

九十二年度環保署/國科會空污防制科技研究合作計畫

都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估

子計畫三

工業都會區有機性有害空氣污染物影響暨管制有效性評估研究
(計畫編號：NSC 92-EPA-Z-006-002)

期末報告

計畫主持人：蔡俊鴻 教授

協同主持人：溫麗琪 博士

研究人員：李婷貽、葉惠芬、姚永真、張立鵬

執行單位：國立成功大學環境工程學系

中華經濟研究院

中華民國九十三年一月

子計畫三：工業都會區有機性有害性空氣污染物影響暨管制有效性評估

摘要

本研究計畫以高雄工業都會區為研究區域，參考國外都會區管制策略及減量控制技術，評估不同污染源排放有機性有害空氣污染物於工業都會區所致危害影響，解析可行控制技術之減量成效，整合第一年研究成果，建構高雄工業都會區有害空氣污染物減量策略架構，並估算固定源與移動源排放減量潛勢，導入成本有效性分析，評估有機性有害空氣污染物管制優先性，進一步解析推動管制策略之可行性。本計畫研究成果如下：

計畫執行期間收集各國文獻與台灣地區都會區有害空氣污染物相關研究計畫，探討各國都會區有害空氣污染物固定源與移動源管制作業要求標準與管制架構，美國都會區有害空氣污染物管制架構最完善，近年來管制對象著重於都會區小型污染源及面源，列表優先管制物種及規範要求。OECD 亦於 1999 年針對都會區 HAP 危害影響，公佈都會區管制優先列管 HAP(分重金屬與 VOC 二大類共 15 種)，訂定允許濃度限值加以管制。

為了解高雄地區有機性有害空氣污染物(以 VOCs 為主)之污染影響範圍程度，本計畫進行現場調查採樣研究，篩選前金測站與林園二測站分別代表都會區(移動源)與工業區(固定源)，分析有機性 HAP 環境濃度。結果顯示苯系物種以甲苯濃度最高($679.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)其次為乙苯($72.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)；分析測站濃度趨勢分佈，前金測站濃度皆較林園測站高，顯示移動源所致影響大於固定源。

於 HAP 危害影響案例模擬上，篩選苯及甲苯為模擬物種，配合子計畫二調查之減量製程及移動源加嚴機車排氣標準與汽油油品改善管制措施所得結果，進行管制對策執行前後苯/甲苯所致危害程度影響模擬，結果顯示執行控制對策後，苯於固定源之廠區逸散及移動源皆呈現改善現象，唯仍大於建議管制目標 1×10^{-6} ，應持續管制。甲苯之於廠區逸散及移動源所致健康危害影響亦呈現改善現象且均小於管制目標值，唯固定源廠區逸散甲苯控制後危害指數達 0.14，與其他 HAP 物種累計危害風險不可輕忽。

整合執行期間蒐集之國外文獻與台灣地區都會區有害空氣污染物相關研究計畫，研擬高雄工業都會區 HAPs 管制策略架構主軸，高雄工業都會區 HAP 管制策略係針對固定源與移動源進行二階段管制。第一階段管制策略乃為「排放減量」，以削減污染源排放量為主軸，針對排放量大且危害強度高之污染物要求排放源進行減量。第二階段則納入健康風險觀念，針對造成熱點(Hot-Spot)之污染源推動管制，進一步要求 HAP 排放控制，並應用風險評估工具瞭解特定區域所致健康危害，以達成維護民眾健康目標。此外，進行 HAP 排放量/濃度之背景資料調查、建置 HAP 排放資料庫，以做為篩選管制物種及排放污染源之依據，皆為推動 HAP 管制策略之重要先期工作，建議分年逐步推動執行。

關鍵字：有害空氣染物、都會區、風險評估模擬、控制減量、管制策略

ABSTRACT

The purposes of this project are set up the framework, promoted mechanisms and system of organic hazardous air pollutants control strategy. Hazardous air pollutants (HAPs) have different characteristics, and many pollution sources have emitted HAPs. Therefore, the volatile organic compounds (VOCs) are selected as the target pollutants from HAPs. Besides, the Kaohsiung industrialized metropolitan has an urgent demand to develop a control strategy of HAPs. It is an experience of US.EPA which develops the "National Air Toxics Program: The Integrated Urban Strategy" and it was a prototype for this study. The target pollutants for this year are focus on volatile organic compounds (VOCs), which were designated as the HAPs by the Taiwan Environmental Protection Agency. Control strategies will be evaluated by the feasibility, reduction potential and the cost efficiency.

Ambient VOCs concentration in Qian-jin station and Lin-yuan station indicated toluene ($679.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) had the highest concentration. VOCs concentration in Qian-jin station is higher than Lin-yuan station regardless of rush hour or normal. The risk of benzene (carcinogen) and toluene (non-carcinogen) from a stationary and mobile source were estimated. Resulted the cancer risk of benzene from both sources were slight reduced, but still greater than 10^{-6} . However, hazardous index of Toluene indicated less than 0.1 for both of stationary and mobile sources.

The proposed organic HAPs control strategy in Kaohsiung area contains two parts: stationary source and mobile source. Control strategy should be performed by the following procedures: HAPs investigation, screen HAP species and sources, and control strategy. The frameworks of HAPs control strategy has been designed into two stages. The technology-based control strategies are focus on emission reduction at first. Then, the risk-based control strategy is carried out to reduce the public health risk, especially in hot spot sources. The hot spot sources of organic HAPs are requested to improve the control efficiency for the reduction of organic HAPs.

Key words: organic hazardous air pollutants, urban area, control technology, risk management, air toxics integrated urban strategies.

工業都會區有機性有害性空氣污染物影響暨管制有效性評估

目 錄

第一章 前 言.....	1
(一) 計畫背景.....	1
(二) 研究目標.....	1
第二章 研究方法.....	2
第三章 文獻回顧.....	3
3-1 都會區有害空氣污染物管制策略解析.....	3
3-2 固定源管制策略解析.....	13
3-3 移動源管制策略解析.....	15
第四章 研究成果.....	19
4-1 高雄都會區 HAPs 大氣背景濃度現場調查.....	19
4-2 HAPs 減量潛勢分析.....	23
4-3 高屏地區 VOCs-HAPs 風險特徵案例評析.....	25
4-4 管制策略成本有效性分析.....	35
4-5 高雄工業都會區有害空氣污染物管制策略.....	36
4-5-1 高雄工業都會區 HAP 管制策略主軸架構.....	37
4-5-2 固定源 HAP 管制架構.....	38
4-5-3 移動源 HAP 管制架構.....	40
第五章 結論與建議.....	44
參考文獻	45

表 目 錄

表 3-1	美國都會區優先管制之 29 類面污染源	5
表 3-2	美國 2002 年增列都會區管制之 18 種面污染源	5
表 3-3	OECD 都會區有害空氣污染物指標.....	6
表 3-4	各國都會區 HAP 允許濃度限值	8
表 3-5	AQMS 執行步驟	10
表 3-6	美國都會區 21 種移動源 HAP.....	11
表 3-7	美國複合模式排放係數減量效益.....	17
表 4-1	有機性 HAPs 重要物種大氣背景濃度分布	22
表 4-2	不同時段 VOCs 累積濃度特徵.....	23
表 4-3	加嚴機車排氣標準減量推估.....	25
表 4-4	台灣地區目前油品成分與 96 年油品標準差異比較表	25
表 4-5	高雄都會區模擬結果分析.....	27
表 4-6	高雄都會區有機性有害空氣污染物模擬結果	28
表 4-7	所致苯不同等級風險影響人口比例.....	29
表 4-8	模擬結果與現場大氣採樣結果比較.....	31

圖 目 錄

圖 3-1	全國不同污染源排放 HAP 比例.....	4
圖 3-2	都會區不同污染源排放 HAP 比例	4
圖 3-3	美國都會區工作權責分配圖.....	7
圖 3-4	美國都會區 HAP 管制架構.....	7
圖 3-5	空氣品質管理系統組成架構.....	9
圖 4-1	高雄工業都會區空氣中苯濃度所致個人終身致癌風險與累積 人口百分比圖	32
圖 4-2	高雄工業都會區空氣中甲苯濃度所致危害指數與累積人口百 分比圖	32
圖 4-3	採取控制策略減量前後高雄工業都會區風險分佈	33
圖 4-4	控制前後不同污染源 HAP 排放量貢獻比例及所致風險比例 ..	34
圖 4-5	高雄都會區 HAP 管制策略主軸架構	41
圖 4-6	高雄都會區固定源 HAP 管制策略架構	42
圖 4-7	高雄都會區移動源 HAP 管制策略架構	43

工業都會區有機性有害性空氣污染物影響暨管制有效性評估

第一章 前言

(一) 計畫背景

台灣地區有害空氣污染物尚欠缺整體性之管制架構，HAPs 基本現況之掌握亦未健全，僅就部份特定行業訂有空氣污染物排放標準，管制部份有害空氣污染物。目前台灣地區重要有害空氣污染物名單尚不明確，除早期委託計畫曾進行國內行業排放 HAPs 調查，篩選出建議 30 種優先列管 HAPs 後，至今亦無全面性調查資料可供名單更新參考，更遑論重要 HAPs 排放源之確認。然為建置有害空氣污染物管制工作，確認 HAPs 名單及污染來源均為重要且基礎之工作，實需持續推動調查作業。

有害空氣污染物之減量技術、排放方式與其估算方式常因行業與製程不同有所差異，有機性有害空氣污染物污染排放特性較一般硫氧化物、氮氫化合物複雜，除一般煙道排放外，製程中逸散量亦不容小覷，故為使有機性有害空氣污染物排放減量達最大效益，降低環境衝擊，建置完整有機性有害空氣污染物之本土化排放係數、排放量資料、減量技術及成本效益分析實為一重要工作。

本計畫第一年已對部分先進國家(美國、加拿大、歐洲、日本等)有害空氣污染物管制規範資訊及管制策略進行架構解析，由所蒐集國家彙整解析「控制技術」與「風險管理」基準之管制架構已有初步成果可供台灣地區訂定有害空氣污染物管制規範參考；並針對揮發性有機物於高雄工業都會區所致影響及不同污染源產生貢獻有初步成果。由於都會區人口密集，其所受有害空氣污染物影響甚切，本計畫第二年延續第一年以高雄工業都會區為研究區域，擴大調查有機性有害空氣污染物於區域內所致危害，配合排放量估算(子計畫一提供)、建立控制技術評估與風險管理基本資料，估算固定源與移動源排放減量潛勢，導入成本有效性分析(子計畫二提供)，評估有機性有害空氣污染物管制優先性，並整合第一年研究成果，以建構高雄工業都會區有害空氣污染物減量策略架構，解析推動管制策略之可行性。

(二) 研究目標

今年度(92)本項子計畫研究目標如下：

1. 解析國外都會區管制有害空氣污染物發展過程及不同污染源之控制策略，提供建構高雄工業都會區有害空氣污染物管制參考。
2. 蒐集高雄地區 VOC-HAPs 檢測數據、濃度範圍及主要排放資料，並進行現場調查採樣，供後續風險評估模擬結果與排放量推估結果驗證合理性。
3. 彙整子計畫一固定源與移動源排放量資料，經由 ISC3 模式模擬計算高雄地區各污染源排放有害空氣污染物所致風險，彙整解析都會區內固定源及移動源有機性有害空氣污染物排放特徵及所致影響。

4. 探討固定源與移動源可行控制對策有效性。
5. 充分彙整另二項子計畫研究成果，進行工業都會區固定源及移動源排放有機性有害空氣污染物特徵及影響研究，探討不同污染源排放 HAP 策略之管制策略架構。
6. 研擬高雄工業都會區不同排放源有害空氣污染物控制策略。

第二章 研究方法

本項計畫主要工作項目及執行方法說明如下：

(一) 蒐集解析國外都會區有害空氣污染物管制發展資料

近年美國聯邦環保署開始重視有害空氣污染物於人口聚集區所致危害影響，歐洲國家亦以 OECD 會員國為主，共同發展區域性有害空氣污染物監測計畫，掌握都市與鄉村間空氣品質差異。本研究由所蒐集資料中都會區固定源與移動源所訂定管制作業或要求標準進行解析比較，提供高雄工業都會區不同污染源管制策略研訂參考。

(二) 解析台灣地區工業都會區(高雄地區)大氣中有機性有害空氣污染物濃度資料

本研究延續第一年計畫目標，將進一步蒐集相關研究報告瞭解有機性有害空氣污染物，特別是 VOCs 之檢測數據、濃度範圍及主要排放資料，提供後續針對有機性有害空氣污染物(以 VOCs 為主)重要排放來源及危害性影響評估參考依據。利用去年度本計畫之大氣擴散模式(ISC3)模擬高雄工業都會區有害空氣污染物年平均濃度分佈成果，篩選「林園」與「前金」測站，分別代表工業區與都會區典型測站，於 92 年 7 月及 10 月進行 VOCs 實地採樣，分析 VOCs 各成分濃度實測值，實測值將與模式模擬結果進行比較，以驗證模式模擬結果。

(三) 解析台灣地區都會區不同污染源所致 HAPs 影響(以高雄工業都會區為對象)

為評估工業都會區(高雄地區)居民暴露於環境有害空氣污染物濃度下之風險性，本計畫將掌握相關背景資料，同時評估管道排放(點源)、廠區逸散(面源)與移動源三部分共同之主要影響物種，挑選苯(目標 HAPs 物種危害指數最高)與甲苯(高危害物種排放量最大)利用大氣擴散模式模擬(ISC3)有害空氣污染物可能造成之年平均濃度分佈，再由年平均濃度最大值乘上污染物之致癌因子，估算致癌風險。若污染物為非致癌物，則由平均濃度與環境濃度限值之比值來決定危害指數。

(四) 解析不同污染源減量控制有效性

為進一步減少高雄地區有害空氣污染物排放量，計畫將依現行控制技術可行性或未來發展可行性探討固定源控制策略，並了解改善固定源控制技術造成之排放減量成效。移動源部份，台灣地區對管制移動污染源排放減量工作採三大對策：清潔車輛、清潔燃料及交通管理，本計畫由技術可行性考量，參考國內外移動源管制趨勢，以「加嚴排氣

標準」與「油品改善」二控制對策進行移動源所致有害空氣污染物(VOCs 為主)污染減量成效探討，並提供研擬移動源管制策略參考。

(五) 探討有機性有害空氣污染物減量成本分析及效益評估程序

成本效益分析可有效幫助政府政策之擬定，然其主要的研究分析需經過嚴謹的評估程序，本研究將藉由相關資料，建立適宜高雄工業都會區有害空氣污染物之成本分析方法；以效益部份而言，就所蒐集之風險評估模式、擴散模式、研究區域內人口、地形、氣象排放資料等相關資料判斷高雄工業都會區 HAPs 排放減量效益。

(六) 評估高雄工業都會區不同污染源有機性有害空氣污染物影響及管制優先性

本項工作將依另二項子計畫研究成果，配合以前述工作成果以控制技術策略研究結果，解析工業都會區主要有機性 HAPs 影響來源及主要貢獻程度。由排放量現況掌握(子計畫一)、重要行業控制技術評估及減量成本有效性(子計畫二)等成果，應用最佳可行控制技術後可達減量程度及所致危害影響(子計畫三)，藉以判斷優先減量污染源及污染物種，研擬規劃具危害性之揮發性有機物減量措施。

第三章 文獻回顧

3-1 都會區有害空氣污染物管制策略解析

(一) 都會區管制沿革

世界各國對都會區有害空氣污染物問題逐漸重視，其中以美國管制最早架構最完整，美國於 1990 公布 CAAA 後，美國聯邦環保署(USEPA)工作之一即列表明訂 188 種有害空氣污染物，並於 1992 年 7 月公佈排放一至多種 HAP 物種之污染源類別，如：化學工廠、鋼鐵業、乾洗業、汽機車，持續發展固定源與移動源管制計畫。由全國 HAP 監測結果發現，排放 HAP 污染源中主要污染源占約 24%，面源為 34%，移動污染源排放量最高，佔全國 HAP 總排放量之 42%(如圖 3-1 所示)。將監測結果分都會區及鄉村地區二類統計，發現 67% HAPs 來自都會區，33% 來自鄉村地區。故對有害空氣污染物對都會區造成之影響特別提出來討論，研究發現都會區中污染源種類繁多，不同污染源排放出的污染物經混合反應可能造成加成效果，同時都會區中人口稠密，群眾長期、近距離暴露於污染源環境下與污染源近距離接觸，健康風險顯著。【1】【3】

(二) 都會區 HAP 排放特性

有鑑於都會區 HAP 污染情形嚴重，USEPA 發展都會區有害空氣污染物 (Urban Air Toxics, UAT) 計畫，提出固定源之基準有害空氣污染物，於 1998 年公佈 33 種都會區優先管制有害空氣污染物，主要為 VOCs、重金屬、含氮化合物、戴奧辛與多環有機物(POM) 等，此 33 種 HAP 排放量佔全國 HAP 總排放量之 38%，USEPA 於 1999 年 9 月執行「整

合都會區策略」(Integrated Urban Strategy)，冀期藉由推動此策略，有效改善全國空氣品質。都會區不同污染源 HAP 排放貢獻比例如圖 3-2。

美國都會區 HAP 排放污染源中，33 種都會區有害空氣污染物之其中 30 種污染物有 90%來自 29 類面污染源。大規模之化學製造業與工業設備僅佔總排放量一部分，都會區 HAP 排放量 44%由「面源」所排放。USEPA 定義「面源」指單一 HAP 物種年排放量小於 10 公噸，或二種以上 HAP 混合年排放量小於 25 公噸者。如：乾洗設備、廢棄物燃燒設備、加油站。1999 年 USEPA 公佈「整合都會區策略」對都會區主要排放此 33 種污染物之 29 類面源公告列管，主要有金屬電鍍業、焚化設備、燃燒製程、乾洗業、有機溶劑使用設備、水泥製造業、塑膠/橡膠製造業等，於 2003 年完成公佈此 29 類面源管制規範標準，其中汽油分裝銷售業僅公佈第一階段管制規範。2002 年另修正增列 18 種優先管制面源，有製造業、金屬鑄造、表面塗裝業等類別，使都會區 HAP 主要排放源一面源管制更為完善。美國都會區優先管制之 29 類面污染源與 2002 年增列管制之 18 種都會區面污染源如表 3-1、表 3-2 所示。【4】

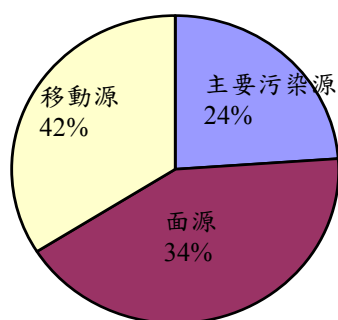
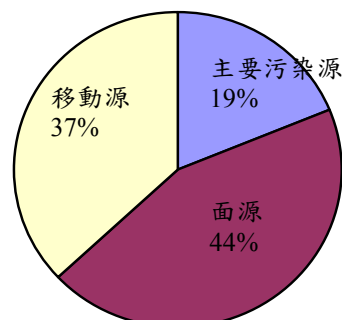


圖 3-1 全美不同污染源排放 HAP 比例

(source:1998 USEPA)



(source:1998 USEPA)

圖 3-2 都會區不同污染源排放 HAP 比例

OECD 針對都會區空氣品質，執行「進階空氣品質指標及報告」(Advanced Air Quality Indicators and Reporting)計畫，蒐集 OECD 會員國(包括美洲、歐、亞及澳洲共 30 個國家)所進行空氣品質監測數據及相關報告，篩選 15 種都會區 HAP 指標，包括 5 種重金屬及 10 種 VOC，如表 3-3 所示。【8】

綜觀所蒐集資料，除美國與 OECD 有明確定訂都會區 HAP 管制物種外，其餘各國如英國、澳洲、日本與加拿大等國之都會區有害空氣污染物管制尚屬起步階段，並未列表公告都會區有害空氣污染物，多以基準污染物如：一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)、臭氧(O₃)、粒狀物與鉛為管制重點。

表 3-1 美國都會區優先管制之 29 類面污染源

分類	面源名稱	分類	面源名稱	
乾洗業	乾洗設備	製造業	聚氨酯泡棉製造業	
	鹵化物溶劑乾洗業		波特蘭水泥製造	
消毒業	商業消毒設備		橡膠製造	
	醫院消毒		工業無機化學品製造	
電鍍業	表面鉻電鍍		工業有機化學製造業	
	鉻酸電鍍廠		水銀電池鹼氯工廠	
	鉻電鍍		油氣製造	
	二級鉛精練		去漆設備	
廢棄物處理設備	有害廢棄物燃燒設備		其他	塑膠樹脂製造業
	醫療廢棄物焚化爐			原油提煉與中間產品製造業
	公立廢棄物燃燒	公共污水處理廠		
	固體廢棄物焚化爐	汽油銷售分裝(第一階段)		
	垃圾掩埋	廢棄輪胎露天焚燒		
燃燒設備	工業鍋爐			
	公共商業鍋爐			
	固定式內燃機			

Source:U.S. EPA(2000)

表 3-2 美國 2002 年增列都會區管制之 18 種面污染源

分類	面源名稱	分類	面源名稱
製造業	人造纖維(丙烯酸)製造業	金屬鑄造	鑄鐵業
	農藥與殺蟲劑製造業		二級銅精練
	鋁加工製造業		二級非鐵金屬
	彈性聚酯氨泡棉製造業		鑄鋼業
	鉛蓄電池製造業	表面塗裝	電鍍及拋光業
	各式有機化學製造業	廢棄物處理	污泥焚化處理
	原料藥製造業	燃燒設備	電弧爐煉鋼業
	聚氯乙烯製造業	其他	汽車維修噴塗場
	玻璃製造業		木製品防腐

Source:U.S. EPA(2000)

表 3-3 OECD 都會區有害空氣污染物指標

	HAP 物種	排放源
金屬懸 浮固體 (ng/m ³)	鎘 Cadmium	製程排放、廢棄物燃燒、固定源/移動源燃料貢獻
	汞 Mercury	
	鉛 Lead	
	釩 Vanadium	
	鎳 Nickel	
VOC (mg/m ³)	乙烯 Ethene	機動車輛(屬光化學反應活潑物種)
	丙烯 Propene	機動車輛(屬光化學反應活潑物種)
	正丁烯 n-Butene	機動車輛(屬光化學反應活潑物種)
	1,3-丁二烯 1,3-Butadiene	機動車輛與石油煉製
	甲醛 Formaldehyde	機動車輛與石油煉製
	苯 Benzene	機動車輛與石油煉製
	甲苯 Toluene	機動車輛
	Benzo[a]pyrene (ng/m ³)	燃料(柴油、汽油)之粒狀污染物、小規模燃燒
	三氯乙烯 Trichloroethylene	溶劑使用(去油污產品 degreasing、表面去污劑、墨水、黏著劑)
	戴奧辛 Dioxins (TEQ/m ³)	垃圾焚化、有機性燃料或產品不完全燃燒
Black smoke or soot (mg/m ³)	HAP 替代性指標(Surrogate HAP indicator)	

Source: OECD (1999).

(三) 都會區 HAP 管制架構

1. 美國【5】

為達成減量目標，主管單位會藉實行專案計畫或公佈規範以降低致癌風險或非致癌危害，研究資料顯示美國為目前都會區管制架構較為完整國家，聯邦政府與地方環保機構皆依法推動 HAPs 減量工作，聯邦政府主要訂定全國性規範與標準，地方環保機構則依當地環境背景條件自行擬定管理規章以達全國減量目標。其他各國之都會區管制架構尚屬起步階段，以台灣之管制現況仍具參考價值。

都會區有害空氣污染物管制方面，以美國起步較早，資料建立亦最為完善，美國聯邦環保署於 1999 年 9 月「整合型都會區策略」(The Integrated Urban Strategy)冀期藉由推動此策略，降低都會區有害空氣污染物所致影響並有效改善全國空氣品質。執行「整合都會區策略」的地區為人口數必須超過 250,000 人(或美國統計調查處(US Census Bureau)評估決議者)。「整合都會區策略」執行重點為：

- (1) 定義排放 HAP 威脅都會區之主要、面源與移動源。
- (2) 藉研究與監測資料估算都會區 HAP 所致健康風險程度。
- (3) 透過短、中長程之管制行動削減都會區 HAP 所致風險。
- (4) 建立州政府與地方政府合作關係，共同發展區域性都會區管制策略。

整合都會區管制策略聯邦與區域政府(州/地方政府)間權責分工明確，區域政府提供區域 HAP 監測結果供聯邦篩選全國性 HAP 標的污染物與標的污染源，聯邦公佈整體性工作綱領，如：整合都會區策略，區域政府再依據區域 HAP 排放特徵訂定管制規範以達聯邦管制標準。美國都會區權責分工如圖 3-3 所示，整合都會區管制策略架構如圖 3-4 所示。

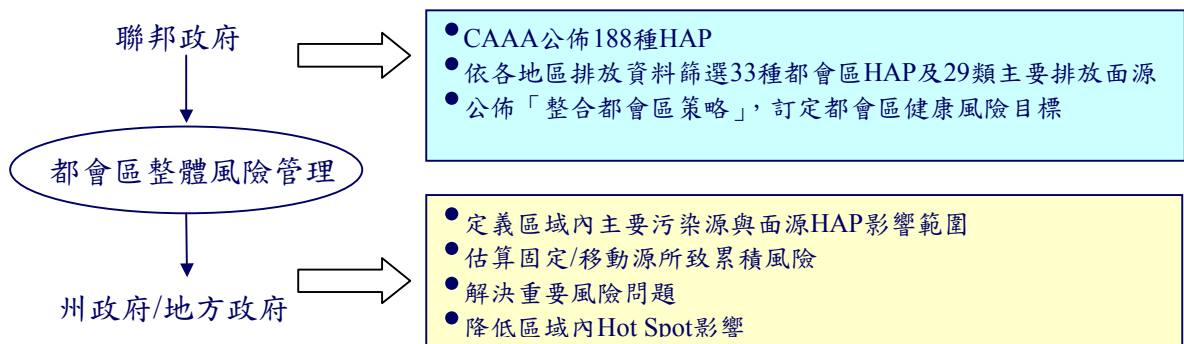


圖 3-3 美國都會區工作權責分配圖

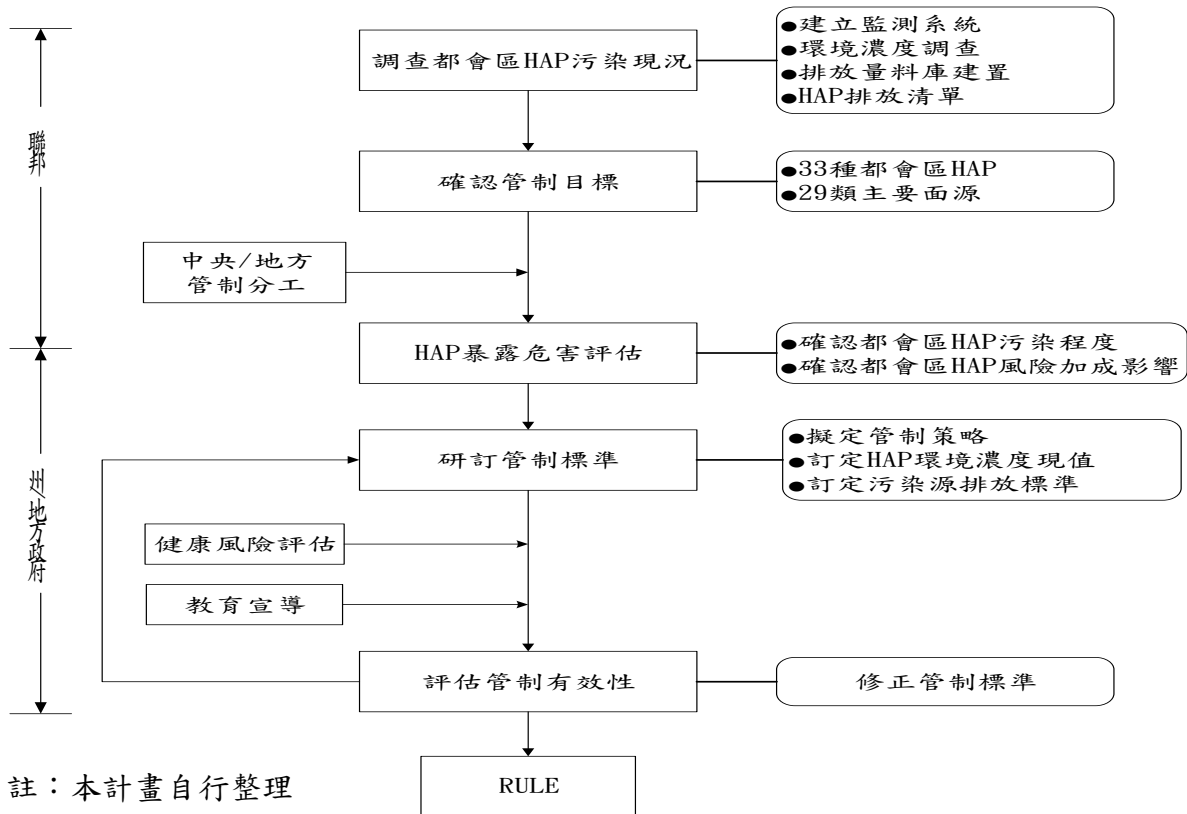


圖 3-4 美國都會區 HAP 管制架構

2. 歐盟【9】

歐洲經濟合作組織(OECD)亦已進行都會區空氣品質管制計畫，對於都會區空氣品質管制的主要內容在於「進階空氣品質指標報告」(Advanced Air Quality Indicators and Reporting)計畫中提出。此項計畫主要在進行 OECD 會員國境內空氣品質的監測(發現城市、鄉村間的空氣品質差異甚大)，篩選都會區指標(Indicator)污染物(包括 6 項基準污染物、15 項有害空氣污染物)，並進一步提供已知致癌 HAPs 的累積風險評估之初步方法。各國都會區 HAP 允許濃度限值如表 3-4 所示。

表 3-4 各國都會區 HAP 允許濃度限值

	污染物	單位	西歐	加拿大	美國	日本	澳州
重金屬	鎘	ng/m ³	0.2~20	0.5~6.6		ND~5	0~6
	鉛	ng/m ³	20~1000	6~17		5.5~238	180~8000
	汞	ng/m ³	0.05~2	0.9~1.4		0.52~8.3	0~0.13
	鎳	ng/m ³	1~20	1~7		0.64~34	2×10 ⁻⁵ ~3.2
	鈮	ng/m ³	1~50	5~15		1.3~20	
揮發性有機物	乙烯	μg/m ³	0.5~33.9	2~10		0.43~19.6	
	丙烯	μg/m ³	0.8~12.6	0.8~5.9		0.52~6.7	
	正丁烯	μg/m ³	0.9~12.7	1~3.7			
	1,3-丁二烯	μg/m ³	0.74	0.1~0.9	0.068~0.7	ND~3.4	0.001~420
	甲醛	μg/m ³	0.5~32	1.8~4.5		ND~27.8	0.026~0.68
	苯	μg/m ³	0.8~30	1.4~8.5	0.29~10	1~25.3	0.18~3
	甲苯	μg/m ³	0.5~58.5	0.9~166.8	0.61~58.1	0.27~130	0.45~10.5
	Benzo[a]pyrene	ng/m ³	0.2~20	0~1.6		0.015~11	
	三氯乙烯	μg/m ³	0.2~15	0.1~0.8	1.03~3.3	ND~24.1	
戴奧辛	TEQ ^a	0.003 ^b ~0.23 ^c	0.034~0.2 ^c		ND~2.7		

Source: OECD (1999)

註:a:國際毒性當量 b:2,3,7,8-TCDD (pg/m³) c:pg/m³ ND:無法察覺(not detectable)

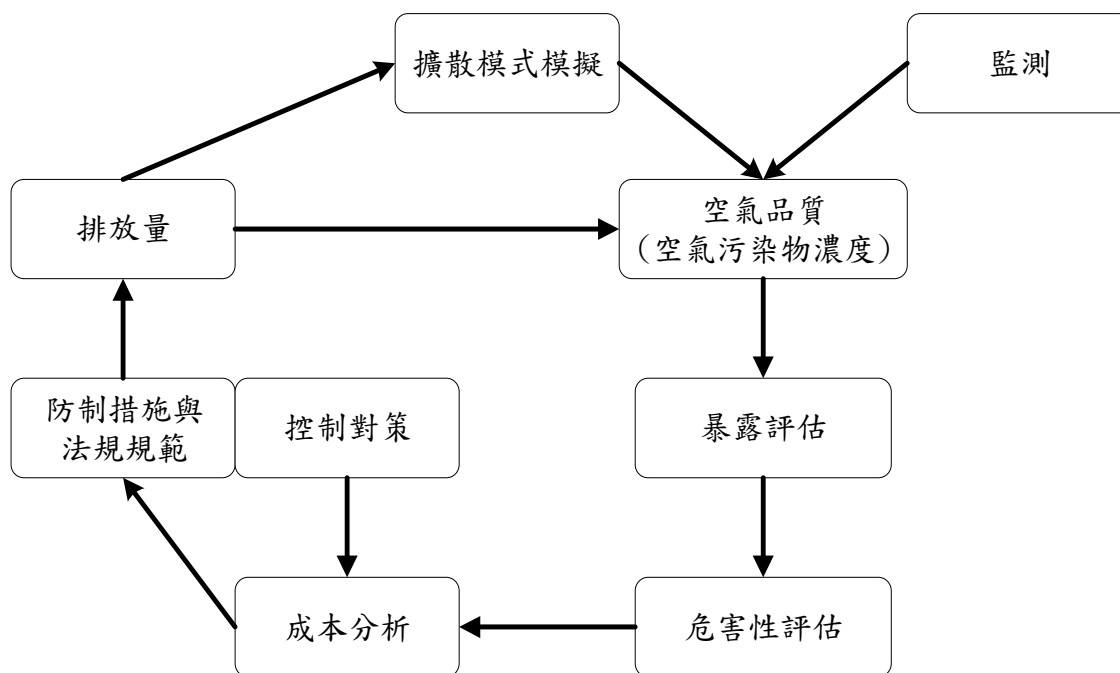
3. 亞洲【11】【12】

參考世界銀行於 1997 年至 1998 年於亞洲地區所進行「都會區空氣品質策略」研究報告指出，近年逐漸重視都會區空氣品質問題，開始建立監測系統及規劃管制措施，空氣品質管制乃以提昇整體空氣品質為主軸，著重管制基準污染物(如：臭氧、SO_x、NO_x...)，都會區有害空氣污染物管制尚屬起步階段，目前以「空氣品質管理系統」(Air Quality Management System, AQMS)管制架構為依循對象，如圖 3-5 所示，空

氣品質管理系統分六大部分：

- (1) 空氣品質評估(air quality assessment)
- (2) 環境危害評估(environmental damage assessment)
- (3) 防制決策評估(abatement options assessment)
- (4) 成本效益分析或成本有效性分析(cost-benefit analysis or cost-effectiveness analysis)
- (5) 選擇防制措施(abatement measures)
- (6) 最佳控制策略(optimum control strategy)

空氣品質評估、環境危害評估與防制決策評估為提供成本效益分析或成本有效性分析之變數因子，估算削減危害成本篩選適宜之防制措施與控制策略，以達空氣品質目標。AQMS 包括三大組成要件：(1)評估(包括決策分析)、(2)行動及(3)監督或監測，監督或監測工作為空氣污染控制有效性之基礎。空氣污染資訊系統(Air Quality Information System)的目標為確保持續監測工作執行以瞭解空氣污染物短程/長程之濃度變化趨勢，並從執行防制策略所得回饋當中評估防制的成果。AQMS 執行步驟如表 3-5 所示。



Source: 【12】

圖 3-5 空氣品質管理系統組成架構

表 3-5 AQMS 執行步驟

執行步驟	工作項目	
步驟 1：評估與決策分析		
A. 評估	● 確認污染源	● 鑑定污染源與受體(暴露)的關係
	● 估算污染排放量	● 鑑別重大(相對重要性)污染源
	● 空氣污染監測	● 評估環境損害
	● 暴露評估	
B 決策分析	● 調查近程/遠程之控制選項(options)	
	● 進行成本效益/有效性分析	
	● 發展空氣控制策略，並執行行動計畫	
步驟 2：空氣污染控制	● 發展制度/規範/強制機制	
	● 喚起民眾意識與環境教育	
	● 執行行動計畫	
步驟 3：監督工作	● 建立空氣品質資訊系統(AQIS)	

Source: 【12】

(四) 都會區固定源管制策略

1. 美國

CAAA 第 112(c)(3)與 112(k)(3)(B)(ii)節中明述 USEPA 管制都會區面源策略內容，在確認都會區 HAP 之面源排放貢獻比例後，依排放量排序篩選主要排放面源。USEPA 管制面污染源，採 MACT 或 GACT 管制規範，依排放類型不同訂定三級規範：

Tier 1–MACT 標準，適用新設/重建污染源或既存污染源所致危害與健康風險高者。

Tier 2–GACT 標準，適用既存或特定污染源。

Tier 3–彈性 GACT 標準，適用少數污染源且位特定區域之面源，或該面源類型僅對小範圍區域造成環境與健康危害影響。

USEPA 持續發展都會區面源管制標準，目前已公佈 29 類優先管制面源管制規範，並於 2002 年增列管制 18 類面源，為期削減主要污染源(major source)與面源同時排放 HAP 問題，於「整合都會區策略」中提及以 MACT 管制主要污染源排放 HAP 問題，並量測控制後健康風險危害。

2. 歐洲國家【8】

1992 年 WHO 研究資料顯示，歐洲國家都會區固定源以設定污染物環境濃度限值方式管制固定源所致危害，WHO 提供污染物暴露危害影響評估資料供主管單位設定環境濃度限值，大規模之固定源多採加嚴排放限值(Tightening emissions limits)方式。

(五) 都會區移動源管制策略

1. 美國【2】【6】【13】【14】

USEPA 於 2000 年 8 月 4 日發佈控制移動污染源排放有害空氣污染物規章—「40 CFR Parts 80 and 86」，內容確認 21 種移動污染源有害空氣污染物(Mobile Source Air Toxics,MSATs) 包括 VOCs、重金屬、柴油微粒與柴油引擎排放之有機氣體(diesel particulate matter plus diesel exhaust organic gases ,DPM+DEOG)，如表 3-6 所示；亦訂定新配方汽油排放有害空氣污染物標準並開始針對移動源排放之有害空氣污染物進行技術分析。USEPA 預計於 2004 年 7 月前完成相關法規建置，屆時會再對非道路移動污染源、公路引擎與載運車輛及其燃料管制可行性再次評估。

「整合都會區有害空氣污染物策略」(Integrated Urban Air Toxics Strategy)資料顯示，幾個都會區有害空氣污染物主要貢獻源即為移動污染源，如：苯、1,3-丁二烯、甲醛、乙醛、丙烯醛。此外，柴油微粒與柴油引擎排放之有機氣體(DPM+DEOG)亦由移動污染源所排放，都會區削減移動源排放量之管制策略以下列三策略為優先考量：

- 燃料管制(如：油品改善)
- 引擎管制(如：加嚴排放標準)
- 削減車行里程

預估執行移動源管制規範後 20 年內美國 HAP 排放量中移動源所致比例將會截足降低，尤其是氣狀 HAP 與柴油微粒與柴油引擎排放之有機氣體。

表 3-6 美國都會區 21 種移動源 HAP

分類	HAP	分類	HAP
重金屬	砷*	揮發性有機物	丙烯醛*
	鎳*		苯*
	鉛*		甲苯
	汞*		乙醛*
	鉻*		1,3-丁二烯*
	錳*		甲醛*
其他	戴奧辛/呔喃*		乙苯
	POM (Sum of 7PAH)*		苯乙烯
	萘		二甲苯
	甲基第三丁基醚(MTBE)		己烷
	柴油引擎有機氣體與微粒		

*同時列於 USEPA 都會區 33 種 HAP 名單【2】

2. 歐洲國家【15】【18】

歐洲地區自 1985-1995 年間，由公路運輸貨物噸公里數增加 54%，人員運輸公里數亦增加 46%。歐洲國家多有針對運輸產生污染研訂管制策略，最近發展趨勢乃減少對運輸需求量，鼓勵使用大眾運輸工具，並採用新市鎮與工業區規劃，減少對運輸需求。歐洲共同組織報告發現技術可能為解決機動車集中在擁擠環境所致問題最具成本效益性的方式。降低都會區機動車造成之空氣污染可以下列方式為之：

- (1) 減少機動車總行駛里程
- (2) 降低每單位行駛里程之燃料消耗
- (3) 削減每單位燃料消耗所致污染排放量
- (4) 變更燃料種類

(六) 都會區 HAP 管制資源需求

由上述美國、OECD、澳洲及亞洲等國家進行都會區有害空氣污染物管制資料中得知，都會區有害空氣污染物管制工作係循序漸進的，執行都會區管制工作前需建立相關背景資料或配套管理方案，以利管制工作之推行，除建置背景資料外，直接或間接之法規規範亦為達成都會區 HAPs 減量之方法之一。經彙整歸納以下五項資源需求：

1. 建立都會區有害空氣污染物監測站
2. 篩選都會區 HAPs 清單
3. 排放清單的建置方法
4. 定義污染源種類
5. 訂定污染源管制策略基準

(七) 都會區 HAP 管制成效評估

世界各國都會區 HAP 管制尚屬起步階段，美國起步最早架構最為完善之國家，其建立之都會區 HAP 管制策略成效評估方式多為各國借鏡。美國整合都會區管制策略中以「健康風險危害降低程度」評估執行 HAP 管制後之成效，認為以風險值來評估 HAP 執行成效為一合理方式，因健康風險危害必須建立 HAP 健康影響之背景資料、評估長時間潛伏致癌機率(包括致癌性)與繁瑣複雜非致癌所致健康效應，環境中有害空氣污染物濃度及民眾健康因素皆為考量參數較為全面性。整合都會區策略中建立策略之執行評估方式：

1. 估算 HAP 排放量或周界 HAP 濃度值
2. 比較周界濃度與風險基準濃度值(Risk Base Concentration, RBCs)
3. 比較暴露量與風險基準濃度值(RBCs)，計算定量風險
4. 計算暴露個體或群眾之致癌風險

即執行都會區 HAP 管制策略後重新估算周界濃度值、風險基準濃度值、暴露個體之致癌風險，以確認策略執行成效。此外，亦估算「殘餘風險」以確認民眾暴露於 HAP

下之健康影響。都會區 HAP 管制策略執行評估結果提供聯邦政府與州、地方政府修訂管制策略參考，並提供下列之參考依據：

1. 確認致癌/非致癌風險減量目標
2. 提供訂定全國面源及移動源管制標準
3. 提供風險管理決策依據
4. 提供州政府及地方政府發展區域性風險削減計畫參考

3-2 固定源管制策略解析

解析本年度計畫蒐集各國資料，彙整各國對有害空氣污染物管制顯示多數均訂定特別法規(或規範)或於空氣污染防治法規明列有害空氣污染物納入管制，如：美國聯邦「清淨空氣法」有害空氣污染物國家排放標準(NESHAP)及最大可達成控制技術標準(MACT Standard)，日本「空氣污染防治法」第 II-3 章中規範 HAPs 管制責任等。多數國家已公告列管或研擬優先管制之有害空氣污染物清單，部份國家進一步以有機物/無機物、致癌/非致癌等將 HAP 分類列表，如：德國、瑞士及荷蘭。各國對於 HAP 污染源的管制歷程，大多最先執行固定源的污染管制，而後慢慢注意到移動源與面源污染亦佔污染排放的重大比例而進行管制。固定源部分又對新設及既存污染源採取不同管制要求，一般對新設污染源要求較為嚴格。

採行控制技術基準(Control Technology)管制有害空氣污染物，係考慮每種污染物減量程度、能源、環境、經濟與其他成本之消耗，利用生產控制或其他既存方法、系統與技術，定義各種不同污染源的排放上限，以達成控制有害空氣污染物排放，降低其對環境及人體健康危害之目的。

各國依不同需求採行不同控制技術，對固定污染源管制均分類為「新設」及「既存」二類污染源，分別訂定不同管制要求。新設污染源完成裝置設備時程較短或需採用較嚴格控制技術，要求以「最佳可行控制技術」(BACT)為主，美國加州部份地區甚至針對 HAP 訂定「有害空氣污染物最佳可行控制技術」(T-BACT)。既存污染源多採「最低可達成排放率」(LAER)、「合理可行控制技術」(RACT)或「最大可達成控制技術」(MACT)，以較合理可得之控制技術要求污染源採行以管制 HAP 所致危害。採 LAER 者如美國堪薩斯等 5 州，美國肯德基州則採 RACT。除簡易訂定新設及既存污染源所採取控制技術外，德國更針對既存污染源中對民眾及周界危害程度較大工廠優先管制，法國則要求既存之大型工廠須達新設污染源標準；美國聯邦政府做法為管制固定污染源主要以 MACT 為原則，面源控制則可採用 MACT 或 GACT 標準。

總括而言，一般採行控制技術大致上可分為 BACT、MACT、GACT、LAER、RACT、TBACT 等 6 種，以下美國都會區固定源採行 MACT 管制策略及之將就各技術特性簡要說明：

(一) 最佳可行控制技術(Best Available Control Technology, BACT)

必須接受「新設污染源審核」(New Source Review, NSR)規範中要求使用 BACT 控制技術的污染源為「新設污染源」以及從既存污染源「遷徙」或「改建者」。美國聯邦政府頒布的清淨空氣法(Clean Air Act, CAA)中建議地方管制單位(AQMD)之 BACT 的執行要求為「最低可行排放率」(Lowest Achievable Emission Rate, LAER)。雖然聯邦政府規定 LAER 適用於排放率大於主要固定污染源者，但是 AQMD 規定的使用對象為所有受 NSR 支配之排放率大於 1.0 lb/day 者。BACT 在「Rule 1302-Definitions of Regulation XIII – New Source Review」中有清楚明確的定義。大致上，BACT 的定義如下：

最佳可行控制技術(Best Available Control Technology, BACT)意指最嚴格的排放限制或控制技術，其定義(適用的對象)為：

1. 此種類別之污染源實際上有能力可以達成；或
2. 包含 US EPA 批准之任何州執行計畫(State Implementation Plan, SIP)的所有污染源類別。除非所有人或操作人向管制單位(Executive Officer)證明此污染源並無達到此標準之能力者；或
3. 由管制單位規定排放限值或控制技術，或對特定污染源由管制單位指派的技術可行性與成本有效性(與 AQMD 採用的法規或與 AQMP 相較之下)之控制措施。

以上 BACT 定義之前兩項要求主要是聯辦法規之規定，即主要污染源必須達到 LAER。第三項要求是專對 AQMD 與加州部分區域而規定，其為比 LAER 之要求更加嚴格的控制技術。在 Rule 1303(a)(2)中建議採用，適用於非主要污染源類別之經濟與技術可行性的 BACT 控制技術。

(二) 最大可達成控制技術(Maximum Achievable Control Technology, MACT)

MACT 係針對有害空氣污染物排放源之控制限制要求，MACT 標準之定義為納入經濟效應、健康與環境衝擊、能源需求等考量後，污染源或製程有害空氣污染物排放量可減少最大程度。目前採用 MACT 國家以美國為主，1990CAAA 要求污染源利用 MACT 降低有害空氣污染物排放量，標準為所有既存污染源可達最佳操作效能前 12% 之控制效果。

(三) 一般可行控制技術(Generally Available Control Technology, GACT)

如同 MACT，GACT 亦針對有害空氣污染物控制，係適用於非主要(non-major)污染源之控制技術標準。非主要污染源之有害空氣污染物排放量較少，故 GACT 標準可能較 MACT 來得寬鬆，然對已公告 MACT 標準之 HAP 污染源類別，其 GACT 要求與 MACT 相同。

(四) 最低可達成排放率(Lowest Achievable Emission Rate, LAER)

LAER 是對「未符合標準」(nonattainment)污染源所要求之控制技術。對任何污染源，LAER 為任何州之執行計畫中所述該類污染源類別中最嚴格排放量限制，除非工廠業者(所有者)可證明無法達成此限值；亦即 LAER 係該類污染源類別中已達成之最嚴格排放限值。由上述定義反映出 LAER 僅考慮現行可行性而忽略經濟可行性。

(五) 合理可行控制技術(Reasonable Available Control Technology, RACT)

當州執行計畫要求「未符合標準區域」之既存污染源進一步減量朝向符合標準目標時所採行之控制技術即為 RCAT。通常 RACT 之執行如同一禁止法令(prohibitory rule)，應用於州或管制區中未符合標準區域。RACT 主要管制對象為既存污染源，通常要求不會比 BACT 嚴格。

(六) 有害空氣污染物之最佳可行控制技術(Toxic-BACT, T-BACT)

T-BACT 係由加州南岸空氣品質管理局(SCAQMD)所制定之技術用於控制有害空氣污染物，並適用測定健康風險大於十萬分之一之新設有害空氣污染源；加州部分(several)其他管理局亦採用 T-BACT。其要求為管轄權內使用 T-BACT 工廠之致癌風險不得超過 1×10^{-5} 或工廠之(非致癌)危害指數(Hazard Index, HI)需小於 1。

3-3 移動源管制策略解析

移動污染源排放空氣污染物造成都會區嚴重空氣污染問題為諸多國家現所面臨之問題，各國分別依其國情及環境訂定不同管制策略，世界先進國家及地區對移動源空氣污染管制發軔甚早，其中以美國地區管制架構完整，為多國仿效學習對象，1990 年 CAAA 提出(1)清潔車輛、(2)清潔燃料、(3)檢查及維護制度(IM)與車輛即時診斷系統(OBD)、(4)運輸管理為移動源管制策略，並研擬諸多控制對策，其多項施行成效或前瞻性對策可供台灣地區參考。【16】【17】歐洲國家多以清潔燃料、清潔車輛與運輸管理系統為主軸研擬控制對策，降低移動源所致排放與危害。彙整所蒐集資料，移動源管制策略經歸納主要有下列方式：

(一) 油品改善【21】

油料品質之良窳，對於車輛引擎本身及所造成的污染排放，有著極大的影響。尤其鉛、硫等成分的排放，更是與油品中的含量息息相關。

1. 美國聯邦

美國聯邦自 1989 年分二階段(第一階段：1989~1991，第二階段 1992~1995)進行汽油品質管制，此方案為單一環保項目，管制時段為夏季，僅對雷氏蒸汽壓訂定規範。

1990 年公佈「清淨空氣法修正案(Clean Air Act Amendments, CAAA)」，其中對汽油品質修訂了整合性規範要求，即「新配方汽油(Reformulated Gasoline)」與「含氧汽油(Oxygenated Gasoline)」，含氧汽油之含氧量不可低於 2.7 wt%。1995 年開始動使用新

配方汽油，US EPA 要求石油公司對臭氧嚴重未達空氣品質標準地區供應新配方汽油，該管制分二階段進行：

第一階段(Phase I) 1995 年 ~ 1999 年：要求揮發性有機化合物(VOCs)及有害空氣污染物(Air Toxics)排放削減率須達 15~17%，以 1990 年美國全國油品公司平均品質為基準。1995~1997 年以簡單模式(simple model)計算是否達到減量目標；1998~1999 年以複合模式(complex model)估算之。

第二階段(Phase II) 2000 年迄今：利用複合模式(complex model)估算削減目標，以 1990 年汽油品質為基準，目標將揮發性有機化合物削減 25~29%，有害空氣污染物削減 20~22%，氮氧化物削減 5~7%。

US EPA 為因應汽油車排放標準加嚴，降低汽油中硫含量可避免觸媒的毒化，達到更好的廢氣處理效果，乃積極研擬汽油中硫含量加嚴規範，並於 1999 年完成法規制定(40CFR80.219)。預計 2004 年達到 120ppm/300ppm (年平均/上限值)，2006 年達 30ppm/80ppm(年平均/上限值)。

「複合模式(Complex model)」為 US EPA 汽油管制工具，測試油料之控制參數包括苯含量、芳香烴含量、烯烴含量、硫含量、雷氏蒸汽壓、氧含量、E200 及 E300，表 3-7 為利用該模式估算出各排放係數減量效益。

2. 加州

加州自 1992 年開始施行油品管制相關措施，分三階段執行新配方汽油政策。第一階段自 1992 年至 1996 年，主要規範下列 3 項項目：

- 雷氏蒸汽壓：夏季 7.8 psi↓
- 全面禁用含鉛汽油
- 要求添加積碳控制添加劑(Deposit Control Additives)

第二階段自 1996 年至 2002 年，要求加州應於 1996 年 6 月符合新配方汽油，要求 8 項目：苯含量、芳香烴含量、烯烴含量、硫含量、氧含量、雷氏蒸汽壓、50%蒸餾溫度點(T50)、90%蒸餾溫度點(T90)。

第三階段預計 2003 年開始實施，除雷氏蒸汽壓與氧含量加嚴標準外，另擬加嚴含硫量，年平均由 30 ppm 降至 15 ppm，上限值預計 2005 年降至 30ppm，以降低廢氣中氮氧化物含量，相較於聯邦 80ppm 標準嚴格的多。

3. 歐聯

1996 年歐聯委員會提出新的汽油規範，要求所有會員國於 2000 年全面使用無鉛汽油與新的汽油規範，對雷氏蒸汽壓採統一限值，不區分區域，亦對芳香烴與烯烴訂定管制規範。預計 2000 年新油品規範可使氮氧化物排放減少 7%、揮發性有機物排放減少 8.4%、一氧化碳減少排放 8.9%、苯減少排放 21%。歐聯所規範之標準比美國標準寬鬆。

表 3-7 美國複合模式排放係數減量效益

汽油輸入參數	排放減量效益		
	VOC	NO _x	Air Toxics
雷氏蒸汽壓(RVP)調降 0.1 psi	1.4 %	—	—
苯(Benzene)含量調降 0.1 vol%	—	—	2.2 %
芳香烴(Aromatics)調降 1 vol%	0.3 %	—	0.8 %
烯烴(Olefins)調降 1 vol%	—	0.8 %	0.2 %
硫含量(Sulfur)調降 10 ppmw	0.1 %	0.42 %	0.3 %
甲基第三丁基醚(MTBE)增加 0.1 wt%	—	—	0.4 %
第三戊基甲基醚(TAME)增加 0.1 wt%	—	—	0.4 %
200°F蒸發體積比(E200)增加	0.45 %	-0.52 %	0.4 %
300°F蒸發體積比(E300)增加	1.8 %	0.9 %	—

Source: 【10】

(二) 限制柴油含硫量

由於交通量及柴油動力車輛增加，相關研究發現柴油車所排放之黑煙，致癌率居各污染源之冠。

1. 美國聯邦

積極研擬柴油硫含量加嚴草案，預計柴油中之硫含量將加嚴至 15ppm，目前相關技術以臻成熟，但仍需給予業者改善時間。US EPA 對柴油品質有如下規定：

(1) 車用柴油：1993 年 10 月起實施

- 含硫量：500ppm,max
- 十六烷指數：40min 或芳香烴含量 35vol%

(2) 重型柴油車：1993 年起訂含硫量標準為 1000ppm,max

2. 加州

1996 年加州柴油參考「油品規範」(Reference Fuel Specification)，不同配方之柴油若能符合或低於參考油品之限值，可以自由銷售販賣。另外，加州之柴油供應商，若能取得符合「認證油品」品質，亦可銷售與販賣。加州 ARB 已於 2000 年 9 月公告境內柴油硫含量於 2006 年應降至 15 ppm 以下。

3. 歐聯

於 1993 年對柴油硫含量訂出時程規範：

(1) 1994 年 10 月起，柴油硫含量為 2000 ppm,max

(2) 1996 年 10 月起，柴油硫含量為 500 ppm,max

預定於 2005 年達到下列規範標準：

- 十六烷指數：51min
- 95%蒸餾溫度：360°C
- 芳香烴含量：11wt%
- 硫含量：50 ppm

(三) 清潔車輛

清潔車輛主要係對車輛及引擎發展更嚴格排放標準以減少所致空氣污染物排放。

1. 美國

1990 CAAA 要求數項全國性新車標準，分為二階段執行，第一階段(Tier 1)於 90 年代中期達成，第二階段(Tier 2)則由聯邦環保署視達成空氣品質目標之需求於 2003 年起要求執行。美國聯邦對新車管制主要策略分為三大方向：

- (1) 加嚴新車標準，藉以控制進入市場車輛污染排放得逐年降低。
- (2) 車輛召回改正計畫，要求車廠確認維修生產出售車輛污染排放保證。
- (3) 延長保固年限，由環保機關及車廠研究協商，於適當期程發布延長保固年限，促使研發更為耐久污染控制元件。

2. 加州

加州地區對新車輛及引擎訂定具技術強制性之新引擎標準係為 ARB 移動源控制計畫之主軸，主要將推動發展零排放技術。在清淨空氣計畫(Clean Air Plan)中最嚴格之新訂排放標準為對非道路柴油引擎及休閒用柴油船隻引擎訂定之第四期(Tier 4)排放標準，新標準於 2020 年時預期產生之排放效益為 NO_x 109 噸/年及 ROG 12 噸/年。

(四) 加速舊車汰舊換新

加速移除老舊無控制設備元件(如：觸媒轉換器)之車輛，將能得到短期排放效益，預期這些老舊車輛將被使用排放控制設備技術之車輛所取代。美國地區 SCAQMD 提出一系列加速舊車汰舊換新計畫：「機動車輛購回計畫」(1991)、「加速淘汰輕型車輛計畫」(1997)、「淘汰老舊重型車輛」(1996)

(五) 運輸管理計畫【10】

1. 美國

依據美國 1994 年版 AQMP 及南加州政府聯合會資料(SCAG Regional Council)顯示(SCAQMD, 1994)，運輸管理策略之執行法則強調運用先進運輸科技及市場誘因，其為達成州及聯想法規對排放減量要求之最有效方法，策略中最重要概念為逐步引入有成功先例之污染控制對策，目前已多方面建立有利於長期執行對策之條件。在交通運輸管理策略下執行之運輸計畫包含五個部分，分別為運輸控制對策、先進運輸技術、市場誘因、間接源控制及未來研究策略。

2. 澳洲

1997年二月，澳洲 Academy of Technological Sciences and Engineering 進行一項全國性研究解決都會區空氣污染物問題，該研究區分七大工作主題，都會區運輸系統 (Transport Logistics) 屬第 5 研究小組 (Task Group 5, TG5)，主要探討都會區內所用之運輸系統及架構，對都會區空氣品質所致影響，並提出管理方案建議。

TG5 工作小組著手進行一連串研究分析，調查運輸管理控制、網狀運輸系統與空氣污染物排放量的影響效應，在一地區內不同運輸模式與運輸工具特性間會互相影響，如該地區之移動源數量、空間配置與移動源使用活動強度等因素，均導致該地區運輸系統之不同。為達排放減量目標提出許多管制政策與計畫，包括之策略有：

1. 交通管制與交通管理策略
2. 運用新技術(如：智慧型運輸系統(ITS)—設計都會區運輸系統、駕駛資訊系統、道路導覽系統、電子(道路)收費系統、意外事件管理系統、機動車輛數量控制)，包括航空與陸運相關移動動線。
3. 公佈車輛、燃料與運轉之相關法規並強制施行。
4. 交通管制及旅運需求管理策略(新型運輸模式)
5. 以經濟性指標提供選擇移動工具參考

第四章 研究成果

4-1 高雄都會區 HAPs 大氣背景濃度現場調查

為了有效改善高雄都會區空氣品質，本研究延續第一年計畫目標，將進一步由蒐集相關研究報告瞭解有機性有害空氣污染物，特別是 VOCs 之檢測數據、濃度範圍及主要排放資料，提供後續針對有機性有害空氣污染物(VOCs)重要排放來源及危害性影響評估參考依據。由於需掌握不同污染源所致有機性有害空氣污染物濃度(VOCs)，本年度計畫進行現場調查採樣研究，進行高雄工業區都會區環境採樣分析工作。

(一) 現場採樣調查作業流程

1. 決定現場採樣地點之程序

本研究延續第一年度計畫目標，利用去年 ISCST3 模式模擬結果，選擇有害空氣污染物濃度發生高值之地區(以致癌物種「苯」作為篩選基準，點源、面源高值分別約發生在 UTM 座標(178,2504)與(188,2490)等位置；移動源污染分布較為均勻，無明顯高值發生)，將模式網格系統與實際位置進行比對篩選後，選定高雄都會區之「前金」測站與「林園」測站，進行 VOCs 實地採樣，以獲得高雄工業都會區大氣中 VOCs 各成分濃度實測值。

2. 現場採樣方法

高雄都會區有機性 HAPs 之大氣背景濃度調查方法，本研究計畫主要利用 On-Line GC/FID 進行大氣環境之現場濃度逐時監測；此外，依照 U.S EPA TO-14 不鏽鋼筒採樣法(1997 年元月 U.S EPA 最新公告)及環保署環檢所之「空氣中揮發性有機化合物檢測方法—不鏽鋼採樣筒/氣象層析法質譜儀法」(NIEA A715.11B)進行採樣 HAPs 大氣背景濃度之抽樣調查。每筒樣品以流量 100 mL/min 採集 2 小時，共採集 12 升之空氣樣品，導入內置式前濃縮冷凝捕集系統之氣相層析質譜儀(GC/MS)分析。

3. 現場採樣工作計畫

本研究計畫之 HAPs 大氣濃度現場採樣調查係利用 On-Line GC/FID，進行連續 4 天的逐時自動監測，並於前金、林園測站選擇交通尖峰、離峰 (AM07:00~09:00、PM14:00~16:00)時段進行不鏽鋼瓶抽樣調查，此測值可與 On-Line GC/FID 以及模式模擬結果進行比對驗證。

本年度計畫之現場採樣工作共進行兩次(92 年 7 月、10 月)，每次現場採樣分假日與非假日，進行連續 4 天的現場採樣調查，藉此充分瞭解假日與非假日、交通尖峰與離峰之有機性 HAPs 大氣濃度成分與分佈特徵。第一次現場採樣(92 年 7 月 26 日~29 日)將 On-Line GC/FID(裝設於監測車)架設於林園測站，第二次現場採樣(92 年 10 月 16 日~19 日)將 On-Line GC/FID(裝設於監測車內)架設於前金測站。

(二) 現場測定結果

逐時自動監測數據乃欲與大氣擴散模式模擬結果進行比對，因此兩次分別在不同採樣點進行逐時監測，第一次採樣架設於林園測站，第二次採樣架設於前金測站進行；此外，兩次採樣皆在林園與前金測站裝設 VOCs 自動採樣器，於每日交通尖峰(AM07:00~09:00)與離峰(PM14:00~16:00)時段，進行為期 4 天假日與非假日的現場抽樣調查。On-Line GC/FID 實測值的重要物種包括：苯、甲苯、乙苯、間,對-二甲苯、苯乙烯、鄰-二甲苯，其結果整理如表 4-1 所示，此逐時監測結果與不鏽鋼瓶抽樣結果之重要 HAPs 物種分布趨勢大致吻合，以下針對二次採樣結果進行解析探討。

在 VOCs 實測部分，針對本年度計畫之目標研究物種：苯、甲苯、乙苯、間,對-二甲苯、苯乙烯、鄰-二甲苯之濃度變化進行討論。第一次採樣結果以甲苯濃度最高(2.2~12.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，其次為鄰-二甲苯(2.8~5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)與苯(1.4~4.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，以間,對-二甲苯濃度最低(0~3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。第二次採樣結果亦為甲苯濃度最高(30.0~679.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，其次為乙苯(3.4~72.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，以苯乙烯濃度最低(0~15.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，在優勢物種的排序上有所變更。整體而言，第二次採樣結果的濃度平均高出第一次結果有 10 倍之多，推測此為高屏空品區秋冬季節擴散不良之氣象因素影響所致。

前金測站位於都會區，測站附近車流繁忙，受到移動源影響十分顯著；林園測站附近主要的污染源為林園工業區，測站周圍車輛稀少，為固定源測站的典型代表。在測站

濃度分布趨勢上，兩次採樣結果的甲苯、乙苯以及二甲苯的濃度皆以前金測站較林園測站高，由於移動源排放較多的甲苯、乙苯以及二甲苯等苯系污染物種，顯示測點所受移動源的影響較大。第一次採樣結果中，前金測站 7/26~7/28(星期四~六)連續三天上午時段出現苯乙烯($3.09\sim 5.83\mu\text{g}/\text{m}^3$)，其餘的苯乙烯測值皆為 ND(non-detected)，懷疑前金測站可能受到其他污染源所影響。由空品測站風速風向資料得知，此三天盛行東風、東南風以及西南風，可能由其附近的污染源傳送過來所致。在第二次採樣結果中，林園測站苯乙烯的濃度皆略高於前金測站，顯示苯乙烯主要為固定源製程排放物種。

以各時段分布濃度變化來看，兩次採樣結果苯、甲苯、乙苯以及二甲苯在交通尖峰時段的實測結果皆較交通離峰時段之實測結果為高，此為移動源影響結果所致；另外，在第一次採樣結果中觀察得知，非假日早上(交通尖峰)前金測站各物種(苯、甲苯、間、對-二甲苯、苯乙烯以及鄰-二甲苯)出現濃度高值，推測此結果為周休二日實行後，有較多民眾開車出遊的趨勢所致。前金測站(七賢國中)附近的主要道路為建國路與七賢路，由車流量資料(鼎漢公司)進一步證實，建國路大部分車種假日車流輛高於非假日車流量(小客車高出 2,595 輛/天、大客車高出 52 輛/天、聯結車高出 1.3 輛/天以及機車高出 6135 輛/天)；另外，七賢路除聯結車非假日車流量較大外，其他車種之車流量以非假日雖較多但是差異不大。然而，第二次採樣結果，則無出現此特殊現象。

(三) 與歷年南高屏地區各空品測站之 VOCs 實測結果進行比較

第一次採樣於 7 月 26 日~29 日進行，選取交通尖峰與離峰時段進行大氣 VOCs 實測。在 VOCs 總濃度方面，前金測站之交通尖峰時段(07~09 時)的 VOCs 平均值為 $173.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，交通離峰時段(14~16 時)的 VOCs 平均值為 $32.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；林園測站之交通尖峰時段(07~09)的 VOCs 平均值為 $37.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，交通離峰時段(14-16)的 VOCs 平均值為 $10.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

第二次採樣於 10 月 16 日~19 日進行，採樣時段與第一次相同。在 VOCs 總濃度方面，前金測站之交通尖峰時段(07~09 時)的 VOCs 平均值為 $403.94\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，交通離峰時段(14~16 時)的 VOCs 平均值為 $97.62\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；林園測站之交通尖峰時段(07~09)的 VOCs 平均值為 $360.92\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，交通離峰時段(14-16)的 VOCs 平均值為 $189.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。結果顯示，採樣結果第二次結果皆高於第一次，且約有 3~10 倍之多，推測此結果為季節因素造成影響所致(冬季天候大氣擴散較差、降雨少，因此污染物濃度亦累積出現高值)。

各地區污染物種因其所處污染源型態不同而有所差異，故將各地區地區之 VOCs 含量區分為烷烴(Paraffins)、烯烴(Oleffins)、芳香烴(Aromatic)以及生物源(Biogenic)碳氫化合物，以瞭解當地之污染物指紋(Source Profile)。前金、林園測站依不同時段各類 VOCs 濃度變化趨勢如表 4-2 所示。

(四) 結論

本年度研究計畫延續上一年度研究目標，根據去年暴露評估(利用 ISCST3 模式模擬)之污染濃度發生高值的受體位置，評選前金、林園測站於 92 年 7 月 26~29 日以及 10 月 16~19 日(假日/非假日)之交通尖峰(上午 07~09 時)、離峰(下午 14~16 時)時段進行兩次 VOCs 大氣濃度現場採樣。在現場調查結果解析後，可得以下幾點結論：

1. 針對甲苯、乙苯、間,對-二甲苯、鄰-二甲苯等苯系物種而言，VOCs大氣濃度實地採樣，不論在交通尖峰或離峰時段，以甲苯濃度最高，前金測站的濃度皆比林園測站高，顯示移動源所致影響大於固定源。如表4-1所示。
2. 兩次採樣結果之VOCs濃度，平均而言第二次採樣結果高於第一次採樣有3倍~10倍之多，顯示受到季節因素影響所致污染物濃度易累積升高。兩次採樣結果，交通尖峰時段(上午07~09時)之VOCs總濃度值高於離峰(下午14~16時)測值。
3. 第一次採樣結果中發現，前金測站連續3天早上(7/26~7/28)出現苯乙烯測值(3.09~5.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，由於苯乙烯為固定源製程所排放，因此懷疑前金測站可能受到污染傳輸現象影響。第二次採樣結果中，苯乙烯濃度較高，顯示苯乙烯為固定污染源製程產生之成分物種。
4. 人為污染源之各類VOCs排放比例，第一次採樣結果中，前金測站於交通尖峰時段為烷烴>芳香烴>烯烴，離峰時段為芳香烴>烷烴>烯烴；林園測站於交通尖峰/離峰時段皆為芳香烴>烷烴>烯烴。第二次採樣結果中，前金測站於交通尖峰時段為芳香烴>烯烴>烷烴，離峰時段為芳香烴>烷烴>烯烴；林園測站於交通尖峰/離峰時段皆為芳香烴>烯烴>烷烴。如表4-2所示。

表 4-1 有機性 HAPs 重要物種大氣背景濃度分布 (單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

物種	採樣次別 ^{*1}	平均值		最小值		最大值	
		前金	林園	前金	林園	前金	林園
苯	(1)	2.64	1.20	1.36	ND ^{*2}	4.92	2.58
	(2)	1.61	5.11	ND ^{*2}	ND ^{*2}	12.86	21.69
甲苯	(1)	7.09	3.70	3.62	2.21	12.92	6.25
	(2)	144.47	188.26	30.02	39.51	378.81	679.94
乙苯	(1)	0.93	0.15	ND ^{*2}	ND ^{*2}	3.67	1.19
	(2)	27.09	15.37	3.45	2.88	72.81	40.09
間,對-二甲苯	(1)	2.14	1.00	1.16	ND ^{*2}	3.76	1.92
	(2)	13.58	6.58	ND ^{*2}	ND ^{*2}	41.25	20.18
苯乙烯	(1)	1.63	0.00	ND ^{*2}	ND ^{*2}	5.84	0.00
	(2)	3.40	6.07	ND ^{*2}	ND ^{*2}	9.15	15.16
鄰-二甲苯	(1)	3.83	2.00	2.89	ND ^{*2}	5.21	3.53
	(2)	12.37	6.80	ND ^{*2}	ND ^{*2}	38.16	19.82

註：以 Canister 採樣分析結果, *1 採樣次別(1)—92 年 7 月, (2)—92 年 10 月

*2 ND < MDL

表 4-2 不同時段 VOCs 累積濃度特徵 (單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	烷烴		烯烴		芳香烴		自然源		總 VOC	
	前金	林園	前金	林園	前金	林園	前金	林園	前金	林園
尖峰(1)	121.6	13.1	4.5	1.4	46.8	23.1	0.9	ND	173.7	37.6
尖峰(2)	13.0	15.3	30.1	19.4	360.8	325.5	ND	0.7	403.9	360.9
離峰(1)	8.9	2.7	2.1	ND	18.5	6.8	2.5	1.3	32.1	10.7
離峰(2)	7.0	4.7	3.7	19.6	83.0	162.2	3.9	2.6	97.6	189.1

4-2 HAPs 減量潛勢分析

(一) 固定源

固定源減量潛勢分析成果係由子計畫二所提供，依據子計畫一所建立之排放清單，篩選目標 HAP 污染物之主要排放污染源製程，以技術基準為基礎，評估製程執行 BACT 控制技術後之減量潛勢。因目前國內尚無有害空氣污染物管制規範及排放標準，故以評估該行業類別符合國內相關之排放規範及法規程度，估算可行減量空間，經彙整後高雄工業都會區目標物種排放源製程約可減少苯 58.1 噸/年、甲苯 30 噸/年、對二甲苯 10.6 噸/年、氯乙烯 18.2 噸/年及甲醛 2.5 噸/年排放量。

(二) 移動源【23】【25】

由風險模擬結果顯示，移動源(機動車輛)排放 HAPs 影響範圍遍佈整個高雄地區，本計畫參考國外移動源管制策略與國內管制現況，初步篩選「加嚴機車排氣標準」與「油品改善」二移動源控制對策進行排放減量潛勢估算。

1. 加嚴機車排氣標準

我國機器腳踏車排放標準自 1988 年 7 月 1 日起分為四期逐步實施，在 2004 年施行的機車第四期排放標準，與前三期最大的不同點，是將機車分成二行程及四行程機車，分別制訂其排放標準。本計畫援用「南高屏地區空氣污染總量管制規劃」計畫中移動源管制策略之「加嚴使用中機車排氣標準」控制對策估算方式，估算目前(91 年全年度資料)碳氫化合物(HC)加嚴至第四期排氣標準(2,000ppm)之揮發性空氣污染物之排放減量。估算公式如下：

$$\text{排放減量} = \text{機車總數} \times \text{加嚴後不合格族群所佔比例} \times \text{進行調修比例} \\ \times \text{排放係數改善量} \times \text{年平均行駛里程}$$

$$\text{總排放減量(ER}_i\text{)} = \text{二行程機車排放減量(ER}_2\text{)} + \text{四行程機車排放減量(ER}_4\text{)}$$

高雄縣市登記之二行程機車數量達 45.4 萬輛，約 36.3 萬輛使用中，所致排放量佔高雄地區約 39%(13,138 噸/年)，加嚴機車 HC 排氣標準至四期排放標準(2,000ppm)，

揮發性空氣污染物預估可減少 2,138 噸，約佔高雄地區移動源 THC 總排放量之 16%。援用 TEDS 5.0 資料庫解析排放量特徵，約可減少苯 53 噸/年、甲苯 127 噸/年、二甲苯 25 噸/年及乙苯 11 噸/年。

定檢資料顯示，四行程機車定檢車輛佔總車輛數之 58%，其中定檢不合格率約 13.5%，僅高雄市在定檢不合平均濃度超過四期管制標準(2,261ppm)，經調修後均能符合第四期排放標準，加嚴四行程機車排氣標準對策減量效果不明顯。依排放量結果，四行程機車所致排放量佔高雄地區移動源排放量比例甚高(7421 噸/年，22%)，乃因數量多相對排放量大所致，故四行程機車排放減量可以其他控制對策(如：油品改善、推動大眾運輸系統...)達成減量目標。二四行程機車加嚴至第四期排放標準減量推估結果如表 4-3 所示。

2. 油品改善

為因應空氣品質向上提昇的需求及配合國際油品含硫量削減之趨勢，環保署於民國 91 年 11 月公佈「車用汽柴油成分及性能管制標準」，確立現行與 96 年之車用汽柴油成分及性能管制標準，提供未來管制及業者應努力之方向。

研究顯示，油品成分特性對於車輛污染排放有很大的影響，國外較大的汽車廠、石油公司以及研究機構皆已針對此主題進行過一系列的實車測試，其中以美國 AQIRP(Air Quality Improvement Research Program)計畫最為完整。配合世界環保趨勢管制車用油品的「全方位標準」，改善油品主要可以從苯含量、芳香烴含量、烯烴含量、硫含量、氧含量、雷氏蒸汽壓、50%蒸餾溫度點(T50)、90%蒸餾溫度點(T90)等八大管制項目著手進行。同時，配合 US EPA 發展出來的複雜模式(Complex Model)，調配油品各項管制參數，可估算出最佳減量效益。若進一步計算油品各項參數減量效益，則可由下列公式計算之：

$$\text{總減量效益} = \sum \text{改善空間} \times \text{複雜模式推估各項參數的單位減量效益}$$

若假設以台灣地區民國 91 年油品標準為基準，利用上式計算改善油品品質至 96 年標準，保守估計可得 VOC、NO_x 以及 Air Toxics 的減量效益分別為 4.1%、5.46% 以及 6.7%，如表 4-4 所示。

整體而言，在移動源排放減量上，台灣地區現今油品中苯含量的標準(1.0 vol%) 堪稱十分嚴格，若欲繼續降低油品中的苯含量以減少車輛之苯的排放，在技術層面上較為困難，成本花費亦較高。若同時顧慮到環保與經濟觀點，維持油品中苯含量、芳香烴含量在現今管制限值範圍內，並且將油品改善的重心轉為降低油品中硫含量(可從煉製油品程序中之「去氫脫硫製程」降低硫含量)、烯烴含量，以提昇觸媒轉化器轉化效率；同時搭配車輛管末處理設備的使用(觸媒轉化器等)，雙管齊下，將可達到較高的移動污染源減量效益。

表 4-3 加嚴機車排氣標準減量推估

項目	縣市別	高雄縣市平均	
		調修前	調修後
車輛數(輛)	二行程	453,677	453,677
	四行程	266,181	266,181
HC 濃度(ppm)	二行程	7,979	4,264
	四行程	1,959	925
年平均行駛里程(km)		4,500	4,500
排放減量計算(噸)	二行程	4,457.6	2,137.6
	四行程	—*	—*

*：排放濃度已達第四期排放標準

註：本計畫自行估算

表 4-4 台灣地區目前油品成分與 96 年油品標準差異比較表

項目	油品標準	台灣—	台灣—	排放減量效益		
		民國 91 年	民國 96 年	VOC	NOx	Air Toxics
成分標準	苯含量	1.0 vol%	1.0vol%	—	—	—
	硫含量	180 ppmw	50ppmw	1.3%	5.46%	3.9%
	雷式蒸氣壓	8.9 psi	8.7 psi	2.8%	—	—
	氧含量	2.0 wt%	2.7wt%	—	—	2.8%
	芳香烴含量	--	36vol%	*	*	*
	烯烴含量	--	18vol%	*	*	*
小 計				4.1%	5.46%	6.7%

*：無法估算

註：本計畫自行估算

4-3 高屏地區 VOCs-HAPs 風險特徵案例評析

本計畫在執行高雄工業都會區有害空氣污染物風險評估工作時，將依循國外風險評估的經驗，藉由最大個體致癌風險 (MICR) 與危害指數 (HI) 分別評估致癌物與非致癌物於環境中之風險。因此本計畫利用大氣擴散模式模擬有害空氣污染物可能造成之年平均濃度分佈，並依據污染物是否為致癌物質，區分為致癌風險及危害指數兩類進行風險估算。若污染物為致癌物，則由年平均濃度最大值乘上污染物之致癌因子，估算最大致癌風險；若污染物為非致癌物，則由年平均濃度與環境濃度限值之比值來決定危害指

數。本研究基於保守的立場，選用高雄測站 1996 年至 2000 年五年的氣象資料，以 ISC3 模式模擬產生最大模擬濃度值的 1999 年為代表基準，進行風險評估的工作。

(一) 減量前後案例模擬

本計畫將高雄工業都會區固定源與移動源作 VOCs 排放量物種分析，以找出排放強度與危害指數最高之 HAP 物種，進行風險評估的模擬工作，本計畫先進行物種危害指數排序，再同時評估管道排放、廠區逸散與移動源等三部份共同的主要影響物種，經過初步分析結果，苯為各污染源中危害指數最高者，而甲苯則是高危害性物種中排放量最大者，且苯與甲苯為固定源與移動源共同包括的 HAP 物種，因此本計畫篩選苯及甲苯為模擬對象。針對此兩物種進行減量前後之 ISC 模擬案例，分別呈現高雄都會區固定源與移動源在苯致癌風險及甲苯危害指數之風險特徵。

在固定污染源部份，考慮到管道擴散與廠區逸散不僅是排放量不同，且對附近環境的影響程度亦不同，因此本研究將工廠排放資料庫區分成管道排放及工廠逸散兩部份分別探討，模式網格以一公里為切割基準。

移動源模擬分成汽車、機車、柴油車三部份。本計畫所採用之 VOCs 排放量資料為環保署 TEDS，本年度與去年度最大的不同則是所採用的移動源資料庫，去年度我們採用的是環保署 TEDS 4.2 的版本，但今年度已將 TEDS 4.2 的版本更新為 TEDS 5.1 的版本，其中最主要的是排放係數有較大幅度修正，尤其是機車(受零里程/劣化率修改影響大)，而車行里程亦有變動(主要為耗油率的改變)。在 ISC3 模式模擬網格設定上，受體區域以 1 公里網格切割，本計畫調查之 17 條主要道路排放量網格切割至 50 公尺網格，其餘則採用 TEDs5.1 資料之 1 公里網格。

1. 減量前

(1) 固定污染源

模擬固定源所得結果顯示，高雄都會區由管道排放苯所造成最大個體致癌風險為 34.2×10^{-6} ，發生於林園鄉與小港區交界駱駝山附近[UTM 座標(184,2491)]，而廠區逸散苯所致最大個體致癌風險為 2908×10^{-6} ，發生於小港區大林蒲東北 1 公里地區[UTM 座標(183,2493)]，二者皆超過管制目標(1×10^{-6})。由於逸散面源所致健康危害更高於排放管道，顯示必須加強廠區逸散排放減量。

非致癌風險(甲苯)模擬分析評估結果上，煙道所致甲苯最大危害指數為 0.0453，發生於仁武鄉、大社鄉及楠梓區交界附近之大社工業區[UTM 座標(181,2513)]，而廠區逸散甲苯所造成最大危害指數為 0.1538，發生於小港區大林蒲東北方 1 公里附近[UTM 座標(183,2493)]，皆低於管制目標值(HI=1)。

(2) 移動污染源

解析移動源所致風險模擬結果顯示，高雄工業都會區汽車、機車、柴油車排放之

苯所造成最大個體致癌風險分別為 165×10^{-6} 、 161×10^{-6} 、 29×10^{-6} ，均大於 1×10^{-6} 管制目標值，而發生位置均為人口密集區域，分別為前金區[UTM 座標(177,2503)]、苓雅區[UTM 座標(179,2508)]、新興區[UTM 座標(178,2504)]，而總移動源排放苯所致最大個體致癌風險則達 314.7×10^{-6} 。

高雄工業都會區汽車、機車、柴油車排放之甲苯所致最大危害指數分別為 0.0279、0.0457 及 0.0035，均低於管制目標值，而發生位置均為人口密集區域，分別為前金區[UTM 座標(177,2503)]、前金區[UTM 座標(177,2503)]、新興區[UTM 座標(181,2504)]，而總移動源排放甲苯所致最大危害指數則達 0.0756。

表 4-5 高雄都會區有機性有害空氣污染物模擬結果分析

型態	污染源	苯 (Benzene)				甲苯 (Toluene)			
		平均值		最大值		平均值		最大值	
		模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	風險值	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	風險值	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	危害指數	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	危害指數
固定源	煙道	0.040	1.16×10^{-6}	1.18	34.2×10^{-6}	0.42	0.0010	18.1	0.0453
	廠區								
	逸散	1.830	53.1×10^{-6}	100.28	2908×10^{-6}	1.71	0.0043	61.5	0.1538
移動源	汽車	0.579	16.8×10^{-6}	5.70	165×10^{-6}	1.26	0.0031	11.1	0.0279
	機車	0.503	14.6×10^{-6}	5.57	161×10^{-6}	1.77	0.0044	18.3	0.0457
	柴油車	0.113	3.3×10^{-6}	0.99	29×10^{-6}	0.1	0.0003	1.4	0.0035
	總計	1.195	34.7×10^{-6}	12.26	355×10^{-6}	3.13	0.0078	30.8	0.0771

風險值=濃度值×單位致癌因子

苯：單位致癌因子 unit risk= $2.9 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

危害指數=濃度值/環境濃度限值

甲苯：環境濃度限值 AALG = $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

2.減量後

(1)固定污染源

模擬固定源所得結果顯示，高雄都會區由管道排放苯所造成最大個體致癌風險為 34.2×10^{-6} ，發生於林園鄉與小港區交界駱駝山附近[UTM 座標(184,2491)]，而廠區逸散苯所致最大個體致癌風險為 2584×10^{-6} ，發生於小港區大林蒲東北 1 公里地區[UTM 座標(183,2493)]，二者皆超過管制目標(1×10^{-6})。

非致癌風險(甲苯)模擬分析評估結果上，煙道所致甲苯最大危害指數為 0.0453，發生於仁武鄉、大社鄉及楠梓區交界附近之大社工業區[UTM 座標(181,2513)]，而廠區逸散甲苯所造成最大危害指數為 0.1394，發生於小港區大林蒲東北方 1 公里附近[UTM 座標(183,2493)]，皆低於管制目標值(HI=1)。

(2) 移動污染源

解析移動源所致風險模擬結果顯示，高雄工業都會區汽車、機車、柴油車排放之苯所造成最大個體致癌風險分別為 165×10^{-6} 、 116×10^{-6} 、 29×10^{-6} ，均大於 1×10^{-6} 管制目標值，而發生位置均為人口密集區域，分別為前金區[UTM 座標(177,2503)]、苓雅區[UTM 座標(179,2508)]、新興區[UTM 座標(178,2504)]，而總移動源排放苯所致最大個體致癌風險則達 270.2×10^{-6} 。

高雄工業都會區汽車、機車、柴油車排放之甲苯所致最大危害指數分別為 0.0279、0.0331 及 0.0035，均低於管制目標值，而發生位置均為人口密集區域，分別為前金區[UTM 座標(177,2503)]、前金區[UTM 座標(177,2503)]、新興區[UTM 座標(181,2504)]，而總移動源排放甲苯所致最大危害指數則達 0.063。

表 4-6 高雄都會區有機性有害空氣污染物模擬結果分析

型態	污染源	苯 (Benzene)				甲苯 (Toluene)			
		平均值		最大值		平均值		最大值	
		模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	風險值	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	風險值	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	危害指數	模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	危害指數
固定源	煙道	0.040	1.16×10^{-6}	1.18	34.2×10^{-6}	0.42	0.0010	18.1	0.0453
	廠區逸散	1.749	50.7×10^{-6}	89.11	2584×10^{-6}	1.66	0.0042	55.7	0.1394
移動源	汽車	0.579	16.8×10^{-6}	5.70	165×10^{-6}	1.26	0.0031	11.1	0.0279
	機車	0.365	10.6×10^{-6}	4.03	116×10^{-6}	1.28	0.0032	13.2	0.0331
	柴油車	0.113	3.3×10^{-6}	0.99	29×10^{-6}	0.1	0.0003	1.4	0.0035
	總計	1.057	30.6×10^{-6}	9.32	270.2×10^{-6}	2.65	0.0066	25.2	0.0630

風險值=濃度值×單位致癌因子

苯：單位致癌因子 unit risk= $2.9 \times 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

危害指數=濃度值/環境濃度限值

甲苯：環境濃度限值 AALG = $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

3. 減量前後 HAP 所致風險影響人口比例

根據高雄工業都會區不同污染源 HAP 模擬結果與人口網格比對分析，結果如表 4-7 所示。減量前，移動源、廠區逸散及管道排放苯致癌風險超過 10^{-4} 之影響人口比例分別為 41.5%、10.1%及 0%；超過 10^{-5} 之影響人口比例分別為 96.2%、98%及 1.8%；超過 10^{-6} 之影響人口比例分別為 100%、100%及 25.9%。所有污染源排放苯致癌風險超過 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 之影響人口比例分別為 0.9%、66.5%、100%、100%。減量後，不同污染源排放苯致癌風險所影響之人口比例與減量前之差異並不大。不同污染源減量前後苯致癌風險及甲苯危害指數與累積人口百分比變化趨勢，如圖 4-1、4-2 所示，採取控制對策前後不同污染源排放 HAP 所致風險分佈圖如圖 4-3 所示。

表 4-7 所致苯不同等級風險影響人口比例

	污染源	所致苯不同等級風險影響人口百分比(%)			
		$>10^{-3}$	$>10^{-4}$	$>10^{-5}$	$>10^{-6}$
減量前	管道排放	0	0	1.8	25.9
	廠區逸散	0	10.1	98.0	100
	移動源	0	41.5	96.2	100
	所有污染源	0.9	66.5	100	100
減量後	管道排放	0	0	1.8	25.9
	廠區逸散	0	10.1	97.8	100
	移動源	0	32.6	94.2	100
	所有污染源	0.9	60.5	100	100

註：總人口數為 2569000 人

(二) 高雄工業都會區不同污染源排放 HAP 比例解析

由前節所述高雄工業都會區案例模擬結果，進一步解析在採取控制策略前後不同污染源 HAP 排放量貢獻比例及所致風險比例。本計畫所採控制策略係針對固定源及移動源分別進行，固定源所得減量來自廠區逸散削減，苯減量達 58.1 噸/年、甲苯減量達 30 噸/年，而移動源減量來自二行程機車加嚴排放標準，苯減量達 53 噸/年、甲苯減量達 127 噸/年。

分析控制前後不同污染源排放量貢獻比例及所致風險貢獻比例，如圖 4-4 所示，苯減量前後各污染源排放量貢獻比例變化，移動源所佔比例由 67.6%降為 65.7%，廠區逸散比例由 31%提升為 32.8%，管道排放比例變化不大。至於甲苯減量前後各污染源排放量貢獻比例變化與苯類似，移動源所佔比例由 73.8%降為 71.0%，廠區逸散比例由 20.3%提升為 22.4%，管道排放比例則由 5.8%提升為 6.6%。

若解析控制前後不同污染源排放 HAP 所致苯致癌風險之空間分佈，如圖 4-3 所示，不論是否採行控制策略，高雄工業都會區各污染源排放所致苯致癌風險之分佈大致相同，並無太大差別。若比較不同污染源間之差異，固定源管道排放苯致癌風險影響區域多集中於廠區附近 5 公里 ($>10^{-5}$)，廠區逸散苯致癌風險區域分佈集中於廠區附近 5~10 公里範圍 ($>10^{-4}$)，而移動源排放致癌風險區域分佈則主要集中於人口密集的都會區約 8~20 公里範圍 ($>10^{-4}$)，包括鹽埕區、前金區、新興區、苓雅區、三民區、左營區、前鎮區等。

整體而言，高雄工業都會區內不同污染源苯致癌風險特徵為，固定源之廠區逸散排放貢獻量小於移動源總量，而所致平均苯致癌風險最大，且空間分佈較為集中，移動源排放貢獻量最大，而所致平均苯致癌風險雖小於廠區逸散影響，但空間分佈範圍較大。至於固定源管道排放影響，在平均苯致癌風險與空間分佈範圍皆最小。

(三) 案例模擬不確定性分析

風險評估執行程序乃藉由排放量推估、空氣污染物濃度模擬建立濃度分佈，再依暴露劑量推估、劑量—效應特徵值，推估致癌風險及非致癌風險。如前述方法論解析，此項評估作業程序存在相當程度不確定性，或謂誤差程度。

USEPA 於休士頓執行「Air Dispersion Modeling for Toxic Air Pollutants in Urban Areas-Guidance, Methodology and Example Applications」研究【26】，探討 HAP 暴露模擬模式之敏感性及不確定性，其中 ISCST3 模式輸入參數之不確定性分析包括：

1. 擴散模式：因排放貢獻量差異導致模擬之年平均值差異。
2. 氣象資料來源：由於選用氣象資料來源不同，當採用風速較高者為輸入資料，使模擬結果減少約 7%。
3. 擴散環境(都市型/鄉村型)：選用都市型地形模擬，顯示年平均濃度較選用鄉村型者減少約 35%。
4. 最小混合層高度(50m/200m)：混合層高度由 50m 改變為 200m，濃度最高值減少 0.4%，年平均濃度減少約 1.3%。
5. 排放量不確定性：若將點源排放量增加 2 倍、逸散源排放量增加 3 倍、移動源及其他面源排放量增加 3 倍，模擬之年平濃度將增加約 2.6~2.8 倍，與輸入排放量之倍數相當。

另美國加州地區亦運用 ISCST3 模式估算加州地區民眾暴露在柴油微粒(Diesel Particulate Matter, DPM)之健康風險，因 DPM 大多由移動污染源所排放，故於 ISCST3 模式模擬時假設移動源(公路)排放，其為一系列等大之體源或面源所組成，並依此建立受體網格資料進行模擬。DPM 健康風險評估之不確定性因素屬典型空氣品質模式模擬之不確定性，如：排放量推估、氣象資料、空品模式選用及輸入參數。本研究結果顯示，模式(ISCST3)模擬結果通常高估年平均影響值最高可達 2 倍。【27】

本計畫運用 ISCST3 模式模擬高雄工業都會區 HAP 暴露濃度，導致不確定性因素包括：輸入參數值(如：排放量數據、氣象條件、人體活動參數)及模式可靠度(如：擴散模式、暴露量模式、風險計量模式)。由於後者所導致不確定性係屬系統性，唯藉不斷精進提昇模式特性使克改進。輸入參數值所導致誤差可藉由大量調查實場建立充分代表性數據方式改善。依台灣地區相關研究結果顯示【28】【29】，ISCST3 模式氣象輸入參數(含：風向、風速、混合層高度、穩定度及溫度)所致平均總不確定性介於±95% ~ ±101%，主要影響因素為風向其次為穩定度及風速。模式移動源污染影響評估由輸入參數所致不確定性最高達 93%，點源污染影響評估不確定性最高達 80%。由研究模擬區域包括點源、面源及線源，因此，模擬結果不確定性亦應此研究結果所述值具相等量化程度。

根據本計畫於前金測站與林園測站兩次採樣結果之平均值，與模式模擬之此兩測站苯及甲苯年平均濃度比較，如表 4-8 所示，發現第一次採樣結果與模擬濃度較接近，前

金站差異百分比為：苯 68%、甲苯 64%，林園站差異百分比為：苯 84%、甲苯 47%；第二次採樣結果與模擬濃度差異則較大，前金站差異百分比為：苯 80%、甲苯 640%，林園站差異百分比為：苯 32%、甲苯 2617%。

表 4-8 模擬結果與現場大氣採樣結果比較

物種	第一次採樣濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		第二次採樣濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		模擬濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	前金	林園	前金	林園	前金	林園
苯	2.64	1.20	1.61	5.11	8.23	7.55
甲苯	7.09	3.70	144.47	188.26	19.51	6.93

註：第一次採樣日期：92/7/16~92/7/19，第二次採樣日期：92/10/16~92/10/19

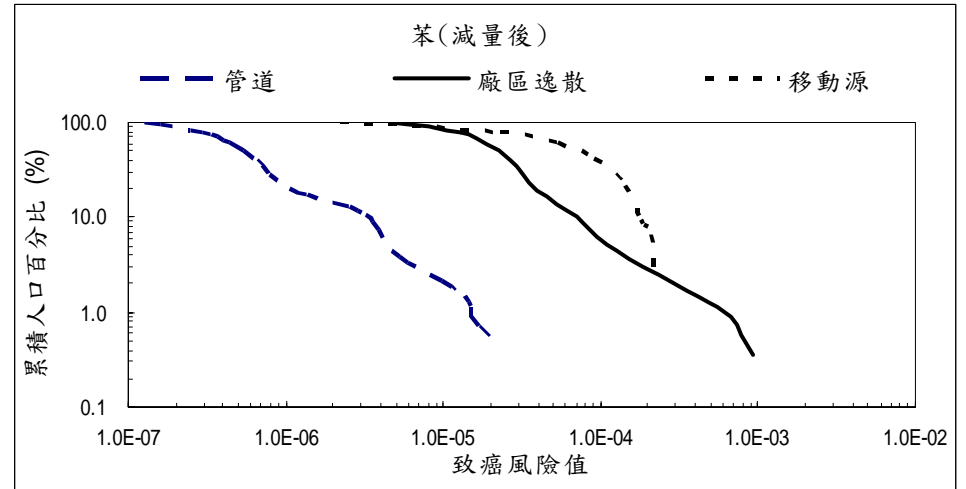
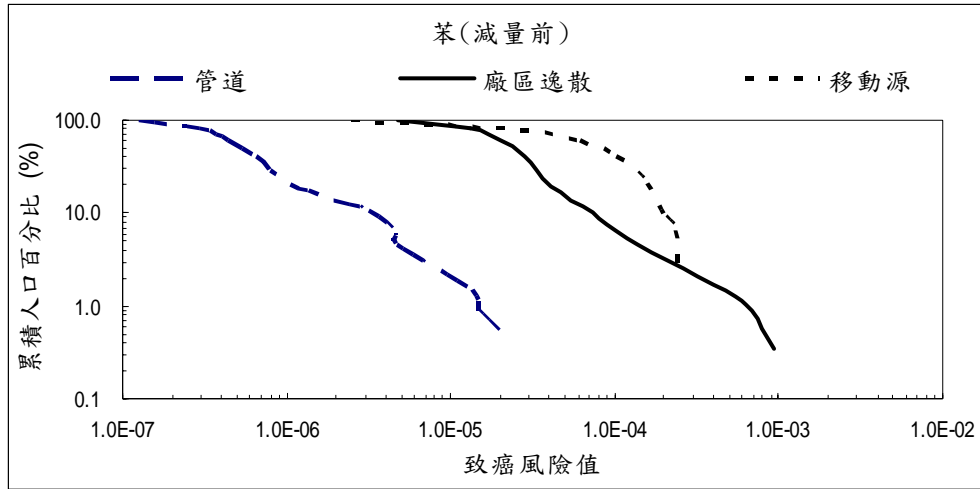


圖 4-1 高雄工業都會區空氣中苯濃度所致個人終身致癌風險與累積人口百分比圖

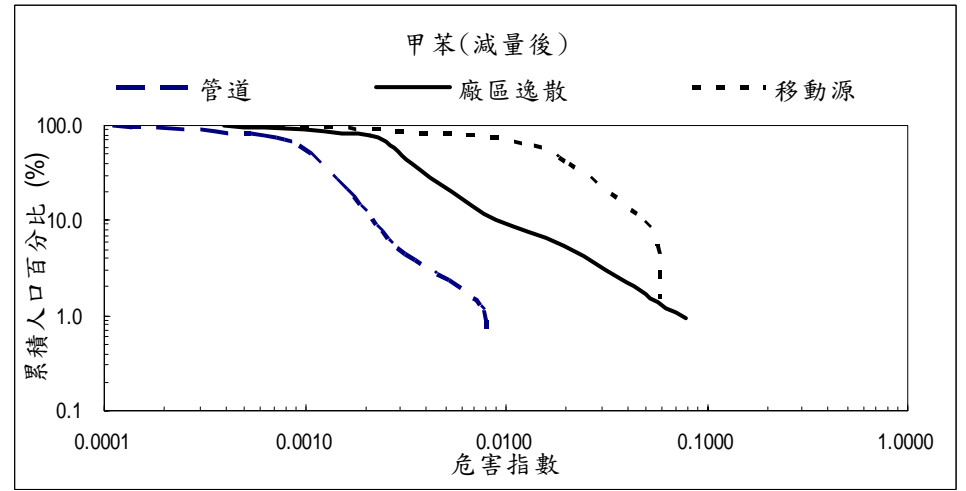
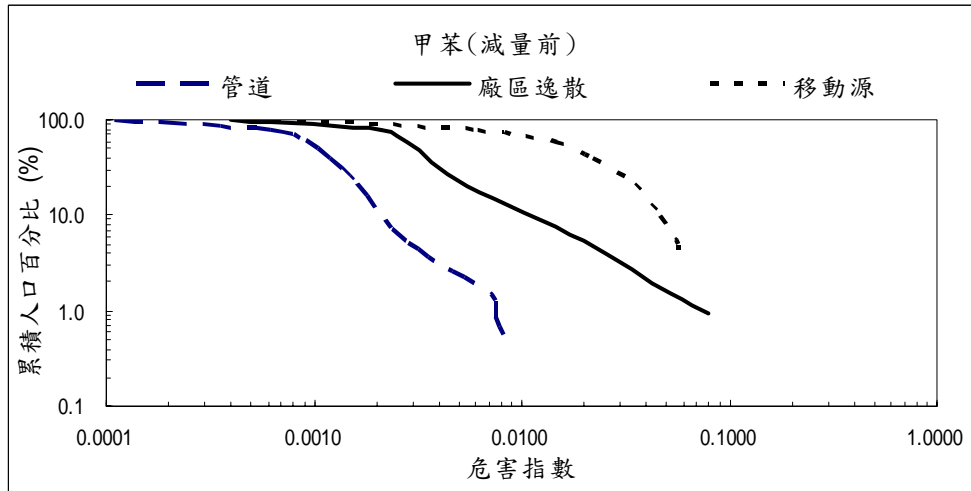


圖 4-2 高雄工業都會區空氣中甲苯濃度所致危害指數與累積人口百分比圖

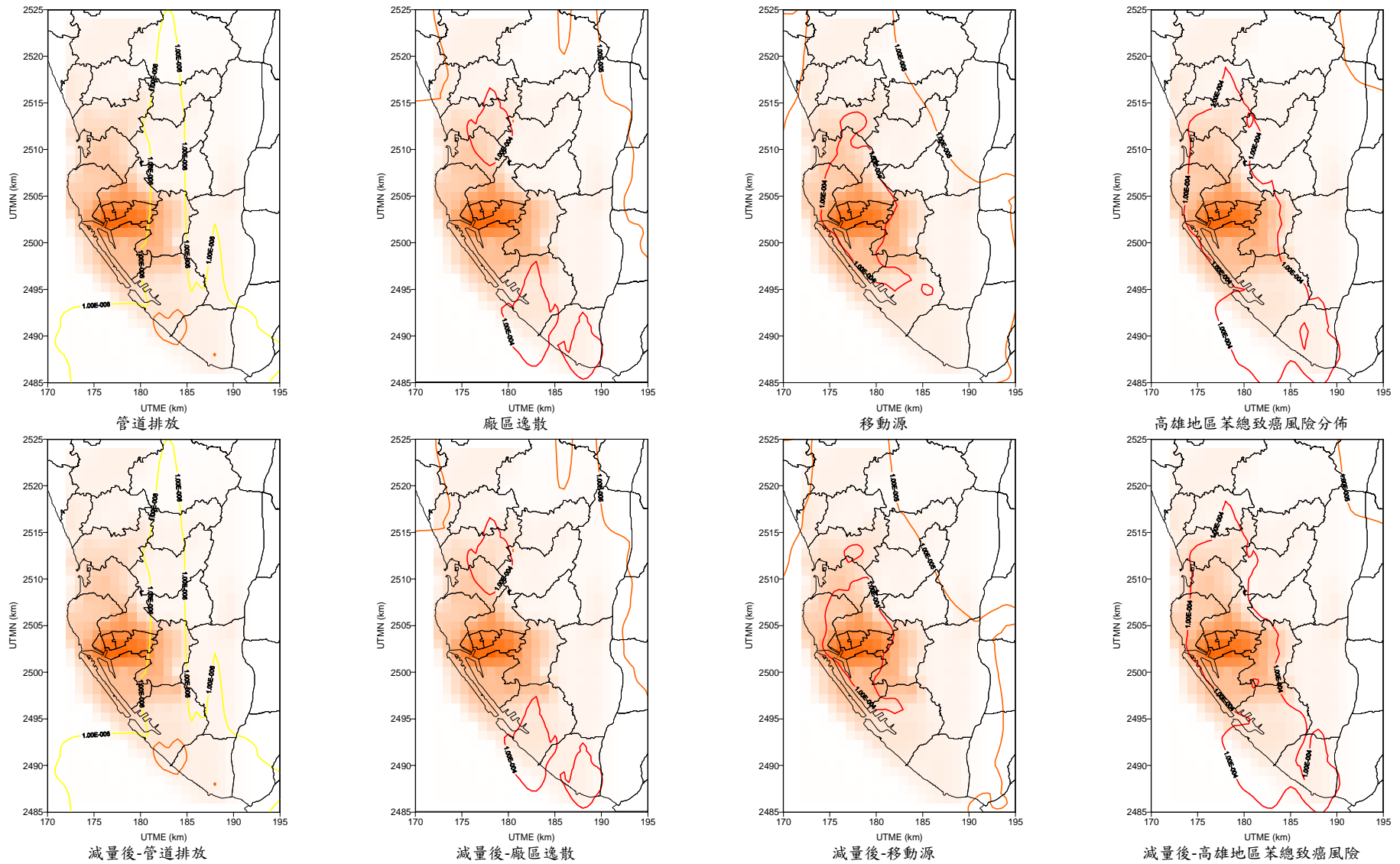


圖 4-3 採取控制策略減量前後高雄工業都會區風險分佈

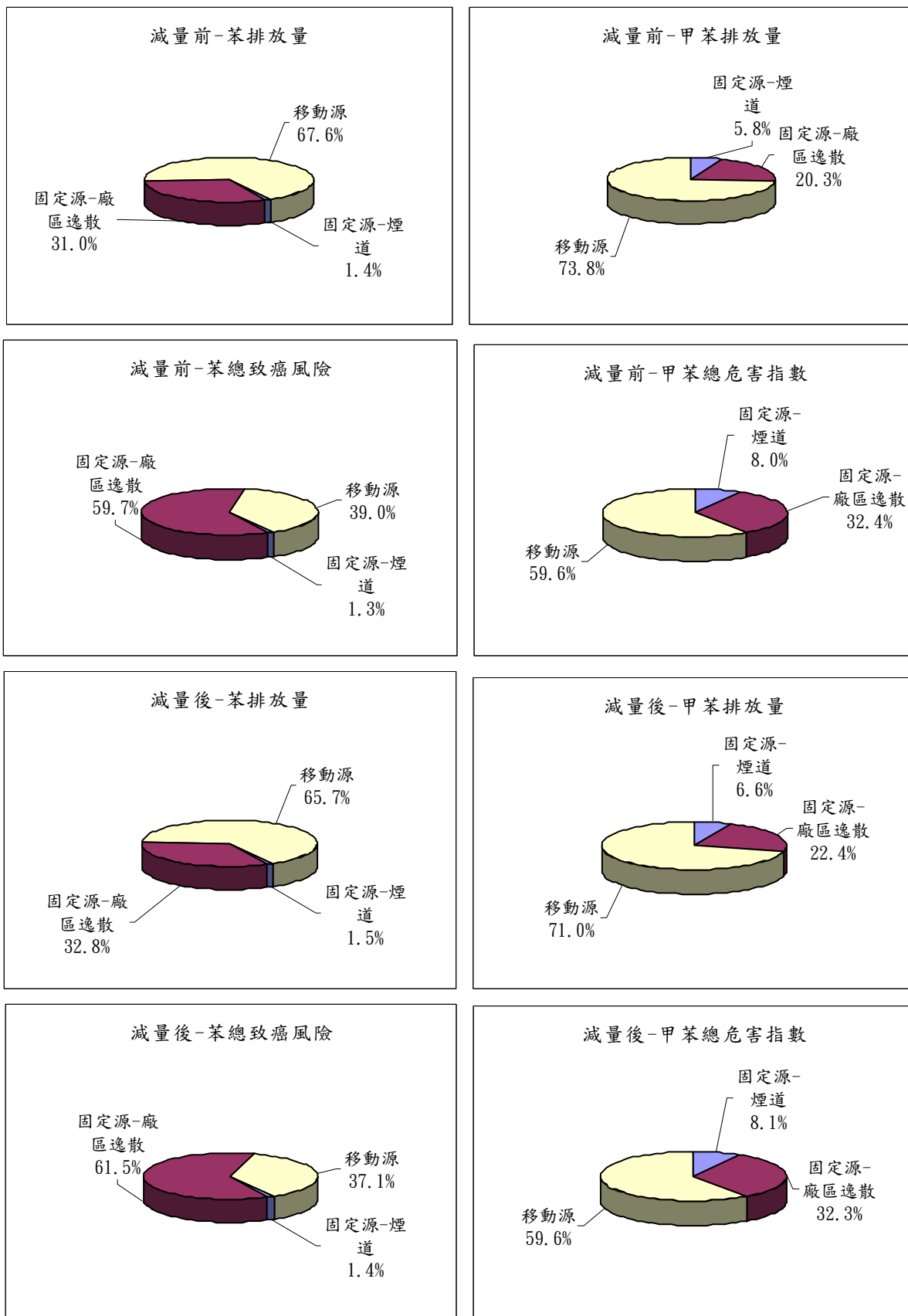


圖 4-4 控制前後不同污染源 HAP 排放量貢獻比例及所致風險比例

4-4 管制策略成本有效性分析

文獻上探討有害空氣污染物之控制時，「技術基準」和「健康風險基準」策略為主要之兩大策略。控制技術基準指的是在環境目標下，蒐集最佳可行技術(BACT)、最大可行控制技術(MACT)等相關控制技術資料，以製程要求或行政管制的方式進行污染防制工作；而健康風險基準則是針對各地區之風險特徵，為有效控制大氣環境的污染物濃度及暴露在該環境之人口數目所進行的管制策略。此兩種管制策略的差別在於，控制技術基準下的管制策略較無法具體地預估策略執行後的環境風險，而風險管制策略由於以環境風險表現為重點，所發展出的管制策略因地制宜，也不一定是BACT管制技術。

然而，由於使用控制技術基準之管制策略對於各地健康風險的影響結果含有較高的不確定性，若能瞭解控制技術基準和健康風險基準下的污染防制成本和效益情形如何，不但是相關管制策略選擇時的參考重點，且可具體呈現出高屏各地區的風險暴露及改善情形。故本研究之主要目的在於瞭解HAPs管制策略的成本效益情形，特別是技術基準和健康風險基準下的污染防制成本和效益情形。

由所蒐集之文獻資料顯示，有關HAP之防制成本討論多僅限於整體揮發性有機物質(VOCs)，並未能有效區分VOC中各種污染物質之防制成本貢獻。其主要理由在於相關之防制技術可同時減少多種污染物質，故僅以設備之所有成本視為苯與甲苯的防制成本，將有高估之虞。然在成本效益的分析上，首先必須事先釐清減量對象(污染物質)及其管制策略。本計畫依據上年度研究成果篩選6大目標行業及6項主要目標污染物質討論可行之管制策略及控制對策，並選定固定源與移動源共同HAP物種苯與甲苯模擬評估高雄地區之健康風險與討論管制策略，在整體分析上，因非所有VOC物種，產生了策略選擇及成本分攤的極大挑戰性。同樣地，不僅固定源之成本估計有此困擾，移動源之成本估計，由於涉有更多項污染物質之減量，成本分攤更為困難。

本計畫研擬之有害空氣污染物管制策略區分固定源與移動源二污染源進行管制，固定源包括(管道排放與逸散面源)，以污染源排放量、排放污染物濃度、排放污染物所致風險與管制對策執行難易度評估管制可行性。固定源高雄地區總碳氫化合物排放量約47,903噸/年，目標行業所致苯排放量約1,312噸/年，甲苯約1,383噸/年，污染物質所致風險與危害均以廠區逸散貢獻較高，苯最大風險值 $2,908 \times 10^{-6}$ ，甲苯最大危害指數0.15；移動源總碳氫化合物約33,394噸/年，苯排放量約1,182噸/年，甲苯約2,446噸/年，污染物質所致風險以汽車貢獻最高，苯最大風險值 165×10^{-6} ，非致癌物質(甲苯)危害以機車為主要貢獻源，甲苯最大危害指數0.046。彙整上述資料，移動源排放量雖不如固定源大，但其影響範圍遍及全高雄都會區，高濃度值亦發生於人口密度極高區域，以危害影響為考量前提，移動源應列為第一優先管制污染源。以「風險基準」為管制前提，確立減量目標，配合「技術基準」策略，研擬相關控制對策達

成排放減量與風險削減之效。唯固定源總排放量及逸散面源所致風險亦不容輕忽，健康風險模擬結果顯示，高雄地區固定源廠區逸散苯最大風險值達 $2,908 \times 10^{-6}$ ，高於管道排放，顯示必須加強廠區逸散排放減量。固定源有害空氣污染物管制以「技術基準」為前提進行管制，方法與目標明確，管制推動較易，並可針對主要污染源(「Hot Spot」)配合風險基準策略，評估減量成效。

然以成本有效性原則進行管制策略之選擇，尚需進一步了解控制對策之平均防制成本，估算「技術基準」與「健康風險」二管制策略之成本效益值，及其如何由污染源防制成本衍生轉化成社會成本之可能性等因素。參考「南高屏地區空氣污染總量管制規劃」(89年)中針對高屏地區推動揮發性有機物之管制策略減量成本分析，以工程模擬加統計分析方法，估算出固定源執行 VOCs 減量相關對策之平均防制成本約為 0.3 萬元/公噸至 13 萬元/噸，移動源之平均防制成本約為 4.6 萬元/噸至 38 萬元/噸，此平均防制成本為總 VOC 物質，套用本計畫之 VOC-HAP 物質恐有高估現象，故以經濟成本考量以固定源為優先管制污染源。文中以成本有效性提出固定源控制對策之選擇，其對策推動依序為半導體製造業加強管制減量策略、有機溶劑之裝載及運輸、石化業加強元件洩漏稽查、加油站油氣回收、PU 合成皮製造業加強管制減量措施及石化業廢氣燃燒塔之減量措施，其中石化業及 PU 合成皮製造業為計畫本年度之目標行業，石化業增設廢氣燃燒塔等減量措施之平均減量成本為 129,225 元/噸；PU 合成皮製造業加強管制減量平均減量成本為 78,232 元/噸，原則應以 PU 合成皮製造業為優先管制對象，但目標行業排放量石化業較大，所致 HAP 排放量亦高，以空氣品質目標與民眾健康考量應以石化業為優先管制對象。

4-5 高雄工業都會區有害空氣污染物管制策略

高高屏地區為石化、鋼鐵、電力等高污染性工業密集重鎮，人口及車輛密度亦相當高，空氣污染排放量佔全國四分之一，加以地形及氣象因素，不利於污染物擴散，使空氣污染問題較其他地區嚴重許多，民國 88 年高雄市衛生局計畫「高雄市空氣中健康危害物分佈調查暨健康風險評估」研究指出，高雄市部份地區健康風險指數偏高，造成高雄市地區空氣污染主要根源於苯環類化合物及含氯碳氫化合物，而且該類污染源種大多緣起於工廠製程之逸散污染與汽機車大量排放之廢氣。民國 91 年高雄市環保局計畫「都會區有害空氣污染物管理暨對人體健康效應之影響」對高雄市之環境濃度監測結果檢驗出 66 種 VOCs 物質，其中成分濃度較顯著、危害性較大之 VOCs 有甲基三級丁基醚、鄰-二甲苯、間,對-二甲苯、苯、甲苯、乙苯等苯類及直鏈烷類，另小型工商業常用之有機溶劑所致丙酮、丁酮與二氯甲烷亦不容小覷。【19】【20】【22】

上年度(91年)本計畫以高雄工業都會區為對象，計算有害空氣污染物之「有害權重強度」，固定源危害性影響大之 VOCs 為環氧乙烷、氯乙烯、1,2-二氯乙烷、苯與甲醛；

移動源則以苯、甲苯、乙苯、二甲苯與苯乙烯為重要影響物質。計畫並選定苯、甲苯為標的污染物進行模擬，模擬結果以高雄市區與林園工業區附近為主要貢獻源，高雄市區以移動源為 HAP 主要貢獻污染源；林園工業區內大型工廠林立，HAP 由該區工廠管道、周界逸散所貢獻。綜合上述資料，高雄工業都會區環境濃度監測資料與美國、OECD 都會區有害空氣污染物管制物種相呼應，顯見高雄工業都會區有機性有害空氣污染物管制工作具急迫性與指標性意義。

高雄工業都會區 HAP 管制策略係以 USEPA「整合都會區策略」為藍本，以建立 HAP 背景調查為優先工作，彙整監測資料與排放量申報資料，依據物種之篩選 HAP 物種與排放標的物種之污染源及其分類，針對上述背景資料分階段研擬不同污染源(固定源、移動源)之相關管制對策。本計畫初步研擬「高雄工業都會區有害空氣污染物整體管制策略架構」、「固定源有害空氣污染物管制策略架構」與「移動源有害空氣污染物管制策略架構」，管制策略執行內容詳述如下。

4-5-1 高雄工業都會區 HAP 管制策略主軸架構

台灣地區諸多管制規範多參考美國制度及執行經驗，美國管制架構由州至地方執行分工均明確規範，提供計畫推動或規範遵循依據，管制策略十分明確；HAPs 相關管制亦同，以「技術基準」為策略主軸，進行 HAPs 污染源排放減量，州及地方政府可視該地區污染情形輔以「風險基準」策略達成聯邦之 HAPs 減量目標。本計畫規劃之 HAP 管制架構以美國有害空氣污染物計畫之「整合都會區策略」(National Air Toxics Program: The Integrated Urban Strategy)為藍本設計高雄工業都會區 HAP 管制策略。

管制策略主軸乃期建立針對都會區 HAP 管制之方法與流程，參考國外文獻，HAP 管制需先建立 HAP 背景資料，排放量資料庫建置乃為最基礎且最重要之工作，其最終目地皆是建立有用之資訊以做為政策有效性評估及未來管制措施研擬的參考，高雄都會區 HAP 管制亦以調查高雄地區 HAP 污染危害影響為首要，此部份彙整高雄地區環境濃度、排放污染源與 HAP 排放量調查相關資料，了解高雄都會區 HAP 危害分佈情形，提供健康風險評估、背景環境建置工作，定期更新排放數據資料以評估 HAPs 減量成效。

唯有害空氣污染物種類繁多且成份複雜，基於計畫工作時程，僅以 VOC-HAP 為研究對象，依據所研擬之管制策略工作執行流程，分析高雄工業都會區 VOC-HAP 危害影響及主要污染排放源，解析 VOC-HAP 控制後減量成效與健康風險危害降低程度，藉以評估管制策略之可行性。

有害空氣污染物中一些成分會造成健康與環境上潛在危害，藉由 HAPs 監測瞭解其影響範圍、濃度及所致危害。以背景調查所獲致資訊，進行有害空氣污染物與污染源分類，篩選標的污染物與標的污染源進行管制，管制推動分二階段，第一階段(Phase

I)以「削減排放量」為主軸，區分固定源(含管道點源及逸散面源)與移動源二類管制對象，規劃不同管制方式；第二階段(Phase II)「危害影響與削減健康風險」為考量，以大眾健康為前提，訂定相關排放限值或管制標準以達都會區空氣品質目標。

第一階段以技術基準策略以達成排放量削減目的，具方法與目標明確、容易推動執行之優點，固定源 HAP 排放減量建議各工廠製程執行最佳可行控制技術(BACT)，達成減量目標；據相關研究指出移動源污染影響範圍廣，所致 HAP 排放量大，且多集中於人口密集區，移動源 HAP 排放減量管制以「技術基準」為優先，藉提昇燃料品質及車輛排氣控制效率等相關控制對策達到降低整體空氣污染物排放量之效。

為達成清淨空氣品質與保護民眾健康之目的，可採行的控制措施依型態分為「技術要求」、「誘因機制」與「自發性減量」等三類。「技術要求」即由主管單位提出管制標準，以「技術基準」為基礎，要求污染源執行各項減量措施，如：固定源採 BACT、T-BACT 方式，移動源用加嚴排放標準、提升油品品質等方式。參考國外 HAP 管制工作，除以行政規範管制外，亦採納誘因機制，以經濟誘因促使污染源提早進行減量，台灣地區目前持續推動總量管制與徵收空氣污染防制費，即為誘因機制之運用。近年來國外逐漸發展依可行之改善空氣品質措施，即「自發性減量」，此措施乃透過教育宣導方式，刺激產業界對環境改善之自發性意識與責任感，提出對環境友善之行為以創造出更乾淨更健康之生活環境，相對而言產業界於執行自發性減量時，對整體企業形象亦能有所提昇。執行 HAP 管制工作於整體管制架構上可運用上述措施相互配合或規劃不同時行期程，以期有效減量，提升空氣品質。高雄都會區 HAP 管制策略主軸架構如圖 4-5 所示。

唯此階段工作可能產生排放量達控制目標，但有害空氣污染物所致危害降低不如預期，即排放量大之污染源並不一定具高有害空氣污染物排放量。故規劃第二階段管制工作，以「危害影響與削減健康風險」為管制策略，針對 HAP 所致危害顯著或經排放控制後 HAP 排放量與濃度仍超出環境涵容能力之污染源進行管制(即熱點"Hot Spot")，達成提昇大眾健康與環境品質為目標。於第二階段管制引入健康危害策略，訂定風險評估模擬程序、訂定 HAPs 風險管理管制標準為此階段應考量之配套措施，以達成降低民眾健康影響之目標。

4-5-2 固定源 HAP 管制架構

依環保署資料顯示，台灣地區 NMHC 區位排放量分析高屏空品區佔其中 20%，且其中 84%集中於高雄都會區，本計畫上年度(91)調查高雄地區有機性空氣污染物與有機性有害空氣污染物研究成果中，固定源 HAPs 主要排放以 PU 合成皮、石油化工製造業、石油煉製業、表面塗裝業、煉(軋)鋼業與電子業排放量較大，若以上述行業或製程進行管制，高雄地區 HAP 減量成效將較為顯著。

本研究計畫之固定源 HAP 管制以 BACT 為前提推動，參酌國內外經驗，BACT 定義出各行業別最佳可行控制技術的內容，從投入成本(含能源的消耗)與降低有害空氣污染物排放最佳化的觀點，選定幾個重要行業中具有代表性的製程，考慮減量潛勢、投入成本、法規要求、能源衝擊等因素，評估各種可行的控制技術；即藉主要之 VOC-HAP 排放源資料庫，評估各種控制對策之減量空間及成效，運用有限之 VOC-HAP 減量成本估算，提供適當之經濟效益評估。

唯推動所研擬之固定源管制策略，包括排放量調查、環境濃度監測資料、污染物危害/毒性資料等基本背景調查工作需先建置，使克篩選出重要有機性 HAPs 污染物及主要污染排放源；USEPA 之整合都會區策略優先管制 HAPs 物種乃由 1990 CAAA 列表之 188 種 HAPs 與美國主要城市(如：芝加哥、紐約等)之環境空氣監測資料篩選出 33 種都會區優先管制 HAPs 物種。決定列管 HAP 列表後，篩選 HAP 污染排放源，針對排放達一定規模以上或毒性影響顯著者以技術要求優先管制。對既存污染源與新設污染源管制考量需有不同，建議既存者可要求加嚴標準至最佳控制技術水準，新設者則必須以最佳可行控制技術要求或採更嚴格之有害物質最佳可行控制技術(T-BACT)為管制原則。

以單一固定污染源而言，為達控制 HAP 排放減量目標，工廠必須固定申報該廠之排放量資料，一方面除提供主管單位建置排放量資料庫，另一方面作為該工廠執行各項減量對策之依據。依該污染源排放特性、製程特色，在技術及經濟可行下採用 BACT，對污染物做最大的減量並符合排放標準。採行控制技術後應在估算該工廠總排放量與 HAP 污染物種排放量，確認符合減量目標程度，若未達準則必須採行更嚴格之毒性污染物最佳可行控制技術(T-BACT)以達整體減量目標。

經技術要求後之固定源排放 HAPs 再以健康影響方向考量所致危害，藉由風險評估程序篩出危害影響重大區域(即所謂 Hot Spot 地區)優先管制，針對區內重大貢獻污染源要求進一步減量，以使危害影響降低至目標值以下。

本計畫整合 91 年度與 92 年度研究成果，高雄工業都會區固定源排放之苯、甲苯、二甲苯、氯乙烯、甲醛及二氯乙烷排放量大且物種危害強度高，可列為優先管制物種；並以個案方法分析執行有效性，考慮污染源特性與條件，篩選分析具代表性製程，進行 BACT 減量潛勢分析，並進行執行控制技術後之風險案例模擬，解析高雄地區 HAPs 控制有效性，驗證管制架構之可行性。模擬結果顯示高雄工業都會區固定源 HAPs 以致癌物種苯與非致癌物種甲苯為案例，經 BACT 技術控制後，約可減少苯 58.1 噸/年排放，該地區之苯所致最大個人終身致癌風險由 2942×10^{-6} 降至 2618×10^{-6} ，仍大於 1×10^{-6} ；甲苯約可降低 30 噸/年排放量，甲苯所致最大危害指數由 0.2 降為 0.18，皆小於 1，環境空氣品質與民眾健康有改善趨勢。高雄都會區固定源 HAP 管制策略架構如圖 4-6 所示。

4-5-3 移動源 HAP 管制架構

機動車輛排放廢氣為都市地區空氣污染物主要污染源，由於機動車輛之排放特性、排放形式及污染機制等，導致其所排放之 VOC、CO、NO_x、及粒狀物造成嚴重空氣污染現象。高雄地區除重工業密集外，人口及車輛密度亦相當高，除了工地和工廠等固定污染源排放空氣污染物數量龐大外，工業區內工作人口及汽機車所致空氣污染物排放量亦不容小覷。由「汽機車排放廢氣中的致癌物質」中指出，機動車輛排放廢氣中所含之污染物，依其物理狀態不同可分為二大類，即微粒狀空氣污染物及氣狀空氣污染物。前者主要含有多環芳香族碳氫化合物(PAHs)多由柴油車排放貢獻，後者以揮發性有機物(VOCs)為主，如：具致癌性之苯，多由汽油車排放貢獻。

移動源管制以 HAPs 主軸架構為依歸，優先工作為背景調查建置即調查移動源 HAPs 所致排放量與環境濃度監測結果，篩選移動源標的污染物，因車種性能、排放特性與燃料各異，故區分汽油車、柴油車與機車三類進行管制。參酌國外移動源管制經驗與對策(如：油品管制、加嚴排放準、減少車行里程...)，考量台灣地區污染現況、控制對策之執行可行性，依不同車種篩選可行控制對策進行 HAP 排放減量控制。

參考美國移動源管制主要分成四項策略：(1)新車管制，(2)使用中車輛管制，(3)清潔燃料與(4)減少車行里程；針對移動源排放 HAP 管制策略有六項：(1)分階段降低汽油含鉛量，(2)限制汽油揮發性 HAP 含量，(3)油品改善，(4)限制柴油含硫量，(5)提昇新型車輛排氣標準與(6)運輸管理計畫。歐美先進國家對移動源管制起源甚早，彙整各國移動源控制對策依管制策略內容區分不同車種與新車/使用中車輛研擬相關控制對策，以達削減移動源所致排放。

移動源 HAP 管制有效性分析係以控制對策為單位，以執行後之排放量降低程度與環境中有害空氣污染物所致健康風險降低程度，評估管制有效性，本計畫以加嚴車輛排氣標準與提升油品品質二對策估算預期排放減量，並計算削減之健康風險，驗證所研擬之移動源管制策略可行性。模擬結果顯示，加嚴機車排氣標準可降低苯物種 53 噸/年、甲苯 127 噸/年排放量，苯所致個人最大終身致癌風險值由 355×10^{-6} 降為 270×10^{-6} ，仍大於建議管制目標 1×10^{-6} ；甲苯所致最大危害指數由 0.08 降為 0.06 均小於管制目標值 1。

由於削減移動源所致排放量控制對策選擇性多，主管單位於控制對策執行優先性選擇可納入成本變數，以控制策略投入成本與獲致減量關係評估移動源控制對策執行優先性。高雄地區移動源 HAP 管制策略架構如圖 4-7 所示。

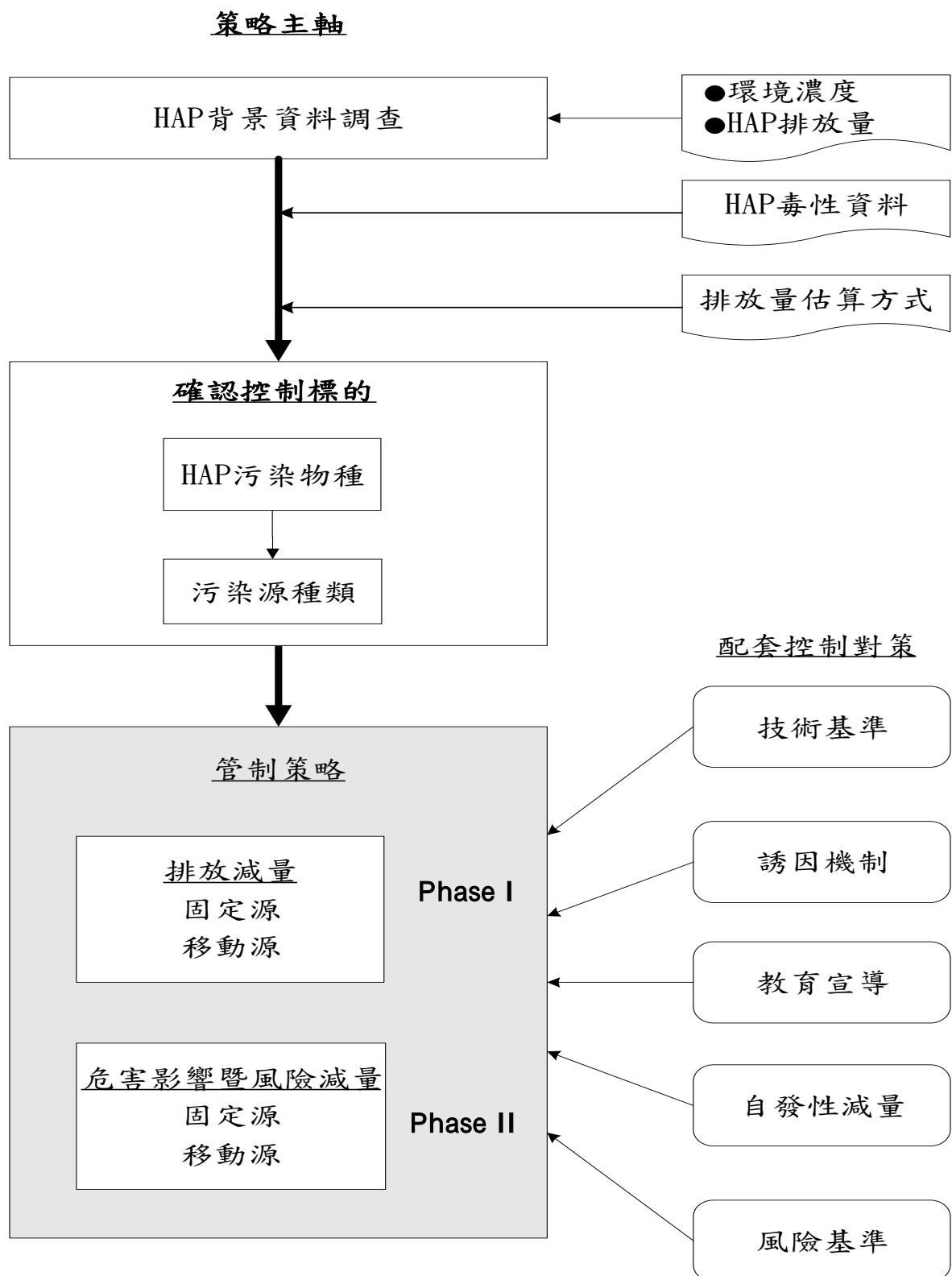


圖 4-5 高雄都會區 HAP 管制策略主軸架構

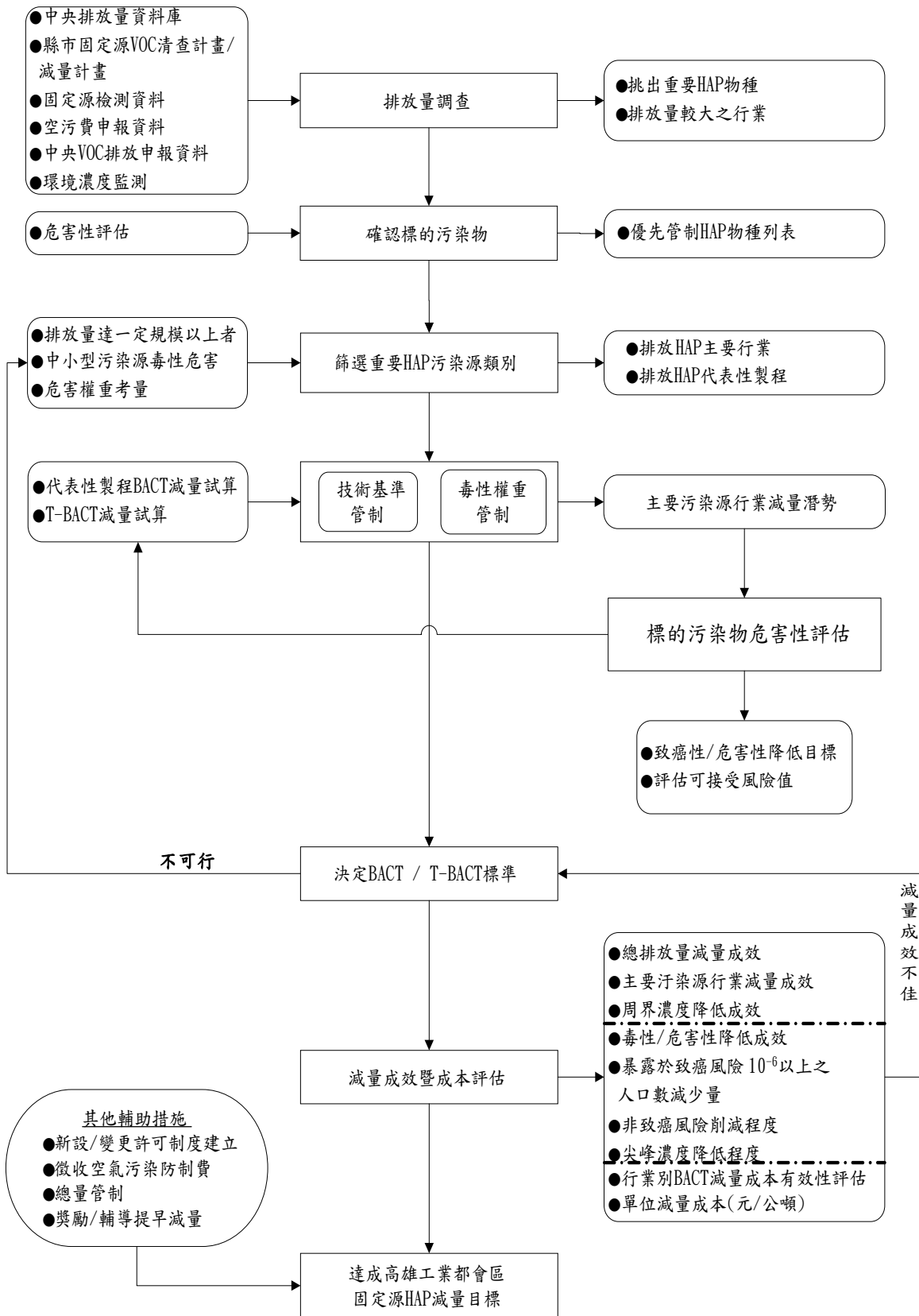


圖 4-6 高雄都會區固定源 HAP 管制策略架構

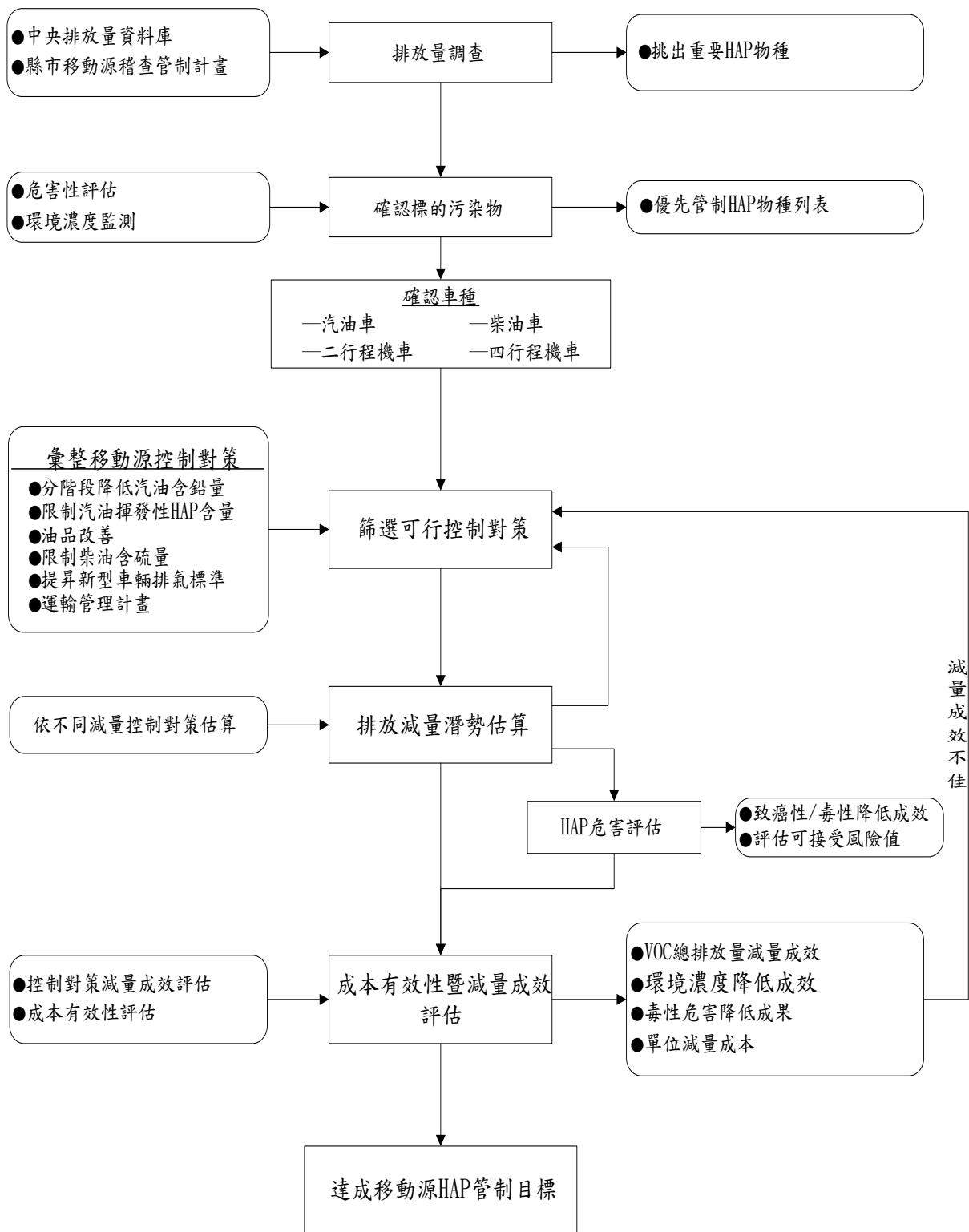


圖 4-7 高雄都會區移動源 HAP 管制策略架構

第五章 結論與建議

5-1 結論

1. 歐美先進各國逐漸重視都會區 HAP 所致影響，美國都會區固定源 HAP 管制以面源為主，採技術基準為管制主軸；移動源著重於柴油廢氣排放管制，推動 3 項減量對策：柴油引擎管制、清潔燃料及削減車行里程，預期可有效降低柴油微粒與柴油引擎排放之有機氣體(DPM+DEOG)。歐洲經濟合作組織對都會區有害空氣污染物管制計畫由監測結果選出 15 項指標污染物訂定允許排放濃度限值。參考世界銀行所做研究報告，亞洲國家亦開始逐步重視都會區 HAP 管制工作，唯現階段仍以提昇整體空氣品質為主。
2. 高雄都會區之 HAPs 大氣背景調查結果顯示，二測站之濃度皆以甲苯最高，且前金測站(代表交通測站)污染物濃度大於林園測站(代表工業區測站)，顯示移動源所致影響大於固定源。此外，苯系物種在交通尖峰時段濃度水準大於離峰時段。
3. 高雄工業都會區以致癌物種苯與非致癌物種甲苯為危害影響模擬案例，結果顯示，未控制前高雄工業都會區固定源管道排放(苯)所造成最大個體致癌風險為 34.2×10^{-6} ，廠區逸散苯所致最大個體致癌風險為 2908×10^{-6} ，皆超過管制目標 (10^{-6})。移動源模擬結果顯示，汽車、機車、柴油車排放之苯所造成最大個體致癌風險皆高於管制目標值，其中汽車最高，達 165×10^{-6} 。
4. 固定源選定製程經 BACT 技術控制後，苯所致最大個人終身致癌風險由 2942×10^{-6} 降至 2618×10^{-6} ；移動源加嚴機車排氣標準所致苯所致最大個人終身致癌風險值由 355×10^{-6} 降為 270×10^{-6} 。固定源與移動源經控制後苯所致致癌風險有降低趨勢，唯仍大於建議管制目標 1×10^{-6} ，應持續管制。非致癌物(甲苯)固定源經執行 BACT 控制後最大危害指數由 0.2 降為 0.18；移動源則由 0.08 降為 0.06，均小於管制目標值 1。唯固定源廠區逸散甲苯所致危害指數最高達 0.15，若與其他 HAP 物種累計危害風險不可輕忽。
5. 高雄工業都會區有害空氣污染物管制策略規劃為固定源策略及移動源策略；整體策略分為二階段，第一階段以「削減排放量」為主軸，減少 HAPs 排放量為主要目標，第二階段以「危害影響與削減健康風險」為基準，降低 HAPs 所致民眾健康危害影響為主要目標。
6. 於固定源 HAP 管制架構規劃上，建議排放達一定規模以上或毒性影響顯著之污染源需以技術要求優先管制，若未達標準要求者須採更嚴格之 Toxics BACT，以期達成整體減量目標。經技術要求後之固定源排放 HAPs 再以健康影響方向考量所致危害，藉由風險評估程序篩出危害影響重大區域(即 Hot Spot 地區)優先管制，進一步要求減量，以使危害影響降至目標值以下。
7. 移動源 HAP 管制架構因車種性能、排放特性與燃料各異，故區分汽油車、柴油

車與機車三類進行管制；考量台灣地區污染現況、控制對策之執行可行性，依不同車種篩選可行控制對策進行 HAP 排放減量控制，可行移動源排放 HAP 管制策略有六項：(1)分階段降低汽油含鉛量，(2)限制汽油揮發性 HAP 含量，(3)油品改善，(4)限制柴油含硫量，(5)提昇新型車輛排氣標準與(6)運輸管理計畫。

5-2 建議

1. 本年度研究結果顯示，高雄都會區由移動源和固定源所致有機性有害空氣污染物危害影響不可輕忽，移動源基於危害影響範圍及程度，應列為優先管制污染源；固定源可針對有害空氣污染物主要排放源進行管制，降低「Hot Spot」危害。
2. HAP 排放背景資料調查為管制之基石，排放量調查、環境濃度監測資料、污染物危害/毒性資料等基本背景調查工作需先建置，據以篩選出重要有機性 HAPs 污染物及重要排放源，並建置台灣地區 HAP 排放量資料庫，提供管制參考依據，建議分年推動執行。
3. 研擬之高雄工業都會區有害空氣污染物管制策略以揮發性有害空氣污染物為研究對象，但除揮發性有害空氣污染物外，尚有粒狀污染物、酸性氣體、重金屬等，未來可在主軸管制策略下擴大調查其他有害空氣污染物並建立其管制策略架構。

參考文獻

1. USEPA(2000) 「National Air Toxics Program : The Integrated Urban Strategy」
2. USEPA(2000) 「Regulatory Announcement-Control of Emission of Hazardous Air Poultants from Mobile Source」
3. USEPA(1998) 「Air Toxic Emission in the City」
4. USEPA 「Activities for The Development of The Urban Air Toxic Strategy」
5. USEPA(1998) 「Notice of Availability of The Draft Integrated Urban Air Toxics Strategy」
6. USEPA(2002) 「Emission Regulations for Stationary and Mobile Engines」
7. Kamal K. Bhattacharyya, Ph. D., P. Eng. (August 1999) 「Urban Air Quality Management Plan – A Framework for Development and Implementation」
8. Environment Australia(2001) 「Air Toxics and Indoor Air Quality in Australia」
9. Environment Australia (1997) 「Urban Air Pollution in Australia」
10. Environment AUSTRALIA(1997) 「Transport Logistics Supporting Report NO.3—Task Group5」
11. WORLDBANK(1998) 「Urban air Quality Management」

12. WORLDBANK(1997) 「Urban air Quality Management Strategy In Asia」
13. USEPA(2000) 「Control of Mobile Source Air Toxics」
14. Colorado(2003) 「Urban Air Toxics Strategy—3 Years Later」
15. WorldBank(1996) 「Air Pollution from Motor Vehicles」
16. Noel DE Nevers 「Air Pollution Control Engineering」 p425-p427。
17. Perry, R., Gee, I.L.(1993) 「Vehicle Emission in Relation to Fuel Composition.」
18. Norbert V. et al. ,atom. Enviro.34(2000) 「Velocity-dependent emission factors of benzene, toluene and C2-benzenes of passenger car equipped with and without a regulated 3-way catalyst」 p1123-p1137
19. 高雄市衛生局(88) 「高雄市空氣中健康危害物分佈調查暨健康風險評估」
20. 高雄市環保局(91) 「都會區有害空氣污染物管理暨對人體健康效應之影響」
21. 行政院環保署(89) 「汽油空氣污染防制費分及收費制度及車用油品管制制度建立計畫」
22. 行政院環保署(91) 「中小型廢棄物焚化爐、煉鋼廠電弧爐及非鐵金屬冶煉業戴奧辛排放減量改善計畫」
23. 行政院環保署(92) 「空氣污染物排放量清冊更新管理及空氣品質折耗量推估計畫」
24. 行政院環保署(92) 「車用汽柴油油品查驗及空氣污染防制費查核」
25. 行政院環保署(89) 「南高屏地區空氣污染總量管制規劃(控制對策組)—附冊B」
26. A&WMA 96th Annual Conference & Exhibition(2003) 「Quantitative Evaluation of the EPA Urban Air Toxics Modeling Strategy:Results of Sensitivity Studies」
27. A&WMA 96th Annual Conference & Exhibition(2003) 「Health Risk Assessments for Diesel Particulate Matter from Motor Vehicles using the ISCST3 Model」
28. 謝佳霖(民國 88 年) 「不同污染源對大氣中有害空氣污染物濃度相對貢獻量在風險評估程序中之不確定性研究」
29. 洪世明(民國 92 年) 「焚化廠戴奧辛之健康風險評估及其大氣物理及化學反應模擬」

都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估

期末報告

執行期程：92年4月1日至92年12月31日

子計畫一：工業都會區污染源有機性有害空氣污染物排放特徵與排放係數調查研究

(計畫編號：NSC92-EPA-Z-242-001)

計畫主持人：江鴻龍教授

共同主持人：許逸群教授

執行單位：輔英科技大學環境工程衛生系

崑山科技大學環境工程系

子計畫二：工業都會區有機性有害空氣污染物控制技術及效益評估

(計畫編號：NSC 92-EPA-Z-327-003)

計畫主持人：林銳敏教授

執行單位：國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系

子計畫三：工業都會區有機性有害空氣污染物影響暨管制有效性評估研究

(計畫編號：NSC 92-EPA-Z-006-002)

計畫主持人：蔡俊鴻教授

協同主持人：溫麗琪博士

執行單位：國立成功大學環境工程學系

中華經濟研究院

都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估

目 錄

摘要.....	I
計畫整合成果.....	1
一、前言.....	1
二、總計畫工作成果.....	2
三、各子計畫執行成果.....	2
(一)子計畫一.....	2
(二)子計畫二.....	4
(三)子計畫三.....	6
期中審查意見回覆.....	9
期末審查意見回覆.....	12

都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估

摘要

本計畫今年度(92)擴大有機性有害空氣污染物(Organic Hazard Air Pollutants)調查研究，以高雄工業都會區為研究區域，選定苯、甲苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、氯乙烯、甲醛等為標的污染物。固定源排放調查乃由 TEDS 排放資料庫及排放源調查研究報告，篩出排放量前百大工廠清單，據以分出排放量較大六行業；彙整六行業製程排放量大之有機性 HAPs 物種依序為甲苯、苯、三氯乙烯、1,2-二氯乙烷、甲醛及氯乙烯，主要排放製程為戊烷異構化程序及油漆化學製造程序。移動源推估乃採交通量調查法，援引 TEDS 5.0 估算 HAPs 物種排放量；結果顯示主要道路排放量大之物種為甲苯、苯及二甲苯；依車輛種類區分，則以汽油車排放量最大。

彙整解析所獲排放量資料進行目標物種排放源製程排放量及總量分析，固定源中 1,2-二氯乙烷、三氯乙烯之排放量不大，另發現對二甲苯排放較大而納入調查；固定源以製程符合 BACT 規範程度分析減量潛勢，評估結果顯示固定源標的污染物主要排放製程經控制後約可降低苯 58.1 噸/年、甲苯 30 噸/年、對二甲苯 10.6 噸/年、氯乙烯 18.2 噸/年及甲醛 2.5 噸/年排放量。移動源以加嚴機車排氣標準進行減量估算可減少苯 53 噸/年、甲苯 127 噸/年、二甲苯 25 噸/年及乙苯 11 噸/年排放量。

VOCs 大氣濃度量測部份乃選定前金、林園測站進行現場採樣；結果顯示，大氣中 VOCs 濃度依序為甲苯及乙苯。不論在交通尖峰與離峰時段，前金測站所測得濃度皆高於林園測站，顯示移動源所致影響大於固定源。另外，利用大氣擴散模式模擬 HAPs(以苯與甲苯為模擬物種)可能造成之年平均濃度分佈；結果顯示，固定源與移動源經控制後苯所致致癌風險呈現些許降低趨勢，唯仍大於建議管制目標 1×10^{-6} ，應持續管制，甲苯均小於管制目標值；唯固定源廠區逸散甲苯控制後危害指數達 0.14，與其他 HAP 物種累計危害風險不可輕忽。

整合執行期間蒐集之國外文獻與台灣地區都會區有害空氣污染物相關研究計畫，研擬高雄工業都會區 HAPs 管制策略架構主軸，針對固定源與移動源進行二階段管制。第一階段管制策略乃為「排放減量」，以削減污染源排放量為主軸，針對排放量大且危害強度高之污染物要求排放源進行減量。第二階段則納入健康風險觀念，針對造成熱點(Hot-Spot)之污染源推動管制，進一步要求 HAP 排放控制，並應用風險評估工具瞭解特定區域所致健康危害，以達成維護民眾健康目標。此外，進行 HAP 排放量/濃度之背景資料調查、建置 HAP 排放資料庫，以做為篩選管制物種及排放污染源之依據，皆為推動 HAP 管制策略之重要先期工作，建議分年逐步推動執行。

關鍵字：有機性有害空氣污染物、排放係數、控制技術、風險評估模擬、管制策略

ABSTRACT

This project was designed to study the control strategy of hazardous air pollutants (HAPs) in industrialized urban area in Southern Taiwan. Base on the emission and the toxicity the target compounds in this study were determined. The target HAPs included Benzene, Toluene, 1,2-Dichloroethane, Trichloroethylene, Vinyl Chloride, and Formaldehyde. Emission inventory shows Toluene, Benzene and Trichloroethylene were released by stationary sources dominantly. For mobile source the main HAPs were Toluene, Benzene and Xylene. Gasoline vehicles were the principal emission source.

Adopting BACT in stationary sources and strengthen exhaust standard in mobile source, may reduce HAPs emissions. Proposed BACT in major process may reduce benzene (58 ton/year), toluene (30 ton/year), and xylene (11 ton/year). Strengthen motor vehicles exhaust standard may reduce benzene (53 ton/year), toluene (127 ton/year), and xylene(25 ton/year).

Ambient VOCs concentration in Qian-jin station and Lin-yuan station indicated that Toluene and Ethylbenzene were the abundant species. VOCs concentration in Qian-jin station is higher than Lin-yuan station regardless of rush hour or normal. The risk of benzene (carcinogen) and toluene (non-carcinogen) from a stationary and mobile source in Kaohsiung area were higher than the acceptable level. Abatement of emission resulted the cancer risk of benzene from both sources were slight reduced, but still greater than 10^{-6} . However, hazardous index, derived by non-carcinogen HAPs, was less than 0.1 for both of stationary and mobile sources.

The proposed organic HAPs control strategy in Kaohsiung area contains two parts: stationary source and mobile source. Control strategy should be performed by the following procedures: HAPs investigation, screen HAP species and sources, and control strategy. The frameworks of HAPs control strategy has been designed into two stages. The technology-based control strategies are focus on emission reduction at first. Then, the risk-based control strategy is carried out to reduce the public health risk, especially in hot spot sources. The hot spot sources of organic HAPs are requested to improve the control efficiency for the reduction of organic HAPs.

Key words: organic hazardous air pollutants, volatile organic compounds, control technology, risk management, air toxics integrated urban strategies.

都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估

計畫整合成果

一、前言

有害空氣污染物(Hazardous Air Pollutions, HAPs)問題為世界先進各國繼一般污染物管制具成效後所重視之空氣污染問題，台灣地區有害空氣污染物尚欠缺整體性之管制架構，重要有害空氣污染物名單尚不明確，除早期委託計畫曾進行國內行業排放 HAPs 調查，篩選出建議 30 種優先列管 HAPs 後，至今亦無全面性調查資料可供名單更新參考。本計畫上年度(91)已針對 VOCs 篩選標的污染物以高雄地區為研究區域進行排放量、可行控制技術及排放所致危害影響區域進行初步探討。根據上年度所得研究成果及所蒐集國外 HAP 管制發展經驗顯示，都會區由於人口稠密及排放集中等因素，HAP 所致排放影響甚鉅，國外有害空氣污染物管制已逐漸重視此議題。都會區 HAP 因都會區地理、氣象條件，多重污染源類別混合所產生之加成效果，對人體健康影響更為顯著。基於保護人體健康，歐美國家已開始推動都會區有害空氣污染物危害評估與管制策略研訂。另在污染物種研究上亦呈現出由於都會區污染排放型態所致揮發性有機性物對人體健康之危害性；因此未來管制焦點放在「都會區」管制具有意義。緣此，本研究計畫第二年乃以國外人口密集區(即都會區)HAP 管制經驗為資料收集重點，並據以研擬「高雄都會區」有害空氣污染物管制策略。

本年度(92)除將都會區列為管制區域外，另擴大有機性有害空氣污染物調查物種，以高雄地區為研究區域，調查區內主要污染源之揮發性有害空氣污染物(VOCs-HAPs)排放清單，配合空氣品質模式模擬主要污染物濃度分佈，並以實測分析補充不足之污染源污染物特徵與排放係數，進而探討民眾面臨有害空氣污染物所致影響。計畫架構乃參酌國外都會區有害空氣污染物管制架構與控制技術推動經驗，評估減量控制技術，再整合第一年研究成果，充分掌握高雄工業都會區有機性有害空氣污染物管制優先性，提供未來建構高雄工業都會區有害空氣污染物減量策略架構參考。

本整合計畫共分為三項子計畫，各子計畫間關聯極為密切，子計畫一(工業都會區污染源有機性有害空氣污染物排放特徵與排放係數調查研究)提供高雄工業都會區污染源有害空氣污染物排放量推估、排放清單建置及排放係數本土化資訊；子計畫二(工業都會區有機性有害空氣污染物控制技術及效益評估)主要分析污染源排放 HAPs 類別以探討固定污染源減量控制技術，並建立固定源 HAPs 成本評估程序，提供管制策略研擬參考；子計畫三(工業都會區有機性有害空氣污染物影響暨管制有效性評估研究)負責蒐集都會區有害空氣污染物管制策略背景料提供各子計畫所需，整合排放清單(子計畫一)及整合控制技術(子計畫二)結果，研議高雄工業都會區 HAPs 管制策略。

二、總計畫工作成果

管理性計畫負責主持工作會議並整合各子計畫之工作成果，計畫執行期間共召開 10 次工作會議，並邀請環保專業人士座談。研究目標係建置都會區有害空氣污染物管制策略架構，解析有害空氣污染物管制策略推動機制及作業系統。本年度研究成果如下：

1. 蒐集解析包含美國、歐洲、亞洲及紐澳地區都會區有害空氣污染物管制發展與策略規範相關文獻，提供計畫研擬都會區有害空氣污染物管制策略參考。
2. 蒐集國內有機性有害空氣污染物調查研究資料，以排放量調查資料、高雄地區大氣環境濃度調查資料為主。
3. 由第一年(91)排放量估算結果配合物種危害權重強度，研定今年研究標的污染物種為苯、甲苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、氯乙烯、甲醛 6 種。
4. 推估高屏地區前百大工廠各行業 THC 排放量，依行業別計算 THC 排放量，排序篩選出前 6 大行業別：石油化工原料製造、鋼鐵冶煉業、石油煉製業、合成樹脂及塑膠製造業、塗料、漆料及相關產品製造業、合成橡膠製造業為今年研究污染行業別。
5. 本計畫執行期間每月召開一次工作會議，截至目前共召開 10 次工作會議，由各子計畫主持人報告執行進度、階段性成果，並協調各子計畫連結性工作。並於 92 年 12 月辦理「都會區有機性有害空氣污染物」座談會，邀請環保專業人士探討有害空氣污染物之管制策略與執行配套方式，提供計畫規劃研擬管制策略參考。

三、各子計畫執行成果

(一)子計畫一

彙整建立有害空氣污染物排放量推估方法及探討高雄都會區有機性有害空氣污染物中 VOCs 排放特徵及建置清單；於固定源部份乃彙整排放源調查相關研究報告，配合縣市環保局 THC 修正清單資料，瞭解研究區內排放量較大之工廠，計算所得 THC 總排放量合計為 47,903 公噸/年，篩選其中排放量前百大之工廠清單，所得 THC 排放量約為 35,058 公噸/年，佔高雄都會區總排放量 73 %。再以前百大工廠清單篩分出排放量較大之六行業，分別為石油化工原料製造業、石油煉製業、合成樹脂及塑膠製造業、合成橡膠製造業、塗料漆料及相關產品製造業、鋼鐵冶煉業，前六大行業 THC 排放量約佔前百大工廠 THC 排放量之 91.8 %。因目前 TED 5.1 版資料庫正更新建置中，部份工廠製程有遺漏，因而計畫中 HAPs 估算將援用縣市環保局資料。此六行業之 THC 管道/逸散排放比例約為 1：7。

六行業中有機性有害空氣污染物排放推估乃參考縣市環保局污染源排放資料數據，援引其中工廠相關製程編碼資料及污染源分類碼 SCC 碼，彙整單一工廠管道排放

與製程逸散之 THC 排放資料，配合 FIRE6.23 資料庫載錄之細項有機污染物及相關研究報告之排放係數，將排放係數進行百分率換算，估算行業別單一工廠相關製程之有害空氣污染物排放量。彙整六行業工廠相關製程排放之單項有機化合物，排放量大的 HAPs 物種依序為甲苯（1,383 公噸/年）、苯（1,312 公噸/年）、二甲苯（1,162 公噸/年）、丁酮（547 公噸/年）、苯乙烯（499 公噸/年）。而計畫目標污染物排放量為甲苯（1,383 公噸/年）、苯（1,312 公噸/年）、三氯乙烯（65 公噸/年）、1,2-二氯乙烷（62 公噸/年）、甲醛（56 公噸/年）、氯乙烯（44 公噸/年）。如表 1 所示。

表 1 高雄都會區固定源目標 HAPs 污染物排放量（公噸/年）

行業別 \ 污染物	苯	甲苯	1,2-二氯乙烷	三氯乙烯	氯乙烯	甲醛
石油化工原料製造業	325.90	551.45	61.63	65.32	22.36	29.36
石油煉製業	983.96	547.77	--	--	--	0.70
合成樹脂及塑膠製造業	0.45	228.34	--	--	22.03	23.53
合成橡膠製造業	0.02	20.91	--	--	--	0.87
塗料,漆料及相關產品製造業	0.71	30.58	--	--	--	0.41
鋼鐵冶煉業	1.03	3.73	--	0.08	--	1.54
總計	1,312	1,383	62	65	44	56

目標行業中主要有害空氣污染物排放製程分別為戊烷異構化程序、油漆化學製造程序、煤組程序、輕油裂解程序、芳香烴製造程序、其他石油製品製造程序、加氫脫硫處理程、第二異構化程序，前 10 大製程 HAPs 排放量推估結果如表 2 所示。

表 2 高雄都會區固定源六行業中前 10 大製程目標污染物排放量（公噸/年）

製程名稱 \ 污染物	1,2-二氯乙烷	苯	甲醛	三氯乙烯	甲苯	氯乙烯
燒結程序	--	0.93	--	0.04	3.22	--
煉焦程序	--	0.06	--	0.04	0.40	--
戊烷異構化程序	--	243.93	--	--	134.95	--
煤組程序程序	--	181.40	--	--	100.36	--
芳香烴程序	--	111.38	--	--	76.13	--
輕油裂解程序	--	149.88	--	--	82.92	--
PU 皮製造(乾) 程序	--	0.00	--	--	198.96	--
其他石油製品程序	--	91.17	--	--	50.44	--
加氫脫硫程序	--	90.33	--	--	49.98	--
第二異構化程序	--	74.13	--	--	41.01	--

移動源推估方法使用交通量調查法，推算不同車種於各道路之車行里程，再由該道路之平均車行速度，援引 TEDS5.0 移動源 THC 排放係數，可推算該車種於各道路之 THC 排放量，最後將 HAPs 物種在總 VOCs 中所佔比例與 THC 排放量與相乘，即求得各 HAPs 物種之排放量。

高雄工業都會區主要道路有機性 HAPs 排放量依序為甲苯 (591 公噸/年)、苯 (300 公噸/年)、二甲苯 (231 公噸/年)、乙苯 (77 公噸/年)、苯乙烯 (6 公噸/年)。單一道路以國道一號及中華路 HAPs 排放量為最大。依車輛種類特性區分，HAPs 排放量依序為甲苯(2,447 公噸/年)、苯(1,181 公噸/年)、二甲苯(905 公噸/年)、乙苯(304 公噸/年)、苯乙烯(23 公噸/年)；各類車種中又以汽油車排放之有機 HAPs 量為最大，其排放量大小依序為甲苯 (893 公噸/年)、二甲苯 (537 公噸/年)、苯 (464 公噸/年)、乙苯 (140 公噸/年)、苯乙烯 (8 公噸/年)。詳如表 3.所示。

表 3.高雄都會區移動源車種別有機性 HAPs 排放量(公噸/年)

車種 \ 污染物	苯	甲苯	乙苯	二甲苯	苯乙烯
二行程機車	329	795	69	158	8
四行程機車	226	676	61	151	7
汽油車	464	893	140	536	8
柴油車	162	83	34	60	0
總計	1,181	2,447	304	905	23

(二)子計畫二

以有機性有害空氣污染物主要排放源為對象，解析其產生及生成機制、排放控制技術及效率，輔以國內外 BACT 控制技術套用之可能性，掌握其可能減量，分析主要排放源排放有機性有害空氣污染物控制技術之成本效益，以達成改善空氣品質、維護環境及健康之目標。

依總計畫篩選之六項標的污染物彙整子計畫一排放量資料，以固定源排放量為主，其中 1,2-二氯乙烷、三氯乙烯二物種在固定源排放量中排放量不大，故加入對-二甲苯。固定源管道苯排放以 I 廠馬林酞製造程序為最(21.00 噸/年，佔高雄都會區 37.4%)、H 廠重油脫硫程序次之(18.79 噸/年，佔高雄都會區 33.4%)；固定源管道甲苯排放以 A 廠 PU 皮製造程序乾式為最(198.96 噸/年，佔高雄都會區 74.0%)、PU 皮製造程序濕式次之(18.24 噸/年，分別佔高雄都會區 6.8%)；固定源管道氯乙烯排放以 F 廠聚氯乙烯化學製造程序為最(45.30 噸/年，佔高雄都會區 69.4%)、A 廠 PVC 皮製造程序次之(16.90 噸/年，佔高雄都會區 25.9%)；固定源管道甲醛排放以 E 廠甲醛製造程序為最(23.07 噸/年，佔高雄

都會區 62.4%)、J 廠三聚甲醛化學製造程序(11.59 噸/年，佔高雄都會區 31.4%)；固定源管道對二甲苯排放以 D 廠對苯二甲酸化學製造程序為最(453.81 噸/年，佔高雄都會區 92.4%)。詳如表 3 所示。

固定源廠區逸散主要因為各製程排放量所佔高雄都會區排放量比例不高，故將以廠來區分，主要以 H 廠中各製程總排放量為最(總排放量為 518.88 噸/年，佔高雄都會區 41.3%)；固定源逸散甲苯排放主要因為各製程排放量所佔高雄都會區排放量比例不高，故將以廠來區分，主要以 H 廠中各製程總排放量為最(總排放量為 287.06 噸/年，佔高雄都會區 25.8%)、C 廠儲槽次之(266.46 噸/年，佔高雄都會區 23.9%)；固定源逸散氯乙烯排放以 F 廠聚氯乙烯化學製造程序為最(19.06 噸/年，佔高雄都會區 48.1%)、G 廠丙烯酸及丙烯酸脂類化學製造程序次之(16.01 噸/年，佔高雄都會區 39.3%)；固定源逸散甲醛排放以 J 廠甲醛製造程序和三聚甲醛化學製造程序為主(為 6.56 噸/年和 6.50 噸/年，分別佔 33.7%及 33.4%)；固定源逸散對二甲苯排放主要因為各製程排放量所佔高雄都會區排放量比例不高，故將以廠來區分，主要以 H 廠中各製程總排放量為最(總排放量為 79.45 噸/年，佔高雄都會區 35.7%)。

在減量評估方面，主要以技術基準為主。目前國內並未有有害空氣污染物管制規範及排放標準。因此減量評估則利用目前之污染源排放現況(排放濃度、排放量、現有控制措施設備之效率等)輔以與目標排放污染相關之排放規範及法規加以探討其減量空間。參考相關減量潛勢文獻資料，整理彙整出計算減量空間方式，BACT 資料方面則參考台灣 BACT 資料，並利用現場探查資料，來進行減量潛勢分析。經整理後目標物種排放源製程排放量及總量分析如表 4 所示。

表 3 篩選固定源管道 BACT 控制減量製程

行業別	主要排放製程別	主要 HAP	排放量 (噸/年)	佔該物種 總排放量%
石油化工原料製造	馬林酐製造程序	苯	21.0	37.4
石油煉製業	重油脫硫程序	苯	18.8	33.4
合成樹脂及塑膠製造業	PU 皮製造程序(乾式)	甲苯	198.9	74
合成樹脂及塑膠製造業	PU 皮製造程序(濕式)	甲苯	18.2	6.8
石油化工原料製造	苯乙烯製造程序	甲苯	11.9	4.4
石油煉製業	重油脫硫程序	甲苯	10.4	3.9
石油化工原料製造	對苯二甲酸化學製造程序	對二甲苯	453.8	92.4
合成樹脂及塑膠製造業	甲醛製造程序	甲醛	23.1	62.4
石油化工原料製造	三氯甲醛製造程序	甲醛	11.6	31.4
石油化工原料製造	聚氯乙烯化學製造程序	氯乙烯	45.3	69.4
合成樹脂及塑膠製造業	PVC 皮製造程序	氯乙烯	16.9	25.9

表 4 .目標物種排放源製程減量潛勢分析

物種	類別	公私場所	製程	減量空間 (ton/yr)	減量貢獻 比例(%)
苯	逸散	H	戊烷異構化程序	10.49	0.8
			煤組程序	20.48	1.6
			硫磺回收處理程序	6.16	0.5
			柴油加氫處理程序	3.95	0.3
			輕油分煉程序	7.14	0.6
			重油脫硫程序	9.18	0.7
			油氣純化程序	0.70	0.1
甲苯	逸散	H	戊烷異構化程序	5.80	0.5
			煤組程序	11.33	1.0
			硫磺回收處理程序	3.14	0.3
			柴油加氫處理程序	2.10	0.2
			輕油分煉程序	3.80	0.3
			重油脫硫程序	3.16	0.3
			油氣純化程序	0.39	0.0
對二甲苯	管道	D	對苯二甲酸化學製造程序	0.15	0.0
	逸散	H	戊烷異構化程序	1.61	0.7
			煤組程序	3.14	1.4
			硫磺回收處理程序	0.94	0.4
			柴油加氫處理程序	0.60	0.3
			輕油分煉程序	1.09	0.5
			重油脫硫程序	2.94	1.3
油氣純化程序	0.11	0.1			
甲醛	逸散	J	三聚甲醛化學製造程序	0.26	1.3
			甲醛製造程序	2.24	11.5
氯乙烯	管道	F	聚氯乙烯化學製造程序	0.88	1.3
	逸散	F	聚氯乙烯化學製造程序	9.09	22.3
		G	乙烯-丙烯共聚合物化學製造程序	8.19	20.1

註：減量空間：此公私場所該製程該目標物種減量空間。

減量貢獻：此公私場所減量空間對高雄都會區該目標物種總量之減量比例

(三)子計畫三

本子項計畫參考國外都會區管制策略及減量控制技術，以高雄工業都會區為研究區域，評估不同污染源排放有機性有害空氣污染物於工業都會區所致危害影響，彙整前二項子計畫排放量估算成果與控制技術排放減量推估成果，並解析高雄工業都會區主要有機性有害空氣污染物影響來源及主要貢獻程度，判斷優先減量污染源及污染物種，規劃具危害性之揮發性有害空氣污染物減量措施。

由前一年計畫成果得知歐美等先進國家已逐漸重視都會區 HAP 所致影響，因而本年度計畫執行期間針對各國都會區有害空氣污染物固定源與移動源管制作業要求標準

與管制架構廣泛收集，其中美國聯邦政府於 90 年代末期進行都會區有害空氣污染物管制計畫，架構較為完善；OECD 亦於 1999 年針對都會區危害影響，公佈都會區優先列管 HAPs(分重金屬與 VOCs 二大類，共 15 種)，訂定 HAPs 允許排放濃度限值作為管制基準；其他國家(如：英國、澳洲、加拿大、日本等)則仍屬起步階段。

美國聯邦之都會區有害空氣污染物管制策略計畫，其管制目標乃為降低都會區有害空氣污染物所致影響並有效改善全國空氣品質。「整合型都會區有害空氣污染物管制策略」已公佈 33 種都會區優先管制 HAPs 物種及 21 種移動源優先管制 HAPs，聯邦主要權責為訂定都會區健康風險目標(即管制標準)，州政府及地方政府則訂定管制規範以達聯邦要求。固定源管制以小型污染源及面源(排放量較小，單一 HAP 物種年排放量小於 10 公噸，或二種以上 HAP 混合年排放量小於 25 公噸)為主，採技術基準為管制主軸，於 1999 年公佈 29 種都會區優先列管面源，並於 2002 年增加 18 種都會區優先管制面源類別。移動源著重於柴油廢氣排放管制，推動 3 項減量對策：柴油引擎管制、清潔燃料及削減車行里程，預估執行移動源管制規範後 20 年內，美國 HAP 排放量中移動源所致比例將會明顯降低，尤其是氣態有害空氣污染物及柴油微粒與柴油引擎排放之有機氣體(DPM+DEOG)。其他國家部份，歐洲經濟合作組織(OECD)對都會區有害空氣污染物管制計畫由監測結果篩選出 15 項指標污染物，包含 5 種重金屬及 10 種 VOCs，訂定允許排放濃度限值。參考世界銀行所做研究報告，亞洲國家亦開始逐步重視都會區 HAP 管制工作，唯現階段仍以提昇整體空氣品質為主。

本年度研究計畫延續上一年度研究目標，根據去年暴露評估(利用 ISCST3 模式模擬)之污染濃度發生高值的受體位置，評選前金(代表都會區交通測站)、林園測站(代表工業區固定源測站)於 92 年 7 月 26~29 日以及 10 月 16~19 日(假日/非假日)之交通尖峰(上午 07~09 時)、離峰(下午 14~16 時)時段進行兩次 VOCs 大氣濃度現場採樣。採樣分析結果依物種濃度來看，苯、甲苯、乙苯、二甲苯等苯系物種以甲苯濃度最高，其次為乙苯、間、對-二甲苯、鄰-二甲苯、苯、苯乙烯；測站物種濃度分析結果皆以前金測站 HAP 物種濃度較高，顯示都會區移動源所致污染物影響大於固定源。

高雄工業都會區大氣背景濃度調查與風險模擬結果顯示該地區移動源所致 HAP 危害影響大於固定源，本計畫參酌國外移動源管制經驗並彙整台灣目前移動源管制現況，篩選「加嚴機車排氣標準」與「汽油油品改善」二控制對策探討可行減量空間。以民國 93 年 1 月開始實施機車第四期排氣標準為基準，依各定檢站統計資料估算高雄工業都會區機車加嚴至第四期排氣標準之減量潛勢，推估結果約可降低排放量分別為：苯 53 噸/年、甲苯 127 噸/年、二甲苯 25 噸/年及乙苯 11 噸/年排放量。台灣地區汽油油品於 96 年將推行更嚴格之油品標準，參考美國複雜模式減量係數結果，現行汽油油品標準(91 年標準)提升至 96 年標準，預估可減少 6.7%之有害空氣污染物排放量及 4.1%總揮發性有機物(VOCs)排放量。

依據子計畫一所提供之高雄工業都會區 HAPs 排放量清單及子計畫二之固定源排放

減量潛勢推估結果與移動源實施控制對策之減量成果，模擬研究區域苯及甲苯之風險危害分佈。結果顯示，執行控制對策後固定源管道排放苯之個體最大致癌風險影響不明顯維持 34.2×10^{-6} ，廠區逸散由 $2,908 \times 10^{-6}$ 降至 $2,584 \times 10^{-6}$ ，移動源則由 355×10^{-6} 降至 270×10^{-6} ；非致癌物甲苯之模擬結果固定源管道最大危害指數變化不大約為 0.045，廠區逸散由 0.15 降至 0.14，移動源由 0.077 降至 0.063。固定源與移動源經控制後苯所致致癌風險呈現些許降低趨勢，唯仍大於建議管制目標 1×10^{-6} ，應持續管制，甲苯均小於管制目標值唯固定源廠區逸散甲苯控制後危害指數仍達 0.14 與其他 HAP 物種累計危害風險不可輕忽。

整合二年度各子計畫之研究成果及執行期間蒐集之國外文獻，初步研擬高雄工業都會區有害空氣污染物管制策略架構主軸，針對固定源(包括管道排放及逸散面源)與移動源二類污染源進行二階段漸進式管制。整體策略規劃之第一階段管制策略乃為「排放減量」，採技術基準為基礎以減少 HAPs 排放量為目標，運用可行控制對策管制污染源排放，達成減量目標；固定源以要求最佳可行控制技術(BACT)為主，移動源 HAP 排放減量管制以「技術基準」為優先，藉提昇燃料品質及車輛排氣控制效率等相關控制對策達到降低整體空氣污染物排放量之效。第二階段則納入健康風險觀念，針對 HAP 所致危害顯著或經排放控制後 HAP 排放量與濃度仍超出環境涵容能力之污染源(即所謂熱點(Hot-Spot)進行管制，進一步要求 HAP 排放控制，並應用風險評估工具瞭解特定區域所致健康危害，以達成維護民眾健康目標。此外，推動管制策略前需先進行 HAP 排放量/濃度之背景資料調查、建置 HAP 排放資料庫等先期作業，以做為篩選管制物種及排放污染源之篩選依據。高雄都會區 HAP 管制亦以調查高雄地區 HAP 污染危害影響為首要，此部份彙整高雄地區環境濃度、排放污染源與 HAP 排放量調查相關資料，了解高雄都會區 HAP 危害分佈情形，提供健康風險評估、背景環境建置工作，定期更新排放數據資料以評估 HAPs 減量成效。

於固定源 HAP 管制架構規劃上，建議排放達一定規模以上或毒性影響顯著之污染源需以技術要求優先管制，若未達標準要求者須採更嚴格之 Toxics BACT，以期達成整體減量目標。經技術要求後之固定源排放 HAPs 再以健康影響方向考量所致危害，藉由風險評估程序篩出危害影響重大區域(即 Hot Spot 地區)優先管制，進一步要求減量，以使危害影響降至目標值以下。移動源 HAP 管制架構因車種性能、排放特性與燃料各異，故區分汽油車、柴油車與機車三類進行管制；考量台灣地區污染現況、控制對策之執行可行性，依不同車種篩選可行控制對策進行 HAP 排放減量控制，可行移動源排放 HAP 管制策略有六項：(1)分階段降低汽油含鉛量，(2)限制汽油揮發性 HAP 含量，(3)油品改善，(4)限制柴油含硫量，(5)提昇新型車輛排氣標準與(6)運輸管理計畫。

「都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估」

期中審查意見回覆

子計畫一(工業都會區污染源有機性有害空氣污染物排放特徵與排放係數調查研究)

	審查委員意見	意見答覆
1	估計排放量所依據的資料以及所做的假設而造成的估計誤差與變動性是否可能酌予考量。	遵照辦理，並酌予評估。
2	排放量推估的變動性(%)，建議加以評估。	遵照辦理，且在後續推估過程，加以說明。
3	對於縣市環保局推估 THC 排放量與 TEDs5.1 有重大差異，請加以說明，並建議兩種方法的適用狀況。	縣市環保局資料為檢測及抽測數據，而 TEDs5.1 資料為排放許可數據，因此會有差異。檢測及抽測數據為實際操作時所排放；而排放許可數據為申請排放許可時之最大排放量，因此進行排放量推估時，以實際操作時排放量為依據較為適當。
4	從 THC 排放推估 HAP 所用的比例，宜說明來源。	1.固定源部份援用 US.EPA 之 FIRE6.23 資料庫中 HAPs 污染物種排放係數，將碳氫化合物加總數據與各物種係數經換算後，得到各物種所佔之比例，進行推估。 2.移動源部份參考國內相關研究報告之實測數據，建立汽油車、機車排放污染物種係數及 THC 排放係數等資料，經換算後，得到各物種所佔之比例，進行推估。
5	排放係數參考現有資料庫外，建議就實際調查數據，加以比對，以使估算值更為準確。	已計畫對排放量大之相關工廠製程，進行實地採樣，並將實測值與現有資料庫進行比對。

期中審查意見回覆

子計畫二：工業都會區有機性有害空氣污染物控制技術及效益評估

	審 查 意 見	意 見 回 覆
1	初步研究成果明確，相當值得肯定。	謝謝委員指導。
2	研究中關於重要的源頭減量與控制技術之資訊是否思考酌予加入。	謝謝委員指導。減量評估主要依 BACT 所列控制減量方法為主，其內容部份已包括源頭減量之考量。
3	現階段已有目標行業 HAPs 排放量的推估成果。	謝謝委員指導。
4	目標製程的成本評估方法建議說明各資料的來源。	謝謝委員指導。將於報告中補充說明。
5	目標製程的篩選原則宜加以補充。	謝謝委員指導。目標製程篩選乃依總計畫綜合評估後之六個目標物種及行業別中排放量較大且具減量區潛勢者。
6	各製程的 BACT 是來自文獻或現場已有的防治技術，請補充說明。	謝謝委員指導。將於報告中補充說明。
7	本計畫在其中報告階段，以控制成本估算為主，在效益資料尚為欠缺，宜在未來加強與參考本計畫之經濟方向相關研究人員合作，對於有形與無形效益進行評估，應儘可能加以量化，以提昇 HAPs 管制管理之行改執行可行性。	謝謝委員指導。將於報告中補充。
8	尚屬良好。	謝謝委員指導。

期中審查意見回覆

子計畫三：工業都會區有機性有害空氣污染物影響暨管制有效性評估研究

	審 查 意 見	意 見 回 覆
1	初步研究成果明確，相當值得肯定	謝謝指教
2	研究深入，涵蓋範圍完整	謝謝指教
3	HAP 管制策略之提出，令人期待。策略實施的成本與效益評估的誤差對策略建議的影響是否可能酌予考量？	謝謝指正。本計畫將嘗試解析評估誤差及其可能影響。
4	現階段已有相當的成果	謝謝指教
5	本計劃的 HAP 背景濃度的採樣次數影響數據的代表性及變動性，提請注意	本計畫於執行期間安排二次高雄地區大氣採樣，篩選二個點，每次每點各採樣二天，採樣方式利用 On-Line GC/FID 與 TO-14 不鏽鋼筒進行採樣，目前已執行 1 次環境濃度採樣，預計於 10 月再進行第二次大氣採樣，若數據分析結果變動太大，將再增加採樣次數。
6	高雄都會區 HAP 排放量在固定源、移動源、面源的比例是否能解析出	由於台灣地區面源 VOC 資料不確性高，需再進行排放量確認工作，今年度暫不作面源之相關討論；本計畫將整合高雄都會區固定源、移動源排放量資料，可呈現高雄地區不同污染源 HAP 貢獻比例。本年度 HAP 排放量解析以固定源與移動源為主要研究對象。
7	未來都會區 HAPs 之控制策略方向，可朝統計風險及成本效益效應，以提昇執行可行性及行政正當性，故建議本計畫，盡量朝此方向執行，應盡量收集國外資料，以供環保單位參考	謝謝指正。解析現有國外資料，尚未對 HAP 成本效益做討論，僅訂定風險目標值與成本有效性討論。本研究計畫會針對相關議題蒐集國外資料，並彙整國外 HAP 管制之成本效益評估方式，以供環保單位作為行政執行參考。
8	尚屬良好	謝謝指教

「都會區有害性空氣污染物之管制策略及效益評估」

期末審查意見回覆

	審 查 意 見	意 見 回 覆
1	減量潛勢的衡量以 BACT 為基準，但除此之外亦可藉由其他方式來減量，如特定方式納入考慮，減量潛勢的衡量結果將有何不同。在筆略上，是否可考慮多元的減量方式，藉以評估減量潛勢。	目前國內並無針對 HAPs 訂定有排放標準，因此減量之依據僅依已公告之 BACT 規範及行業別排放標準。至於源頭減量或製程替換乃屬產業界志願性或誘因性之政策，且依製程別及業別而不一。
2	以目前國內的資料而言，健康風險與 HAPs 排放量之間的統計關聯如何？相關資料的可及性及可靠性如何？	謝謝指正。HAP 物種所致風險與該物種之危害強度、排放地點(都會區、郊區)有關係，與其排放量並非成正相關關係。
3	本計劃所要達到的效益究竟是什麼？總排放量的減少，健康效益的增加，還是其他指標？推估的結果如何？	謝謝指正。今年度效益評估重點著重於單位減量之成本呈現，亦即僅就「直接成本」考量，並未納入「間接成本」(即整體社會所付出代價)，並以不同物種不同污染源貢獻危害影響人口數進行初步探討，提供未來 HAP 策略之參考。推估結果詳見報告第 4-4 節。
4	美國的各项策略以平均管制為主，我國未來適合採納的策略是否也適合以此種工具為主？是否可考慮改採納的配套措施(如誘因機制)	謝謝指正。由所蒐集之文獻指出，美國 HAP 管制乃以技術基準為主，輔以各項配套措施方式。本計畫參酌此策略基準與目前國內推動之揮發性有機物排放管制規劃，建置高雄工業都會區 HAP 管制策略架構；以技術基準管制為前提，並已納入誘因機制(如：鼓勵減量、排放收費)促使污染源污染改善；此外，並引進歐洲近年推動之「自發性減量」與「教育宣導」觀念，刺激產業界對環境改善之自發性意識與責任感，主動進行 HAPs 污染減量工作，以期達成「保護民眾健康」之目標。
5	子計劃間整合度佳，成果豐富	謝謝指正。

	審 查 意 見	意 見 回 覆
6	是否從個子計劃間所建立之方法能建立一動態系統模式，以作為決策工具。	謝謝指正。此動態系統模式涉及多種資料庫連結，包括即時排放量、物種指紋資料、氣象資料、模式模擬格式等，部分 HAP 相關基本資料庫仍待建立，未來推動 HAP 管制時可針對「動態系統模式」深入研究規劃。
7	明年柴油小汽車開放進口之衝擊是否能在本計畫所建立之方法流程下作成評估	謝謝指正。在背景資料(車輛數、平均行駛里程、排放量資料、污染物排放係數等資料)完善下，可依本計畫研擬之流程架構做 HAP 危害性評估。
8	減量第二階段在健康考慮下，進一步要求 Hot spot 之優先減量，是否應在法令面及公平正義原則下加以分析考量	謝謝指正。第一階段排放量削減後，若該污染源污染物排放量所致危害仍大於允許濃度範圍或允許排放量，則被認定為「Hot Spot」，為達保障民眾健康與環境空氣品質目標，本計畫建議針對 Hot Spot 優先進行管制，若 Hot Spot 主要貢獻源為移動污染源所致，則應為全面改善；若為特定區域工廠所致，則應減量至符合法規訂定基準值以下；唯相關執行準則仍需有法源依據，目前國內有害空氣污染物相關法規尚有待增修訂，建議環保署於後續推動有害空氣污染物管制規範時，可納入執行準則說明。
9	本年度 BACT 的符合度只要滿足排放濃度或是控制效率之一就可，與去年不同，是否為法規的改變	目前國內並未有針對 HAPs 訂定之排放標準或空品標準，因此本計畫減量空間之計算乃依「固定污染源最佳可行控制技術」及分列於行業別與 HAPs 相同物種之排放標準。
10	在油品改善的重心放在降低油品中硫含量，指出在煉油程序中已有「去氫脫硫製程」，因此不需額外投資，但操作成本是否會增加	汽油中 HAP 重要排放物種為苯，若於製程中降低苯含量於技術及經濟考量之可行性較低；然由製程中採降低硫含量以提昇觸媒轉化效率間接降低苯排放量，以製程操作成本而言，降低硫含量較降低苯含

	審查意見	意見回覆
		量具可行性。
11	在都會區 HAPs 管制策略的提出，第一階段以「技術基準」為策略，此階段的排放量削減可降低居民健康風險多少？建議可加以評估	謝謝指正。所規劃管制策略於第一階段乃以「技術基準」為原則，直接降低 HAP 排放量，間接降低民眾健康風險危害程度。詳細結果請見第 4-2 節。
12	目前對於健康風險的估算是以大氣濃度來考量，然而居民可能不會持續在此濃度暴露長時間，因此現階段的風險評估可能會有高估	本研究用於模擬風險之濃度乃為不同污染源周界大氣濃度，對該區域居民即為一般環境之暴露濃度。另比較大氣環境監測濃度與模擬濃度平均濃度之差異，甲苯模擬值($1.195 \mu\text{g}/\text{m}^3$) < 實測值($264 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，顯示模擬值具合理性。