

# 空氣品質擴散模式之選擇及應用

阮國棟\* 洪文龍\*\*

## 摘要

由於科技發展及經濟成長所帶來的污染問題，已造成對環境的破壞，尤其工廠及機動車輛之空氣污染更充斥整個環境空間。有效防制空氣污染必須透過空氣品質測試以判定應有之控制及管制措施。但是，由於全面品質測試需儀器經費龐大，且動用大量人力、耗時亦久，因此，美國發展空氣品質模式，利用少量測試數據，最少的工作人力，有效推估空氣污染狀況。本文綜合美國數十年研究成果，將各種模式加以整理分類，並概述其選擇方法及應用方式，裨益各界研究上之需求。

美國 EPA 將模式大略分為篩選模式及精練模式。在分析污染源資料時，必須先輸入篩選模式以決定是否需要利用精練模式分析，若需要時，再選定適當的精練模式，利用輸出結果判定污染源是否需做進一步之控制，本文其他部份則集中介紹各種模式之特性，適用範圍及選用方式。

## 1. 前 言

自清潔空氣法修訂和各州及地區之法令通過後，空氣品質管理系統開始在美國發展起來，此系統之基本組成為污染源排放、氣象測定、空氣品質擴散模式及環境空氣品質資料。本文將焦點集中於空氣品質擴散模式之選擇及應用。空氣品質模式由污染物排放源及大氣擾動和擴散程序相關之數學方程式所組成，可預測某距離範圍內容受體 (receptor) 中環境空氣所含污染物之濃度。因此，可用來判定或預估各種空氣污染問題所需之控制程度。清潔空氣法中也支持鼓勵此等模式之應用。

清潔空氣法1977年修訂本中兩個基本要求為：國家環境空氣品質標準 (NAAQS) 及預防空氣品質嚴重惡化 (Prevention of Significant Deterioration; PSD) 規定，均以地面污染物濃度項表示（見表 1 及表 2）。環境空氣品質監測為測定目前地表濃度最精確之方法。但是，這些數據的代表性受空間及時間所限制，而且必須之儀器操作昂貴。由於這些因素，模式便擴展來決定目前的空氣品質。而且，只有大氣擴散模式可提供某地區容受體內未來污染源排放及未來污染物濃度之連結性。另外，PSD 規定特別要求推導新污染再調查

\* 行政院環境保護署環境監測及資訊處處長

\*\* 工業技術研究院化學工業研究所副研究員

表 1 美國國家環境空氣品質標準 (NAAQS)

污染物	平均時間	一級標準	二級標準
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	年算術平均	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)	—
	24小時	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.14 ppm)	—
	3小時	—	1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.5 ppm)
總懸浮微粒 (TSP)	年幾何平均	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^{3d}$
	24小時	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
一氧化碳 (CO)	8小時	10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)	同一級標準
	1小時	40 mg/m <sup>3</sup> (35 ppm)	
臭氧 (O <sub>3</sub> )	1小時	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.12 ppm)	同一級標準
二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	年算術平均	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)	
鉛微粒 (pb)	3小時	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	同一級標準

表 2 預防空氣品質嚴重降低規定 (PSD)

污 染 物	最大容許增加濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	I	II	III
<b>懸浮微粒</b>			
年幾何平均	5	19	37
24小時最大值	10	37	75
<b>二氧化硫</b>			
年算術平均	2	20	40
24小時最大值	5	91	182
3 小時最大值	25	512	700

(New Source Review) 之預測模式。決定污染源是否嚴重係依其最大排放為基準。即在最大設計生產量並應用污染控制技術及操作限制下之排放量。嚴重污染源為對設定之特定污染源類別，其排放清潔空氣法所規定之任何污染物，每年可能超過 100 ton 者；其他種類之污染源每年排放量超過 250 ton 者。限值為 100 ton 之污染源種類包括大型燃油電廠、牛皮紙漿廠、治煉廠、鋼廠、及煉油廠等。

表 3 空氣品質模式特性及適用範圍

模 式 名 稱	特 點	適 用 範 圍
<b>1. 篩選模式</b>		
(Screening model) PTPLU	可估計污染源最大短期影響，可為精練模式分析選定容受體距離	僅限使用於非反應性污染物之單一污染源
PTMAX	為 PTPLU 之原始型模式	
PTDIS	可產生等濃度線或污染源之影響圖	同 PTPLU
PTMTP	可分析 26 個污染源對 31 個容受體之影響，可預測最大濃度發生點	可使用於非反應性污染物之多點污染源
<b>2. 精練模式</b>		
(Refined model) CRSTER	為唯一可判定高地之精練模式	僅適合排放及氣象條件固定之鄉村地區單一污染源
MPTER	可預測長期濃度，可分析 250 個污染源對 180 個容受體之影響	可使於鄉村地區之多點污染源
MPTDS	同 MPTER 並可說明污染物重力沈降及附著之損失	同 MPTER
RAM	可分析 250 個點污染源及 100 個面污染源，每支煙囪可有不同高度及三個面污染源排放高度	可使用於都市地區之點及面污染源
ISCST	可預測短期或長期濃度	可使用於單一地形之鄉村或都市地區
ISCLT	只可預測長期濃度	同 ISCST
VALLEY	可分析 24 小時最大濃度	可使用於鄉村地區之錯綜地形污染源
COMPLEX-I	為連續高斯模式並利用半高度矯正法	適用於 VALLEY 無法模擬之鄉村地區
COMPLEX-II	除橫風向之擴散由扇形平均來取代高斯分佈外和 COMPLEX-I 同	同 COMPLEX-I
COMPLEX/PFM	為 COMPLEX 修正版，可做潛流計算	同 COMPLEX-I 及 II
SHORTZ	利用實際小時氣象資料計算短期濃度為連續高斯模式	適用於含錯綜地形之都市或鄉村地區中錯綜污染源
LONGZ	利用氣象之 STAR 經常分佈計算長期濃度，為氣象高斯模式	同 SHORTZ

模式為大氣之數學概算。污染物擴散之複合物理及化學過程至今尚未被完全瞭解。由於大氣之擾動狀態，即使最佳的模式，仍然會有某些預測能力上之限制。排放及氣象數據之不定性也會導致模式預測上之不準確。雖然如此，模式代表對大氣物理瞭解之程度，可提供選擇之邏輯及有效應用之基礎。美國 EPA 已分佈數種擴散模式如何使用於目前空氣品質管理系統之摘要式指導手冊。本文中敍述之各種空氣品質模式特性及適用範圍摘要如表 3 所示。

## 2. 模 式 研 究

從單一煙囪到一個工業城市，估計污染源之短期（1小時到24小時）到長期（數月到數年）影響都需要利用擴散模式。必須分析之污染物包括固定污染源排放（SO<sub>2</sub> 及 TSP）及機動車輛排放（CO<sub>2</sub> 及 pb）和大氣中由其他污染物再形成者（NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>），也必須估計另外數種有害空氣污染物之暴露值。問題狀態通常可以決定應利用何種類型或何種等級之模式。

對應用於問題範圍較廣之擴散模式，一般處理方法可用如圖 1 之流程圖表示。為有效將一般化之擴散模式應用於特殊技術問題，必須定義三種類型之因子：污染源因子、廠址因子及氣象因子。

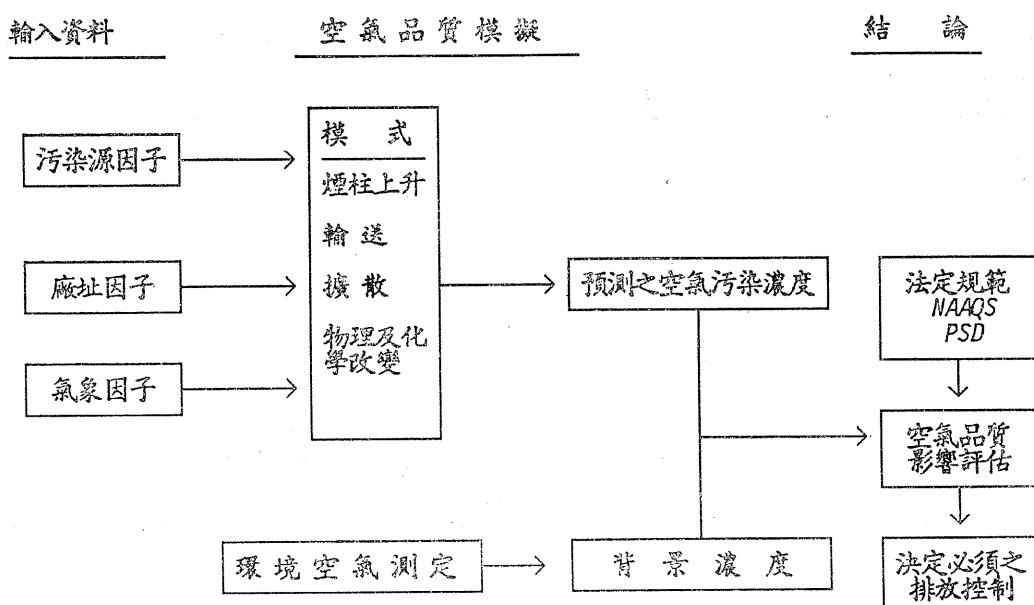


圖 1 擴散模式分析之一般處理流程

污染源因子所需之輸入資料包括：

1. 污染源種類（即：點、面、體積、線或溢散性）
2. 污染源操作時間表（每日／每週／每季變換）
3. 污染物排放率及可能的化學反應

4. 煙囗排放溫度、速度、直徑及高度
5. 附近結構之相關性 (氣動下洗, aerodynamic downwash)
6. 控制設備效率

重要廠址因子一般包括：

1. 污染源位置及高度
2. 周圍地形
3. 都市／鄉村特徵 (地表粗糙度)
4. 附近人口中心及其他敏感地點位置

氣象輸入資料包括：

1. 風速、風向、溫度及大氣穩定性之連續記錄
2. 表面粗糙特徵
3. 混合層之最小及最大高度

上列每項代表模式所需之一組輸入資料。

空氣品質模式由數種不同套之解決順序所組成，如估計因浮力及衝量之煙柱上升，平均風力造成之煙柱傳送，大氣擾動之擴散，如沈降之物理變化及大氣成份間之化學反應。模式之輸出供給預測之空氣污染物濃度。此值再加上代表所有遙遠而未納入模式之污染源之背景濃度值，總和即代表總空氣品質濃度，可和法定規範如 NAAQS 比較，以決定是否需要進行排放控制。

### 3. 模式分類

#### 3.1 EPA 空氣品質模式之分類

EPA 將空氣品質模式分為四種：高斯型、數值型、統計型及物理型。高斯模式為目前空氣品質衝擊分析使用之主要型式。此型模式說明風速及渦流擴散度 ( $K$ ) 值固定之 Fickian 方程式之解。對非反應性污染而言，易於使用且可獲得合理之結果。此模式因煙柱中污染物之濃度在橫風向及垂直方向上均假設為鐘形之正常分佈，因此稱為高斯分佈 (Gaussian distribution)。高斯分佈在煙柱中心之值最高，然後向邊緣逐漸遞減到接近零。為時間平均污染物濃度分佈觀點而非瞬間圖。因為大氣運動及污染源排放均隨時間而變，一般使用一小時平均值。數值模式利用數值解非線性擴散方程式；又稱為梯度傳送 (Gradient transfer) 或  $K$  模式。統計模式用統計函數來描述具有可預測現象之擴散運動。物理模式以使用風洞或其他流體模式化設施為基礎。這些類型模式需要比高斯技術更多的污染資源料，因而並未廣泛使用。

空氣品質分析家可選擇各種模式，目前也已有各種應用上之調查。但是，若目的是在對許可證申請之空氣品質衝擊評估或州及聯邦當局之法規審核則只有少數幾種模式可以應用。以下集中介紹 EPA 所發展，認可或宣稱可用於固定污染源規劃之各種模式。

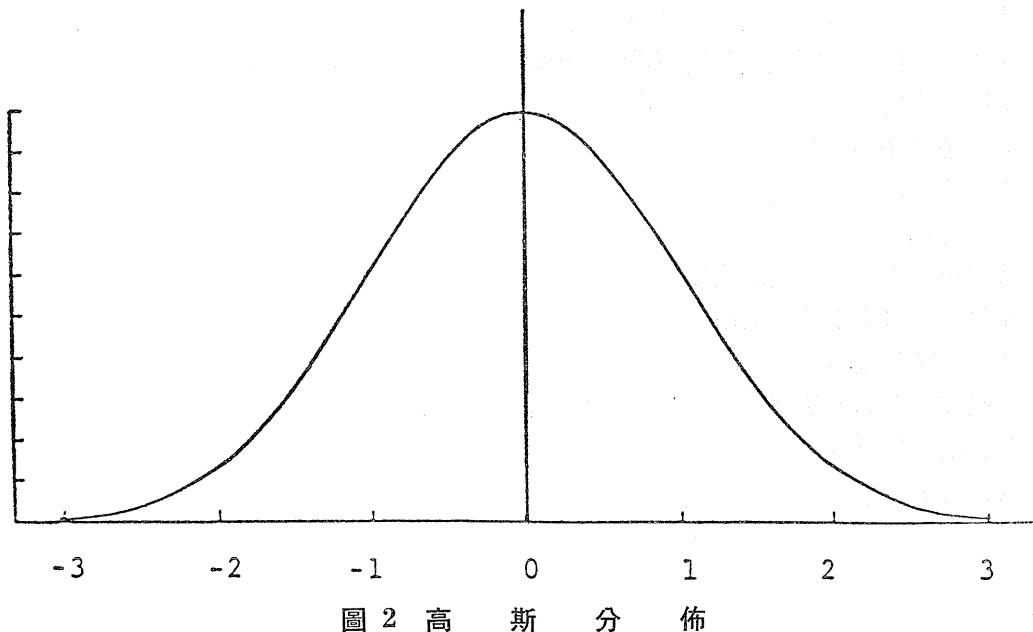


圖 2 高 斯 分 佈

### 3.2 模式使用者網路 (UNAMAP)

空氣污染應用模式使用者網路 (The User's Network for Applied Modeling of Air Pollution; UNAMAP) 計收集了31個以 FORTRAN 語言設計之電腦模式。EPA 環境作業組 (Environmental Operation Branch) 負責收集並提供科學界及定期補充最新資料。國家技術資訊中心 (National Technical Information Service; NTIS) 1983年8月出版 UNAMAP 第5版包含最常使用的這些空氣品質模式。UNAMAP-5 包含之模式及執行所需之 UNIVAC 1100 電腦機械記憶列於表4。所需記憶空間則依模式之幾千美元不等。

UNAMAP 包括固定污染源及移動源使用之模式。固定污染源程式另細分為四個種類。篩選模式 (Screening models) 可分析有限個數之污染源、氣象條件及容受體點。可保守估計污染物濃度，使用之電腦時間短且使用者所需之作業也較少。篩選模式可迅速估計是否污染源違反 NAAQS 或 PSD。EPA 更建議可使用於新污染源再調查。其他之固定污染源程式稱為精練模式 (Refined models)。篩選及精練模式之使用概述如圖3。若篩選模式指出污染源會造成問題，則需要精練模式。精練模式因可處理大量氣象數據，可同時考慮數千個污染源及容受體位置，可模擬如建築物下洗 (downwash) 複雜位置，故上機費更高。精練模式可分為氣象，連續或地區性模型。或以單一地形、錯線污染源及錯綜地形模式來分類。

氣象及連續型模式以高斯煙柱觀念為基礎，可應用於 50 km 以上之污染源——容受體距離。氣象模式利用氣象資料之統計簡化預測長期濃度，一般費用每次上機不超過 100 美元。連續模式利用全年每小時氣象資料之連續記錄預測長期及短期濃度。連續模式上機費依問題大小而定，一般每個污染源／容受體為 0.40 美元。例如，分析十個污染源在 400 個容受

表 4 UNAMAP 空氣品質模式

所需機械記憶 (Bytes) <sup>(1)</sup>			
固定污染源模式		SHORTZ	260 K(*)
篩選模式		COMPLEX-I	228 K(*)
PTPLU	68 K(*)	COMPLEX-II	228 K(*)
PTMAX	48 K(*)	COMPLEX/PFM	480 K(*)
PTDIS	60 K(*)	PAL	208 K
PTMTP	40 K(*)	PALDS	224 K
氣象模式		BLP	120 K
CDM	80 K	TEM8	192 K
CDMQC	196 K	地區性模式	
ISCLT	300 K(*)	MESOPUFF	236 K
LONGZ	240 K(*)	MESOPLUME	272 K
VALLEY	80 K(*)	移動污染源模式	
TCM2	200 K(*)	HIWAY	68 K
連續模式		HIWAY-2	72 K
CRSTER	108 K(*)	APRAC	80 K
MPTER	224 K(*)	APRAC-3	360 K
MPTDS	292 K(*)	ROADWAY	104 K
RAM	240 K(*)	ROADCHEM	124 K
ISCST	300 K(*)		

註 (1): (\*) 表示本文提及之模式

體之一年氣象，將花費  $10 \times 400 \times 0.40$  美元 = 1,600 美元。

地區性模式覆蓋之污染源——容受體距離超過 50km，而且需要比連續模式更多之氣象資料及電腦污染源。這些程式之上機費用非常昂貴。由於並不常使用，此處不再詳述。MESOPUFF 為一多變——彈道高斯煙柱模式，MESOPLUME 為 meso 型煙柱模式。都可計算自多點污染源排放長距離之  $\text{SO}_2$  及  $\text{SO}_4$  濃度。

本文討論之 UNAMAP-5 模式驗核程序如表 3。另外三種氣象模式則不在本文內，CDM CDMQC 及 TCM2 和 ISCLT 非常類似，PAL, PALDS 及 TEM8 等連續模式包含於其他程式之要件將會述及。BLP 則為用於鋁還原工廠之特殊技術，使用上較受限制。

#### 4. 篩選模式 (Screening models)

##### 4.1 篩選模式分類

EPA 四個篩選模式稱為 PTPLU (點煙柱)、PTMACX (點最大)、PTDIS (點距

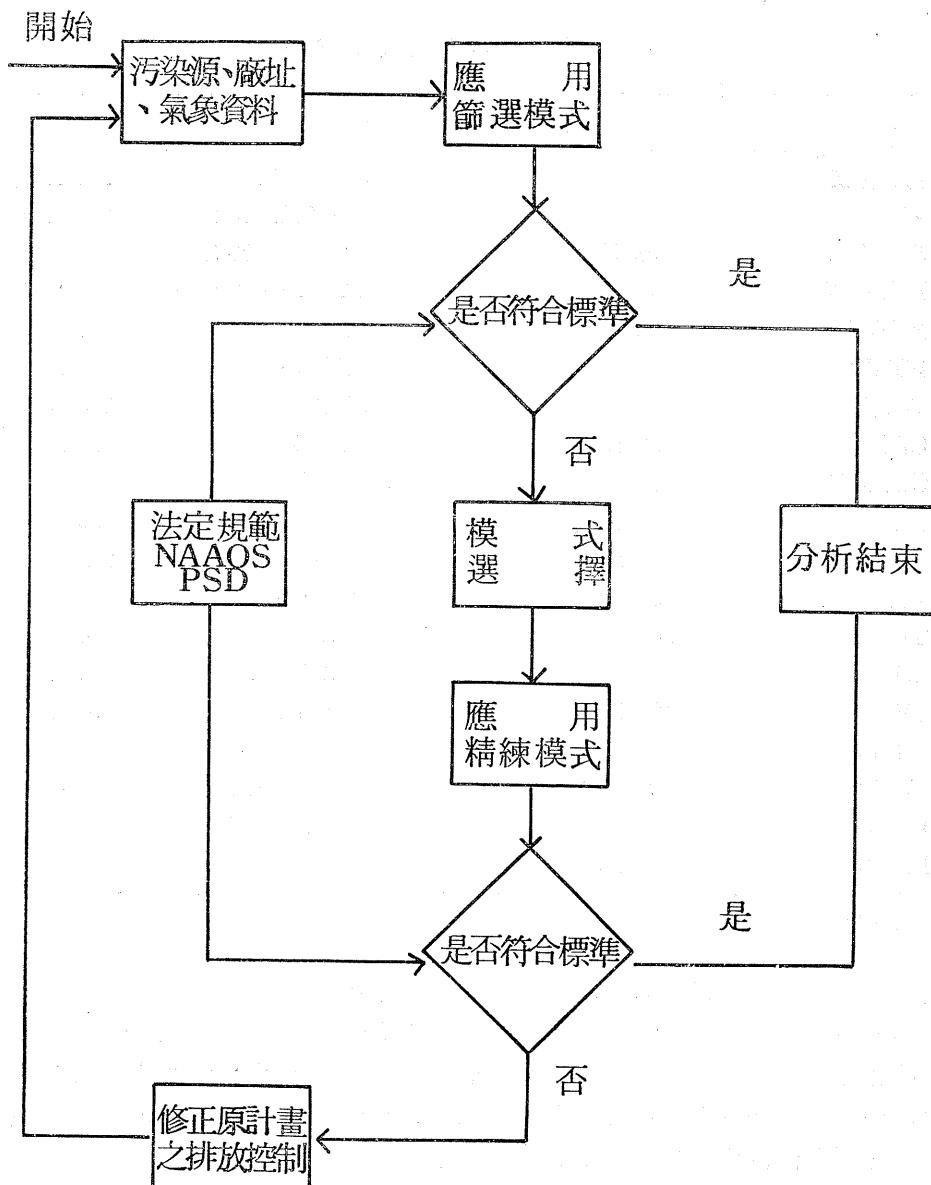


圖 3 新污染再調查中篩選及精練空氣品質模式使用程序

離) 及 PTMTP (點多點)，可分析、判定點污染源。這些程式由 Turner's Workbook 中之擴散技術推衍而來，包含 Brigg 之煙柱上升方程式，而且已併入 EPA 分析固定污染源衝擊之指導手冊中。

#### 4.2 PTPLU 及 PTMAX 模式

PTPLU 模式為 PTMAX 模式之修型，一般可使用於單一污染源時，可分析49組風速及 Pasquill-Gifford 各級穩定度，包含所有可能之氣象條件，決定下風污染物最大濃度

之大小及位置。也可印出每一組 PTPLU 風最大小時濃度及其距離。PTPLRU 輸出例如圖 4 所示。

PTPLU 有兩個用途：一、當和特定時間長度刻畫因子配合使用時，可估計污染源之最大短期影響。例如，可將 PTPLU 輸出之 1 小時最大值乘以 0.4 估計新污染源再調查之 24 小時最大濃度。第二、可為精練模式分析選定容受體距離。例如，容受體可沿受著連續環置於 PTPLU 指示之可發生最大短期濃度之位置。若對每一級穩定度，從圖 4 輸出中選擇一距離，則容受體環必須置於下列下風距離：0.647km, 0.962km, 1.423km, 2.999km, 8.792km 及 18.232km。注意該發展並非線性，因為是高斯模式之指數函數，因此實際上為常態對數發展。另一近似法乃將第一環 0.647km 距離乘以 EPA 建議之固定對數發展。使用者在為 PTPLU 選擇輸入因子前必須諮詢 EPA。PTPLU 由於為一單一篩選技術，故有某些限制。

但此模式僅適合單一污染源排放非反應性污染物而設計，無法計算容受體地帶之變化。

#### 4.3 PTDIS 模式

PTDIS 模式之目的不同。對單一污染源及氣象條件可決定距離與 1 小時濃度之下風剖面。剖面尖峰等於 PTPLU 之最大值。PTDIS 可產等濃度線，因此在固定氣象小時時，可做出污染源之影響圖。高煙囪之等濃度圖，如圖 5 所示。此程式在對單之影響評估時很有用，如檢視附近之污染管制區時。PTDIS 之限制和 PTPLU 相同。

#### 4.4 PTMTP 模式

PTMTP 為一多點污染源擴散模式，對使用者指定之任何數目之氣象小時，可分析 26 個污染源對 31 個容受體之影響。污染物濃度對 1 小時間隔計算，並對 24 小時做平均。當預期某地可能發生最大濃度或何種氣象狀況最差時，此模式最有應用價值。此訊息取自早期 PTPLU 對每一污染源之分析。通常研究多點污染源時，發生最大影響之位置和個別污染源者不同。因此，當許多污染源必須模式化時，最好使用精練模式。

### 5. 精練模式 (Refined models)

#### 5.1 精練模式分類

FPA 一般再將精練模式分為三大類，第一類為單一地形精練模式，可分析污染源地形平坦或簡單地形之污染狀況，第二類為錯綜污染源精練模式，可分析污染源分佈複雜地區之污染狀況，第三類為錯綜地形精練模式，可分析處於複雜地形中之污染源污染狀況。

本文中介紹之單一地形精練模式有 CRSTER、MPTER 及 MPTDS 模式三種，錯綜污染源精練模式有 RAM、ISCSL 及 ISCLT 模式三種，錯綜地形模式有 VALLEY、COMPLEX-I、II、COMPLEX/PFM、SHORTZ 及 LONGZ 模式六種。

選擇精練模式，分析污染源或州 EPA 辦公室之氣象學家。對模式使用，一般建議如表 5 所示，CRSTER 為鄉村地區之單一污染源基本模式，RAM 為都市地區之基本模式。對

PTPLU (VERSION 81036)  
 AN AIR QUALITY DISPERSION MODEL IN  
 SECTION 3. MODELS PROPOSED SEP80 FOR 81 GUIDELINES.  
 IN UNANAP (VERSION 4) DEC 80  
 SOURCE: FILE 13 ON UNAMAP MAGNETIC TAPE FOROM NTIS.  
 PLPLU EXAMPLE RUN FOR A COAL BOILER

\*\*\*SOURCE\*\*\*  
 EMISSION RATE = 19.20 (G/SEC)  
 STACK HEIGHT = 60.50 (M)  
 STACK DIAM = 1.50 (M)  
 EXIT VELOCITY = 8.92 (M/SEC)  
 STK GAS TEMP = 466.00 (K)

\*\*\*OPTIONS\*\*\*  
 IF=1, USE OPTION  
 IF=0, IGNORE OPTION  
 IOPT(1)=0 (GRAD PLUME RISE)  
 IOPT(2)=0 (STACK DOWNWASH)  
 IOPT(3)=0 (BUOY INDUCED DISP.)

\*\*\*INPUT PARAMETERS\*\*\*  
 AMBIENT AIR TEMPERATURE=277.00 (K)  
 ANEMOMETEK HEIGHT = 4.00 (M)  
 MIXING HEIGHT = 888.00 (M)  
 WIND PROFILE EXPONENTS =A:.10, B:.15, C:.20  
 D:.25, E:.30, F:.30  
 RECEPTOR HEIGHT = 1.80 (M)

VOLUMETRIC FLOW=15.76 (M\*\*\*3/SEC)      BUOYANCY FLUX PARAMETER=19.96 (M\*\*\*4/SEC\*\*\*3)

ANALYSIS OF CONCENTRATION AS A FUNCTION OF STABILITY AND WIND SPEED

STABILITY		WIND SPEED		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)		WIND SPEED (M/SEC)		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)	
1	1	0.50	0.80	7.9536E-05	8.5928E-05	0.952	0.773	465.1(2)	313.4(2)	0.66	8.374E-05	0.835	8.8592E-05	0.699	253.2(2)	368.8(2)	
1	1	1.00	1.50	8.8227E-05	8.9566E-05	0.711	0.618	262.8(2)	195.4	1.31	8.9576E-05	0.647	8.8042E-05	0.568	214.7(2)	163.3	
1	1	2.00	2.50	8.7888E-05	8.4999E-05	0.565	0.531	161.6	141.4	2.62	8.494E-05	0.524	8.0008E-05	0.485	137.6	122.2	
1	1	3.00		8.1660E-05	0.506	0.506	0.506	127.9	3.94	3.28	7.6161E-05	0.461	111.9				
STABILITY		WIND SPEED		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)		WIND SPEED (M/SEC)		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)	
2	2	0.50	0.80	4.6573E-05	5.1234E-05	2.886	1.994	465.1(2)	313.4(2)	0.75	4.5229E-05	2.088	5.4785E-05	1.494	329.7(2)	228.2(2)	
2	2	1.00	1.50	5.8449E-05	6.1811E-05	1.697	1.294	262.8(2)	195.4	1.20	5.8478E-05	1.292	6.2630E-05	1.017	195.0	150.2	
2	2	2.00	2.50	6.3030E-05	6.1090E-05	1.088	0.962	161.6	141.4	2.25	6.3004E-05	0.877	6.1698E-05	0.794	127.8	114.3	
2	2	3.00	4.00	6.1090E-05	5.8135E-05	0.878	0.774	127.9	111.1	3.76	5.949E-05	0.737	5.4897E-05	0.665	106.4	94.1	
2	2	5.00		5.8135E-05	0.709	0.709	0.709	101.0	7.51	6.01	5.0261E-05	17.621				87.4	
STABILITY		WIND SPEED		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)		WIND SPEED (M/SEC)		MAX CONC (G/CU M)		DIST OF MAX (KM)		EFFECT HT (M)	
3	3	2.00	2.50	5.1271E-05	5.3522E-05	1.986	1.716	161.6	141.4	3.44	5.4574E-05	1.423	5.3688E-05	1.270	119.2	107.5	
3	3	3.00	4.00	5.4455E-05	5.4124E-05	1.537	1.316	127.9	111.1	4.30	5.2026E-05	1.169	4.7911E-05	1.043	99.7	99.7	
3	3	5.00		5.2379E-05	4.7687E-05	1.185	1.037	101.0	8.61	6.89	4.3912E-05	0.968	3.7043E-05	0.884	84.0	84.0	
3	3	7.00		4.7687E-05	4.0920E-05	1.037	0.927	89.4	12.05	12.05	2.9665E-05	0.823	2.6117E-05	0.798	77.3	77.3	
3	3	10.00		3.7132E-05	3.2471E-05	0.885	0.842	80.7	17.22	20.66	2.2107E-05	0.774			72.2	72.2	
3	3	12.00		3.7132E-05	3.2471E-05	0.885	0.842	77.4	74.0	25.82					70.3	70.3	
3	3	15.00		3.2471E-05				74.0							68.3	68.3	

		****EXTRAPOLATED WINDS****						
STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)
4	0.50	6.3633E-06	37.982	465.1(2)	0.99	1.3781E-05	14.411	265.7(2)
4	0.80	1.1124E-05	19.352	313.4(2)	1.58	2.0488E-05	8.238	188.7
4	1.00	1.3972E-05	14.132	262.8(2)	1.97	2.3539E-05	6.459	163.1
4	1.50	1.9781E-05	8.711	195.4	2.96	2.8155E-05	4.367	128.9
4	2.00	2.3724E-05	6.378	161.6	3.94	3.0094E-05	3.447	111.8
4	2.50	2.6451E-05	5.099	141.4	4.93	3.0590E-05	2.999	101.5
4	3.00	2.8280E-05	4.318	127.9	5.92	3.0146E-05	2.713	94.7
4	4.00	3.0152E-05	3.417	111.1	7.89	2.8388E-05	2.341	86.1
4	5.00	3.0578E-05	2.998	101.0	9.86	2.6327E-05	2.128	81.0
4	7.00	2.9259E-05	2.481	89.4	13.80	2.2535E-05	1.892	75.2
4	10.00	2.6182E-05	2.117	80.7	19.72	1.8241E-05	1.721	70.8
4	12.00	2.4179E-05	1.979	77.4	23.66	1.6125E-05	1.656	69.0
4	15.00	2.1538E-05	1.845	74.0	29.58	1.3704E-05	1.593	67.3
4	20.00	1.8075E-05	1.714	70.6	39.44	1.0936E-05	1.529	65.6
		****EXTRAPOLATED WINDS****						
STABILITY	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)
5	2.00	2.8483E-05	8.792	123.3	4.52	1.8031E-05	6.798	108.4
5	2.50	2.5256E-05	8.178	118.8	5.65	1.5771E-05	6.378	104.9
5	3.00	2.2829E-05	7.709	115.4	6.78	1.4098E-05	6.068	102.3
5	4.00	1.9357E-05	7.049	110.3	9.04	1.1753E-05	5.626	98.5
5	5.00	1.6974E-05	6.598	106.8	11.29	1.0164E-05	5.319	95.8
		****EXTRAPOLATED WINDS****						
STABILITY	HIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)	WIND SPEED (M/SEC)	MAX CONC (G/CU M)	DIST OF MAX (KM)	EFFECT HT (M)
6	2.00	1.7763E-05	18.232	112.6	4.52	1.1995E-05	15.000	100.2
6	2.50	1.6104E-05	16.382	108.9	5.65	1.0535E-05	14.992	97.4
6	3.00	1.4810E-05	15.082	106.0	6.78	9.4235E-06	14.231	95.2
6	4.00	1.2821E-05	15.000	101.9	9.04	7.8614E-06	13.101	92.0
6	5.00	1.1321E-05	15.000	98.9	11.29	6.8002E-06	12.332	89.8

- (1) THE DISTANCE TO THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS SO GREAT THAT THE SAME STABILITY IS NOT LIKELY TO PERSIST LONG ENOUGH FOR THE PLUME TO TRAVEL THIS FAR.
- (2) THE PLUME IS OF SUFFICIENT HEIGHT THAT EXTREME CAUTION SHOULD BE USED IN INTERPRETING THIS COMPUTATION AS THIS STABILITY TYPE MAY NOT EXIST TO THIS HEIGHT. ALSO WIND SPEED VARIATIONS WITH HEIGHT MAY EXERT A DOMINATING INFLUENCE.
- (3) NO COMPUTATION WAS ATTEMPTED FOR THIS HEIGHT AS THE POINT OF MAXIMUM CONCENTRATION IS GREATER THAN 100 KILOMETERS FROM THE SOURCE.

圖 4 PIPLU 篩選模式輸出例

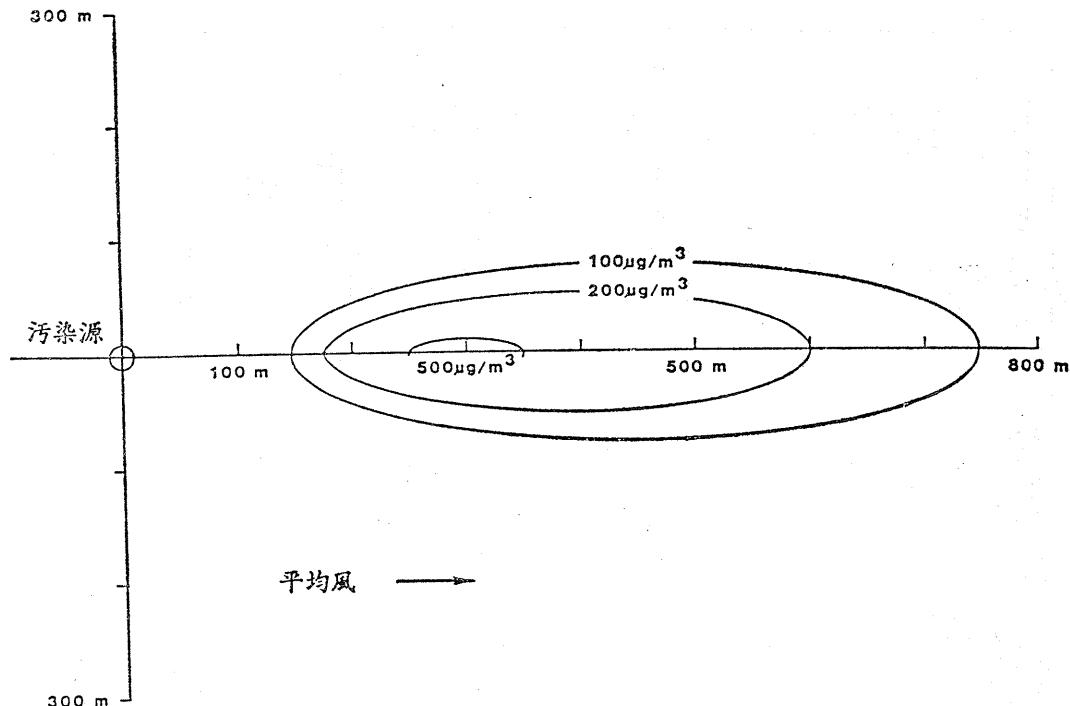


圖 5 PTDIS 模式輸出資料做成之  $\text{SO}_2$  1 小時地面等濃度圖

表 5 EPA 建議之模式選擇方法

擴散地區		模 式
<b>短期濃度</b>		
單一污染源	鄉村	CRSTER
	都市	RAM
多點污染源	鄉村	MPTER
	都市	RAM
綜合工業區	所有	ISCST
錯綜地形	鄉村	VALLEY COMPLEX-I
<b>長期濃度</b>		
單一污染源	鄉村	CRSTER
	都市	RAM
多點污染源	鄉村	MPTER
	都市	RAM
綜合工業區	所有	ISCLT
錯綜地形	鄉村	VALLEY COMPLEX-I

不複雜之鄉村地區多點污染源，建議使用 MPTER。鄉村及城市擴散之區別則詳述於 RAM 模式一節中。

煉油、鋼鐵廠等複雜工業通常由多種不同型式之排放所組成，其中某些為溢散性，會受建築物下洗所影響。工業污染源錯綜模式 ISCST 及 ISCLT 即專為此而發展。當容受體地面標高超過模式煙囪高度時，則稱發生錯綜地形 (complex terrain)。大部份 UENAMAP 模式無法處理錯綜地形之狀況，因此建議使用包含 VALLEY 及 COMPLEX-I 之雙層式步驟。其他有時可用錯綜地形之模式包括 SHORTZ、LONGZ、COMPLEX-II 及 COMPLEX/PFM。本文中所述之 12 種精練模式之功能比較如表 6 所示。所有這些程式均以穩定狀態之高斯煙柱觀念為基礎。

表 6 12種精練空氣品質模式之比較

	擴 散 地 區	污 染 源 型 式	地 形
CRSTER	鄉村	點	單一
MPTER	鄉村	點	單一
MPTDS	鄉村	點	單一
RAM	都市	點、面	平坦
ISCST	鄉村，都市	點、面、體	單一
ISCLT	鄉村，都市	點、面、體	單一
VALLEY	鄉村	點、面	錯綜
COMPLEX-I	鄉村	點	錯綜
COMPLEX-II	鄉村	點	錯綜
COMPLEX/PFM	鄉村	點	錯綜
SHORTZ	鄉村，都市	點、面、體	錯綜
LONGZ	鄉村，都市	點、面、體	錯綜

### 單一地形模式

單一地形模式為最簡單型連續高斯模式。以分析單一地形中之單一污染源或多點染源為主，利用模式中容受體網路設計將污染源周圍劑分為 5 個擴散環，再將容受體分佈於各擴散環上。

在計算污染濃度時，輸入氣象資料，利用煙囪頂下洗，浮力擴散及漸次煙上升原理，分析污染狀況。

本文中所述 CRSTER 模式可用於單一地形中之單一污染，也可用於高地形之單一污染源。MPTER 及 MPTDS 模式則可用於鄉村中單一地形之多點污染源。

#### 5.2.1 CRSTER 模式

##### 5.2.1.1

本文第一個討論之精練模式為單一污染源模式。可以模擬 19 個不同之點污染源但假設他們均排列於同一工廠內，因此稱為單一污染源模式。此模式適合有多個不同排放源之單一工

廠。CRSTER 以雙常態高斯煙柱方程式為基礎，並利用 Briggs 煙柱上升順序理論。此高斯煙柱模式乃為鄉村地區有固定混合高度 (mixing heights) 並配合 Pasquill-Gifford 擴散係數而修訂。在容受體座標 ( $x, y$ ) 中，時間——平均濃度 ( $x$ ) 之修正高斯方程式為：

若  $H \leq L$  則  $\sigma_z \leq 1.6L$

$$x = \frac{\theta}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \sum_n \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H+2HL}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

若  $H \leq L$  且  $\sigma_z > 1.6L$

$$x = \frac{\theta}{\sqrt{2\pi} \sigma_y L u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

若  $H > L$        $x = 0$

此處： $\theta$  = 排放率

$H$  = 有效煙囪高度 (物理煙囪高加煙柱上升高) (m)

$u$  = 平均風速 (m/s)

$\sigma_y, \sigma_z$  = Pasquill-Gifford 擴散係數 (m)

$L$  = 混合高度 (m)

方程式 1 表示靠近污染源處之濃度，此處污染物為地面所捕捉，而且同時發生混合高度。在夠遠的下風距離處煙柱在垂直方向上會漸漸均勻而形成方程式 2。特殊情況下煙柱會在混合度上，此時應用方程式 3，污染源之影響為零。

CRSTER 為穩定狀態模式，假設污染源及氣象條件對 1 小時基本時間單位為不變量。3 小時，24 小時及 1 年之長期污染物濃度可利用 1 小時值平均求得。污染物假設為穩定，無化學反應或沈降發生。計算用之風速為煙囪頂之值 ( $u$ )，可由地面風速 (10m) 值 ( $u_0$ ) 利用下式求得：

$$u = u_0(hs/10)^p$$

$hs$  = 煙囪高 (m)

$p$  = 風剖面指數。自 A 級穩定度之 0.1 至 F 級之 0.35。

對高地形之判定，CRSTER 為唯一可以應用之精練模式。CRSTER 可模擬單一地形之影響，其地面高程不高過最低煙囪之頂部。CRSTER 使用圖 6 所示之「總高」矯正。CRSTER 利用減去高斯煙柱方程式中之有效煙囪高 ( $H$ ) 計算地形之煙柱上升。實際上，地形會對風場造成相當大之變化，並會改變擾動及擴散特性。

### 5.2.1.2 輸入因子

CRSTER 需要三種基本型態之輸入資料：污染源，容受體位置及氣象資料。可模擬同一工廠內之 19 個個別點污染源。CRSTER 之容受體網路由工廠周圍 5 個環狀排列之 180 個點所組成。容受體位置在環上固定以  $10^\circ$  方位角相隔開，但環與工廠位置間之距離則不固定而必須由使用者設定。通常利用 PLPLU 篩選模式選擇這些距離。

CRSTER 中使用之連續氣象資料為由國家氣象中心 (NWS) 之實際小時觀察值，其

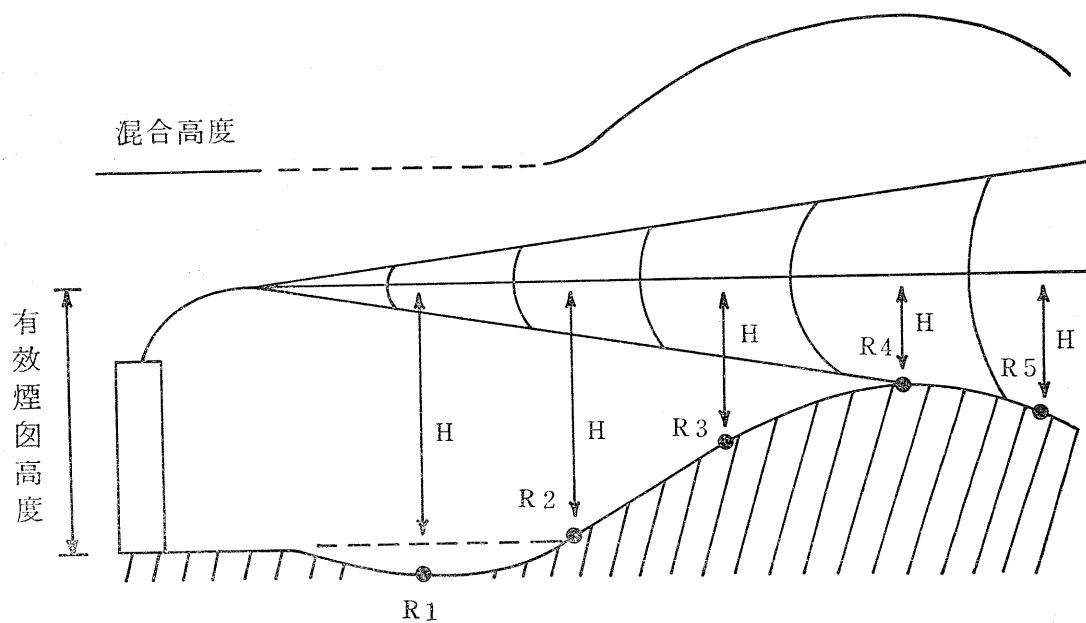


圖 6 CRSTER 模式中對單一地形之矯正

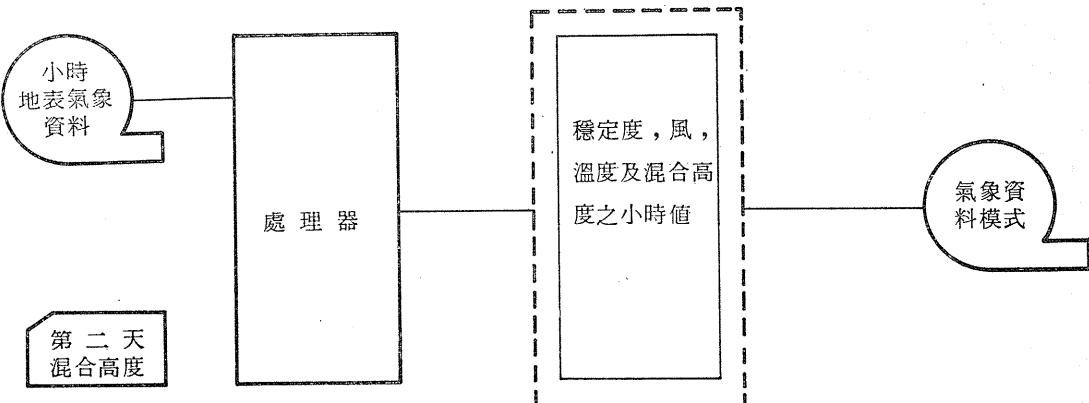


圖 7 氣象資料處理器處理流程

間長由 1 至 5 年。雖然利用現場氣象測定值更佳，但不容易獲得該值。NWS 資料首先需經 EPA 氣象處理器（個別電腦程式）處理。如圖 7 所示，處理機需輸入每小時地面氣象資料（風速、風向、溫度雲厚及雲底高度）及兩天混合高度資料。每一組資料均可由北卡州，Asheville 之國家氣象中心取得。利用 Turner's 法計算各級穩定度之每小時值，轉換混合高度為小時值，以  $1^\circ$  間隔增加風向角，再重新編排其他數據並將所有因子轉至磁片，稱做處理後氣象資料磁片，可利用 CRSTER 及大部份 EPA 精練模式讀取。當處理機感受到平靜期間時，此程式會利用最接近非平靜時期之風向值。

### 5.2.1.3 輸出

CRSTER 模式可提供多種不同型式之輸出資料。對平均時間 1 小時、3 小時、24 小時及 1 年，可產生最高及次高濃度之摘要表。執行模式中擴散計算的所有記錄可以歸檔寫入磁片中。圖 8 為 CRSTER 摘要表輸出例。此例為 180 個容受體上 3 小時 SO<sub>2</sub> 次高濃度。SO<sub>2</sub> 最高及次高濃度於該頁上端： $6.91 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3$  或  $691 \text{ mg/m}^3$ 。此值再和 NAAQS 之 3 小時 SO<sub>2</sub> 值比較（見表 1）。每一容受體濃度均以科學表示法並依每一環距離排列。抱弧表示該濃度發生於該年之日期及當日之時間間隔。例如，(33.4) 表示第 33 日（二月二日），第四個 3 小時值 (0900-1200)。

### 5.2.1.4 限制

CRSTER 為一精練空氣品質模式有下列幾個限制。因為以穩定狀態高斯之假設為基礎，因此當排放或氣象條件迅速改變時不適用。CRSTER 無法處理地表高過煙囪頂之錯綜地形，也不能處理建築物下洗，污染物沈降或化學變化。

## 5.2.2 MPTER 及 MPTDS 模式

MPTER 為 EPA 對鄉村地區之連續高斯多點污染源模式。似 CRSTER，可預測長短期濃度並可調整使用於單一地形。和 CRSTER 主要不同為有可能為真正之多點污染源地形，即，可對分之污染源做擴散計自算。MPTER 模式可計算 250 個污染源及 100 個容受體。使用者可由任意選擇進入容受體，或利用和 CRSTER 模式相似之方式產生 1 到 5 環的容受體。氣象資料輸入和 CRSTER 使用相同之處理氣象資料磁片。

MPTER 有三種煙柱及擴散選擇：煙囪頂下洗，浮力擴散及漸次煙柱上升。浮力擴散為 Psap-uill 提出之觀點：垂直擴散率 ( $\sigma_z$ ) 在煙柱上升時自正常 Pasquill Gifford 值增加到證明有空氣擾動產生時。當排氣之出口速度小於 1.5 倍環境風速時，煙囪頂下洗會降低有效煙囪高度 (H)。漸次煙柱上升可使煙柱漸漸跨越某下風距離而達到最後高度。由於 EPA 通常並未贊同利用此方法做為法規分析，使用模式者必須在使用前和 EPA 區域氣象學家做驗證。

MPTER 輸出可提供非常詳細的資料。輸出表可包括每一容受體 1、3、8 及 24 小時之最高五個濃度值。圖 9 顯示一年期間中數個容受體之 SO<sub>2</sub> 小時最高濃度值。各值均以之  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  表示，每一欄中之最值均在其左方加以星號。MPTER 之限制和 CRSTER 模式相類似。MPTOS 為 MPTER 修改型，可說明污染物重力沈降及附著之損失。表面附著通量可在選擇狀態下印出。更詳細資料則可尋使用者指導手冊。

## 5.3 錯綜污染模式

錯綜污染源模式，以任何污染可用結合四種基本污染源型態——點、線、面及體之觀念為基礎。線污染源為一元污染源。例如污穢路面之懸浮微粒。面污染源為二元污染源即假設從污染源每一部份之排放均為均勻速率。例如許多小排放點，如都市中所有如開放式儲存堆之溢散性排放。所有此三種污染源型態均有高過地面特徵排放高度 (H)。

計算連續，橫風面之線污染源濃度時，利用高斯點污染源方程式對該線之固定範圍積分。EPA 移動污染源模式 HIWAY-2 利用此種方式模擬線污染源排放。對無界限、橫風

PLANT NAME: EXAMPLE RUN POLLUTANT: SO<sub>2</sub> EMISSION UNITS: GM/SEC  
AIR QUALITY UNITS: GM/M\*\*3 YEARLY SECOND MAXIMUM  
3-HOUR CONC=6.9140-04 DIRECTION=10 DISTANCE=3.8 KM DAY=130 TIME PER100=4  
SECOND HIGHEST 3-HOUR CONCENTRATION AT EACH RECEPTOR

RANGE	0.9 KM DIR	1.5 KM	2.0 KM	3.8 KM	6.2 KM
1	2.8072-05(126,4)	1.3951-04(125,5)	1.7750-04(125,6)	2.3333-04(125,6)	2.4295-04(143,6)
2	4.6599-05(126,4)	3.6842-04(125,4)	5.4116-04(125,4)	5.2149-04(126,5)	2.9218-04(126,5)
3	1.1004-04(126,5)	5.3769-04(125,4)	6.8883-04(125,4)	6.0893-04(126,5)	2.7464-04(126,5)
4	4.7235-05(126,5)	6.8648-04(142,5)	5.4122-04(126,5)	6.4453-04(145,5)	2.7935-04(126,6)
5	4.6511-05(145,5)	6.4900-04(145,5)	5.2231-04(145,5)	2.5443-04(144,6)	2.5587-04(144,6)
6	5.9782-05(143,4)	4.9982-04(142,5)	3.9222-04(142,5)	2.7395-04(147,4)	2.0591-04(133,5)
7	4.8120-05(143,4)	3.0616-04(140,5)	4.2424-04(140,5)	5.3201-04(130,5)	5.9986-04(134,6)
8	1.0025-05(142,5)	6.7964-05(140,4)	1.3242-04(131,4)	4.0493-04(134,5)	3.0023-04(130,3)
9	2.3717-06(131,4)	8.2532-05(131,4)	1.9277-04(131,4)	4.3759-04(140,5)	3.0834-04(145,7)
10	5.6159-06(130,4)	1.3923-04(131,5)	4.2902-04(131,5)	6.9140-04(130,4)	5.4265-04(141,1)
11	6.1385-06(131,5)	2.6089-04(148,5)	5.0318-04(130,4)	3.3638-04(148,5)	2.7182-04(145,6)
12	9.9347-06(142,5)	1.7920-04(148,4)	2.2185-04(148,5)	3.2241-04(148,4)	2.5399-04(130,3)
13	6.9326-05(142,5)	1.1837-04(142,5)	1.2657-04(148,4)	3.1008-04(148,4)	2.2799-04(142,6)
14	2.5316-04(142,5)	5.1002-04(148,5)	4.4377-04(142,4)	2.4907-04(142,4)	2.4299-04(148,5)
15	4.6508-04(142,5)	5.7291-04(142,4)	4.4377-04(142,4)	3.9034-04(148,4)	2.7078-04(148,4)
16	3.7640-04(142,4)	2.6479-04(142,4)	1.9390-04(142,4)	1.2778-04(148,4)	7.9046-05(148,4)
17	8.6169-05(142,4)	5.6946-05(142,4)	3.7019-05(142,4)	5.1005-05(145,8)	3.8566-05(142,5)
18	1.0033-05(142,4)	1.3753-05(141,4)	1.2083-05(141,4)	2.3316-04(141,6)	2.7075-04(146,1)
19	3.2493-06(141,5)	5.5262-05(141,4)	3.3141-04(141,4)	2.8660-04(146,1)	1.9585-04(141,4)
20	5.8065-06(141,5)	2.5266-04(141,4)	6.0063-04(141,4)	4.9865-04(141,4)	3.6880-04(141,4)
21	1.0076-05(143,5)	3.4060-04(141,4)	4.5974-04(141,4)	3.5139-04(141,4)	2.7620-04(141,5)
22	7.7991-05(143,5)	3.5513-04(141,5)	3.7973-04(141,4)	3.6178-04(141,4)	2.0773-04(141,3)
23	3.0518-04(143,5)	1.9727-04(143,5)	1.1515-04(143,5)	1.4925-04(146,5)	1.0913-04(141,3)
24	2.1249-04(146,5)	3.1406-04(142,4)	2.4339-04(142,4)	2.1713-04(146,6)	1.4661-04(142,3)
25	7.9995-05(142,4)	3.6234-04(146,4)	3.5226-04(146,5)	2.7275-04(146,5)	1.3181-04(146,5)
26	4.3966-05(142,4)	3.5269-04(146,4)	5.3304-04(146,4)	5.2809-04(146,4)	3.3562-04(146,4)
27	2.2064-05(146,5)	1.7181-04(146,4)	2.4401-04(146,4)	2.0568-04(146,4)	1.4742-04(132,5)
28	4.3048-06(146,4)	2.8258-05(146,5)	4.0180-05(132,5)	1.6355-04(146,6)	1.6761-04(142,6)
29	7.1851-07(143,5)	9.4412-06(132,3)	3.1217-05(146,6)	1.7950-04(132,6)	2.0354-04(146,6)
30	3.0534-06(132,3)	2.2875-05(132,3)	6.4450-05(125,4)	2.6785-04(132,6)	2.5798-04(132,3)
31	1.1108-05(132,3)	1.4195-05(132,3)	7.6670-05(132,3)	1.9751-04(132,6)	1.9664-04(132,5)
32	3.2464-05(125,5)	2.1455-05(125,5)	3.5240-05(143,6)	1.5626-04(132,5)	3.1283-04(132,4)
33	1.9298-04(125,5)	2.1565-04(125,5)	2.0722-04(125,5)	2.2094-04(125,6)	2.5749-04(143,6)
34	1.8818-04(125,4)	1.0298-04(125,4)	2.2673-04(142,5)	3.0002-04(142,5)	2.9995-04(125,6)
35	3.3069-05(125,4)	8.8411-05(143,5)	1.8771-04(143,5)	2.3386-04(143,5)	1.3813-04(143,5)
36	7.1844-06(143,5)	1.0722-04(143,5)	2.2431-04(143,5)	2.7178-04(125,6)	2.0660-04(126,6)

圖 8 CRSTER 模式輸出例

FIVE HIGHEST 3-HOUR SO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS (ENDING ON JULIAN DAY, HOUR)  
(MICROGRAMS/M<sup>\*\*3</sup>)

RECEPTOR	1	2	3	4	5
1(-9.00,-9.00)	77.90(349,24)	53.03(169, 3)	52.66(327,24)	51.89(359, 6)	49.34(222, 3)
2(-9.00,-8.00)	67.81(327,24)	66.96(349,24)	66.91(359, 6)	62.60(222, 3)	58.79(349,21)
3(-9.00,-7.00)	85.57(144,24)	75.11(349,24)	75.06(359, 6)	65.26(349,21)	64.33(336,21)
4(-9.00,-6.00)	95.56(144,24)	72.00(336,21)	53.03(132,24)	43.80(223,21)	43.46(208,24)
5(-9.00,-5.00)	121.83(144,24)	96.28(336,21)	68.38(245,21)	62.26(132,24)	61.20(223,21)
6(-9.00,-4.00)	69.94(245,21)	65.59(336,21)	65.45( 20, 3)	61.70(144,24)	58.26(221,24)
7(-9.00,-3.00)	41.34(336,21)	40.13(221,24)	32.52(281,18)	31.73(245,21)	24.62(224,24)
8(-9.00,-2.00)	122.57(221,24)	72.56(347,18)	53.30(151, 6)	53.04(305, 6)	52.40(350, 6)
9(-9.00,-1.00)	43.38(221,24)	30.72(347,18)	29.53(132,21)	28.72(280,18)	20.53(224,24)
10(-9.00, 0.0 )	104.15(280,18)	85.99(304, 6)	85.88(303, 9)	85.70(334, 3)	85.64(350, 6)
11(-9.00, 1.00)	115.61(165,21)	102.61(280,18)	82.32(304, 6)	82.32(303, 9)	82.31(334, 3)
12(-9.00, 2.00)	108.92( 73, 6)	76.33(165,21)	54.44(334, 3)	54.43(303, 9)	54.42(304, 6)
13(-9.00, 3.00)	107.43( 73, 6)	75.19(165,21)	53.71( 36,21)	53.60(236,24)	52.21( 11, 6)
14(-9.00, 4.00)	127.99( 73, 6)	126.17( 36,21)	103.26(246, 3)	72.87(109,24)	63.94(236,24)
15(-9.00, 5.00)	147.13( 73, 6)	145.33( 36,21)	142.12( 3,21)	121.77(246, 3)	86.65(280,24)
16(-9.00, 6.00)	17.92( 3,21)	17.65(220,21)	16.93(109,24)	16.61(280,24)	12.03(258, 6)
17(-8.00,-9.00)	25.50(349,24)	22.41(339, 9)	22.29(349,21)	21.83( 30,18)	17.68(169, 3)
18(-8.00,-8.00)	84.89(349,24)	57.95(169, 3)	57.45(327,24)	56.54(359, 6)	54.55(222, 3)
19(-8.00,-7.00)	47.40(144,24)	39.69(132,24)	36.64(349,21)	36.18(339, 9)	34.21(222, 3)
20(-8.00,-6.00)	53.77(144,24)	43.81(132,24)	40.72(349,21)	37.84(349,24)	37.80(359, 6)
21(-8.00,-5.00)	50.95(144,24)	44.71(132,24)	34.02(336,21)	33.41( 68,21)	31.03(281,18)
22(-8.00,-4.00)	137.69(144,24)	104.13(336,21)	100.62( 20, 3)	80.42(245,21)	72.85(132,24)
23(-8.00,-3.00)	109.75(336,21)	105.28(245,21)	92.08(221,24)	66.44(208,24)	66.03(177, 3)
24(-8.00,-2.00)	110.07(221,24)	69.82(281, 6)	66.55(347,18)	50.20(245,21)	42.80(151, 6)
25(-8.00,-1.00)	82.77(221,24)	55.26(280,18)	52.16(347,18)	46.37(132,21)	41.99(245,21)
26(-8.00, 0.0 )	98.59(280,18)	66.57(132,21)	61.06(165,21)	60.41(304, 6)	60.23(303, 9)
27(-8.00, 1.00)	143.39(165,21)	126.24(280,18)	101.52(304, 6)	101.51(303, 9)	101.50(334, 3)
28(-8.00, 2.00)	173.85( 73, 6)	122.63(165,21)	86.93(304, 6)	86.93(303, 9)	86.93(334, 3)
29(-8.00, 3.00)	160.57( 73, 6)	92.61(109,24)	80.28( 36,21)	80.28(236,24)	78.03(350, 3)
30(-8.00, 4.00)	156.70( 73, 6)	154.51( 36,21)	126.82(246, 3)	98.23( 3,21)	90.00(109,24)
31(-8.00, 5.00)	163.57( 73, 6)	163.57( 3,24)	161.30( 36,21)	155.50( 3,21)	132.61(173,24)
32(-8.00, 6.00)	50.39(280,24)	46.16( 3,21)	37.94(209,21)	36.38(109,24)	35.18(173,24)
33(-8.00, 7.00)	38.37( 3,21)	38.25(221, 3)	36.57(334,24)	34.30(258, 6)	32.58(209,21)
34(-8.00, 8.00)	24.27(334,24)	23.95(349, 6)	23.21(258, 6)	20.91(122, 3)	19.65( 3,21)
35(-8.00, 9.00)	24.99(334,24)	24.66(349, 6)	23.60(258, 6)	21.25(122, 3)	17.91(180, 3)
36(-7.00,-9.00)	21.12(259, 6)	19.70(339, 9)	19.63(349,24)	19.30(349,21)	18.99(144,15)
37(-7.00,-8.00)	31.87(349,24)	27.25(339, 9)	26.93(349,21)	26.58( 30,18)	23.13(171, 3)
38(-7.00,-7.00)	17.08(144,15)	17.03(339, 9)	16.49(322,18)	16.31(239,21)	14.52( 72, 6)
39(-7.00,-6.00)	34.78(132,24)	26.88(144,24)	23.20(349,21)	23.02(171, 3)	20.30(143, 3)
40(-7.00,-5.00)	64.99(144,24)	53.08(132,24)	44.02(349,24)	43.97(359, 6)	43.50(336,21)
41(-7.00,-4.00)	149.87(144,24)	110.89(336,21)	81.77(132,24)	71.60(144,21)	66.65(223,21)
42(-7.00,-3.00)	114.89(245,21)	110.94(336,21)	105.75( 20, 3)	97.82(221,24)	85.83(132,24)
43(-7.00,-2.00)	78.17(336,21)	74.81(221,24)	70.10(347,18)	55.36(245,21)	43.06(208,24)
44(-7.00,-1.00)	238.59(120, 6)	200.71(221,24)	132.83(347,18)	119.54(350, 6)	116.22( 20, 3)

圖 9 MPTER 模式輸出例

\*

點污染源

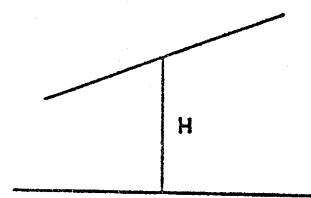
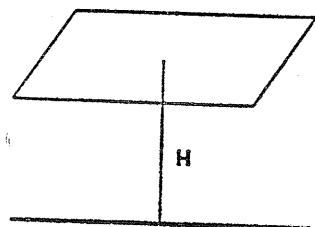
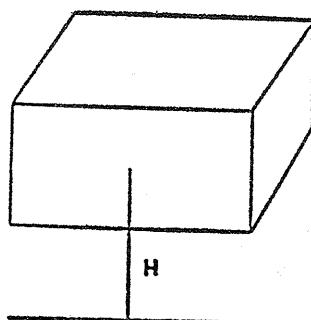
線污染源  
(一元)面污染源  
(二元)體污染源  
(三元)

圖10 空氣品質模式化中四種基本污染源型式

向之污染源，積分可減化為分析式。計算面污染源濃度時，線污染源方程式對面污染源沿風向積分。PAM 模式利用此種方式假設為無界限線污染源來模擬面污染源及方程式型式。ISCST、ISCLT、SHORTZ 及 LONGZ 等模式利用有限積分線污染源方程式表示面污染源排放。

計算體污染源濃度時，如 Turner 所述乃利用垂直點污染源方法。ISCLT, ISCLT, SGORTZ 及 LONGZ 模式均使用此方法。在 SHORTZ 及 LONGZ 模式中，建築污染源均視為體污染源。

與為錯綜污染源找尋適當擴散模式一樣困難的問題為：精確記述溢散污染源之排放率。

EPA AP-42 文件中已將點污染源排放係數完成分類。目前類似之工作則在做成對數型式溢散污染源平均排放率之估計。

### 5.3.1 RAM 模式

RAM 為 EPA 對都市地區之連續高斯點及面污染源模式。其方程式輸入及輸出和 MPTER 方程式非常類似。RAM 模式和 EPA UNAMAP 模式相同有唯一性特徵，但是基本上以擴散係數為主不同於 Pasquill-Gifford。如圖 11 所示，RAM 擴散曲線及由聖路易 McElroy 及 Pooler 推導之追蹤劑經驗再由 Briggs 推衍而來。這些擴散曲線代表粗糙長度約 100cm 之都市地區。圖 11 比較 RAM 都市曲線及代表粗糙長度只有 3 到 30cm 之 Pasquill-Gifford 鄉村曲線。同時可看出由於鄉村地區增大機械及熱擾動，因此鄉村曲線代表較大之擴散速率。RAM 模式利用 BRIGGS 方程式做煙柱上升。RAM 並無地形校正；假設附近地區均非常平坦。

有一重要課題即何時必須使用都市模式 RAM 來取代 EPA 鄉村模式 CRSTR 或 MPTER？則不易回答，因為此處希望固定進入都市或鄉村不同地區之連續授動狀況。對擴散模式則有數種決定何時為都市地區之方法。第一、必須以每一污染源為

中心畫一半徑 3km 之圖。下列狀況下為都市地區：

1. 使用之土地超過 50% 為 Auer 分類之 11, 12, C1, R2 或 R3 級。
  2. 人口密度超過 750 人／公里<sup>2</sup>。
  3. 平均粗糙長度超過 50cm。
- 假如模式化之大部份污染源在都市地區內，則必須使用都市 RAM 程式。

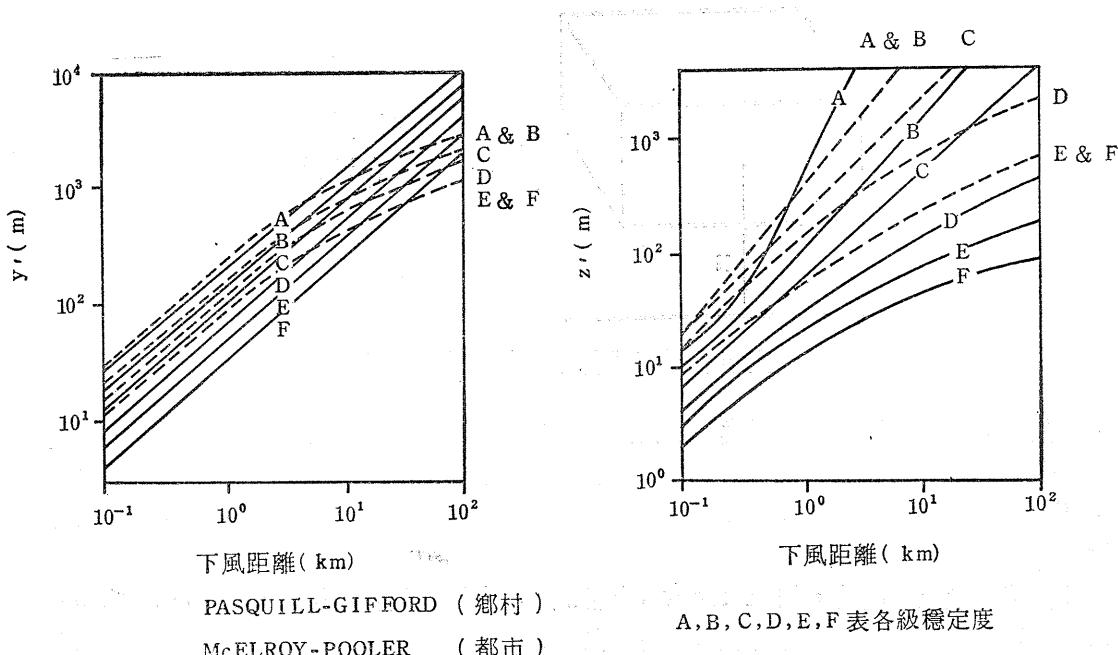


圖11 都市及鄉村擴散曲線之比較

RAM 模式可允許使用者輸入 250 個點污染源及 100 個面污染點。可選擇每個煙囪有不同之高度，而且可有三個面污染源排放高度。氣象輸入資料和 CRSTER 類似。容受體可以四種方法之一來說明：個別污染源，極座標網路（如 CRSTER），直角座標網路，或由模式自選。最後一種方法可使模式將容受體設置於預期將會發生既定平均時間（如 3 或 24 小時）最大濃度之地點。因為風在 24 小時間隔之間會改變，因此模式選擇之容受體也會改變位置。這些容受體之輸出則無法和法定規範比較。但是在選擇可能之環境監測位置及判定後續模式執行之容受體時，這些位置相當有用。

RAM 之輸出及限制和 MPTER 相同，但是有另外一個限制：此程式無法說明都市地區地形之任何影響。

### 5.3.2 ISCST 及 ISCLT 模式

工業污染源錯綜模式 (ISC) 用於模擬單一地形之任何錯綜污染源問題。ISCST 程式可輸出短期或長期濃度，但是 ISCLT 程式只可預測長期濃度。兩種模式均可處理鄉村及都市地區。都市擴散則將 Pasquill-Gifford 穩定度 E 級及 F 級轉換成 D 級狀況來模擬。ISC 模式之優點包括說明溢散性排放、建築物下洗影響及大顆粒懸浮微粒重力沈降及乾式附著等。

ISCST 程式結構如圖 12。此連續型高斯程式和其他 EPA 模式相同，使用同一處理氣象資料之磁碟。此外，氣象資料可以卡片輸入。ISCST 有許多種輸出格式，均由使用者控制。並可設定固定程式控制因子之印表輸出，得到每一污染源／容受體／時間期結合之詳細資料而無過量之輸出。

ISCLT 程式處理流程如圖 13。為一氣象型高斯模式，可由卡片輸入之氣象資料估計長期濃度。這些資料代表風向、風速、及稱為 STAR 級穩定度之氣象分佈 (S Tability A Rray)。STAR 資料可從北卡州 Asheville 國家氣象中心取得。基本上有 6 個風速分類，16 個風向及 5 或 6 個穩定度分級。ISCLT 模式及其他氣象模式不像連續模式需對該年每 1 小時做計算，因此上機費較低。氣象模式中使用之扇形平均高斯方程式則在 Turner's Workbook 中敘述。

兩種 ISC 模式均有數種新特色。對地面濃度，可計算出污染物沈降值，沈降可以單位面積單位時間之質量表示，並可代表有害空氣污染物自大氣中沈降出並進入附近土壤或表面水體之速率。這些模式為 EPA 程式中唯一可模擬和建築物下洗有關之弱洞影響 (Wake Cavity)。下洗會大量增加污染源附近之垂直擴散及最大地面濃度。假設煙囪之物理高度加上喉柱上升之衝量部份小於 EPA 定義之良好工程實際高度 (Good Engineering Practice Height)，ISC 模式可對下洗做矯正。最後，ISC 模式結合懸浮微粒之重力沈澱及沈降方程式。這些影響可對一個、數個或許有排放污染源定為微粒粒徑之函數，而且每個污染源可容納 20 種粒徑。

ISC 模式之污染源輸入包括 100 個任何點、面及體污染源之結合。集合面污染源可代表第四種基本型態：線污染源。每一污染源之排放可持續保持固定一年，或依月、小時、季及風速和穩定度而變。最後一種選擇，當模擬與氣象條件有非常係之開放式儲存堆溢散性懸浮微粒排放時最有使用價值。利用三種不同方式可詳細說明 400 個容受體：如個別點，在極座

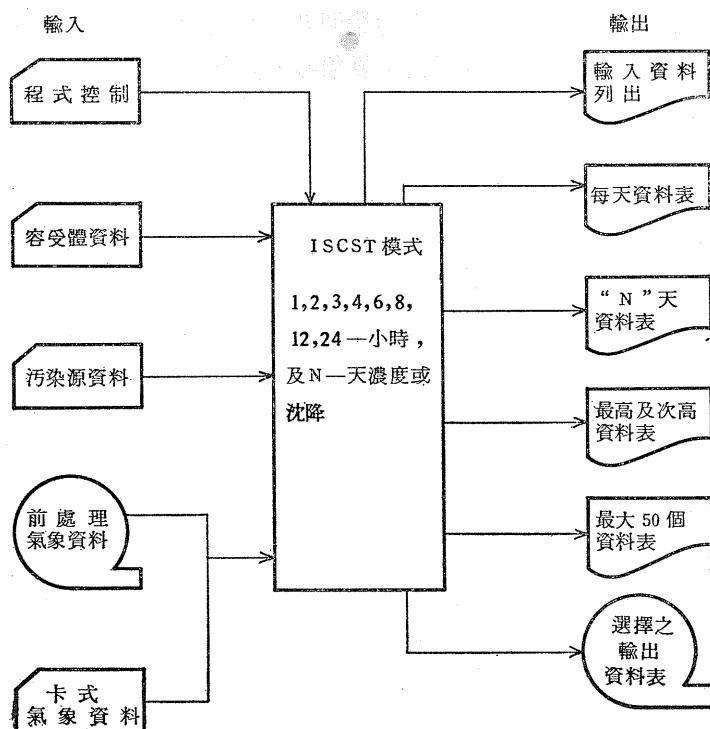


圖12 ISCST 模式處理流程

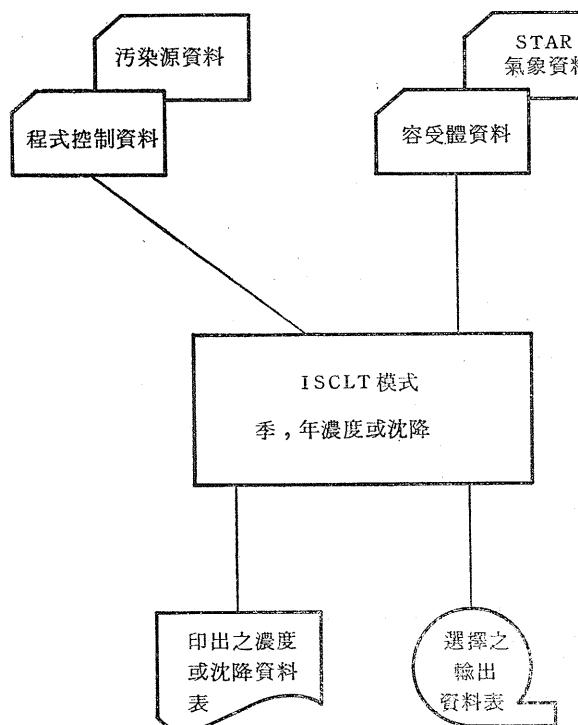


圖 13 ISCLT 模式處理流程

標方格上，或在各種密度之直角座標方格上。ISC 程式使用之地形矯正和 CRSTER 使用者相同。

ISC 模式有一特色包括可使使用者直接控制 150 個污染源輸入模式之印出濃度表之污染源組合羣 (Source Combination Groups) 觀念。表 7 為一實例。對 TSP 濃度模式化研究，必須執行包含三種主要工業：紙漿廠、大業製造廠及燃煤電廠之地區每一個此類工廠均有多個排放污染源，有些為煙囪，有些為溢散排放。結合起來有 42 個個別污染源。一般一個模式只可提供所有污染源或每一個別排放影響之資料。ISC 有印出整羣濃度之能力，例如整個紙漿廠，或判定電廠煤儲存及運輸操作之排放濃度。此例中，ISC 會輸出 8 羣不同濃度，如表 6。檢視輸出值可立即顯示那一個工廠或操作有最大之空氣污染影響。

表 7 工業區分析中污染源組合羣構成 ISC 輸出例

工廠／操作	污染源數	組合羣數
紙廠	1-10	1
木業製造廠	11-14	2
燃煤電廠		
煤堆 (體污染源)	15	3
輸送帶 (面污染源)	16-25	4
鍋爐煙囪 (點污染源)	26-27	5
污穢路面 (面污染源)	28-42	6
整廠	15-42	7
所有污染源	1-42	8

#### 5.4 錯綜地形模式

錯綜地形影響煙柱軌道及擴散。首先，由於高起之地面接近煙柱中心線，因此濃度會增加。在末端時，煙柱有時會直接衝擊小山之側面。其次在夜間來自山上之濁流斜流下來，使空氣堆置並沈滯於山谷造成高濃度。但是，有些物理過程作用會形成低濃度狀況。現場研究發現，風傾向於流向低地而取代穿越陡峭之坡度。這稱做「槽化」(Channelization) 會降低煙柱和高地形內部作用之機會。另外，錯綜地形增加擾動會使遙遠之下風距離處濃度降低。

錯綜地形集中於接近污染源會經常發生高濃度之近現場容受體。潛流理論 (Potential flow theory) 及現場研究指出，當流體所需之動能克服溫度逆轉及滑上地形無法達到時，即在穩定之大氣狀況 (Pasquill-Gifford E 級及 F 級) 時，煙柱衝擊最可能發生。EPA 分析來自落磯山數個地點之資料，決定錯綜地形短期濃度之合理最差狀況氣象條件為 F 級穩定度，風速 2.5m/s 且在 24 小 時期間內持續 6 小 時風向偏差在 22 1/2° 內。EPA 建議使用 VALLEY 模式中之氣象條件估計錯綜地形之 24 小時最大濃度。

#### 5.4.1 VALLEY 模式

VALLEY 為一簡單之精煉模式可用以估計鄉村錯綜地形之24小時最大污染物濃度。此程式設計於模擬最差狀況，即穩定大氣條件下之煙柱衝擊。在非穩定狀況下，此程式會預測過低之濃度。此模式並非設計於模擬地形下洗、燻煙、風場軌道改變或停滯之空氣狀況，所有在錯綜地形中會增加空氣污染事件者。在詮釋 VALLEY 輸出時，必須注意該結果只適合煙柱遭遇之錯綜地形第一個山脊前端之容受體。由於電腦程式處理困難，VALLEY 篩選過程減化為如圖14所示。

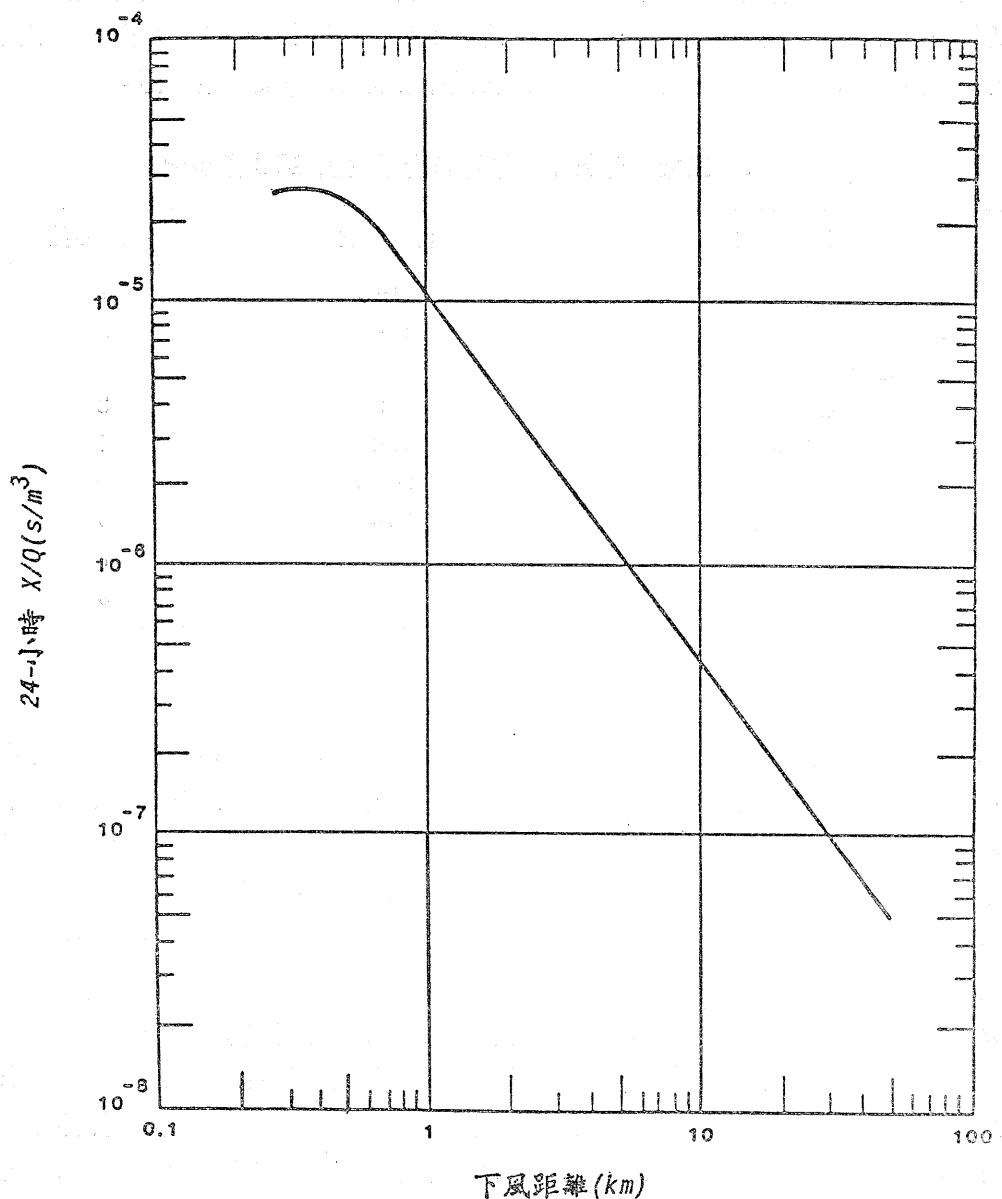
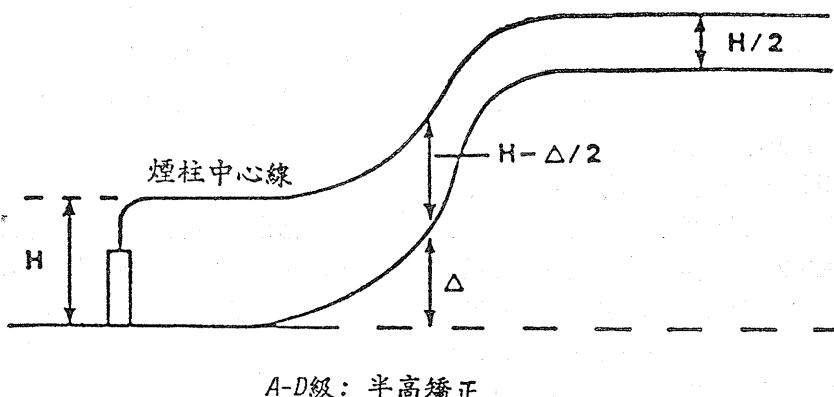


圖 14 VALLEY 模式圖——錯綜地形最大24小時常態濃度

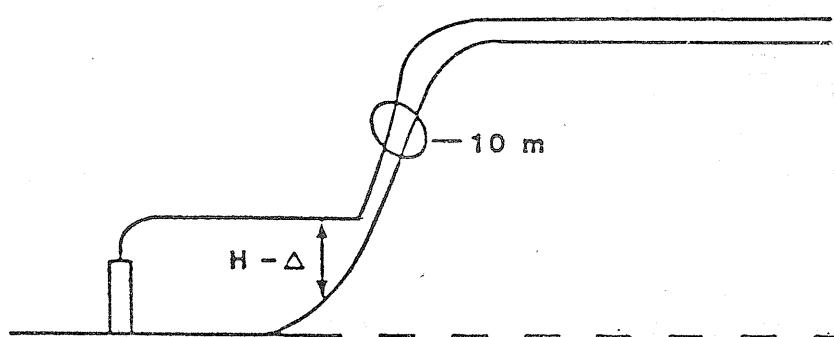
### 5.4.2 COMPLEX-I、II 及 PFM 模式

對錯綜地形之空氣污染，EPA 並無一般應用性之精練模式。因為在此領域尚無充足之經驗資料，EPA 在 1981 年開始 5 年研究計畫以發展並測試範圍廣泛之錯綜地形模式。在過渡時期，EPA 建議 VALLEY 無法模擬之污染源之鄉村地區，需應用 COMPLEX-I 模式和現場一年之氣象資料。美國某些地區，區域 EPA 辦公室允許使用 SHORTZ 及 LONGZ 模式。

COMPLEX-I 及 COMPLEX-II 為連續高斯模式可預測鄉村錯綜地形之容受體濃度。除了地形處理方式不同外，COMPLEX-II 和 MPTER 相同。高斯煙柱方程式中使用之有效煙囪高度 ( $H$ ) 被修飾為分級穩定度之函數，如圖 15 所示及以下所述。



A-D級：半高矯正



E-F級：山谷(VALLEY)矯正

圖15 COMPLEX-I 及 II 模式中地形矯正為分級穩定度之函數

Pasquill-Gifford

穩定度級別	地形判定
A,B,C,D	$H' = \begin{cases} H - \Delta/2 \\ H/2 \end{cases}$ 之較高值
E,F	$H' = \begin{cases} H - \Delta \\ 10 \text{ meters} \end{cases}$ 之較高值

$\Delta$  = 煙囪底座以上至地形之高度

在不穩定及中間狀況下，COMPLEX 模式利用半高度矯正，可使煙柱滑上並越過岩層時會損失到其原始高度之一半高度。在穩定狀況下，VALLEY 之地形技術可應用於模擬煙柱中心線漸漸接近 10m 到地面，而且煙柱濃度在衝擊點上經過垂直上升 400m 而減弱之煙柱衝擊。除了橫風向之擴散由扇形平均來代表並取代高斯分佈外，COPLEX-I 和 COMPLEX-II 完全相同。COMPLEX/PFM 為 COMPLEX 之修正版，另外可做潛流 (Potential flow) 計算。

#### 5.4.3 SHORTZ 及 LONGZ 模式

SHORTZ 及 LONGZ 模式被建議於含錯綜地形之都市或鄉村環境中錯綜污染源濃度之估計。SHORTZ 為一連續高斯模式，利用實際小時氣象計算短期濃度。LONGZ 為一氣象高斯模式，利用氣象 STAR 經常分佈計算長期濃度。這兩個模式和 ISCST 及 ISCLT 模式非常類似，四個模式均由 H. E. Cramer 公司所發展。在匹茲堡，SHORTZ 及 LONGZ 乃首先為錯綜地形而設計。這兩個模式及 ISC 程式之主要不同點在擴散係數之處理和地形判斷。

ISC 模式之計算利用 Pasquill-Gifford 擴散係數。Z 模式由現場每小時擾動測定及原始煙柱大小，而不依賴人為之分級系統來計算擴散影響。Z 模式中使用之地形處理法為有最低值等於零之全高度矯正法：

$$H' = \begin{cases} H - \Delta \\ 0 \text{ 米} \end{cases}$$
 之較高值。

本文僅以引進各模式為目的，若進一步利用模式可直接洽尋美國 EPA 各辦公室。

## 6. 參 考 資 料

- (1) "Clean Air Act Amendments of 1977", Public Law 95-95, U. S. Congress, Government Printing Office, Washington, DC, 1977.
- (2) "Prevention of Significant Deterioration of Air Quality," Code of Federal Regulations, Title 40, Section 51. 24, Government Printing Office, Washington, DC, 1982.

- (3) "Guidelines on Air Quality Models," U. S. EPA, Federal Register, 45:20157, 1980.
- (4) "Guideline on Air Quality Models," U.S. EPA, EPA-450/2-78-027, Research Triangle Park, NC, 1978.
- (5) Hanna S., Briggs, G., and Hosker, B., "Handbook on Atmospheric Diffusion", DOE/TIC-11223, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, 1982.
- (6) UNAMAP Version 5, Magnetic Tape available from the National Technical Information Service, PB83-244368, Springfield, VA, 1983.
- (7) Pierce, T., et al., "PTPLU-A Single Source Gaussian Dispersion AlgorithmUser's Guide", U.S., EPA, EPA-600/8-82-014, Research Triangle Park, NC, 1982.
- (8) "Guidelines for Air Quality Maintenance Planning and Analysis." Volume 10 (Revised): "Procedures for Evaluating Air Quality Impact of New Stationary Sources," U. S. EPA, EPA-450/4-77-001, Research Triangle Park, NC, 1977.
- (9) Pierce, T., and Turner, D., "User's Guide for MP TER," U. S. EPA, EPA-600/8-80-016, Research Triangle Park, NC, 1980.
- (10) Rao, K., and Satterfield, L., "MP TER-DS: The MP TER Model Including Deposition and Sedimentation," U. S. EPA, EPA-600/8-82-024, Research Triangle Park, NC, 1982.
- (11) Evans, J.S., and Cooper, D.W., "An Inventory of Particulate Emissions from Open Sources," *JAPCA*, 30:1298, December 1980.
- (12) Constant, P., "Effective Area Approach in Determining Fugitive Particulate Emission Rates," *JAPCA*, 32:839, August 1982.
- (13) Auer, A., "Correlation of Land Use Cover with Meteorological Anomalies," *Journal of Applied Meteorology*, 17:636, 1978.
- (14) Bowers, J., et al., "Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide," Volumes 1 and 2, U.S. EPA, EPA-450/4-79-030 and 031,
- (15) "Stack Height Regulation; Final Rule," Federal Rigister, 50:27892, July 8, 1985.
- (16) Burt, E., "VALLEY Model User's Guide," U.S. EPA, EPA-450/2-77-018, Research Triangle Park, NC, 1977.
- (17) "EPA Complex Terrain Medel" Report, U. S. EPA, EPA-600/3-82-036, Research Triangle Park, NC, 1982.

- (18) Bjorklund, J., and Bowers, J., "User's Instructions for the SHORTZ and LONGZ Computer Programs," Volumes 1 and 2, U. S. EPA Region III, EPA-903/9-82-004a and b, Philadelphia, PA, 1982.
- (19) Strimaitis, D., et al., "COMPLEX/PFM Air Quality Model User's Guide," U. S. EPA, EPA-600/8.83-015, Research Triangle Park, NC, 1983.
- (20) "EPA/Regulatory-New PM10 Standards Imminent" from "Air Pollution Monitoring & Sampling Newsletter" No.92 June 1987.