

# 環境保護

## 台灣地區北中南空氣品質監測站屬性 及濃度變化之探究

陳淨修\* 張美玉\*\*

### 一、前　　言

台灣地區的空氣品質惡化和大多數城市一樣，與都會區的交通成長、人口增加及各項商業活動的快速成長有極為密切之關係。筆者曾指出台灣地區空污問題的特色為：

1. 各種污染源的單位面積排放量大，如工廠、交通工具、人口等密度，皆可名列世界排行榜。
2. 除了較大點源外，中小點源所造成之局部污染亦不可忽視。
3. 濃散性污染物對空氣污染的貢獻亦不小，尤其是營建工程、道路施工、及露天燃燒等對於懸浮微粒的增加有相當之比例。
4. 二行程機車持續成長，數量相當驚人。
5. 地方人力、素質、設備皆不足。
6. 業者、民眾守法觀念薄弱。
7. 都市計畫、土地利用分類功能未見發揮。

要改善上述狀況，除必須對症下藥，針對污染問題研擬全盤防制策略，尤其如何有計劃的抑制都會區車輛之增加。否則空氣品質改善程度趕不上空氣品質劣化程度。因此，今天都會區空氣污染問題面臨的是生活在都會區的人民，如何發揮團結合作精神，共同發展解決空氣污染與交通問題之方案。此外，未雨綢繆之觀念，必須加以重視，避免新興之都會區又步其後塵，因此，各都會區的交通規劃、土地利用必須因地制宜，考慮大氣涵容能力及影響範圍，規劃未來空氣品質。但不論是舊污染源的改善或新污染源之預防皆必須以空氣品質現況為改善或規劃之基礎。因空氣品質現況可反映民眾所呼吸之空氣品質及既有空氣污染防治政策（策略）及措施之執行成效，因此，環保署每年皆將過去歷年空氣品質監測資料統計分析彙編為空氣污染防治總檢討，作為空氣污染施政規

\*行政院環境保護署空保處技正

\*\*國立中央大學大氣物理所助理

劃評估之基礎。對台灣地區80年空氣品質資料與空氣品質標準之比較及防制策略之評估，筆者已略予分析，本文擬仍以80年空氣品質資料為基準，從環保署19個現有監測站，擇取北中南地區各一個代表站，分析一般、交通、工業等測站空氣品質濃度日、月變化之異同及其造成之可能原因，俾利於未來測站之設置及策略研擬之應用。

## 二、污染物濃度之累積頻率分布分析

空氣品質之良窳，無法單由空氣品質的長、短期平均濃度決定，必須視超出國家空氣品質標準幅度及污染物濃度頻率分布來決定其真正劣化程度，就如同總懸浮微粒平均濃度高者，並不表示其比總懸浮微粒濃度低者，對人體健康的影響來得大，必須由懸浮微粒成份與粒徑分布來加研判。為避免選擇太多測站而分散討論之焦點，故本文擇取北部的永和測站，中部的頭份測站及南部的鳳山測站，分別代表交通地區、工業地區及一般地區，以了解不同性質測站  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{O}_3$  及  $\text{CO}$  等四種污染物濃度分布之特性。分析結果列述如後：

### 1. $\text{SO}_2$ 小時平均濃度累積頻率分布

由圖1可知永和站80年全年  $\text{SO}_2$  小時平均濃度皆符合空氣品質標準(250PPb)，且有極大比例(98.58%)小於0.1ppm，顯示  $\text{SO}_2$  污染屬輕微。圖2則顯示頭份站有1.65%不符空氣品質標準且僅有79.79%小於0.1ppm，表示該站  $\text{SO}_2$  濃度值偏高，值得注意，其來源見下節分析。而由圖3可知鳳山站僅有極小比例0.02%不符空氣品質標準，小於0.1ppm亦佔極大比例(98.96%)，顯示該站  $\text{SO}_2$  品質尚可接受。

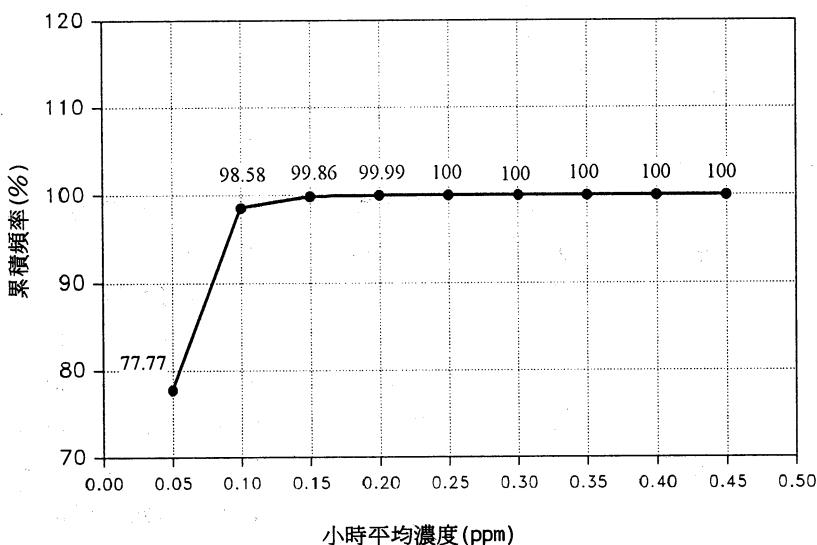


圖1 永和測站80年二氧化硫濃度累積頻率圖

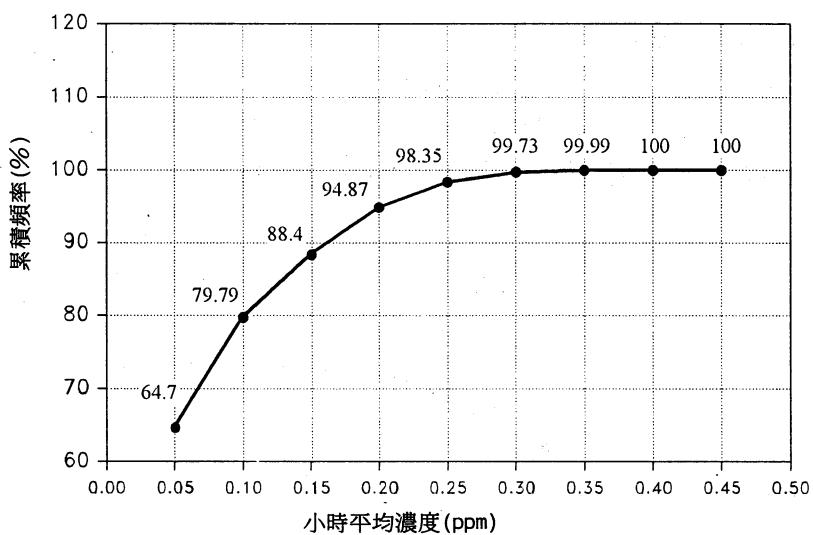


圖 2 頭份測站80年二氧化硫濃度累積頻率圖

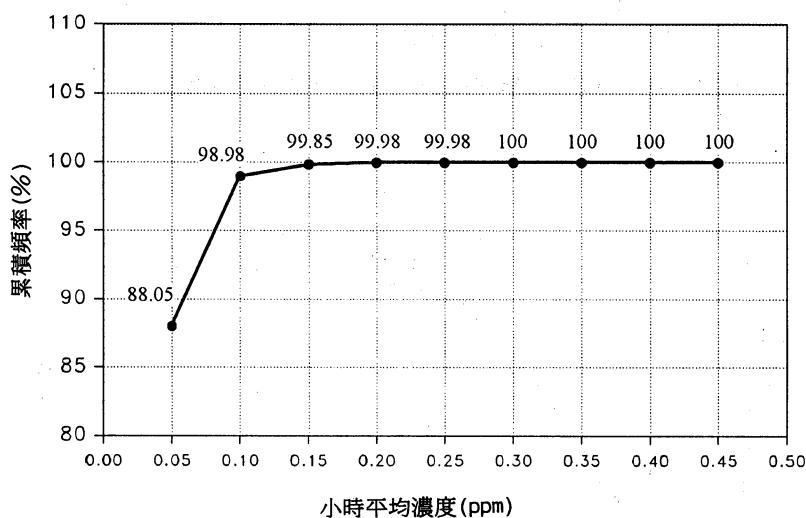


圖 3 凤山測站80年二氧化硫濃度累積頻率圖

## 2. $PM_{10}$ 日平均濃度累積頻率分布

圖4、5、6分別為永和、頭份、鳳山三站 $PM_{10}$ 日平均濃度累積頻率分布圖，由圖中可知永和站不符空氣品質標準佔15.38%，頭份站有30.03%超過空氣品質標準而鳳山站超標準者佔36.23%，顯示台灣地區 $PM_{10}$ 的普遍嚴重可見一般。

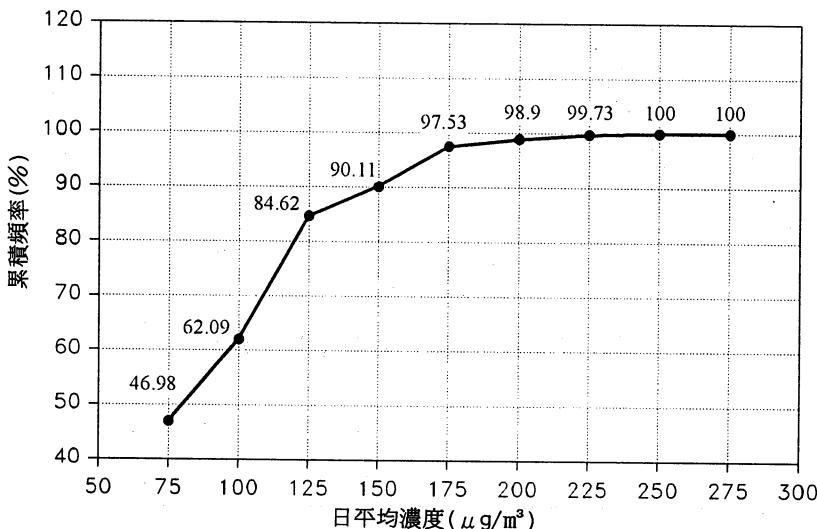


圖4 永和測站80年懸浮微粒( $PM_{10}$ )濃度累積頻率圖

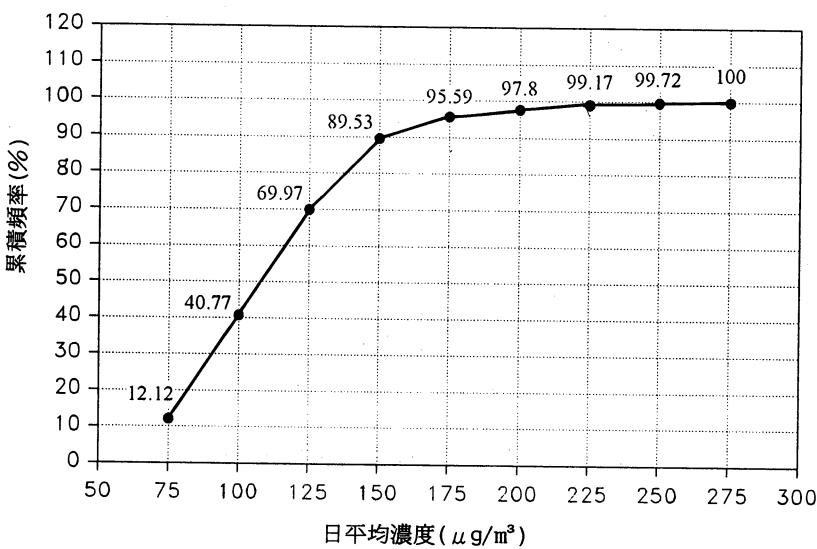
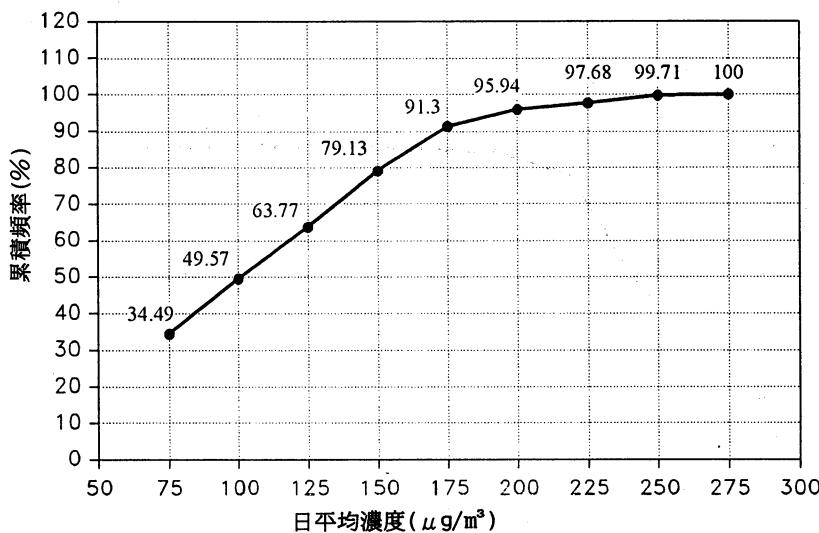


圖5 頭份測站80年懸浮微粒( $PM_{10}$ )濃度累積頻率圖

圖 6 凤山測站80年懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)濃度累積頻率圖

### 3. 臭氧小時平均濃度累積頻率分布

由圖 7、8、9，可知台灣地區的臭氧污染似不嚴重。永和站僅有0.06%不符臭氧小時平均濃度標準值(0.12ppm)，其餘二站皆完全符合空氣品質標準，且三站皆有極大比例小於0.06 ppm，此現象似與台灣都會區空氣污染嚴重之事實似有矛盾，其原因可能臭氧為二次污染物，必須經光化反應始能生成，而測站位置皆與污染源臨近，故臭氧污染不如預期嚴重。

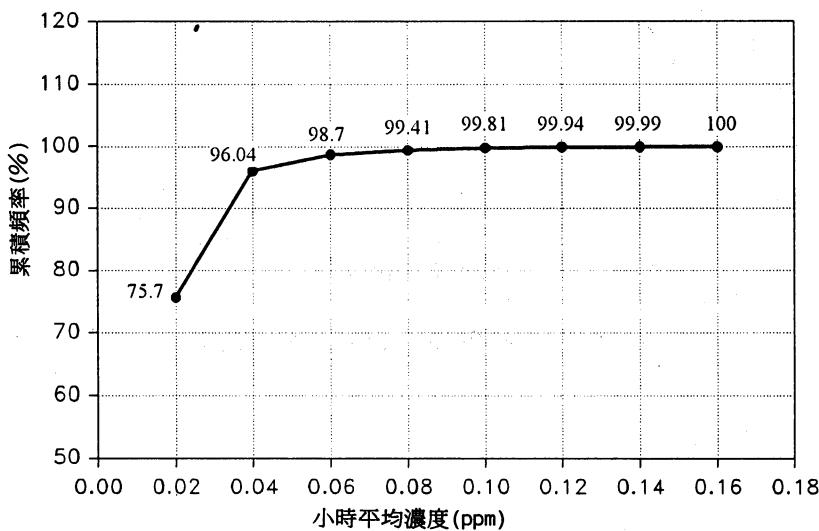


圖 7 永和測站80年臭氧濃度累積頻率圖

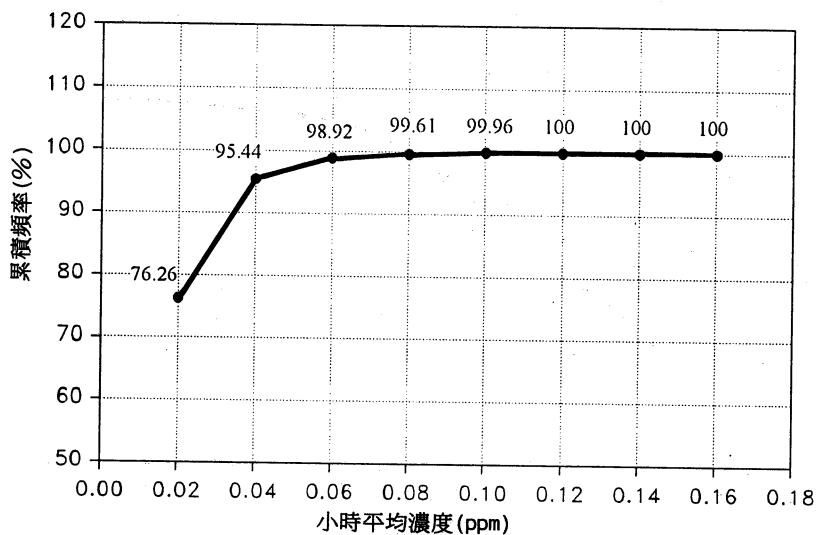


圖 8 頭份測站80年臭氧濃度累積頻率圖

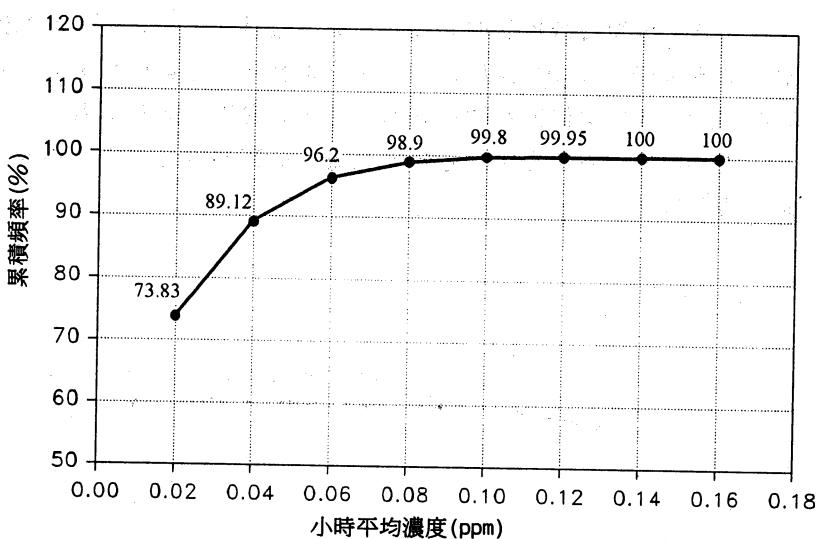


圖 9 凤山測站80年臭氧濃度累積頻率圖

#### 4. CO小時平均濃度累積頻率分布

由圖10、11、12，三站之CO小時平均濃度累積頻率分布，可知三站CO小時平均濃度皆符合標準，除永和站外，其餘二站皆有極大比例小於5ppm，顯示CO短期污染尚不致構成問題。

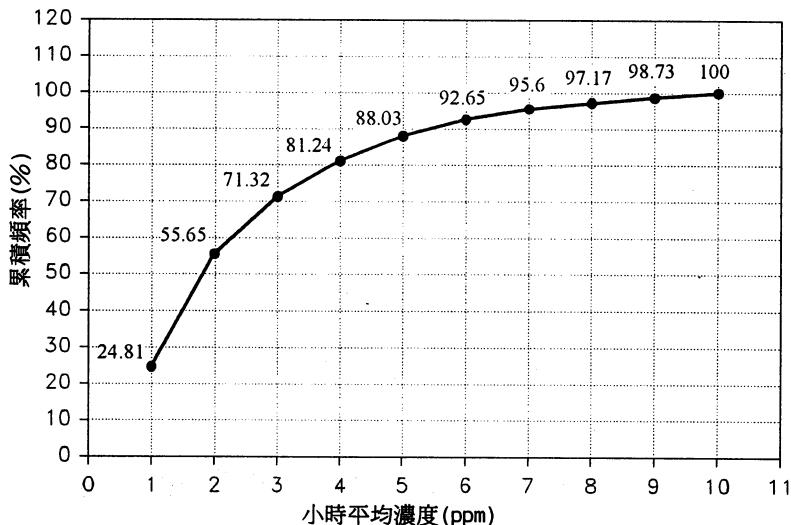


圖10 永和測站80年一氧化碳濃度累積頻率圖

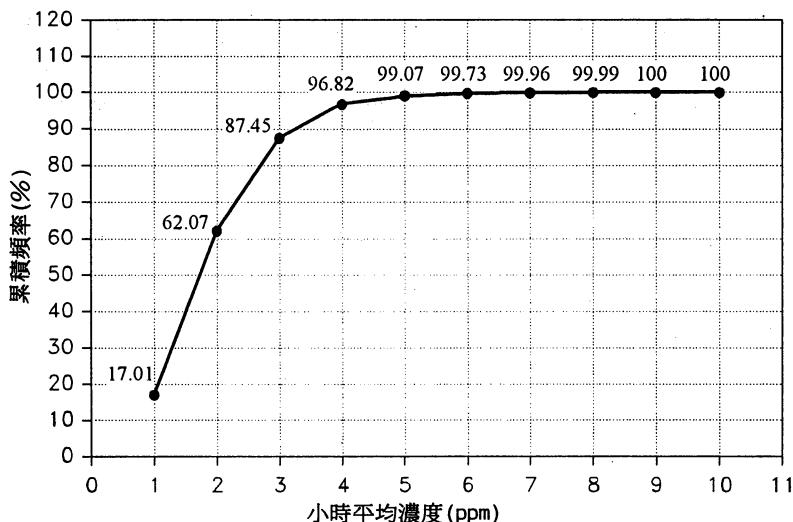


圖11 凤山測站80年一氧化碳濃度累積頻率圖

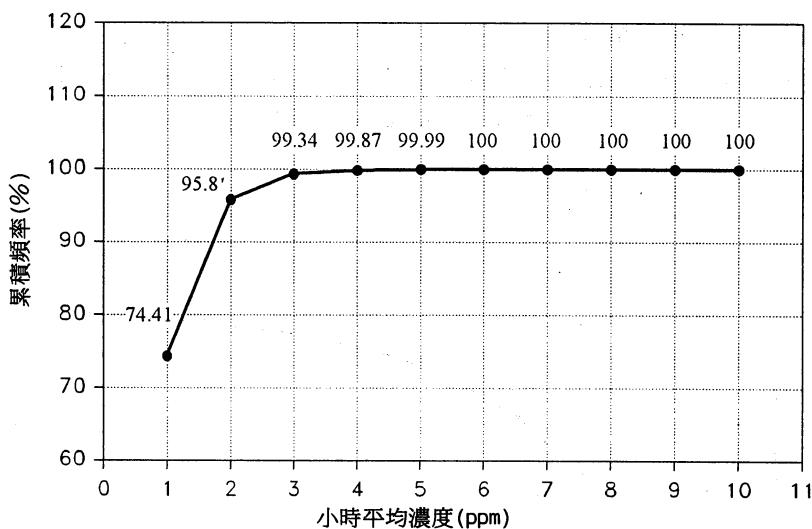


圖12 頭份測站80年一氧化碳濃度累積頻率圖

### 三、污染物月逐時平均濃度變化之分析

台灣地區冬夏兩季分受不同氣團空氣、風向、風速等氣象條件明顯不同，尤其各區不同之地形、污染源分佈的不同更使各區污染物濃度呈現季(月)變化之特性，再加上污染源排放時間及污染物形成機制(條件)的不同而使濃度分佈呈現日(夜)變化。掌握這些變化資訊，對於污染現象原因之分析、解釋及防制策略之研擬，相當具重要性。是以，本節即各站80年監測資料，計算月平均之逐時濃度，分析各污染物濃度分佈之月及日變化，結果列述如後：

#### 1. 永和站

圖13、14、15、16分別為永和站  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、CO、 $\text{O}_3$ 之每月逐時平均濃度變化，從圖中可知：

- (1)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、CO等三項污染物於上午9時及下午7時皆有一尖峰濃度，以前者的尖峰最為明顯，呈現明顯的日變化，顯示 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、CO等明顯來自交通工具的排放。
- (2) 從 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、CO的逐月濃度分佈，可發現其分佈型態亦相當類似，大致以春、夏兩季為永和站高污染期而以秋、冬兩季為低污染期，尤以春季4月早上9時之空氣品質最差。
- (3) 臭氧小時平均濃度最大值各月皆發生於中午12時左右，而以夏季、尤其7月中旬12時的48.47ppb為最高，顯示永和站臭氧高濃度易發生於7月的中午時分。

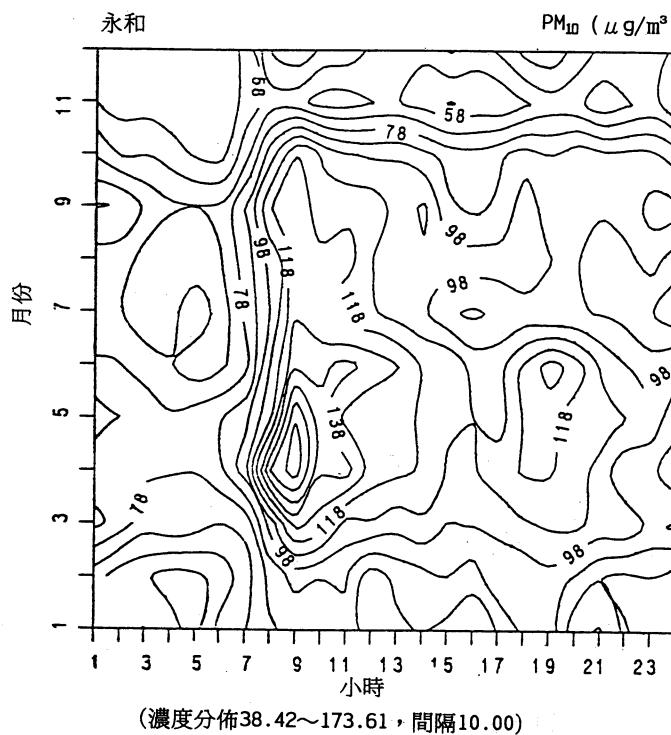


圖13 永和站PM<sub>10</sub>各月逐時平均濃度分佈

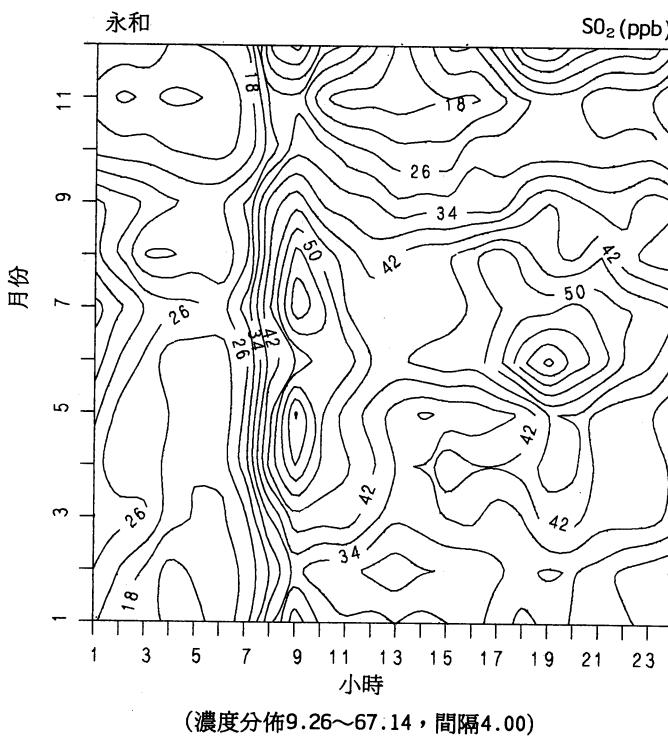


圖14 永和站SO<sub>2</sub>各月逐時平均濃度分佈

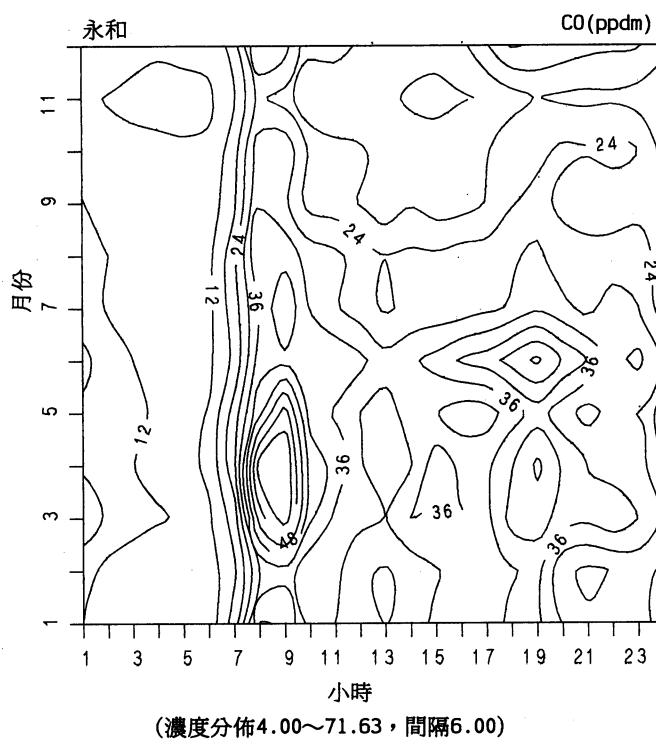


圖15 永和站CO各月逐時平均濃度分佈

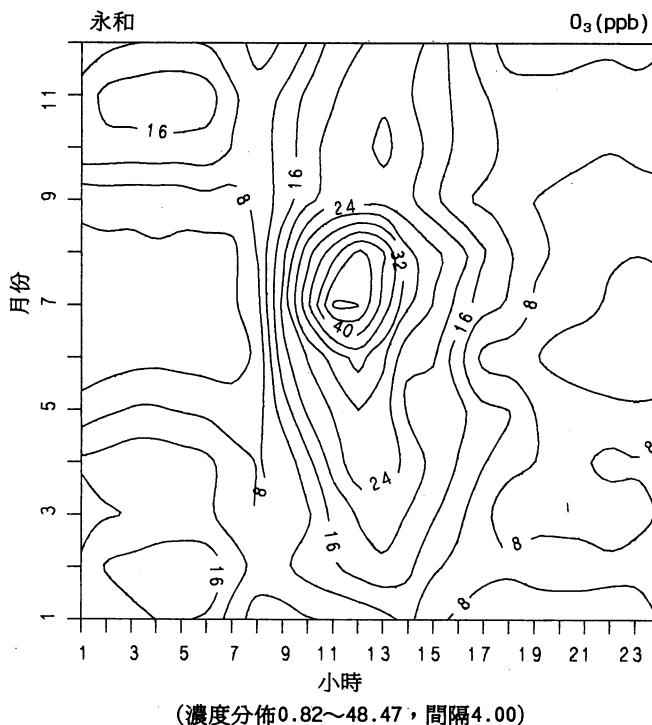


圖16 永和站O<sub>3</sub>各月逐時平均濃度分佈

## 2. 頭份站

同理，從圖17、18、19、20各污染物每月逐時平均濃度變化可知：

- (1)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  濃度變化並沒有於上、下班之際出現最高值，顯示  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  之污染來源非源於交通工具，而與該站上風區之工業污染有關。另從CO之濃度變化可知其與交通工具污染排放有關。
- (2)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  月平均逐時濃度分佈明顯呈月變化，其中以秋末至春末期間，尤其11月的濃度為最高而以夏季7月為最低，前者  $\text{SO}_2$  最高濃度值甚且為永和站最高值之2.3倍，顯示該站  $\text{SO}_2$  來源為位居北方之工業區，與永和站的交通特性屬性完全不同。
- (3) 各月臭氧小時平均濃度最大值，皆發生於下午1時左右，以8月下午1時的39.60ppb為最高。

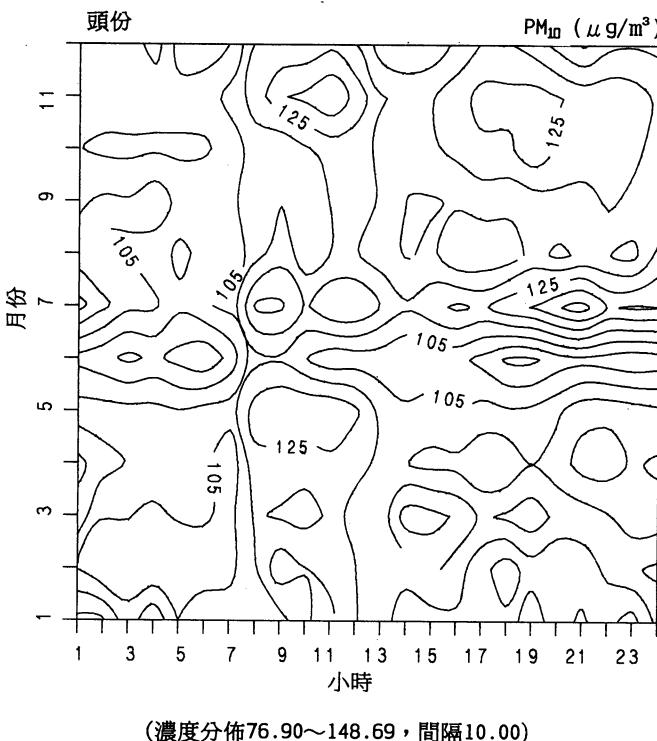


圖17 頭份站  $\text{PM}_{10}$  各月逐時平均濃度分佈

## 3. 凤山站

從圖21、22、23、24的分佈可知：

- (1)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  逐時濃度月變化不明顯，上午10時似有尖峰值，而CO濃度則於上、下班之際皆有尖峰值出現，顯示  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  之來源包括固定污染源及移動污染源，呈現一般地區特性。

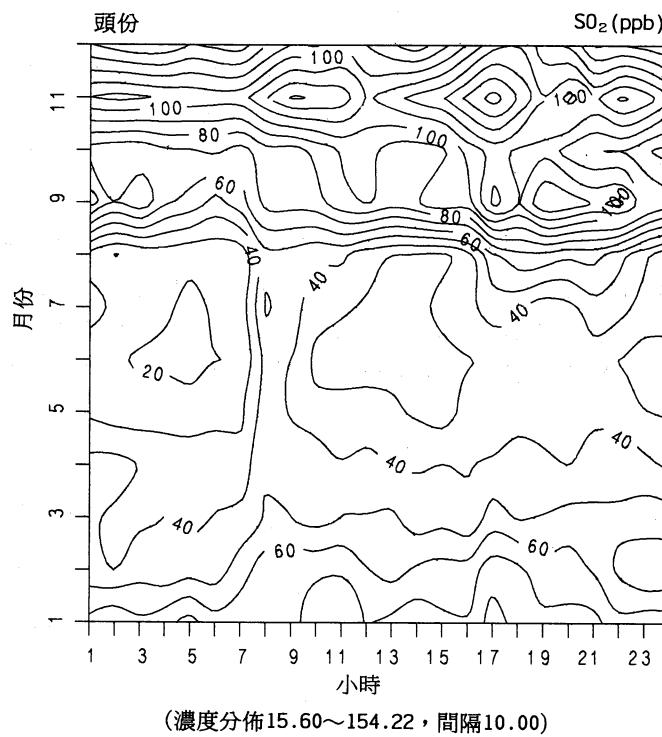


圖18 頭份站SO<sub>2</sub>各月逐時平均濃度分佈

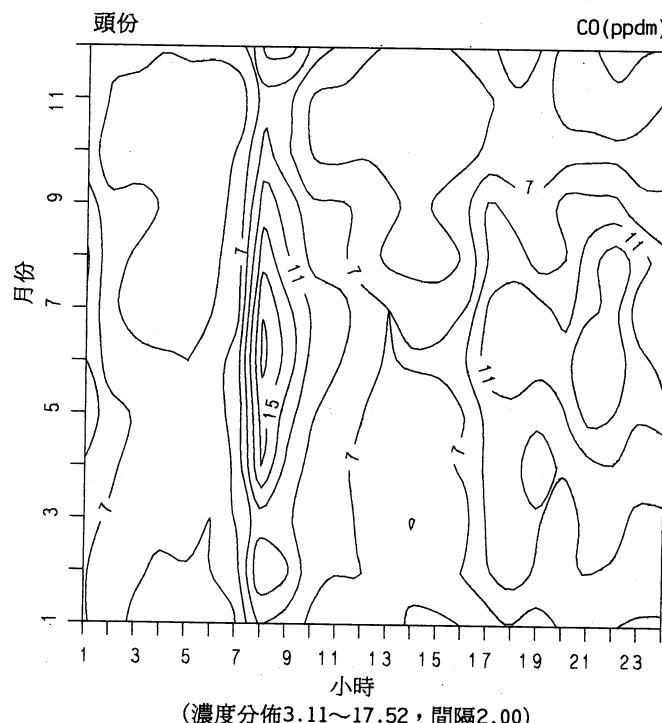


圖19 頭份站CO各月逐時平均濃度分佈

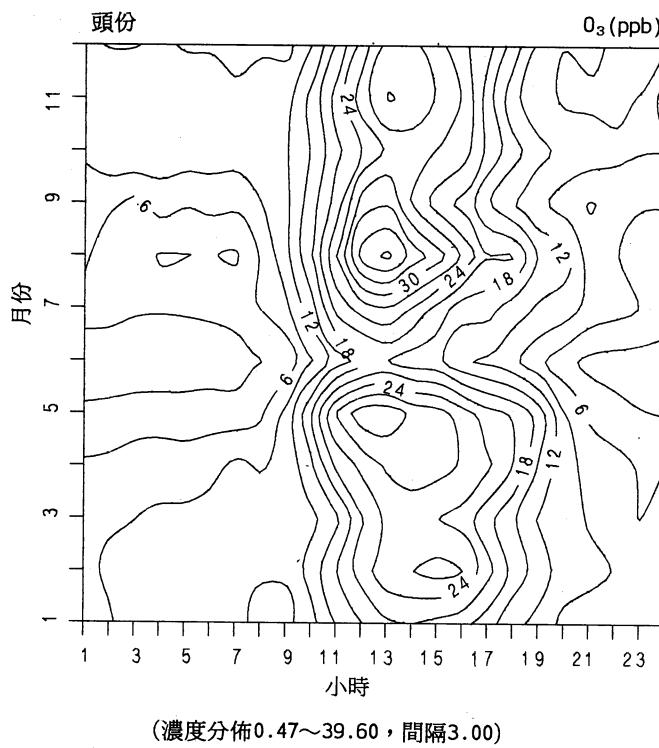


圖20 頭份站  $O_3$  各月逐時平均濃度分佈

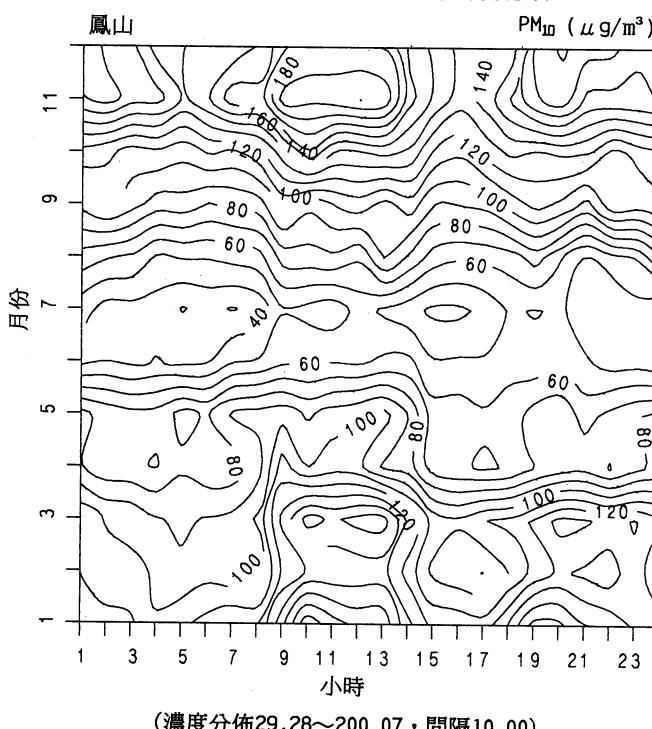


圖21 凤山站  $PM_{10}$  各月逐時平均濃度分佈

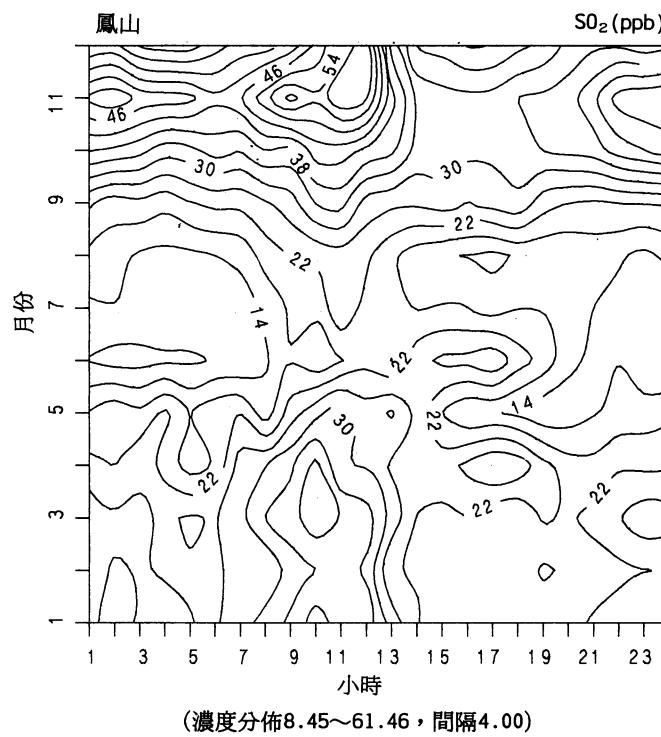


圖22 鳳山站 $\text{SO}_2$ 各月逐時平均濃度分佈

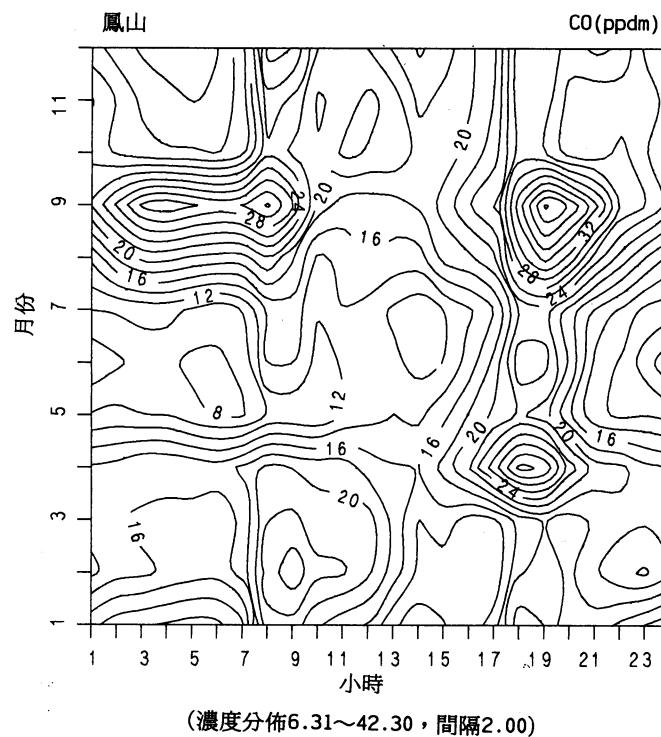
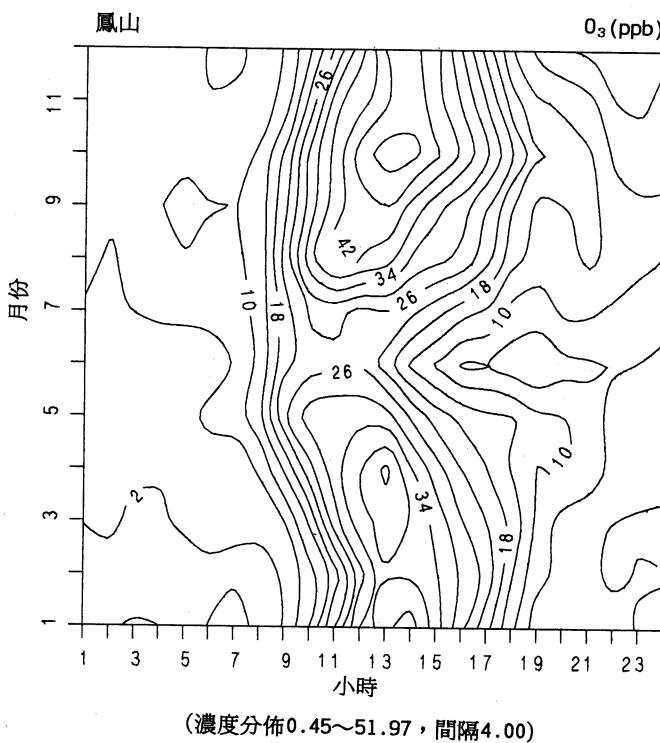


圖23 鳳山站 $\text{CO}$ 各月逐時平均濃度分佈

圖24 凤山站 $O_3$ 各月逐時平均濃度分佈

- (2)  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  月平均逐時濃度有明顯的月變化，尤以冬季各月平均之逐時濃度皆較其他月份偏高，而以夏季之濃度偏低，以  $PM_{10}$  為例，濃度最高值發生於 1 月的上午 10 時，高達  $200.07 \mu g/m^3$ ，顯示高雄地區冬季  $PM_{10}$  污染，值得注意。
- (3) 臭氧濃度分布以春、秋兩季為最高，一日當中以下午 1 時的濃度最高，與台北縣永和站臭氧濃度最高值發生於 7 月明顯不同，顯示臭氧的形成除與太陽輻射有關，亦與污染物之輸送有關。

#### 四、各站 $NO/NO_2$ 比值特性之分析

在大氣中臭氧生成化學機制包括無機性反應及有機性反應，亦即藉由  $NO_x$ 、 $HC$  在適當的氣象條件下，逐而形成臭氧，因此，臭氧濃度與  $NO_x$  及  $NMHC$  濃度間呈現非線性關係。所謂非線性關係意指減少二次污染物例如臭氧的產生並不似一次污染物例如  $CO$ ，其源體與受體 (Receptor) 之關係為線性關係，而與  $NMHC$ 、 $NO_x$  之濃度比例有關。另外  $NO_2$ 、 $NO$  之比例關係對於  $NO_x$ 、 $NO_2$  之濃度換算及臭氧濃度高低皆有舉足輕重之影響。本節仍以 80 年監測資料，分析永和、頭份、鳳山等三站之  $NO/NO_2$  之值及  $NMHC/NO_x$  之值（僅有永和站測有  $NMHC$  濃度）（參圖 25~28），結果條列於後：

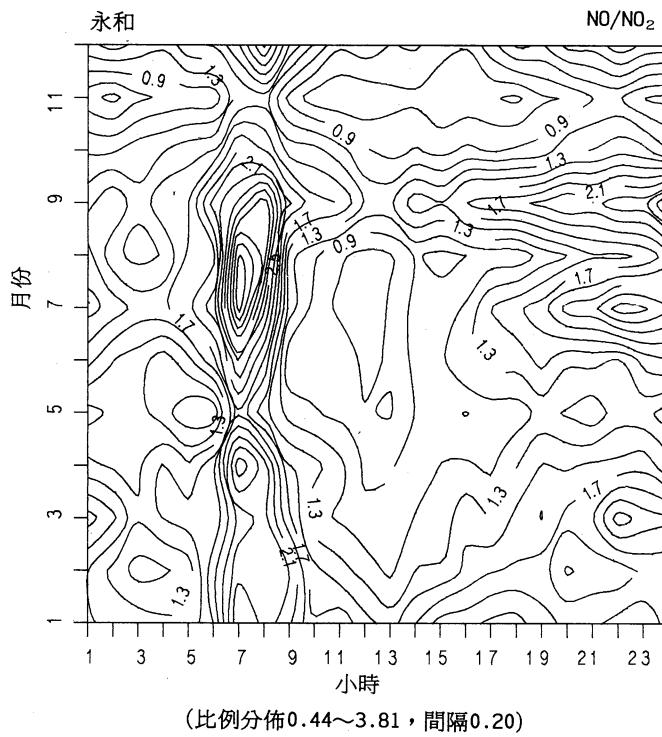


圖25 永和站NO/ $\text{NO}_2$ 各月逐時平均濃度分佈

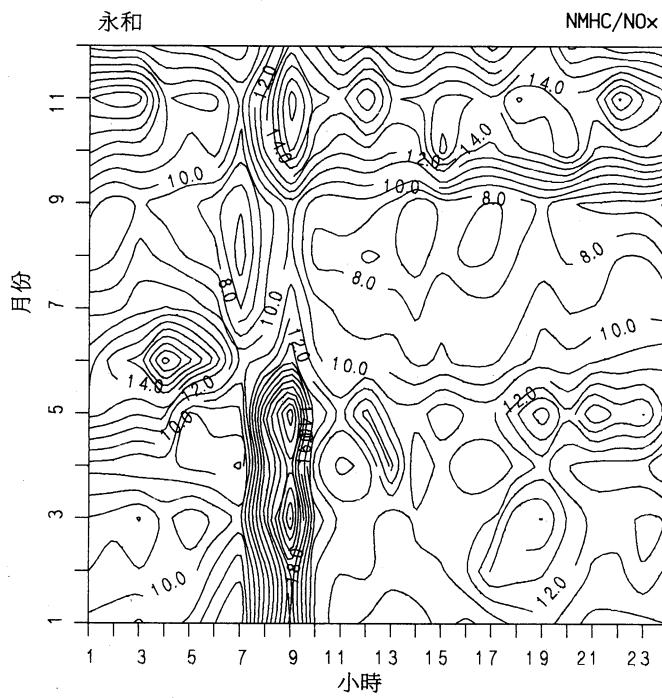
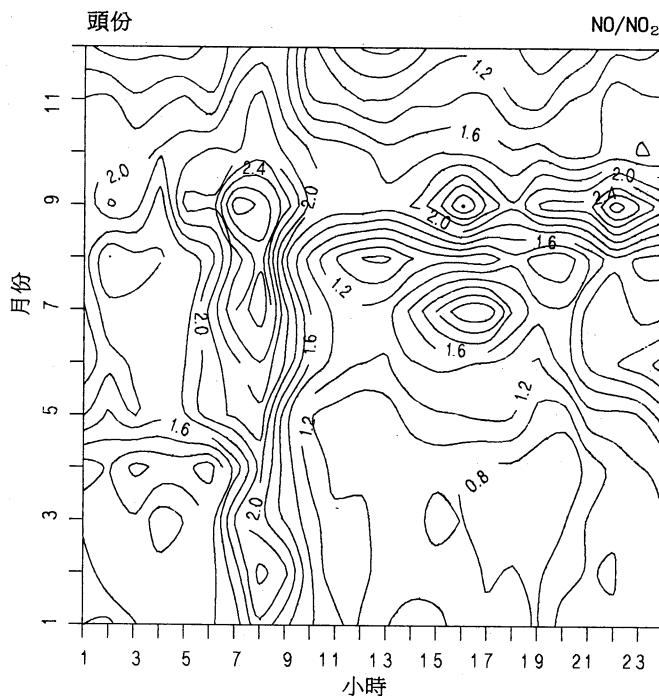
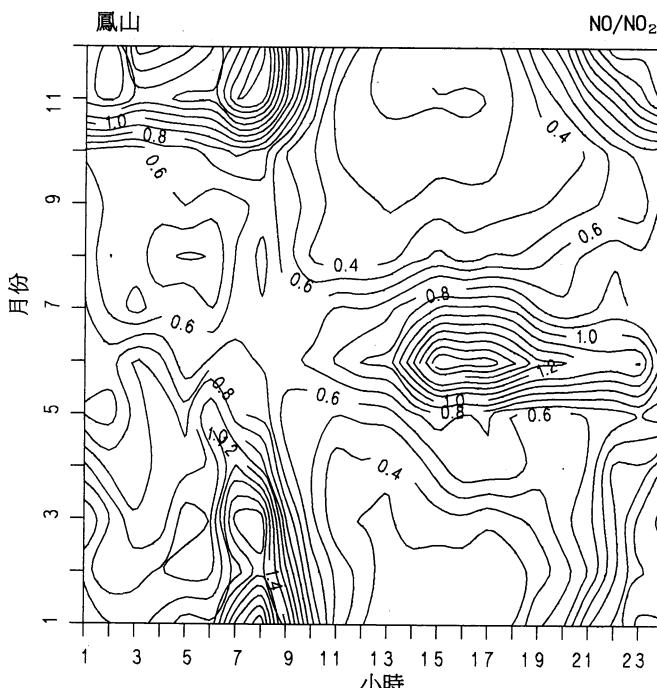


圖26 永和站NMHC/ $\text{NO}_x$ 各月逐時平均濃度分佈



(比例分佈0.66~3.35，間隔0.20)

圖27 頭份站 $\text{NO}/\text{NO}_2$ 各月逐時平均濃度分佈



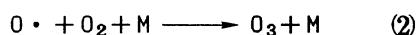
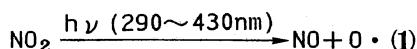
(比例分佈0.17~2.08，間隔0.10)

圖28 凤山站 $\text{NO}/\text{NO}_2$ 各月逐時平均濃度分佈

1. 永和站各月份NO小時平均濃度與NO<sub>2</sub> 濃度之比，於上午 7時左右達最高值，最大可達3.81，顯示NO的來源與汽機車排放有關，而隨著時間的變化，NO逐漸反應成NO<sub>2</sub> 而使NO/NO<sub>2</sub> 比值從10時後至14時左右，皆小於1，14時後NO<sub>2</sub> 濃度逐漸減少及NO濃度增加而使NO與NO<sub>2</sub> 比值約介於1.3~2.1之間，為交通站典型特徵之一。NMHC小時平均濃度與NO<sub>x</sub>濃度之比值日變化分佈與NO濃度及NO<sub>2</sub> 濃度比值分佈類似，皆以早上 7時至10時為一日中最高值，約介於10至23之間，其值較一般都會區高，顯示NMHC濃度偏高，值得注意。
2. 頭份站的NO濃度與NO<sub>x</sub>濃度之比值，仍以上午 7時至10小時為最高，比值約介於1.2~3.4之間，中午後，比值略見減少，但NO與NO<sub>2</sub> 濃度之比值仍大都較1為大，顯示NO濃度偏高，似不只來自交通工具。
3. 凤山站NO小時平均濃度與NO<sub>2</sub> 小時平均濃度之比值，可知該值之日變化與前面站相同，上午7時至9時為其最高值，之後，由於NO氧化為NO<sub>2</sub>，致NO<sub>2</sub> 濃度增加，而於下午3時達最低值，然而在夏季尤其是 7月，NO與NO<sub>2</sub> 濃度比值最大值卻發生於下午，其原因頗耐人尋味。

## 五、永和、頭份、鳳山三站臭氧形成機制之探討

在臭氧形成的無機反應過程中，首先是NO<sub>2</sub> 吸收陽光的紫外線，吸收的能量使NO<sub>2</sub> 產生NO及活性很高的氧原子，氧原子與O<sub>2</sub> 反應產生臭氧，而所產生之臭氧亦可與NO發生逆向反應，產生NO<sub>2</sub> 及O<sub>2</sub>，而使臭氧消失。以化學反應式可表示如下：



式中M代表N<sub>2</sub>或O<sub>2</sub>或其他分子

由以上三式可得：

$$d[NO_2]/dt = -K_1[NO_2] + K_3[O][NO]$$

$$d[O_3]/dt = K_1[NO_2] - K_2[O][O_2]$$

$$[O_3] = K_1/K_2[NO_2]/[NO]$$

此處K<sub>1</sub>/K<sub>3</sub>，從大氣中的實測資料顯示其不大於10~20ppb，因此，欲達到污染大氣中所觀測之濃度（大於100 ppb），則NO<sub>2</sub> 與NO濃度之比例必須於10以上。但在都市大氣中這種靜態平衡（無機反應）無法達成，乃因碳氫化合物及其衍生之中間體，將會與O<sub>3</sub> 競爭氧原子而擾亂了基本之NO<sub>2</sub> 光化循環，同時產生許多烴化物之自由基，而自由基將與臭氧爭取NO，且其與NO之反應速率較NO與O<sub>3</sub>之反應速率快，因此NO濃度將會減少而有利臭氧的產生。圖29所示為一般都市中典型光化氧化物濃度之日變化，日出後由於交通工具的增加，HC、NO的濃度逐漸增加，而相互反應，至 7點時，NO濃度開始減少而NO<sub>2</sub>濃

度開始增加，在8點時，濃度達最高值，隨著 $\text{NO}_2$ 濃度的增加，臭氧逐漸形成而於近中午時，臭氧濃度達最高值，午後氧化物的形成開始減少（因為 $\text{NO}_2$ 濃度的逐漸減少），至黃昏時完全停止。

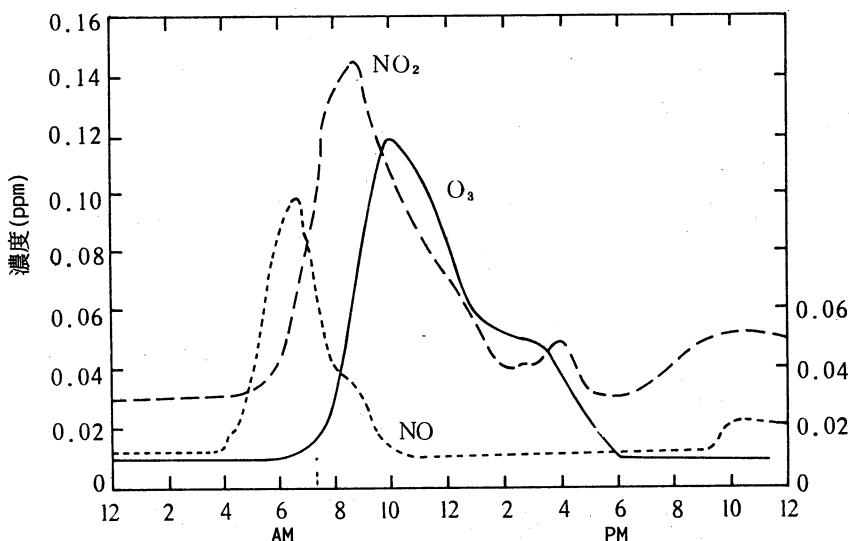


圖29 都會區中光化氧化物濃度之日變化

為了解永和、頭份、鳳山三站之 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ ，排放對 $\text{O}_3$ 形成的關連性，吾人分別計算三站冬（以1月代表）、夏（以7月為代表）兩季臭氧逐時平均濃度日變化，結果示如圖30~35，並分析條列如下：

## 1. 冬季

永和站的 $\text{NO}$ 濃度於早上7時達到最大值，而 $\text{NO}_2$ 濃度則自早上5時即開始增加，直至中午時分達最高值，8時起隨著 $\text{NO}_2$ 與 $\text{NO}$ 濃度比值的增加，臭氧濃度漸次增加，至下午2時達最大值，此種現象臭氧形成之光化理論亦可為原因之一，但夜晚（凌晨4時）出現之臭氧濃度尖峰值，其形成原因尤耐人尋味。

頭份站的 $\text{NO}$ 濃度最大值發生於早上8時， $\text{NO}_2$ 濃度則於早上9時出現最大值，此時臭氧濃度亦開始產生，而於14時，濃度達最大值，由於 $\text{NO}$ 濃度的偏高，致臭氧形成雖符合光化理論說，惟 $\text{NO}_2$ 與 $\text{NO}$ 濃度比值的過小，致臭氧濃度不高。

鳳山站，其 $\text{NO}$ 濃度最大值發生於早上8時，而 $\text{NO}_2$ 濃度隨即由 $\text{NO}$ 轉換，致 $\text{NO}_2$ 濃度於11時達最大值，而臭氧於8時起，因 $\text{NO}_2$ 與 $\text{NO}$ 濃度比值的增加而增加，至14時，達最大值，其整個污染物日變化過程皆符合臭氧形成的光化理論說。

## 2. 夏季

永和站的 $\text{NO}$ 濃度於7時達到最大值，繼之 $\text{NO}_2$ 於10時達最大值，但從8時起 $\text{NO}_2$ 與 $\text{NO}$ 濃度比值逐漸增加，臭氧開始產生，於11~12時達最大值，其後隨 $\text{NO}_2$ 與 $\text{NO}$ 濃度的比值減少，臭氧逐漸消失，整個日變化尚符合光化學反應，惟 $\text{NO}$ 濃度偏高。

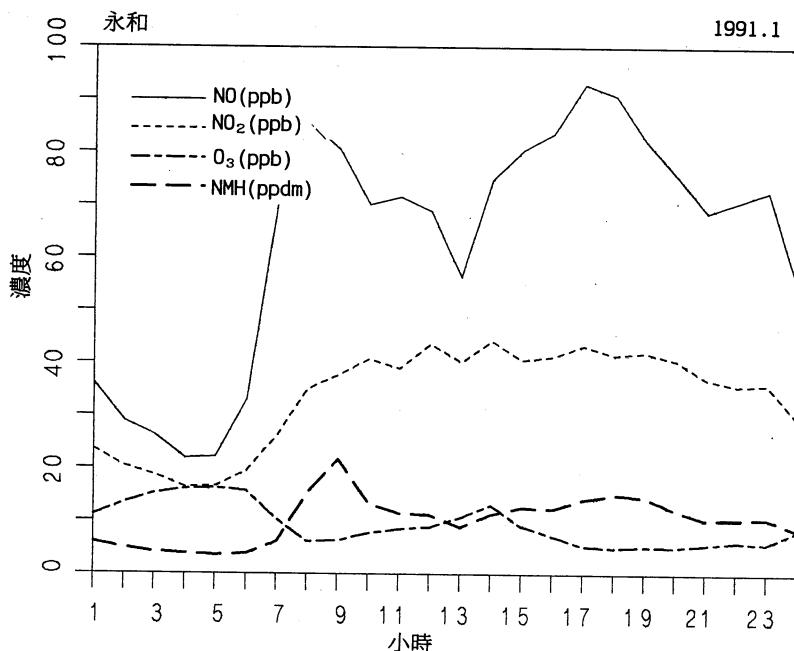


圖30 永和站1月污染物逐時平均濃度日變化

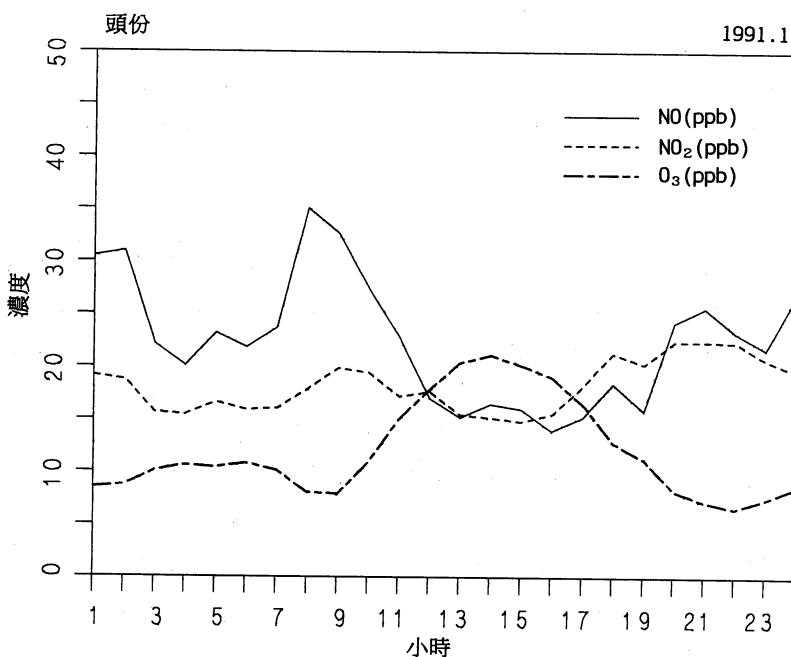


圖31 頭份站1月污染物逐時平均濃度日變化

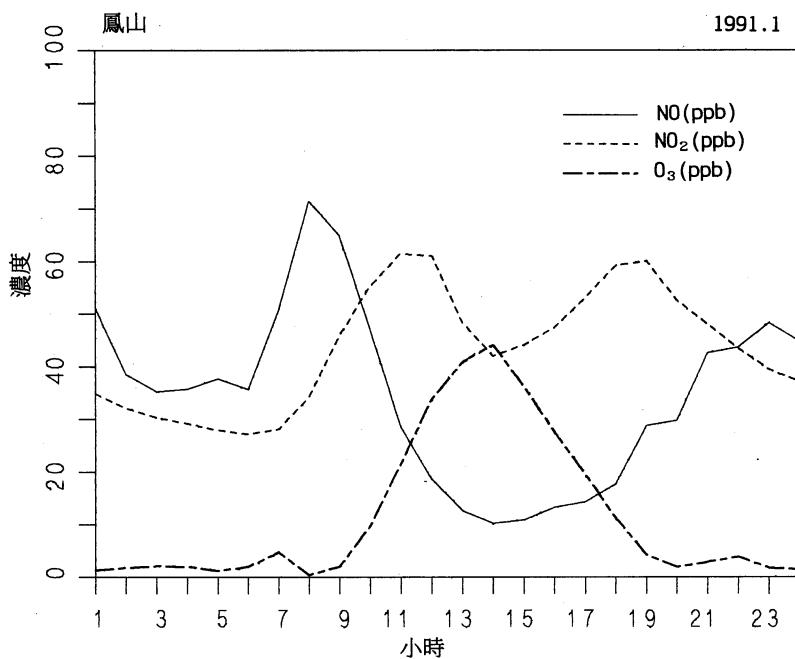


圖32 凤山站1月污染物逐時平均濃度日變化

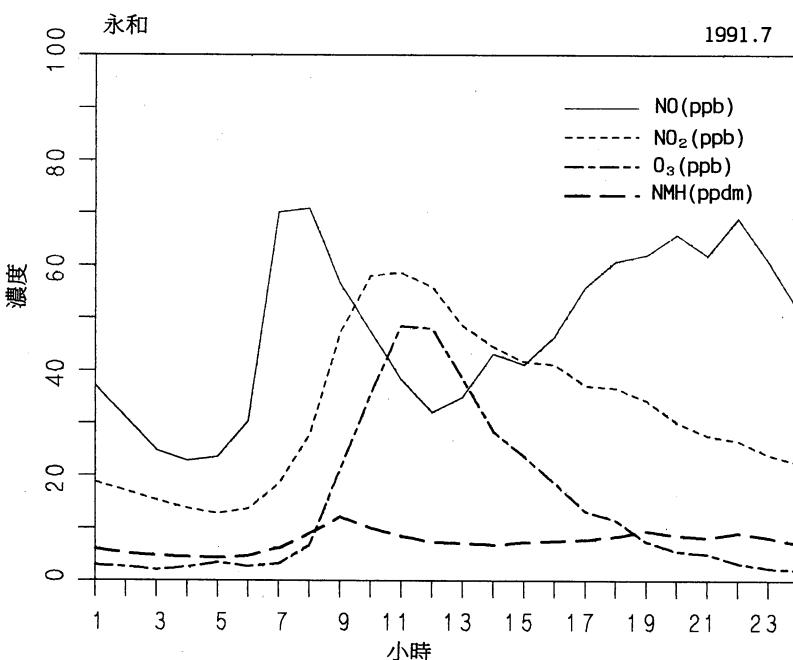


圖33 永和站7月污染物逐時平均濃度日變化

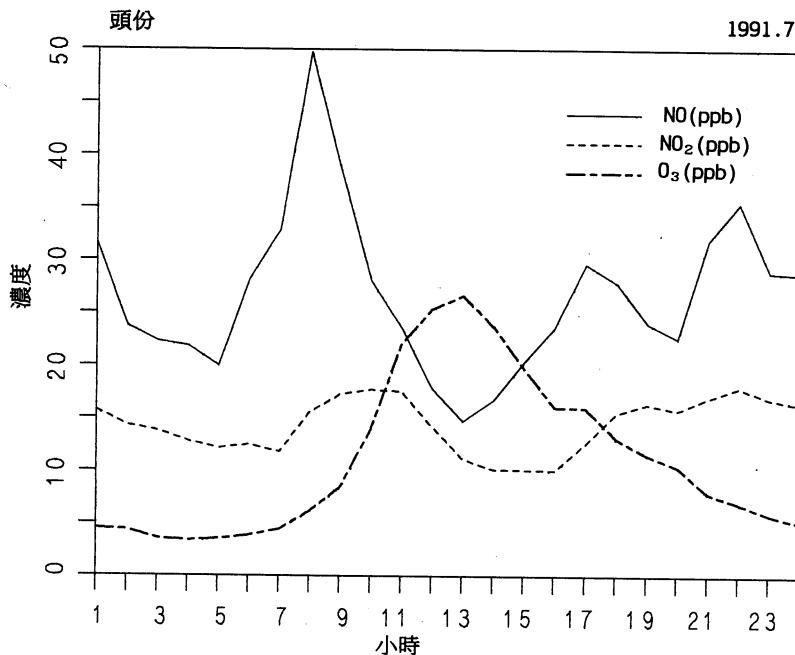


圖34 頭份站 7月污染物逐時平均濃度日變化

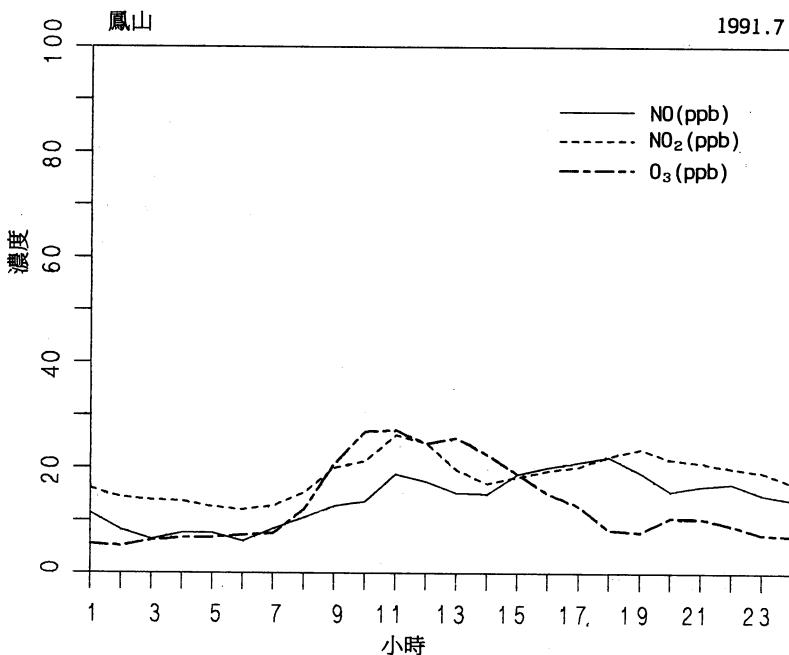


圖35 凤山站 7月污染物逐時平均濃度日變化

頭份站的NO濃度於8時達最大值，繼之， $\text{NO}_2$  濃度於10時達最高值，於8時起 $\text{NO}_2$  濃度逐漸增加，而NO濃度劇減，此時臭氧濃度已漸次增加，至13時，達最大值，其後臭氧濃度的變化趨勢與永和站類似，其NO、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 之濃度日變化亦尚符合光化學反應，惟由於其全日NO濃度相對於 $\text{NO}_2$  濃度高，由其比例可知臭氧的形成，有機反應亦佔有相當程度的重要性。

鳳山站，由NO、 $\text{NO}_2$ 、及 $\text{O}_3$  濃度之日變化趨勢來看，該站 $\text{NO}_2$  及 $\text{O}_3$  的產生皆無法由光化理論解釋，臭氧濃度最大值出現於早上10時較 $\text{NO}_2$ 、NO濃度出現最大值的時間11時早。且 $\text{NO}_2$  濃度全日皆高於NO濃度，其原因值得探討。

從上述的討論，可知台灣地區臭氧的形成，雖部份亦能以臭氧的無機光化理論解釋，但顯然由NO濃度的偏高及 $\text{NO}_2$  與NO濃度的比值的過小（永和、頭份及鳳山三站分別為0.6~1.6、0.5~1.4、0.5~1.0），可證明臭氧的另一形成機制－無機反應仍有相當程度的重要性，值得注意。

## 六、結語

台灣地區空氣品質監測站，除環保署的19個測站外，另有地方環保局所設自動及人工測站，台電、中油等公營事業設置之監測站及環境評估所設置之監測站，又未來環保署又將19站擴充為66個測站，預計今年可以上線，可見台灣地區空氣品質測站，其密度不小。惟對於各單位監測資料之分析、應用尚乏深入，以致僅見於空氣品質現況之了解而未能進入現象的解析，甚而策略防制之研擬，實值吾人加強改進。

本文計算污染物之累積頻率分佈可以發現鳳山、頭份、永和三站之污染特性。分析三站之各月逐時平均之污染物濃度變化可研判污染物之來源及天氣（氣象條件）對各站空氣品質之影響，例如頭份站的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 的濃度與其東北向的污染源有關。與永和站 $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 來自交通工具迥然不同，對於平時污染防治及短期應變措施減量方案的決定，具有極大的影響力。又藉由NO、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 之濃度日變化，可研判台灣地區臭氧形成為 $\text{NO}_2$ ，及HC之複合作用，亦即臭氧的形成可能以有機反應為主而以無機反應為輔。

本文僅係拋磚引玉，期盼大家集思廣義，讓資料能加以活用成為有效資訊而利於決策制定。

## 七、參考文獻

- 陳淨修，台灣地區硫酸鹽、硝酸鹽之現況分析，工業污染防治，第十卷第二期，p11~26，民國81年。
- 陳淨修，台灣地區空氣品質現況之防制策略之研究，工業污染防治，第十二卷第一期，p1~9，民國82年。
- 陳淨修，臭氧的生成機制及控制及控制策略之探討，工業污染防治，第九卷第一期，p87~105，民國79年。