

臺北市大氣污染預測模型之研究*

呂世宗 汪重光
蔡木金 陳福來

*A Study on the Predicating Model of Air Pollution
in Taipei City*

*Shih-chung Lu, Chung-koung Wang
Mu-chin Tsai, Fu-lai Chen*

Abstract

The pollutants which come from the area sources, are suspending in the atmosphere. The contamination area in Taipei are influenced by meteorological factors. Although air pollution control were undertaken by government, the degree of contamination is still high due to the density of population and characteristic of topography. By using the IBM, Miller's diffusion equation was used to calculate hourly average sulphur dioxide concentrations. Hourly time series plots of the average observed and calculated sulphur dioxide concentrations indicate that the modified model is sufficiently accurate to predict air pollution potential.

一、前 言

近年來由於臺北市工商業之急速發展及人口之集中，而使大氣混濁，有害氣體與日俱增，嚴重地威脅市民之健康。

美國、日本及歐洲先進國家對大氣污染之研究甚早，而我國亦已漸漸重視。自民國59年以來即開始測量落塵與浮游塵，接着便有煙煤及二氧化硫之測定，而後更有一氧化碳及其他氮化物、氟化物之測定。

本文係利用中央氣象局之累年資料，並參照臺北市環境清潔處資料，以統計方法予以分析比較，而求得臺北市大氣污染與氣象因素之關係，並且檢討可行而有效的污染預測模型。

二、臺北市大氣污染源分布之檢討

臺北市之污染源主要有三，即汽車、工廠及家庭（參照表一）。汽車排氣及工廠廢氣所構成之危害已為大家所熟悉，家庭日夜所排出之污染物雖少，但只要人口集中，能源消耗量大增其污染就不能忽視。

* 本研究之完成，曾得國家科學委員會的助補。

表一 臺北市人口與工廠分布

區域	人口數(人)	工廠數(家)
松山	212,039	219
大安	238,798	107
古亭	180,339	117
雙龍	132,891	239
城中	67,837	258
建平	78,360	129
延平	57,111	152
大同	59,003	229
中山	117,840	405
內湖	230,973	187
南港	46,360	156
木柵	47,520	136
景美	43,088	57
士林	45,491	107
北投	127,009	281
	84,098	137

至於污染物產生過程則可分為下列幾部份

1. 燃燒過程：

工廠、食品廠、家庭及汽車之排氣大部份為燃燒過程之污染物發生源，臺北市之大工廠雖不多，但小型食品廠却不少，尤其是臺北市郊外之板橋、新莊、三重及六堵等地，工廠林立，其排氣對臺北市之污染，構成極大之威脅。

工廠之煙囪高度，通風設備及排氣溫度，對污染範圍有密切之關係，煙囪愈高，通風設備良好，排氣溫度高，則排氣容易，污染容易稀釋，故地面污染濃度減少，因此欲有效管制污染，對工廠之通風設備及煙囪高度之規定實屬必要。

汽車排氣為都市污染主因之一（參照表二），臺北市目前汽車數量為全國之首。從汽車數量與其排氣情形，可知汽車對臺北市之污染已相當嚴重，就以一氧化碳為例，設汽車排氣量為 $3'm^3/km$ ，而且平均每輛車每天之旅程為 $100km$ ，臺北之車輛總計約為 20 萬輛，則每天將產生 $6.0 \times 10^5 m^3$ 之一氧化碳，這個污染情形已不算小，何況臺北市之汽車數量正與日俱增，因此在都市適當管制通行道路計劃，甚為重要。

表二 臺北市汽車數量

總數	大型車	小型車	特種車	機車	馬達三輪車
207,795	7,406	57,921	673	140,000	1,795

表三 汽車耗油量

油類	平均耗油量（公升／里）
汽油	0.5
柴油	0.33

表四 車輛排氣量

車輛種類	排氣量 (m^3/km)
大型計程車	3.4
小型計程車	1.5
大型輕油卡車	7.7
大型汽油卡車	4.5
小型汽油車	1.5
公共汽車	6.5

表五 汽車排氣成分 (%)

成分	汽油引擎	輕油引擎
NO_2	80.5	78.7~81.9
O_2	6.5	9.0~18.8
CO_2	8.4	1.8~9.0
H_2O	1.1	0.03
CO	3.3	0.03~0.05
碳氫化合物	0.18	0.02~0.03
氮氧化物	0.002	0.028~0.036

其次為一般家庭及工廠所用的燃料，燃料品質愈好，所排出的污染物亦少。燃料可分為固體、液體及氣體三種，氣體燃料含灰質較少，且易完全燃燒，可以得到較高之熱量，污染性較輕，但因價錢昂貴，不為一般工廠所採用。固體燃料含灰質及硫黃較多，不易完全燃燒，產生煤煙較多，至於液體燃料則含有部份硫黃及揮發物，燃燒後易產生大量之二氧化硫及一氧化碳，對大氣之污染亦大。

臺北市近年來對大氣污染已逐漸重視，無論對家庭或工廠之燃料，已有嚴格的管制，大部份家庭已改用氣體燃料，工廠亦逐漸改善燃燒設備。

2. 化學反應過程

在工廠製造過程中，如各種酸類（硫酸）或鹼類如氫氧化鈉，製造中所發生的漏氣，昇華或蒸發，這些氣懸膠體易浮游於大氣中，構成嚴重的大氣污染。高雄之製氯廠，曾因漏氣而使其附近居民受到危害，其他如加工廠、製革廠、染織廠等，都難免使其化學物質漏於大氣中，而引起污染。

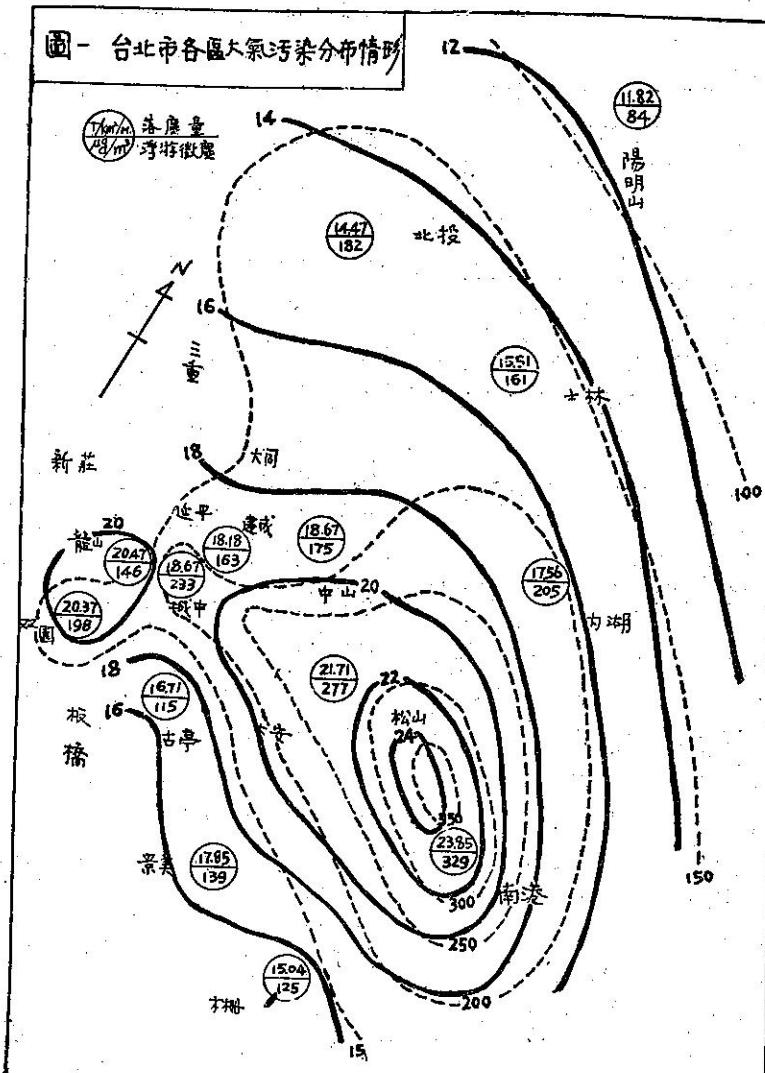
3. 機械過程

由機械過程所引起之污染物，大部份為粒狀物質。粒徑較大者，沉澱速度較快，易飄落地表，例如輪胎磨損之塑膠粒粉，汽車走動、風吹等所引起之灰塵等，都屬機械作用所引起之污染。

臺北市馬路時常改修，舖柏油道路時常破損，泥土四散，污染周圍，而且經汽車走動，更使灰塵污染市區。

三、臺北市各區域之污染情形

臺北市位於臺北盆地之中央，地勢由東南向西北傾斜，平均地勢為海拔 7m，四周為山脈或丘陵所環繞，在北偏東有大屯山，西北有觀音山，而五分山、姜子寮山、土庫岳、二格山、咬山、大桶山、獅頭山及熊頭山則由東南向西北綿延，而新店溪、基隆及



漢溪、淡水河又成為三個方向之走廊，受臺北盆地之影響，風向均會有改向傾勢，而使臺北市形成特殊風系，從臺北市之風向頻率分布可知，無論那一季節偏東風都最多，由於特殊風系及污染源之分布，使臺北市構成特殊的污染分布（圖一）。

臺北市因時常改修馬路與水管，泥沙甚多，風吹易使微塵飄起，因此粒狀微塵之污染分布，均依照工程進行情形決定，其分布異常，無法預測。

前段已述明，大氣污染的代表指標為二氧化硫，因家庭燃料所產生的污染物，以二氧化硫為最。因此本文之污染分布即採用二氧化硫之含量為主體，另再考慮粒狀污染物之分布情形。

為方便起見，將臺北分為四大區加以檢討其污染情形。

1. 東區

臺北市東方為舊時的工業區，包括松山、大安及南港等區，公害工廠散雜林立。工廠大多數為紡織和化學等性質，其污染性較強，加上此區為發展地區，建設工程亦多。而且其背後有新設的六堵工業區，因此本區污染較嚴重，尤其是落塵的污染為最。本區的污染對臺北市中心區的污染影響亦大，尤其冬季季風旺盛時為甚。

2. 西區

本區包括雙園、龍山等區及城中區一部份，汽車污染對本區影響最大，而本區修建工程頻繁，食品廠與公散雜綿立，又位於臺北市西部，受東風之影響甚大，在春冬兩季東北季風旺盛時，污染性較大。因受三重、板橋及新莊一帶之污染源影響，夏秋兩季浮游

塵亦多。

3. 北區

本區包括士林、北投及陽明山等區，住家較多，雖然亦有些化工廠，但本區因山地地區相互隔阻，樹木又多，因此本區是臺北市之淨土，為良好的住宅區。

4. 南區

本區包括景美、新店、木柵等區，人口工廠較少，因此污染源亦少，而如北區山林較多，雖然最近社區不斷的增加，稍有微塵污染，但是尚可說為清潔的地區，因其地形特殊，換氣速度緩慢，如無適當管制，將來亦難免被污染。

四、檢討 Miller 都市污染模型對臺北市之適應性

都市大氣中含有許多污染物，此等污染物以氣體、固體或液體存在。在大氣中受太陽光等影響變質、變形。因都市污染源的活動不定，此種變化更複雜且多方面，譬如考慮污染源時，有各種各樣大小不等煙肉或排氣口，而不規則分布，又因使用目的不同，其排出物、排出時間隨各季節亦有很大變化。

又於都市，因地表面的凹凸不平，人工熱的放出與周圍田園地區不同，形成了都市獨特的氣候或氣象條件，此氣象條件對都市大氣污染的移動或擴散給與複雜的影響。

都市大氣污染現象，雖然由甚複雜因素所構成，但因都市污染與日俱增，必須將此污染機構，以簡單合理的數學模型加以表示，由有關參數預測大氣污染，以利防止其對人類的危害。

這方面的發展已有十多年的歷史，近年來電子計算機的利用，更增強模型預測的觀念與實現應用之願望。

到目前所提出的主要都市大氣污染模型，雖然有十幾種（附錄 1），但可大別如下：

1. 以測定點所測的污染濃度測定值資料為主者。
2. 以都市污染源活動源資料為主者。

兩種，一般，前者稱為實測濃度模型（Receptor-Oriented Model），後者稱為污染源活動模型（Source-Oriented Model）⁽¹⁾。

上述分類可再細分如下。

1. 實測濃度模型

a. 因不能獲得都市污染源正確資料，假設都市全區域為一均勻的面污染源（Uniform Area Source）

，並考慮適當的擴散條件計算地表濃度，求出與時間的回歸方程式（Regression equation）。

b. 污染活動不明，於濃度測定值中求出時刻、星期或季節的統計傾勢。僅以濃度測定值與氣象因素，利用回歸分析方法來預測污染濃度。

2. 污染源活動模型

a. 獲得污染源活動資料，從各個污染源或污染區，以煙流（Plume）擴散現象，求出下風（Downwind）地表濃度，此法又稱為煙流模型（Plume Model）。

b. 如上述，但不是以煙流擴散。為適應微風或異常氣象狀態，以 Puff 考慮擴散機構，求出下風污染濃度，此法又稱為吹噴模型（Puff Model）。

上述這些模型，亦可分為統計模型與擴散模型，後者以 Miller 模型⁽²⁾ 利用價值較高，Miller 模型被美國 NAPCA (National Air Pollution Control Administration) 所採用。此模型中所採用的氣象因素，經美國氣象局加以預測，對各重要都市大氣污染傾勢（Pollution Potential）的預測亦以傳真機傳播，以利預防與管制。

Miller 模型的二個主要假設（圖二）。

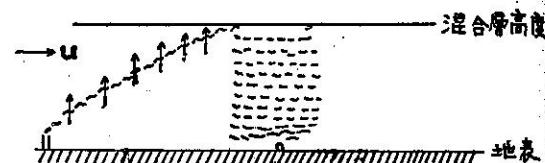


圖 2. Miller 模型之假設

a. 在地表連續排出的污染源，均勻地分布在整個都市，如此就可將污染源看成一串垂直風向而均勻的水平線煙源，為實用起見，將此線源看成垂直風向而且無限長。

b. 線源排出的污染質，在到達混合層頂前作垂直擴散，到達混合層頂後，污染物就很均勻地分布在整個混合層內。

上述二個假設是簡化模型所設。

大氣擴散中，最簡單的模型是引用 Gauss 型的擴散（Gaussian diffusion）即正規分布情形，Miller 模型亦引用煙流 Gauss 型擴散。

從污染源高度 h 公尺所排出的污染物，在 $(x,$

y, o) 處的地表濃度 χ 可表示：

$$\chi(x, y, o) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{h^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

對一連續無限長線煙源之地表相對濃度，即把上式 y 由 $-\infty$ 積分至 $+\infty$ 可得：

$$\frac{\chi}{Q_L} = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \sigma_z u} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

①②式中 χ ：污染濃度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

Q_L ：單位長度污染排出強度
($\text{g} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

σ_z ：垂直方向污染濃度的標準偏差 (m)

σ_y ：水平方向污染濃度的標準偏差。

u ：風速。

x ：沿下風距離 (m)

y ：垂直軸之水平距離 (m)。

h ：污染源有效高度 (m)。

對應某一大氣穩定度， σ_z 全是污染距離或浮游微塵浮游時間的函數，上風 (up wind) 所有垂直風向水平線源，對一收集站所產生的濃度，為每一線源所產生的和。

將②式用無限小的項代表時，可得，

$$\frac{dx}{dQ_L} = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \sigma_z u} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

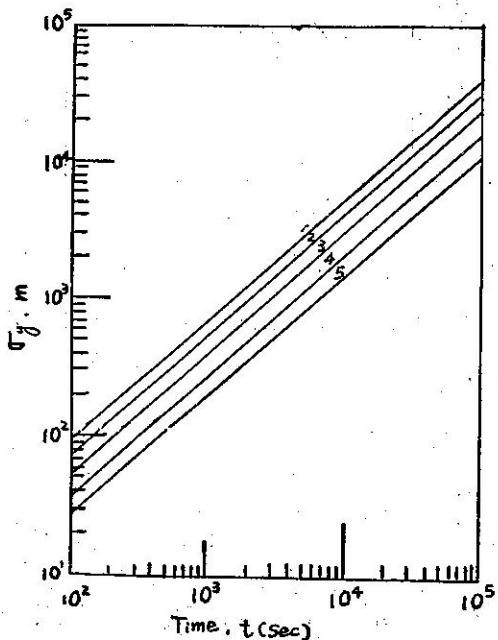


圖 3. 穩定度 5 級時，水平擴散函數與浮游時間之關係。

又由下式導入單位面積污染源強度 Q_A ($\text{g} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-2}$) 與 Q_L 之關係。

$$dQ_L = Q_A dx = Q_A u dt \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

式中 dx 為浮游距離。

將④式代入③式，則得

$$\frac{dx}{Q_A} = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \sigma_z u} dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \sigma_z} dt \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

積分⑤式，應先求 σ_z 。

Gifford⁽³⁾提出 σ_z 值 (σ_y 水平擴散係數亦然)，為大氣穩定度及污染源距離的函數，Turner⁽⁴⁾把污染源距離的函數改為浮游時間的函數（參考圖 3, 4, 5）

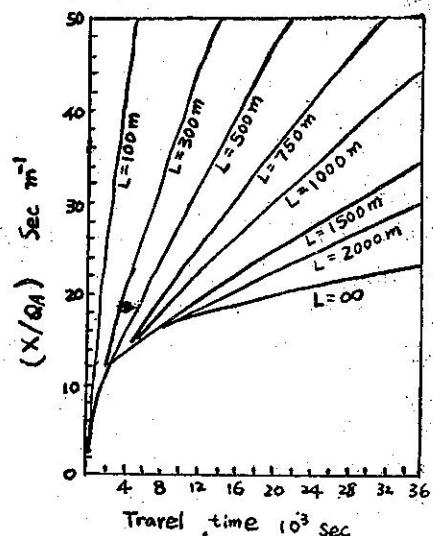


圖 4. 穩定度 3 級及各混合層高度 L ， (χ/Q_A) 在污染源下風緣與浮游時間之關係。

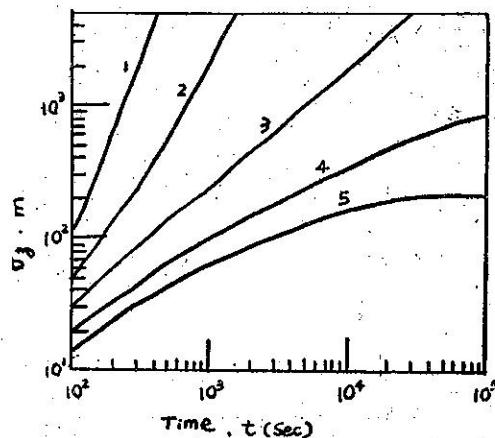


圖 5. 穩定度 5 級時，垂直擴散函數與浮游時間之關係。

都市建築物高低不等，粗糙度變化甚大，因此大氣穩定度亦受其影響。為適應都市模型，Turner 將原有 $\sigma_y \sigma_z$ 函數加以修正（如附錄 2），分為七級之穩定度。

表中 4 級相等於乾絕熱溫度遞減，與上午都市混合層溫度遞減率較接近，穩定度 3 級相當於超過絕熱遞減（Slightly superadiabatic lapse rate），下午都市大氣狀態易顯出此種情況。

依照 Miller 污染模型，從線源排出的煙流，隨風飄動而在混合層內向上擴散，到達混合層頂（設高度為 L ）後，①式不能適用。實際上煙流邊緣甚難決定，為利於計算，將濃度為中線濃度 $\frac{1}{10}$ 處的鉛直高度為煙流邊緣，由①式

$$\exp(-b^2/2\sigma_z^2) = 0.1 = \exp(2.3)$$

$$\therefore b^2/(2\sigma_z^2) = 2.3$$

$$\sigma_z = b/(4.6)^{1/2} \quad b = 2.15\sigma_z$$

式中， b 為煙流邊緣高度。

由此定義，煙流邊緣到達混合層高（Mixing depth） L 的頂端時，而其濃度為中線濃度 $\frac{1}{10}$ 時，其高度約為 σ_z 的 2.15 倍。

煙流擴散到混合層頂後，依照 Miller 假設，繼續往下擴散，而均勻的分布於混合層，在 L 高度的濃度約等於中線濃度的 46%，達到 L 處後污染質垂直分布，可假設為均勻，而且

$$\frac{dy}{Q_A} = \frac{dt}{L}$$

在 $L=1.25\sigma_z$ 以前，污染質不斷的垂直擴散，其擴散情形，均假設為 Gauss 型分布。

由所有上風源產生的總濃度，必須把⑤式由 t （最近污染源）積分到 t_L （當 $L=1.25\sigma_z$ ），而以⑦式，由 t_L 積分到 t_s （最遠污染源），然後再把兩項積分相加， t_s 為沿風向都市長的浮游時間。依據面源假設 t 應該等於零 ($t=0$)，但都市污染濃度，以代表性測量時，空氣抽樣儀器不能太靠近污染源，因此 Miller 即假設 50sec 浮游時間內沒有污染源。因此在面源的下風邊緣（Downwind edge）之相對濃度為

$$\frac{x}{Q_A} = \int_{t_{50}}^{t_L} \frac{2}{2\pi\sigma_z} dt + \int_{t_L}^{t_s} \frac{1}{L} dt \dots ⑧$$

大氣混合層高度愈低，浮游時間愈長，則相對濃度就會愈大，浮游時間的增加，乃是沿風向都市長度的增加，以及風速的減弱。

依據此模型的預測，結果照理在沿都市下風邊緣

有一濃度最大值。但代表性測量通常顯示，都市中之污染濃度較高。此矛盾現象是因愈接近污染源，空氣稀釋也較少，或者此模型為極端單純化的結果。

因為污染源分布的不平均，此模型應用在都市平均濃度上較好，依據此模型，相對濃度沿水平 y 方向不變。因此求都市水平相對濃度，把⑧式沿風向都市長積分，再用沿風向都市長來除，即得次式。

$$\frac{\bar{x}}{Q_A} = \frac{1}{S} \int s \frac{x}{Q_A} dx = \frac{1}{S} \left[\int s_L \int t_L \frac{2}{2\pi\sigma_z} dt dx \int s_L \int t_L \frac{1}{L} dt dx \right] \dots ⑨$$

在此有關 S 積分之兩端，是對應有關 t 之部分，由 $S=ut$ 之關係。因此上式可改寫為

$$\frac{\bar{x}}{Q_A} = \frac{u}{S} \left[\int t_L \int t_L \frac{2}{50 \sqrt{2\pi\sigma_z}} dt dt + \int t_s \int t_s \frac{1}{t_L L} dt dt \right] \dots ⑩$$

圖 6 係將⑩式以圖解積分法，對應 Turner 穩定度 3 級的 $\sigma_z(t)$ ，所計算出來的 $\frac{x}{Q_A}$ 與 L 之關係，利用圖 5，將⑩式積分即可得圖 6，因此可知將都市長度因素導入時，相對濃度 $\frac{x}{Q_A}$ 之變化將予改觀。

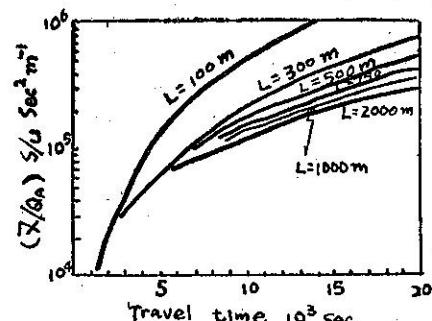


圖 6. $\frac{x}{Q_A}, S/U$ 與浮游時間及混合層高度之關係

如上述以⑩式，如果都市大小知道，而依據氣象資料，即可求出 $\frac{x}{Q_A}$ 與風速及混合層的關係。

五、實模測型對臺北市之應用

Miller (1967) 所提出的實測值擴散模型，本來只有一種，不用電子計算機，而用手算的都市擴散模型。

本文係應用 Miller 實測模型，以電子計算機對臺北市選夏季與冬季各一天穩定度級加以計算，並將實測結果與計算結果互相比較加以討論（圖 7）

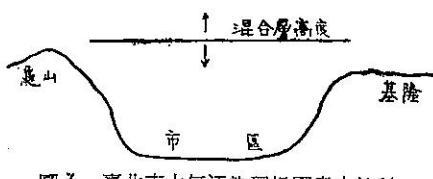


圖 7. 臺北市大氣污染環境因素之檢討

在採用參數與 Miller 者稍有不同，如下午（上午、夜間）混合層高度，Miller 所採用者是地表溫度最大值，沿乾絕熱線與濕度垂直剖面相交處之高度，因臺北地區探高資料較少，僅上午八時，下午八時各一次，無法完全利用絕熱圖求出混合層高度。本文即採用雲高之估計式為混合層高度之估計式⁽⁵⁾。即
(溫度 - 露點溫度) × 125(m)

風速係利用氣象局每小時觀測記錄，高度 23 公尺，而未如 Miller 原始模型，將整個混合層風速加以平均。對於 σ_z 值係利用統計式 $\sigma_z = \frac{L}{1.25}$ 之垂直濃度標準偏差。

對 SO_2 浮游時間的決定，以 Pooler⁽⁶⁾ 實驗結果而假設 $\sigma_z^2 = 2au^r t_L^B$ ，式中 a 、 r 、 B 均為常數，係依季節地形而異，通常 $r=0\sim 1$ ， $B=1\sim 2$ ，本文即參照穩定度等，採用 $r=0.6$ ， $B=1.5$ ， $a=0.09$ 。

求每一天每個時刻之平均濃度，假設每小時時間間隔內，垂直方向標準偏差與混合層高度均不變，(10) 式即可改寫如

$$\begin{aligned} \frac{\bar{x}}{Q_A} &= \frac{u}{S} \left[\frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} (t_L - 50)^2 + \frac{1}{L} (t_s - t_L)^2 \right] \\ &= \frac{u}{S} \left[\frac{2}{\sqrt{2\pi}\frac{L}{1.25}} (t_L - 50)^2 + \frac{1}{L} (t_s - t_L)^2 \right] \\ &= \frac{s}{SL} [(t_L - 50)^2 + (t_s - t_L)^2] \quad \dots\dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

依據上式加以積分時，每小時須考慮下列幾種不同情況：

1. $t_s > t_L$ ；污染物質到達混合層頂時，仍滯留在都市區域，繼續污染。

2. $t_s = t_L$ ；污染物質到達混合層頂時，污染物先端正如在都市邊緣。

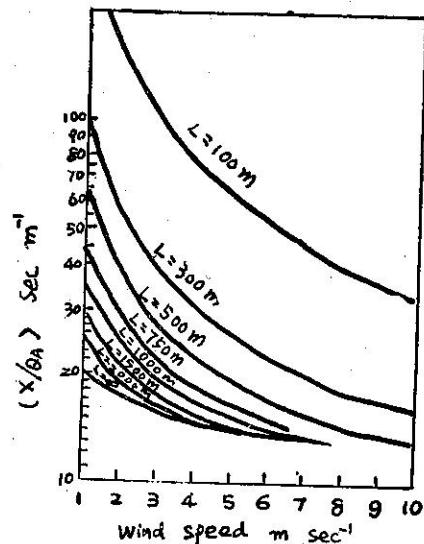
3. $t_s < t_L$ ；污染物質到達混合層頂時，污染物先端已超出都市區域，對都市污染不影響。

在本文每時刻之平均污染濃度，即以前一小時之平均濃度為該時刻之平均污染濃度，(如 8 點之平均濃度乃是 7 點到 8 點間之污染效應的結果)，因此上述三種情況，必須分別再考慮到與每小時間隔的關係。

由(11)式求出的平均相對污染濃度 $(\bar{x}/Q_A)_L$ ，因每時刻之有效面源強度 Q_A 不盡相同，在求平均污染濃度 (\bar{x}) 時，必須用各個時刻之有效污染面源強度來修正。本文求有效污染面源的方法，係參照 Los Angeles 市 (都市長 3.8km, 1963 年)⁽²⁾ 作 NOx 預測研究時，求有效面源強度的方法。假設臺北市長 60km (本文為初步研究，為計算方便假設之)，引用圖 8，對應每個時刻之混合層高度及風速，求平均相對污染濃度 $(\bar{x}/Q_A)_L$ ，再由實測值，利用下式求有效污染面源強度：

$$(\frac{\bar{x}}{Q_A})_{LM} = \frac{(\bar{x})_{observed}}{(\bar{x})_{effective}}$$

$$(Q_A)_{eff} = \frac{(\bar{x})_{ob}}{(\bar{x}/Q_A)_{LM}} \dots\dots\dots\dots (12)$$

圖 8. \bar{x}/Q_A 與風速及混合層之關係

本模型假設都市大小與風向無關，即表示都市為對稱，即使都市非常對稱，有效煙源與風向應該是有關係的，因為都市有效煙源不可能是均勻的。

由計算機所求的 $(\frac{\bar{x}}{Q_A})_L$ 值，乘上有效面源強度，即為平均污染濃度 (\bar{x}) 。

將 1972 年 7 月 29 日之資料，以(10)式計算整理 (計算程序如附錄 3) 後，示於圖 9，由圖可知，若把每個時刻的有效面源強度都看成一樣時，在夜間及清晨，計算值 $(\frac{\bar{x}}{Q_A})_L$ 與實測值成負相關，而在白天

與實測值 $(\bar{x})_0$ 之變化

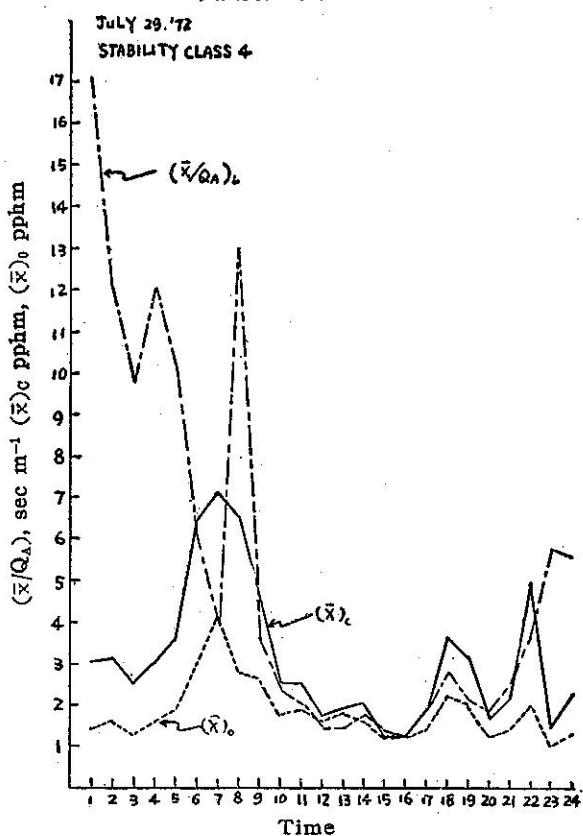


圖 9a. 逐時計算值 $(X/Q_A)_L$, 平均污染濃度 $(\bar{x})_0$

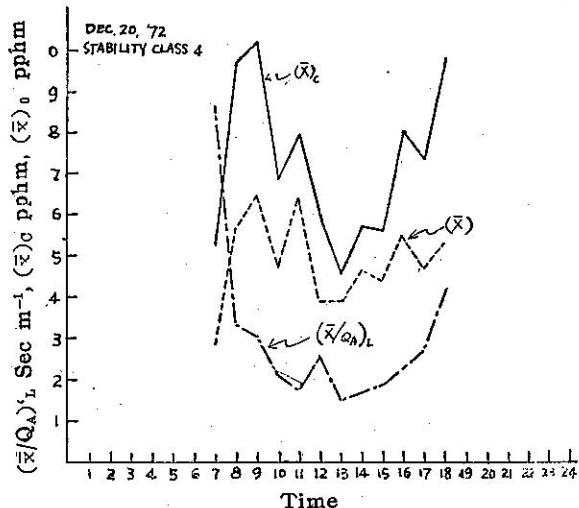


圖 9b. 逐時計算值 $(X/Q_A)_L$, 平均污染濃度 $(\bar{x})_0$

與實測值 $(\bar{x})_0$ 之變化

，尤其是下午，計算值 $(\frac{\bar{x}}{Q_A})_L$ 與實測值變化傾向較吻合。因此可推出上午及下午的面源強度變化不大，

並且可推知一天 24 小時之有效面源強度不等，而夜間及清晨的有效面源平均強度一般比上午及下午為小，此種情形，於圖 10 非常明顯。

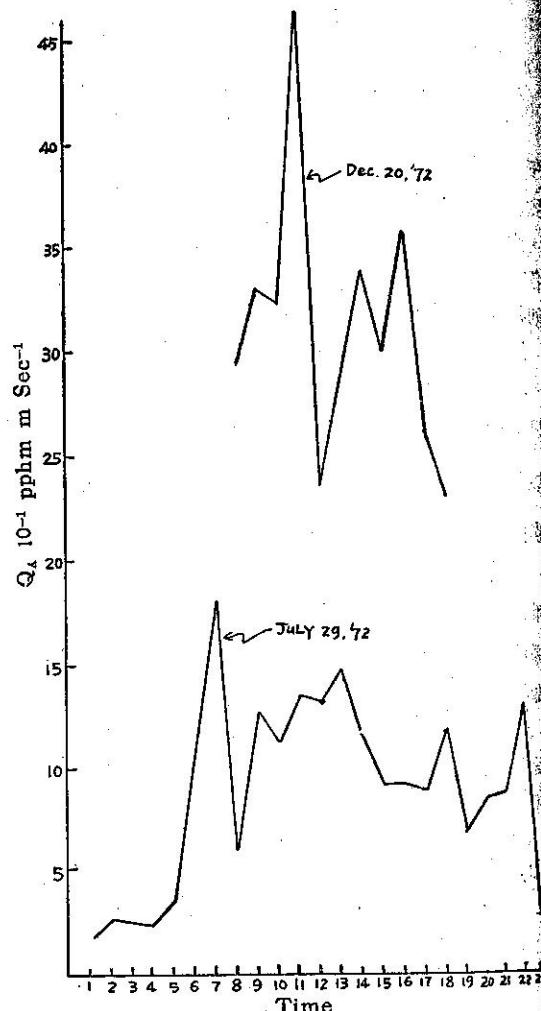


圖 10. 逐時有效污染面源強度

在白天，都市及郊外之大氣狀態大致相同，即經熱遞減或過絕熱遞減之大氣穩定度非常相似。到夜間，郊外之輻射冷却較快，易呈現溫度逆轉，但在市中心因熱源較多，發生逆轉情形較少。

因此夜間及清晨都市擴散模型之應用，比較複雜。在夜間都市擴散係數與附近郊外之擴散係數不同，即因都市比其周圍來得暖，此種現象通常稱為「都市熱島」(Urban heat island)^(7,8)，因此種現象之，則產生都市比郊外不穩定之遞減及較大之擴散，「都市熱島」之現象，係都市特有的氣象，其主因可納為：

1. 因大氣中有浮游的污染物質存在，夜間冷凝

到限制

2. 都市內人工熱源增加
3. 白天傳導於建築物及道路的熱量，至夜間被放出。
4. 因建築物而起的地面摩擦，使風速減低，妨害熱的輸送。
5. 因鋪裝道路，房屋密集，排水設施完備，減少地面蒸發。

在清晨、傍晚、夜間，因無法從正確氣象資料決定正確混合層高度，利用此模型較為困難。

從圖 9, (x)。平均濃度計算值之變化傾向，大致上與實測值變化傾向符合，並且顯出，此模型之應用，白天應用度比夜間應用度為佳，雖然每一時刻之計算值均比實測值較大，尤其在夜間、清晨及傍晚其差別更甚，但如果考慮其他因素，會有較好的結果。

在此初步模型顯出計算值比實測較大！乃是模型上沒考慮到其他氣象因素，以及採用的參數不適當。例如調查 1972 年 7 月 29 日⁽⁹⁾之降水量時，8 時為 0.2mm，9 時為 0.1mm，其他時刻均為 T，因此若在這些時刻上，對模型考慮到雨水沖洗作用，其計算值應該小一點，而且預測的污染變化傾向，也會較為吻合。

雖然加以雨水沖洗效果，實測值與計算值差距，在清晨仍比白天及夜間來得大，這個原因部份是因為模型沒考慮到上升的污染流，即被都市早晨逆溫層所捕獲，在逆溫層上的污染流部份被風吹送出城市外，而不會到達地面。

再考查混合層高度與污染濃度計算值 (x)。變化傾向的關係 (圖 11)，發現白天污染濃度 (x)。變化傾向與混合層高度的關係，與圖 4 的結論較吻合。即混合層高度愈低，污染濃度計算值愈大，反之則較小。但清晨混合層高度與污染濃度 (x)。關係並不如圖 5 的結論。

風速 (圖 12) 與污染濃度計算值 (x)。的關係，白天、夜間的污染濃度計算值變化傾向與風速關係與圖 6 的結論較合，即風速愈大濃度 (x)。愈小，反之則愈大，但在清晨污染濃度 (x)。變化傾向與風速關係不如圖 6 的結論。

若將有效面源強度 Q_A 如圖 10，假設每個時刻都一樣，則污染濃度 (x)。變化的情形應如 $(\bar{x}/Q_A)_L$ ，清晨也應合乎圖 5，圖 6 的結論。因此清晨時污染濃度計算 (x)。不應僅為風速與混合層高度的函數。克服此困難，應修正有效面源，對應清晨這些時刻，

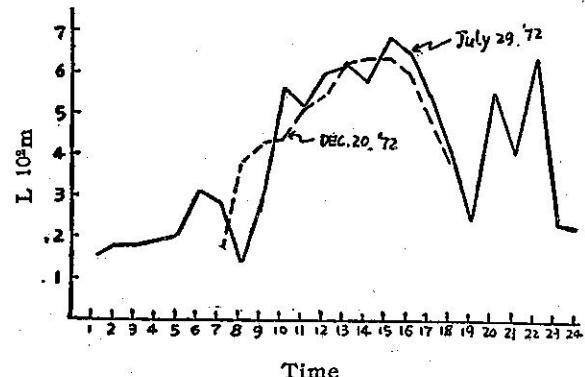


圖 11. 臺北逐時混合層高度

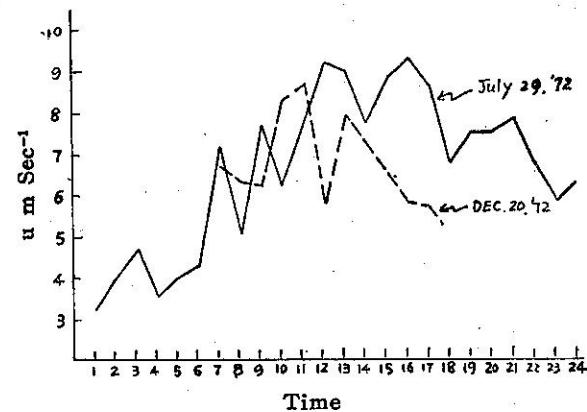


圖 12. 臺北逐時風速

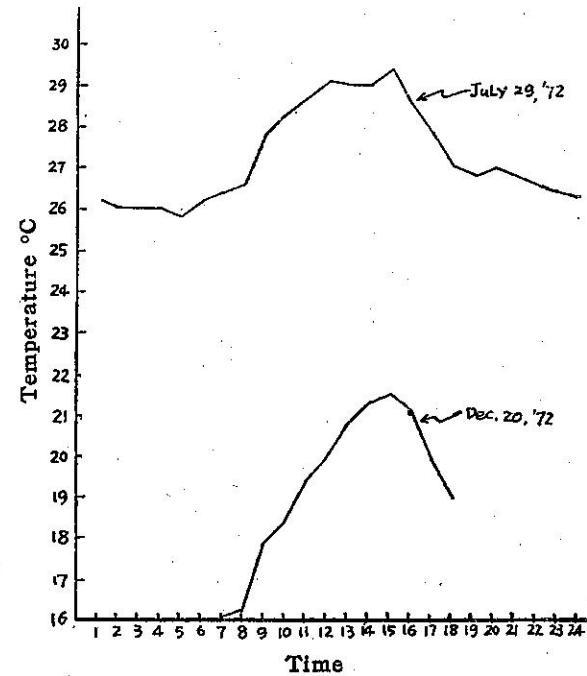


圖 13. 逐時溫度變化

有效污染源強度應比本文所求出的 Q_A 為小。

查有效污染源強度 Q_A (圖 10) 與溫度 (圖 13) 及計算值 (圖 9) 間的關係，發現溫度較高時刻，如白天，濃度的變化傾向，可以看成爲混合層高度及風速的函數，而與有效面源強度關係甚小，即在溫度較高時，有效面源強度可爲定值；在溫度較低時，如清晨，濃度變化傾向不只是風速、混合層高度的函數，也是有效面源強度的函數，即溫度愈高，有效面源強度愈大，反之則愈小。因此若將有效面源強度推求準確，對計算值量方面的預測，亦可有更大的改善。

此外 Q_A 變化與混合層高度及風速有關，而可由(12)式求出，如 12 月 20 日正午 Q_A 銳減，此乃係此時刻風速之銳減所致，因風速銳減 (\bar{x}/Q_A)_{LH}，之程度愈大，而 (\bar{x}) 及 L 在此時刻變化並不大，故 Q_A 出現較小值。冬季的有效面源強度比夏季有效面源強度大，主因在於冬季測定值比夏季測定值爲大。

六、結論

都市污染濃度之預測，其發展目標不外爲：

1. 定量之預報。
2. 預報 24 小時污染之傾向。

本文之研究亦正朝此兩目標進行。利用一簡單實測擴散模型 (Miller 模型)，加以修正，以資適合臺北市空氣污染預測之初步模型。雖然各個計算值之精確率尚需研究檢討，但對 24 小時污染濃度傾向變化上，無論夏季、冬季均能與實測值甚符合。

爲進一步之研究，臺北市區應多設測站，始能看出此模型對各地區之適用性，以及對各種大小不同污染源之適應性，同時應加強都市氣象之觀測設備，以利提高污染預測之正確度。

參考文獻

1. 都市大氣污染現象研究會：「大氣污染防止のコンピュータ利用に関する研究」日本 1970. 3.
2. Miller, Marvin E. and George C. Holzwirth: "An Atmospheric Model for Metropolitan Areas" Jour. of Air Poll. Cont. Asso. Vol. 17, No. 1, pp 46-50, 1967.
3. F.A. Gifford; "The Problem of Forecasting Dispersion in the Lower Atmosphere" Atomic Energy Comission, Division of Technical Information Extension, Oak Ridge, Tenn. p. 28, 1961.
4. Turner D. Bruce; "A Diffusion Model for an Urban Area" Jour. Appl. Met. Vol. 3, No. 1, p. 83-91, 1964.
5. 中央氣象局；「測報手冊」1972.
6. Pooler, F; "A Prediction Model of Mean

Urban Pollution for Used with Standard Wind Roses". Internat. Jour. Air and Water Pollution" 1961.

7. H. Landsberg. "The Climate of Towns", Paper No. 28. Wennergren Foundation International Symposium "Man's Role in Changing the Face of the Earth", Princeton, N.J. June 16-22, 1955.
8. J. M. Mitchell, Jr. "The Thermal Climate of Cities" The Public Service Symposium, Air over Cities" SEC Technical Report A62-5. R.A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, Nov. 6-7, 1961.
9. 中央氣象局：氣象資料，1972.
10. United States Department of Commerce Weather Bureau; "Meteorology and Atomic Energy" 1955.

附錄 1 各種大氣污染模型

1. Turner 模型，(而後 Koogler 等亦應用之)

$$\frac{x}{Q} = \frac{1}{u\pi(\sigma_y + 402)\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{y^2}{(\sigma_y + 402)^2}\right] \cdot \frac{1}{2} \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2} \exp\left(-\frac{0.693}{T_{1/2}} t\right)$$

2. Clarke 模型

$$\frac{x}{Q} = \frac{2}{u\sqrt{2\pi}\sigma_z(\pi/8)_x} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{0.693}{T_{1/2}} t\right)$$

3. Hilst, Brown 模型

$$D(x-x_0, 0) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi u [Cz_0 + a(x-x_0)]}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{z_0^2 e^{-2\lambda(x-x_0)}}{\sigma z_0^2 + a(x-x_0)}\right)$$

4. Pooler 模型

$$\frac{x}{Q} = \frac{1}{\pi u (\sigma_y + 80)(\sigma_z + 30)} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{(\sigma_y + 80)^2} - \frac{1}{2} \frac{h^2}{(\sigma_z + 30)^2}\right)$$

5. Miller 模型

$$\frac{x}{Q_A} = \frac{u}{S} \left[\int_{t_s}^{t_L} \int_{50}^{t_L} \frac{2dt dt}{50\sqrt{2\pi}\sigma_z} + \int_{t_L}^{t_s} \int_{t_L}^{t_s} \frac{1}{L} dt dt \right]$$

6. Panofsky, Prasad 模型

$$\textcircled{1} \quad x = \frac{2Q}{\sqrt{2\pi uw\sigma_z}}$$

$$\textcircled{2} \quad x = \frac{S}{uR_v} \sum \frac{Q}{w_v g p}$$

$$\textcircled{3} \quad \sigma_z = b\sigma_x x^p$$

7. Fortak Badgley 模型

$$\frac{x}{Q} = \frac{2}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2} - \frac{1}{2} \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)$$

8. Puff 模型 (New York Model, Chicago Model)

$$\frac{x'(x', y', z_0)}{Q(t)} = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_z(t) \sigma_y(t) \sigma_z(t)}$$

$$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-ut-x'}{\sigma_x(t)}\right)^2 + \left(\frac{y-vt-y'}{\sigma_y(t)}\right)^2 + \left(\frac{z-wt-z'}{\sigma_z(t)}\right)^2\right]\right\}$$

註：式中 t ：浮游時間 (sec)

σ_x ： x 方向之濃度標準偏差 (m)

σ_y ： y 方向之濃度標準偏差 (m)

σ_z ： z 方向之濃度標準偏差 (m)

u, v, w ：各為 x, y, z 方向之風速 (m/s)

x, y, z ：各為沿風下，垂直 x 軸方向之水平與
垂直距離 (m)。

x', y', z' ：為污染物質放出位置。

h ：煙囪有效高度 (m)

$T_{1/2}$ ：污染物半衰期

a, b, λ ：常數

R_v ：為 Bivane 風向計在垂直方向的變化範圍。

p ：大氣穩定指標（中立時為 1，不穩定時
大於 1）

w ：山谷寬度

Q ：污染量

L ：混合層高度

附錄 2 Turner 穩定度分類

近地穩定度主要由淨輻射量與風速來決定，若是不考慮雲的影響，輻射量與太陽高度 (Solar altitude) 有關，而太陽高度與季節，時刻有關，若有雲的存在，則雲的覆蓋及其厚度，減少了入輻射量與出輻射量。

Turner 用太陽高度估計日射，再用總雲量及雲幕高修正估計值，晚上估計輻射量應考慮雲的覆蓋。

這種穩定度分類非常客觀，而且能利用電子計算機來處理，穩定度分為 ①極不穩定 (Extremely unstable)，②不穩定 (Unstable)，③稍不穩定 (Slightly unstable)，④中立 (Neutral)，⑤稍穩定 (Slightly stable)，⑥穩定 (Stable)，⑦極端穩定 (Extremely stable)。

表 A-1 為穩定度與風速，淨輻射指數之關係，淨輻射指數由 4 (最大正淨輻射，向地方向)，到 -2 (最大負淨輻射量，離地方向)，不穩定級發生在較大正淨輻射及風速小時發生，大的負淨輻射及微風時產生穩定，若天空有雲，風速大則是中立狀態。淨輻射指數與風速的配合，來決定穩定度級，淨輻射指數之決定，可由下列步驟來決定：

1. 白天或晚上：若總雲量 $10/10$ ；雲底高小於 7,000 呎，淨輻射指數 = 0。

2. 夜間 (自日落至日出)

①總雲量 $\leq 4/10$ ，淨輻射指數 = -2。

②總雲量 $\geq 4/10$ ，淨輻射指數 = -1。

3. 白天

①由太陽高度決定日射指數。

②若總雲量 $\leq 5/10$ ，則日射指數對應成表 A-1
之淨輻射指數。

③若總雲量 $\geq 5/10$ ，則日射指數，以下列六種
步驟加以修正。

④雲底高 > 7000 呎減 2

⑤雲底高 > 7000 呎，但 < 16000 呎減 1

⑥總雲量 $10/10$ ，雲高 ≥ 7000 呎減 1

⑦若日射指數無經①，②，③步驟加以修正，
則假設修正後的指數 = 日射指數。

⑧若修正後的日射指數 < 1 ，令之 = 1。

⑨表 A-1，淨輻射指數為對應修正後的日射
指數。

在 Turner 之實用例，夜間不會出現顯著的穩
定狀態，所以穩定度指數 6、7 都以穩定指數 5 來處
理。但應用此種指數時，應檢討其適用性。

表 A-1 穩定指數推定表

風速	淨 輻 射 指 數						
	4	3	2	1	0	-1	-2
0-1	1	1	2	3	4	6	7
2-3	1	2	2	3	4	6	7
4-5	1	2	3	4	4	5	6
6	2	2	3	4	4	5	6
7	2	2	3	4	4	4	5
8-9	2	3	3	4	4	4	5
10	3	3	4	4	4	4	5
11	3	3	4	4	4	4	4
≥ 12	3	4	4	4	4	4	4

表 A-2 日射指數

太陽高度	日射	日射指數
$60^\circ < a$	強	4
$35^\circ < a \leq 60^\circ$	中強	3
$15^\circ < a \leq 35^\circ$	稍弱	2
$a \leq 15^\circ$	弱	1

附錄 3. Flow Chart

