計畫，其乃根據「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」工作重點規劃研究方向之「臭氧前驅物來源探討與成因分析」主題提出研究構想，建立整體研究架構冀望得以藉此瞭解中部及雲嘉南空品區臭氧前驅物 NO_x、NMHC 的排放量及排放量成分、六輕離島工業區逸散性排放量對中部及雲嘉南空品區臭氧污染的影響、生物源 VOCs 排放量、氣象及臭氧污染生成機制與傳輸之相關性，並利用統計方法分析臭氧污染事件日的趨勢，且以光化模式決定光化指標，同時亦將據以深入探討近年來中部及雲嘉南空品區臭氧污染惡化的成因，以作為研擬具體改善對策之參考依據。

本研究乃以方法論架構固定源及面源 VOCs 排放量推估，參考現行污染源排放資料庫數據，針對中部空品區及六輕固定源排放資料，推估各行業別 VOCs 排放排放量資料，援引污染源分類碼 (Source Classify Code) 及細項有機污染物排放分率換算，建構固定源及面源 VOCs 成分排放清單。固定源及面源 VOCs 成分排放清單乃參考 TEDs，援引 SCC Code 及行業別資料，彙整單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料，配合國外 FIRE6.25 及 SPECIATE3.2 指紋資料庫載錄細項有機污染物排放係數之分率換算，VOCs 排放量。彙集中部空品區固定源和面源，以及六輕 VOCs 成分之排放清單。配合 10 處重要有機污染源實際檢測 VOCs，估算比對其排放量資料，並援引 Carter 建構之 VOCs 最大臭氧增量潛勢 (MIR)，評估中部空品區固定源及面源之臭氧光化潛勢，藉以確認重要高光化潛勢來源。

1. 蒐集並彙整固定源及面源有機排放量及 VOCs 指紋資料
2. 建置固定源、面源 VOCs 排放清單
3. 煙道檢測作業程序與品保品管規範建立
4. 固定源 VOCs 廢氣採集及排放係數建置
5. 彙整六輕 VOCs 排放量資料
6. 高光化 VOCs 臭氧生成潛勢解析

第二章、文獻回顧

2.1 揮發性有機物製程排放

1996 年國際空氣品質與排放趨勢報告亦統計 1993 年排放資料，依全球排放量名列前二十名有害空氣污染物(Hazardous Air Pollutants, HAPs)排放，毒性物種皆為揮發性有機物，殊不見重金屬、酸性氣體、多環芳香烴等其它有害空氣污染物。該清單中雖以移動源道路排放 1,389,111 公噸/年之排放量為最大，但有機化學品製造、人造纖維、煉油、塑膠樹脂、聚氨酯(PU)合成、二羥基醇乾燥、鍋爐燃燒以及表面塗裝等固定源工業製程排放量，每年亦分別有數萬至數十萬公噸不等之排放量。

石化業、表面塗裝、鋼鐵及金屬相關產業、燃燒源、電子業等相關產業及產品被認為是揮發性有機物主要固定污染源。援引臺灣地區民國八十六年空氣防制方案污染控制減量後人為污染源 NMHC 排放資料，固定源所致污染排放以工業製程、工業表面塗裝與工業溶劑使用為 VOCs 重要排放源，分別占 NMHC 總排放量 9.3、14.2、8.8%。其中，工業製程以石化/煉油工業占 NMHC 總排放量 4.1%為最多。石化工業為大氣環境 VOCs 重要排放源，其可能由製程反應、燃燒、原料操作貯存、廢水及廢氣控制處理等單元排放，造成廠區內、周界及附近區域複雜空氣污染問題，甚至對大區域空氣品質造成影響。

一般 VOCs 排放來源若以排放特性分類，可分成固定點排放源、逸散性排放源、與其它排放源。依據國內楊氏(1995)研究統計，台灣地區民國 80 年各類污染源所排放之 VOCs 共 82 萬 9 千多公噸，預測於民國 89 年將達 109 萬 5 千 5 百公噸，其中石化業之排放量約為 10 萬多公噸。

石化業之主要排放管道有：

一、固定點排放源(Point Sources)主要包括廢氣燃燒塔排放與製程管道排放：

- A. 廢氣燃燒塔排放
- B. 製程管道排放

二、逸散性排放源(Fugitive Sources)

- A. 貯運損失
- B. 二次排放
- C. 設備元件損失
- D. 開放性設備逸散

一般而言，石化工業為 VOCs 主要排放源，根據何等(1999)調查資料顯示，林園工業區年排放 VOCs 總量為 15554 公噸，平均每一家工廠排放量約 780 公噸，其中以設備元件逸散量最多，年排放量達 12072 公噸，佔總排放量之 81.7%；排放管道次之，年排放量 2337 公噸，佔總排放量之 15%；儲槽逸散量為 303 公噸，佔 2%；其他液體裝載操作設施及廢氣燃燒塔排放量最少，僅佔 1.3%。因污染來源眾多，造成在石化工廠周界及鄰近區域大氣中之 VOC 成份及濃度分佈十分複雜。張等(1998)在空氣污染監測站(林

園監測站)研究結果，VOCs 總濃度介於 23.8~202.8 ppb，平均濃度 97.1 ppb，主要成分以烯類(9.1~13.6ppb)、烷類(21.7~29.9 ppb)及芳香族(28.9~34.3 ppb)為主，該分布濃度均以凌晨時段最高，中午時段最低，該研究初步顯示林園工業區排放 VOCs 的相關性。

張(1993)指出，石化工業區排放大量 B(a)p，而其它測點所在地附近區域之排放源，多屬交通工具，則產生較多之 Pyrene。各測點雖受工業區排放量所影響，僅少數測點則受附近交通污染源及土壤捲揚之影響更甚於工業區排放所貢獻。大社工業區附近地區大氣中之 VOCs 成份，以 Toluene 及 Chlorobenzene 濃度最高，Toluene 濃度界於 7.2~160.4 ug/m³ 之間；Chlorobenzene 濃度界於 6.0~141.1ug/m³ 之間；Benzene 濃度亦高，其值界於 3.3~88.2 ug/m³ 之間。

Scheff 氏(1991)研究指出，石油精鍊業排放之揮發性有機物以烷烴類(乙烷、丙烷、丁烷、正己烷)、苯、甲苯、二甲苯等為主；汽機車所排之揮發性有機物則以乙烯、丙烯、丁烷、戊烷、苯、甲苯等為主。纖維製造工廠皆以氯乙烯為主要原料，故廢氣成分包括含氯之有機污染物。表面塗裝以揮發性有機物為主要溶劑，故廢氣含甲苯、二甲苯、丙酮等。Kelly 氏(1992)研究指出石化工業區所排放空氣污染物之粒狀物遠低於揮發性有機物量，並援引美國環保署所公佈之有害物質排放清單 (Toxic Release Inventory)，指出石化工業區排放之揮發性有機物主要包含甲苯、二甲苯、苯、甲醇、丙酮、三氯乙烯等項。

Edwards 氏(1991)對有機化學製造工廠進行 VOCs 排放量調查，針對苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯等四種化合物進行研究，發現由製程排放所致者佔 53.5%，逸散排放源佔 40.9%，儲槽及負載操作排放者佔 5%，而溢出 (Spill) 排放則僅佔 0.6%；Joanne(1991)亦提到約 70~90% 的空氣污染物來自於逸散排放。何(1997)研究發現，石化業廢水含苯、乙苯、甲苯、苯乙烯、二甲苯、1,3,5-三甲基苯及 1,2,4-三甲基苯等 7 種揮發性有機物。路氏(1988)指出，苯、甲苯、二甲苯主要由重組油所得，以輕油裂解製造程序排放最大，將裂解的汽油或重組油經加氫處理後、在經萃取處理即可分離苯、甲苯、二甲苯。受純化效率限制，無法將其苯類完全分離，故汽油內仍含有本、甲苯及二甲苯，故造車輛使用汽油造成排放苯及其衍生物之污染問題。Kump 氏(1991)於美國德州石化工廠附近進行大氣中 VOC 連續監測，指出在 Butadiene 日排放量為 69.1 磅/日條件下，上、下風側之 Butadiene 濃度皆低於 2 ppb；苯日排放量為 86.0 磅/日之條件下，下風側為 3 ppb，上風側仍為 2 ppb；乙烯日排放量約為 1365.2 磅/日，上風側為濃度為 50 ppb、下風側濃度為 200 ppb。與附近都市中之濃度比較，石化工廠附近苯濃度反而較低。

謝(2001)研究指出焚化造成的空氣污染物主要為臭氧，粒狀污染物及有害氣體，其中有害氣體包括氯化氫、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、多氯聯苯、戴奧辛、多環芳香族類及重金屬等。

將逸散源排放分為閥、泵浦、壓縮機、釋壓閥、法蘭、採樣管口等設備元件排放，

其洩漏排放百分比分別為 58.2%、6.4%、3.9%、11.0%、16.5%、2.4%、1.6%；此外，Siegeff 及 Bello 氏[1997]亦提到石化工廠製程設備元件洩漏排放量比例分別為閥 43%、泵浦 27%、釋壓閥 18%、壓縮機 8%、法蘭 3%及採樣管口 1%，可見國外製程設備元件中貢獻最大洩漏量者為閥。Siegeff 氏指出，若藉由增加閥之檢測頻率並及時修復洩漏閥，將可使閥達成 24~73%之排放減量，而降低洩漏定義濃度值則為減少逸散 VOCs 排放之最佳辦法，Edwards 亦提到，若針對閥、法蘭及釋壓閥進行修復工作，則可以達到減少 86%逸散排放量之效果。

一、製程設備元件逸散排放

石化煉油工業中所有的設備元件大略可歸納為九大類，即(1)泵浦;(2)閥;(3)壓縮機;(4)法蘭;(5)釋壓閥;(6)開口管線;(7)取樣連接裝置;(8)攪拌器;(9)製程排洩口等。製程流線 (Process Stream) 中的揮發性有機物，則易從設備元件的軸封(Seal)與配件(Fitting)隙縫中逸洩出來。製程設備元件之逸散排放特性是連續而緩慢，洩漏頻率高低與製程流體特性、元件材質、操作條件、維護狀況等因素有關，其中以氣體閥、輕質液閥、輕質液泵浦之洩漏頻率較高，針對上述元件倘若施以適當之檢測維修則可有效降低揮發性有機排放總量。

二、廢氣燃燒塔排放

廢氣燃燒塔普遍應用於石化煉油製程工場，主要的功用在於焚化處理含揮發性有機物廢氣之緊急排放、製程設備所累積之過剩廢氣釋壓排放，以維持系統壓力不致超過設備容許壓力而發生危險。廢氣燃燒塔一般可分為高架廢氣燃燒塔(Elevated Flare)及地面廢氣燃燒塔(Ground Flare)兩種，通常地面廢氣燃燒塔的廢氣處理量較低，適合處理連續性之少量製程廢氣排放，而高架廢氣燃燒塔則多半用以處理緊急狀況的大量氣體排放。此外，採用地面廢氣燃燒塔亦可減少噪音及火光發生。

廢氣燃燒塔之焚化處理效率與廢氣熱值、排氣速度、氣體紊流混和狀況有關。為使焚化效率達 98%以上，普遍於焰頂處噴入輔助蒸氣(Steam assisted)，以促進完全燃燒並避免黑煙排放。由於屬開放式燃燒，故亦有硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳等空氣污染物之排放。一旦工場操作不當瞬間排出之廢氣量超過設計處理負載、廢氣中含大量惰性氣體以致熱值不足、輔助蒸氣量配合不當或母火熄滅，都可能導致大量黑煙及 VOC 排放。

三、蒸餾操作製程排放

石化煉油製程中最常使用之單元操作即為蒸餾操作，主要藉氣-液平衡原理來分離進料中不同沸點之碳氫化合物成分，通常一套完整之蒸餾系統除具蒸餾塔本體外，並附屬塔底再沸器、塔頂冷凝器及循環泵浦；此外，若採減壓蒸餾則另需抽真空減壓設備等附屬設施。

經塔頂冷凝器回收產物後少量無法冷凝或為冷凝氣體，則由製程尾段設備（如冷凝器、真空泵浦、真空促進器、熱井）排氣口處排放。廢氣之特性為低流量/高濃度，廢氣中主要含有惰性載氣與低沸點之揮發性有機物，至於廢氣排放量多寡則與系統中之空氣逸入量、氣體於進料液體中之溶解程度、冷凝系統操作狀況有關。

四、儲槽逸散排放

儲槽中以儲存揮發性有機液體之常壓儲槽會有經常性之碳氫化合物逸散排放，常壓儲槽可分為三種：固定頂槽、內浮頂槽及外浮頂槽。固定頂槽之 VOC 排放來自於透氣損失及工作損失；浮頂槽 VOC 排放靜置損失（包括：板層邊緣密封損失、板層附屬配件損失及板層接縫損失）與浮頂下降損失。

Herkhof 研究逸散 VOCs 排放源發現，南加州近海區原油和油氣生產與相關製程活動逸散排放 VOC 可能惡化空氣品質，逸散排放 VOC 之成份主要為甲烷（平均值為 64%），含碳數二以上之烷類（含量佔 29%），乙烷（含量佔 4%），芳香族含量則在 1% 以下。逸散排放率最高之元件為開口端氣體閥和泵浦軸封，其排放量分別佔 3.3 和 2.8%；氣體和液體管線之連接頭（connection）數目雖佔全部元件數目之 52% 和 32%，但其排放率僅佔全部排放量之 0.5% 和 0.04%。

Viswanath 在 Tulsa, (Oklahoma) 附近油田進行 VOCs 排放特性組成和相對濃度研究結果發現 ethane、propane、2-methylpropane、n-butane、2-methylbutane 和 n-pentane 為最常見之成份，其中並以 propane 為最主要成份，其組成成份特徵（propane 含量高於 ethane）不同於天然氣成份之組成特徵（其 ethane 含量較高）；由鑽井處到煉油廠儲槽之程序，低分子量成份（如 ethane 和 propane）含量則逐漸下降。

Hanna 在 Alaska 進行原油溢出影響研究，使用多成份蒸發排放模式結果發現，在原油溢出最初 8 小時內，甲苯最大排放量約為 20000kg/hr，利用 ATDL 及 OCD 模式估算空氣中 VOCs 成份及濃度結果顯示，所有 VOC 成份之最高小時平均濃度皆不超過 10ppmv。

國內蔡氏(1998)彙整並檢測 72 處南高屏地區 VOCs 排放量高之 ABS、聚氯乙烯、壓克力樹脂、PU 合成皮、對苯二甲酸、環氧乙烷、乙二醇等相關製程煙道，結果顯示不同製程煙道排放 VOCs 特徵與濃度皆差異很大，與美國 AP-42 資料比較，國內製程 VOCs 排放係數多較 1996 年美國 AP-42 排放資料庫為低，部分製程 VOCs 特徵成份與 SPECIATE 指紋資料庫頗具差異。顯示不同製程煙道排放 VOCs 特徵與濃度皆差異很大，顯示 VOCs 物種排放特性有再詳細調查之必要

2-2 排放量推估

2.2.1 排放量推估之基本方法

一般空氣污染物控制策略由於各種問題性質不同，其策略目標不盡相同，想要評估最適切的控制策略，需先進行排放量推估，以瞭解空氣污染程度，一般空氣污染排放量推估排放量計算有以下四種。(中鼎，1993)

直接量測法：以實測資料計算之基本公式如下

$$\text{排放量} = \text{排氣濃度} \times \text{排氣流量} \times \text{運轉時數}$$

此法適用於可取得實測資料之污染源，且該實測值需具有代表性。缺點為若不同產能下之排放率變化甚大，即造成推估計算之誤差頗大。

質量平衡法：製程中該空氣污染物，為原物料量減去所有產品與其他廢物之含量，並考慮製程中之額外產生及損失質量，可得該空氣污染物之最終排放量。此法缺點為適用情況少，因實際操作製程均不為封閉環境，常有環境質量影響而造成誤差。

經驗方程式法：將物理與化學等參數，加入可用以估算之數學方程式，以估算出排放量。此法缺點亦為適用狀況少，因製成實際操作與理想反應式相差甚遠。

排放係數法：以排放係數推估排量的基本公式如下。

$$\text{排放量} = \text{排放係數} \times \text{活動強度} \times \text{控制因子}$$

「排放係數」或稱「排放因子」(Emission)定義為「每單位生產量(或能源消耗或服務量)所排出空氣污染物量」；而「活動強度」(Activity Intensity)是指一段時間內之生產量(或能源消耗或服務量)之大小。「控制因子」則為經過污染控制設備，控制前與控制後之排放量比，即為(1-控制效率)。故「排放係數」、「活動強度」及「控制因子」為採排放係數法推估排放量時所需收集之三大資料。

由於台灣地區目前自行發展的排放係數有限，如欲進行有害空氣污染物排放量推估則勢必引用國外發展之資料庫進行推估。目前國內對於工業製成排放係數多半參考美國環保署所委託建立的三套排放係數資料庫

(A)FIRE(Factor information Retrival System)(Pope,1993)

(B)SPECIATE(Volatile Organic Compound(VOC)/Particle Matter Speciation Data System)
(Lynch,1991)

(C)AP-42(Compilation of Air Pollutant Emission Factors)

2.2.2 排放係數資料庫介紹

FIRE 資料庫

FIRE資料庫(Factor Information Retrieval Data System)為美國聯邦環保署對基準污染物及有害空氣污染物之建議排放係數資料庫，包括工業及其排放製程名稱、排放之化學品及其排放係數資料，透過Compilation Of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Locating and Estimating (L&E)等文件所獲得的排放係數資料彙整於FIRE資料庫內，使得

基準污染物及有害空氣污染物的排放量估算更為簡易。目前聯邦環保署最新之FIRE資料庫版本為於2004年3月提出之FIRE6.24版。可透過污染源類型(source category)、污染源分類碼(source classification code, SCC)、污染物名稱、CAS編碼或控制設備由資料庫中選擇特定適合之排放係數。FIRE6.24版已彙整AP42(第五版)及Locating and Estimating series (L&E)目前所含之排放係數。此外，聯邦環保署至2004年3月21日止所有污染源分類碼(SCC)亦彙整於FIRE6.24資料庫內提供引用。(Factor Information Retrieval System (FIRE)Frequently Asked Questions，<http://www.epa.gov/ttn/chief.html>，UEPA，行業別固定污染源揮發性有機空氣污染物管制作業推動計畫，2004) FIRE6.24資料庫查詢分為點源(point source)及面源(area source)二資料系統；點源中可分External Combustion Boilers、Internal Combustion Engines、Industrial Processes、Petroleum and Solvent Evaporation、Waste Disposal、MACT Source Categories等六大類，每一大類又分3層次描述，第二層描述共包括60項製程，用以判斷SCCs選用正確性，共包含7,425個污染源分類碼(SCCs)。面源則分為Stationary Source Fuel Combustion、Industrial Processes、Solvent Utilization、Storage and Transport、Waste Disposal/ Treatment and Recovery、Mobile Sources、Natural Sources、Miscellaneous Area Sources等八大類；共包含2,474個污染源分類碼(SCCs)。(Factor Information Retrieval System (FIRE)Frequently Asked Questions，<http://www.epa.gov/ttn/chief.html>，UEPA，行業別固定污染源揮發性有機空氣污染物管制作業推動計畫，2004) 同屬美國聯邦環保署建立之FIRE資料庫乃為聯邦環保署建議有害空氣污染物引用之排放係數資料庫，FIRE內建有污染源分類碼(Source Classify Code, SCC)，對於同一SCC碼對應有許多污染物的排放係數，包含有總懸浮微粒(TSP)、粒狀物(PM10)、硫氧化物(SOx)、氮氧化物(NOx)、揮發性有機物(VOCs)、一氧化碳(CO)及鉛(Pb)等傳統基準污染物之不同型式，可直接與國內TEDS資料庫內SCC碼對應。另外，該排放係數檔案中含有許多經過控制設備後的排放係數值，亦包括該係數引用之描述說明、等級、出處與備註等相關資料，可提供選擇排放係數之更多參考。包括SCC碼、該碼描述、估算單位基準、各污染物係數值與係數等級。FIRE資料庫因資料來源各不相同，因此隨著資料的多寡及準確性將資料的品質區分為A、B、C、D、E及U等六種不同層次，已瞭解所得資料之可信度。(Factor Information Retrieval System (FIRE)Frequently Asked Questions，<http://www.epa.gov/ttn/chief.html>，UEPA，行業別固定污染源揮發性有機空氣污染物管制作業推動計畫，2004)

SPECIATE 資料庫

SPECIATE 資料庫為美國聯邦環保署對各類污染源之總有機化合物(Total Organic Compound, TOC)及粒狀物(Particulate Matter, PM)物種圖譜(profiles)之資料庫(repository)，提供給污染源分配研究來使用，其特色乃依據不同之污染源代碼列出相關排放之VOC/PM成分，藉由工廠之總排放量資料來得到其成分之排放量，排放係數品

質亦分為 A、B、C、D 及 E 不同等級。目前版本為 2002 年 11 月之 3.2 版，此版 SPECIATE 資料內容不再以污染源分類碼(SCC)做為圖譜代碼，替代的是以關鍵字(keyword)蒐尋所需之圖譜資料。SPECIATE 資料庫中分成「粒狀物」(PM Profiles)及「總有機化合物」(TOC Profiles)。在 TOC 資料中圖譜名稱(profile name)描述排放種類中某個製程，圖譜名稱可能出現在多個排放種類中；圖譜編號(profile number)為每一圖譜名稱所有之特定編號，可縮短蒐尋資料之時間並方便紀錄，其中 TOC 系統中包括 31 個排放種類及 567 個圖譜編號(名稱)。(SPECIATE Version 3.2, www.epa.gov/ttnchie1.html, USEPA, 行業別固定污染源揮發性有機空氣污染物管制作業推動計畫, 2004)

第三章、研究方法

本研究乃以方法論架構固定源及面源 VOCs 排放量推估，參考現行污染源排放資料庫數據，針對中部空品區及六輕固定源排放資料，推估各行業別 VOCs 排放排放量資料，援引污染源分類碼 (Source Classify Code) 配合污染源分類碼 (Source Classify Code) 及細項有機污染物排放分率換算，建構固定源及面源 VOCs 成分排放清單。固定源及面源 VOCs 成分排放清單乃參考 TEDs，援引 SCC Code 及行業別資料，彙整單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料，配合國外 FIRE6.25 及 SPECIATE3.2 指紋資料庫載錄細項有機污染物排放係數之分率換算，VOCs 排放量。彙集中部空品區固定源和面源，以及六輕 VOCs 成分之排放清單。配合 10 處重要有機污染源實際檢測 VOCs，估算比對其排放量資料，並援引 Carter 建構之 VOCs 最大臭氧增量潛勢 (MIR)，評估中部空品區固定源及面源之臭氧光化潛勢，藉以確認確認重要高光化潛勢來源。

3.1 有機污染排放量及 VOCs 資料

關於本研究固定源排放資料處理，主要依據「台灣地區排放源資料庫」(Taiwan Emission Databases, TEDS) 排放量資料，由其載錄污染源、管道、製程編碼等相關資料，計算彙編單一工廠各污染源管道排放與製程逸散之年排放量情形。蒐集 2003 基準年 TEDS-6 載錄 NMHC 排放資料，推估各行業別 VOCs 排放排放量資料，援引污染源分類碼 (Source Classify Code) 彙整中部空品區(含六輕)單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料；另收集國內外污染源 VOCs 指紋資料如 FIRE6.24 及 SPECIATE3.2，建立 VOCs 排放清單。

藉由前述建置各行業工廠管道、逸散空氣污染物排放總量清單資料，並依據各製程及各污染源排放特性，參考「美國環境保護屬國家資料庫之各製程類別排放係數總表」，對於各製程各污染源逐一進行比對，建置污染源與 SCC Code 對表應資料清單。

3.1.1 建置污染源 VOCs 排放推估方法

以「中部空品區固定源及面源 NMHC 排放量及 VOCs 指紋資料」所彙整的及排放資料參考現行污染源排放資料庫數據，針對，配合 SCC Code 及細項有機污染物排放分率換算，建構固定源及面源 VOCs 成分排放清單。固定源及面源 VOCs 成分排放清單乃參考「台灣地區排放源資料庫」(Taiwan Emission Databases, TEDS)，援引污染源分類碼 (Source Classify Code) 及行業別資料，彙整單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料；固定源、六輕及面源皆引用 SPECIATE3.2 載錄細項有機污染物排放係數之分率換算，估算各縣市單一行來源 VOCs 成分排放量。另一估算實測單一工廠之管道排放與製程逸散 VOCs 成分排放量引用 FIRE6.25，援引污染源分類碼 (Source Classify Code)，比對固定源 VOCs 成分排放清單。

SPECIATE3.2 資料庫與 FIRE6.25 資料庫最大不同點在於 SPECIATE 所提供之排放係數為各污染物相對於總揮發性有機物 VOC 之排放分率，但 FIRE 資料庫則提供每單

位之活動強度所產生該污染物種之重量。

固定源及面源 VOCs 排放量推估乃以方法論架構，彙集「固定源及面源 NMHC 排放量及 VOCs 指紋資料」，乃污染源 VOCs 排放推估方法，建置中部空品區 VOCs 成分之排放清單，推估計算步驟如下：各 VOCs 成分物種排放係數資料彙整如下：

(1) FIRE6.24

有機性空氣污染物推估，援引 FIRE6.5 VOCs 排放係數資料，依據個別工廠相關製程之 SCC Code，配合所彙編單一工廠管道排放與製程逸散之 VOCs 排放量，彙整單一工廠有機性 VOCs 管道排放與製程逸散量，建置研究區域 VOCs 物種成分排放之工廠排放清單。

$$\text{VOCs 物種成分排放量} = \text{活動強度} \times \text{排放係數}$$

(2) SPECIATE3.2

有機性空氣污染物推估，配合所彙編單行業排放與製程逸散之 VOCs 排放量，援引所彙整 SPECIATE 提供 VOCs 之排放分率資料，建置研究區域 VOCs 物種成分排放之工廠排放清單。

$$\text{VOCs 物種成分排放量} = \text{VOCs 排放量} \times \text{物種排放分率係數}$$

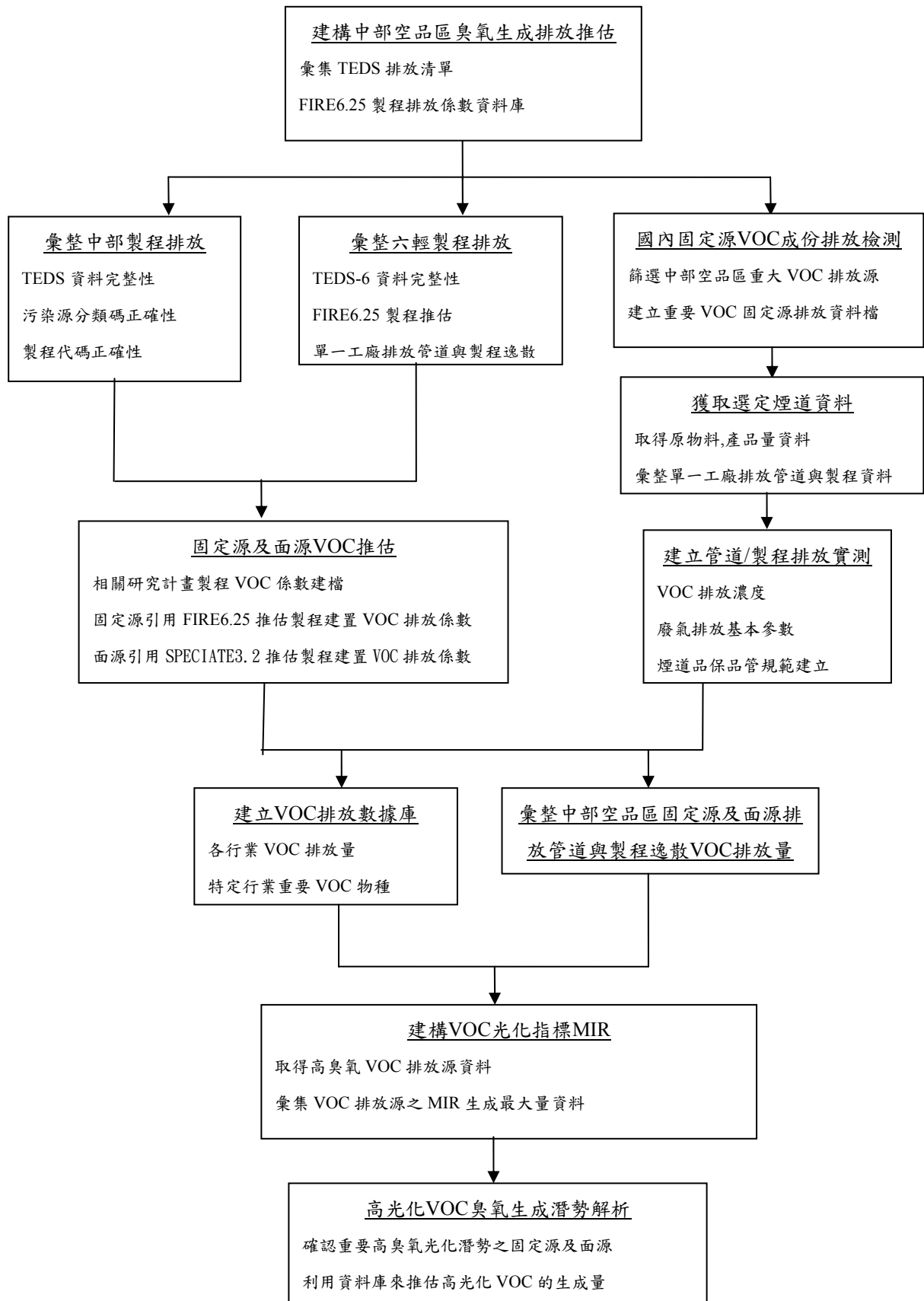


圖 1. 研究流程圖

3.2 煙道檢測作業程序與品保品管規範建立

排放管道採樣乃選定研究區域內石化工業等主要 VOCs 排放源，依工廠製程選擇適當排放口，以 NIEA A722.71B (U.S EPA Method 18) 之組合型採樣袋進行現場煙道採樣，每袋樣品以流量 0.5L/Min 採集 20 分鐘，每處煙道採集三袋採樣袋。之後，將樣品迅速攜回實驗室以氣相層析儀 (GC/FID) 進行定性定量分析，但考慮排放管道內廢氣組成之複雜性，研究中亦輔以氣相層析質譜儀 (GC/MS)，配合熱脫附冷凝系統 (TCT)，詳盡地對煙道廢氣中 VOCs 組成加以定性。被分離出之每項化合物成份並與已知化合物標準品之滯留時間及波峰面積(檢量線)比較，以確認各項化合物種類，並求得其濃度。本研究選擇五十餘種普遍存在於工業製程煙道氣中甲醇、丙酮、苯、甲苯、二甲苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、苯乙烯、乙苯、異丙苯、乙酸乙酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯晴及數種含氯有機物(氯苯、1,1-二氯乙烷、四氯乙烯、二氯甲烷、1,1-二氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烯、四氯甲烷、丁烷、三甲苯、丙烷、戊烷、2-甲基庚烷、甲基環己烷、3-甲基庚烷、甲基環戊烷、環己烷、2-甲基戊烷、甲醇、乙醇、丙醇、丁醇、環戊烷、正癸烷、正十一烷、2,3-甲基戊烷、2,4-二甲基戊烷、3-甲基己烷、2,3-二甲基丁烷、丙苯、環戊烯、乙基環己烷、正十二烷、2-甲基-2-丁烯、異丁烯、正十三烷、壬烯、己烯、正十四烷、乙基環戊烷、2-甲基-1-丁烯、3-甲基-1-丁烯等進行研究。

確保煙氣 VOCs 樣品分析之準確性，煙氣 VOCs 樣品除了執行並定期更新檢量線、偵測極限、滯留時間測試、空白分析、準確度及精密度等品保品管程序與規範外，分析煙氣樣品前與期間，必須執行查核樣品分析及重複分析。查核分析樣品分析值必須在查核濃度目標值 $\pm 15\%$ 範圍內，若無法符合時，需先探求造成差異之原因，並於進行分析前執行改正；而重複分析乃由每 10 個樣品隨機抽取 1 個分析兩次，重複分析結果亦需符合 $\pm 10\%$ 目標值，冀期藉由上述品保品管規範之建立，提高數據可靠性。

3.3 固定源 VOC 廢氣採集及排放係數建置

本計畫擬針對 VOCs 排放量較大之產業，進行現場調查分析，建立本土化之 VOCs 之排放係數。根據目前環保署所建構之排放資料中，中部空品區 NMHCs 排放主要來自塑膠皮、板、管材製造業、未分類雜項化學製品製造業、其他紙類製品製造業、塑膠皮製品製造業、其他皮革製品製造業、食用油脂製造業、紙漿製造業、合成樹脂及塑膠製造業、金屬製成品表面處理業等產業。因而本計畫擬選定上述產業之重要製程，採集 10 處排放管道 VOCs 樣品，分析組成及濃度，建立 VOCs 排放係數。

以環保署公告「排放管道中氣態有機化合物檢測方法—採樣袋採樣之氣相層析法」(NIEA A722.71B)，採集製程管道廢氣，每根次三袋次，獲致一小時之平均樣品，並配合排放管道排氣量、含水率檢測，實際檢測其 VOCs 排放量，並與 VOCs 排放清單估算比對。本單位經與環保署(局)溝通後亦願意協助固定源 VOC 廢氣採集執行，納入 95 年度加強固定污染源排放有機污染物稽核計畫，提供固定源相關行業名單以供篩選及計劃執行標的，冀期可順利取得中部空品區固定源 VOCs 樣品，以利後續 VOCs 排放

係數建立，比對排放清單所需。

應用 NIEA A722.71B 量測氣態有機物，其分析濃度範圍最低可至 1ppm，最高則視層析管之裝載極限及是否進行樣品稀釋而定。由於氣相層析法之精密性與正確性受操作員經驗及儀器可靠程度影響甚大，本方法要求操作員必須達成「精密性在 $\pm 5\%$ 以內，正確性在 $\pm 10\%$ 以內」之目標。對於常見之分析干擾問題，本計劃選擇適當之層析管及偵測器及藉由選擇最佳載氣流量及升溫條件以降低干擾。此外，每支煙囪均以空白氣體進行空白分析，亦隨機任取一袋重覆分析。於分析二個樣品之間應充分吹洗層析儀採樣裝置，留意標準氣體之水份含量等，以降低干擾來源。

3.3.1 建構固定源及面源 VOCs 排放清單

為瞭解中部空品區污染源排放 VOCs 現況，作為後續提供子計畫二 VOCs 源之貢獻排序，以及子計畫六作為模式模擬依據，估算研究區域內污染源 VOCs 排放貢獻，建構固定源及面源 VOCs 排放清單實屬重要。固定源及面源 VOCs 排放量推估以方法論架構，以「中部空品區固定源及面源 NMHC 排放量及 VOCs 指紋資料」所彙整的及排放資料參考現行污染源排放資料庫數據，針對，配合 SCC Code 及細項有機污染物排放分率換算，建構固定源及面源 VOCs 成分排放清單。固定源及面源 VOCs 成分排放清單乃參考「台灣地區排放源資料庫」(Taiwan Emission Databases, TEDS)，援引污染源分類碼 (Source Classify Code) 及行業別資料，彙整單一工廠排放管道與製程逸散之 VOCs 排放資料，配合 FIRE6.24 及 SPECIATE3.2 載錄細項有機污染物排放係數之分率換算，估算單一工廠之管道排放與製程逸散 VOCs 成分排放量。

前述排放清單建置將配合所估算之固定源 VOCs 之特徵成份排放因子，計算出污染源各 VOCs 排放量，將 VOCs 排放資料檔。固定源 VOC 資料檔之建立，除獲致各點源 VOCs 排放係數及總量資料外，並依 VOCs 成份、排放類型將排放資料加以細分，分別建置於各點源 VOCs 排放資料檔中。研究中除依製程別分類解析有機污染物排放係數外，並將各製程實測值與美國 AP-42 製程排放係數加以比較。

3.4 彙整六輕 VOCs 排放量資料

1. 離島式基礎工業區排放資料整理

(1) 離島式基礎工業區固定源排放資料處理：

關於離島式基礎工業區固定源排放資料處理，主要依據「六輕四期擴建計畫」中環評對各廠年排放量承諾，掌握各廠管道、逸散及全廠年排放量資料；其次參考「雲林縣固定污染源許可稽查管制、空污費催補繳及連續自動監測系統查核計畫」核發之許可資料，彙整已取得許可之各廠、各製程排放量資料；對於許可申請中及尚未設置之功廠排放情形，則參考「雲林縣離島工業區空氣污染環評、稽查、檢測、減量輔導與總量管制計畫，九十一年度」彙整尚未取得許可之各廠、各製程排放量資料。其次，配合「六輕空氣污染物排放總量查核報告」所載錄污染源、管道、製程編碼等相關資料，計算彙編

單一工廠各污染源管道排放與製程逸散之年排放量情形。藉由上述排放量資料彙整，建置離島式基礎工業區排放總量清單。

(1) 離島式基礎工業區專用港排放資料處理：

專用港估算依美國 EPA AP-42 Volume II 第 II-3 所述，對船舶停港柴油發電機仍啟動，以供應船上各動力設備及照明之電力，會產生廢氣，此廢氣之排放量可藉由下列公式估算出。

$$el = KLef$$

el = 排放量，lb/hr

K = 燃料消耗常數 = 9.59×10^{-5} 1000 gal fuel/kwh

L = 負載，KW

ef = 燃料特定排放因子(VOC：ef = 81.9 lb/1000gal fuel)

假設每一船舶均備有 500KW 之柴油發電機 2 台，於港區停泊時僅 1 台運作，並且以 50% 之負載運轉。專用港有 30 個停靠船席，以最大停船量來估算排放量。

儲槽逸散部份，儲槽於貯存過程中會以透氣洩漏(breathing loss)及工作洩漏而釋放出。前項洩漏起因於化學物質蒸氣受溫度或大氣壓力擾動影響，而蒸氣在擴散狀況下受壓自貯槽或容器緩慢逸出。當貯槽或容器滿載或傾空時，則可能發生工作洩漏情況。上述洩漏量可以利用工程計算求得，在 AP-42 中即列出公式可計算有機溶劑貯槽及單元操作產生之釋放量。以下分述其理論之排放量推估方法。

a. 固定頂槽

固定頂槽之 VOC 排放來自透氣損失(Breathing Loss)及工作損失(Working Loss)。透氣損失係指由於溫度與壓力的變化而造成之蒸氣逸出；工作損失則是裝填操作時，蒸氣置換與液體抽出時吸入槽之空氣超過槽內空間容量之逸散。

固定頂槽之透氣損失(LB)

固定頂槽透氣損失之估算公式如下：

$$L_B = 2.26 \times 10^{-2} M_Y \left(\frac{P}{P_A - P} \right)^{0.68} D^{1.73} H^{0.51} \Delta T^{0.50} F_P C K_C$$

LB = 固定頂槽之透氣損失(磅/年)

MY = 物料分子量(磅/磅莫耳)

PA = 平均大氣壓力(psia)

P = 液體狀況時之真實蒸氣-True Vapor Pressure(psia)，與貯槽內之溫度有關。

D = 儲槽直徑(呎)

H=平均蒸氣空間高度，包括體積之校正(呎)

ΔT =平均日溫差($^{\circ}F$)

FP=顏色係數(無因次)

C=小直徑槽之校正係數

KC=產品係數(無因次)

b. 浮頂槽

浮頂槽之 VOC 排放來自靜置損失(Standing Storage Losses)及浮頂下降損失(Withdrawal Losses, L_w)，而內浮頂槽之靜置損失包括：板層邊緣密封損失(Rim Seal Loss, LE)、板層附屬配件損失(Deck Fitting Loss, LF)及板層接縫損失(Deck Seam Loss, LD)，浮頂槽排放量(LT)之推估公式：

$$LT=LW+LE+LF+LD$$

外浮頂槽僅有板層邊緣密封損失，沒有板層接縫損失且尚欠缺板層附屬配件損件之估算方法。有關浮頂槽各項逸散計算內容詳細說明如下：

浮頂槽之浮頂下降損失(L_w)

$$L_w = \frac{(0.943)QCW_L}{D} \left[1 + \left(\frac{N_c F_c}{D} \right) \right]$$

式中：

L_w =浮頂下降損失(磅/年)

Q=年輸儲量(Throughput)(bbl/年)(1bbl=42 加侖)

C=外殼黏著係數(bbl/ 10^3 呎²)

WL=平均液體密度(磅/加侖)

D=儲槽直徑(呎)

NC=支柱數目(Columns)(無因次)

FC=有效支柱直徑(呎)[支柱周界(呎)/ π]

2. 燃燒塔 VOCs 排放量

燃燒塔 HAP 排放量算法參考各根連接之主要製程分配而得，最後乘以國內規定燃燒塔裂解率需達 98% 以上，故乘上此控制因子 2% 求得各廠燃燒塔之 HAP 排放量。

3.5 高光化 VOCs 臭氧生成潛勢解析

利用前述 VOCs 排放清單為基礎，援引 Carter 建構之 VOCs 光化指標 MIR (2003)，比較不同行業固定源管道廢氣各 VOC 污染臭氧增量潛勢，評估中部空品區固定源(含面源)及六輕 VOCs 之臭氧光化潛勢，確認重要高光化潛勢之固定源及面源，冀期能精準掌握特徵污染源 VOCs 光化潛勢，提供子計畫二高臭氧 VOCs 排放源之貢獻排序。最大增量反應性(MIR)是指有機氣體在大氣中生成臭氧的最大值。其公式為 (Russell, et. al., 1995)：

$$MIR = \max \left(\frac{\partial [O_3]_p}{\partial E_i} \right) \text{ for all VOCs}$$

其中， $[O_3]_p$ ：尖峰臭氧濃度； E_i ：排放VOC濃度。

第四章、結果與討論

4.1 中部空品區揮發性有機污染物排放量

依據 TEDS 6.0 版排放量推估結果，中部空品區揮發性有機污染物固定源台中市約 9 千噸/年 (23%)，台中縣約 16 千噸/年 (39%)，南投縣約 3 千噸/年 (8%)，彰化縣約 12 千噸/年 (30%)，此中部固定源排放量為台中縣居多，如圖 4.1 所示。面源台中市約 11.5 千噸/年 (17%)，台中縣約 25 千噸/年 (37%)，南投縣約 7.5 千噸/年 (11%)，彰化縣約 24 千噸/年 (35%)，此中部面源排放量亦以台中縣居多，如圖 4.2 所示。該結果顯示，揮發性有機污染物總排放量約為總排放量約 108 千噸/年，其中固定源排放約 40 千噸/年，面源排放則約 68 千噸/年。

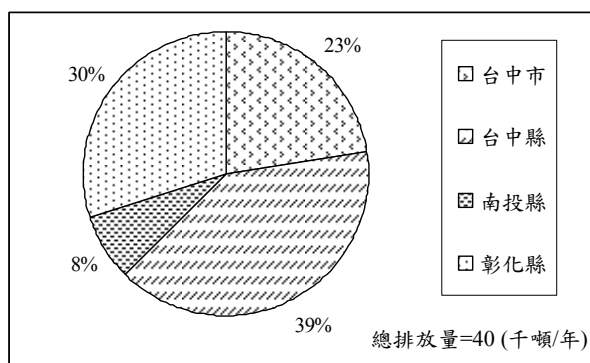


圖4.1 固定源VOC排放比例圖

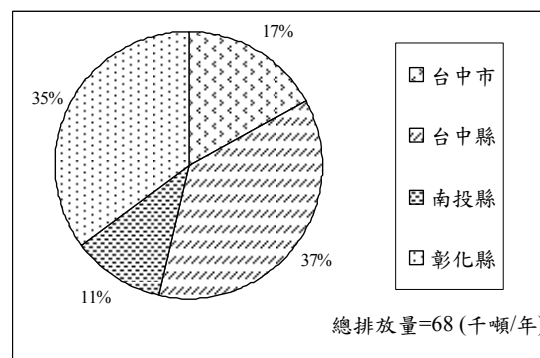


圖4.2 面源VOC排放比例圖

4.1.1 固定源及面源揮發性有機污染物排放量-依行業別

1. 固定源排放結果：

中部空品區固定源管道排放以金屬製品處理業所佔比例最高，為 9.9 千噸/年(27%)，其次，依次為人造纖維製造業 6.2 千噸/年(17%)、其他皮革製品製造業 4.5 千噸/年(12%)、其他 4 千噸/年(11%)、塑膠製造業 3.3 千噸/年(9%)、紙製品製造業 3.2 千噸/年(9%)、其他塑膠製品製造業 2.5 千噸/年(7%)、木製家具業 2.2 千噸/年(6%)、紡紗業 1.7 千噸/年(5%)、石油化學製品製造業 1.5 千噸/年(4%)、合成樹脂及塑膠製造業 0.6 千噸/年(2%)、食品製造業 0.4 千噸/年(1%)等。主要污染源之管道排放關係如圖 4.1.1 所示。

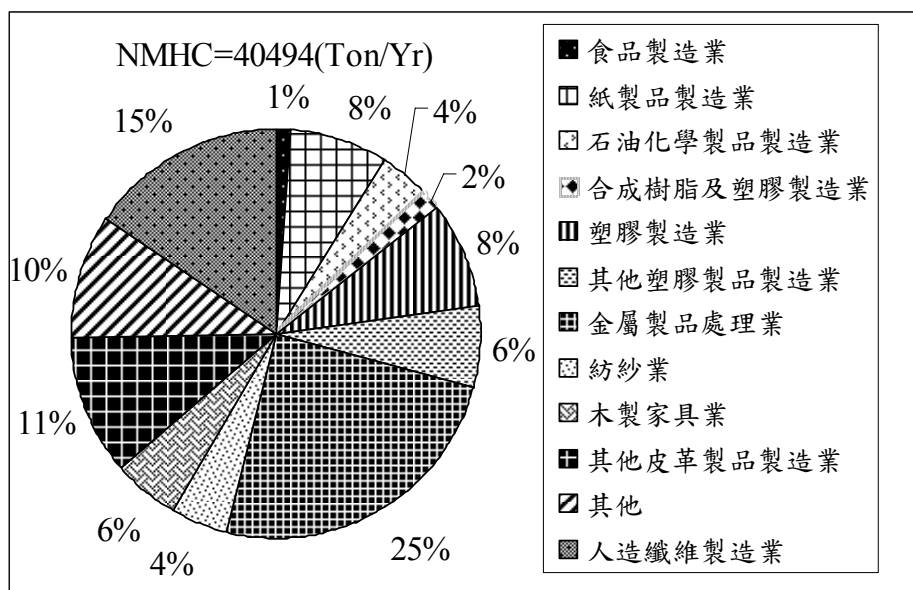


圖4.1.1 固定源比例關係圖

2. 面源排放結果：

中部空品區面源排放約 68 千噸/年，以一般消費用品所佔比例最高，為 18 千噸/年 (27%)，其次，依次為塑膠製品製造業 11 千噸/年(16%)、其他 8.9 千噸/年(13%)、工業製品表面塗裝 8 千噸/年(12%)、建築表面塗裝-油性塗料 6.8 千噸/年(10%)、農業操作之農藥使用逸散排放 4.5 千噸/年(7%)、工業乾洗油使用 4.1 千噸/年(6%)、印刷業排放 3.2 千噸/年(5%)、汽車保養 3.1 千噸/年(5%)等(如圖 4.1.2 所示)。

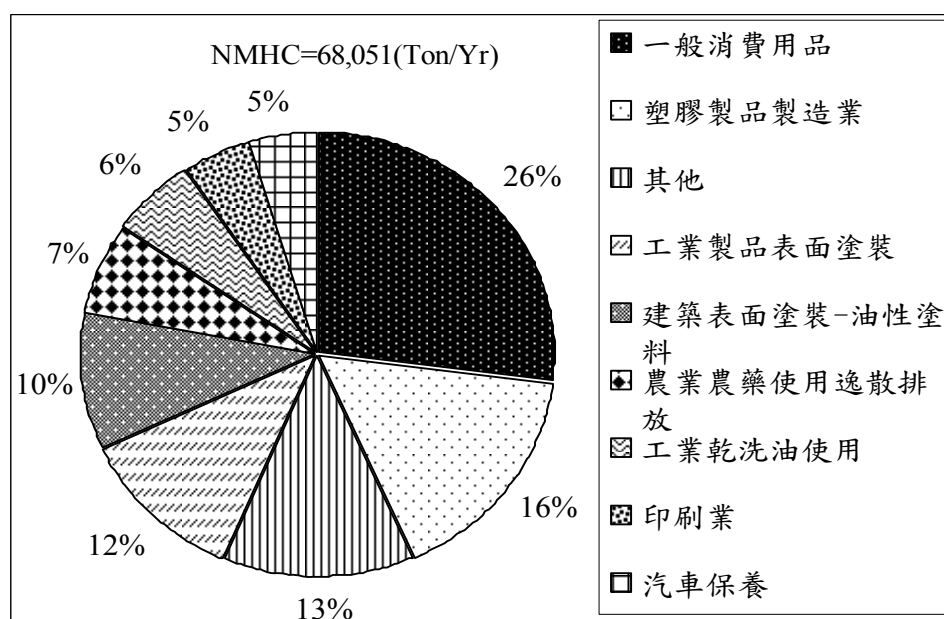


圖4.1.2 面源比例關係圖

4.1.2 固定源及面源指紋建構

固定源引用 SPECIATE3.2 載錄細項有機污染物排放係數，進行指紋建構，其排放量推估結果，中部空品區揮發性有機污染物固定源，台中市約 10 千噸/年 (19%)，台中縣約 27 千噸/年 (49%)，南投縣約 2.6 千噸/年 (5%)，彰化縣約 14.4 千噸/年 (27%)，該指紋建構中排放量以台中縣居多；固定源總排放量約 54 千噸/年(如圖 4.2.1 所示)。

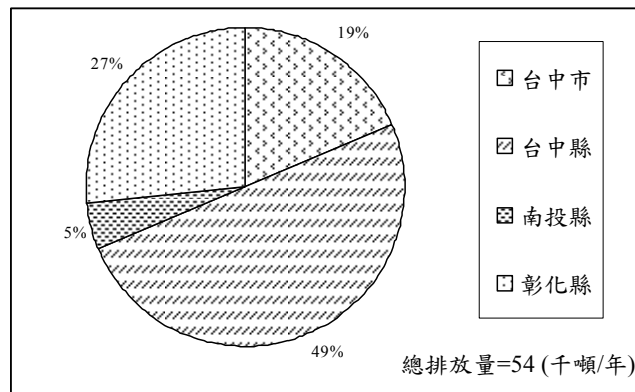


圖4.2.1 固定源指紋比例關係圖

其四縣市前 3 大重要行業別，約占 60%之排放，其指紋檔結果顯示，台中市主行業來源為，金屬製品處理業 (62%)、紙製品製造業 (17%)、木製家具業 (15%)；台中縣主行業來源為，其他皮革製品製造業 (27%)、塑膠製造業 (9%)、木製家具業 (8%)；南投縣主行業來源為，紙製品製造業 (45%)、金屬製品處理業 (13%)、其他塑膠製品製造業 (12%)；彰化縣主行業來源為，人造纖維製造業 (41%)、金屬製品處理業 (23%)、木製家具業 (9%)。

固定源各縣市依行業別區分，台中市主要揮發性有機污染物最大來源行業為金屬製品處理業 (62%)，其該行業產生之重大物種來源為：Mineral spirits (22%)、Toluene (10%)、Uncpeaks to cab xylene (9%)、Methyl ethyl ketone (6%)、Butyl cellosolve (6%)；台中縣主要揮發性有機污染物最大來源行業為其他皮革製品製造業 (27%)，其該行業產生之重大物種來源為：Toluene (7%)、N-Hexane (6%)、Acetone (6%)、Aromatic 100 (5%)、Undefined VOC (4%)；南投縣主要揮發性有機污染物最大來源行業為紙製品製造業 (45%)，其該行業產生之重大物種來源為：Mineral spirits (16%)、Isomers of xylene (14%)、Toluene (14%)、Methyl ethyl ketone (10%)；彰化縣主要揮發性有機污染物最大來源行業為人造纖維製造業 (41%)，其該行業產生之重大物種來源為：Hexamet hylened lamine (100%)。

固定源指紋建構中總 VOCs 排放量，台中市排放約為 10 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Mineral spirits (15%)、Uncpeaks to cab xylene (11%)、S-Butyl alcohol (11%)、

Toluene (8%)、Isopropyl alcohol (5%)、Methyl ethyl ketone (4%)、Butyl cellosolv (4%)；台中縣排放約為 27 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Styrene (10%)、Mineral spirits (4%)、Toluene (3%)、Ethylene (3%)；南投縣排放約為 2.6 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Hexamet hylened lamine (24%)、Mineral spirits (17%)、S-Butyl alcohol (17%)、Toluene (17%)、Isomers of xylene (16%)；彰化縣排放約為 14.4 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Hexamet hylened lamine (41%)、Unspeaks to cab xylene (7%)、S-Butyl alcohol (7%)、Styrene (6%)。

面源引用 SPECIATE3.2 載錄細項有機污染物排放係數，進行指紋建構，其排放量推估結果，中部空品區揮發性有機污染物面源，台中市約 10 千噸/年 (16%)，台中縣約 23 千噸/年 (39%)，南投縣約 7 千噸/年 (11%)，彰化縣約 21 千噸/年 (34%)，該指紋建檔中排放量以台中縣居多；面源總排放量約 61 千噸/年(如圖 4.2.2 所示)。

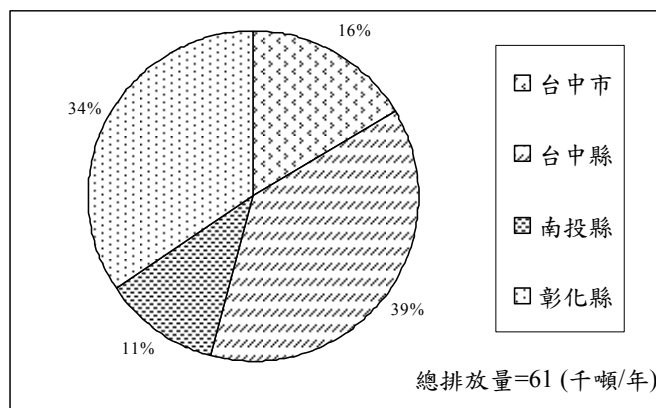


圖4.2.2 面源指紋比例關係圖

其四縣市前 3 大重要行業別，約占 50%之排放，其指紋檔結果顯示，台中市主行業來源為，一般消費用品 (42%)、建築表面塗裝-油性塗料 (16%)、塑膠製品製造業-膠帶製造 (10%)；台中縣主行業來源為，一般消費用品 (29%)、工業製品表面塗裝 (13%)、塑膠製品製造業-膠帶製造 (13%)；南投縣主行業來源為，一般消費用品 (33%)、建築表面塗裝-油性塗料 (12%)、汽車保養 (10%)；彰化縣主行業來源為，一般消費用品 (24%)、工業乾洗油使用 (17%)、工業製品表面塗裝 (12%)。

面源四大縣市依行業區分主要揮發性有機污染物皆來自於，一般消費用品所占比例最高，台中市 (42%)、台中縣 (29%)、南投縣 (33%)、彰化縣 (24%)；其該行業產生之重大物種來源為：Ethyl alcohol (22%)、Methyl alcohol (5%)、Mineral spirits (5%)、Isobutane (4%)、Isopropyl alcohol (4%)、Acetone (4%)、Toluene (3%)

面源指紋建檔中總 VOCs 排放量，台中市排放約為 10 千噸/年，其該 VOCs 主要來

源物種為：Ethyl alcohol (10%)、Toluene (9%)、Isomers of pentane (6%)、Isomers of butylbenzene (5%)、Styrene (4%)、Isomers of xylene (4%)、Acetone (3%)；台中縣約為 23 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Toluene(11%)、Ethyl alcohol(8%)、Isomers of pentane (7%)、Isomers of xylene (5%)、Styrene (5%)、Naphtha (4%)、Acetone (3%)；南投縣約為 7 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Styrene (8%)、Ethyl alcohol (7%)、Isomers of undecane (6%)、Isomers of butylbenzene (6%)、Toluene (6%)；彰化縣約為 21 千噸/年，其該 VOCs 主要來源物種為：Styrene (8%)、Isomers of pentane(6%)、Ethyl alcohol (5%)、C9 olefins (5%)、Toluene (4%)、Hydrogen chloride (4%)、Pyrene (4%)。

4.2 煙道檢測作業程序與品保品管規範建立

應用NIEA A722.71B方法採集分析不同製程排放管道VOCs特徵濃度，配合適當之氣相層析儀管柱與偵測器，建立排放管道VOCs之檢測。本研究以氣相層析儀（GC/FID）搭配Al₂O₃管柱，分析低分子量VOCs，氣相層析質譜儀（GC/FID/MS）援引NIEA 722.72B方法建議之層析管柱DB-1，援引相關研究條件，分析高沸點VOCs。

與以配合實測工廠之排放量與原物料使用量資料，建置固定污染源揮發性有機物之資料檔。故相關品保品管工作本就持續執行。

液體標準品品保品管測試：

研究製備檢量線迴歸方程式及其相關係數分別如表 4.2-1，其濃度範圍為1~190ppm。實驗以加熱器(select 260°C)連接流量 400c.c/min mass flow control和高純度氮氣，以乾式流量計調整flow rate 以液針吸取所需體積，並以極慢速度注入加熱器的注射孔(平均 20 分鐘完成該袋採樣袋實驗)，每袋標準品備置 8L氣體，配製六點檢量線(1 至 190ppm)之標準品，分析結果顯示，惟n-tridecane相關係數為 0.9813、n-tetradecane相關係數為 0.761，其餘 43 項化合物配置之檢量線係數皆大於 0.990；低分子量氣體標準品品保品管測試，如表 4-2-2 所示，實驗並配製低濃度(4 至 50ppm)樣品，建立相關品保品管，執行結果，檢量線結果除acetylene線性關係較差，R²為 0.99，其餘各成分檢量線都能獲致良好之相關係數，再配置之檢量線濃度範圍介於 40-280ppm，檢量線方程式及相關係數如表 4-2-3，相關結果顯示檢量線能獲致良好係數。

選擇六點檢量線第三點測試精密度準確度，實驗結果如表 4-2-4 所示，精密度介於 3.17%至 8.40%，準確度介於 0.89%至 9.58%，準確度以 n-tridecane 9.58%為最高，方法偵測極限則介於 0.4 至 2.6ppm，如表 4-2-5 所示。低分子量氣體標準品，自行配製接近於樣品濃度之標準品進行 7 次重複分析，各項成分之準確度極精確度如表 4-2-6 所示，準確度介於 99.6±8.48%至 105±6.08%，精密度介於 0.92%至 4.25%。

表 4-2-1 45 項 VOCs 標準檢量線(1~190ppm)

	化合物	檢量線公式	R ²
1	2-methyl-1-butene	$y = 180604x + 156692$	0.994
2	pentane	$y = 200684x + 310605$	0.994
3	2-methyl-2-butene	$y = 162733x - 94062$	0.998
4	cyclopentene	$y = 251680x + 344434$	0.995
5	cyclopentane	$y = 444495x + 722595$	0.995
6	2-methylpentane	$y = 271605x + 353642$	0.995
7	hexene	$y = 288700x - 571902$	0.997
8	2,3-dimethyl butane	$y = 404432x + 363466$	0.995
9	methylcyclopentane	$y = 281677x + 406905$	0.995
10	2,4-dimethylpentane	$y = 401508x + 386952$	0.996
11	cyclohexane	$y = 317880x - 125860$	0.998
12	2,3-dimethylpentane	$y = 416439x + 585976$	0.991
13	3-methylhexane	$y = 432230x + 451765$	0.995
14	methylcyclohexane	$y = 305233x + 319836$	0.996
15	ethylcyclopentane	$y = 226918x + 470869$	0.997
16	2-methylheptane	$y = 413937x + 361526$	0.994
17	4-methylheptane	$y = 262277x + 625414$	0.992
18	3-methylheptane	$y = 456294x + 469370$	0.992
19	ethylcyclohexane	$y = 600811x - 294803$	0.996
20	1-nonene	$y = 357728x + 329761$	0.994
21	propylbenzene	$y = 355793x + 416336$	0.991
22	1,3,5- trimethyl-benzene	$y = 302994x - 794031$	0.995
23	1,2,4- trimethyl-benzene	$y = 265774x - 740086$	0.998
24	decane	$y = 262134x - 312225$	0.993
25	n-undecane	$y = 317535x + 556317$	0.975
26	n-dodecane	$y = 490385x + 1E+06$	0.958
27	n-tridecane	$y = 175138x + 577005$	0.813
28	n-tetradecane	$y = 106577x + 335276$	0.761
29	acrylonitrile	$y=0.158x-4.2819$	0.9721
30	dichloromethane	$y=0.0689x-0.0595$	0.9973
31	trans-1,2-dichloroethylene	$y=0.1700x-0.0795$	0.9981
32	1,1-dichloroethane	$y=0.1848x-0.1431$	0.9980
33	cis-1,2-dichloroethylene	$y=0.1773x-0.1473$	0.9982

34	1,2-dichloroethane	$y=0.1748x-0.1986$	0.9973
35	1,1,1-trichloroethane	$y=0.1622x-0.0512$	0.9982
35	benzene	$y=0.4647x-0.5257$	0.9997
37	carbon tetrachloride	$y=0.0471x-0.1268$	0.9985
38	trichloroethylene	$y=0.1596x-0.2618$	0.998
39	toluene	$y=0.4571x-0.2944$	0.9993
40	tetrachloroethylene	$y=0.1314x+0.0007$	0.9982
41	chlorobenzene	$y=0.3058x+0.0047$	0.9981
42	ethylbenzene	$y=0.37x-0.0676$	0.9970
43	m-Xylene	$y=0.3517x-0.00906$	0.9963
44	styrene	$y=0.309x+0.2836$	0.9984
45	o-xylene	$y=0.3167x+0.0223$	0.9947

備註：x：濃度(ppm)，y：面積值(peak area)

表 4-2-2 6 項氣體標準低濃度檢量線(4-50ppm)

	化合物	檢量線公式	R ²
1	ethane	$y = 1.4404x + 1.8657$	0.9994
2	propane	$y = 2.1316x + 3.2963$	0.9995
3	acetylene	$y = 2.7689x + 4.6676$	0.9982
4	butane	$y = 0.8605x + 3.3615$	0.9909
5	isobutene	$y = 2.7382x + 4.9568$	0.9997
6	3-methyl-1-butene	$y = 3.2899x + 6.4828$	0.9976

備註：x：濃度(ppm)，y：面積值(peak area)

表 4-2-3 6 項氣體標準高濃度檢量線(4-280ppm)

	化合物	檢量線公式	R ²
1	ethane	$y = 1.5711x - 1.6999$	0.9972
2	propane	$y = 2.444x - 3.795$	0.9987
3	acetylene	$y = 3.227x - 4.876$	0.9984
4	butane	$y = 1.8784x - 3.573$	0.9975
5	isobutene	$y = 3.2297x - 4.474$	0.9981
6	3-Methyl-1-butene	$y = 3.8611x - 6.886$	0.9984

備註：x：濃度(ppm)，y：面積值(peak area)

表 4-2-4 VOCs 重複分析之精密度及準確度

	化合物	準確度	精密度
1	2-methyl-1-butene	96.5±7.74	4.01%
2	pentane	99.4±6.79	3.42%
3	2-methyl-2-butene	98.6±6.13	3.17%
4	cyclopentene	97.1±7.86	4.05%
5	cyclopentane	102±6.66	3.25%
6	2-methylpentane	101.2±2.04	3.34%
7	hexene	102.0±2.63	3.29%
8	2,3-dimethyl butane	101.0±6.66	3.24%
9	methylcyclopentane	97.9±7.88	4.03%
10	2,4-dimethylpentane	102.9±7.56	3.35%
11	cyclohexane	100.1±6.97	3.48%
12	2,3-dimethylpentane	100±7.24	3.62%
13	3-methylhexane	100±6.39	3.19%
14	methylcyclohexane	100.0±8.53	3.87%
15	ethylcyclopentane	98.1±7.16	3.73%
16	2-methylheptane	108.7±6.57	3.02%
17	4-methylheptane	109.0±6.45	2.96%
18	3-methylheptane	101.8±1.77	3.87%
19	ethylcyclohexane	101.1±0.89	3.54%
20	1-nonene	101.4±1.86	3.20%
21	propylbenzene	98.5±8.88	4.51%
22	1,3,5-trimethyl-benzene	100.3±3.03	5.51%
23	1,2,4-trimethyl-benzene	91.7±7.74	4.22%
24	decane	104.5±9.52	4.40%
25	n-undecane	99.5±3.65	5.79%
26	n-dodecane	92.6±2.45	8.40%
27	n-tridecane	91.8±9.58	8.12%
28	n-tetradecane	67.4±9.58	3.59%

29	acrylonitrile	97.40±3.27	1.68%
30	dichloromethane	98.24±1.42	0.72%
31	trans-1,2-dichloroethylene	98.84±1.40	0.71%
32	1,1-dichloroethane	98.52±0.77	0.39%
33	cis-1,2-dichloroethylene	97.93±0.90	0.46%
34	1,2-dichloroethane	99.53±1.04	0.52%
35	1,1,1-trichloroethane	98.28±0.76	0.39%
35	benzene	99.92±1.13	0.57%
37	tetrachloromethane	98.24±1.05	0.54%
38	trichloroethylene	99.20±2.02	1.02%
39	toluene	97.25±3.20	1.64%
40	tetrachloroethylene	101.51±4.49	2.21%
41	chlorobenzene	100.77±4.52	2.24%
42	ethylbenzene	99.09±6.00	3.03%
43	m-xylene	98.88±6.00	3.04%
44	styrene	96.88±4.96	2.56%
45	o-xylene	98.73±6.39	3.24%

表 4-2-5 VOCs 分析之方法偵測極限

	化合物	MDL
1	2-methyl-1-butene	1.8
2	pentane	2.1
3	2-methyl-2-butene	2.0
4	cyclopentene	2.6
5	cyclopentane	2.0
6	2-methylpentane	1.6
7	hexene	1.7
8	2,3-dimethyl butane	1.6
9	methylcyclopentane	1.9
10	2,4-dimethylpentane	1.4
11	cyclohexane	1.9
12	2,3-dimethylpentane	1.5
13	3-methylhexane	1.6
14	methylcyclohexane	1.8
15	ethylcyclopentane	1.6
16	2-methylheptane	1.4
17	4-methylheptane	0.9
18	3-methylheptane	0.9
19	ethylcyclohexane	1.0
20	1-nonene	0.8
21	propylbenzene	0.5
22	1,3,5- trimethyl-benzene	0.4
23	1,2,4- trimethyl-benzene	0.5
24	decane	0.6
25	n-undecane	0.7
26	n-dodecane	0.8
27	n-tridecane	0.7
28	n-tetradecane	0.8

29	acrylonitrile	0.2
30	dichloromethane	0.4
31	trans-1,2-dichloroethylene	0.1
32	1,1-dichloroethane	0.1
33	cis-1,2-dichloroethylene	0.1
34	1,2-dichloroethane	0.1
35	1,1,1-trichloroethane	0.1
35	benzene	0.04
37	tetrachloromethane	0.2
38	trichloroethylene	0.1
39	toluene	0.1
40	tetrachloroethylene	0.2
41	chlorobenzene	0.1
42	ethylbenzene	0.1
43	m-xylene	0.1
44	styrene	0.1
45	o-xylene	0.1

表 4-2-6 氣體標準品精密度準確度

	化合物	精密度(%)	準確度 (%)
1	ethane	2.90	105±6.08
2	propane	0.92	100.0±1.85
3	acetylene	3.21	101.2±6.49
4	butane	4.25	99.6±8.48
5	isobutene	1.32	98.0±2.59
6	3-methyl-1-butene	2.03	96.4±3.91

4.3 固定源及面源VOC_S排放指紋建構資料

為驗證本計畫工作內容於實務運用的妥切性，本計畫亦規劃 10 處(含)可能具有 VOCs 的排放管道，根據國內外相關文獻、檢測資料或依據各種行業製程有使用或生產 VOCs 化合物之相關行業及利用 SCC 碼篩出無 VOCs 排放係數者，如石油煉製業、石化產品業、塑膠業、化學品製造業及塗裝業等，請環保署協助提供 25-30 處確定或可能排放 VOCs 化合物廢氣之排放管道名單，及其煙氣組成特徵資料，本計畫將考量不同煙氣特性，篩選適合排放管道名單 13 處，進行現場採樣，每處煙道採集 3 件煙氣樣本，如圖 4.3.1。

4.3.1 煙道現場實測

完成採樣分析工作為愛地雅工業股份有限公司 P112，炎洲股份有限公司 P102（列舉該工廠檢測基本資料如表 4.3.1；採樣樣品分析圖譜，如圖 4.3.2），輝懋興業股份有限公司 P102、P101（列舉該工廠檢測基本資料如表 4.3.2；採樣樣品分析圖譜，如圖 4.3.3），美和石油化學股份有限公司 P102、P109，統一化學股份有限公司 P002，台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠丙烯腈廠 P003、P010，台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠氯乙烯廠 P006，台化麥寮廠 PC 廠 P101、P006 及 P007。



圖 4.3.1 工廠現場採樣示意圖

表 4.3.1 工廠 P102 煙道基本資料

採樣地點：炎洲股份有限公司	管制編號：N2902154	排放口編號：P102
採樣日期：95/07/27	製程名稱：其它表面塗裝程序/雙面塗膠機、塗膠機、帶式乾燥爐	
排氣濕度：3.7%	排氣溫度：41.8°C	排氣速度：7.91m/s
排氣量	濕基實測值：157.83 Nm ³ /min 乾基實測值：151.99 Nm ³ /min	
排氣組成	CO ₂ ：<0.1% O ₂ ：20.8% CO：<0.1% N ₂ ：79.2%	

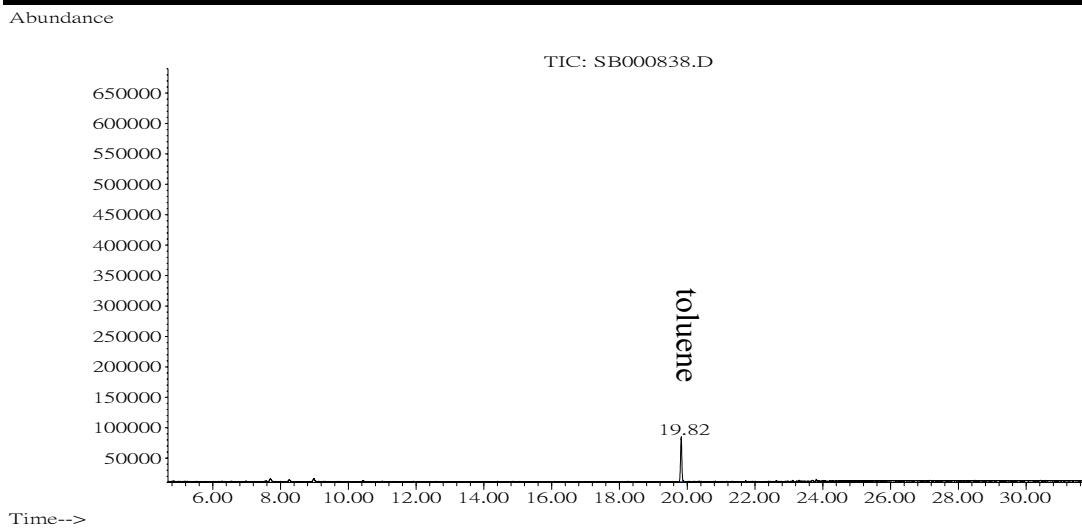


圖 4.3.2 炎洲股份有限公司煙道採樣分析圖譜

表 4.3.2 工廠 P102 煙道基本資料

採樣地點：輝懋興業股份有限公司	管制編號：M3303858	排放口編號：P101
採樣日期：95/07/28	製程名稱：調配原料區、塗佈作業區、烘乾作業區	
排氣濕度：2.5%	排氣溫度：26.6°C	排氣速度：6.28m/s
排氣量	濕基實測值：66.41Nm ³ /min 乾基實測值：64.75Nm ³ /min	
排氣組成	CO ₂ ：<0.1% O ₂ ：20.8% CO：<0.1% N ₂ ：79.2%	

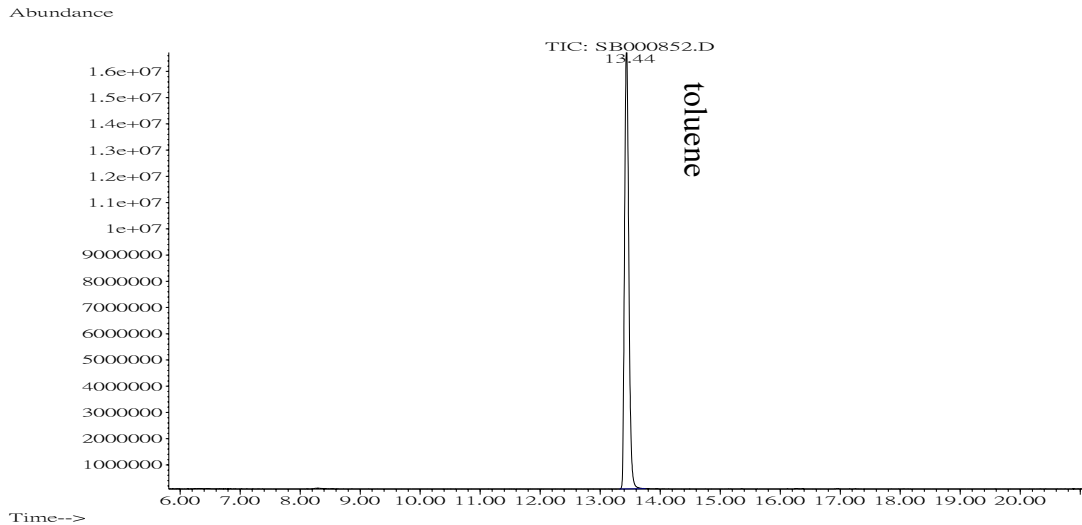


圖 4.3.3 炎洲股份有限公司煙道採樣分析圖譜

4.3.2 煙道樣品與資料庫之VOCs係數比較

本計畫執行並完成 13 處排放管道實測，主要目的為確認中部空品區(含六輕) 管道 VOC 實際排放與 FIRE6.25 資料庫排放係數之差異，如表 4-3-3、4-3-4 所示。結果顯示，檢測係數與 FIRE6.25 資料庫之推估物種及係數皆略具差異，實測煙道與 FIRE 資料庫比對差異可能與國內、外製程之特性，或為使用之原物料、操作溫度、排氣流量等不盡相同而導致。

台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠丙烯腈廠(P5801611) P003、 P010 煙道，實測與 FIRE6.25 推估物種皆為 Acrylonitrile，而 FIRE6.25 推估排放量較為實測值高；台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠氯乙烯廠(P5801648) P006 煙道，實測物種為 Methane、Ethane、Vinyl chloride，FIRE6.25 推估該製程中無資料呈現，而因 FIRE 資料庫部分製程中尚未建置完成，而導致查詢不到可對應之物種係數等問題，因此造成實測煙道資料與 FIRE 資料庫比對之差異；台化麥寮廠 PC 廠(P5805280) P101、 P006 及 P007 三煙道為例，FIRE6.25 推估排放量為 19.5 ton/yr 較實測值 4.94 ton/yr 高出許多，物種特徵亦有變異，實測物種有 Vinyl chloride、Methane、Dichloromethane，較 FIRE6.25 推估(僅 Vinyl chloride)豐富許多。

中部空品區部分，愛地雅工業(L9100287) P112 煙道，推估排放係數較為實測值略高，實測物種有 Xylene、Acetone、Trichloroethylene，較 FIRE6.25 推估(僅 Xylene)豐富。中美和石油化學股份有限公司(L9101748)P102、 P109 煙道實測無 VOC 物種排放可能與國內固定源管制規範已頗為嚴謹，最佳可行控制技術行之有年，大多數煙道已加裝防制設備系統有關，而 FIRE 資料庫內係數部份於無防制設備下所紀錄，以至於物種多於實測的資料。輝懋興業股份有限公司(M3303858) P102、P101 煙道實測，推估排放係數亦為實測物種多，實測物種僅有 Toluene，較 FIRE6.25 推估(Benzene、Chrysene、Ethylbenzene、Fluoranthene、Formaldehyde、Isomers of xylene、Methane、Naphthalene、Toluene)豐富，兩者相同排放物種(Toluene)比較排放係數，其結果亦為 FIRE6.25 資料庫

所建置之數據為大。炎洲股份有限公司(N2902154) P102 煙道實測與 FIRE6.25 推估比對下之產生物種結果不一，可能與國內、外製程之特性及使用之原物料不盡相同所導致；另一則為未檢測低分子量之物種亦造成此差異。

表 4.3.3 六輕樣品與 FIRE 資料庫 VOCs 量物種比較

台	管制編號	管道	乾基流量 (Nm ³ /min)	排放量(ton/yr)	
				實測值	FIRE6.25 排放推估
塑	P5801611	P003	0.85	Acrylonitrile (3.1 E-4)	Acrylonitrile (2.5 E-2)
		P003	0.79	Acrylonitrile (2.7 E-4)	
		P010	0.92	Acrylonitrile (3.3 E-4)	
六	P5801648	P006	78.3	<i>Methane(2.64), Ethane (0.64), Vinyl chloride (0.25)</i>	--
輕	P5805280	P101	0.38	Dichloromethane (0.22) , <i>Methane(0.97)</i>	Vinyl chloride (19.5)
		P006	265	Dichloromethane (0.02) , <i>Vinyl chloride (3.5)</i>	
		P007	35.7	Dichloromethane (0.25)	

註：斜線部分為現行公告方法無法檢出項

表 4.3.4 中部空品區煙道樣品與 FIRE 資料庫 VOCs 係數物種比較

管制編號	管道編號	乾基流量 (Nm ³ /min)	排放係數(如附註)	
			實測值(未控制)	FIRE6.25 排放推估
L9100287	P112	135.55	Isomers of xylene(310) ¹ Acetone(250) Trichloroethylene(105)	Isomers of xylene(2000) ¹
L9101748	P102	3608.29	--	Benzene(2.100E-3) ² Benzo (a) anthracene(<1.800E-6) ² Benzo (a) pyrene(<1.200E-6) ² Benzo (b) fluoranthene(<1.800E-6) ² Benzo (g,h,i) perylene(<1.200E-6) ² Benzo (k) fluoranthene(<1.800E-6) ² n-Butane(2.100E0) ² Chrysene(<1.800E-6) ² Ethane(3.100E0) ² Fluoranthene(3.000E-6) ² Fluorene(2.800E-6) ² Formaldehyde(7.500E-2) ² Indeno(1,2,3-cd)pyrene(<1.800E-6) ² 2-Methyl Naphthalene(2.400E-5) ² 3-Methylcholanthrene(<1.800E-6) ² N-Hexane(1.800E0) ² Naphthalene(6.100E-4) ² Pyrene(5.000E-6) ² Toluene(3.400E-3) ²
	P109	40.20	--	Benzene (1.10E-3) ³ Chrysene (1.40E-7) ⁴ Ethylbenzene (1.40E-3) ³ Fluoranthene(< 1.90E-7) ⁴ Formaldehyde(2.40E-2) ³ Isomers of xylene(7.50E-3) ³ Methane(1.00E0) ³ Naphthalene(4.30E-4) ⁴ Toluene(8.80E-3) ³
M3303858	P102	178.61	Toluene (7.15E-7) ³	Benzene (1.10E-3) ³ Chrysene (1.40E-7) ⁴ Ethylbenzene (1.40E-3) ³ Fluoranthene(< 1.90E-7) ⁴ Formaldehyde(2.40E-2) ³ Isomers of xylene(7.50E-3) ³ Methane(1.00E0) ³ Naphthalene(4.30E-4) ⁴ Toluene(8.80E-3) ³
	P101	64.75	Toluene (3.90E-4) ³	Isomers of xylene(2.00E3) ¹
N2902154	P102	151.99	Toluene(8.81) ¹	Isomers of xylene(2.00E3) ¹
L0408675	P002	34.59	--	--

註 1. Lb per Tons Solvent Used

註 2. Lb per Million Cubic Feet Natural Gas Burned

註 3. Lb/ 1000 Gallons Residual Oil (No. 6) Burned

註 4. Lb per Million Btus Heat Input

4.4 彙整六輕 VOCs 排放量資料

依據「離島工業區空氣污染環評稽查、減量輔導與總量管制計畫」(雲林縣環保局，九十一年度)及「六輕四期擴建計畫環境影響說明書定稿」(南亞環工管理中心，九十三年度)中環評對各廠空氣污染物排放量承諾，TSP—3,782 噸/年、SO_x—18,648 噸/年、NO_x—23,716 噸/年、VOCs—5,623 噸/年。

六輕燃燒塔各傳統污染物排放量及部分物種資料來源於「台塑六輕工業園區空氣污染查核與輔導減量計畫」雲林縣環保局，93 年，六輕燃燒塔總數共為 33 根，其中多聚集於塑化輕油廠及輕油裂解廠之煉油相關產業，共 12 根，其餘為台塑公司 4 根、南亞公司 5 根、台化公司 8 根、大連化工化工 1 根及儲槽區 1 根。六輕燃燒塔 VOC 排放量約為 70 噸/年，佔四期環評 VOC 總量之 1.2%，其中 69 噸/年為正常排放，2.793 噸/年為異常排放。

4.4.1 六輕揮發性有機物排放量

依據本計畫擬定揮發性有機物方法，離島式基礎工業區各污染源 VOCs 排放量。配合目前各廠操作許可次頁之活動強度(發電量、燃煤量等)即可推估該廠各物種之排放量。截至目前 94 年 6 月為止，四期擴建完成後總廠數為 71 廠，目前仍有 21 廠未運轉無操作許可資料或無 SCC 碼可供對應，未估算原因及廠別請見表 4-4-1，此 21 廠環評 VOC 排放量佔全區之 29% (1650/5623)，參見圖 4-4-1。

表 4-4-1 未估算 VOCs 之廠別及原因

公司	廠別	未估算原因
塑化	輕油裂解三廠	無活動強度資料
台塑	甲基丙烯酸甲酯廠	只有 voc 排放係數
	碱廠	無 SCC 碼對應
	四碳廠	無 SCC 碼對應
	丁醇廠	無 SCC 碼對應
	彈性纖維廠	無 SCC 碼對應
台塑光電	電漿電視顯示器廠	無 SCC 碼對應
南亞	雙氧水廠	無 SCC 碼對應
	異壬醇廠	無 SCC 碼對應
	環氧大豆油廠	無 SCC 碼對應
	二異氰酸二苯甲烷廠	無 SCC 碼對應
	強韌膠布廠	無 SCC 碼對應
	抗氧化劑廠	無 SCC 碼對應
	有害事業廢棄物焚化爐	無活動強度資料
	1,4 丁二醇二廠	無活動強度資料
	乙二醇三廠	無活動強度資料
鄰苯二甲酐二廠	無活動強度資料	
台化	芳香烴三廠	無活動強度資料
	苯乙烯三廠	無活動強度資料
	二甲基甲醯胺廠	無 SCC 碼對應
	合成酚廠	只有 voc 排放係數
	己內醯胺廠	無 SCC 碼對應
	軟性十二烷基苯廠	無活動強度資料
台灣醋酸	醋酸廠	無活動強度資料
大連、大連	-	只有 voc 排放係數
中塑油品	白油廠	無 SCC 碼對應
台塑重工	-	無 SCC 碼對應
小松電子	-	無 SCC 碼對應

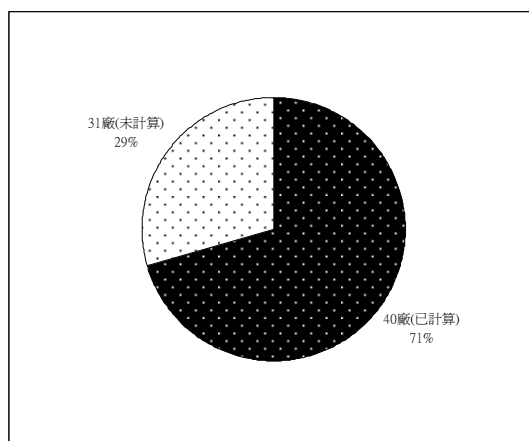


圖 4-4-1 估算及未估算廠別環評 VOCs 比例

4-4-2 六輕排放揮發性有機污染物特徵

分析六輕離島工業區 VOCs 排放量達環評承諾值時，各 VOCs 物種依排放量大小排序為：氯乙烯 635.6 噸/年、環氯氧丙烷 423.0 噸/年、甲苯 338.0 噸/年、對二甲苯 332.8 噸/年、二甲苯異構物 327.8 噸/年、丙烯酸 308.8 噸/年、甲醛 261.3 噸/年、酚 194.7 噸/年及丙烯腈 135.9 噸/年，其他物種由於排放量較小未一一列舉。

1. 離島工業區固定污染源 VOCs 排放

於本計畫所探討之固定污染源排放中，除了上一年度所納入之石油化學廠等相關製程，今年另加入事業廢棄物焚化廠及廠區內主要電廠之有害空氣污染物排放，固定污染源揮發性污染物排放特徵如下：

(1)石化廠：有機性有害空氣污染物(VOCs)排放量最大，依排放量多寡依序為：氯乙烯 580.9 噸/年、氯化氫 240.8 噸/年、環氯氧丙烷 423.0 噸/年、甲苯 202.8 噸/年、對二甲苯 327.2 噸/年、二甲苯異構物 327.2 噸/年、丙烯酸 306.5 噸/年、甲醛 261.3 噸/年、酚 194.7 噸/年及丙烯腈 135.9 噸/年。

(2)發電廠：酸氣之 HCl (240.8 噸/年)，其次為苯 (0.1 噸/年)。

(3)焚化爐：排放主要為重金屬之鎘 (0.0162 公噸/年) 及銅 (0.0054 公噸/年) 及排放量。

2. 離島工業區專用港區及儲槽 VOCs 排放

專用港主要排放來源為停放船舶之燃油發電機，儲槽之排放量為運輸及存放時所損失之逸散量，排放特徵如下：

(1)專用港區：VOCs 主要排放為苯 (0.0048 公噸/年)、乙醛 (0.0041 公噸/年)、甲苯 (0.00214 公噸/年) 及二甲苯 (0.00149 公噸/年) 等有機性有害空氣污染物。

(2)儲槽：VOCs 主要排放為酚 (1.75 公噸/年)、苯乙烯 (0.13 公噸/年)、乙醛 (0.0062 公噸/年) 等揮發性有機空氣污染物。

3. 各廠燃燒塔 VOCs 排放量

HAP 物種以三氯乙烯排放量最大為 24 噸/年，甲苯 14.4 噸/年次之，再來依序為二氯甲烷 5.1 噸/年、苯乙烯 3.2 噸/年、丙烯 2.5 噸/年及氯乙烯 1 噸/年。

(1)三氯乙烯：最大排放廠為台化公司聚碳酸酯樹脂廠 (24 噸/年)，其燃燒塔僅有一支 P001，排放三氯乙烯 24 噸/年為主要排放源。

(2)甲苯：最大排放廠為台化公司苯乙烯一，二廠 (9.12 噸/年)，均由單支燃燒塔 P003

- 排放，其次為台化公司芳香烴一廠 P007 排放（4.5 噸/年）。
- (3)二氯甲烷：台化公司二甲基甲醯胺廠排放量最大（5.1 噸/年），亦僅有單之燃燒塔 P002 均由此排放。
- (4)苯乙烯：台化公司聚苯乙烯為排放量最大（3.2 噸/年），均由單支燃燒塔 P003 所排放。
- (5)丙烯：最大排放為台化聚丙烷廠燃燒塔 P007（2.52 噸/年）。
- (6)氯乙烯：主要由台化公司聚碳酸酯樹脂廠燃燒塔 P001（1 噸/年）。

4.4.3 六輕 VOCs 排放量差異分析

本計畫彙整六輕許可之活動強度資料，輔以 FIRE6.25 之 VOCs 排放係數，估算六輕 VOCs 排放量，其結果顯示與環評資料有明顯差異，以 FIRE6.25 估算之 VOCs 排放量比環評高出 1231 (ton/yr)，如表 4-4-2 所示。

比較 FIRE 6.25 之 VOCs 排放量與環評資料，台化部份差異最大，其 PS/ABS 塑膠廠、苯乙烯一、二廠、對苯二甲酸廠之 FIRE6.25 推估 VOCs 排放量較環評量高出 502-1077 ton/yr；台塑部份，其密度聚乙烯廠、聚氯乙烯廠、丙烯晴廠、丙烯酸/丙烯酸酯廠亦高出 126-398 (ton/yr)不等；南亞部份，其可塑劑廠、固體廢棄物焚化爐亦高出 180、127 ton/yr；但 FIRE6.25 對台塑石化輕油廠卻低估有 -1077 ton/yr[應為製程逸散之差異]。環評資料較 FIRE6.25 推估偏低之差異是否為引用係數正確與否，或因以煙道實測值估算時未能測得低分子量污染物濃度所致，導致以 FIRE6.25 之 VOCs 排放量與環評資料呈現不一之現象，應有確認之空間。

另外，利用 FIRE6.25 推估出之總 VOCs 排放量，其中有查詢不到之適當 SCC 碼(台塑四碳廠、電漿電視顯示器廠，南亞 1,4 丁二醇廠、丁二醇廠 2 廠、異壬醇廠、抗氧化劑廠)，環評資料中無活動強度之數值(台塑環氧氯丙烷廠、鹼廠、丁醇廠、彈性纖維廠，南亞丙二酚三廠酞酸酐廠、環氧大豆油廠、二異氰酸二苯甲烷廠、強韌膠布廠，乙二醇三廠、有害事業廢棄物焚化爐，台化苯乙烯三廠、醋酸廠、己內醯胺廠、軟性十二烷基苯 (LAB)，廢水處理廠，專用港，白油廠)，及 FIRE6.25 對應不到總 VOCs 係數 (台塑石化輕油裂解廠 3，台塑聚乙烯醋酸乙烯酯廠、彈性纖維廠，南亞二異氰酸甲苯廠、雙氧水廠，台化芳香烴廠、二甲基甲醯胺廠)。

表 4-4-2 六輕 VOCs 排放量差異之比較

公司別	廠別	FIRE6.25 排放量(T/Y)	環評排放量(T/Y)	比較結果
台塑石化	輕油廠	8.52*	1193	-1185
	輕油裂解廠 1	136	139	-3.04
	輕油裂解廠 2	147	151	-4.01
	輕油裂解廠 3	***	142	-142
	公用廠	23.3	--	+23.4
麥寮汽電	發電廠	23.1	--	+23.1
台塑	環氧氯丙烷廠	**	7.7	-7.7
	丙烯月青廠	298	57.7	+240
	甲基丙烯酸甲酯廠	0.25	13.7	-13.5
	鹼廠	**	--	--
	氯乙烯廠	212	35	+177
	聚氯乙烯廠	354	40.2	+314
	丙烯酸/丙烯酸酯廠	153	26.2	+126
	高密度聚乙烯廠	427	28.7	+398
	線性低密度聚乙烯廠	92.4	--	+92.4
	聚乙烯醋酸乙烯酯廠	***	30.6	-30.6
	四碳廠	*	7.88	-7.88
	碳纖廠	3.37	27.1	-23.7
	丁醇廠	**	36.4	-36.4
	彈性纖維廠	**	13.0	-13.0
電漿電視顯示器廠	*	21.5	-21.5	
台塑旭	彈性纖維廠	1.15	11.7	-10.5
南亞	固體廢棄物焚化爐	127	0.5	+127
	丙二酚廠	5.17	33.4	-28.2
	丙二酚三廠	**	5.5	-5.5
	二異氰酸甲苯廠	***	44.5	-44.5
	1,4 丁二醇廠	*	53.9	-53.9
	丁二醇廠 2 廠	*	29	-29
	酞酸酐廠	**	106	-106
	鄰苯二甲酐二廠	94.8	86.1	+8.69
	異辛醇廠	34.0	15.1	+18.9
	可塑劑廠	188	7.56	+180
	乙二醇廠	8.98	9.27	-0.29
	乙二醇二廠	12.3	2.45	9.9
	環氧樹脂廠	63.4	37.2	26.2
	雙氧水廠	***	3.61	-3.61
	異壬醇廠	*	52.4	-52.4
	環氧大豆油廠	**	--	--
	二異氰酸二苯甲烷廠	**	28.2	-28.1
	強韌膠布廠	**	0.63	-0.63
	抗氧化劑廠	*	9.8	-9.8
	乙二醇三廠	**	61.1	-61.1
	丙二酚二廠	**	40.7	-40.7
	有害事業廢棄物焚化爐	**	0.5	-0.5

台化	芳香煙廠	***	481	-481
	芳香煙二廠	0.21***	144	-143
	芳香煙三廠	***	172	-172
	苯乙烯一,二廠	1155	310	+845
	苯乙烯三廠	**	164	-164
	聚丙烯廠	17.8	36.9	-19.2
	二甲基甲醯胺廠	***	4.9	-4.9
	醋酸廠	**	37.4	-37.4
	對苯二甲酸廠	1360	283	+1077
	合成酚廠	76	260	-184
	己內醯胺廠	**	33.9	-33.9
	PS/ABS 塑膠廠	522	19.9	+502
	聚碳酸酯樹酯廠	92.5	71.3	+21.2
	軟性十二烷基苯 (LAB)	**	140	-140
	南中石化	乙二醇廠	8.98	19
廢水處理廠		**	99.9	-99.9
專用港		**	340	-340
大連、長春		113	387	-273
中塑油品	柏油廠	1088	1.83	+1086
	白油廠	**	0.23	-0.23
合計		6854	5623	+1231

註:*無適當 SCC 碼;**無活動強度 ;*** 無 VOC 係數

4.5 高光化 VOCs 臭氧生成潛勢解析

本研究援引FIRE6.25 有機污染物排放係數，配合工廠操作許可產能推估VOCs排放量結果，中部空品區揮發性有機污染物(Volatile Organic Compounds, VOCs)總排放量約為 115 千噸/年，其中固定源排放約 54 千噸/年，面源排放則約 61 千噸/年；臭氧生成潛勢推估，總排放量約為 85 千噸O₃/年產生量，其中固定源排放約 27 千噸/年，台中市排放約為 7 千噸O₃/年產生量，台中縣排放約為 12 千噸O₃/年產生量，南投縣排放約為 4 千噸O₃/年產生量，彰化縣排放約為 4 千噸O₃/年產生量(如圖 4.5.1 所示)。面源排放則約 58 千噸/年，台中市排放約為 10 千噸O₃/年產生量，台中縣排放約為 23 千噸O₃/年產生量，南投縣排放約為 7 千噸O₃/年產生量，彰化縣排放約為 18 千噸O₃/年產生量(如圖 4.5.2 所示)。

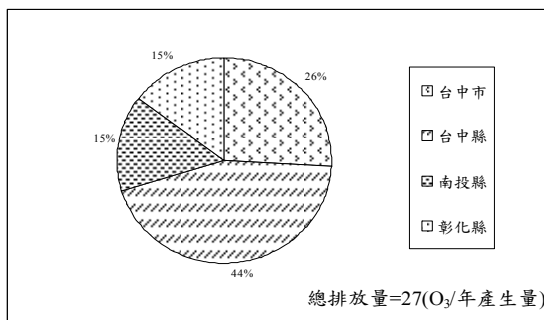


圖4.5.1 固定源臭氧比例關係圖

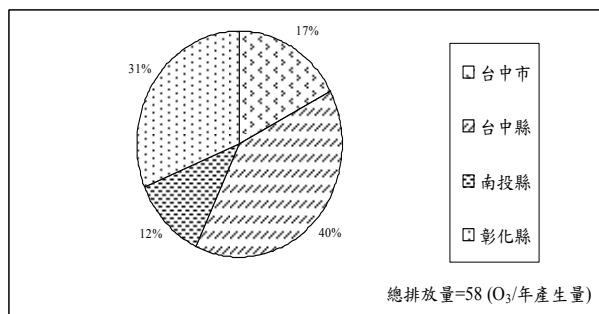


圖4.5.2 面源臭氧比例關係圖

4.5.1 中部空品區固定源排放 VOCs 之臭氧生成潛勢解析

彙整 TEDS6.0 解析中部空品區四縣市固定源 VOCs 排放量，台中市約 9 千噸/年，台中縣約 16 千噸/年，南投縣約 3 千噸/年，彰化縣約 12 千噸/年；引用 FIRE6.25 細項有機污染物排放係數推估排放量結果，台中市約 10 千噸/年，台中縣約 27 千噸/年，南投縣約 2.6 千噸/年，彰化縣約 14.4 千噸/年，該固定源總排放量約為 54 千噸/年，FIRE6.25 排放係數推估固定源及面源 VOCs 排放量結果與 TEDS6.0 有 20-30% 差異。

援引 SPECIATE3.2 及 Cater MIR (2003) 資料，配合前述 TEDS6.0 固定源 VOCs 排放量，計算臭氧生成潛勢推估。固定源中之 90% VOCs 量已被估算，其結果顯示中部空品區固定源 VOCs 排放約 54 千噸/年，其最大致臭氧潛勢約為 27 千噸O₃/yr，其 VOCs 單位臭氧潛能為 0.5 gO₃/gVOC 年，最大來源為台中縣(42%)。

分析各縣市固定源臭氧生成潛勢特徵行業別及其物種結果，台中市主要臭氧生成最大來源行業為金屬製品處理業 (72%)，其該行業特徵排放物種為：Toluene (47%)、Ethyl acrylate (37%)、Methyl ethyl ketone (11%)；台中縣主要臭氧生成最大來源行業為塑膠製造業 (36%)，其特徵排放物種為：Styrene (100%)；南投縣主主要臭氧生成最大來源行業為紡紗業 (50%)，其特徵排放物種為：Toluene (43%)、Ethyl acrylate (29%)；彰化縣主要臭氧生成最大來源行業為金屬製品處理業 (44%)，其特徵排放物種為：Toluene (47%)、Ethyl acrylate (37%)、Methyl ethyl ketone (10%)，各縣市固定源臭氧生成潛

勢主要行業別及其特徵物種如表 4-5-1。

表 4-5-1 各縣市固定源臭氧生成潛勢主行業及其特徵物種

縣市	臭氧生成潛勢主要行業	特徵物種
台中市	金屬製品處理業 (72%)	Toluene (47%)、Ethyl acrylate (37%)、Methyl ethyl ketone (11%)
	紙製品製造業(12%)	Toluene (47%)、Ethyl acrylate (36%)、Methyl ethyl ketone (12%)
台中縣	塑膠製造業 (36%)	Styrene (100%)
	其他皮革製品製造業 (27%)	Toluene (61%)、Ethyl acrylate (10%)、Methyl ethyl ketone (10%)
南投縣	紡紗業 (50%)	Toluene (43%)、Ethyl acrylate (29%)
	紙製品製造業 (36%)	Toluene (47%)、Ethyl acrylate (36%)
彰化縣	金屬製品處理業 (44%)	Toluene (47%)、Ethyl acrylate (37%)、Methyl ethyl ketone (10%)
	塑膠製造業 (18%)	Styrene (100%)

固定源中，其主行業別臭氧潛能結果顯示中部空品區固定源台中市金屬製品處理業，其最大致臭氧潛勢約為 5.4 千噸O₃/yr，其VOCs單位臭氧潛能為 0.82 gO₃/ gVOC年，台中縣塑膠製造業，其最大致臭氧潛勢約為 4.3 千噸O₃/yr，其VOCs單位臭氧潛能為 0.58 gO₃/ gVOC年，南投縣紡紗業，其最大致臭氧潛勢約為 2 千噸O₃/yr，其VOCs單位臭氧潛能為 0.76 gO₃/ gVOC年，彰化縣金屬製品處理業，其最大致臭氧潛勢約為 2.2 千噸O₃/yr，其VOCs單位臭氧潛能為 0.65 gO₃/ gVOC年，各縣市固定源臭氧單位製程VOC之O₃潛勢如表 4-5-2。

表 4-5-2 各縣市固定源臭氧單位製程VOC之O₃潛勢

		VOC 排放量 (ton/yr)	O ₃ 潛勢量 (ton O ₃ /yr)	單位製程VOC之O ₃ 潛勢 (g O ₃ /gVOC)
台中市	金屬製品處理業	6726	5490	0.82
	紙製品製造業	1816	978	0.54
台中縣	塑膠製造業	7464	4358	0.58
	其他皮革製品製造業	4992	3359	0.67
南投縣	紡紗業	2623	2006	0.76
	紙製品製造業	1201	1450	1.21
彰化縣	金屬製品處理業	3377	2210	0.65
	塑膠製造業	507	886	1.75

分析各縣市固定源臭氧生成潛勢量，台中市排放約為 7 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Toluene(44%)、Ethyl acrylate(29%)、Styrene(9%)、Methyl ethyl ketone(9%)；台中縣排放約為 12 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Styrene(45%)、Toluene(29%)、Ethyl acrylate(11%)；南投縣排放約為 4 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Toluene(43%)、Ethyl acrylate(29%)、Styrene(13%)；彰化縣排放約為 4 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Styrene(37%)、Toluene(32%)、Ethyl acrylate(19%)，各縣市固定源臭氧生成潛勢主要特徵VOC物種比例如圖 4-5-3~圖 4-5-7。

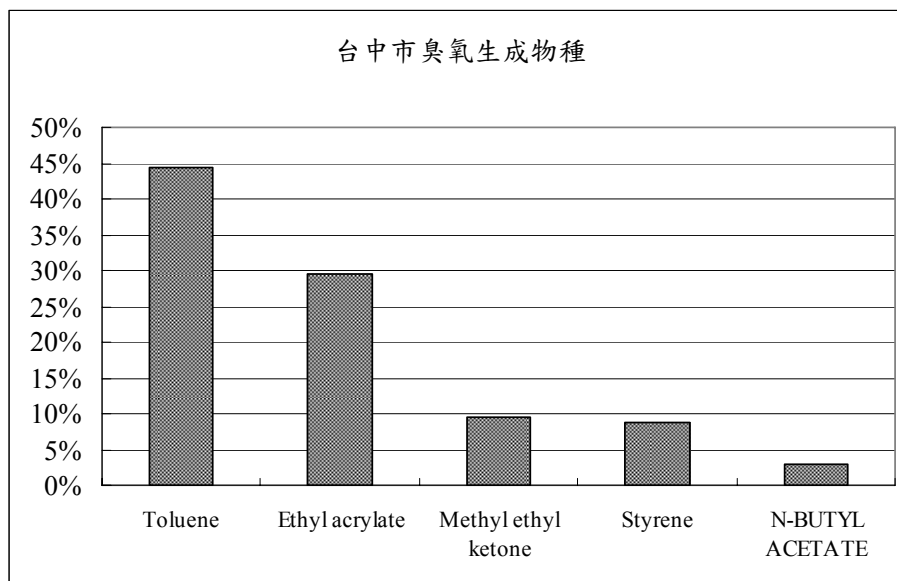


圖 4-5-4 台中市臭氧生成 VOC 物種比例圖

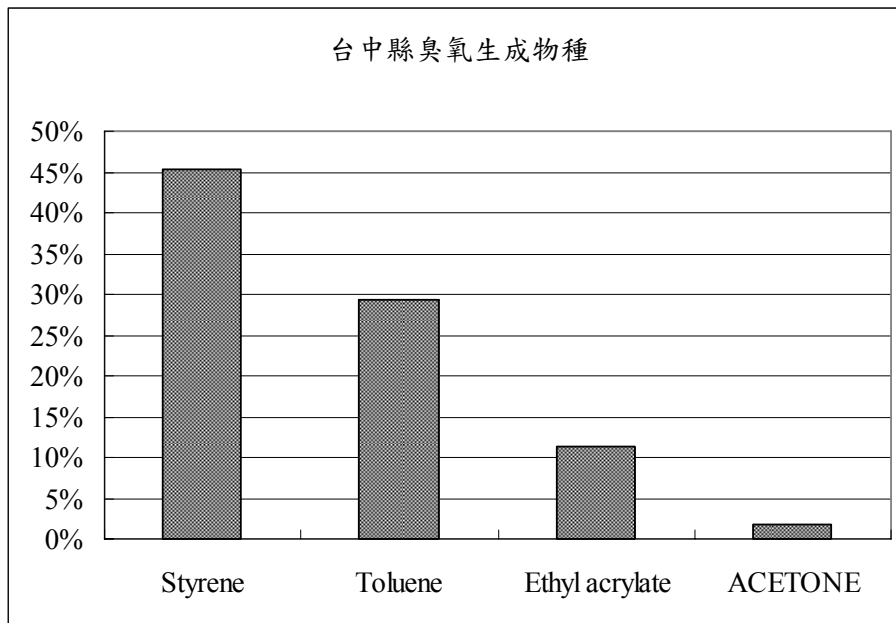


圖 4-5-5 台中縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

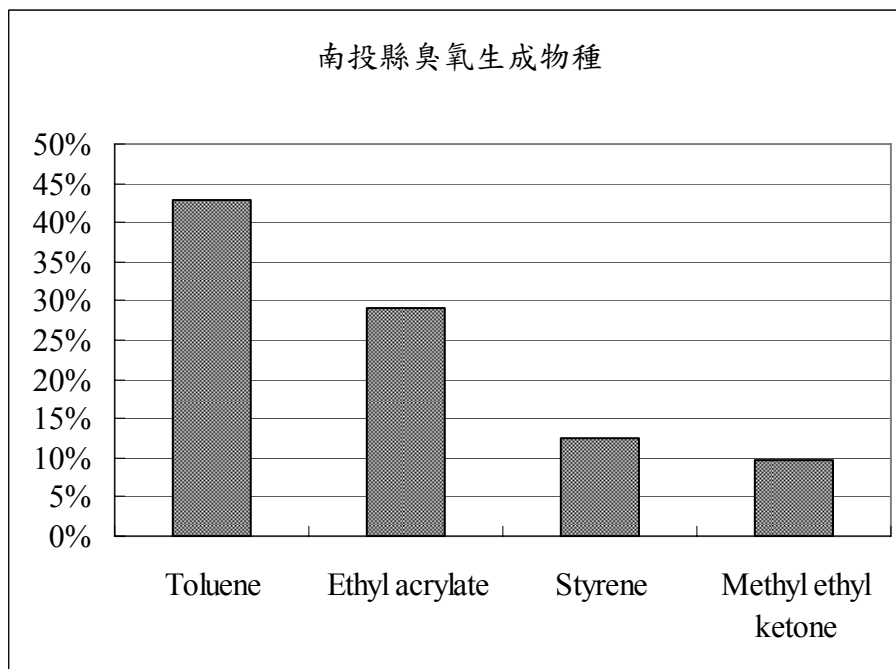


圖 4-5-6 南投縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

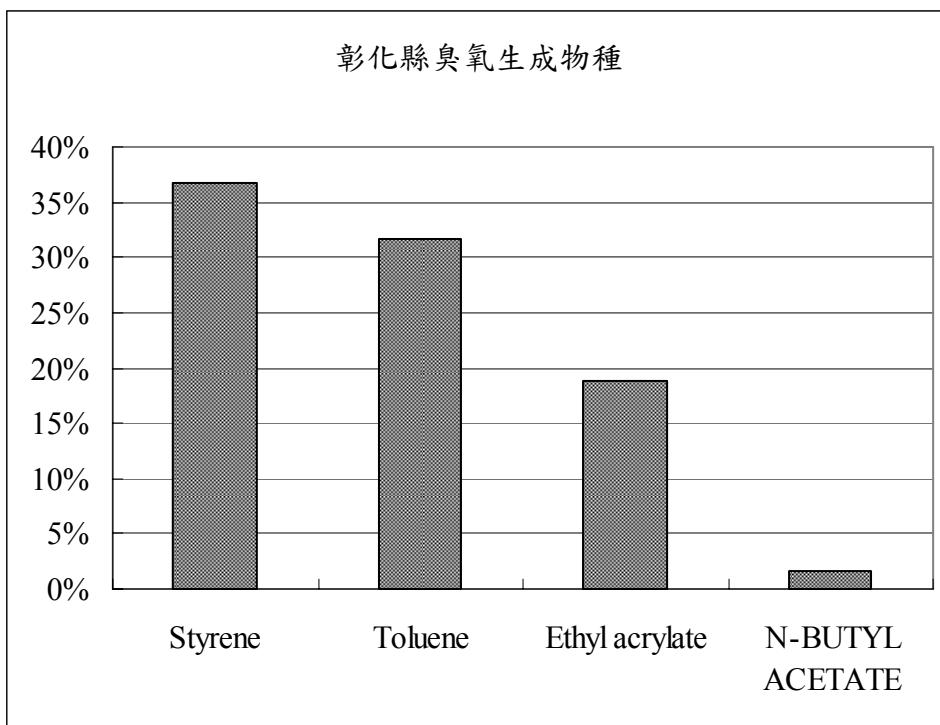


圖 4-5-7 彰化縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

4.5.2 中部空品區面源排放 VOCs 之臭氧生成潛勢解析

彙整 TEDS6.0 解析中部空品區四縣市面源 VOCs 排放量，台中市約 11.5 千噸/年，台中縣約 25 千噸/年，南投縣約 7.5 千噸/年，彰化縣約 24 千噸/年，引用 SPECIATE3.2 細項有機污染物排放係數推估排放量結果，台中市約 10 千噸/年，台中縣約 23 千噸/年，南投縣約 7 千噸/年，彰化縣約 21 千噸/年，中部空品區面源總排放量約為 61 千噸/年。

援引 SPECIATE3.2 及 Cater MIR (2003) 資料，配合前述 TEDS6.0 面源 VOCs 排放量，推估臭氧生成潛勢。面源中之 92% VOCs 量已被估算，其結果顯示引用 SPECIATE 3.2 之資料庫，其結果顯示中部空品區面源 VOCs 量排放約 61 千噸/年，其約 58 千噸 O₃/yr 產生，其 VOCs 單位臭氧潛能為 0.95 gO₃/gVOC 年，來源最大量亦為台中縣(40%)。

分析各縣市面源排放特徵行業別及其物種結果，台中市主要排放行業來自於建築表面塗裝-油性塗料 (32%)，主要來源物種為: Toluene (74%)、o-Xylene (16%)。台中縣主要排放行業為建築表面塗裝-油性塗料 (22%)，特徵排放物種為: Toluene (74%)、o-Xylene (16%)。南投縣主要排放行業為建築表面塗裝-油性塗料 (25%)，特徵排放物種為: Toluene (65%)、o-Xylene (16%)。彰化縣主要排放行業為建築表面塗裝-油性塗料 (21%)，特徵排放物種為: Toluene (74%)、o-Xylene (17%)，各縣市面源臭氧生成潛勢主要行業別及其特徵物種如表 4-5-3。

表 4-5-3 各縣市面源臭氧生成潛勢主行業及其特徵物種

縣市	臭氧生成潛勢主要行業	特徵物種
台中市	建築表面塗裝-油性塗料 (32%)	Toluene (74%)、o-Xylene (16%)
	汽車保養-維修 (30%)	ISOMERS OF BUTYLBENZENE (86%)
台中縣	建築表面塗裝-油性塗料 (22%)	Toluene (74%)、o-Xylene (16%)
	汽車保養-維修 (21%)	ISOMERS OF BUTYLBENZENE (86%)、Toluene (6%)
南投縣	建築表面塗裝-油性塗料 (25%)	Toluene (65%)、o-Xylene (16%)
	塑膠製品製造業 (17%)	Styrene (100%)
彰化縣	建築表面塗裝-油性塗料 (21%)	Toluene (74%)、o-Xylene (17%)
	汽車保養-維修 (19%)	ISOMERS OF BUTYLBENZENE (90%)

面源中，其主行業別臭氧潛能結果顯示中部空品區固定源台中市建築表面塗裝-油性塗料，其最大致臭氧潛勢約為 3.2 千噸 O₃/yr，其 VOCs 單位臭氧潛能為 2.35 gO₃/gVOC 年，台中縣建築表面塗裝-油性塗料，其最大致臭氧潛勢約為 5 千噸 O₃/yr，其 VOCs 單位臭氧潛能為 2.04 gO₃/gVOC 年，南投縣建築表面塗裝-油性塗料，其最大致臭氧潛勢約為 1.7 千噸 O₃/yr，其 VOCs 單位臭氧潛能為 2.04 gO₃/gVOC 年，彰化縣建築表面塗裝-油性塗料，其最大致臭氧潛勢約為 3.8 千噸 O₃/yr，其 VOCs 單位臭氧潛能為 2.04 gO₃/gVOC

年，各縣市固定源臭氧單位製程VOC之O₃潛勢如表 4-5-4。

表 4-5-4 各縣市面源臭氧單位製程VOC之O₃潛勢

		VOC 排放量 (ton/yr)	O ₃ 潛勢量 (ton O ₃ /yr)	單位製程VOC之O ₃ 潛勢 (g O ₃ /gVOC)
台中市	建築表面塗裝-油性塗料	1390	3266	2.35
	汽車保養-維修	938	3107	3.31
台中縣	建築表面塗裝-油性塗料	2525	5148	2.04
	汽車保養-維修	1421	4901	3.45
南投縣	建築表面塗裝-油性塗料	851	1736	2.04
	塑膠製品製造業	586	1176	2.01
彰化縣	建築表面塗裝-油性塗料	1880	3830	2.04
	汽車保養-維修	1100	3527	3.21

分析各縣市面源臭氧生成潛勢量，台中市排放約為 10 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Toluene(36%)、ISOMERS OF BUTYLBENZENE(27%)、Styrene(8%)、o-Xylene(6%)；台中縣排放約為 23 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：Toluene(42%)、Styrene(10%)、N-BUTYL ALCOHOL(5%)、o-Xylene(5%)；南投縣排放約為 7 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：ISOMERS OF BUTYLBENZENE(33%)、Toluene(23%)、Styrene(17%)、；彰化縣排放約為 18 千噸O₃/年產生量，其該VOCs主要來源物種為：ISOMERS OF BUTYLBENZENE(21%)、Toluene(20%)、Styrene(18%)，各縣市面源臭氧生成潛勢主要特徵VOC物種比例如圖 4-5-8~4-5-11。

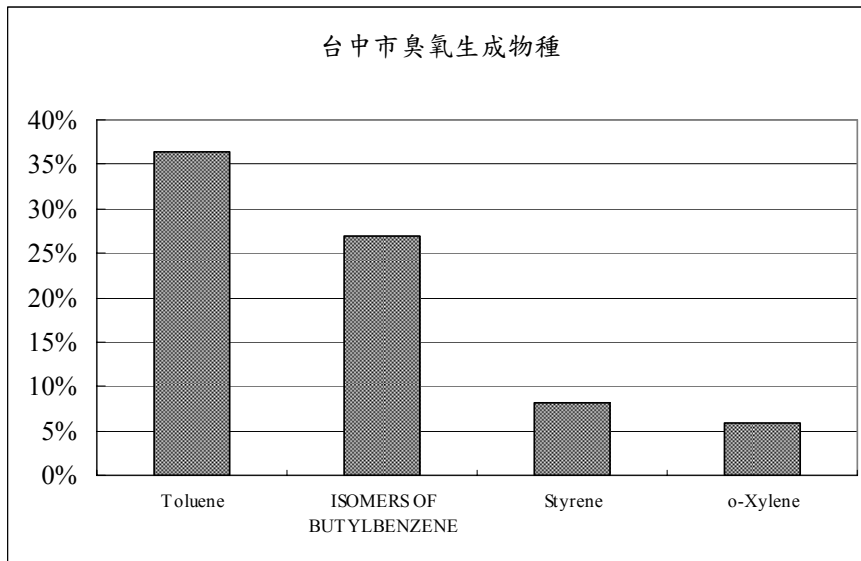


圖 4-5-8 台中市臭氧生成 VOC 物種比例圖

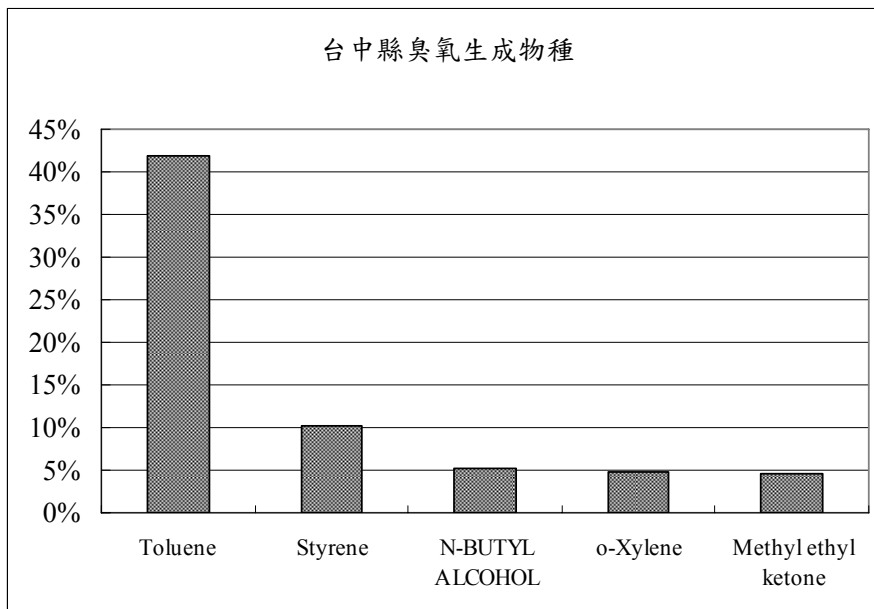


圖 4-5-9 台中縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

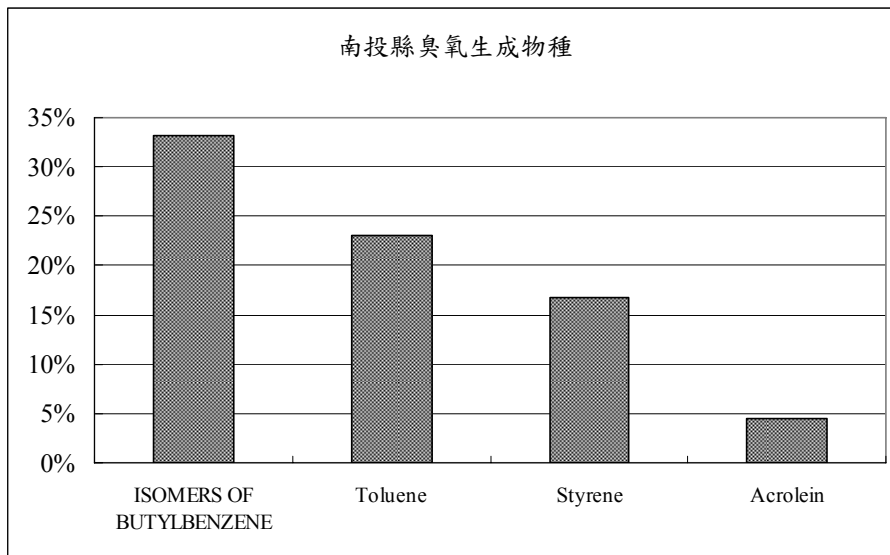


圖 4-5-10 南投縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

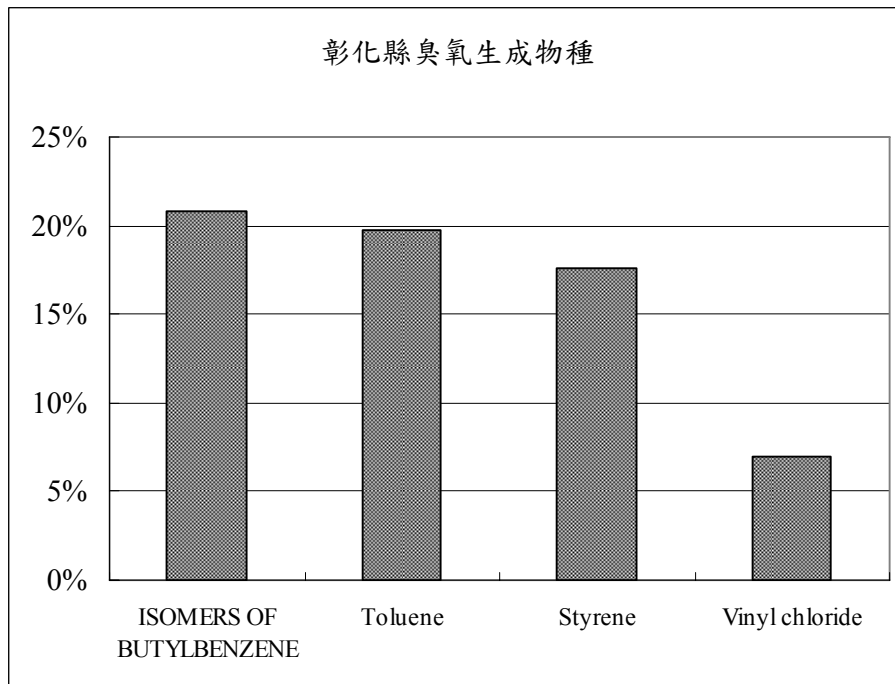


圖 4-5-11 彰化縣臭氧生成 VOC 物種比例圖

五、主要建議意見及未來或後續執行建議

1. 彙整六輕許可之活動強度資料，輔以 FIRE6.25 之 VOCs 排放係數，估算六輕 VOCs 排放量結果顯示與環評資料有明顯差異，以 FIRE6.25 估算之 VOCs 排放量比環評高出 1231 (ton/yr)。環評資料較 FIRE6.25 推估偏低之差異是否為引用係數正確與否，或因以煙道實測值估算時未能測得低分子量污染物濃度所致，導致以 FIRE6.25 之 VOCs 排放量與環評資料呈現不一之現象。建議後續應對過去環評資料係數引用合理性進行逐廠確認，並另針對目前運轉後產能利用狀況，執行更精確的排放量估算。
2. 援引 FIRE6.25 有機污染物排放係數，配合工廠操作許可產能推估 VOCs 排放量，中部空品區揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)總排放量約為 115 千噸/年，其中固定源排放約 54 千噸/年，面源排放則約 61 千噸/年，較 TEDS 6.0 版排放量推估結果，中部空品區揮發性有機化合物固定源排放約 40 千噸/年，面源排放則約 68 千噸/年。FIRE6.25 排放係數推估固定源及面源 VOCs 排放量結果與 TEDS6.0 有 20-30% 差異，建議需進行精算確認。
3. 因美國 EPA 對 FIRE 資料庫建置尚未完整，而導致查詢不到部分製程可對應之物種係數等問題，因此造成實測煙道資料與 FIRE 資料庫比對之差異。FIRE6.25 推估排放量為 19.5 ton/yr 較實測值 4.94 ton/yr 高出許多，但六輕部份管道實測物種(Vinyl chloride、Methane、Dichloromethane)常較 FIRE6.25 推估(僅 Vinyl chloride)豐富許多，國內目前對排放管道部分 VOC 檢測方法尚未正式公告，實為未來以實測值申報 VOC 計量之困擾，可能會導致排放量明顯低估。
4. 中部空品區固定源及面源排放 VOCs 致臭氧最大生成潛勢分別為 27、58 千噸 O₃/年，其 VOCs 單位臭氧潛能為 0.5、0.95 gO₃/gVOC 年，固定源與面源最大來源皆為台中縣，分占中部空品區固定源與面源排放量 42%、40%。其首要管制特徵行業別固定源建議以金屬製品處理業、塑膠製造業、紡紗業為主；面源則皆為建築表面塗裝-油性塗料為主。

六、參考文獻

- Atkinson R (1990) "Gas-Phase Tropospheric Chemistry of Organic Compounds: A Review", *Atmos. Environ.* 24A, pp: 1-41.
- Basil D. (1996) "Scientific basis for the VOC reactivity issues raised by section 183(e) of the Clean Air Act Amendments of 1990", *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 46, 963-970.
- Bishop G. A., Stedman, D. H., and Ashbaugh, L. (1996) "Motor Vehicle Emissions Variability.", *Journal Air & Waste Manage. Assc.* 46, pp: 667-675.
- Calvert, J.G. and Madronich, S. (1987) "Theoretical Study of the Initial Products of the Atmospheric Oxidation of Hydrocarbons", *JGR*, 92:2211-2220.
- Carter, W.P.L. (1990) "A Detailed Mechanism for the Gas-Phase Atmospheric Reactions of Organic Compounds", *Atmos. Environ.*, 3:481-518.
- Carter W.P.L. (2003) "Update of the VOC List and Reactivity Tabulation on Appendix C of the SAPRC-99 Mechanism Documentation Report", Draft report to the California Air Resources Board, <ftp://ftp.cert.ucr.edu/pub/carter/SAPRC99/r02tab.xls>.
- Factor Information Retrieval (FIRE) System, (2000) U.S. Environmental Protection Agency. U.S. Government Printing Office: Washington, D.C., EPA-454/C-95-002
- Fujita, E.M., Lu, Z., Sheetz, L., Harshfield, G., Hayes, T., and Zielinska, B. (1997) "Hydrocarbon source apportionment in western Washington. Prepared for State of Washington Dept. of Ecology", Lacey, WA, Desert Research Institute, Reno, NV.
- Jiun-Horng Tsai, Yi-Chyun Hsu, C.Y. Yang, (2004) The Relationship between Volatile Organic Profiles and Emission Sources in Ozone Episode Region-a Case Study in Southern Taiwan", NSC90-2211-E-127-001, *SCI of TOTAL ENVIRON.* 328 P.131-142.
- Scheff, P.A., Wadden, R.A., Kenski, D.M., Chung, J., and Wolff, G. (1996) "Receptor model evaluation of the southeast michigan ozone study ambient NMOC measurements", *JAWMA*, 46, pp.1048-1057.
- USEPA(1989) "Measurement of Gaseous Organic Compound Emission by Gas Chromatography- Method 18", Code of Federal Regulations, Part 60, Subpart TTT.
- USEPA(1996) "Supplement B to Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol. I Stationary Point and Area Sources; U.S. Environmental Protection Agency. U.S. Government Printing Office: Washington, D.C., Fifth Edition, November,.
- Yang, Y.J., Stockwell, W.R., Milford, J.B. (1995) "Uncertainties in incremental reactivities of volatile organic compounds," *J. Environ. Sci. Technol.*, 29, 1336-1345.
- Yi-Chyun Hsu, Jiun-Horng Tsai, Shan-Kun Chen, (2004) Characteristics and Photochemical Potentials of Volatile Organic Emission from Exhaust Gas of Industrial Plants, 2nd International Conference of Environmental Concern, UNEP, NSC91-Z-EPA-127-002, Volumn I 47-54, Municipality of Xiamen China (full paper).

行政院環保署(1997),石化業揮發性有機物排放防制技術手冊。

鄭景智,許逸群,蔡俊鴻,林達昌(1997)「固定污染源管道排放揮發性有機物特徵研究」,第十四屆空氣污染技術研討會論文專輯

蔡俊鴻(1999),「排放源區與監測站VOCs特徵結構在光化污染事件之關聯性」,行政院國科會,台北。

許逸群(2000),「臭氧高濃度區揮發性有機物特徵與排放源區關聯性研究」,國立成功大學環境工程研究所博士論文,台南。

廖琦峰(2003),「工業區有害空氣污染物排放與影響評估方法之研究」,國立成功大學環境工程研究所碩士論文,台南。

高雄市環保局(2001)高雄市工業區排放健康危害物(HAPs)之環境影響及人員暴露評估。

許逸群、江鴻龍、蔡俊鴻(2003),「高雄都會區有機性有害空氣污染物排放潛能之調查」,九十二年空氣污染防制成果及技術研討會,高雄市。

馬森義、江鴻龍、許逸群、蔡俊鴻(2003),「高雄都會區有害空氣污染物排放特徵調查研究」,第二十屆空氣污染技術研討會論文專輯,NSC91-EPA-Z-242-002,中興大學,台中。

環保署(2001)「空氣排放量清冊更新管理及環境耗損推估計畫」。

許逸群(2001)「臭氧高濃度區大氣揮發性有機物特徵結構與排放源關聯」,第十八屆空氣污染技術研討會論文專輯

許逸群、陳俊宏、蔡俊鴻,「高臭氧濃度區大氣VOCs光化學特徵指標之建立」,第二十屆空氣污染技術研討會論文專輯,NSC90-2211-E-127-001,台中(2003)。

許逸群、陳靜玉、許雅苓、蔡俊鴻(2004),「大氣光化指標VOCs特徵及其反應機制探究」,第九屆海峽兩岸環境保護學術研討會,NSC91-2211-E-168-004,西安交通大學,中國西安。