

臺灣主要都市大氣擴散潛勢之評估

陳淨修*

一、前言

環境現況資料的調查及收集，為進行環境評估 (Environmental Assessment) 最重要之步驟，其目的在於分析環境特性及涵容量 (Capacity) 的大小，以作為預測及評估計畫實施對自然環境影響之基本資料，並作為環境管理策略發展之基礎。但由於國內此類基礎資料的欠缺，往往導致計畫之延遲，影響評估結果之準確及環境管理計畫缺乏前瞻性、整體性之考量。所謂環境涵容量，竟指自然環境中，無論是大氣、海洋及土壤等諸環境單元，所能承受環境污染物的容量，有一定之限制。人類加諸於自然界中的各項影響，則以此為限，若超過其涵容量，則災害立見，「大地反撲」事件將層出不窮。

臺灣地區由於各地區之地形及氣象條件之差異而造成各區大氣之自淨涵容量不同，亦即大氣擴散潛勢 (Potential) 不同。所謂大氣擴散潛勢，係指長期言之，污染物在大氣中之輸送及擴散能力依各地區之氣象條件而有所差異。因此，針對各地區大氣擴散潛勢之不同而研訂不同之大氣擴散係數，作為各地區煙囪排放量之管制基準，為一可行有效之空氣污染防治策略之一。

臺灣地區雖訂有排放標準及環境空氣品質標準，規定煙囪口空氣污染物的排放濃度及任何地區任何點之濃度必須符合該兩項標準。但即使每一工廠之煙囪排放污染物均能符合排放標準，然經大氣輸散後，累積之濃度仍有超過空氣品質標準之虞，而不能確保空氣品質之清潔，且排放至大氣中之污染物，總量不斷增加，對全球之空氣污染呈絕對負面之影響。因此，亟需研訂總量之管制策略，以滿足空氣品質標準為目標，而反推各區各工廠之最高允許排放量或最適合之煙囪高度，以維空氣品質，確保國民健康。

本文乃收集基隆、臺北、臺中及高雄等四個地區之中央氣象局氣象測站，連續三年 (民國71年至73年) 之地面逐時氣象資料，進行風速、風向及穩定度等一般之分析，以比較各區大氣擴散潛勢之優劣並計算出各區煙囪之擴散係數，以為研訂總量管制策略之初步基礎及大氣環境影響評估之基本資料。

* 行政院衛生署環境保護局技正

二、煙囪擴散係數訂定之方法

(一)聯合頻率 (Joint Frequency) 之定義

決定大氣擴散潛勢之三個主要因子為風速、風向及大氣穩定度。風速乃決定污染物之輸送速度及範圍，風速愈大，則愈利於污染物之稀釋；反之，則易增污染。風向則決定污染物之輸送方向及影響區域，其影響區域必定為排放源之下風處。大氣穩定度則代表污染物在大氣中垂直方向之擴散能力，其與地表粗糙度 (Surface Roughness)、風速及大氣垂直溫度之結構等有相當密切之關係。大氣愈穩定時，則污染物愈不易在垂直方向擴散，而極易在遠距離處造成地面之污染。Pasquill (1961)⁽¹⁾ 依據氣象觀測要素中之風速及雲量，配合太陽——地球運轉系中日射強度之變化，將大氣穩定度分類成 6 個等級。風速強度及日射強度之相對作用決定機械亂流及熱力紊流之擴散效應，其關係如表 1 所示。夜晚地面風速小於 2 公尺/秒時，其擴散狀態難以有效評估，為求資料之完整，本文將之定為 F 級。白天日射量之強度可由太陽對地球之天頂角及雲量加以決定，其關係如表 2 所示。天頂角 α 可由下式計算式求得：

表 1：巴斯魁氏大氣穩定度分類

地面風速 (m/sec) (10公尺高)	白 天 (日射量)			夜	晚
	強	中	弱	雲量 $\geq \frac{4}{8}$	雲量 $< \frac{3}{8}$
2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

註：不論白天或夜間，當全天空雲量為 $\frac{8}{8}$ 時，穩定度等級為 D。

A：極不穩定 B：不穩定 C：稍不穩定 D：中性 E：穩定 F：極穩定

表 2：日射量與太陽天頂角及雲量之關係

日射量 α	雲 量	
	$> \frac{4}{8}$	$< \frac{4}{8}$
0~35°	弱	弱
35~60°	弱	中
60~90°	中	弱

$$\sin \alpha = \sin(\pi\phi/180)\sin\delta + \cos(\pi\phi/180)\cos\delta\cos\left[-\frac{\pi}{12}(h-12)\right]$$

$$\delta = 23.5(\pi/180)\sin\left\{\frac{\pi}{180}[30(m-1)+d-81]\right\}$$

式中符號代表之意義如下：

- α : 太陽天頂角 (Solar altitude)
- ϕ : 地區之緯度 (Latitude)
- δ : 太陽傾斜角 (Solar declination)
- h : 小時 (地區之時間)
- m : 月份
- d : 日

為配合空氣品質模式之需要，以計算污染物之長期平均擴散濃度，乃依一般約定將風向分為16個區間，每個區間間隔為22.5度，如表3所示；風速則分為6級，各級風速之平均值，以中間風速值代表，如表4所示；再加上上述6級穩定度，則可組合成各種氣象條件發生之機率。即為聯合頻率函數 $\phi(k, l, m)$ ； k 為風向， l 為風速， m 為穩定級，聯合頻率具有如下之性質：

$$\sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^6 \sum_{m=1}^6 \phi_{k, l, m} = 1$$

表3：風向16方位分類、d值

d	風速	d	風速
1	N	9	S
2	NNE	10	SSW
3	NE	11	SW
4	ENE	12	WSW
5	E	13	W
6	ESE	14	WNW
7	SE	15	NW
8	SSE	16	NNW

(二)煙囪擴散係數之理論根據⁽²⁾

依高斯煙流擴散模式之原理，固定點排放源之排放所造成下風處之着地濃度值與大氣擴散條件及污染物排放量之關係，可以下式表示：

表 4：風速六種表級分類， ℓ 值

風速等級， ℓ	風速區間，m/sec	代表風速，m/sec
1	0 ~ 2	1.50
2	2 ~ 3.5	2.46
3	3.5 ~ 5.7	4.47
4	5.7 ~ 8.27	6.93
5	8.27~11	9.61
6	>11	12.52

$$C(x,y,z=0) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{U}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_0}{\sigma_z}\right)^2\right] \dots\dots\dots(2-1)$$

式中，C：污染物之地面濃度，ppm或 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

x：點排放源沿風向軸上之距離，公尺。

y：距風向軸之垂直距離，公尺。

Q：排放源單位時間之排放量， $\mu\text{g}/\text{sec}$ 。

\bar{U} ：煙囪高度處之平均風速，m/sec。

H_0 ：有效煙囪高度，為煙囪高度與煙流高度 (plume rise) 之和，公尺。

σ_y ：y方向之大氣擴散尺度或標準偏差。

σ_z ：垂直方向之大氣擴散尺度或標準偏差。

由 (2-1) 式可知最高濃度值之發生處必位於風向軸上 (即 $y = 0$)，因此在 x 軸上之濃度變化可寫成

$$C(X) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{U}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_0}{\sigma_z}\right)^2\right] \dots\dots\dots(2-2)$$

而無因次濃度可定義為

$$C^* = \frac{C\bar{U}H_0^2}{Q} = \frac{1}{\pi\sigma_y^*\sigma_z^*} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sigma_z^*}\right)^2\right] \dots\dots\dots(2-3)$$

式中， σ_y^* 與 σ_z^* 分別定義為無因次之擴散尺度

$$\sigma_y^* = \sigma_y/H_0, \quad \sigma_z^* = \sigma_z/H_0$$

為利於比較各區之大氣擴散潛勢，且較大型污染源皆位於郊區，故選取 Briggs⁽³⁾ 氏郊區煙道擴散參數 (表 5) 值代入式 (2-3) 中，求取最大無因次濃度值如表 6 所示。由該表可以發現在不穩定之狀況 (穩定級 A、B、C)，煙流較快着地且無因式濃度之最大值較穩定狀況 (穩定級 D、E、F) 之無因次濃度值為大。顯示大氣在不穩定情況下較易造成瞬間之高濃度污染，由於一般煙囪高度皆為數十公尺，故該表僅考慮煙囪之有效高度至 100 公尺

表 5 : Briggs 氏郊區之 σ_y , σ_z 與下風距離、穩定級之關係

pasquill穩定級

等 級	σ_y (單位：公尺)	σ_z (單位：公尺)
A	$0.22x / \sqrt{1+\alpha x}$	0.20x
B	$0.16x / \sqrt{1+\alpha x}$	0.12x
C	$0.11x / \sqrt{1+\alpha x}$	$0.08x / \sqrt{1+0.0002x}$
D	$0.08x / \sqrt{1+\alpha x}$	$0.06x / \sqrt{1+0.0015x}$
E	$0.06x / \sqrt{1+\alpha x}$	$0.03x / (1+0.0003x)$
F	$0.04x / \sqrt{1+\alpha x}$	$0.016x / (1+0.0003x)$

註： $\alpha=0.0001$

表 6 : 應用Briggs郊區煙道擴散參數求得之無因次地面最大濃度值 \bar{X}^*_{max}

穩定度 \bar{X}^*_{max} h	A	B	C	D	E	F
10m	0.2074	0.1761	0.1695	0.1617	0.1102	0.0835
20m	0.2136	0.1766	0.1688	0.1498	0.1035	0.0735
30m	0.2135	0.1771	0.1681	0.1390	0.0968	0.0640
40m	0.2143	0.1776	0.1673	0.1295	0.0903	0.0548
50m	0.2147	0.1782	0.1667	0.1211	0.0839	0.0462
60m	0.2151	0.1787	0.1660	0.1136	0.0776	0.0382
70m	0.2155	0.1792	0.1653	0.1070	0.0715	0.0309
80m	0.2158	0.1797	0.1646	0.1012	0.0656	0.0244
90m	0.2163	0.1802	0.1640	0.0960	0.0598	0.0187
100m	0.2166	0.1808	0.1633	0.0914	0.0543	0.0134
\bar{X}^* (平均值)	0.2143	0.1784	0.1664	0.1210	0.0814	0.0447

之平均值。

由 (2-3) 式可知，無因次濃度最高值 \bar{C}^*_{max} 可以下式表示：

$$\bar{C}^*_{max} = \frac{C_{max} \bar{U} H_0^2}{Q} \dots\dots\dots(2-4)$$

為確保空氣品質濃度能符合國家標準，區域內，濃度最高值 C_{max} 必須滿足下式

$$C_{max} + B \leq C \dots\dots\dots (2-5)$$

式中 B：其他煙源所造成之背景濃度

C：國家空氣品質標準

由式 (2-4)，(2-5) 可推知：

$$Q \leq (C-B) \bar{U} H_0^2 / \bar{C}_{max}^* \dots\dots\dots (2-6)$$

由 (2-6) 式可知，決定各煙囪污染物最大排放量之因子，包括：

1. 環境空氣品質標準
2. 同一地區，其他面源或線源之分佈、密度及排放情況，亦即背景濃度之大小。
3. 有效煙囪高度。
4. 大氣輸送及擴散狀況。

但由於大氣之輸送及擴散條件瞬息萬變， \bar{U} 值及 C^* 值並非固定而是隨時在變，因此，以上述方法制定之煙囪擴散係數在執行上或應用上有很大之困難，故必須使用長期氣象資料作基礎，加以推導，始具意義。

(2-6) 式中， \bar{U} 之求取可以冪次律得之⁽⁴⁾

即

$$\bar{U} = U_0 \left(\frac{h}{Z_0} \right)^P \dots\dots\dots (2-7)$$

於 (2-7) 式中，h 為煙囪高度； U_0 為 10 公尺高度之風速； Z_0 為 10 公尺；另外 P 值為大氣穩定度之函數，其值約在 0.1~0.3 之間，一般以 0.2 代表；U 即為煙囪高度之風速。因此 (2-7) 式可轉換成下式：

$$Q \leq (C-B) U_0 \frac{h^{P+2}}{Z_0} \cdot \frac{1}{C_{max}^*} = (C-B) h^{2.2} \frac{U_0}{Z_0^{0.2}} \frac{1}{C_{max}^*} \dots\dots\dots (2-8)$$

吾人可定義煙囪之擴散係數 K，以下式表示：

$$K = (C-B) \frac{U_0}{(Z_0)^{0.2}} \frac{1}{C_{max}^*} \dots\dots\dots (2-9)$$

並定義大氣輸送擴散指數 D 為

$$D = \frac{U_0}{(Z_0)^{0.2}} \frac{1}{C_{max}^*} = \frac{U_0}{(Z_0)^{0.2}} \pi \hat{\sigma}_y^* \hat{\sigma}_z^* \exp\left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\hat{\sigma}_z^*} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2-10)$$

於 (2-10) 式中， $\hat{\sigma}_y^*$ 及 $\hat{\sigma}_z^*$ 分別代表無因次濃度最高值處之 σ_y^* 與 σ_z^* 值，因此合併 (2-8)，(2-9)，(2-10) 等式可得：

$$Q = K H_0^{2.2} = (C-B) \cdot D \cdot H_0^{2.2}$$

依表 6 無因次地面最高濃度值之關係，大氣輸送與擴散指數，D 值，與大氣穩定度之關係

可由表 7 示之。由表中可知，風速愈大、愈穩定，D 值愈大亦即 K 值愈大。K 值之長時間平均值可由 D 值之長時間平均值求得，而 D 值之長時間平均值 [D]，可利用聯合頻率函數，依下式求得：

表 7：大氣輸送與擴散指數，D 值，與大氣穩定度之關係

穩定度	A	B	C	D	E	F
D 值	2.94u ₀	3.54u ₀	3.79u ₀	5.21u ₀	7.77u ₀	12.13u ₀

$$[D] = \sum_{d=1}^{16} \sum_{l=1}^6 \sum_{m=1}^6 D_{l,m} \phi_{d,l,m} \dots \dots \dots (2-11)$$

在 (2-11) 式中，D_{l,m} 代表風速為 l 等級，穩定級為 m 級之大氣輸送擴散指數。而代表某一地區長時間平均之煙囪擴散係數值，即可求得：

$$[K] = (C - B)[D] \dots \dots \dots (2-12)$$

因此，由表 7，將我國二氧化硫年平均環境空氣品質標準及背景濃度 B 值等資料代入 (2-12) 式之計算，即可求得 SO₂ 之煙囪擴散係數(K 值)。

三、各區大氣擴散潛勢之分析

(一)各區聯合頻率及年平均濃度分佈狀況分析

本節擬從各區聯合頻率之分析，比較各區大氣擴散潛勢之大小，並引用美國之 TCM 長期空氣品質模式⁽⁵⁾，模擬一固定排放源（煙道資料見表 8）在各區（21Km×21Km）不同氣象資料影響下，所造成之 SO₂ 年平均濃度分佈，資以分析各區之擴散型態。

表 8：林口電廠林一機之排放資料

SO ₂ (G/S)	HT (M)	DIAM(M)	VEL(M/S)	TEMP(C)
1083.00	70.00	6.40	12.10	153.0

表 9 所示為基隆地區各季及年平均之地面風向發生機率。由表中可知基隆地區之風向，大都吹綜觀盛行風，即夏季（6 月至 8 月）吹偏南風，以西南風為主要風向；秋、冬、春三季則吹偏北風，以東北風為主。值得一提的是該區夏季竟出現 12.46 % 的東北風。表 10 (a ~ c) 為該區年及冬、夏之聯合頻率分佈，由表中可知該區發生微風型（風速級為 1 級）之年機率僅為 29.97%，顯示該區之大氣輸送能力良好。表 11 代表該區各季各風向發生穩定級（D、E、F）及不穩定級（A、B、C）之機率。由表中可知無論任何季節，該區皆以發生 D、E、F 三種穩定度之機率較大。以四季而言，發生 D、E、F 三種穩定度之機率為發

表 9：基隆地區四季風向發生機率 (%)

季 節 風 向	春	夏	秋	冬	年
北	10.33	6.01	3.59	9.63	7.39
北 北 東	14.71	8.01	14.51	*26.57	15.90
東 北	*15.47	12.46	*26.85	21.92	*19.14
東 北 東	7.90	5.44	20.33	11.77	11.33
東	3.70	2.75	4.87	3.57	3.70
東 南 東	2.21	3.12	2.82	1.37	2.38
東 南	3.23	5.00	3.48	2.18	3.48
南 南 東	4.35	6.23	2.13	1.99	3.69
南	6.63	9.82	3.66	3.21	5.85
南 南 西	6.59	10.25	3.55	4.47	6.23
西 南	8.15	*16.16	6.23	4.21	8.71
西 南 西	4.02	5.98	2.13	2.18	3.59
西	2.86	2.86	1.58	1.07	2.10
西 北 西	1.81	1.41	0.99	1.11	1.33
西 北	2.94	1.81	1.36	1.48	1.90
北 北 西	5.11	2.68	1.94	3.36	3.28

註：*表示發生機率最多之風向

生 A、B、C 三種穩定度之機率之 3 至 11 倍。顯示基隆地區，尤其是西南與南南西方向之接受點，應盡量避免長時間之累積污染。圖 1 為 TCM 模式計算單一點源之 SO_2 年平均濃度分佈圖，明顯地呈東北——西南走向分佈，最高着地濃度值發生於煙囪西南方（9 Km × 9 Km）處，其值為 2.6ppb。

表 12 所示為臺北地區各季及年平均之地面風向發生機率。由表中可知該區各季皆以偏東風為主，夏季的盛行風向西南西風僅佔 10.09%，不甚明顯。表 13 (a ~ c) 為該區年及冬、夏之聯合頻率。由表中可知該區出現微風型之年機率佔 43.75%，顯示該區大氣輸送能力不佳。表 14 所示為該區各季各風向發生穩定級及不穩定級之機率。由表中可知，四季之中，發生 D、E、F 三種穩定度之機率為發生 A、B、C 三種穩定度之機率之 1 至 3 倍。顯示臺北地區之大氣擴散潛勢較基隆地區為劣，且偏西方向較易受污染。圖 2 為 TCM 模式計算單一點源之 SO_2 年平均濃度分佈圖，最高着地濃度值發生於煙囪西南西方（9 Km × 10 Km）處，其值為 4.5ppb。

表10(a~c)：基隆地區冬夏兩季穩定度及風速發生機率(%)

a 年							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
B	2.93	1.91	0.99	0.00	0.00	0.00	5.83
C	0.00	5.63	4.84	0.21	0.05	0.00	10.73
D	14.32	14.64	20.87	11.21	2.05	0.27	63.36
E	0.00	2.56	1.39	0.00	0.00	0.00	3.95
F	11.74	3.41	0.00	0.00	0.00	0.00	15.15
總計	29.97	28.15	28.09	11.42	2.10	0.27	100.00

b 冬							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
B	2.36	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88
C	0.00	3.69	2.18	0.00	0.00	0.00	5.87
D	11.81	15.90	30.92	19.48	3.69	0.04	81.84
E	0.00	0.96	0.77	0.00	0.00	0.00	1.73
F	5.76	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	7.64
總計	19.97	22.95	33.87	19.48	3.69	0.04	100.00

c 夏							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
B	3.26	3.15	2.75	0.00	0.00	0.00	9.16
C	0.00	7.50	7.17	0.58	0.15	0.00	15.40
D	13.04	10.15	12.36	6.34	1.37	0.76	44.02
E	0.00	3.99	2.28	0.00	0.00	0.00	6.27
F	17.86	5.51	0.00	0.00	0.00	0.00	23.37
總計	35.94	30.29	24.57	6.92	1.52	0.76	100.00

表12：臺北地區四季風向發生機率(%)

風 向 \ 季 節	春	夏	秋	冬	年
北	2.60	3.52	1.47	1.69	2.32
北 北 東	2.60	3.05	2.12	2.52	2.57
東 北	4.56	4.03	5.04	7.83	5.35
東 北 東	*27.37	*14.25	*32.78	3.23	*26.64
東	14.10	8.89	24.16	*18.91	16.48
東 南 東	5.90	6.54	9.57	10.49	8.11
東 南	3.17	4.29	2.96	3.01	3.36
南 南 東	4.60	10.52	4.12	2.75	5.52
南	2.36	3.11	2.21	1.75	2.36
南 南 西	2.78	3.20	1.51	1.95	2.37
西 南	3.55	4.30	1.94	2.65	3.11
西 南 西	5.71	10.09	2.35	3.38	5.40
西	4.60	7.28	2.24	2.63	4.20
西 北 西	5.44	6.64	2.23	2.88	4.31
西 北	6.39	5.66	3.19	2.94	4.55
北 北 西	4.29	4.64	2.11	2.32	3.35

註：*為發生機率最多之風向

表15所示為臺中地區各季及年平均之地面風向發生機率。由表中可知該區受地形影響，盛行風向從東北風轉為以北風為主。秋、冬、春三季，尤其是冬季皆以北風或北北西風為盛行風向，夏季則仍吹偏西風（以南南西風為主）。表16（a~c）為該區年及冬、夏之聯合頻率。由表中可知該區發生微風型之機率高達66.69%，且屬A、B級穩定度者佔21.53%，顯示該區大氣輸送及擴散狀況，極不利於污染物之稀釋，亦即大氣擴散潛勢為上述區域中之最差者。表17代表該區各季各風向發生穩定級及不穩定級之機率。由表中可知，無論任何季節，發生穩定級之機率僅略高於發生不穩定級者，顯示臺中地區偏南方向應避免短時間之高濃度污染。圖3為TCM模式計算單一點源之SO₂年平均濃度分佈圖，最高着地濃度值發生於煙囪南方4Km處，其值為6.2ppb。

表18所示為高雄地區各季及年平均之地面風向發生機率。由表中可知該區秋、冬、春三季以北及北北西風為主，夏季以南南東風及西北西風為主。表19（a~c）為該區年及冬、夏之聯合頻率。由表中可知該區發生微風型機率佔35.31%，略少於臺北地區，而其發生不

表13(a~c)：基隆地區冬夏兩季穩定度及風速發生機率(%)

a 年

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	5.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.54
B	8.57	4.34	1.27	0.00	0.00	0.00	14.18
C	0.00	6.15	7.60	0.57	0.03	0.01	14.36
D	9.49	6.36	9.51	3.89	0.13	0.06	29.44
E	0.00	3.63	6.75	0.00	0.00	0.00	10.38
F	20.15	5.95	0.00	0.00	0.00	0.00	26.10
總計	43.75	26.43	25.13	4.46	0.16	0.07	100.00

b 冬

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	3.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.09
B	6.47	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	8.28
C	0.00	6.47	8.15	0.00	0.00	0.00	14.62
D	10.52	8.98	13.38	4.12	0.05	0.00	37.05
E	0.00	4.66	8.70	0.00	0.00	0.00	13.36
F	16.56	7.04	0.00	0.00	0.00	0.00	23.60
總計	36.64	28.96	30.23	4.12	0.05	0.00	100.00

c 夏

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	8.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.18
B	11.49	7.31	2.57	0.00	0.00	0.00	21.37
C	0.00	5.81	6.66	1.10	0.08	0.05	13.70
D	8.58	4.05	4.24	2.73	0.33	0.22	20.14
E	0.00	2.16	2.34	0.00	0.00	0.00	4.50
F	27.34	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00	32.11
總計	55.59	24.09	15.81	3.83	0.41	0.27	100.00

表14：臺北地區四季穩定度及風向發生機率 (%)

風向	年		春		夏		秋		冬	
	ABC	DEF								
1	0.99	1.33	1.03	1.57	1.69	1.83	0.69	0.78	0.55	1.14
2	0.95	1.62	0.94	1.66	1.30	1.75	0.90	1.22	0.68	1.85
3	1.79	3.56	1.89	2.67	1.80	2.23	1.59	3.45	1.89	5.94
4	7.27	19.37	7.82	19.55	4.79	9.47	9.07	23.72	7.43	24.88
5	4.47	12.02	3.67	10.43	3.29	5.60	6.29	17.87	4.64	14.27
6	2.52	5.59	2.16	3.74	2.64	3.90	2.81	6.76	2.48	8.01
7	1.14	2.22	1.06	2.11	1.65	2.64	1.18	1.79	0.68	2.33
8	1.65	3.86	1.27	3.33	3.56	6.96	1.11	3.01	0.63	2.12
9	0.69	1.67	0.67	1.69	1.12	1.99	0.60	1.62	0.37	1.38
10	0.75	1.61	0.88	1.90	1.09	2.11	0.46	1.05	0.58	1.37
11	1.06	2.05	1.18	2.37	1.60	2.70	0.66	1.28	0.82	1.83
12	2.16	3.24	1.92	3.79	4.86	5.22	0.90	1.45	0.93	2.46
13	2.13	2.08	2.13	2.48	4.30	2.97	1.18	1.07	0.85	1.78
14	2.19	2.12	2.79	2.64	3.67	2.97	1.16	1.07	1.09	1.78
15	2.62	1.94	3.80	2.58	3.40	2.26	1.85	1.34	1.40	1.54
16	1.70	1.65	2.22	2.07	2.49	2.14	1.08	1.02	0.97	1.35
總計	34.08	66.92	35.43	64.57	43.25	56.75	31.50	68.50	25.99	74.01

UNIT : ppb

* : stack

21.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.00	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.00	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
15.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
14.00	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13.00	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12.00	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	1	1	*	2	1	1	1	1	1	1	1
11.00	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10.00	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0
9.00	2	2	2	2	3	3	3	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0
8.00	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7.00	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
6.00	2	2	2	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
5.00	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
4.00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00										

圖 2：TCM 模式計算單一點源之 SO₂ 年平均濃度分佈圖 (臺北地區)

表15：臺中地區四季風向發生機率(%)

風 向 \ 季 節	春	夏	秋	冬	年
北	*20.68	*9.00	*32.17	*40.36	*25.47
北 北 東	4.86	4.24	7.77	8.04	6.22
東 北	3.38	3.29	3.22	2.54	3.11
東 北 東	3.37	3.17	3.11	2.45	3.03
東	3.23	3.26	3.08	2.40	3.00
東 南 東	3.22	3.13	3.04	2.32	2.93
東 南	3.31	3.37	3.05	2.32	3.02
南 南 東	4.17	4.60	3.21	2.34	3.59
南	6.54	12.42	4.27	2.52	6.46
南 南 西	6.33	12.14	4.88	2.69	6.53
西 南	5.50	9.41	4.67	2.86	5.62
西 南 西	6.02	7.81	5.17	2.97	5.51
西	5.16	7.75	5.42	2.92	5.32
西 北 西	4.12	4.23	3.42	2.65	3.61
西 北	5.63	4.95	4.06	3.60	4.57
北 北 西	14.49	7.25	9.45	17.04	12.04

註：*為發生機率最多之風向

穩定級機率(見表20)為上述區域中之最多者，顯示該區偏南方向亦應避免短期瞬間之高濃度污染。其 SO_2 年平均濃度分佈，如圖 4 所示，最高着地濃度值發生於煙囪東南東方 (15Km \times 10Km) 處，其值為 4.0ppb。

(二)各區大氣擴散潛勢分析

上節中藉由各區聯合頻率之計算，分析基隆、臺北、臺中、高雄等四個地區之大氣擴散潛勢，其大小依次為基隆 > 高雄 > 臺北 > 臺中。本節則依第二章所述之方法計算各區各季及年平均D值，如表21所示。利用該表及 $K = (C - B) D = (1 - \alpha) C D$ 之關係式，我們可求取各地區之煙囪擴散係數。在上式中，C值為我國二氧化硫環境空氣品質標準值，為 0.05ppm ($1.306 \times 10^{-4} \text{gm/m}^3$)； α 為一比值常數，表示背景濃度B與環境品質濃度C之比值關係。由於目前，各區皆無背景濃度之估量，故為利於各區大氣擴散潛勢之比較，我們可令 $\alpha = 0.01^{(2)}$ ，則各區四季及年平均K值如表22所示。由表中可知各區煙囪之擴散係數大

表16(a~c)：臺中地區冬夏兩季穩定度及風速發生機率(%)

a 年

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	8.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.63
B	12.90	7.17	0.60	0.00	0.00	0.00	20.67
C	0.00	8.78	4.06	0.01	0.00	0.00	12.85
D	12.68	4.28	1.05	0.08	0.00	0.00	18.09
E	0.00	1.38	0.59	0.00	0.00	0.00	1.97
F	32.48	5.31	0.00	0.00	0.00	0.00	37.79
總計	66.69	26.92	6.30	0.09	0.00	0.00	100.00

b 冬

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	5.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.26
B	11.10	3.55	0.00	0.00	0.00	0.00	14.65
C	0.00	10.29	6.41	0.00	0.00	0.00	16.70
D	11.42	7.18	2.03	0.14	0.00	0.00	20.77
E	0.00	2.67	1.28	0.00	0.00	0.00	3.95
F	29.23	9.44	0.00	0.00	0.00	0.00	38.67
總計	57.01	33.13	9.72	0.14	0.00	0.00	100.00

c 夏

風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90
B	14.38	10.91	1.34	0.00	0.00	0.00	26.63
C	0.00	7.75	2.94	0.00	0.00	0.00	10.69
D	12.18	2.78	0.68	0.06	0.00	0.00	15.70
E	0.00	0.74	0.23	0.00	0.00	0.00	0.97
F	33.18	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	36.11
總計	69.64	25.11	5.19	0.06	0.00	0.00	100.00

表18：高雄地區四季風向發生機率(%)

風 向 \ 季 節	春	夏	秋	冬	年
北	11.96	2.75	10.55	*27.15	13.04
北 北 東	7.05	2.99	8.27	11.26	7.37
東 北	7.65	7.85	8.32	4.63	7.12
東 北 東	6.43	11.23	9.23	2.12	7.27
東	2.39	4.24	3.19	0.77	2.65
東 南 東	1.74	2.30	1.57	0.48	1.52
東 南	4.26	6.52	1.68	0.92	3.36
南 南 東	4.97	9.87	2.96	0.94	4.71
南	3.79	6.67	2.58	0.78	3.47
南 南 西	3.49	5.33	3.08	0.71	3.16
西 南	2.55	4.60	2.72	0.88	2.70
西 南 西	4.11	6.28	5.50	1.60	4.38
西	6.93	8.30	7.71	3.00	6.50
西 北 西	*15.02	*12.50	*15.87	10.01	*13.36
西 北	6.94	5.57	9.11	9.84	7.85
北 北 西	10.73	2.99	7.66	24.92	11.53

註：*為發生機率最多之風向

小不同，且因季節而異。以年平均而言，K值之大小順乎依次為基隆>高雄>臺北>臺中。

從K值之大小可知，上述四區域中之大氣擴散潛勢與能力，以基隆地區為最佳，而以臺中地區為最差。亦即煙囪高度及運轉狀況相同之工廠，在基隆地區所允許之最高排放量最大，而於臺中地區則須輔以管制措施。如採用低硫份燃料油，並加強污染防制設備，始能使污染防治獲致相同之效果。

四、結論及建議

在進行大氣環境影響評估時，調查收集氣象資料為其重要步驟之一。透過長期氣象資料的整理，如本文所述之聯合頻率，不僅可提供計畫區域之大氣擴散潛勢，更可作為計算長期空氣品質濃度之基本資料。依據上述之分析，吾人可得到下述結果：

1. 臺灣地區冬夏兩季之天氣，各受大陸冷高壓洋氣團及熱帶海洋氣團之影響。一般言之，冬季吹東北風，而夏季則吹西南風。但由於中央山脈、局部地形或海陸環流之影響而使各

表19(a~c)：高雄地區冬夏兩季穩定度及風速發生機率 (%)

a 年							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	2.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.72
B	7.58	4.71	2.10	0.00	0.00	0.00	14.40
C	0.00	8.35	9.90	1.28	0.19	0.03	19.75
D	2.82	3.56	7.25	6.79	0.73	0.12	21.26
E	0.00	4.48	5.44	0.00	0.00	0.00	9.92
F	22.18	9.77	0.00	0.00	0.00	0.00	31.95
總計	35.31	30.87	24.69	8.07	0.91	0.15	100.00

b 冬							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
B	5.64	2.72	0.00	0.00	0.00	0.00	8.36
C	0.00	9.75	11.49	0.00	0.00	0.00	21.24
D	1.65	4.21	10.47	8.64	0.37	0.00	25.34
E	0.00	7.09	8.99	0.00	0.00	0.00	16.08
F	15.39	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	27.69
總計	23.97	36.07	30.95	8.64	0.37	0.00	100.00

c 夏							
風速級 穩定級	1	2	3	4	5	6	總計
A	3.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.37
B	8.00	6.34	4.30	0.00	0.00	0.00	18.64
C	0.00	7.45	8.79	2.64	0.41	0.11	19.40
D	2.79	3.16	6.16	6.75	1.45	0.42	20.73
E	0.00	3.34	4.66	0.00	0.00	0.00	8.00
F	22.66	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	29.86
總計	36.82	27.49	23.91	9.39	1.86	0.53	100.00

表20：高雄地區四季穩定度及風向發生機率(%)

風向	年		春		夏		秋		冬	
	ABC	DEF								
1	3.32	9.73	3.17	20.42	1.03	1.72	2.40	8.15	6.73	20.42
2	1.86	5.51	1.95	8.53	1.10	1.89	1.69	6.58	2.72	8.53
3	2.23	4.89	2.34	3.26	2.91	4.94	2.27	6.04	1.37	3.26
4	2.32	4.95	2.33	1.45	3.78	7.46	2.49	6.75	0.68	1.45
5	0.78	1.88	0.86	0.58	1.30	2.94	0.75	2.44	0.19	0.58
6	0.37	1.16	0.47	0.31	0.48	1.81	0.35	1.22	0.17	0.31
7	0.95	2.41	1.21	0.62	1.75	4.77	0.50	1.18	0.31	0.62
8	1.82	2.89	2.11	0.45	3.59	6.28	1.05	1.91	0.49	0.45
9	1.69	1.78	2.16	0.40	2.96	3.71	1.22	1.36	0.38	0.40
10	1.74	1.42	2.26	0.38	2.84	2.49	1.51	1.57	0.32	0.38
11	1.46	1.24	1.45	0.40	2.48	2.13	1.40	1.31	0.48	0.40
12	2.63	1.75	2.42	0.48	3.34	2.94	3.62	1.88	1.12	0.48
13	4.19	2.30	4.44	0.89	5.09	3.22	5.11	2.60	2.11	0.89
14	6.34	7.02	7.23	5.49	6.22	6.28	7.37	8.50	4.52	5.49
15	2.38	5.47	1.99	6.55	1.48	4.09	2.79	6.32	3.29	6.55
16	2.79	8.73	2.42	18.91	1.07	1.92	1.73	5.94	6.01	18.91
總計	36.87	63.13	38.80	61.20	41.41	58.59	36.27	63.73	30.89	69.11

UNIT : ppb

* : stack

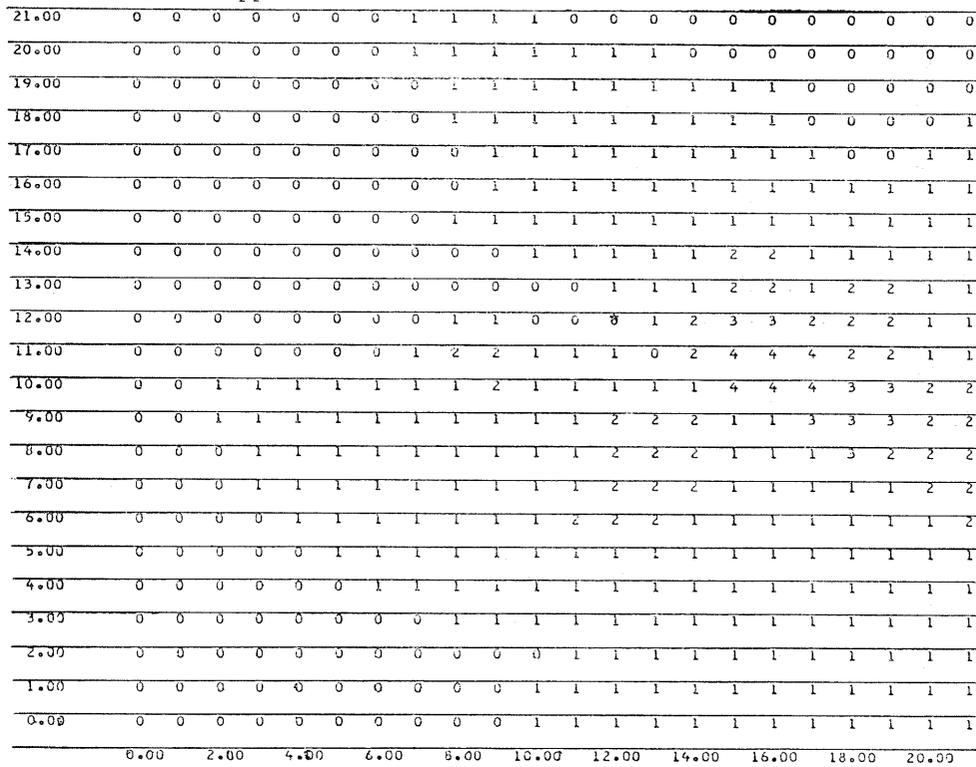


圖4：TCM 模式計算單一源之 SO₂ 年平均濃度分佈圖 (高雄地區)

表21：各地區各季之大氣擴散指數，D值 (m/sec)

季 別 地 區	年	春	夏	秋	冬
基隆市	19.17	16.28	18.20	20.25	22.02
臺北市	17.07	15.59	15.12	19.35	18.25
臺中市	13.07	11.98	12.20	13.53	14.60
高雄市	19.10	18.37	18.91	18.32	20.81

表22：各地區各季之煙囪擴散係數，K值 ($10^{-3}g/sec \cdot m^2$)

季 別 地 區	年	春	夏	秋	冬
基隆市	2.48	2.10	2.35	2.61	2.84
臺北市	2.20	2.01	1.95	2.50	2.35
臺中市	1.69	1.55	1.57	1.75	1.88
高雄市	2.46	2.37	2.44	2.36	2.68

地區之盛行風向有所差異。以冬季而言，從基隆、臺北、臺中以至高雄，其盛行風向依序為東北風、東北東風、北風、西北風；以夏季而言，其盛行風向則分別為西南風、西南西風、南南西風、西北西風。掌握各區域之盛行風向，將有助於空氣品質監測站設置方向之選擇及工廠區位 (Layout) 之規畫；同時藉空氣品質模式之應用，可預知污染物着地最高濃度值之發生處。以本文所述之例子，對四個地區而言，其濃度最高值皆發生於煙囪盛行風向之下風約3~5公里處。

2. 大氣愈穩定，最高濃度值發生處距排放源愈遠，且其值愈低。因此大氣愈穩定，愈易滿足我國空氣品質之標準。故天氣愈穩定、風速愈大之地區，大氣擴散潛勢亦愈大，即K值愈大。從上述之分析可知K值之大小，依序為基隆、高雄、臺北、臺中；且由於各區擴散特性之不同而使各區濃度分佈型態及範圍皆不同。高雄、臺中兩地區即屬短期污染，在其下風處應避免發生瞬間高濃度之污染；基隆、臺北兩地區則屬長期污染，其下風處應避免發生長期累積之高濃度污染。

3. 上述各區各項K值之計算，皆假設各區 σ_y 、 σ_z 之分佈相同，且不考慮各區之背景濃度及污染源之分佈，而用以比較各區之大氣擴散潛勢，進而提供政府作為擬訂空氣品質管理策略之參考資料。為使K值之計算能合理準確，對於各區 σ_y 、 σ_z 之分佈特性、背景濃度之估量及污染源之分佈等的調查研究為亟待進行之工作。

4. 由於臺灣之地形分佈複雜及局部環流之存在，使臺灣各地區之氣象特性 (風速、風向、大氣穩定度) 或大氣擴散潛勢極具地方性。如，不同都市有各自不同之氣象系統、內陸之氣象特性絕不同於濱海地區。因此，如何進一步，對臺灣現有氣象測站 (包括濱海地區) 求

取適合各區之煙囪擴散係數 (K 值) , 乃為後續之工作。

5. K 值之管制為管制固定排放源之良好策略之一。旨在利用各區之涵容能力, 對各區污染源之分佈及污染物之排放量作最適當之規劃及管制。即煙囪愈高者, SO_2 之最高允許排放量愈大。依各區之 K 值可推算現有工廠在固定煙囪高度下, 所允許排放 SO_2 之最大量或新工廠興建時所需設置之煙囪高度。對於沒有訂定 K 值之區域, 須另研訂總量之管制策略加以配合, 以確保臺灣地區之空氣品質。

五、參考文獻

1. Pasquill, F. A., 1961: The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorol. Mag.*, 90, 33-49.
2. 嘉南地區煙囪擴散係數之研訂, 國立中央大學大氣物理研究所, 1983。
3. Briggs, G. A., 1974: Diffusion estimation for small emissions, ERL, NOAA, ATDL-106.
4. Turner, D. B., 1967: Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, PHFW, Pub. No. 995-AP-26, 84pp.
5. Texas Air Control Board Austin, 1980 : User's Guide to the Texas Climatological Model, EPA/DF-81/0016