

# 台灣地區硫酸鹽、硝酸鹽之現況分佈與分析

陳淨修\*

## 一、前言

往昔，世界各國為解決其境內空氣污染問題，皆訂有類似空氣污染防治法、環境空氣品質標準、空氣污染物排放標準等相關法規；其立法精神乃用以解決局部空氣污染問題，所制定之防制計畫如改進燃燒效率、加高煙囗高度等，其目標皆以符合排放標準、空氣品質標準為條件，確能降低污染附近之地面濃度，但卻也造成污染物長程輸送問題的產生。更由於質量不減定律及大氣涵容能力有限，即使所有的煙囗皆符合排放標準，排放至大氣中的污染物總量仍不斷增加，即使所有地區皆符合空氣品質標準，仍可能有其他型式之空氣污染，二次污染物即為一明顯例子。所謂二次污染物即為原發性污染物排放後，經大氣作用產生化學反應轉化而成，其中以臭氣、 $PM_{10}$ 、硫酸鹽、硝酸鹽等，最為大眾所關切，因該等物質對植物、人體健康之傷害，尤甚於原發性污染物且其擴散影響的範圍亦較為廣泛。因此，各國（尤其先進國）除全力降低原發性污染物外，對於二次污染物的產生及影響亦不敢掉以輕心，臭氧問題更是全美國空氣污染防治人員的“最恨”，全美約有 2/3 比例的地區超過臭氧標準，尤其是洛杉磯地區最為嚴重，如何降低臭氧濃度為該區主管當局努力之重點。而台灣地區在各項經濟活動的快速成長下，大多數地區的  $PM_{10}$  皆不符合台灣地區空氣品質標準，而為我國空污問題的一項特色，所謂  $PM_{10}$  係指粒徑小於  $10 \mu m$  之懸浮微粒，此類懸浮微粒種類繁多，包羅萬象，尤其粒徑大小及化學特性差異甚大，視發生源及氣象條件不同而異，對人體健康的影響程度亦有不同，因此，台灣地區懸浮微粒 ( $PM_{10}$ ) 防制的重要性可見一斑。本文擬對氣懸膠（含懸浮微粒）的形成及台灣地區硫酸鹽、硝酸鹽（懸浮  $PM_{10}$  之主要成份）之現況分佈加以評估，俾利空污防制政策之制定。

## 二、氣懸膠 (Aerosol) 的特性及影響

空氣污染物質可分為粒狀物質與氣體物質，粒狀物質除固體形之浮游塵外，尚有從

\*環保署空保處技正

蒸氣凝結所成之霧或液滴，這些浮游於大氣中之固態及液態粒子物質皆一併稱為氣懸膠體 (aerosol)。其主要來源為工業生產及燃燒過程，尤其是水泥廠及煉鋼廠，以及不可抗拒的自然力量所產生，如風沙、海浪之鹽粒等。

一般言之，氣懸膠粒徑之大小，直徑約介於 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 至 $100\text{ }\mu\text{m}$ 間，愈大者，降落速度愈快，不能長期懸浮於空氣中，粒徑小於 $1\text{ }\mu\text{m}$ 者，沉降速度微小，甚至可忽略不計，且隨風吹送，因此，滯留於空氣中之粒子，大部份粒徑皆在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下者，其中以 $0.3\sim 0.6\text{ }\mu\text{m}$ 之粒子最易散射光線及影響能見度。氣懸膠之粒徑大小及化學組成，隨發生源及氣象條件的不同而差異甚大，可分為兩個範圍，粗微粒 (coarse particles)，直徑大於 $2\text{ }\mu\text{m}$ 者，以及細微粒 (fine particles)，直徑小於 $2\text{ }\mu\text{m}$ 者。城市上空，大陸上及海洋上之空氣中氣懸膠粒徑分佈及濃度皆不同，其中以前者粒徑最小，濃度較高。

大氣中，微粒的生長與化學變化，是經由氣體－微粒間以及微粒－微粒間之交互作用而產生，前者包括了低蒸氣壓分子的凝結，如硫酸及有機化合物；這種凝結主要發生於細微粒群，而後者亦為細微粒間的凝結作用。細微粒的主要組成分子，包括硫酸鹽、含碳物質、銨及硝酸鹽；粗微粒則包括鋁、矽等氧化物，其中尤以硫酸鹽對人體健康（呼吸病疫、兒童支氣管炎）影響甚鉅，更為酸雨之前驅物 (precursor)，其對生態環境的影響實不可漠視，這也就是為何硫酸鹽在空氣污染的領域裡，廣為各界所關切。此外，硫酸鹽亦為雲、霧形成之主要凝結核，因此有所謂酸霧 (acid fog)，對其能見度的影響不言可喻。細微粒具有在大氣中長期滯留及衰光之特性，對於氣候的變化亦扮演相當重要之角色。大氣中硫酸鹽與硝酸鹽類大多數皆可溶於水，並有吸濕的傾向，含硫酸鹽的微粒由於吸濕而長大，對於其粒徑、反應活性及其他物理性質，有深遠的影響。

### 三、硫酸鹽、硝酸鹽如何形成

大氣中酸的來源包括有機酸如蟻酸、醋酸，無機酸如 $\text{HCl}$ 及二次無機酸如 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{HNO}_2$ 等，以酸的強度來分，可區分為強酸及弱酸，前者包括 $\text{HCl}$ （氣體）、 $\text{HNO}_3$ （氣體）、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ （氣懸膠）、 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ （氣懸膠），後者則包括 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、蟻酸、醋酸（大多數皆以氣體存在於大氣中）。上述酸性物質中，只有強酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 及 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ 係以氣懸膠狀態懸浮於大氣中。大氣中大多數的強酸一般相信是 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 經由大氣氧化的結果，而 $\text{SO}_2$ 大半來自固定污染源煤之燃燒及工業製程燃料油之使用， $\text{NO}_x$ 則大半來自移動性污染源，這些強酸物質已造成美國、南加拿大、北歐、日本及大陸華南等地區廣泛之雨水酸化。最近幾年，隨著含硫燃料（主要為煤）的使用增加，強酸微粒對人體健康生態環境的不利影響已愈為大眾關切。

$\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ 為硫酸鹽的主要成份，亦為雨水及氣懸膠中重要成份，外流層中，硫酸鹽的形成主要途徑為 $\text{SO}_2$ 與氫氧基 ( $\text{OH}$ ) 產生同質 (homogeneous) 光化反應，而這些  $\text{OH}$  基本身為  $\text{NO}_x$ 、 $\text{HC}$  光化反應之中間反應性產物。硫酸鹽初係以 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 的形式存在，而

後因部份或全部為大氣中  $\text{NH}_3$  所中和，另一途徑各異質(heterogeneous) 轉化過程，包括  $\text{SO}_2$  之催化反應（發生於水滴中），在液相中， $\text{SO}_2$  之氧化藉強氧化物如  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$  及  $\text{SO}_2$  與固體微粒表面的直接碰撞。另外，硝酸鹽的形成亦是藉由  $\text{NO}_2$  與  $\text{OH}$  之反應或  $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$  的系列反應生成  $\text{N}_2\text{O}_5$  後生成硝酸，再與  $\text{NH}_3$  或  $\text{NaCl}$  等作用而形成。

由於硫酸、硝酸一般皆和  $\text{NH}_3$  結合而以硫酸銨微粒、硝酸銨微粒存在，粒徑介於  $0.1 \mu\text{m}$  至  $1 \mu\text{m}$  間，可廣泛存於工業區的大氣中，此外，硫酸鹽、硝酸鹽的形成亦常伴隨臭氧、煙霧之產生。二者既構成  $\text{PM}_{10}$  之主要成份，甚至是可吸入微粒之大部份，尤其是歷經長程輸送藉由光化反應而產生，因此，對於硫酸鹽、硝酸鹽在大氣中之來源、影響及分佈的探討，實有助於部份地區空氣品質的改善。

## 四、台灣地區歷年來各縣市空氣污染之比較

### 4.1 台灣地區歷年來各縣市硫酸鹽、硝酸鹽之分佈及特性分析

台灣地區各縣市歷年來皆設有高速採樣器人工測站，測定每月空氣懸浮微粒濃度，每兩星期測定乙次，78年計有測站 130 處，所測資料各縣市分別函送台灣省北、中、南三區環境保護中心，而其台北市及高雄市則分別由台北市環保局、高雄市環保局技術室負責分析懸浮微粒中所含硫酸鹽、硝酸鹽含量。本文資料取自 74 年 1 月至 78 年 12 月近五年各縣市空氣中硫酸鹽、硝酸鹽濃度，其中以台北市測站最多達 22 站，澎湖縣最少僅有 1 站，其資料不足 8 個月者，不予計入，各縣市平均結果如表 1、表 2 所示，並繪之如圖 1、圖 2 所示，由圖中可歸納下列幾點結果：

1. 74~78 年，硫酸鹽、硝酸鹽之縣市分佈，大致一致，亦即高濃度值皆集中於南部某些縣市。硫酸鹽五年平均濃度以高雄市的  $29.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最高、新竹縣的  $8.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最低，大於  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  者，依序尚有臺南市、屏東縣、高雄縣、嘉義縣、嘉義市等縣市，而硝酸鹽五年平均濃度則仍以高雄市的  $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最高，苗栗縣的  $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最低，大於  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  者，依序尚有屏東縣、臺南市、高雄縣、嘉義縣、台南縣、嘉義市。
2. 各縣市硫酸鹽、硝酸鹽五年變化趨勢，極少數呈遞增或遞減之現象，大部份皆時而轉高，時而變低，無一致之趨向，顯示影響硫酸鹽、硝酸鹽濃度的因素甚多。

表 1 台灣地區各縣市74年至78年空氣中硫酸鹽之年平均濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

縣市＼年	74	75	76	77	78	平均值	$\text{so}_4^{-2}/\text{Tsp}$
台北市	18.8	12.6	17.5	12.3	22.6	16.76	0.081
高雄市	21.5	26.6	29.6	45.8	26.1	19.92	0.166
基隆市	24.4	18.7	9.3	3.8	4.7	12.18	0.110
新竹市	12.2	14.6	12	2.9	18.5	12.04	0.129
台中市	22.2	16.4	12.1	5.2	26.4	16.46	0.105
嘉義市	21.5	21.2	20.5	23.9	25.1	22.44	0.142
臺南市	24	24.5	20.3	23.4	34	26.04	0.171
宜蘭縣	19	17.3	7.1	1.3	47	9.82	0.098
台北縣	30	18.1	16.2	2.3	14	16.12	0.114
桃園縣	28.7	15.6	18.5	3.2	—	16.5	0.139
新竹縣	9.3	12.2	12.8	0.4	7.6	8.46	0.090
苗栗縣	17.4	14.6	17	4.5	33.3	17.36	0.161
台中縣	18	13.3	17.4	4.1	16.5	13.86	0.092
南投縣	17.3	13.4	13.6	3.2	9.4	11.38	0.107
雲林縣	16	13.5	25.3	6.2	16.5	15.5	0.114
嘉義縣	24	24.7	23.1	23.1	18.4	22.66	0.142
台南縣	17.8	18.8	19.7	19.6	20.9	19.36	0.150
高雄縣	20.4	18.4	27.4	27	22.9	23.22	0.144
屏東縣	24.4	22.9	23.6	24.5	23	23.66	0.144
花蓮縣	19	9.8	10.8	0.7	3.4	8.74	0.083
台東縣	13.6	12	12.7	14	11.8	12.82	0.169
澎湖縣	12.8	14.9	15.9	16.9	15.6	15.22	0.263

表 2 台灣地區各縣市74年至78年空氣中硝酸鹽之年平均濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

縣市＼年	74	75	76	77	78	平均值	$\text{NO}_3^-/\text{Tsp}$
台北市	1.9	2.2	1.3	1.5	4.8	2.34	0.011
高雄市	5.5	5.7	5	6.1	4.7	5.4	0.03
基隆市	1.4	2.4	2.4	0.9	2.5	1.92	0.017
新竹市	1	2.1	2.8	0.9	2.2	1.8	0.019
台中市	0.6	0.1	1.7	0.5	1.1	0.8	0.005
嘉義市	3.1	2.9	3.7	4	4	3.54	0.022
臺南市	3.1	3.2	2	7.3	7.7	4.66	0.029
宜蘭縣	1.4	1.8	2.8	0.9	1.6	1.7	0.017
台北縣	2	2.1	4.5	1.7	1.8	2.42	0.017
桃園縣	1.8	3.4	4.9	1.9		3	0.025
新竹縣	0.9	1.7	3.2	0.6	2.5	1.76	0.019
苗栗縣	0.4	0.1	1	0.2	0.5	0.44	0.004
台中縣	0.9	0.1	2.1	0.4	0.7	0.84	0.006
南投縣	0.5	0.03	1.4	0.3	1	0.646	0.006
雲林縣	0.4	0.1	1.2	0.3	0.8	0.56	0.004
嘉義縣	6.7	4.7	3	4.3	2.8	4.3	0.027
臺南縣	2.4	3.1	3.8	4.3	4.1	3.64	0.028
高雄縣	3.7	4.4	3.6	6.2	5.1	4.56	0.028
屏東縣	4.9	4.4	5.4	6.1	5.3	5.22	0.032
花蓮縣	0.8	1.4	2.7	0.7	1.6	1.44	0.014
台東縣	0.4	0.5	0.6	1.4	1.2	0.82	0.011
澎湖縣	0.6	0.6	0.6	1.7	1.7	1.04	0.018

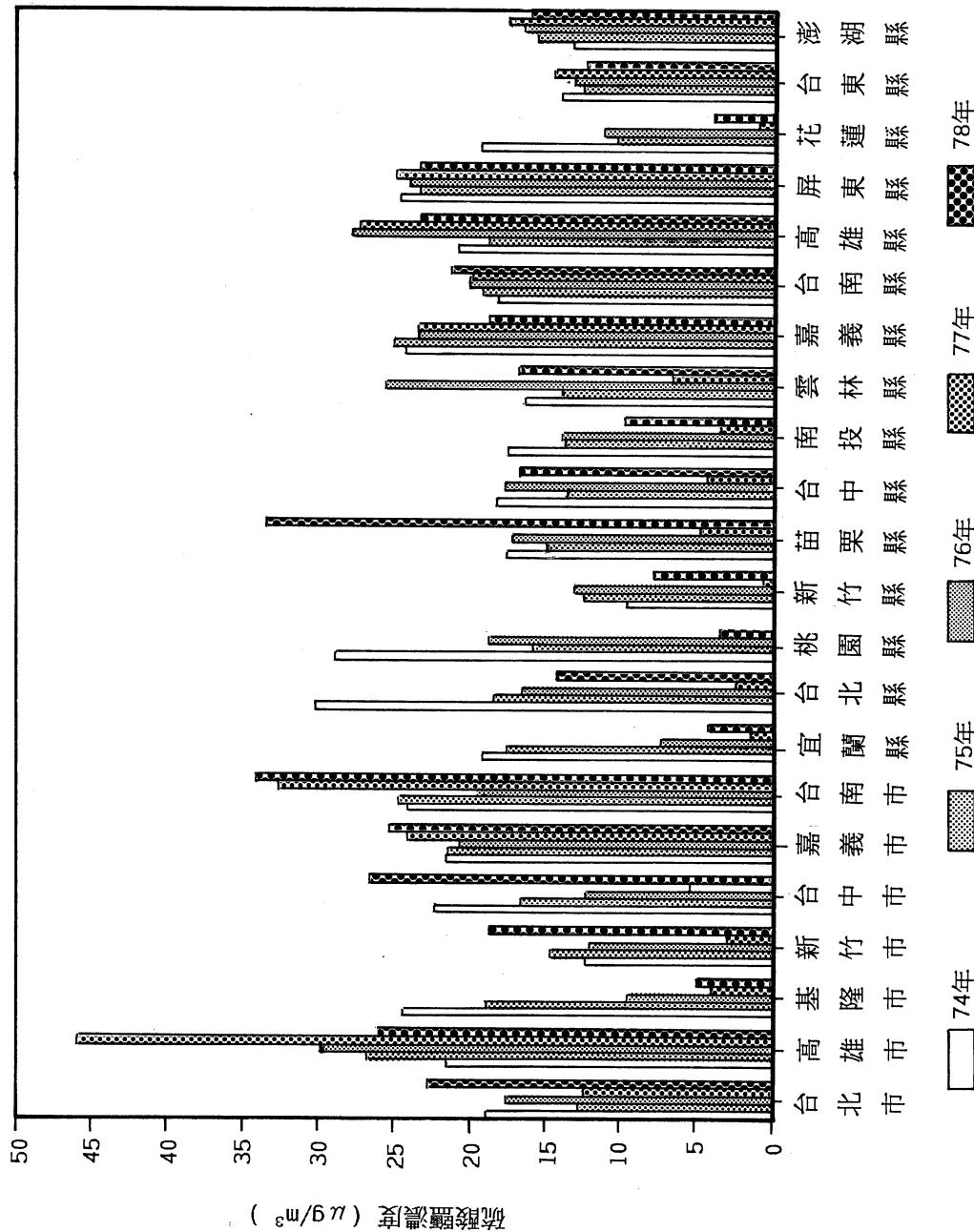


圖1 台灣地區各縣74年至78年空氣中硫酸鹽之分佈

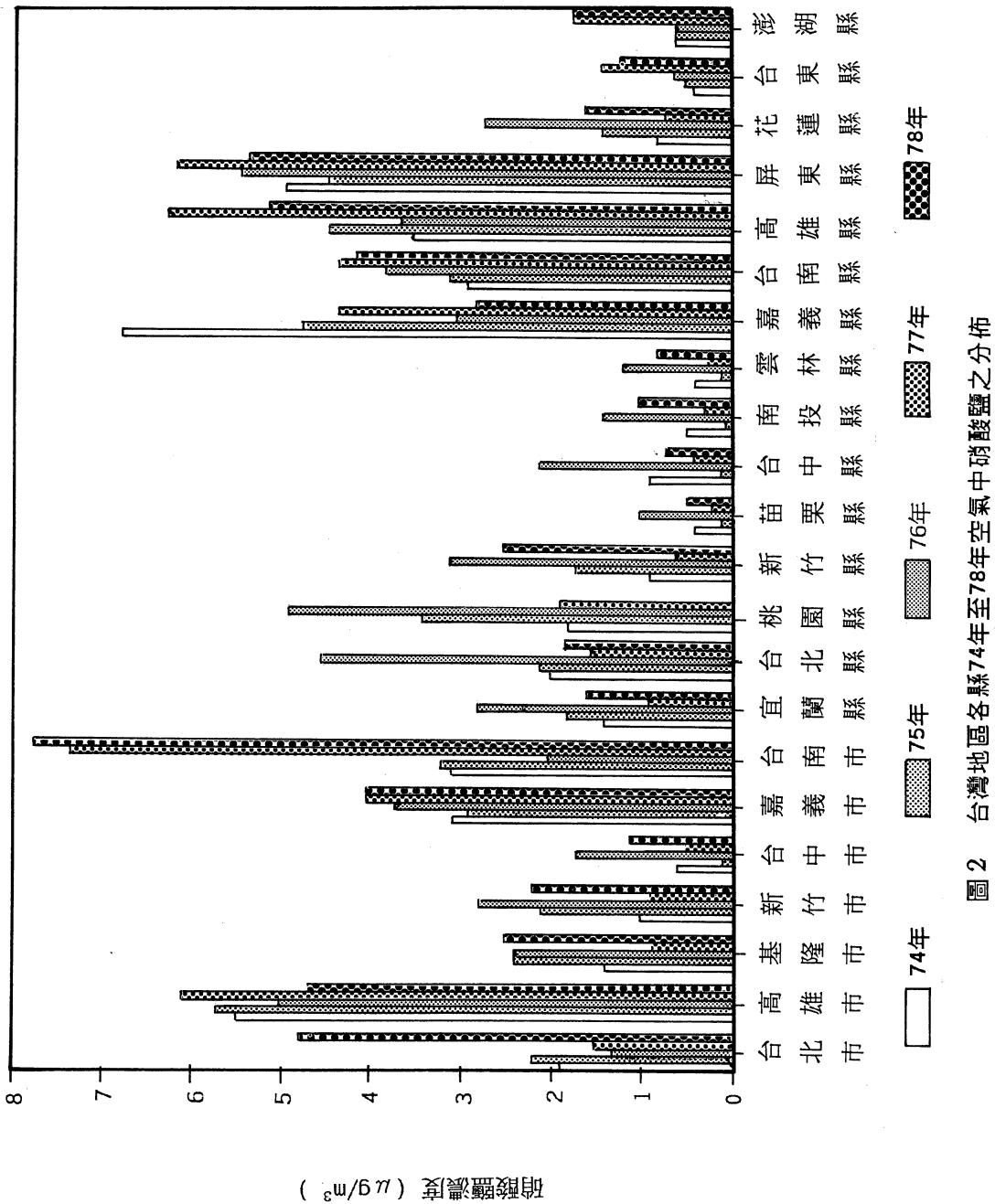


圖 2 台灣地區各縣74年至78年空氣中硝酸鹽之分佈

3. 從各縣市的硫酸鹽、硝酸鹽五年平均佔總懸浮粒的比例來看，硫酸值／TSP 最小值為台北市的0.08，最大值為澎湖縣的0.26，亦即台北市的總懸浮粒中僅有 8%為硫酸鹽，可能與當地SO<sub>2</sub> 排放量少有關係，但值得注意的是澎湖縣的總懸浮粒中卻有26%為硫酸鹽，尤其該縣的SO<sub>2</sub> 排放量很少（見 4.2節），顯示大部份的硫酸鹽皆為大氣輸送的結果，其來源耐人尋味。南部地區大部份縣市硫酸的比例偏高，約為14%，可能亦與大氣傳送有關連。台灣省地區空氣中總懸浮微粒中硫酸鹽之比例全省平均值約為13.5%，硝酸／TSP 最小值則為苗栗縣的0.004，最大值為屏東縣的0.032，顯示空氣中硝酸鹽含量的多寡仍以大氣傳送為主要機制，儘管台北市的NO<sub>x</sub> 排放量高，然硝酸鹽卻只佔總懸浮微粒的1%，澎湖縣的NO<sub>x</sub> 排放量少，硝酸鹽卻佔1.8%，與全省平均1.8%相當。
4. 各縣市五年平均硫酸鹽濃度與硝酸鹽濃度的比值隨地區的不同而異（參見表 3），除台中市(20.1)、宜蘭縣(10.8)、苗栗縣(39.5)、台中縣(16.5)、南投縣(17.5)、雲林縣(27.7)、台東縣(15.6)、澎湖縣(14.6)外，其餘縣市大致為5~7倍。顯示台灣地區懸浮微粒硫酸鹽含量的偏高，尤其高雄市的硫酸鹽、硝酸鹽濃度皆為全省之冠，且二者合計約佔總懸浮微粒的20%，亦即該市空氣中總懸浮微粒可能有 1/5以上的粒徑小於2 μm，對人體健康有極大不良影響，且硫酸鹽、硝酸鹽亦皆有雨水偏酸之原因，因此，就乾(濕)沉降而言，SO<sub>2</sub> 、NO<sub>x</sub> 總量削減之迫切，尤其是SO<sub>2</sub>，不言可喻。

表 3 台灣地區各縣市74年至78年空氣中硫酸鹽與硝酸鹽五年平均濃度比

縣市名稱	台	高	基	新	台	嘉	台	宜	台	桃	新	苗	台	南	雲	嘉	台	高	屏	花	台	澎
	北	雄	隆	竹	中	義	南	蘭	北	園	竹	栗	中	投	林	義	南	雄	東	蓮	東	湖
	市	市	市	市	市	市	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣	縣
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.2	5.5	6.3	6.7	20.1	6.3	5.8	10.8	6.7	5.5	4.8	39.5	16.5	17.5	27.7	5.3	5.3	5.1	4.5	6.1	15.6	14.6

5. 有部份縣市硫酸鹽、硝酸鹽之年趨勢變化幅度相當大，如台中市、新竹市、台北縣等，部份縣市如新竹市、台中市、台北縣、新竹縣、苗栗縣、台中縣、南投縣、雲林縣、花蓮縣等，77年硫酸鹽濃度偏低，是否有採樣及分析誤差，值得注意檢討。

#### 4.2 SO<sub>2</sub> 、TSP 、SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> 、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 年平均值與排放總量之關連

圖 3 、圖 4 分別為74~78年各縣市 TSP (台北市為PM<sub>10</sub> 乘 2.8) 及SO<sub>2</sub> 年平均濃度分佈，與圖 1 、圖 2 比較，吾人可獲知下列三點結果：

1. 各縣市懸浮微粒空間分佈與硫酸鹽、硝酸鹽有一致之變化趨向，惟各縣市總懸浮微粒濃度差距較小，各縣市總懸浮微粒五年平均值（參見表 4），除台東縣、澎湖縣、花蓮縣、基隆市、新竹市、宜蘭縣、桃園縣、新竹縣、苗栗縣、南投縣、台南縣等11個

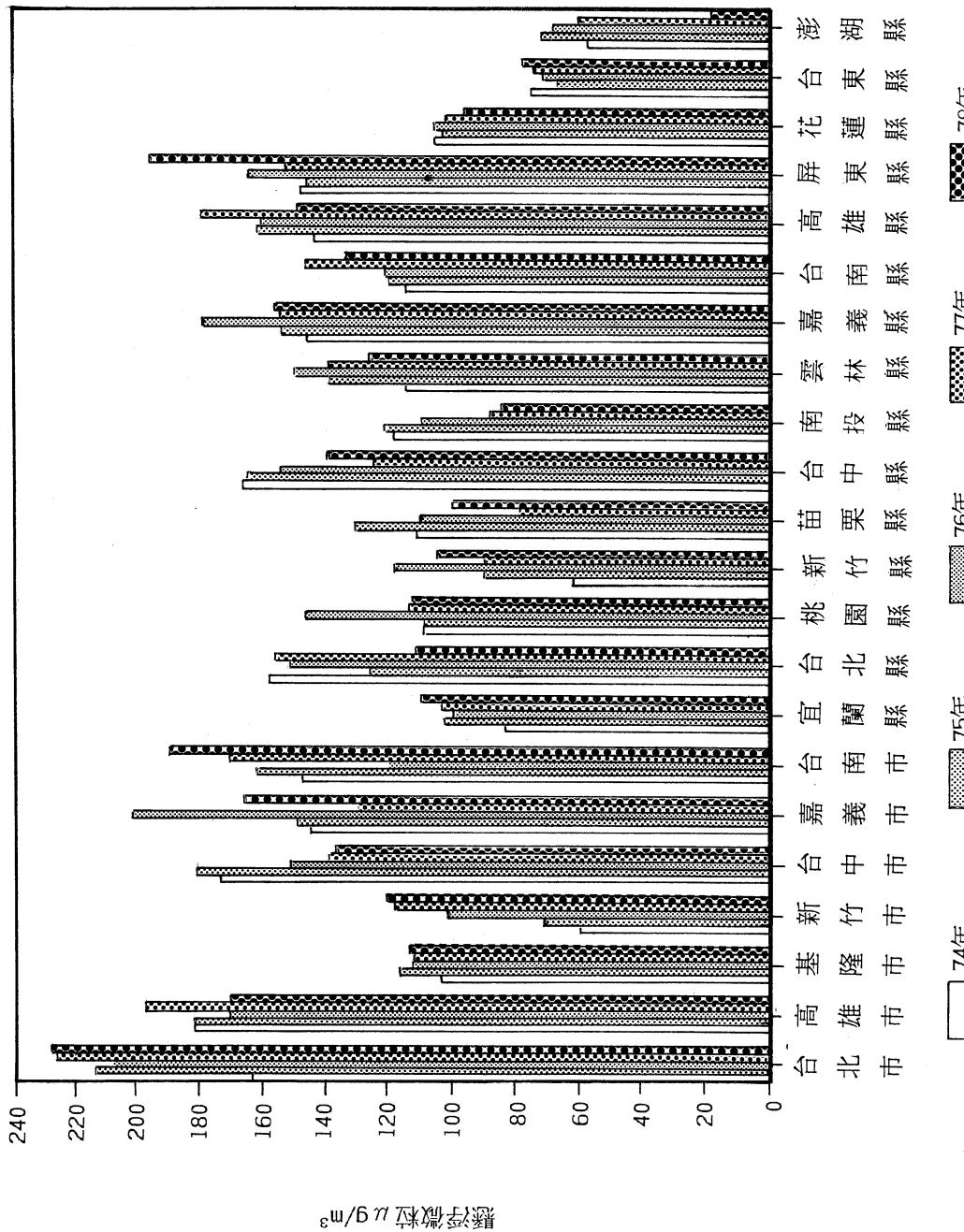


圖 3 臺灣地區各縣市74年至78年總懸微粒年平均濃度分佈

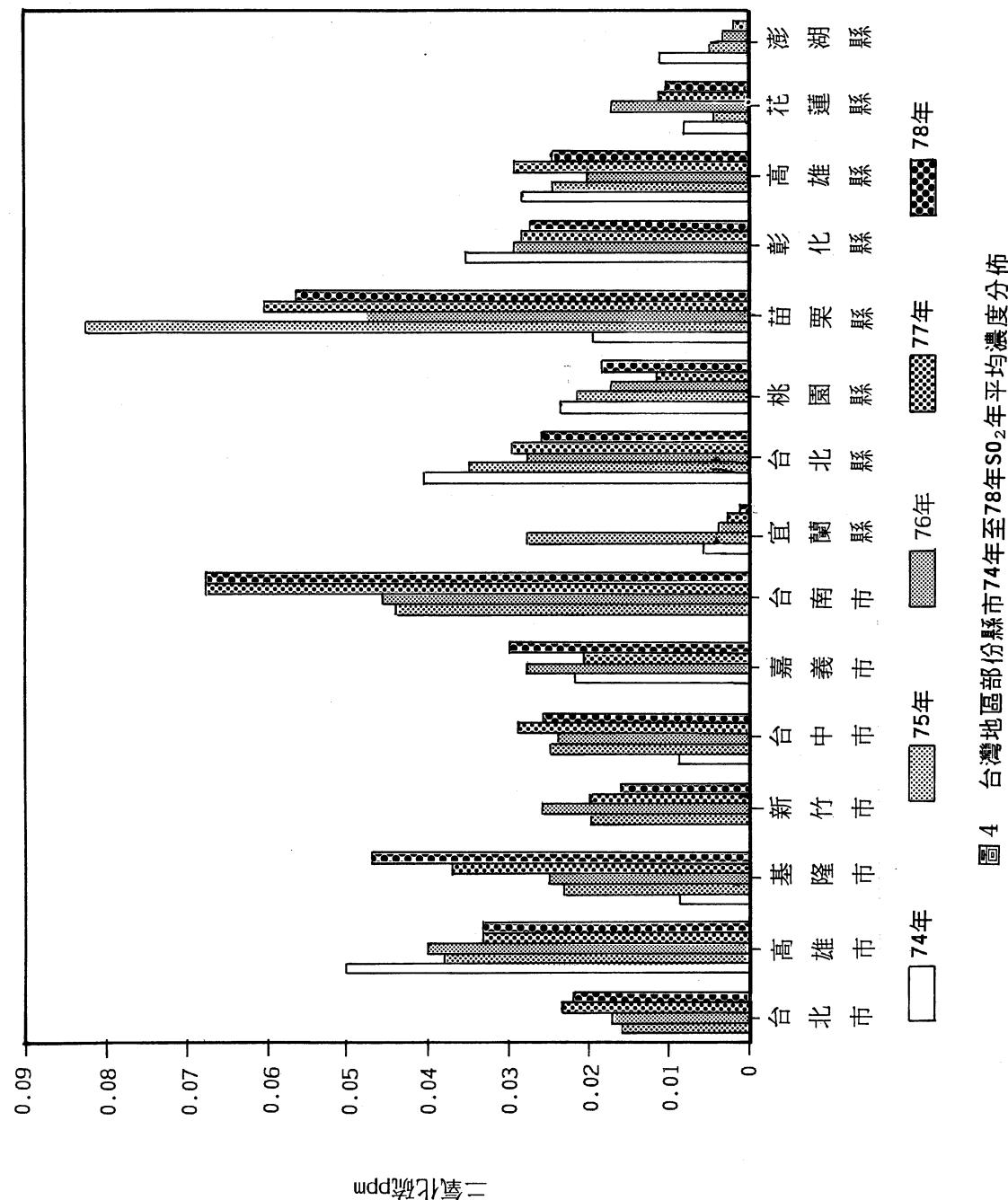


圖 4 台灣地區部份縣市74年至78年平均濃度分佈

縣市符合國家環境空氣品質標準 $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其餘縣市皆超過空氣品品質標準，尤以台北市( $207.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、高雄市( $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、嘉義縣( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、嘉義市( $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、臺南市( $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、屏東縣( $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、高雄縣( $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )為高，亟待加強污染改善。

表 4 台灣地區各縣市74年至78年總懸浮微粒平均濃度值

縣市＼年	74	75	76	77	78	平均值
台北市	163	213	208	225	227	207.2
高雄市	181	181	171	197	170	180.0
基隆市	103	116	112	111	113	111.0
新竹市	59	71	100	118	120	93.6
台中市	174	181	151	139	137	156.4
嘉義市	145	149	202	130	166	158.4
臺南市	148	162	120	171	190	158.2
宜蘭縣	85	103	100	104	110	100.4
台北縣	159	126	152	156	112	141.0
桃園縣	110	110	147	114	113	118.8
新竹縣	63	91	119	91	106	94.0
苗栗縣	113	131	111	81	102	107.6
台中縣	168	166	155	126	141	151.2
南投縣	120	123	112	90	86	106.2
雲林縣	117	141	152	141	128	135.8
嘉義縣	148	156	181	156	158	159.8
台南縣	117	122	123	142	136	129.2
高雄縣	146	164	163	182	152	161.4
屏東縣	151	148	167	155	199	164.0
花蓮縣	108	106	108	105	99	105.2
台東縣	78	70	74	77	81	76.0
澎湖縣	61	74	71	63	20	57.8

2. 台灣地區計有15個縣市設有 $\text{SO}_2$  監測站，從74~78年五年平均值來看（參見表5）苗栗縣(0.054ppm)、臺南市(0.057ppm)、高雄市(0.039ppm)、彰化縣(0.031ppm)、台北縣(0.032ppm)等五個縣市皆超過國家環境空氣品質標準(0.03ppm)，其餘十個縣市皆合乎 $\text{SO}_2$  年平均標準，尤以宜蘭縣者為最低(0.008ppm)。另台北市、基隆市、嘉義市、臺南市、近年來有增加之趨勢，值得注意。

表5 台灣地區各縣市74年至78年二氧化硫年平均濃度值

縣市＼年	74	75	76	77	78	平均值
台北市	0.015	0.016	0.017	0.023	0.022	0.0186
高雄市	0.05	0.038	0.04	0.033	0.033	0.0388
基隆市	0.009	0.023	0.025	0.037	0.047	0.0282
新竹市	—	0.02	0.026	0.02	0.016	0.0205
台中市	0.009	0.025	0.024	0.029	0.026	0.0226
嘉義市	—	0.022	0.028	0.021	0.03	0.02525
台中市	—	0.044	0.046	0.068	0.068	0.0565
宜蘭縣	0.006	0.028	0.004	0.003	0.001	0.0084
台北縣	0.041	0.035	0.028	0.03	0.026	0.032
桃園縣	0.024	0.022	0.018	0.012	0.019	0.019
苗栗縣	0.02	0.083	0.048	0.061	0.057	0.0538
彰化縣	—	0.036	0.03	0.029	0.028	0.03075
高雄縣	0.029	0.025	0.021	0.03	0.025	0.026
花蓮縣	0.009	0.005	0.018	0.012	0.011	0.011
澎湖縣	0.012	0.004	0.004	0.002	0.001	0.0046

3.  $\text{SO}_2$  之空間分佈與局部污染似有關聯，因高雄市、苗栗縣、彰化縣等縣市轄內皆有 $\text{SO}_2$  排放量較多之工業區，惟臺南市 $\text{SO}_2$  的偏高似與空氣品質監測站址或數據的誤差有關。

依總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽高濃度值集中於南部某些縣市的情況來看，顯示嘉義以南的懸浮微粒偏高似與氣象因素有關。為探討各縣市二氧化硫、總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽年平均濃度與 $\text{SO}_2$ 、TSP 年排放總量的關係（參見表6），吾人將77年，上述六個項目的資料如圖5所示，俾資比較，結果顯示：

表 6 台灣地區77年空氣污染排放總量(噸)

縣市＼年	SOx	TSP	NOx	THC	CO	Pb
台北市	7596	29246	13704	80776	231714	76
高雄市	132706	174333	61593	54878	69909	16
基隆市	59062	23801	19549	13658	21721	9
新竹市	4650	14699	4536	10206	18774	7
台中市	4794	16348	6943	25425	52763	20
臺南市	5134	18537	6642	19912	39561	11
嘉義市	1426	7873	1838	8236	13168	4
台北縣	124205	164411	75469	187469	172592	63
桃園縣	49395	80041	36701	113705	114338	49
新竹縣	18787	56446	14874	91094	36768	15
宜蘭縣	18476	118927	9931	92691	23232	6
新竹縣	26426	115190	21431	92639	51006	23
台中縣	21734	163557	23649	109902	88505	32
彰化縣	19964	88794	19575	92372	89121	31
南投縣	4059	57547	8203	181304	42085	12
雲林縣	9990	31498	15911	38742	66735	22
嘉義縣	6210	29429	11174	66685	48640	15
台南縣	28042	66161	38339	103313	122864	49
高雄縣	135999	167652	103268	209125	69405	18
屏東縣	6831	39533	8203	100748	49535	13
花蓮縣	5246	96710	4370	206130	19069	4
台東縣	1970	22363	4818	141059	23508	6
總 和	692701	1583093	510721	2041067	1465010	501

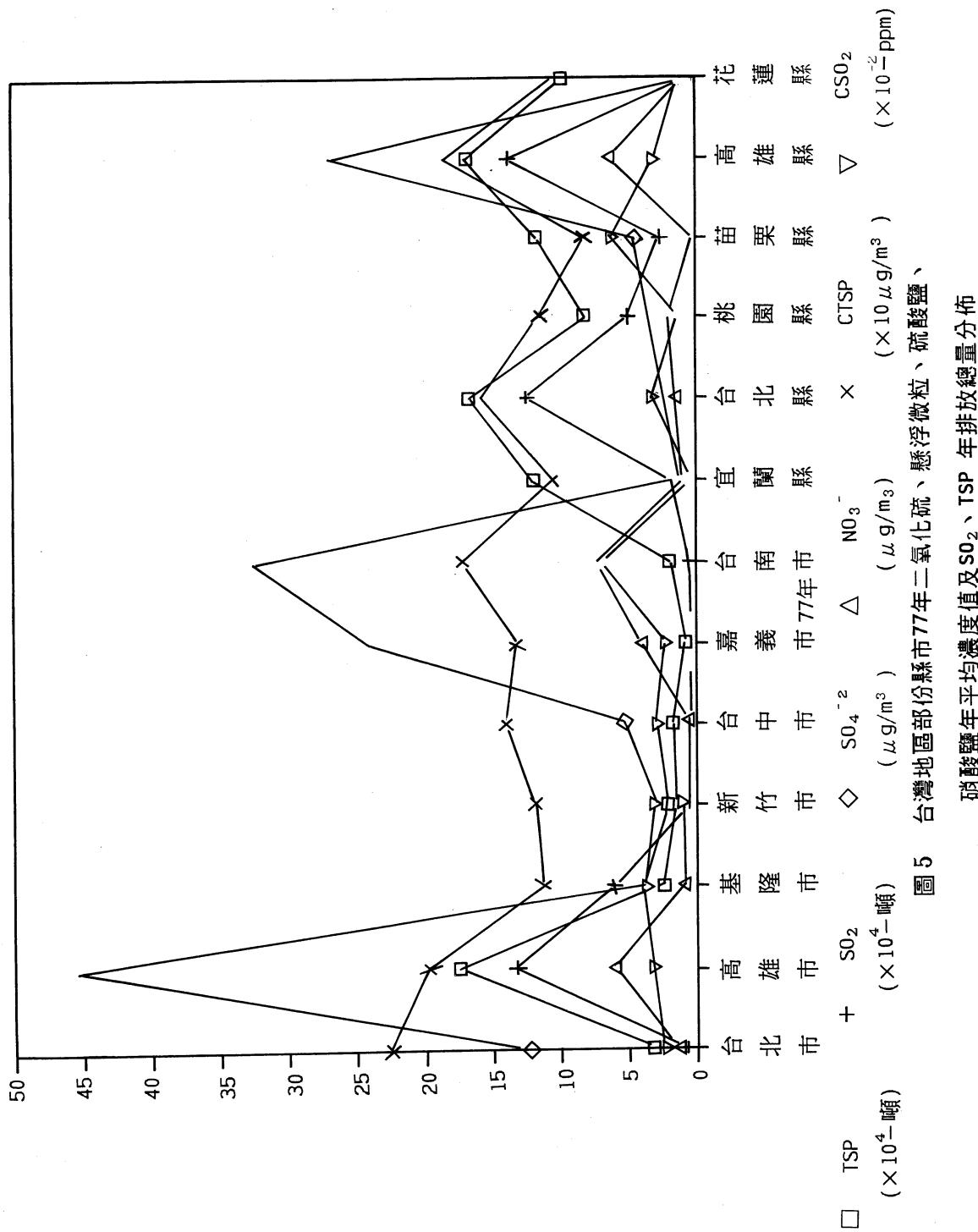


圖 5 台灣地區部份縣市77年二氧化硫、懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽年平均濃度值及 $\text{SO}_2$ 、TSP 年排放總量分佈

- 高雄市、高雄縣兩個縣市，二氧化硫、總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽年平均值與SO<sub>2</sub>、TSP 年排放總量皆屬各縣市之冠，尤其硫酸鹽濃度(45.8, 27.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )的居高似與當地SO<sub>2</sub> 的局部排放關係密切。該兩地區SO<sub>2</sub> 及TSP 的污染亟待改善。
- 各縣市硝酸鹽濃度的分佈與TSP 濃度分佈極為相似，顯示硝酸鹽的存在廣泛且較為均勻分佈與交通工具的分佈有關，而硫酸鹽濃度的分佈則似較具局部性，亦即各縣市硫酸鹽分佈除與大氣傳送有關外，局部污染源的貢獻亦不可忽視，從表 7 硫酸鹽平均濃度與SO<sub>2</sub> 年平均濃度之比值，可知高雄市、嘉義市、高雄縣等三縣市硫酸鹽有較大之比例來自當地SO<sub>2</sub> 排放量之貢獻。

表 7 台灣地區部份縣市77年硫酸鹽濃度與二氧化硫濃度之比值

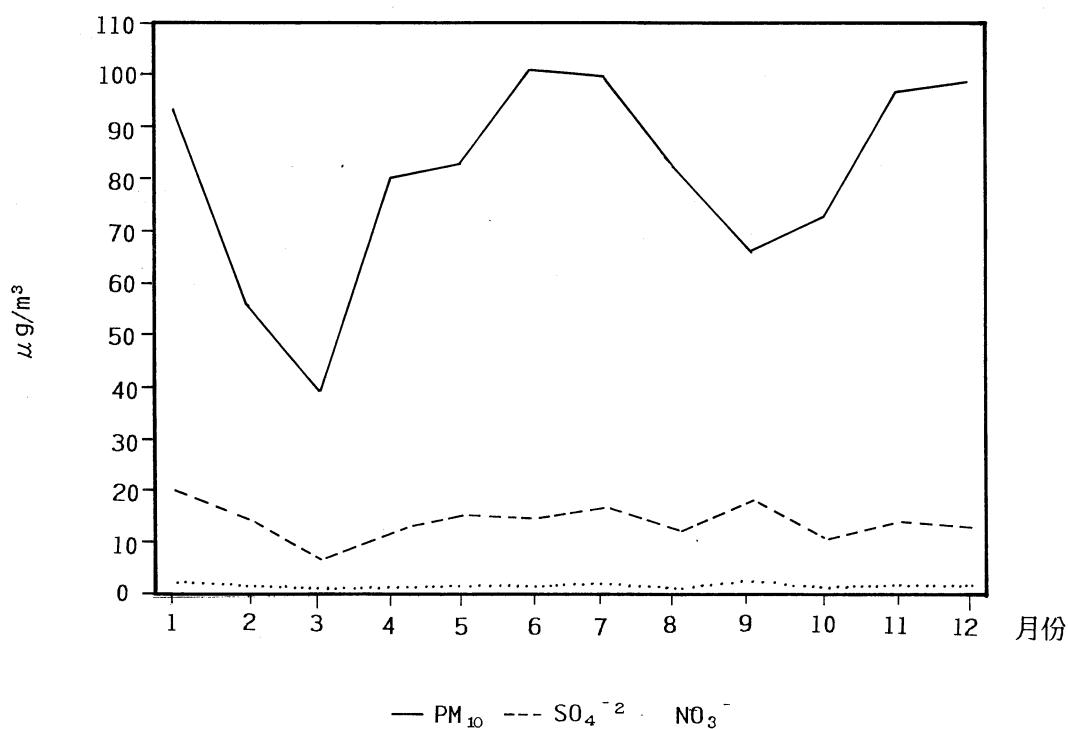
縣市名稱	台 北 市	高 雄 市	基 隆 市	新 竹 市	台 中 市	嘉 義 市	台 南 市	宜 蘭 縣	桃 園 縣	苗 栗 縣	花 蓮 縣	台 東 縣	澎 湖 縣	
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /SO <sub>2</sub>	0.20	0.53	0.04	0.06	0.07	0.43	0.18	0.17	0.03	0.10	0.03	0.34	0.02	3.30

- 部份縣市總懸浮微粒年排放總量及其年平均濃度值不一致，例如台北市總懸浮微粒濃度相對較其他縣市高，但排放總量相對較其他縣市卻很低；台南市SO<sub>2</sub> 年排放總量很低，但SO<sub>2</sub> 年平均濃度卻居冠，苗栗縣亦同，是否測站臨近SO<sub>2</sub> 污染源或數據有誤所導致，值得進一步探究。

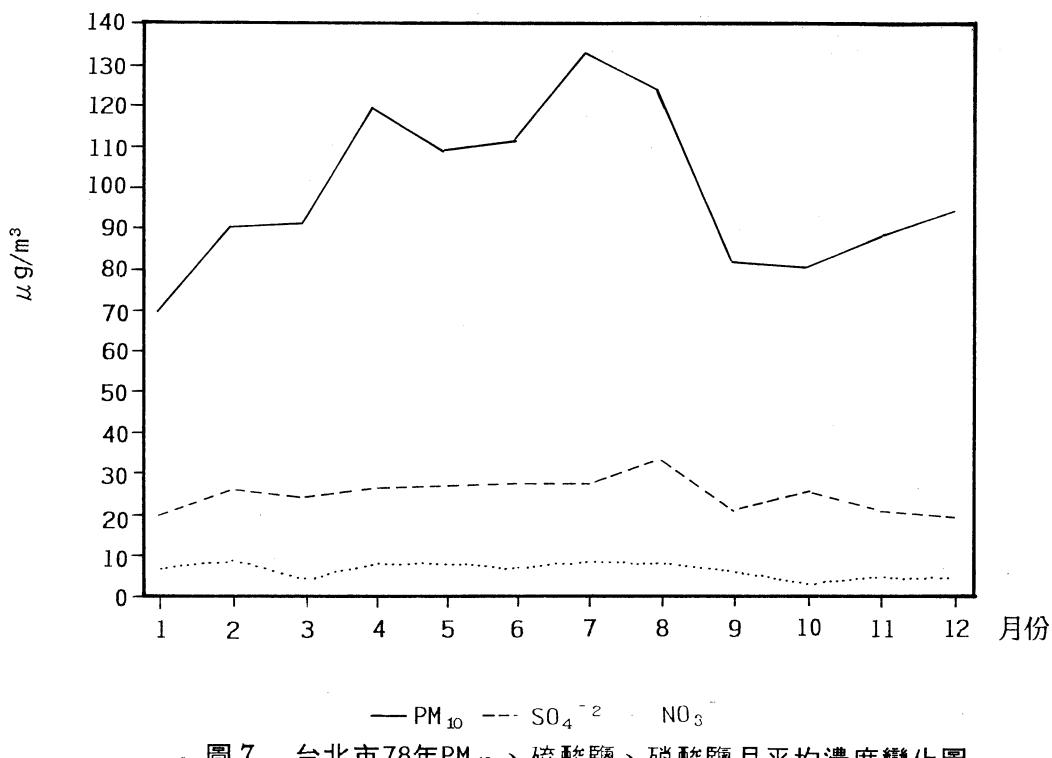
#### 4.3 硫酸鹽、硝酸鹽濃度之月分佈

一般言之，硫酸鹽、硝酸鹽皆為光化產生物，除與SO<sub>2</sub> 、NO<sub>x</sub> 濃度有關外，光照強度、溫度、濕度、雨量及OH濃度等因子亦皆佔有重要角色，因此，硫酸鹽、硝酸鹽高濃度值皆以發生於夏季居多<sup>(5)</sup>，而台灣是否亦如此，值得研究，本小節擬以台北市、高雄市為對象加以探討。

由於台灣地處亞熱帶，冬夏兩季分屬高緯的西伯利亞高壓（極地大陸冷氣團）及低緯的太平洋高壓（熱帶海洋氣團）兩大氣團所主宰，所形成之環流系統、天氣變化、風速、風向、溫度、水汽、濕度、日照、降水等分佈皆不相同，因此，從污染物的月變化，吾人可知季節對污染物傳輸的影響。圖6、圖7分別為台北市77年、78年PM<sub>10</sub>、硫酸鹽、硝酸鹽之濃度月變化圖，從圖中可知78年7月PM<sub>10</sub>濃度值超過國家空氣品質標準125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  外，其餘各月皆符合標準，且夏季上述之各項污染物濃度值皆較其他三季高，其原因可能為冬季台北吹東北風，利於污染物傳輸至南部地區，而夏季的西南風卻易將中南部的污染物傳輸至北部地區(6)，台北市污染物除源自本身外，亦有部份來自上風區。另外從圖8、圖9的比較可知台北市78年的硫酸鹽、硝酸鹽各月平均濃度皆較77年增加值得注意，其中硫酸鹽最高值為78年7月的33.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，硝酸鹽最高值為78年2月的8.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。圖10、圖11為高雄市77年、78年總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽的濃度變化圖，吾人發現高雄市該污染物高濃度值皆出現在冬季，低值則發生於夏季，顯然與冬季東北季風的無法抵達致使風速微弱有關。而夏季則受西南氣流的影響，迎風面偶有降

圖6 台北市77年PM<sub>10</sub>、硫酸鹽、硝酸鹽月平均濃度變化圖

雨，沖刷部份污染物所致。圖12、圖13則為高雄市77年、78年硫酸鹽、硝酸鹽各月濕度變化圖，與台北市相反，78年該兩項污染物濃度皆較77年低，但78年硫酸鹽最高濃度值為11月的  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、硝酸鹽濃度最高值亦發生於11月的  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，皆高於台北市。圖14<sup>(5)</sup>為1973年洛杉磯市區硫酸鹽月平均濃度與該區電廠SO<sub>2</sub>月排放量之比較，顯示硫酸鹽濃度約於  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且高濃度值發生於夏季，比較台灣地區與洛杉磯的硫酸鹽平均濃度值顯示台灣地區SO<sub>2</sub><sup>-2</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>污染之偏高，亟需進行SO<sub>2</sub>、NOx 總量削減計畫。

圖 7 台北市78年PM<sub>10</sub>、硫酸鹽、硝酸鹽月平均濃度變化圖

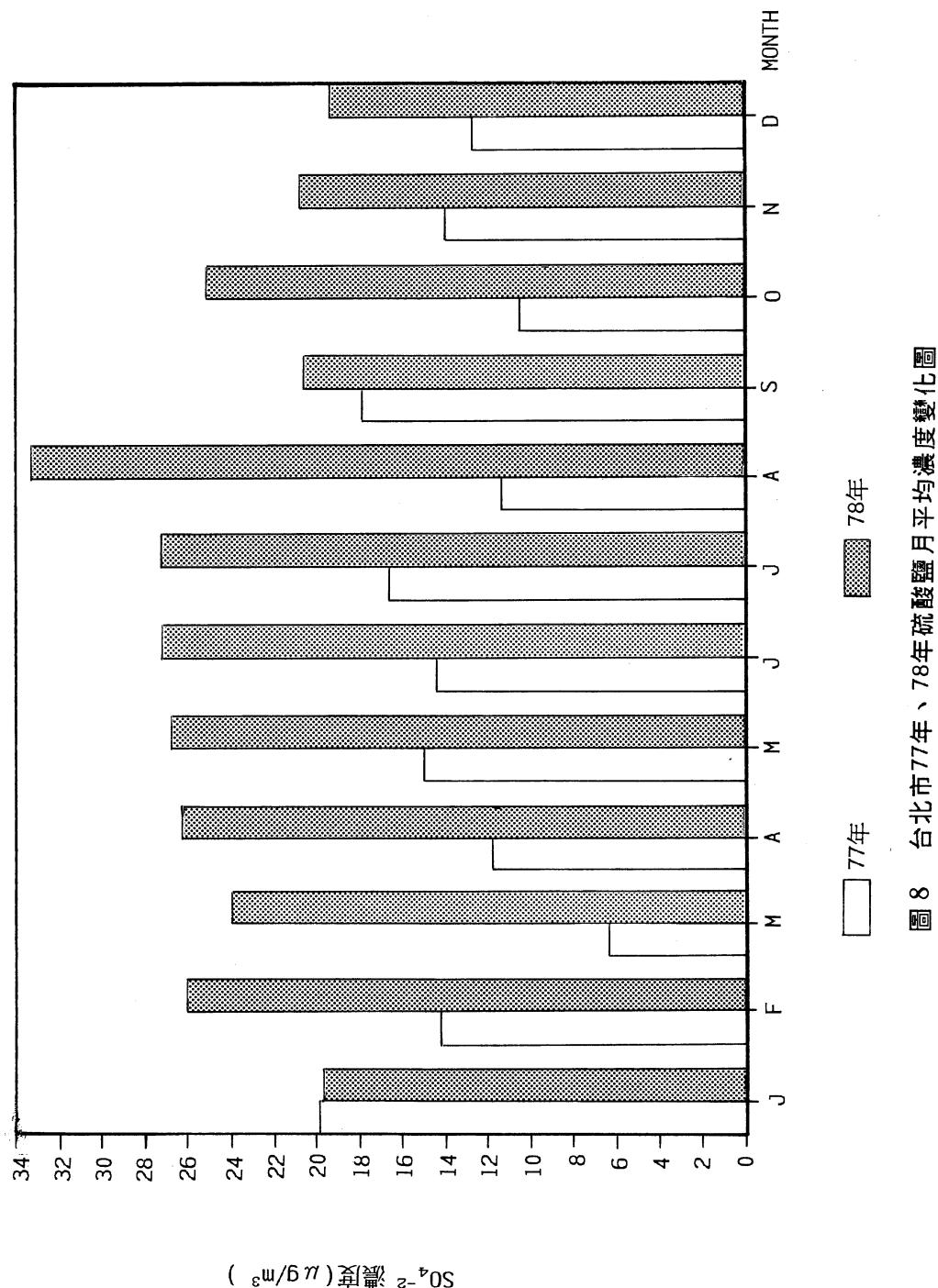
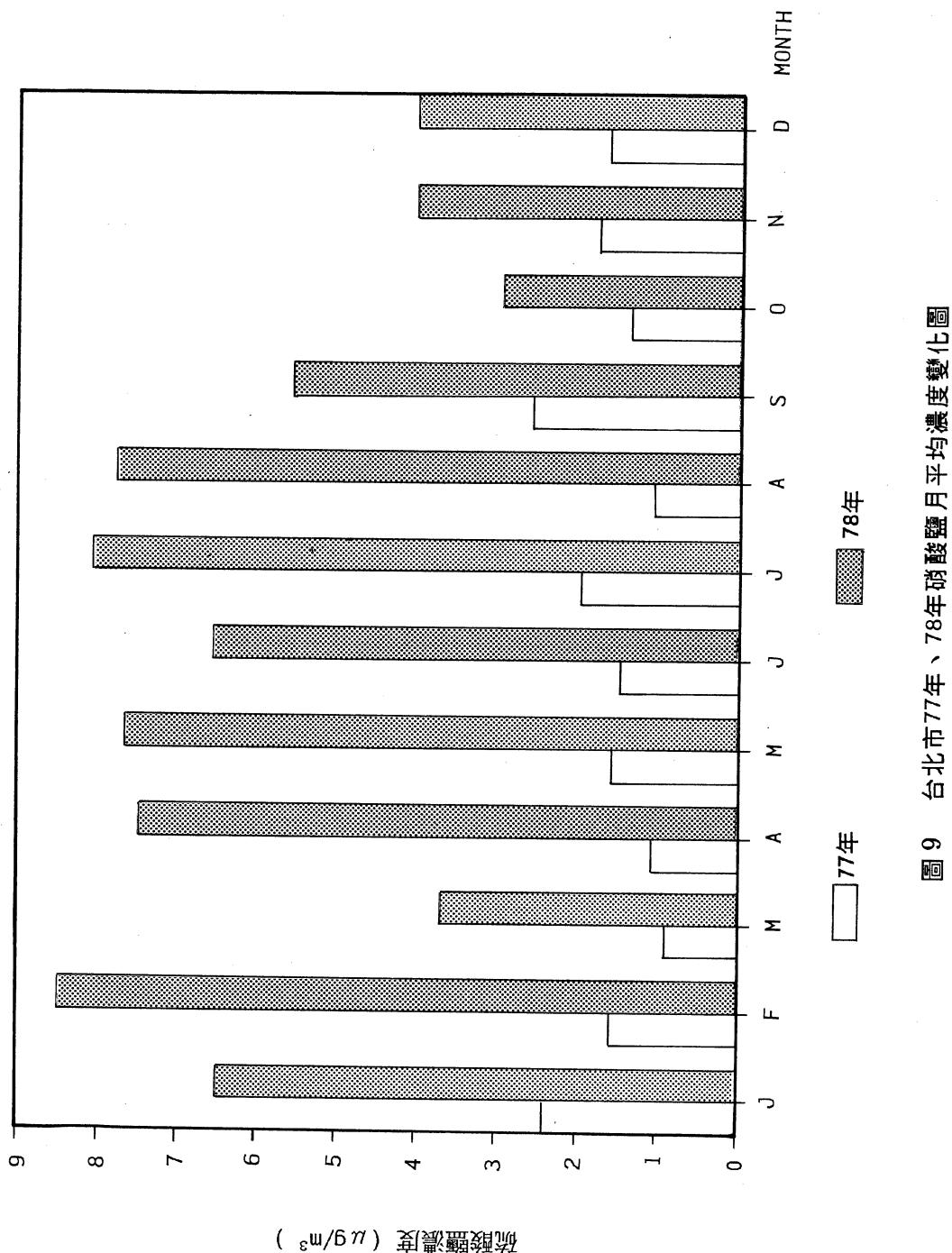


圖 8 台北市77年、78年硫酸鹽月平均濃度變化圖



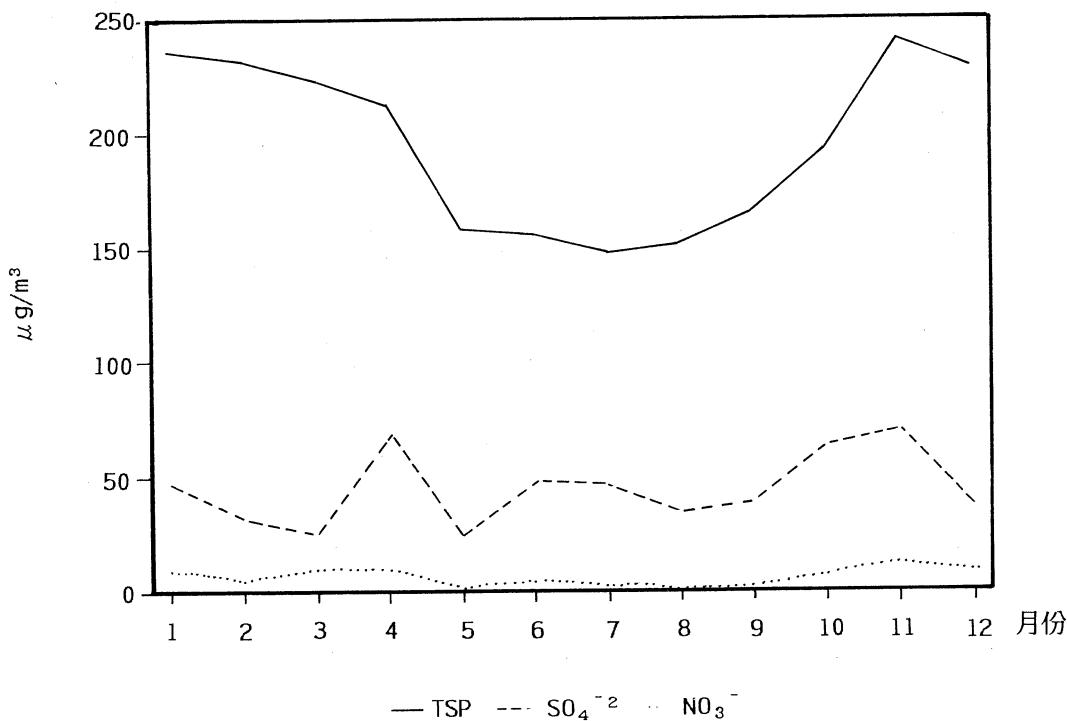


圖10 高雄市77年總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽之月平均濃度變化圖

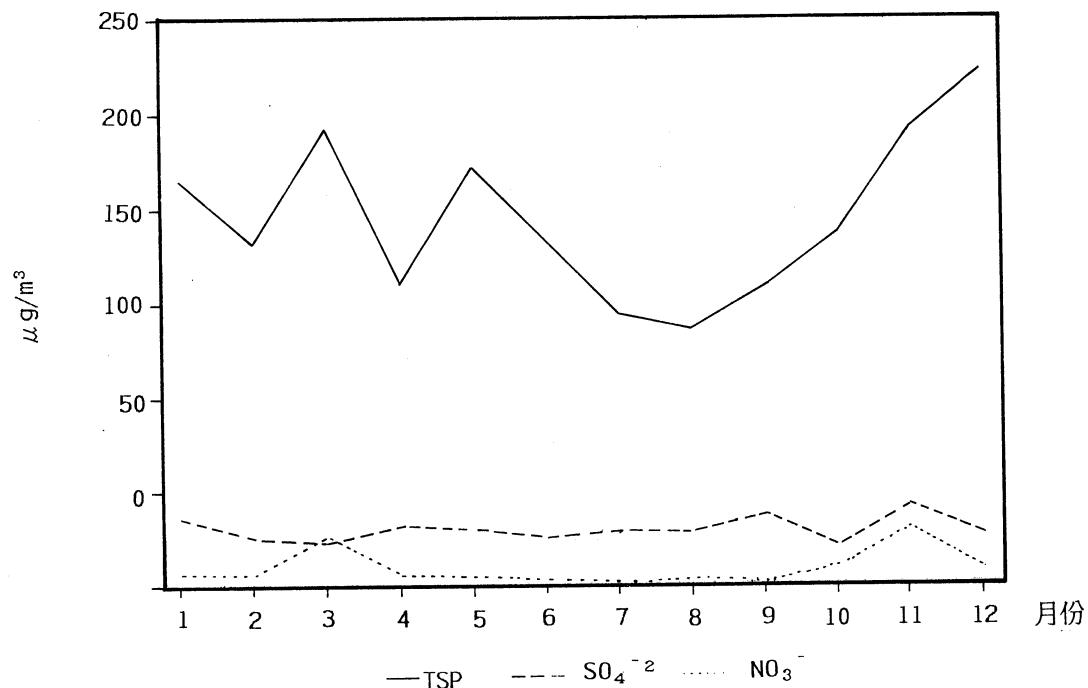


圖11 高雄市78年總懸浮微粒、硫酸鹽、硝酸鹽之月平均濃度變化圖

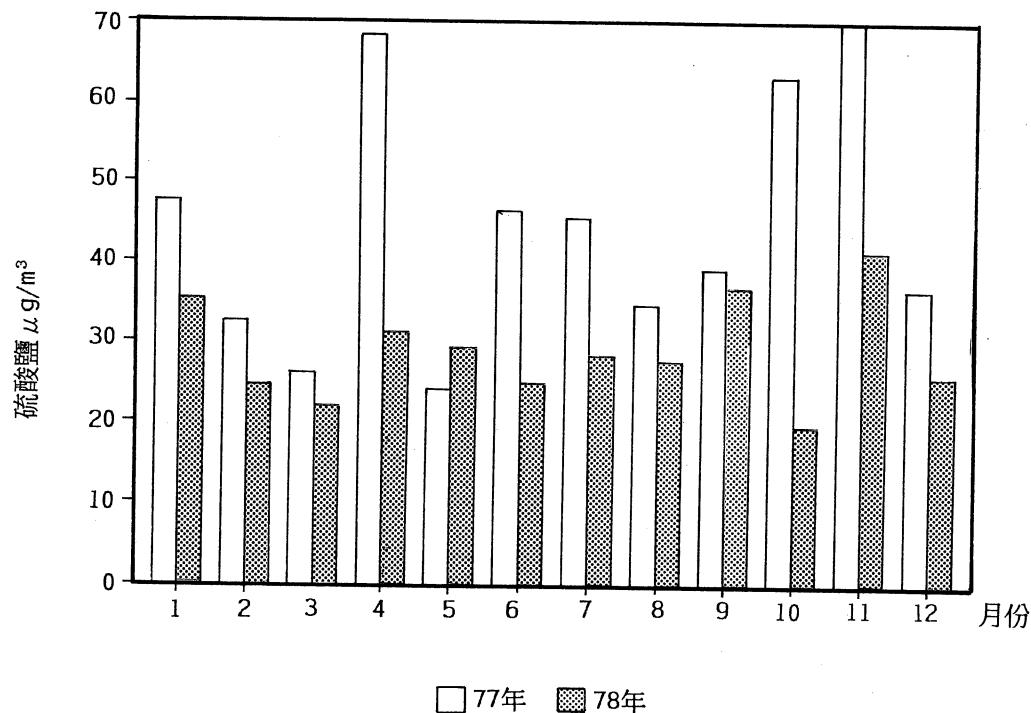


圖12 高雄市77年、78年硝酸鹽月平均濃度變化圖

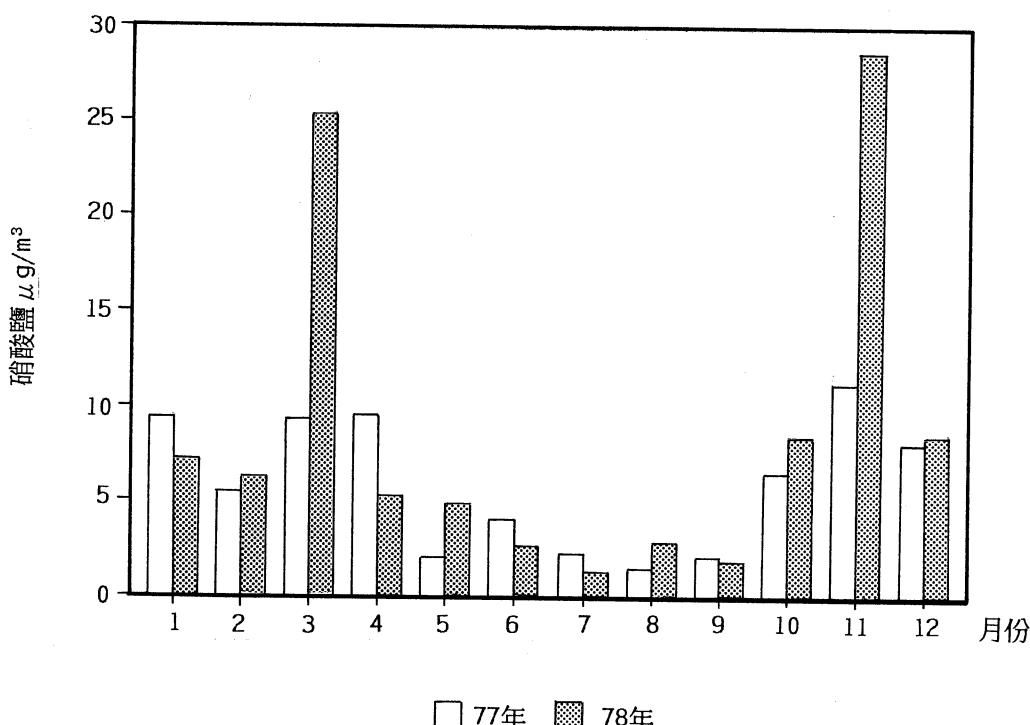


圖13 高雄市77年、78年硝酸鹽月平均濃度變化圖

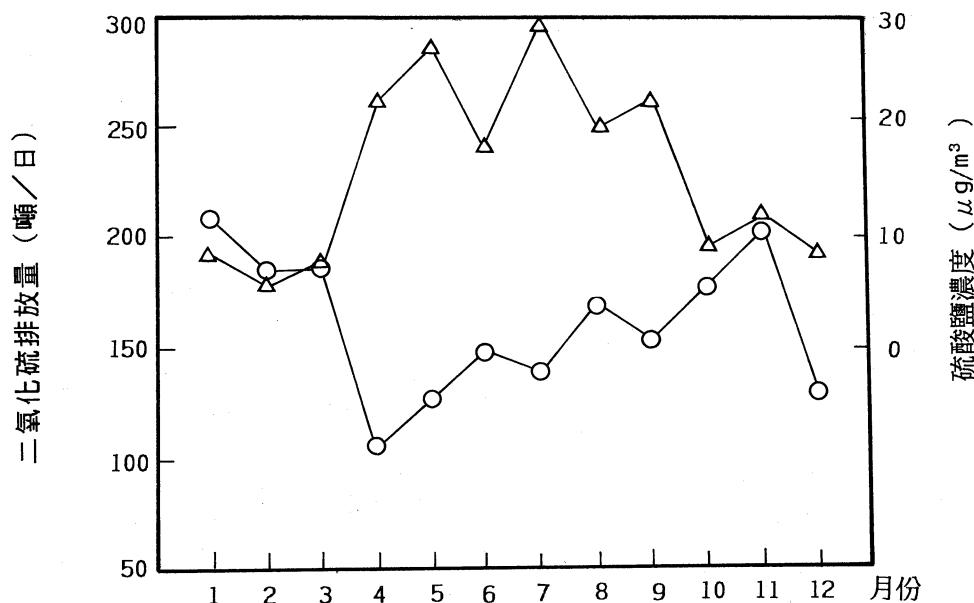


圖14 1973年洛杉磯地區硫酸鹽濃度二氧化硫排放量月變化圖

## 五、總量削減計畫與可行策略

為減緩及遏阻酸雨的產生，削減  $\text{SO}_2$  、  $\text{NO}_x$  的排放總量早為各先進國家所共識，圖 15、圖 16 分別為加拿大、美國、英國、法國及荷蘭等五國 1980~1985 年  $\text{SO}_2$  、  $\text{NO}_x$  之總量變化趨勢<sup>(7)</sup>，其中以  $\text{SO}_2$  總量的減少較為明顯。美國布希總統在其 1989 年 7 月所提之空氣清淨法案中，對於酸雨的防制，分別對  $\text{SO}_2$  、  $\text{NO}_x$  採取之階段之削減總量策略，略述如后：

### 1. 二氧化硫之排放削減

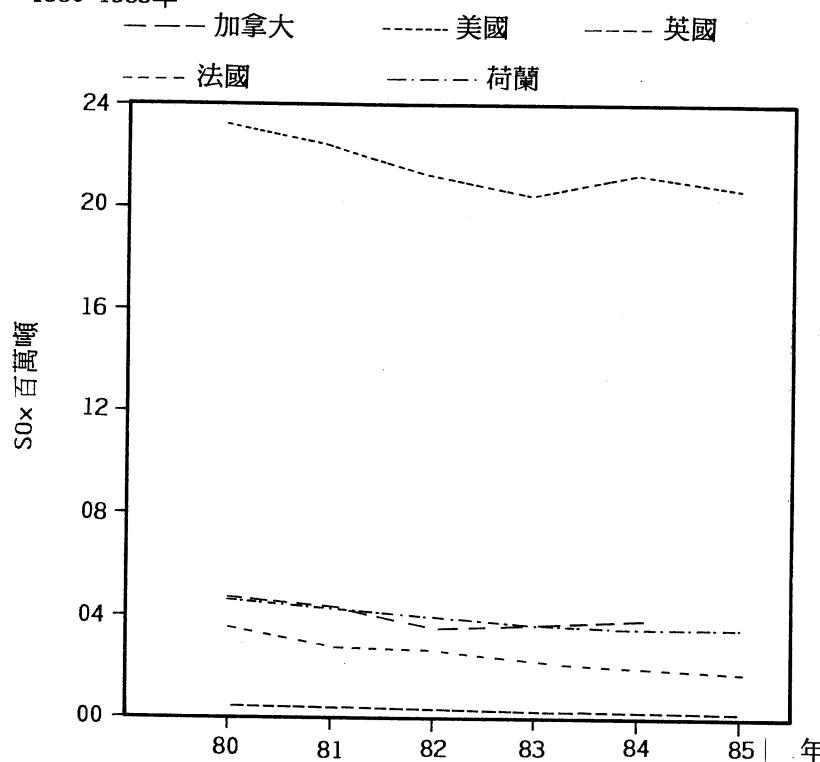
- (1) 在西元 2000 年之前達到比 1980 年之二氧化硫年排放量減少 1,000 萬噸之目標（其中 900 萬噸來自發電廠之減量）。
- (2) 在 1995 年前，發電量大於 100MW 電廠之排放標準為 2.5 磅／百萬 BTU (1.13kg／百萬 BTU)，並允許其可在一州內或同一發電廠內進行污染排放量交易。

### 2. 減少氮氧化物之排放

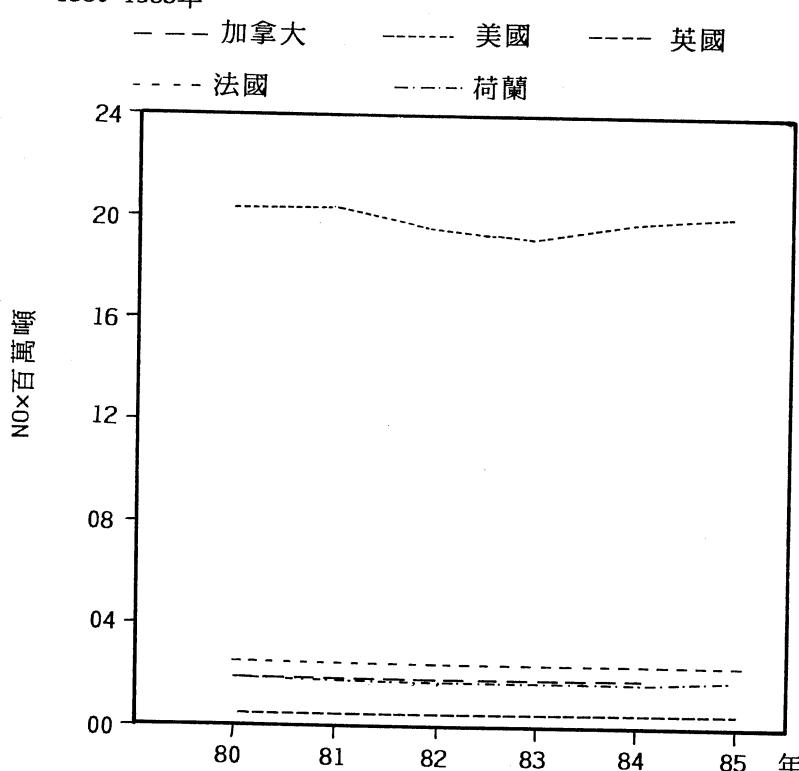
- (1) 在第二階段中減少 200 萬噸的氮氧化物排放量。
- (2) 允許各設施業以氮氧化物的減量來折換二氧化硫的減量或以二氧化硫的減量來折換氮氧化物的減量，即削減  $\text{SO}_2$  、  $\text{NO}_x$  總排放量 1200 萬噸。

至於如何達成  $\text{SO}_2$  、  $\text{NO}_x$  甚或其他污染物之減量，由於各國控制技術、政治、社會、經濟等國情不同，以致各國的污染物總量削減策略及方法皆有不同，大致包括下列策略或技術之應用：

1980-1985年

圖15 加拿大、美國、英國、法國、荷蘭 $\text{SO}_2$ 年排放總量逐年變化圖

1980-1985年

圖16 加拿大、美國、英國、法國、荷蘭 $\text{SO}_2$ 年排放總量逐年變化圖

### 1. 法規策略

- (1) 使用低硫燃料。
- (2) 加嚴固定污染源及機動車輛SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>之排放標準。
- (3) 交通政策包括抑制交通成長，並增加鐵路及大眾捷運系統之使用。
- (4) 減少飛機、船舶、機械及牽引機等之排放量。
- (5) 使用甲醇、LPG 等替代燃料。
- (6) 實施汽車共乘制度。
- (7) 推動彈性上下班。
- (8) 加強交通運輸管理。
  - a. 實施客車車速限制。
  - b. 尖峰時刻課稅。
  - c. 電子式通行課稅。
  - d. 加嚴開車及停車有關規定。

### 2. 污染源控制策略

SO<sub>2</sub> 之控制方法包括：

- (1) 加裝排煙脫硫等控制設備。
- (2) 變換燃料。
- (3) 製程改變。

NO<sub>x</sub> 之控制方法包括：

- (1) 改善燃料系統。
- (2) 加裝排煙脫硫等控制設備。
- (3) 使用低NO<sub>x</sub> 燃燒器。
- (4) 選用觸媒減量。
- (5) 加裝觸媒轉化器。

### 3. 能源使用策略

- (1) 能源節約。
- (2) 廢熱利用。
- (3) 擴大使用替代燃料。
- (4) 增加電力熱能。
- (5) 汽電共生。

## 六、結論及建議

台灣地區各縣市歷年來雖皆有總懸浮微粒中含硫酸鹽、硝酸鹽、氯鹽等成份分析，然卻未見進一步分析，此乃本文研究之目的，儘管該等資料可能有誤差的存在，但仍可

一窺各縣市硫酸鹽、硝酸鹽濃度分布之輪廓及其與總懸浮微粒濃度、二氧化硫濃度之關係，供為各縣市策訂 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NOx}$ 、TSP的總量削減計畫。綜合上述各節分析、吾人可歸納分析結果如后：

1. 台灣地區硫酸鹽、硝酸鹽年平均濃度空間分佈大致一致，即高濃度值皆集中於嘉義以南縣市，可能與大氣傳輸有關。硫酸鹽五年（74~78年）平均濃度值以高雄市的 $29.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最高，而以新竹縣的 $8.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最低，硝酸鹽五年平均濃度值則仍以高雄市的 $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最高，苗栗縣的 $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  最低。
2. 台灣地區空氣中硫酸鹽佔總懸浮微粒之比例，五年平均值約為13.5%，其中尤以台北市的8%最小，澎湖縣的26%最高，南部地區約略偏高，而硝酸鹽佔總懸浮微粒的比例，全省五年平均值約為1.8%，有趣的是，該比例仍以台北市的1%最低，澎湖縣居冠，其原因耐人尋味，顯與大氣傳送有關連。
3. 台灣地區各縣市硫酸鹽濃度與硝酸鹽濃度五年平均的比值隨地區的不同而異，大多數為5~7倍，有7個縣的比值甚至為10倍之上，顯示總懸浮微粒硫酸鹽濃度的偏高，尤其高雄市的硫酸鹽、硝酸鹽濃度皆為全省之冠，二者合計約佔總懸浮微粒的20%，值得注意。
4. 台灣地區各縣市總懸浮微粒五年平均值超過國家環境空氣品質標準者大部份位於嘉義以南縣市，可能與大氣傳送有關係，而 $\text{SO}_2$  超過空氣品質標準者則可能與當地 $\text{SO}_2$  局部污染源之分布有關。
5. 由於 $\text{SO}_2$  的分子量為 $\text{SO}_4^{2-}$ 的2/3倍，假設 $\text{SO}_2$  氣體可完全轉換為 $\text{SO}_4^{2-}$ 氣懸膠，則以我國 $\text{SO}_2$  年平均標準 $0.03\text{ppm}$  ( $79.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 而言， $\text{SO}_4^{2-}$ 年平均標準應為 $118.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但事實上 $\text{SO}_2$  不可能完全轉換為 $\text{SO}_4^{2-}$ ，以台北市 $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2$  之濃度比0.20（參見表7）言之，則吾人可約略求得台北市 $\text{SO}_4^{2-}$ 年平均值之上限值似為 $23.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因此，利用 $\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2$ 之濃度比可獲知各縣市 $\text{SO}_4^{2-}$ 年平均值之參考值，惟訂定 $\text{SO}_4^{2-}$ 年平均標準值尚需考慮其他因素。

因此，建議下列四點供為參考：

1. 從上述資料的分析，部份縣市各年的TSP、硫酸鹽、硝酸鹽等測值及趨勢變化幅度很大，且部份污染物濃度與當地的污染背景似有矛盾，因此採樣方法、分析方法、站址及實測作業均應有嚴格的品質管制及品質保證，避免因資料錯誤而誤判。
2. 加強重大污染源的列管、檢測、取締，尤其有關各地區的總量管制執行細節應儘快策訂，以快速降低 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NOx}$ 之排放總量，減少硫酸鹽、硝酸鹽的產生。
3. 加強 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NOx}$ 在大氣中化學反應機制、大氣傳送之影響及乾降、濕降（酸雨）間之關係。
4. 各地方環保單位應儘速提出空氣污染管制執行計畫，尤其污染較嚴重之縣市如高雄市、高雄縣，改善的腳步更需加快。

## 七、參考資料

- (1) Lipfert, F.W., S.C., Morris & R.E., Wyzga, Acid aerosols: The next criteria air pollutant. Environ. Sci. Technol., Vol.23, No.11, pp.1326-1322, 1989.
- (2) Tanner, R.L., B.P., Leaderer & J.D., Spengler, Acidity of atmospheric aerosols, Environ. Sci. Technol., Vol.15, No.10, pp.1150-1153, 1981.
- (3) Orel, A.E., J.H., Seinfeld, Nitrate Formation in Atmospheric Aerosols. Environ. Sci. Technol., Vol.11, No.10, pp.1000-1007, 1977.
- (4) 中鼎工程公司，北中南高地區空氣污染物總量調查及規劃第二階段報告，行政院環保署，1990。
- (5) Hidy, G.M., P.K. Mueller & E.Y., Tong, Spatial and Temporal distributions of airborne sulfate in parts of the United States. Atmos. Environ. Vol.12, pp.735-752, 1978.
- (6) 陳景森：台灣地區酸性沉降大氣輸送模式之研究，行政院環保署，pp.1-132，民國79年。
- (7) Council of Environmental Quality: 1985 Environmental Quality in U.S.A.
- (8) 行政院環保署，美國布希總統之「空氣清淨計畫」摘要報告13.pp, 1989.
- (9) Altshuller, A.P., Seasonal and episodic trends in sulfate concentrations (1963-1978) in the United States. Environ. Sci. Technol. Vol.14, No.11, pp.1337-1347, 1980.