

工程實務

推求最大著地濃度—MGLC模式之發展

樓基中* 黃英傑**

摘要

利用自行發展的MGLC模式，可迅速求得空氣污染物經煙囗排放後，擴散至地面的最大濃度及其發生位置，藉由初步污染狀況，了解固定污染源所排放的空氣污染物對環境或大眾健康所可能造成的影響，以做為改善固定污染源廢氣排放之依據。

一、前言

國民生活水準提高，對於維護生活環境之品質亦相對提高，而對公害防治條件之要求也愈來愈嚴格，如今，政府與業者每年都花費無可計數的人力及物力於污染防治上，的確有所成效。而目前在一般的環境污染中，空氣污染是與民眾最有切身關係的，因為空氣污染不若水污染般，民眾只要不直接去接觸到受污染的水體，就可降低受到損害的危險度，但是空氣卻不一樣，不可能使民眾生活在被隔絕的污染空氣之外，因此空氣污染的防治已是刻不容緩。在多類型的空氣污染中，固定污染源的廢氣排放是值得吾人重視的，因其廢氣經由煙囗排入大氣後，對環境品質的影響極為巨大，且污染物經擴散至地面後，對民眾之健康，也不無影響，本文即以此為著眼點，利用擴散方程式(disersion equation)研擬出一套空氣污染擴散模式(稱為MGLC模式)，配合工廠實際的煙道排放資料，經由數學模式的推演，可迅速模擬求得污染物的最大地面濃度及其發生位

*工研院化工所污防組研究員兼空氣污染防治室主任

**工研院化工所污防組空氣污染防治室副研究員

置，並作為污染危害環境之初步判定與改善固定污染源廢氣排放之依據。

二、基本因素

經過處理或未經處理的廢氣經由煙囗排入大氣，可獲得稀釋擴散的效果，致使地面上污染物的濃度大為降低，減少危害人體健康及植物生長之程度；以排放總量而言，雖絲毫沒有減少，但在某些考量下，稀釋與擴散不失為實際而又經濟的污染防治方法。

污染物在大氣中的稀釋作用，主要由於大氣擾流與分子擴散作用所致，一般而言，後者之影響遠較前者為小，故常忽略不計；但因大氣擾流之隨機特性，實無法完整地以單一物理現象描述，故常以大氣溫度直減率、大氣穩定度、風速等相關現象，來解釋大氣擾流對污染物在大氣中擴散之影響。

目前有許多大氣擴散方程式可用以計算污染源連續排放後之空氣污染物濃度，但最常用的還是高斯擴散方程式(Gaussian dispersion equation)，要探討高斯擴散方程式，必需先了解煙柱的行為：當廢氣由煙囗排放後，首先是上昇至某一高度，然後向外擴展，隨著風的作用，把污染物稀釋後帶離煙囗，至各種受體(receptor)為止，這就是煙柱的擴散，這一連串的行為在圖1中有很明白的表示。

當然影響到煙柱的擴散還有時間與空間的因素，同時也涉及到熱力學與流體力學的問題，把這些關聯性的因素全部加以考慮後，似乎用統計學的方法來加以描述最為適當，因為污染物在恆定風速下的擴散行為，符合所謂的常態分配(normal distribution)，雖然瞬時的煙柱形狀與濃度並無法完善的預測，但經過一定時間後，濃度的變化，就是典型的常態分配，此時就可以用高斯擴散方程式來描述：

當有一點源距地面H高度處，連續排放污染量為Q時，考慮地面反射作用，則高斯擴散方程式可表示為：

$$C(X, Y, Z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \right. \\ \left. \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \right] \dots (2-1)$$

而吾人所關心的煙柱中心線處的地面濃度，即Y=0，Z=0處，故：

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

C：濃度($\mu g/m^3$)

U：煙囗高度處之風速(m/sec)

Q：污染源強度($\mu g/sec$)

σ_y, σ_z ：Y方向及Z方向的擴散係數(m)

H : 煙囗有效高度(m)

因此就利用(2-2)式來做為發展MGLC模式(maximum ground level concentration model)的基本方程式。

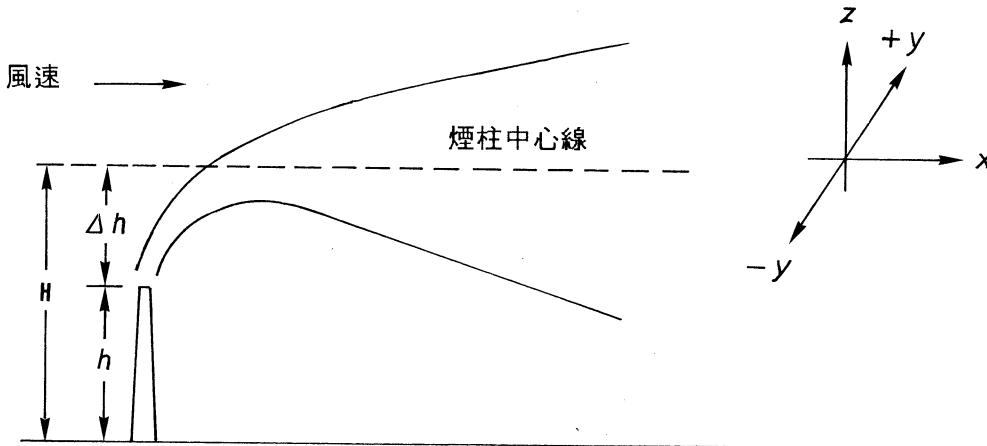


圖1 煙柱擴散行為

三、MGLC模式介紹

MGLC模式主要用來計算污染物由煙囗排放後，經擴散至地面，所發生的最大著地濃度值和發生位置，如此便可提供給污染管理決策者所必需之參考資訊，了解固定污染源所排放的空氣污染物對環境或大眾健康所可能造成的影響，以為改善固定污染源廢氣排放之依據。

模式係以福傳(fortran) 程式語言，配合BIG-5 內碼之中文系統（如倚天中文系統）來撰寫，使用 microsoft fortran optimizing complier v5.00 編譯連結而成，可在與IBM.PC/XT/AT/386相容的個人電腦中執行。

由(2-2)式可知，影響污染物擴散濃度(C)的因子有擴散係數 (σ_y, σ_z)、風速(U)及煙囗有效高度(H)等，而 σ_y, σ_z 及 H 又均與大氣的穩定程度有關，故在此乃將MGLC模式中對這些因子的考量，略加敘述：

1. 大氣穩定度

空氣污染物在大氣中的擴散與傳送常取決於大氣的穩定與否，因此在許多模式中，其擴散係數經常就用穩定度的大小來推求，使得穩定度成為重要的輸入參數之一。穩定度的分類法很多，各自的適用性及限制亦有所差異，但最常用的還是Pasquill (

1959)分類法，Pasquill把大氣穩定度分為A~F六級，其定義如表 1 所示：

表 1 大氣穩定度分級

穩定度分類	Pasquill 級數
非常不穩定	A
中度不穩定	B
輕微不穩定	C
中性	D
輕微穩定	E
穩定	F

2. 擴散係數

擴散係數(dispersion coefficient)， σ_y 及 σ_z 為決定煙柱擴散最重要的參數，許多研究都證實 σ_y 與 σ_z 大氣穩定度間有密切的關係，圖 2 及圖 3 乃 Turner (1970) 所列的擴散係數 σ_y 、 σ_z 值，圖中的A、B、……F 即為大氣穩定度分級；此 σ_y 及 σ_z 均基於下列的兩個假設：

- (1)取樣時間約為10分鐘
(2)地面狀況相當於空曠郊野

但通常要從圖 2 及圖 3 中獲得 σ_y 及 σ_z 的數值頗為困難，且亦無法將該等圖形輸入電腦中，以便於模式分析之用，故 Martin (1976) 應用曲線擬合法 (curve fitting method) 將該等圖形轉化成下列兩個方程式：

其中， a 、 b 、 g 、 d 、 f 為係數 X 為污染源下風處距離，以公里表示而 a 、 b 、 g 、 d 、 f 諸值，可由表 2 中獲得。如此，便能迅捷地得到 σ_y 及 σ_z 的數值了。

表 2 計算擴散係數所需之係數(Martin 法)

穩定度	a	b	X<1 km			X>1 km		
			g	d	f	g	d	f
A	213	0.894	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	0.894	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	0.894	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	68	0.894	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	0.894	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	0.894	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

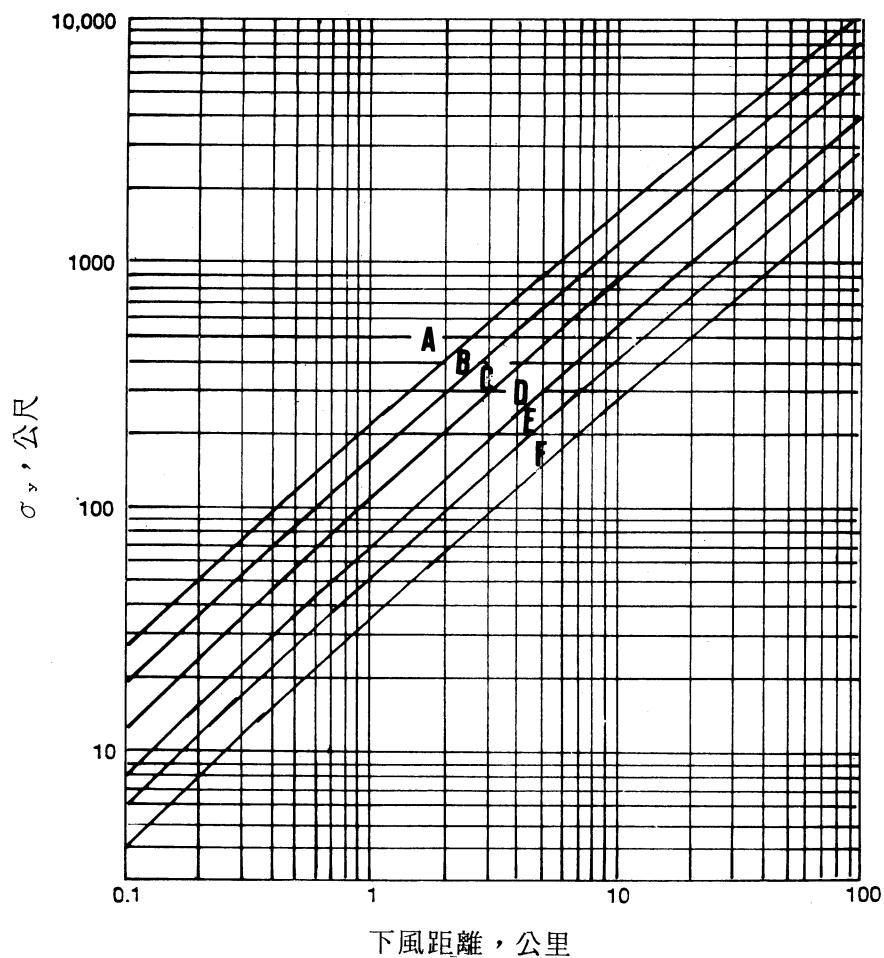


圖 2 σ_z 與下風距離之關係

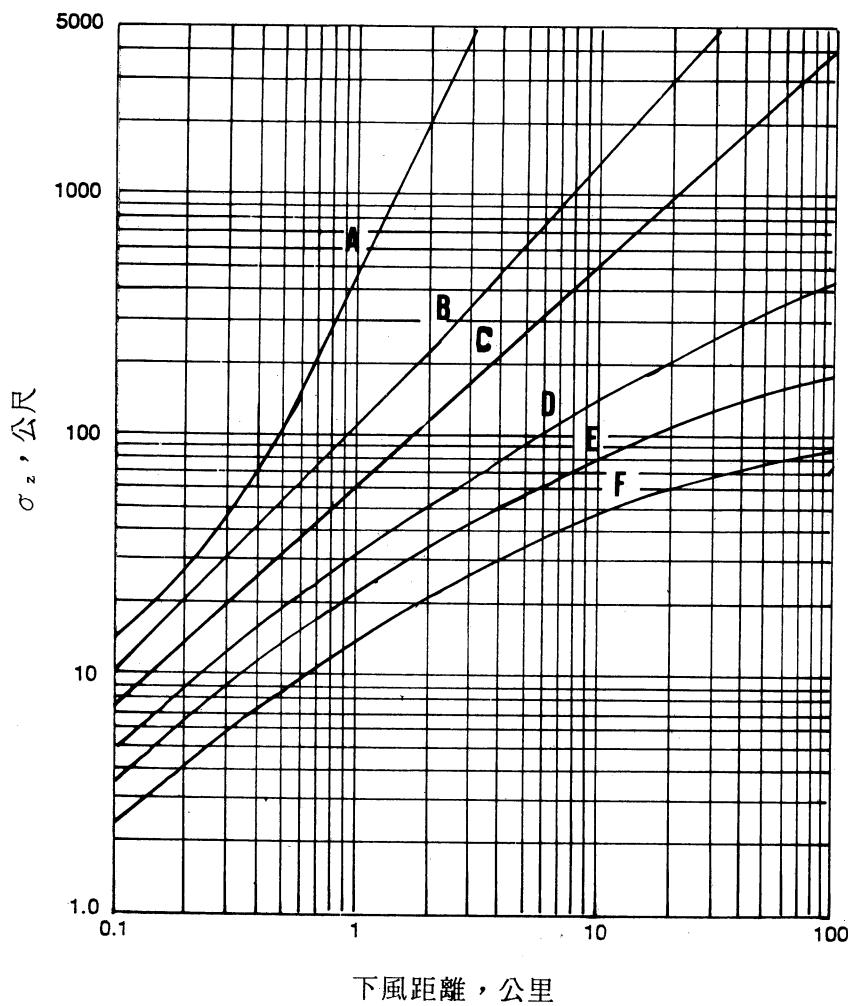


圖3 σ_z 與下風距離之關係

3. 風速

在高斯擴散方程式中，風速(U) 應該採取什麼數值呢？因為風速為高度(Z) 的函數，故必需採用平均數值，Turner曾建議適當的數值為煙柱整體的平均值，但通常均採用煙囪高度處的時間平均風速，可惜有時連此種數值都無法得知，在這種情況下，必需加以估計，估計的方法可採用流速剖面指數定律(power law velocity profile)，即：

其中 U ：為在煙囪高度處之風速 (m/sec)

U ：在 Z_1 高度處之風速 (m/sec)

h ：煙囗實際高度(米)

Z_1 : 任一高度(m), 通常為10公尺

n ：常數

關於 n 的數值，則採用 Peterson(1978) 法， n 值隨大氣穩定度與地表平坦度而變，其數值如表 3 所示：

表3 流速剖面指數定律中的n值(Peterson法)

穩定度	n
A	0.15
B	0.15
C	0.20
D	0.25
E	0.40
F	0.60

4. 煙囗有效高度

由煙囗排放出的煙柱並不立即作水平移動，在受微風時，煙柱可能有相當顯著的上升高度。煙柱上升的高度(Δh) 加上煙囗本身的實際高度(h)，為計算擴散作用的適當高度。 $h + \Delta h$ 稱為有效煙囗高度(effective stackheight) H 。在使用高斯方程式計算擴散作用時，即應以此高度作為計算的依據（參見圖1）。

在此將討論如何計算 Δh 值，因有太多的公式可用來計算煙囗有效高度（或煙柱上升高度），故常有令人無從選擇適當公式的感覺。但通常採用Holland (1953)公式，此法之優點為易於計算，可惜結果較為保守。

$$\Delta h = \frac{V_s \times D_s}{U} [1.5 + 2.68 \text{Pa} \left(\frac{T_s - T_a}{T_a} \right) D_s] \times K_s \dots \dots (3-4)$$

其中 Δh : 煙柱上升高度(m)

V_s : 煙氣排放速度 (m/sec)

Ds : 煙団直徑(m)

U : 風速 (m/sec)

Pa : 大氣壓力 (bar, $1\text{atm} = 1.013 \text{ bar}$)

T_s：煙氣排放溫度(° K)

T_a: 周圍大氣溫度(°K)

K_s ：大氣穩定常數（參見表 4）

表 4 Holland 公式中之 K_s 系數

穩 定 度	係 數
A	1.2
B	1.2
C	1.0
D	1.0
E	0.9
F	0.8

5. 最大地面濃度之推求

Turner曾建議當最大著地濃度發生時，有下列關係存在：

故最大著地濃度可簡化為：

$$C_{\max} = \frac{0.117Q}{U_{\sigma_x \sigma_z}} \dots \dots \dots \quad (3-6)$$

但此法過於粗略，且易造成計算上之誤差，故筆者乃將(3-1)、(3-2)式代入(2-2)式後，對 X 微分，得：

$$C'(X) = (b+d)(gX^d + f)^3 - df(gX^d + f) \cdot 2-dH^2gX^d. \dots \dots \dots (3-7)$$

其中 g 、 b 、 d 、 f 為係數（參見表2）

令 $C'(x) = 0$ ，並於 $\sigma_z = gx^d + f$ 代入，得三次方程式：

$$(b+d)\sigma_z^3 - df\sigma_z^2 - dH^2\sigma_z + dfH^2 = 0 \dots \dots \dots \quad (3-8)$$

以Newton-Raphson法解此方程式，得 σ_z 值，再將其代回(3-2)式，如此可求得 X_{\max} 值，即為發生最大地面濃度的位置：

將 x_{\max} 值代入(3)式，得：

$$C_{\max} = \frac{Q}{\pi \sigma_x \sigma_z U} \exp \left(-\frac{H^2}{2 \sigma_x^2} \right) \dots \quad (3-10)$$

必需注意的是式(3-10)基本上是源自高斯擴散方程式，該方程式的假設條件與限制因子，也同樣地適用於本模式，即只適用於非反應性污染物、連續點源排放的短期預測；至於線源、面源抑或溢散性污染源(fugitive emission) 及長期預測，則因涉及氣象聯合頻率資料，在本模式中並未加以考慮。模式的參數如下：

四、應用 MGLC 模式

模式是以既存污染源為主，計算其煙囗下風處的最大地面濃度及發生位置，當其最大地面濃度超過現行周界濃度管制標準時，則必需增加控制設備減低排氣濃度，模式的參數如下：

1. 污染物種類：

- (1) 狀污染物 (particulate)。
 - (2) 一氧化碳 (CO)。
 - (3) 氮氧化物 (NO_x)。
 - (4) 硫氧化物 (SO_x)。
 - (5) 氯化氫 (HCl)。

2. 煙道排放濃度 (mg/Nm³ or ppm)

3. 煙囗直徑 (m)。

4. 煙氣排放速度 (m/sec)。

5. 煙囗高度 (m)。

6. 煙氣溫度及周圍大氣溫度 (°C)。

7. 在10公尺高處之風速 (m/sec)。

8. 大氣壓力 (毫巴, mb)。

9. 輸入大氣穩定度 (A~F)。

現就以一例子來說明模式的應用：某一廢棄物焚化爐，其煙囗高度為40m，直徑為3m，煙氣排放速度為30 m/sec，主要污染物為硫氧化物(SO_x)，其排放濃度為750 ppm，

恰符合現行法規排放標準，同時已知氣象條件如：煙氣排放溫度為145 °C，周圍大氣溫度20°C，在10公尺高度處測得的風速為3.5m/sec，大氣穩定度屬B級，當時大氣壓力為1000毫巴。1.試計算其污染排放量及最大著地濃度值2.若該焚化爐加裝濕式洗滌設備(wet-scrubber)後，煙氣排放溫度降為110 °C，且SO_x的排放濃度降為 250ppm，試與1.比較其最大著地濃度的關係。

由MGLC模式計算的結果，列之如下：

1. 既存污染源

煙囗高度：40.0m

煙囗直徑：3.0m

污染物為硫氧化物(SO_x)

排放濃度 750.00ppm

排放速度 30.00 m/sec

煙氣溫度145°C

周圍大氣溫度20.0°C

大氣穩定度為B 類穩定

風速：3.5 m/sec

最大地面濃度發生在 0.94 km處濃度為0.3146ppm

排放量：454.409 g/sec

2. 既存污染源

煙囗高度：40.0m

煙囗直徑：3.0m

污染物為硫氧化物(SO_x)

排放濃度 250.00 ppm

排放速度 30.00 m/sec

煙氣溫度110.0°C

周圍大氣溫度20.0°C

大氣穩定度為B 類穩定

風速：3.5 m/sec

最大地面濃度發生在 0.86 km處濃度為0.1252ppm

排放量：151.470 g/sec

從結果中可看出，在750 ppm 的排放濃度下，最大著地濃度發生在距排放源940 公尺之下風處，最大著地濃度約為0.315ppm，並不符合現行周界濃度標準(0.3ppm)，且其

排放量約為455g/sec；若將排放濃度改善至250ppm後，則最大著地濃度可為0.13ppm，遠低於周界濃度標準，且排放量亦可降低至151 g/sec，對環境品質頗有助益。

五、結論與建議

1. 使用MGLC模式可迅速求得污染物的最大地面濃度及其發生位置，立即初步判定污染狀況，了解固定污染源所排放的空氣污染物對環境或大眾健康所可能造成的影響，以做為改善固定污染源廢氣排放之依據。
2. MGLC採用模組化設計，極具彈性與擴充性，使用者可隨時視需要加以修改或擴增，以適用於各類空氣污染物擴散濃度之推求。
3. 模式應用時，可能發覺所模擬之地面濃度較實測者為低，會發生此種現象，據推測，蓋因受到背景濃度或其他污染源影響之故，因模8式中只考慮單一污染源，若有數個污染源，應個別加以計算，而後予以加成，才能獲得較周延的結果。
4. 在應用模式時，常會忽略了排放源資料的可靠性及代表性，模式中所採用的是平均排放濃度，故特別大或小的排放濃度，均會對模擬結果造成誤差，而且這種情況常常發生，所以必需特別加以注意。

六、參考文獻

- (1)空氣污染防治法，民國75年8月。
- (2)高煙函之擴散作用及其設計，經濟部專業人員研究中心講義，民國72年。
- (3)空氣污染學、黃正義、黃炯昌譯、科技圖書公司，民國73年 7月。
- (4)都市地區大氣垂直溫度梯度與大氣穩定度關係之研究、李慧梅、倪佩貞、第五屆空氣污染控制技術研討會，台大環工所，民國77年 9月。
- (5)Turner,D.B., Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.U.S.Dept. HEW., National Air Pollution Control Administration, 1969.
- (6)Ranchoux, R.J.P., "Determination of Maximum Ground Level Concentration.", JAPCA, 26(11):1088-1089, Nov. 1976.
- (7)Air Pollution Control: A Design Approach, Cooper & Alley, PWS publishers, 1986.
- (8)Environmental Engineering, Peavy, Rowe & Tchobanoglous, McGraw-Hill Inc., 1985.
- (9)Handbook of Air Pollution Technology, Calvert, John Wiley & Sons, 1984.