

健康風險評估 在空氣品質管理之應用

李俊璋^{1*} 張偉翔¹ 劉希平² 陳錦煌³ 許惠敏⁴ 吳俊儀⁴ 鄭福田⁴

*¹成功大學醫學院環境醫學研究所 台南市

²輔仁大學公共衛生學系 台北市

³景丰科技股份有限公司 台北市

⁴環科工程顧問股份有限公司 台北市

⁵台灣大學環境工程學研究所 台北市

2012年05月 28日

前言

- 台灣具地小人稠之特性，工廠多與居民居住位置或相關敏感受體比鄰而處，使各類工廠排放之污染物對民眾健康和環境造成莫大衝擊與潛在性危害風險。
 - 環保署在96年推動VOCs空污費，已優先納入13種HAPs加徵的「經濟誘因」管制作法，期能達到「防制空氣污染、維護國民健康、生活環境，以提高生活品質」之目的。
- 各國對於空氣污染物管制初期多著重一般無機類，隨著對空氣污染物危害性、二次空氣污染物生成機制瞭解，與量化風險評估技術發展，各先進國家已逐漸意識到有害空氣污染物對人體健康和環境的衝擊和危害，因此積極推動各項有害空氣污染物管制作業。
- 環保署為順應國際管制趨勢，且基於有效維護民眾免於長期暴露有害空氣污染物所受可能危害風險，推動以健康風險評估之概念，應用於有害空氣污染物管理。

定義

- **健康風險評估 (Risk Assessment)** 是指「一種利用各種科學的資料、方法及技術來估計一個開發活動所排放之危害物質在排放後，對人體健康或環境造成影響之風險特性的程序」，因此其範疇包括如何評估危害物質對人體健康或環境之影響並加以量化，從而推估其發生之機率。
- **風險管理 (Risk Management)** 是指「一種以價值為基礎之程序，該程序在於決定何種程度的風險是顯著的，確認可以降低風險程度至不顯著程度之方法或方案。」因此，在風險管理上除健康風險外，需進一步考量成本/效益、公眾感受、控制技術可行性、政治可達性等因子後進行決策。

定義

- **風險溝通 (Risk Communication)** 是指「一種讓公眾知曉一個開發活動所排放之危害物質對人體健康或環境之影響風險，以及透過風險管理決策所確認足以降低風險之控制方法（方案）的程序」。基於基本溝通理論，此程序應為雙向的 (Two-way)，絕非單向之告知而已。

風險評估、風險管理與風險溝通之相關性

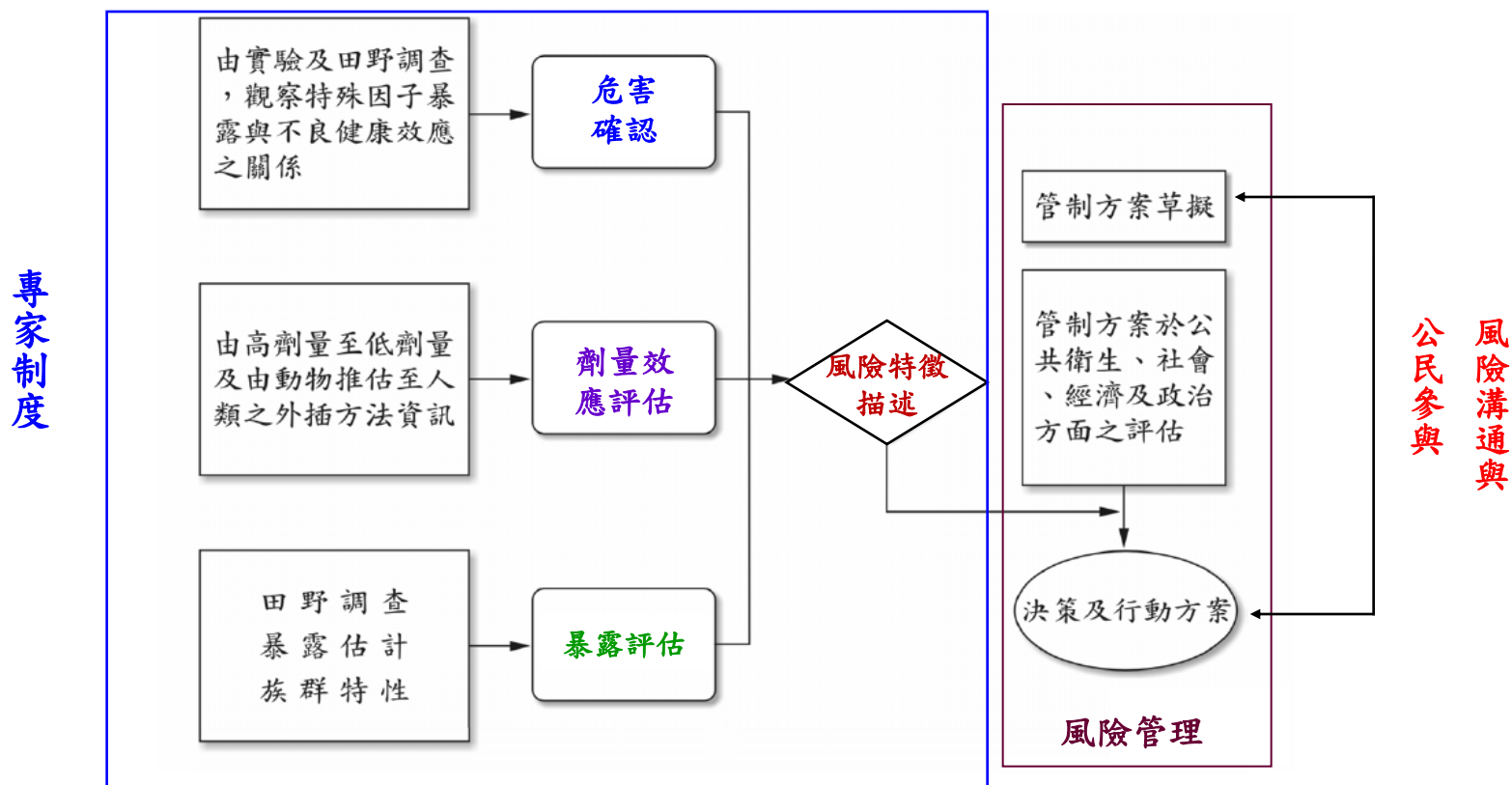


圖1 風險評估、風險管理與風險溝通之相關性

角色與定位

- 空氣品質管理就本質上係屬風險管理。因此，在空氣品質管理之內涵中，除健康風險外，尚須考量各項如政治、社會、經濟、民意、工程技術...等因子後，綜合所有因子進行價值判斷後完成決策及風險管理方案。
- 而在環保意識高漲之環境下，於風險管理及決策過程中，應引入公民參與，不斷的傾聽在地民眾與環境保護團體的意見，納入各種替代方案之考量，以尋求最佳之風險管理方案。
- 由於健康風險評估具高度專業性及科學性，因此其執行應交由專家進行，亦即應建立專家制度檢核執行方法之適當性。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

1. 危害確認：包括有害空氣污染物種類確認（列管種類界定、危害特性評析、運作量彙整作業、優先列管名單）、有害空氣污染物之毒性確認（致癌性、包括致畸胎性及生殖能力受損之生殖毒性、生長發育毒性、致突變性、系統毒性）、有害空氣污染物排放源、排放途徑及排放量之確認。
2. 劑量效應評估：致癌性有害空氣污染物應說明其**致癌斜率因子**，非致癌性有害空氣污染物應說明其**參考劑量或參考濃度**。
3. 暴露量評估：固定污染源所釋放有害空氣污染物經擴散後，經由各種介質及各種暴露途徑進入影響範圍內居民體內之**總暴露劑量**評估。
4. 風險特徵評估：依據前三項之結果加以綜合計算推估，有害空氣污染物影響範圍內居民暴露各種危害性化學物質之總致癌及總非致癌風險。風險估算應進行不確定性分析，並以九五%上限值為判定基準值。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

1. 危害確認：包括有害空氣污染物種類確認（列管種類界定、危害特性評析、運作量彙整作業、優先列管名單）、有害空氣污染物之毒性確認（致癌性、包括致畸胎性及生殖能力受損之生殖毒性、生長發育毒性、致突變性、系統毒性）、有害空氣污染物排放源、排放途徑及排放量之確認。
2. 劑量效應評估：致癌性有害空氣污染物應說明其**致癌斜率因子**，非致癌性有害空氣污染物應說明其**參考劑量或參考濃度**。
3. 暴露量評估：固定污染源所釋放有害空氣污染物經擴散後，經由各種介質及各種暴露途徑進入影響範圍內居民體內之**總暴露劑量**評估。
4. 風險特徵評估：依據前三項之結果加以綜合計算推估，有害空氣污染物影響範圍內居民暴露各種危害性化學物質之總致癌及總非致癌風險。
風險估算應進行不確定性分析，並以九五%上限值為判定基準值。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

一、危害性鑑定應涵蓋之項目

（一）物質辨識

- 名稱：
- 別名：
- 分子式：
- 化學註冊號碼：

（二）製造及使用

- 主要用途
- 製造加工方法

國內有害空氣污染物篩選標準作業程序

有害空氣污染物對象界定

彙整各國公告現況

彙整各國研訂現況，作為研究背景資訊

- ☐ 美國USEPA
- ☐ 日本環境省
- ☐ 加拿大CEPA
- ☐ 加拿大CEPA
- ☐ 德國(Federal Ministry for the Environment)

人體危害性

針對空氣中物種含量及毒性之機率進行評析。

- ☐ **蒸氣壓**：蒸氣壓越大代表揮發性越高。
- ☐ **容許濃度限值**：濃度限值越小表示毒性越高。
- ☐ **運作量**：倘無運作記錄，則無存在之可能性。

致癌性

以國際癌症研究中心(IARC)之分類標準為依據，建議管制物質清單以**2A級(含)以上**判別為對人類有**致癌性影響**之物質，以保護大眾健康不受有害空氣污染物的侵害。

- ☐ **Group 1**—使人類致癌者
- ☐ **Group 2A**—極可能使人類致癌者

健康危害程度分析

危害因子資料清單建立

針對**危害因子**彙整並建立清單。

- ☐ **致癌性**
- ☐ **生物累積性**
- ☐ **急性性**
- ☐ **運作量**

權重分析

☐ **權重分配方案建立**：考量各危險因子於固定變動下分析結果之相對變化程度。

☐ **污染物種排序**：延續方案分析結果，檢視變異性後排序。

法規完備性考量

考量法規之完備性，應將**現行規定與未來預定管制對象**列入建議優先公告之對象。

製程運作記錄

依據國內產業現況其使用物料與各國稍有差異，應進一步確認其管制對象是否存在。

- ☐ 經濟部關稅總局
- ☐ 環保署固定污染源資訊管理系統

建議優先調查污染物種之排序

第一階段篩選原則

第二階段篩選原則

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

一、危害確認應涵蓋之項目

（三）物理及化學性質

- 分子量：
- 沸點：
- 熔點：
- 密度及比重：
- 辛醇與水之分配係數：
- 溶解度：
- 蒸氣密度：
- 蒸氣壓：

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

一、危害確認應涵蓋之項目

（四）人體健康危害

- 毒性摘要
- 致癌證據

（五）動物毒性研究

- 毒性摘要
- 致癌證據

（六）排放來源及排放量

- 排放來源確認
- 可能暴露途徑
- 排放量鑑定結果

依據製造流程，在有害空氣污染物可能經過途徑，先將所有設備列成排放源，再利用相同既存製程以檢測方式，或以工程經驗判斷該設備是否為排放來源。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

二、劑量效應評估

● 常用名詞及其單位

- 未觀察到不良效應之劑量（No-observed-adverse effect level, NOAEL）
- 可觀察到不良效應之最低劑量（Lowest-observed-adverse effect level, LOAEL）
- 參考劑量 (reference dose, RfD) [mg/kg-day]，
- 參考濃度 (reference concentration, RfC) [mg/L，mg/m³，mg/kg]
- 基標劑量（Benchmark dose）：移開點劑量（Point of Departure, POD）（依據實驗數據所建立之劑量效應曲線，效應發生率介於1%-10%之劑量即稱之為移開點劑量）

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

二、劑量效應評估

● 常用名詞及其單位

- 危害指數 (hazard index, HI) [無單位，如果危害指數小於1，預期將不會造成損害，因為暴露低於會產生不良反應的閾值。如果危害指數大於1，表示可能會超過此閾值而產生毒性]
- 每日容許攝入量(acceptable daily intake, ADI)
- 最大殘留限量(maximum residue limits, MRL)
- 斜率因子 (slope factor) [(mg/kg-day)⁻¹]
- 致癌風險 (cancer risk) [無單位，一般可接受風險介於10⁻⁶~10⁻⁴]

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

二、劑量效應評估

1. 美國環保署綜合風險資訊系統(Integrated Risk Information System, IRIS)
2. 美國能源署風險評估資料管理系統(The Risk Assessment Information System, RAIS)
3. 世界衛生組織簡明國際化學評估文件與環境衛生準則(WHO Concise International Chemical Assessment Documents, WHO CICAD; WHO Environmental Health Criteria, WHO EHC)
4. 美國環保署暫行毒性因子(Provisional Peer Reviewed Toxicity Values, PPRTVs)
5. 毒性物質與疾病登錄署(Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR)最小風險濃度(Minimal Risk Level, MRL)
6. 美國環保署健康效應預警摘要表格(Health Effect Assessment Summary Table, HEAST)
7. 美國加州環保署所建立之毒性因子

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

二、劑量效應評估

- 所有有害空氣污染物無論屬於致癌性或非致癌性物質，均須依上述順序依序查詢其致癌斜率與參考劑量或濃度。若七個資料庫皆無該有害空氣污染物之致癌斜率與參考劑量或濃度，方可利用其他文獻資料進行劑量效應評估如基標劑量分析（Benchmark dose analysis）而獲得移開點劑量（Point of Departure, POD）（依據實驗數據所建立之劑量效應曲線，效應發生率介於1% -10%之劑量即稱之為移開點劑量），利用其他文獻資料時應說明其合理性。若無其他文獻資料時，得經說明後予以排除之。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

二、劑量效應評估

表 1 有害空氣污染物之致癌斜率與參考劑量或濃度資料格式

有害空氣 污染物	致癌性 分類	斜率因子(SF)/ 單位風險度(UR)	參考劑量或濃度 (RfD, RfC)	標的器官	不確定係數 (UF)	無可見效應之最低劑量 (NOAEL)	移開點劑量 (Point of departure)

與美國環保署現行作法同步

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

● 暴露族群之界定：

進行有害空氣污染物暴露量評估時，首要工作為暴露人群之界定。因此，在暴露族群之界定上應依據開發行為所排放有害空氣污染物之影響範圍加以界定，故應先依據擴散模擬結果選定影響範圍，將影響範圍內之民眾納為暴露族群。此外，在暴露族群之界定需特別注意較具敏感性且易產生不良健康影響之人群如懷孕之婦女，年齡較大或較小之民眾，或者是健康狀態不良之民眾，因為其所能忍受暴露濃度較低之故。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 大氣擴散模式及多介質傳輸模式選擇與模擬：在大氣擴散模式選擇及模擬上，應依據環保署已公告之「**空氣品質模式模擬規範**」及「**空氣品質模式評估技術規範**」進行模式選擇及乾、濕沈降模擬；在土壤及地下水擴散模式選擇及模擬上，應依據環保署已公告之「**土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引**」進行模式選擇及模擬；至於介質間（含食物）之傳輸應以多介質傳輸模式進行模擬。
- 環境介質（空氣、飲水、食物、土壤、底泥等）中有害空氣污染物之濃度推估：利用**大氣擴散模式及多介質傳輸模式**模擬後，環境介質中有害空氣污染物之濃度應列出影響範圍內之最高、最低及平均濃度，並引用進行暴露劑量推估。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

● 暴露情境之選擇：

就空氣品質管理之觀點而言，健康風險評估對於情境設定應趨保守。由於健康風險評估主要評估開發行為是否對影響範圍內之居民健康造成風險，因此在評估時應以可能發生之實際情形建構暴露情境。在設定「實際暴露情境」後，應清楚說明其相關之暴露途徑，予以清楚定義，以完整建構暴露來源、暴露途徑及暴露族群之情境架構。在暴露途徑分析上，應依據有害空氣污染物之物理化學及環境特性、多介質傳輸模擬結果及相關資料加以綜合判斷。對於判定不存在之暴露途徑應提出科學證據證明之。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 關於製程異常操作所致緊急意外事故：

僅考慮吸入暴露。以排放時間內之平均小時排放量進行五年之逐時模擬，並以最大小時濃度計算急毒性危害指標（Acute Hazard Quotient, AQH，參考” Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities”，U.S. EPA, OFFICE OF SOLID WASTE, 2005）或採用化學暴露指標（Chemical Exposure Index，CEI，參考” DOW’s Chemical Exposure Index Guide”，AIChE, 1994）。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

● 暴露參數之選擇：

在暴露劑量計算過程中，引用合理且符合環境現況的參數係極為重要之工作，亦對健康風險評估結果具關鍵性的影響。因此，在計算時應將計算過程中所有使用的參數詳細列表並說明引用之數值及其來源，其內容應包括參數名稱、定義、單位、參數尺寸分類（實地參數或全國性參數）、參數值、參數範圍、分布型態、參數處理說明、資料來源和主要應用公式等。為符合本土性，本技術規範建議應引用國民健康局公布之「台灣一般民眾暴露參數彙編」或環保署公布之「土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法及撰寫指引」之參數資料。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 總暴露劑量之推估：

主要根據空氣擴散模式、多介質傳輸模式等環境傳輸模式模擬結果，估計暴露族群經由吸入、食入及皮膚吸收等途徑暴露之劑量。因此估算時需考慮暴露時間的長短、頻率與人體之體重，一般使用標準劑量單位即每天每公斤體重攝取多少毫克之有害空氣污染物為單位，必須對每一暴露途徑中的各種有害空氣污染物列表計算。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 慢性低濃度暴露之吸入途徑之暴露劑量：

$$LADD_{inhalation} = \frac{C_{tw} \times IR \times AF_{inhalation}}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

$LADD_{inhalation}$ ：吸入途徑之終生平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C_{tw} ：周界大氣中有害空氣污染物之時量平均濃度(mg/m³)

IR：每日呼吸量，單位：Nm³/day

$AF_{inhalation}$ ：吸入途徑之有害空氣污染物吸收分率(%)

BW：人體平均體重(kg)

ED：人體平均暴露時間

AT：暴露發生的平均時間

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 急性高濃度暴露之吸入途徑之暴露劑量：

$$ADD_{inhalation} = \frac{C_{tw} \times IR \times AF_{inhalation}}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

$ADD_{inhalation}$ ：吸入途徑之終生平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C_{tw} ：周界大氣中有害空氣污染物之時量平均濃度(mg/m³)

IR：每日呼吸量，單位：Nm³/day

$AF_{inhalation}$ ：吸入途徑之有害空氣污染物吸收分率(%)

BW：人體平均體重(kg)

ED：人體平均暴露時間

AT：暴露發生的平均時間

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 食入途徑之暴露劑量：

$$LADD_{ingestion} = \frac{C \times IR \times AF_{ingestion} \times LFC}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

$LADD_{ingestion}$ ：食入途徑之終生平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C ：食物或飲水中有毒空氣污染物之濃度(mg/L，mg/kg)

$IR_{ingestion}$ ：食物或飲水之每日攝入量，單位：L/day，kg/day

AF ：食入途徑之有害空氣污染物吸收分率(%)

LFC ：Local food consumption，自產食物攝入比例(%)

BW ：人體平均體重(kg)

ED ：人體平均暴露時間

AT ：暴露發生的平均時間

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

三、暴露量評估

- 皮膚暴露途徑之暴露劑量：

$$LADD_{skin\ absorption} = \frac{C \times M_s \times SA \times AF_{skin\ absorption}}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

$LADD_{skin\ absorption}$ ：皮膚暴露途徑之終生平均每日暴露劑量(mg/kg/day)

C：皮膚接觸之環境介質中有害空氣污染物濃度(mg/L，mg/kg)

M_s ：單位皮膚面積接觸之環境介質量（L/m²，kg/m²）

SA：每日接觸環境介質之皮膚表面積（m²/day）

$AF_{skin\ absorption}$ ：皮膚暴露途徑之有害空氣污染物吸收分率(%)

BW：人體平均體重(kg)

ED：人體平均暴露時間

AT：暴露發生的平均時間

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

四、風險特徵評估

(一) 致癌風險度

1. 方法一：

$$\text{Risk} = \text{LADD}_{\text{total}} \times \text{SF}$$

$\text{LADD}_{\text{total}}$ ：各暴露途徑加總之終生平均每日總暴露劑量(mg/kg/day)

SF ：Slope factor，斜率因子，(mg/kg/day)⁻¹

2. 方法二：

$$\text{Risk} = \text{C} \times \text{Unit Risk}$$

C ：環境介質中致癌物質之濃度(mg/Nm³，mg/L，mg/kg)

Unit Risk ：單位風險度，單位濃度致癌物質導致癌症的風險。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

四、風險特徵評估

(二)慢性非致癌風險度

非致癌風險度之意義在於比較平均每日暴露劑量（Average Daily Dose）與有害空氣污染物的參考劑量，針對特定之暴露途徑，求得兩者的比值而得危害商數（hazard quotient, HQ）

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

再將各種有害空氣污染物之各種暴露途徑之危害商數加總後，獲得危害指標（hazard index, HI）如下式：

$$HI = \sum HQ$$

危害指標小於1，預期將不會造成顯著危害，表示暴露低於會產生不良反應的閾值。若危害指標大於1，則表示暴露劑量超過閾值可能產生毒性。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

四、風險特徵評估

(三)急性非致癌風險度

計算吸入性急毒危害指標（Acute Hazard Quotient, AHQ_{inh}）如下：

$$AHQ_{inh} = C_{acute} \cdot 0.001/A_{IEC}$$

其中 C_{acute} 採最大小時模擬濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)， A_{IEC} （Acute Inhalation Exposure Criteria）為美國環保署（第6區）發展之急性吸入暴露標準 (mg/m^3)，可以在以下網址找到：<http://www.epa.gov/waste/hazard/tsd/td/combust/risk.htm>，為含434種物質之資料庫檔案（ACCESS）。當AHQ大於1時表示有急毒性危害之可能。

固定污染源有害空氣污染物健康風險評估 執行作業規範（草案）

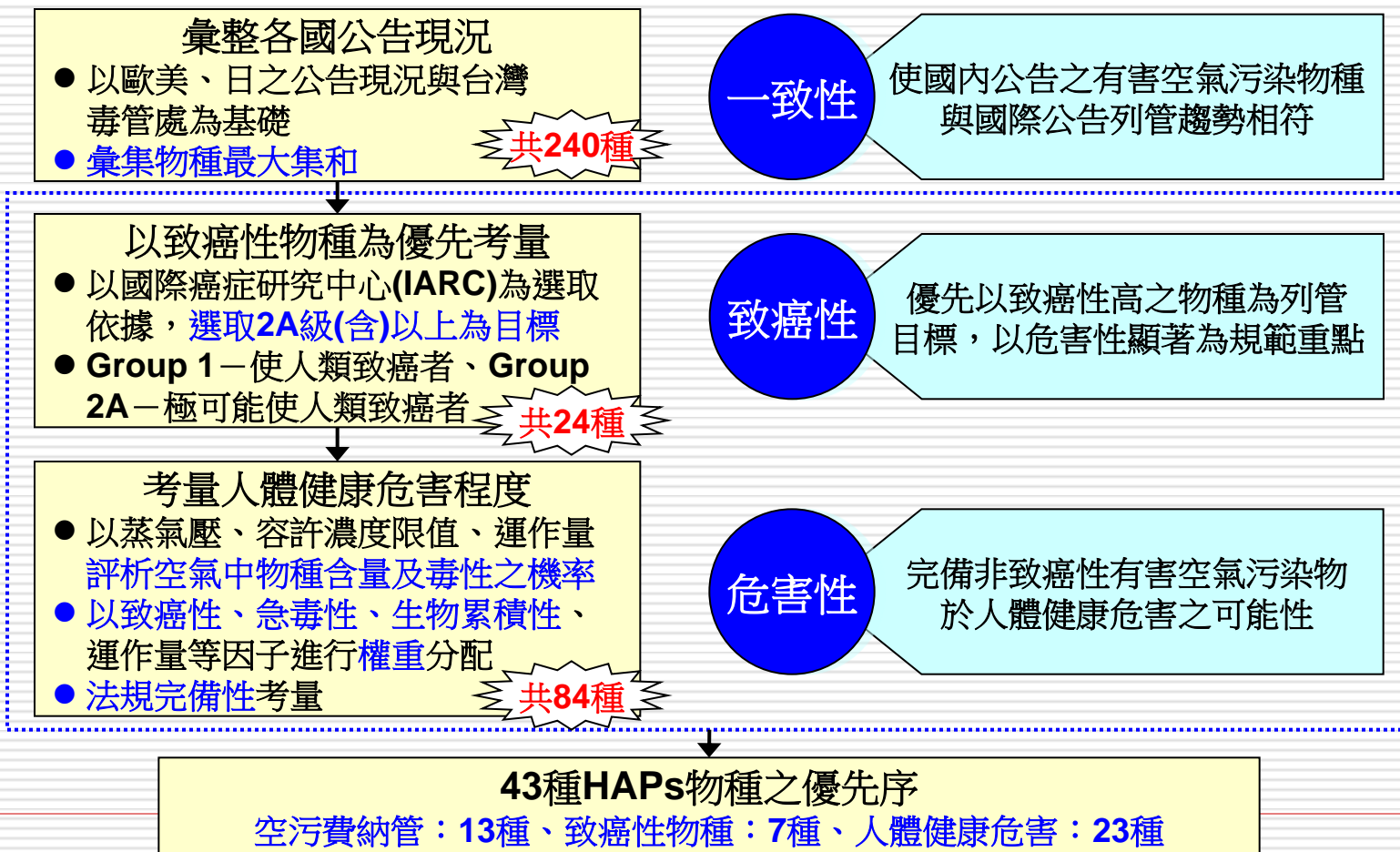
四、風險特徵評估

(三) 不確定性評估

- 風險的不確定性及變異性可以用數值分析的方法蒙地卡羅模擬法（Monte Carlo simulation）。使用蒙地卡羅模擬法進行不確定性分析，可以經由累積分布函數描述機率性風險的分布，以呈現有害空氣污染物可能產生風險的中數值（如第50百分位）及上限值（第95百分位）。
- 過去單以參數平均值所求得之風險值，可能無法完整適用於整個暴露族群的健康風險說明。故**針對蒙地卡羅模擬風險值之分布，建議以95%百分位 (95% percentile) 值為風險描述之估計值。**

二、物種公告作業

□ 完成「有機性HAPs篩選之標準作業程序(草案)」，提出建議優先公告HAPs名單



備註：43種HAPs物種名單請參酌附件

二、物種公告作業

43種HAPs物種名單

13種空污費徵收對象

項次	中文名稱	CAS.NO	類別	項次	中文名稱	CAS.NO	類別
1	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	現行法規規範	21	2-甲基丙烯酸甲酯	80-62-6	人體危害性
2	1,1-二氯乙烷	75-34-3	現行法規規範	22	丙烯酸乙酯	140-88-5	人體危害性
3	1,2-二氯乙烷	107-06-2	現行法規規範	23	二異氰酸甲苯	26471-62-5	人體危害性
4	乙苯	100-41-4	現行法規規範	24	1-丁醇	71-36-3	人體危害性
5	二甲苯	1330-20-7	現行法規規範	25	己內醯胺	105-60-2	人體危害性
6	二氯甲烷	75-09-2	現行法規規範	26	丙烯酸丁酯	141-32-2	人體危害性
7	三氯乙烯	79-01-6	現行法規規範	27	乙二醇	107-21-1	人體危害性
8	四氯乙烯	127-18-4	現行法規規範	28	甲醇	67-56-1	人體危害性
9	四氯化碳	56-23-5	現行法規規範	29	乙烯	74-85-1	人體危害性
10	甲苯	108-88-3	現行法規規範	30	異丁醇, 2-甲基丙醇	78-83-1	人體危害性
11	苯	71-43-2	現行法規規範	31	乙酸丁酯, 醋酸丁酯	123-86-4	人體危害性
	間-二甲苯	108-38-3	現行法規規範	32	N-甲基 咯酮	872-50-4	人體危害性
	對-二甲苯	106-42-3	現行法規規範	33	正己烷	110-54-3	人體危害性
	鄰-二甲苯	95-47-6	現行法規規範	34	二甲基甲醯胺	68-12-2	人體危害性
12	苯乙烯	100-42-5	現行法規規範	35	二乙醇胺	111-42-2	人體危害性
13	三氯甲烷	67-66-3	現行法規規範	36	4,4'-二異氰酸二苯甲烷	101-68-8	人體危害性
14	氯乙烯	75-01-4	致癌性	37	二氯甲醚	542-88-1	人體危害性
15	甲醛	50-00-0	致癌性	38	甲基異丁酮	108-10-1	人體危害性
16	環氧乙烷	75-21-8	致癌性	39	硫酸乙酯 (硫酸二乙酯)	64-67-5	人體危害性
17	環氧氯丙烷	106-89-8	致癌性	40	4,4'-二胺基二苯甲烷	101-77-9	人體危害性
18	丙烯醯胺	79-06-1	致癌性	41	異丙苯	98-82-8	人體危害性
19	乙醛	75-07-0	致癌性	42	1,2-二氯乙烯	540-59-0	人體危害性
20	丙烯晴	107-13-1	致癌性	43	環己烷	110-82-7	人體危害性

7種致癌性物質

三、HAPs排放清單建置

□ 清單建置流程

建置流程

污染源掌握

- 固定源資料庫
 - 許可：1,111家
 - 空污費：993家
 - 毒化物資料庫：第一版清單未納入
- 本計畫清單建置對象

排放係數彙整

- 國內係數
 - 空污費
 - 許可核定
- 國外係數
 - SPECIATE
 - FIRE

排放量計算原則

- 依據資料來源之可信度建立

建置成果

- 掌握2,104家公私場所之基本資料、活動強度及操作期程
- 建立未來持續擴充名單共1,785家公私場所
 - 毒化物資料庫1,147家
 - 清查資料庫638家

- 排放係數
 - 反應性：450個
 - 非反應性：251個
- 提出未來應持續建立本土化係數之製程名單

- 檢測結果
- 空污費申報
- 排放係數X活動強度

未來建議

- 加強稽巡查，落實清查作業
- 未來可持續研析是否擴大列管學術單位、生技公司等對象至固定源範圍

- 建議以乙苯及苯乙烯製程為首要建立本土化係數對象，並提出應完備之檢測組數

- 依循資料來源之更新版本狀況持續更新修正

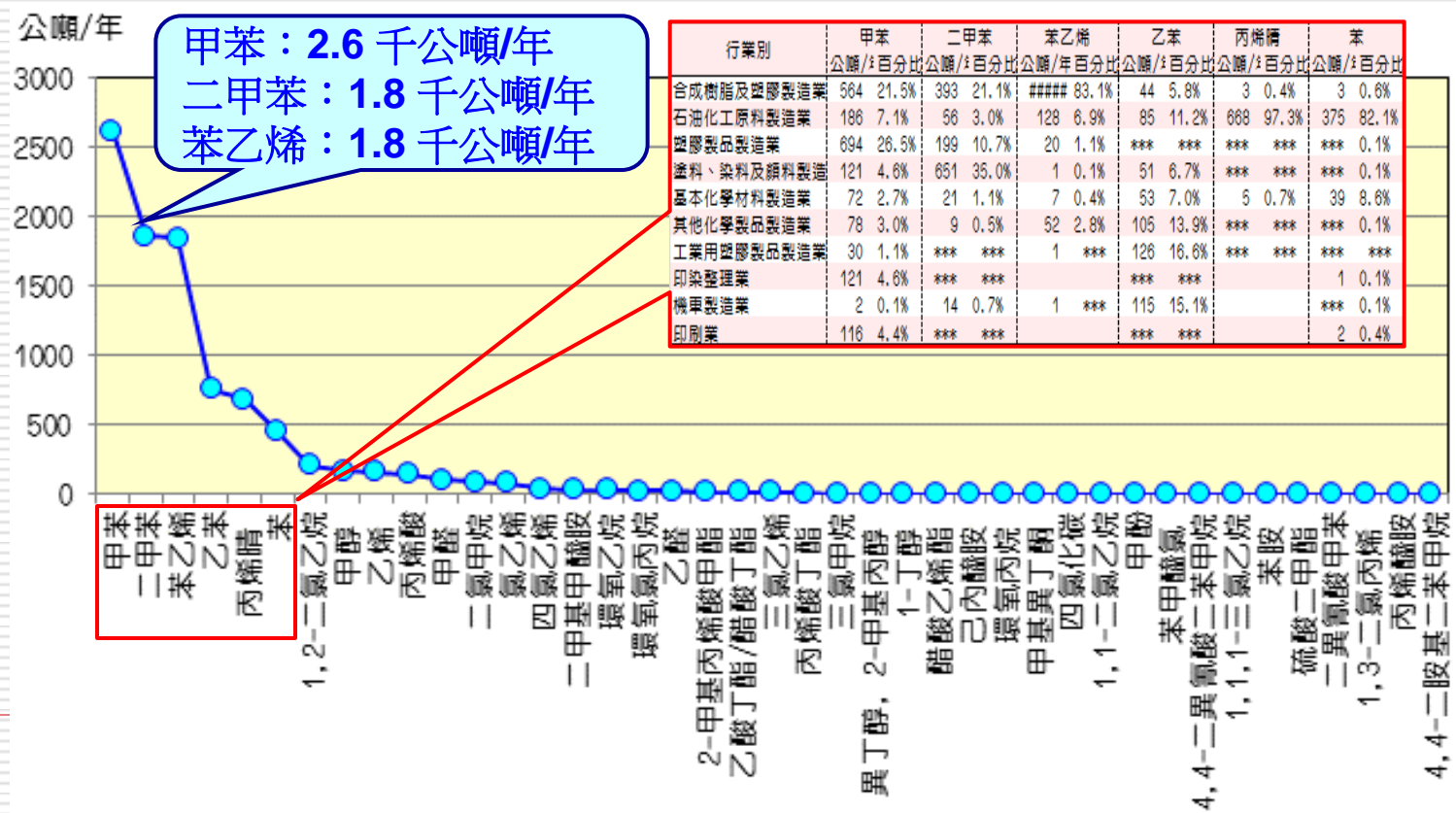
建立第一版HAPs清單

- ✓ 活動強度採用許可→掌握國內排放之最大量化
- ✓ 未來應持續推動申報制度以實際活動強度更新

三、HAPs排放清單建置

完成第一版全國HAPs排放清單

- 依據目前掌握之排放係數與活動強度計算，依序以甲苯、二甲苯、苯乙烯排放量最高。
- 主要分布於石化製品等行業製程別。



三、HAPs排放清單建置

建立強化HAPs排放係數評析作業

依據兩年度實廠調查結果，
建立**10**個反應性製程之排放資訊

與國外排放資訊(SPECIATE)比對超出±1數量級者，列為應優先建立本土化係數之對象

建議**乙苯與苯乙烯製程**本土化排放係數

依據「固定源VOCs自廠係數建置作業要點」

產能規模

管制編號	廠名	製程編號	許可產品產量 (kg/hr)	產能規模	實廠排放調查
P580XXXX A	化學纖維股份有限公司	M12	192,000.0	小	本計畫已完成
		M14	150,000.0	小	
P580XXXX B	化學纖維股份有限公司	M10	2,720,624.0	中	
P580XXXX C	化學纖維股份有限公司	M02	2,860,129.5	大	本計畫已完成
		M06	84,972.0	小	
S190XXXX D	工業股份有限公司高雄廠	M07	163,420.0	小	
		M08	116,510.0	小	
		M11	30,412.5	小	
S230XXXX E	石油化學股份有限公司高雄廠	M20	70,772.0	小	

檢測組數

- ✓ 本計畫已完成**2**個檢測數據(大規模、小規模各一)
- ✓ 預建置本土化行業製程係數應再補充**5**組檢測數據

調查年度	廠次代碼	製程編號	製程名稱	SPECIATE 不具排放資訊之物種	SPECIATE 具排放資訊之物種	
					±1 數量級範圍之內	±1 數量級範圍之外
98年	B	M01	印刷油墨化學原料製造程序	乙酸乙酯、環己酮、異丙醇、丁酮、二甲基甲醯胺	甲醇	醋酸丁酯、甲苯、二甲苯、異丁醇
	E,F	M01	乙苯化學製造程序	乙烯	苯、乙苯	苯乙烯
		M02	苯乙烯化學製造程序			
	G	M05	鄰苯二甲酐(夫酸酐)化學製造程序	酚	二甲苯	
	H,I	M01	乙苯化學製造程序	乙烯	苯、乙苯、乙烯	苯乙烯
		M02	苯乙烯化學製造程序			
	K	M32	丙烯酸化學製造程序	醋酸、甲基異丁基酮、苯	丙烯酸	
	M	M23	氯乙烯(VCM)化學製造程序		二氯乙烯	
	N	M44	氯化甲烷化學製造程序	甲醇	二氯甲烷、三氯甲烷	
	O	M05	丙烯晴-丁二烯-苯乙烯共聚合物(ABS)化學製造程序		丙烯晴、苯乙烯	
D	M10	其他有機酸化學製造程序	乙醛	甲醛		
99年	F	M01	抗(臭)氧化/促進劑化學製造程序	二甲基甲醯胺	甲苯	
	L,J	M14	加氫脫硫處理程序	二甲苯	苯	
		M16	綳煤重組程序			

四、實廠排放調查成果-排放量流布調查

□ 實廠調查代表性廠家篩選原則

- 排除目前國內原物料使用量較少之有害空氣污染物對象。
- 選取使用量及對應之製程種類較多之有害空氣污染物對象。
- 針對使用種類多與使用量大之行業製程廠家。
- 剔除已執行過之公私場所製程別。
- 完備建議公告列管之30種有害空氣污染物中未執行過之物種。

完成10個非反應性製程與5個反應性製程

□ 今年度15廠次篩選結果與調查作業成果

管制編號	廠名	製程編號	製程名稱	初勘日期	場調查日	縣市別	備註
H4304689	功學社教育用品股份有限公司過嶺第一廠	MO1	其他金屬品處理加工程序	99.06.11	99.07.23	桃園縣	●配合六輕聯合稽查，轉為執行台塑石化股份有限公司麥寮一廠
H4502292	亞洲化學股份有限公司楊梅二廠	MO2	膠帶業製造	99.08.11	99.08.12	桃園縣	
J5901676	德亞樹脂股份有限公司	MO2	壓克力樹脂製造程序	99.06.11	99.08.13	新竹縣	●塑化烯煙一廠於99年7月7日因蒸餾塔塔底泵浦軸破裂、流體外洩引發火災，塑化煉油二廠於99年7月25日重油外洩
K6801123	長春石油化學股份有限公司苗栗二廠	M10	其他有機酸化學製造程序	99.06.10	99.07.30	苗栗縣	
K6805407	台灣藤本化學製品股份有限公司苗栗廠	MO1	其他食品製造程序	99.07.22	99.07.29	苗栗縣	
L0501813	三晃股份有限公司大里廠	MO1	抗(臭)氧化/促進劑化學製造程序	99.06.10	99.06.17	台中縣	
R8900475	新力美科技股份有限公司新化廠	MO2	其他酯類化學製造程序	99.09.06	99.09.07	台南縣	
R9700871	加合樹脂企業股份有限公司	MO2	壓克力樹脂製造程序	99.09.06	99.09.08	台南縣	
S2201154	三芳化學工業股份有限公司	M18	聚尿(PU)樹脂化學製造程序	99.07.09		高雄縣	
P5801602	台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠環氧氯丙烷廠	MO1	環氧1,2氯-3丙烷化學製造程序			雲林縣	
P5801648	台灣塑膠工業股份有限公司麥寮廠氯乙烯廠	MO1	氯乙烯(VCM)化學製造程序			雲林縣	
P5802092	台灣化學纖維股份有限公司海豐廠(芳香煙二廠)	M14	加氫脫硫處理程序	99.07.06	99.07.07	雲林縣	
P5802092	台灣化學纖維股份有限公司海豐廠(芳香煙二廠)	M16	觸媒重組程序	99.07.07	99.07.08	雲林縣	
H4302676	南璋股份有限公司	MO2	顏料化學製造程序	99.07.28	99.07.17	桃園縣	
J5901407	四維創新材料股份有限公司新竹工廠	MO3	膠帶業製造	99.11.17	99.11.18	新竹縣	
P5802421	台塑石化股份有限公司麥寮一廠	M81	揮發性有機液體儲槽作業程序	99.11.4	99.11.5	雲林縣	
P5802001	台灣塑膠工業股份有限公司麥寮碳纖廠	MO1	碳纖維製品製造程序	99.10.20	99.10.21	雲林縣	
P5802001	台灣塑膠工業股份有限公司麥寮碳纖廠	MO2	碳纖維製品製造程序	99.10.20	99.10.22	雲林縣	

四、實廠排放調查成果-排放量流布調查

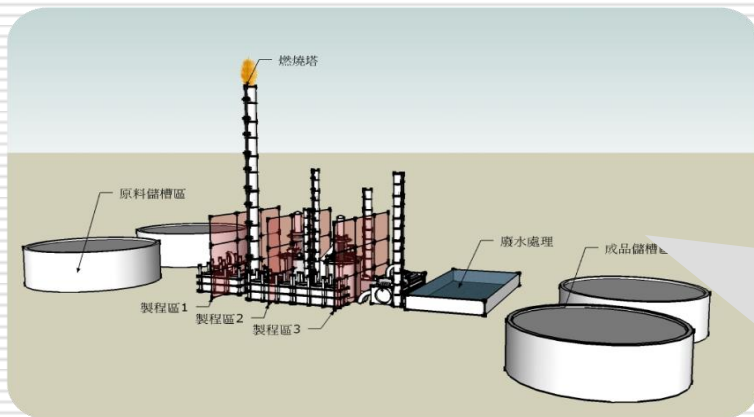
□ 目標工廠基本原物料與調查日數

為有效在製程運作時間掌握排放情形，投入大量人力進行排放調查作業

類別	工廠名稱	主要原料	主要產品	調查人日(累計)
物理性製程	三晃大里廠	二甲基甲醯胺等6種VOCs	PU樹脂與表面處理劑	8(8)
	功學社過嶺一廠	三氯乙烯	樂器	9(17)
	台灣藤本苗栗廠	二氯甲烷等4種VOCs	藥品原料	14(31)
	亞洲化學楊梅二廠	甲苯	民生用膠帶	15(46)
	德亞樹脂股份有限公司	甲苯等13種VOCs	壓克力樹脂	7(53)
	南璋股份有限公司	二甲基甲醯胺、甲苯	顏料	14(67)
	加合樹脂企業有限公司	甲苯等29種VOCs	壓克力樹脂	6(73)
	台塑石化公司西北碼頭	石化原物料	石化原物料	20(93)
	四維創新股份有限公司	甲苯	民生用膠帶	12(105)
化學性製程	台化公司麥寮芳香烴二廠	苯等6種VOCs	二甲苯等芳香烴原料	30(135)
	長春石化苗栗二廠	甲醛、乙醛、環己烷	農藥原料砒碇	7(142)
	新力美新化廠	二氯乙烷等4種VOCs	各類樹脂	12(154)
	台塑公司麥寮碳纖廠	二甲基甲醯胺等4種VOCs	碳纖維	20(174)

四、實廠排放調查成果-排放量流布調查

實廠採樣示意圖



1. 原物料：公司提供報表記錄
2. 產品：公司提供報表記錄
3. 設備元件： $C \times V \times A = \text{Emission}$
4. 儲槽：-固定頂、內浮頂、外浮頂
-氣候、日照、風速
-裝載量
-US EPA AP-42 §7.1 TANKS 4.09D
5. 裝載：以平均溫度之飽和蒸汽壓推估
Emission
6. 煙道：質量平衡方式查核煙道檢測合理性
7. 廢水：濃度比例 \times 廢水量
8. 廢棄物：成分比例 \times 廢棄物量
9. 燃燒塔：公司提供燃燒塔使用流量記錄

各項檢測作業採用之HVOC檢測方法

檢測目標	檢驗方法
元件洩漏檢測	● 揮發性有機物洩漏測定方法(NIEA A706.72C)
有機溶劑、油墨、塗料	● 表面塗料之揮發物含量、水含量、密度、固形物體積及重量測定法(NIEA A716.10C) ● 印刷油墨及相關塗料之揮發物含量及密度測定法(NIEA A717.10C)
煙道排氣	● 排放管道中氣態有機化合物檢測方法—採樣袋採樣/氣相層析火焰離子化偵測法(NIEA A722.74B)
廢水	● 水中揮發性有機化合物檢測方法—有機溶劑液相萃取/氣相層析質譜儀法
廢棄物	● 事業廢棄物萃出液中揮發性有機物檢測方法—毛細管柱氣相層析質譜儀偵測法

四、實廠排放調查成果-排放量流布調查

實廠排放調查結果

台中三晃大里廠

排放源		排放量 (ton/yr)	二甲基甲醯胺	二異氰酸甲苯	1,4 丁二醇	甲苯	丁酮
97年	儲槽		0.0639			0.3656	1.0964
	製程裝載逸散		0.0029	0.0001	2.10E-07	0.0900	0.2733
	煙道		0.0010	4.27E-05	7.01E-08	0.0300	0.0911
98年	廢棄物		0.0008	3.50E-05	5.74E-08	0.0246	0.0746
	儲槽		0.0639			0.3656	1.0964
	製程裝載逸散		0.0033	2.55E-05	3.08E-07	0.1221	0.3571
	煙道		0.0011	8.52E-06	1.03E-07	0.0407	0.1190
	廢棄物		0.0007	5.29E-06	6.39E-08	0.0253	0.0740

桃園南璋調查結果

排放源		排放量 (ton/yr)	二甲基甲醯胺	甲苯
97年	製程逸散			0.6469
	裝載		0.0008	0.0048
	煙道			0.3183
98年	製程逸散			0.6291
	裝載		0.0008	0.0049
	煙道			0.3183

力美科技股份有限公司新化廠調查結果

排放源		排放量 (ton/yr)	二氯甲烷	二氯乙烷	甲基異丁基酮	對硝基酚	三氯化硫磷
97年	設備元件			0.2049			
	裝載		0.0002	0.0004	0.0002	0.00004	0.0003
	煙道			3.1422	5.7409		
98年	設備元件			0.2049			
	裝載		0.0002	0.0004	0.0002	0.00004	0.0003
	煙道			1.2280	1.6271		

桃園功學社調查結果

排放源		排放量 (ton/yr)	三氯乙烯	苯	甲苯
97年	煙道		23.4513	1.0362	0.7230
98年	煙道		23.4513	1.0362	0.7230

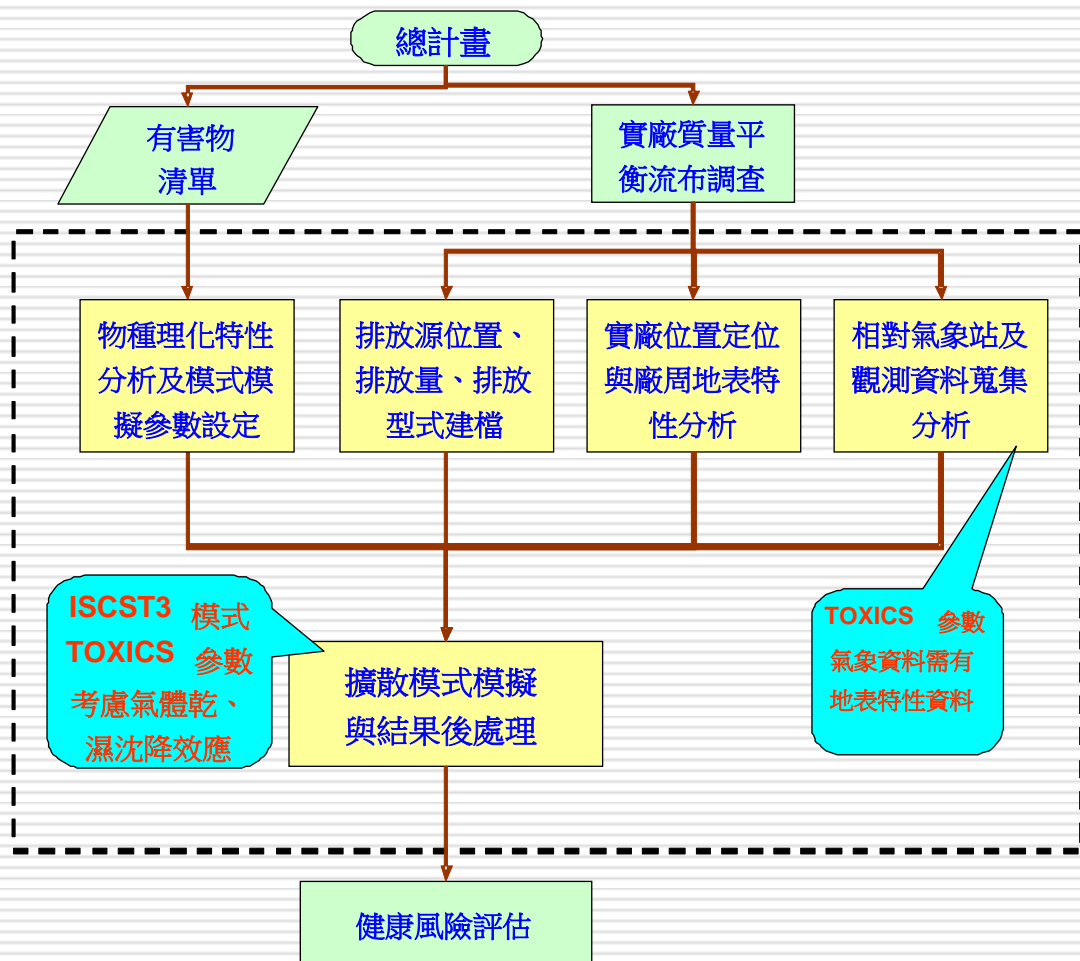
排放量計算結果依製程特性不同，其結果分為管道與逸散

實廠排放調查結果輸入ISCST3模式進行模擬分析

四、實廠排放調查成果-擴散模擬推估

□ 執行成果

- 完成28個有機性HAPs物種之物理化特性參數分析
- 兩年度完成30場次模擬輸入資料前處理工作，包括：
 - 氣象資料蒐集
 - 模擬範圍地表特性判定
 - 氣象資料前處理與分析
- 完成30場次(含28個有機性HAPs)實廠擴散模式模擬推估作業



備註：詳細之氣象資料、模擬範圍地表特性判定及氣象資料前處理之結果請參酌附件。

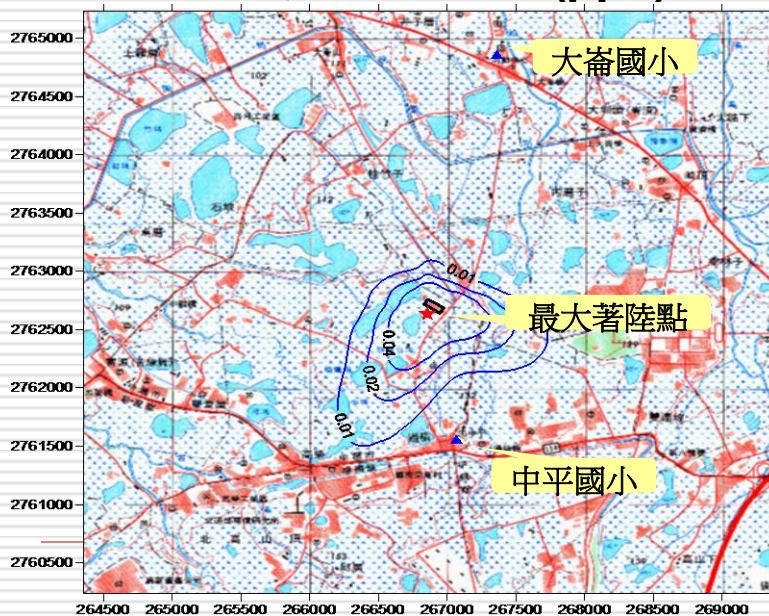
四、實廠排放調查成果-擴散模擬推估

各廠次實廠擴散模擬推估結果(一)-以K廠為例

✓ 甲苯排放量設定值

資料項 目代碼	年排放 Ton/yr	工作日 day/yr	工作時 hr/day	排放率 g/s
P001	0.318	250	8	0.0442
VB01	4.011	250	8	0.0003
VB02	4.011	250	8	0.0003
VB03	4.011	250	8	0.0443
VB04	4.011	250	8	0.0443

✓ 甲苯年平均濃度圖(ppb)



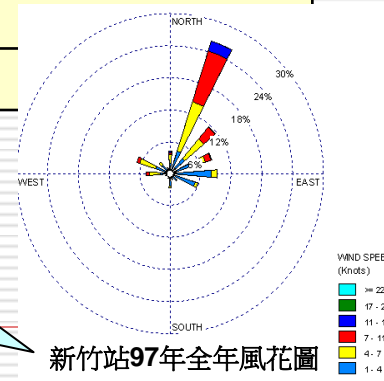
✓ 排放源排氣資料設定值

煙囪 (點源) 排氣 資料	項目	高度	溫度	排氣 速度	直徑	校正 速度	等效 直徑	備註
	單位	m	K	m/s	m	m/s	m	
	P001	8.0	298.0	3.1	1.2	--	--	--
逸散源 (面源) 排放 資料	項目	高度	σ_{y0}	σ_{z0}	項目	高度	σ_{y0}	σ_{z0}
	單位	m	m	m	單位	m	m	m
	VB01	4.0	35.3	3.72	VB03	4.0	35.3	3.72
	VB01	4.0	35.3	3.72	VB04	4.0	35.3	3.72

✓ 甲苯年平均濃度值

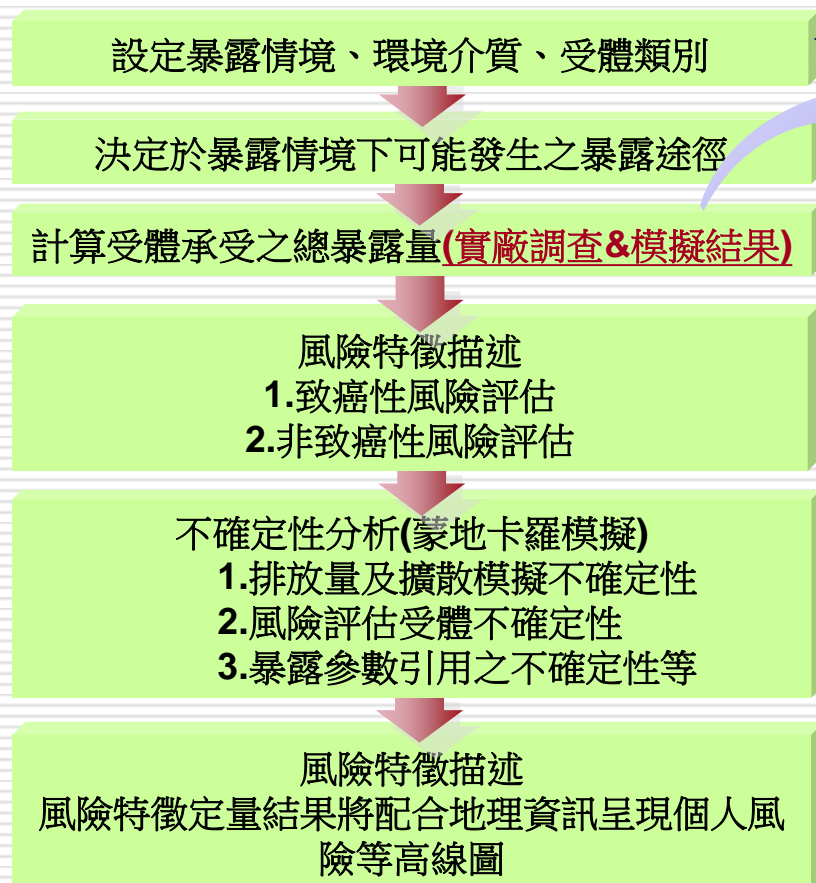
項目	濃度值(ppb)	說明
最大著地濃度	0.63	廠區西南方，該區為樹林
敏感點	中平國小	<0.1
	大崙國小	<0.1

- ✓ 模擬濃度最大值在西方周界附近
- ✓ 濃度的分佈與盛行風的風向一致性



四、實廠排放調查成果-風險評估

□ 兩年度執行30場次28個物種實廠風險評估作業，建立HAPs物種之本土風險評估資訊。



多介質環境模式(Fugacity model)

15場次實廠風險評估結果，編撰成冊，共計有二甲苯、苯、甲苯等23份風險評估報告書，提供後續推動風險管制作業之參考

壹、危害確認(Hazard identification)

- 物質辨識 (Substance identification)
- 製造及使用 (Manufacturing/use information)
- 物理及化學性質 (Chemical and physical properties)
- 毒理特性 (Toxicity characteristics)

貳、劑量效應評估 (Dose response assessment)

叁、暴露量評估(Exposure assessment)

- 暴露情境設定 (Definition of Exposure Scenario)
- 暴露介質及暴露途徑 (Exposure Agent and Routes)
- 受體類型 (Types of Receptors)
- 吸入吸收之暴露劑量計算 (Evaluation of Exposure Dose)

肆、風險特徵描述(Risk characterization)

- 終生致癌風險評估 (Carcinogenic Risk Assessment)
- 非致癌性風險評估 (Non-carcinogenic Risk Assessment)
- 不確定度分析 (Uncertainty Analysis)
- 風險特徵描述 (Risk Characterization)

四、實廠排放調查成果-風險評估

結果顯示於B、C、D、E、L、M及N等7個污染源其附近影響地區內男性成人、女性成人及兒童之致癌總風險均超過 10^{-6} ，長期暴露在HAPs濃度偏高的環境中，對於民眾健康之危害不可加以忽略，因此建議進行減量，且需持續監測。

以個別物種之致癌性風險值估算污染源削減率整結果如下：

工廠	物種				環氧 氯丙 烷	丙 烯 酸 乙 酯	二 異 氰 酸 甲 苯	異 丁 醇, 2- 甲 基 丙 醇	1,2-二 氯 乙 烷	二 氯 甲 烷	四 氯 乙 烯	苯 乙 烯	2-甲 基 丙 烯 酸 甲 酯	乙 酸 丁 酯, 醋 酸 丁 酯	甲 基 異 丁 酮	甲 醇	丙 烯 腈	丙 烯 酸 丁 酯	丙 烯 酸	二 甲 基 甲 醯 胺	二 甲 苯	苯	甲 苯
	乙 苯	三 氯 乙 烯	乙 醛	甲 醛																			
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	89.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.50	-	-	-	-	-	-
D	-	-	50.77	92.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	88.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	8.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	-	-	-	-	-	-	-	60.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40.76	-	-	-	-	-	-
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40.76	-	-	-	-	-	-
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#：95%上限致癌風險值超過可接受風險，並且選取受體所暴露風險最大值去進行計算其削減率。

備註：削減率是指污染源應達到之效率。(以丙烯腈為例, C工廠削減率為該廠為符合可接受風險所需減低原排放量之比率)

五、建議事項

- 針對今年度提出之行業製程別名單，建議應著手進行相關排放情形與控制技術調查；且配合彙整分析HAPs國外控制技術管制標準(T-BACT/MACT)，據以研提國內HAPs之控制技術管制標準。
- 建議應正式公告「固定源HAPs健康風險評估執行作業規範（草案）」，且針對國內新設固定源達一定門檻或規模者，要求以健康風險為導向，執行健康風險評估作業，以作為固定源執行HAPs之評估與管理之依據。
- 本計畫主要針對單一廠址之排放量，經擴散模擬後進行吸入暴露健康風險評估，因國內許多區域性污染源之共同排放尚未進行完整調查及評估，故未來建議對於區域性多數污染源之共同排放對附近居民之健康風險仍應詳加評估。

五、建議事項

- 本計畫僅針對28種HAPs於30廠實際排放後之吸入暴露健康風險評估，部分數據顯示無論單廠之排放(如：1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、二氯甲烷、丙烯腈、甲醛及乙醛)，其95%上限致癌風險均有高於 1×10^{-6} 之情形，顯示未來應加強減量及風險管控以降低可能之健康風險。
- 依據健康風險評估結果，致癌性風險以1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、二氯甲烷、丙烯腈、甲醛及乙醛為最高，建議未來在徵收空污費之費率上應探討減量至 1×10^{-6} 風險所須之硬體控制設備及操作維護費用。
- 在進行實廠排放調查作業時，由於工廠製程複雜性和相互使用，建議未來應將相關製程結合作整體質量平衡計算，並將調查結果與工廠進行結果之雙向溝通，以尋求調查結果差異之原因和確認HVOCs排放量。

***Thanks for your
attention***

