

# 毒性物質污染防治

## 建立環境毒物調查流布模式之基本架構

簡慧貞\* 阮國棟\*\*

### 摘要

環境毒物流布調查及流布模式的建立是暴露評估的第一步。環境毒物流布乃環境毒物在不同介質如空氣、土壤、水、生物體之移動與分布，流布主要的動力有蒸發、吸附、擴散、機械性（物理性）、化學性、生物性移動。由於環境的複雜性，在建立環境流布模式之前首先應界定下列問題：

1. 研究目標設立：應明確訂出計畫的目的是篩選性或細部性。
2. 技術性考量：包括流布過程、組態（參數）範圍、介質特性等，皆應在模式建立時予以測量及研析。

模式建立應不斷予以驗證，並考量可取得的資料，建立模式之人力、時間、預算、設備資源等再決定其複雜性後，方可建立一可行且具預測能力的流布模式。

本研究將以建立環境流布之基本架構予以討論，也討論到影響環境毒物在各介質中流布的因素及各模擬模式；並期未來能建立農藥及環藥在環境中流布之評估模式，及建立化學、生物分析方法與環境品質背景資料，且以農藥及環藥之環境動向為依據，將其可能對人類的危害做相對的分類，並評估一套篩選優先次序。

### 一、前言

環境毒物模式的建立與應用，是毒物風險管理決策者評估所排放物質在環境中流布的最佳支援系統，亦是風險評估(risk assessment)中暴露評估的第一步，更可提供訂定物質排放的最低合理暴露劑量的參考。

化學物質在環境中的行徑及影響一般而言可以圖1來表示。

---

\*行政院環保署環境衛生及毒物管理處技正

\*\*行政院環保署環境衛生及毒物管理處處長

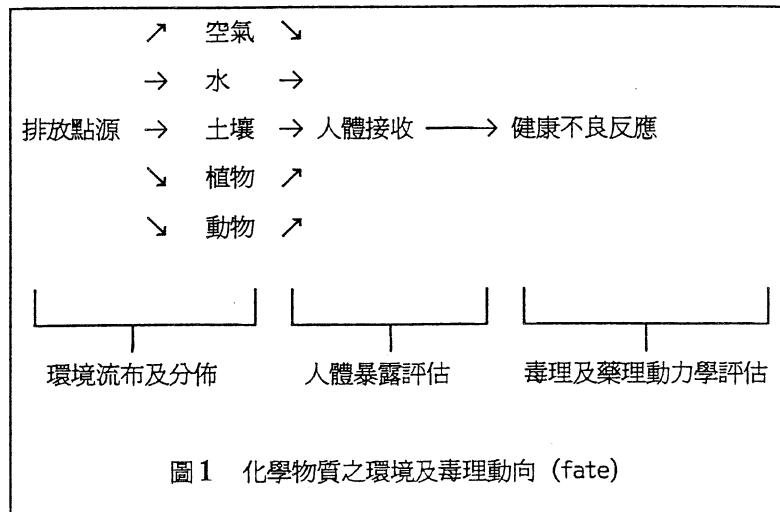


圖1 化學物質之環境及毒理動向 (fate)

由圖1所示，健康風險評估 (health risk assessment)乃綜合了化學物質之環境流布與分布評估，人類在環境毒物之暴露評估，及其毒理與藥理動力學評估。而本文所探討的即是「環境毒物流布及分布」評估模式的建立及應用之基本架構。

## 二、環境毒物流布模擬架構

毒物之環境流布模擬可依下列步驟來建立（圖2）：

1. 界定排放至環境中的毒性化學物質及其物理、化學性質。
2. 評估主要流布環境及介質。
3. 模擬各介質污染程度。

### 1. 界定排放至環境中的毒性化學物質及其物理、化學性質

一個毒性物質的物理及化學特性有助於瞭解此物質在環境中的反應及轉化，同時可決定此物質在環境中是否會有揮發、吸收、分解或累積等作用，因此界定排放至環境中的毒性化學物質及其物性、化性（表1）是建立或應用環境毒物流布模式的第一步。

而各種化學物質之物理與化學性質經常不易獲得，最可靠的方法是在實驗室內測量出來，此法經常是費時也費錢，第二種方法是由已發表的科學文獻來找尋已測量出的性質，第三種方法就是用科學的模式來計算此類化學性質。此種方法的好處是可以在最短時間內，與最經濟的情況下估計化學性質，但也需顧慮到估計的數值有時可能不是很準確。

目前有兩個化學特性估算模式可以加以利用。第一個化學性質估算法是 ATOMLOGP。在有機化學物質的環境流布研究中，分子的多種性質和在辛烷及水中相對溶解度（即分散係數）之間的關係已成為一項關鍵指標。已經發現這種關係與在水中的溶解度、土壤和沉澱物的吸收係數和水生動物中的生物濃縮因子密切相關。分散係數，由於

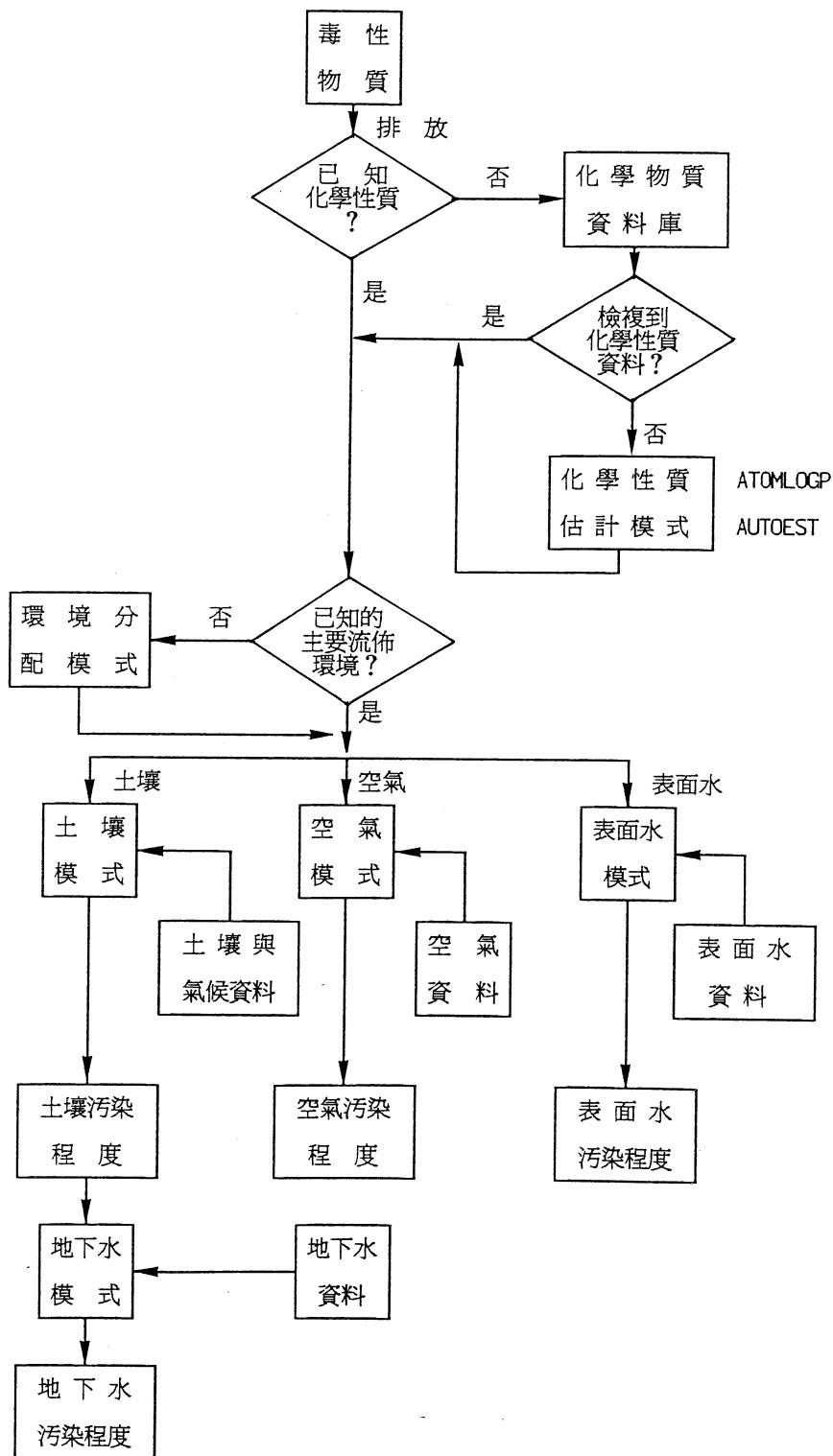


圖 2 建立環境毒物流布之模擬基本架構

表 1 化學物質之基本物、化性質

物理化學性質	特性
1.水的溶解度	在一定溫度下，一個化學物質至多能溶解在純水中的劑量。由於水的溶解度可以提供有機化學物質在環境中流布和轉化的許多訊息，它是液態和固態化學物質最重要的參數之一。越易溶解的化學物質會越快地、越廣泛地通過河流、湖泊或飽和土壤中的水，而散播開來。不易溶解的化學物質趨向於經由土壤或沉積物所吸收後蓄積於魚類和微生物中。高度易溶的化學物質也更易於被土壤、水面的微生物、或是污水處理廠所使用的細菌分解掉。
2.辛烷/水分散係數 (Kow)	在一定溫度下，一個化學物質在等量的辛烷與水中的濃度比率。此係數與化學物質在水中的溶解度，土壤和沉澱物的吸收係數，和水生動物中的生物濃縮因子有密切關係，因而已被認定是一個在新的或未定的化學物質研究中所必有的指標。
3.熔點	化學物質的熔點是其在一定外界壓力下，固態熔化時的溫度。此特性是估計固態物質水溶解度的一個必要參數。
4.沸點	此項定義為液體的蒸氣壓等於液體上大氣壓時的溫度。除了作為化學物質的物態指標（即液態還是氣態）外，沸點也提供了這種化學物質蒸發性的指標。
5.蒸氣壓	蒸氣壓被定義為在任何特有溫度下，化學物質的液態或固態與其蒸氣平衡時的蒸氣壓力。當某一化學物質被洩漏時，知道其蒸氣壓有助於估算蒸發速度。
6.Henry 定律常數	Henry 定律常數將化合物在氣相和液相的平衡濃度聯繫起來，以一個直接比率出現。這一特徵是確定某一化學物質自水中蒸發程度的關鍵因素。了解蒸發速度是確定進入大氣的化學質量和水中污染物濃度改變所必需的。這一特性的數值越大，化學物質由水中蒸發速率就越快。
7.生物濃縮因子 (bioconcentration)	化學物質的生物濃縮因子是在某一程度時這一溶解或是懸浮於水中的化學物質會聚積在水生動物，通常是魚類的體內。這一特性的數值由化學物質在生物體內(濕重)的濃度與在水中濃度的比值來表示。
8.有機碳吸收係數	化學物質被土壤和沉積物的吸收可被視為這種化學物質的分離過程。這種分離發生在液相（溶解著化學物質的水份）和固相（與化學物質溶液相接觸的土壤沉積物）之間。此分離過程由有機碳分離係數(Koc)來表示，係指 有機碳在固相和液相間自行分離的程度。

在估算這些特性中的用途不斷增多，已被認為是一個在新的或未定的化學物質研究中所必需有的指標。分散係數通常以 Log P 或 Log K<sub>ow</sub> 來表示。

ATOMLOGP 所採用的步驟是以單個原子為基礎對分散係數進行計算。化學物質中的原子可被分為多種類別。這種劃分是根據(1)原子的化學價。(2)原子上的電荷密度。(3)溶劑分子對原子的親和力。及(4)由公式推導出的數據矩陣縱列的線性獨立性。每種原子類別都具有特定的疏水值。知道原子類別及其在分子中的疏水值便可求得 Log k<sub>ow</sub> 值。

第二個估算模式是 AUTOEST。它計算化學物質的七項執行暴露評估時所需的物性與化性。這些物質可劃分為三組：第一組由「純」化學特性構成，如沸點、熔點和蒸氣壓。這些性質也常被引述為物理性質。它們作為其它兩組特徵的基礎值。

第二組特徵描述一種化學物質如何與另一物質相互作用，這些特性常被引述為化學性質。在水中的溶解度便是一例。對液體和固體而言，這是在環境生態最重要的化學特性之一，因為它能提供化學物質在環境中流布的許多訊息。

第三組描述是微量化學物質在特定環境的流布。這包括土壤的吸收係數，代表當水和有機固態物質存在時化學物質的特性。這可被簡單地視為化學物質流布的特徵。

## 2. 評估主要流布環境及介質

評估環境毒物主要流布之介質（空氣、水或土壤）除可由理、化特性及科學文獻加以判定外，亦可利用環境分配模式予以評估。

目前美國環保署毒管處建立了一個化學物質在環境中分配的模式 (ENPART)。這一模式以簡單物理、化學數據如分子量、溶解度、蒸氣壓等來計算化學物質排放到環境後，在空氣、水、及土壤中之平衡濃度比值。ENPART 最為有用的一點是作為生產前化學物質和現有化學物質審核的第一線篩選工具。此外，ENPART 還可用於敏感性的分析，這種分析可以判別重要化學資料的欠缺或判別環境中的空氣分隔，以著重於將來的檢測和模式應用。模式中平衡態和動態的計算都會產生濃度與含量的比值。這些比值，當與化學物質洩漏的資料合併一處時，平衡態和動態模式的計算都無法具備足夠的複雜程度來估算這種化學物質在每個空間分隔中的絕對濃度和含量。

ENPART 為一篩選模式，選用於對有機化學物質在環境媒介中之分配模擬，即估計此一物質進入環境中在一般情形下會有多少% 到空氣、水、土壤中。其特點為美國環保署使用來做第一階段之篩選工具，用來評估新化學品製造前的管理及既有化學品的管理。

## 3. 模擬各介質污染程度

模擬毒物在各介質的污染程度將有助於健康風險評估的進行（圖 3）亦是建立環境毒物流布模式的最終目的。環境流布分析時，必先建立一系列基本資料（表 2），以進一步模擬其在介質中蓄積的濃度。有關各介質中污染程度的評估如下：

### (1) 土壤

化學物質在土壤中的濃度與(1)粒子在土壤中的沈降速率常數。(2)化學物質在表

表 2 環境流布分析的資料輸入

空 氣

- 1.風向、風速、大氣穩定頻率 (atmospheric stability frequencies)
- 2.大氣溫度 (平均、最低、最高溫度)
- 3.早晚的混合高度 (mixing height)
- 4.地形 (terrain)

土 壤

- 1.土壤密度 (soil density)
- 2.辛烷 / 水分散係數 ( $K_{ow}$ )
- 3.Henry 定律常數
- 4.化學物質流入土壤時間 (length of time of chemical input)
- 5.總排除率常數 ( $k_e$ )
- 6.物理混合深度
- 7.粒子沈降速率

農產食物網

- 1.粒子沈降速率
- 2.粒子沈積於植物表面的比率 ( $f$ )
- 3.植物表面排除率 ( $k_e$ )
- 4.作物產量 ( $\Psi$ )
- 5.土壤至植物轉換因子
- 6.食入與牛奶 (肉) 轉換因子
- 7.生物消耗食物速率
- 8.辛烷 / 水分散係數 ( $K_{ow}$ )

水體食物網

- 1.粒子沈降速率
- 2.懸浮微粒物質濃度 (SPM)
- 3.水流出速率
- 4.沉澱速率 ( $S$ )
- 5.有機碳沈澱分率 (OC)
- 6.混合沈積深度 ( $md$ )
- 7.沉澱密度
- 8.平均水深
- 9.化學物質流入時間
- 10.主要魚類
- 11.魚類脂肪分率
- 12.水 / 微粒分配係數
- 13.空氣 / 水質量轉換常數
- 14.辛烷 / 水分散係數
15. Henry 定律常數

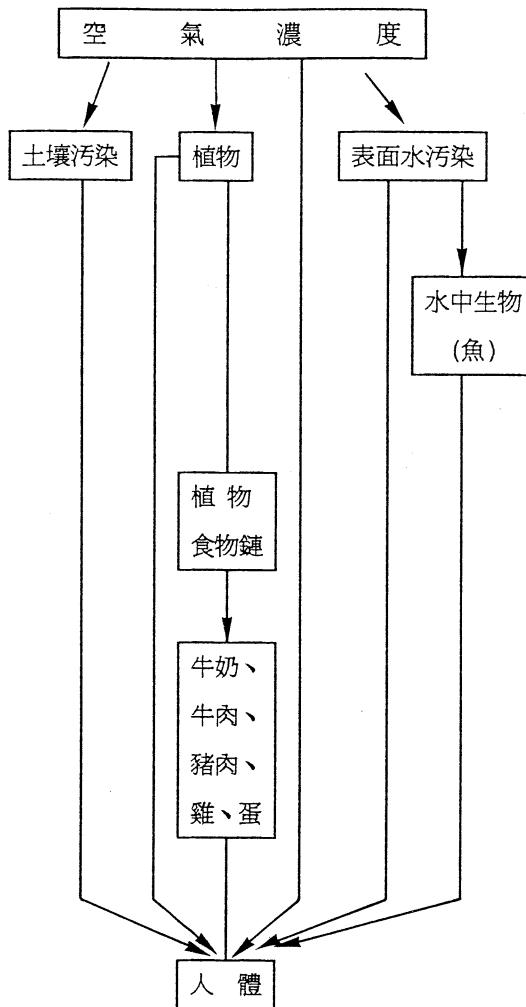


圖3 健康風險多介質暴露途徑

土的行徑。(3)化學物質在表土的壽命（生物分解、光解等）有直接相關。化學物質經過時間t後在土壤中的濃度 $c_t$ ，以下式表示

$$c_t = \frac{A (1 - e^{-K+t})}{d \cdot L \cdot K_e}$$

式中，

$c_t$ ：時間t後化學物質在土壤中的濃度( $\text{mg/g}$ )

A：化學物質流入土壤的濃度 ( $\text{mg}^2/\text{m}^2/\text{year}$ )

(化學物質在空氣中濃度×粒子沈降速率)

K：化學物質在土壤中分解蛻變常數

d：土壤密度 ( $\text{g/m}^3$ )

L：表土物性混合深度(m)

$K_e$ ：化學物質在土壤中的總排除率 ( $\text{year}^{-1}$ )

## (2) 農產植物

排放的化學物質在農產食物網的環境流布直接與下列因素有關：

①化學物質的沈降速率及作物的吸收程度。

②污染物在生物中的劑量。

③污染物在動物體內的藥物動力行為。

而在植物收作時期( $t$ )其污染物濃度  $C_t$ (mg/g)可以下式表示

$$C_t = \frac{(A) \times (f) \times (1 - e^{-k_e t})}{(K_e) \times (\Psi)}$$

式中，

A：化學物質進入作物的濃度 (mg/m<sup>2</sup>/day)

(大氣污染濃度 × 粒子沈降速率)

f：粒子沈積於植物表面的比率

$K_e$ ：植物表面排除污染物之速率 (day<sup>-1</sup>)

$\Psi$ ：作物產量 (g/m<sup>2</sup>)

## (3) 水體污染程度

排放的化學物質在水體的環境動向(fate)，直接與下列因素有關：

①化學物質在表面水體中的沉降率與行徑(behavior)。

②化學物質在各水體區間(compartment)至生命的生物相關動力(bioavailability)

③每一化學物質在水中生物的生物蓄積潛力(bioaccumulation)。

而化學物質在水相濃度乃依其辛烷 / 水分散係數(kow)有不同的計算公式，一般而言  $\log K_{ow} > 6$  的化學物質(如汞外之重金屬及大部分化學物質)，其在水體中濃度為  $C_{wp}$  (ng/g)。

$$C_{wp} = \frac{A}{h \cdot K \cdot SPM}$$

式中，

A：流入水體總濃度 (ng/m<sup>2</sup>/year)

h：水體深度 (m)

K：污染物排除速率常數 (year<sup>-1</sup>)

(包括流出、沈澱、蒸發、分解)

SPM：懸浮微粒濃度 (g/m<sup>3</sup>)

而  $\log K_{ow} < 6$  之化學物質其在溶解相(dissolved phase)中污染物濃度為  $C_{wd}$ 。

$$C_{wd} = K_p \times C_{wp}$$

其中  $K_p$  為水 / 微粒分配係數(water-particle partition coefficient)即代表液相與固相的比率。對揮發性有機物及蒸氣相重金屬而言，其以氣態進入水體之溶解相

污染物濃度  $C_{wd}$  以下式表示

$$C_{wd} = \frac{Cv}{H} - \frac{Fv}{Ko1}$$

式中，

$Cv$ ：蒸氣相污染物濃度 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )

$H$ ：Henry 定律常數

$Fv$ ：污染物進入水體濃度 ( $\text{ng}/\text{m}^2/\text{year}$ )

$Ko1$ ：總液體量轉換係數 ( $\text{m}/\text{year}$ )

但當污染物在大氣及水體濃度達平衡時， $C_{wd}$  可以  $\frac{Cv}{H}$  表示。

### 三、模擬環境毒物在各介質中流布之模式

模擬環境毒物在各介質中流布的模式有許多種，僅將探討美國環保署最常用的評估模式（表 3、表 4）敘述如下：

表 3 評估環境毒物在各介質流布之常用模式

模 式 名 稱	介 質	特 性
PTPLU 煙柱空氣模式	空 氣	可評估污染源最大短期影響。僅限使用於非反應性污染物之單一污染源。
ISCLT 工業污染源的複雜長期模式	空 氣	可預測短期或長期濃度，並使用於單一地形之鄉村或都市地區。
EXAMS- II 暴露分析模擬模式	表面水	能處理大部分的化學污染物，並提供其在水體行爲，但不模擬營養物(nutrients)、溶氧、生化需氧量及沈澱物需氧量。
SESOIL 季節性土壤區域模式	不飽和 土 壤	SESOIL是一個分析的區域(compartment)模式，用來對不飽和土壤區內的水與污染物垂直輸送的模擬。
AT 123D 多變的立體分析性模式	地下 水	AT 123D是用來推算單一污染 物與水在地下水層輸送的一個分析性質與系統。

表 4 各模擬模式所需基本參數

模種 式類	參 數 名稱	說 明
空氣 模擬 模式	1.風向、風速、與大氣穩定性頻率(atmospheric stability frequencies) 2.大氣溫度(平均、最低、最高溫) 3.早晚的混合高度(mixing height) 4.地形(terrain)	第一種資料是在任一大氣穩定性頻率(共有六個)下把風向與風速綜合發生的頻率列表存於資料庫中。這些資料是在長期空氣模擬時所必需的。
表面 水 模擬 模式	1.流量 2.河段寬度 3.懸浮沉澱物的濃度 4.有機碳在懸浮或水底沉澱物中的含量 5.河段的平均深度 6.流速 7.水溫度 8.酸鹼度 9.氧溶解濃度 10.有機碳溶解濃度 11葉綠素濃度 12細菌密度 13浮游生物質量濃度 14水面的風速 15雪層遮蔽度 16相對濕度 17水底沉澱物的多孔性	在指定河段的平均年流量與低流量。河段(reach)的定義在河流一個交叉點(支流進入或分出)到下一個是指交叉點間的這一段河流，冠以指定號碼以為識別。 河段的寬度對計算化學物質的光分解與揮發作用有相當關係。 此參數是用來計算化學物質被吸附在懸浮沉澱物的數值。 用來計算化學物質被此類沉澱物的吸附量。 計算污染物的光分解與揮發作用 計算污染物經過某一段河流所需時間 計算化學物質的第二級轉化率 計算酸性與鹼性的水解率 計算光和氧作用 計算光分解與有機碳合成作用 計算光分解率 計算生物分解作用 計算生物吸收作用 計算揮發作用 計算光分解作用 計算光分解作用 計算水底沉澱物的吸附與溶解度
不擬 飽所 和需 土的 壤參 區數 模	不飽和土壤區模擬所需的參數 1.有效的多孔性。 2.容積密度 3.內部的滲透性 4.地面到地下水層的深度 5.土壤的有機碳含量	從土壤的表面到下水層的上限即是不飽和土壤區。模擬化學物質在其中的變遷需要有以下五種的主要參數： 土壤的多孔性是來決定化學物質在其間的流速與揮發性。 乾燥土壤的密度用以計算化學物質吸附到土壤的程度。 以決定水在土壤中的下滲速度。 計算化學物質下滲到地下水層所需時間。 用以決定多少化學物質會被土壤吸附。

## 1. 空氣模式

美國環保署毒管處在日常作業上採用的兩種空氣模式簡述如下：

### (1) 煙柱空氣模式

PTPLU 適用於中等詳細程度的篩選過程。如果化學物質的濃度很低，就不再需要更為詳盡的模式。以周圍空氣與質量標準相較及研究空氣污染都需要計算化學物質的最大濃度。對此，PTPLU 提供了一個經濟上和技術上均有效的途徑。作為一種篩選模式，PTPLU 還可被應用於以下項目：

- ① 設計監測網路系統。
- ② 審核新的污染源。
- ③ 評價控制技術。

### (2) 工業污染源的複雜長期模式

當篩選需要更為詳盡的分析時，美國環保署所選擇的具時效長，地域簡單，調節性好的模式是 ISCLT。對污染源（分散的煙囎除外）進行空氣質量方面的分析常需要考慮許多其它因素，如瞬時性地播散，空氣動力學的尾隨效應，重力沉降和乾性沉積。ISCLT 可設計針對這些因素加以考慮，以滿足那些從事複式散播模式分析的需要。

ISCLT 最適用於對污染源進行下列形式研究：

- ① 申請燃燒物處理的許可證。
- ② 設計監測網路系統。
- ③ 評判控制策略。
- ④ 研究燃料（如煤炭）的轉化。
- ⑤ 評價控制技術。
- ⑥ 審核新的污染源。
- ⑦ 預防顯著空氣品質惡化。

一旦由模式獲取結果，便可以將 ISCLT 的結果為基礎估算暴露和危險性。人口暴露、平均壽命、日吸入劑量、及癌症發病率的增加均可被估算出來。這些結果也可經由模式中使用的一個或多個排放源來計算獲得。ISCLT 的結果與人口資料庫相聯，以反映工業區周圍人口的密度和分佈，從而估算出在所研究地區對一定數量人口的暴露程度和危險度。

支援 ISCLT 模式的圖示功能可得到由該模式估算出的化學物質在空氣中濃度的等值曲線，並重合於該地區的人口圖之上以直觀評估一個工業區的影響。

## 2. 表面水模式

有關表面水模式則以美國環保署發展的EXAMS-II (The Exposure Analysis Modeling System)最普遍被使用。EXAMS-II 是一個地面水轉化和流布的模式。這個模式模擬化學物質在表面水生態系統中處於穩定狀態或隨時間變化時的不同表現。這是一個劃分空間的模式，由獨立分離的水層和水底（河床沉積物）構成。根據污染源進入

水源的方式，EXAMS-II 可被用於估算於河流、湖泊、或河灣的特定位置化學物質的穩態濃度或隨時間而導致的濃度變化。污染物的混入可以是連續式點性或非點性來源，濕性或乾性沉積及滲漏。EXAMS-II 考慮下列的轉化和流布過程：水流、散播、沈降吸收、生物吸收、蒸發過程、水解過程、氧化過程、還原過程、光分解過程、生物分解過程、光氧化反應過程、陽離子交換過程、溶解的有機碳聚合過程。

EXAMS-II 提供如何評估化學物質在一個水的系統中的行為之方法，雖然此模式是為有機化學物所發展的模式，但用在無機化合物、金屬及保存性的離子成分一樣可以適用良好。使用適當的化學性質及環境資料做為輸入，EXAMS-II 可用來計算：

#### (1)暴露程度

根據使用者所設定的化學物質排放量的模型來算出預期的環境濃度（長期性的，或24小時及96小時短期性的）。

#### (2)溶解度

化學性物質在系統中的分佈狀況及在水中、底泥和懸浮沉澱物的相對分佈狀況。

#### (3)持續性

在化學性物質含量停止增加後，由於輸送或轉變過程的結果，使系統得到有效的淨化所需要的時間。

#### (4)風險

雖然EXAMS-II 並不直接計算風險度，但可利用結合模式所計算出的濃度加上一些已知的風險評估因數來決定對人體或水體的風險度，這些在評估風險時所需要之變數包括：暴露濃度、暴露途徑、吸收係數及劑量等。

EXAMS-II 模式由於其係屬於分析性模式的特性，會較一般的推測性模式所需的輸入資料少，但若是能提供較多的、品質較好的輸入資料，相對的才能得到最佳的模式結果。EXAMS-II 的資料文獻中提供了完整的模式所需的輸入資料表列，而下面的內容則列出重要的輸入資料項目。若下列的資料皆能取得，則將能得出最佳的模式結果。

#### (1)環境資料

研究地點的經緯度；地點的高度；地點的長度、寬度、深度；水表面的平均風速；特定地點的流速（每月）；特定地點的河流沉澱物產生量；特定區域的非固定點流量；特定區域的非固定點源沉澱量；下滲流量（在特定地點的地下水流入）；平均雨量（每月）；平均雲量以0~10表示，0表示晴朗，10表示陰暗（每月）；表面的太陽輻射量；特定區域的表面蒸發率（每月）；底部沉澱物的濃度與密度；在底部沉澱物的含水量；沉澱物的有機碳含量；沉澱物的陽離子交換容量；沉澱物的陰離子交換容量。

#### (2)水體水質資料

溶氧量；在某些特定地點的懸浮沉澱濃度；特定地點的溶解物含量；水體系統

的平均溫度（每月），特定地點的pH值（每月）；氧化劑的質量溫度；吸附在水中的生物質量(biomass)總量；吸附在沉澱物的生物質量總量；生物質量中浮游生物比率；特定區域的水溫（每月）；水中的細菌污染濃度；沉澱物中的細菌含量；能破壞化學物的細菌比例；氧化作用的變數；水中的溶解性有機碳含量；水底沉澱物的有機碳含量。

#### (3)化學物資料

化學物名稱；溶解度；蒸氣壓；辛烷／水分散係數；有機碳分配係數；化學物經各種過程後之蛻變速率；化學物的毒性資料；加水分解的蛻變速率；生物分解之蛻變速率；光分解之蛻變速率；氧化作用之蛻變速率。

#### (4)污染物含量資料

每月及特定地點之水流污染物含量；點污染源含量（每月，特定地點）；周圍的濃度（每月，特定地點）；非點污染源含量（每月，特定地點）；地下水合流造成之含量（每月，特定地點）；大氣中的沉澱所造成之含量（每月，特定地點）。

此系統可以產生兩種輸出圖表；即任何一個分隔部分「濃度與時間關係」的連線圖，或在任何一個特定時間「濃度與分隔部分關係」的條件圖表。

另外此模式需要有河段資料庫的支持。相關的河流系統均需加以河段的編號使在水文學上緊密相連，因而可用來顯示出所欲測繪地域的河流分佈，或追蹤毒性物質在河流中的污染程度與距離。

### 3.季節性土壤區域模式

SESOIL是美國環保署所建立的標準未飽和土壤模式。這個模式模擬污染物在非飽和土壤中長期的轉化和遷移，描述由地表延伸到地下水土壤層中的下述現象：

- (1)非飽和土壤地帶的水循環。
- (2)污染物在水源、土壤和空氣中的濃度和含量。
- (3)污染物向地下水的遷移。
- (4)污染物向地表面的蒸發。
- (5)污染物受地表的水流沖積下的流佈。

SESOIL以月為基礎估算所有上述成分，模擬時間可長達99年。土壤層可多至四層結構構成，每層都具影響污染物轉化的不同土壤特徵。另外每個土壤還可以下分多達十層，以提供具更高分辨率的污染物在土壤層中的轉歸和遷移資料。SESOIL的水循環成分是以垂直的水平衡分析的統計資料為依據的。

污染物在水中與空氣中的質量與濃度分配。不飽和土壤區的定義為從地表面垂直向下到地下水層的最上層。此外SESOIL亦可用來估算土壤表面污染物質的輸送。此模式利用毛細管與蒸發作用來模擬水與化學物質向上移動的速率。但不能模擬污染物的橫向移動分佈。

此模式係根據每月的降雨量來推算污染物的縱向移動，因此旱日的雨量和降雨時間多久，均只能以統計的方法來演算。

此模式需要下列五種輸入資料：氣象、土壤、化學物質、應用與沖積 (wash load)。氣象資料包括九項月平均變數計有降雨量與蒸發量；土壤資料則將不飽和土壤區分成四層，每一層有本身的土壤性質；化學物質資料包括有一般的化學物理性質計有水溶解度、土壤的分離及衰變速率等變數；應用的資料則包括化學污染物來源的各種數據，此模式可以接受各種形式的污染源，例如間斷式的、連續式或是因時間改變的各種形式；最後一種資料種類則為沖積資料，包括有表面土壤與地表面的各種特性。

#### 4. 地下水環境模式

地下水的環境模式有許多種。美國環保署毒管處所採用的是 AT 123D立體分析模式。AT 123D 是地下水流布的一個分析模式。這一模式可預測污染源通過地下水可滲性岩石的瞬時播散過程，並以立體特定座標估算在特定時間化學物質的濃度。它可以處理和計算化學物質從單一的點、面、線立體源頭向地下水均速或變速地洩漏過程。化學物質的洩漏可能是突發的，持續的或具一定的時限。

AT 123D 推算污染物質或水體在地下水中的分布。此模式可將使用者所指定的地下水層的一立體空間內的化學物質濃度推算出來，對於連續的或因時而異的污染來源也均能接受。化學反應過程則包括了吸附與退化。

執行AT 123D 需要有多種輸入資料，主要包括撞地下水的空間、土壤與污染物的性質、污染物排放量與排放時間、以及 X、Y、Z各方向輸出資料的座標。

## 四、討論與結果

由於評估環境毒物流布因子的複雜性，因此即使我們使用數理模式及實地調查驗證依然無法得知最精確的模擬模式，但致力於環境毒物流布調查確實有助益於：

1. 提供風險管理決策者對於排放物質作最佳之動向評估。
2. 由於流布暴露模式之審慎及保守性，其所扮演的角色就如同環境介質的守門者，使環境介質不受排放物污染。
3. 提供毒理學家判斷排放物質對人類危害的暴露上限。

為了更精確有效的建立應用環境流布模式，在研究進行時也應作下述的考量：

1. 研究目標設立要明確 (objective criteria)

基於研究目標的設立，研究者方能更具體的分析研究，通常所進行的研究可分為

- (1) 篩選計畫 (screening study)

篩選計畫乃為篩選某一污染地區或比較不同地區受污染程度的調查計畫，通常在資料取得不足以界定某一定點污染情況時只能進行篩選計畫。篩選計畫將有助於某地區資料的搜集。

- (2) 細部研究 (detailed study)

當資料足以對某一定點或某些定點做細部安全性環境影響評估，便進行細部研究。細部研究對定點的特定污染物作污染的預測。

## 2. 技術性準則 (technical criteria)

建立模式第二步要考量的是技術上的問題：

### (1) 流布過程 (transport and transformation processes)

為更正確的模擬流布模式，污染物的流布過程包括物理性移動(transport)如吸附、擴散、分解及因密度效應影響移動速率都應被考慮。此外化學性及生物性移動過程(transformation processes)如水解、光解、化學分解、氧化還原、生物分解、生物轉換、代謝等也要被模擬。

### (2) 組態範圍 (domain configuration)

決定模式組態範圍是技術上應考量的第二個問題如：

① 污染源流布系統。

② 單相或多相流布。

③ 1,2,3度空間流布。

④ 污染源特性，如污染源組成、點源、線源、面源污染等都在研究中應納入界定，

另在各介質中（水、空氣、土壤）的特性也在此項考量內。

### (3) 介質特性 (media properties)

## 3. 執行準則 (implementation criteria)

模式必需先經過驗證且是精確、有效、有意義且可行的。

## 4. 其他

其他影響模式建立的因素如：

(1) 可取得的資料、(2) 人力、(3) 時間、(4) 預算、(5) 設備資源、及研究的複雜性。

為更進一步評估驗證農藥及環藥在環境中流布之環境品質資訊，並提供環境污染防治各項標準訂定之基本資料，今後將繼續將進行一中程之「環藥及農藥環境流布調查評估」。

## 五、參考資料

- (1) Stevens J.B., Swackhamer D.L.; Environmental pollution :A multimedia approach to modeling human exposure.; Environ. Sci. Technol.; 1989 ;PP 1180-86.
- (2) 阮國棟、洪文龍；空氣品質擴散模式之選擇及應用，工業污染防治；1989，31冊；PP77-104。
- (3) U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Fed. Regist; 1987;PP25399-408.
- (4) Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide , Second Edition;U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards . U.S. Government Printing Office : Research Triangle Park, NC; 1987 ;EPA-450/4-88/002a.

- (5) Selection Criteria for Mathematical Models Used in Exposure Assessment; U.S.EPA, Office of Health and Environment Assessment; 1988; EPA/600/8-88/075.
- (6) Transport and Fate of Contaminants in the Subsurfaces; Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 1989; EPA/625/4-89/019.