

# CHAPTER 2-1

## 大氣污染之來源與影響

## Sources and Effects of Air Pollution

Hsunling Bai

Institute of Environmental Engineering

國立交通大學

*National Chiao Tung University*

# 第二章目錄

- 2-1 主要空氣污染物來源
- 2-2 主要大氣污染物
- 2-3 空氣污染對人類健康的影響
- 2-4 空氣污染對植物的影響
- 2-5 空氣污染對物質的影響

# 本週目錄

## • 2-1 主要空氣污染物來源

- 2-1.1. 燃料燃燒
- 2-1.2. 工業生產過程排放
- 2-1.3. 交通運輸過程中排放
- 2-1.4. 農業活動排放
- 2-1.5. 其他

## • 2-2 主要大氣污染物

- 2-2.1. 懸浮微粒Particulate Matter
- 2-2.2. 二氧化硫SO<sub>2</sub>, 硫氧化物SO<sub>x</sub>
- 2-2.3. 氮氧化物NO<sub>x</sub>
- 2-2.4. 一氧化碳CO
- 2-2.5. 臭氧, O<sub>3</sub>

## 2-1.1. 燃料燃燒

- 燃料（煤、石油、天然氣等）的燃燒過程是大氣污染物的重要發生源，其污染性大致以固體燃料(如煤炭)大於液體燃料(如石油)大於氣體燃料(如天然氣)。
- 煤是主要的工業和民用燃料，它的主要成分是**碳**，並含有**氫、氧、氮、硫及金屬**化合物。煤燃燒時除產生大量煙塵外，在燃燒過程中還會形成**一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、及有機化合物**等有害物質。
- **火力發電廠、鋼鐵廠、焦化廠、石油化工廠**和有大型**鍋爐**的工廠，根據工業企業的性质、規模的不同，對大氣產生污染的程度也不同。

## 2-1.2. 工業生產過程排放

工業生產過程中產生廢氣的工廠很多。例如，

- 石油化工業排放二氧化硫、硫化氫、二氧化碳、氮氧化物；
- 有色金屬冶煉工業排出的二氧化硫、氮氧化物以及含重金屬元素的煙塵；
- 磷肥廠排出氟化物；
- 酸鹼鹽化工工業排出二氧化硫、氮氧化物、氯化氫及各種酸性氣體；
- 鋼鐵工業在煉鐵、煉鋼、煉焦過程中排出粉塵、硫氧化物、氟化物、一氧化碳、硫化氫、酚、苯類、烴類等。
- 半導體廠排放之各類酸性(HF, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>..)及鹼性(NH<sub>3</sub>)無機氣體、揮發性有機物(異丙醇、丙酮..)、毒性氣體(AsH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, SiH<sub>4</sub>等氫化物及其氧化物)等。

總之，工業生產過程排放的污染物的組成與工業的性質密切相關。

各工業製程及其污染排放情形詳見**第四章之附錄章(Chap04a~04e檔案)**。

## 2-1.3. 交通運輸過程中排放

現代化交通運輸工具如汽車、飛機、船舶等排放的尾氣是造成都市大氣污染的主要來源。

內燃機燃燒排放的廢氣中含有一氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物、含氧有機化合物、硫氧化物和鉛的化合物等多種有害物質。

由於交通工具數量龐大，來往頻繁，故排放污染物的量也非常可觀。

## 2-1.4. 農業活動排放

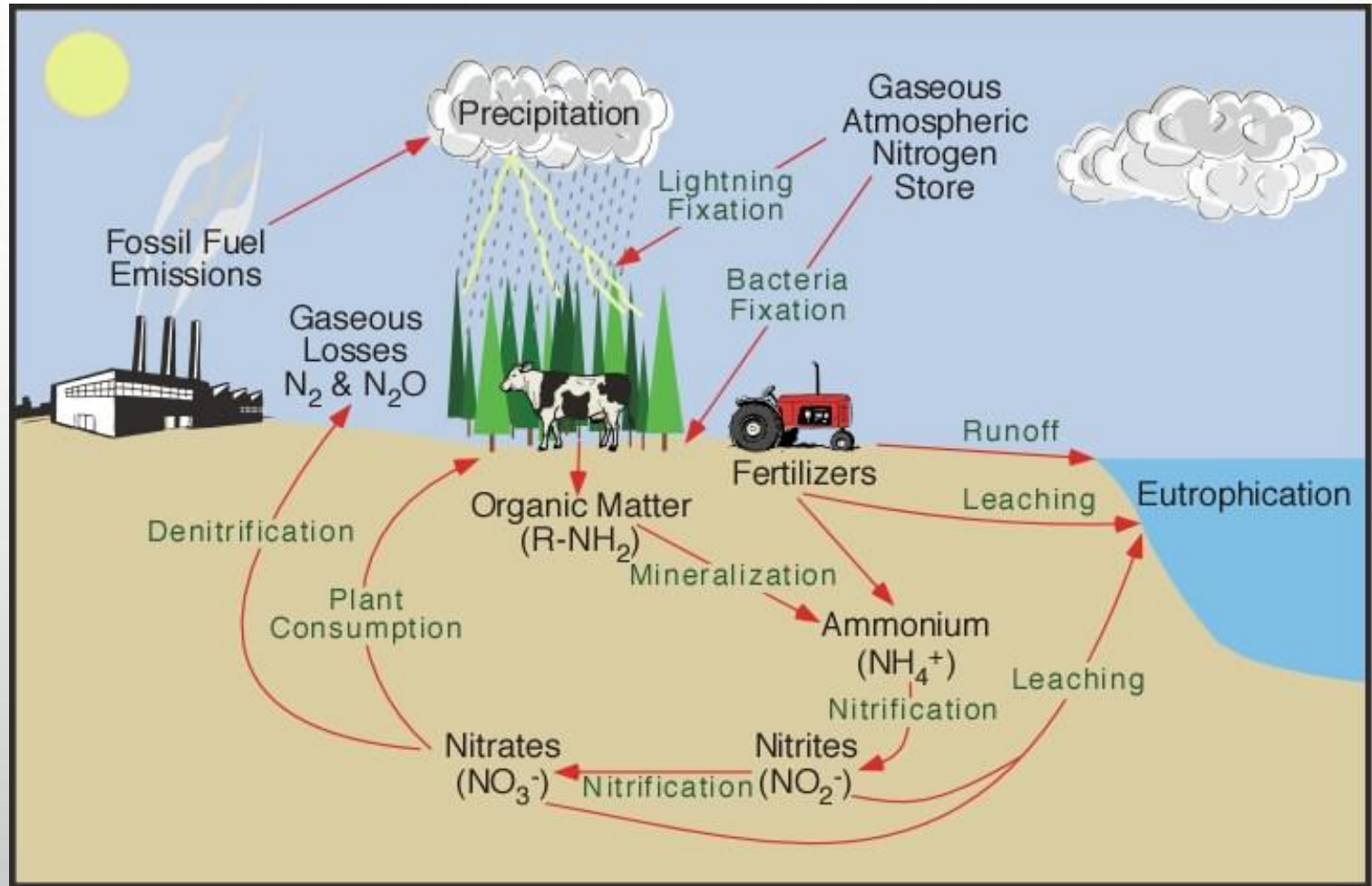
**農藥及化肥的使用**，對提高農業產量有著重大的作用，但也給環境帶來了不利影響，致使施用農藥和化肥的農業活動成為大氣的重要污染源。

田間施用農藥時，一部分農藥會以粉塵等顆粒物形式散逸到大氣中，殘留在作物體上或粘附在作物表面的仍可揮發到大氣中。進入大氣的農藥可以被懸浮的顆粒物吸收並隨氣流向各地輸送，造成大氣農藥污染。



## 2-1.4. 農業活動排放(續)

- 化肥在農業生產中的施用給環境帶來的不利因素。
- 氮肥在土壤中經一系列的變化過程會產生氮氧化物釋放到大氣中；氮在反硝化作用下可形成氮( $N_2$ )和氧化亞氮( $N_2O$ )釋放到大氣中， $N_2O$ 不易溶於水，可傳輸到平流層，並與臭氧相互作用，使**臭氧層**遭到破壞，其也是**溫室氣體**之一。
- 美國工程學院即把“Managing the Nitrogen Cycle”列為21世紀14項工程大挑戰之一





## 2-1.4. 農業活動排放(續)

**農廢燃燒**亦為重要空氣污染源之一，農民為了方便、消滅病蟲害、營養源等目的，而於農作收成後進行農廢燃燒。

目前對其管制仍停留在勸導階段，但因其所造成之空氣污染不僅有害一般百姓之健康，也對公路交通能見度造成影響，因此環保署及各地方環保局也逐漸採取較積極之手段，如罰款及對改採其他農廢處理方式者給與經費補助，以減少農廢燃燒之數量。

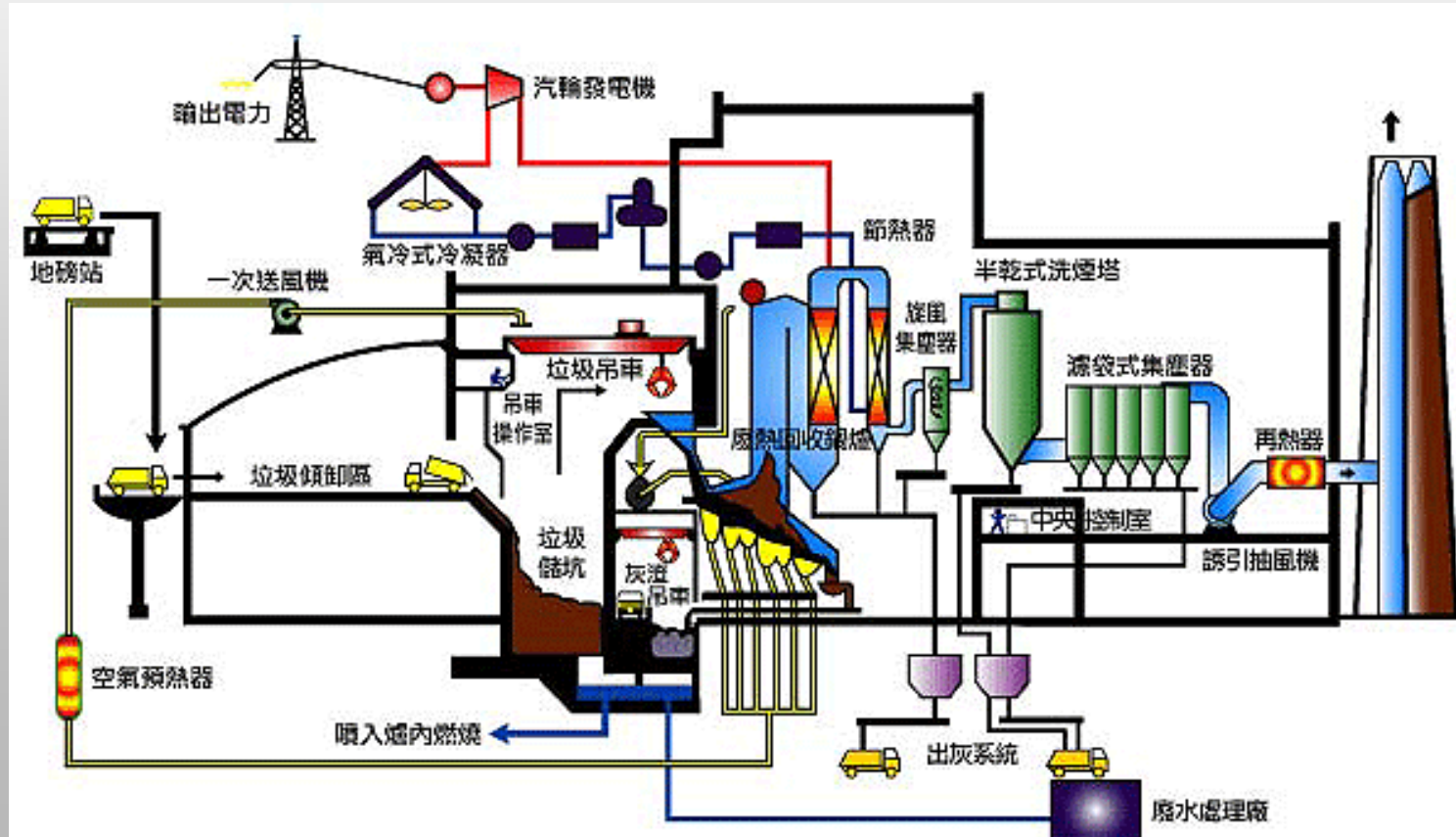


圖片來源: 大紀元時報 -

<https://www.epochtimes.com.tw/n234963/露天燒稻草-政院-空品惡化關鍵.html>

## 2-1.5.其他

如廢污水廠、固體廢棄物的處理(焚化爐、掩埋場)、營建工地等。



新竹市焚化廠垃圾處理流程圖  
([http://www.hccrip.com.tw/about\\_05.asp](http://www.hccrip.com.tw/about_05.asp))

## 2-2 主要大氣污染物

- 空氣污染物分兩大類：危害性空氣污染物(HAPs)和法規污染物（或稱主要污染物）(Criteria Pollutants)。
- 前者是局部性的,即發生在局部地區和少數特別地點,以排放標準規範污染源為最有效之管制辦法；
- 後者為普遍性的,大小污染源以及非點源散佈於全國,對大污染源除了以排放標準限制其排放,管制策略亦包含維持環境空氣品質標準。
- National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): Six common air pollutants called criteria pollutants are subject to regulation: ozone, lead (Pb), nitrogen dioxide, carbon monoxide, particulate matter and sulfur dioxide.



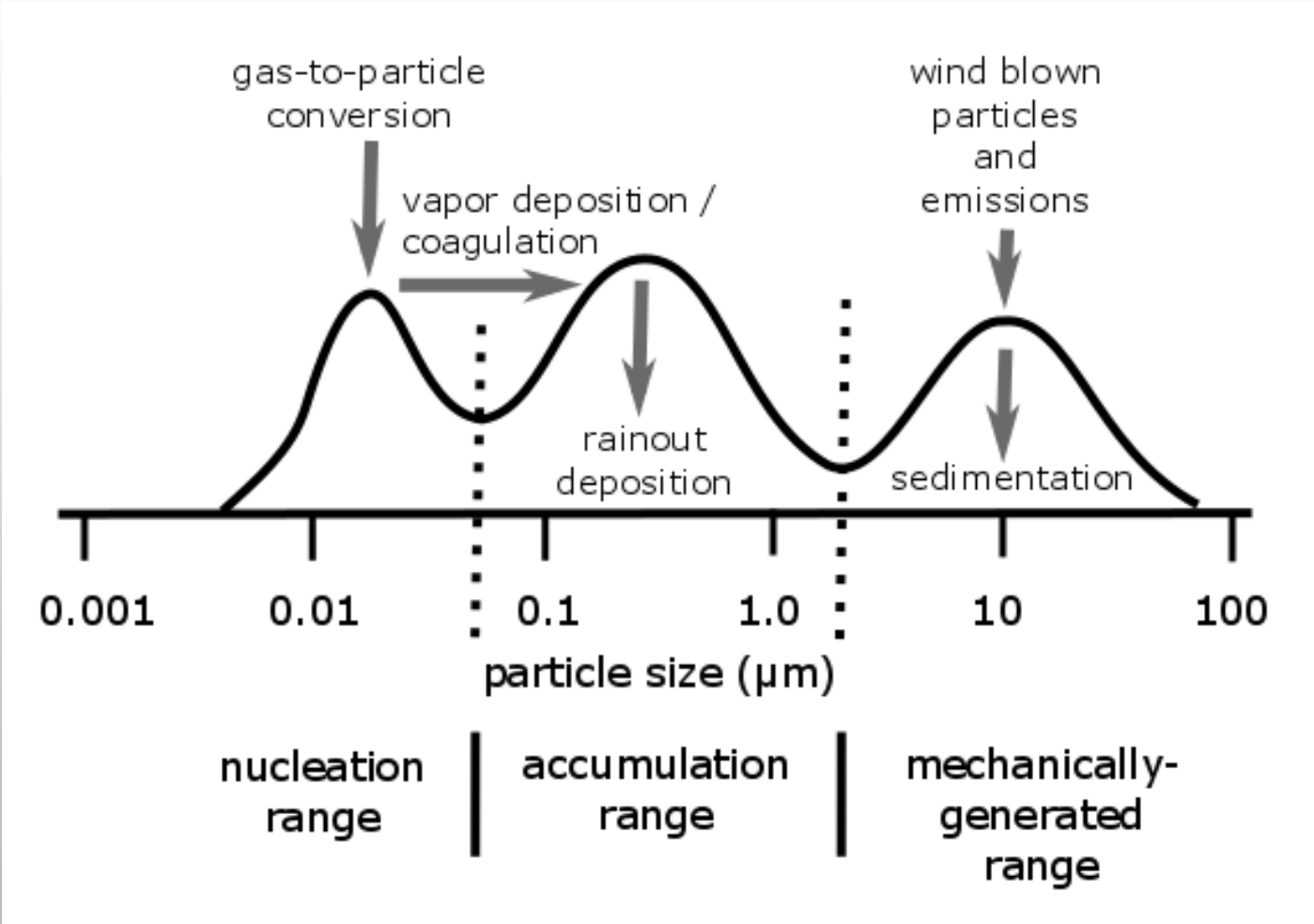
## 2-2.1. 懸浮微粒 (Particulate Matter)

- 懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 是指以固態，結晶或液態存在於大氣中的物質，粒徑大小從0.001至500微米( $\mu\text{m}$ )都有可能，但大部份約在0.1~10 $\mu\text{m}$ 之間。目前我國針對TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>訂有空氣品質標準。
- 小粒徑的粒狀物多為燃燒之污染物，燃燒後的有毒物質 (PAHs, 重金屬) 皆易吸附其上。因其粒徑小，更易通過呼吸道的攔截，而對人健康影響較大，**因其化學種類繁多，故並不存在對健康有害的最低閾值(threshold)**。
- 環境懸浮微粒之分佈一般顯示多峰 (Multi-Mode) 形式，對應於不同來源和成因而造成顆粒大小之差異。

## 2-2.1. 超細、細、粗粒子

- **超細微粒子**(小於 $0.08\mu\text{m}$ )主要來源為燃燒之直接排放和熱氣體冷卻而核子化(Nucleation)之結果。由於凝結作用(Condensation和Coagulation),超細微粒子只存在於排放源近處短暫時間,即形成較大氣膠Droplet( $0.08\sim 2.0\mu\text{m}$ )而累積(Accumulation)於空氣環境中。
- 粒子處於Nucleation和Accumulation粒徑範圍內,稱為**細微粒**(Fine Particle);大部分成份為硫酸,硫酸鹽、亞硫酸銨鹽、硝酸銨、有機碳和碳元素等。
- 直徑大於 $2\sim 3\mu\text{m}$ 之顆粒稱為**粗微粒子**(Coarse Particle);主要來源為研磨作用(Grinding);大部分成份近似於地質物質;花粉亦為此類。又當有嚴重空氣污染時,所形成之雲霧都歸為此類。

# 2-2.1. PM粒徑分布

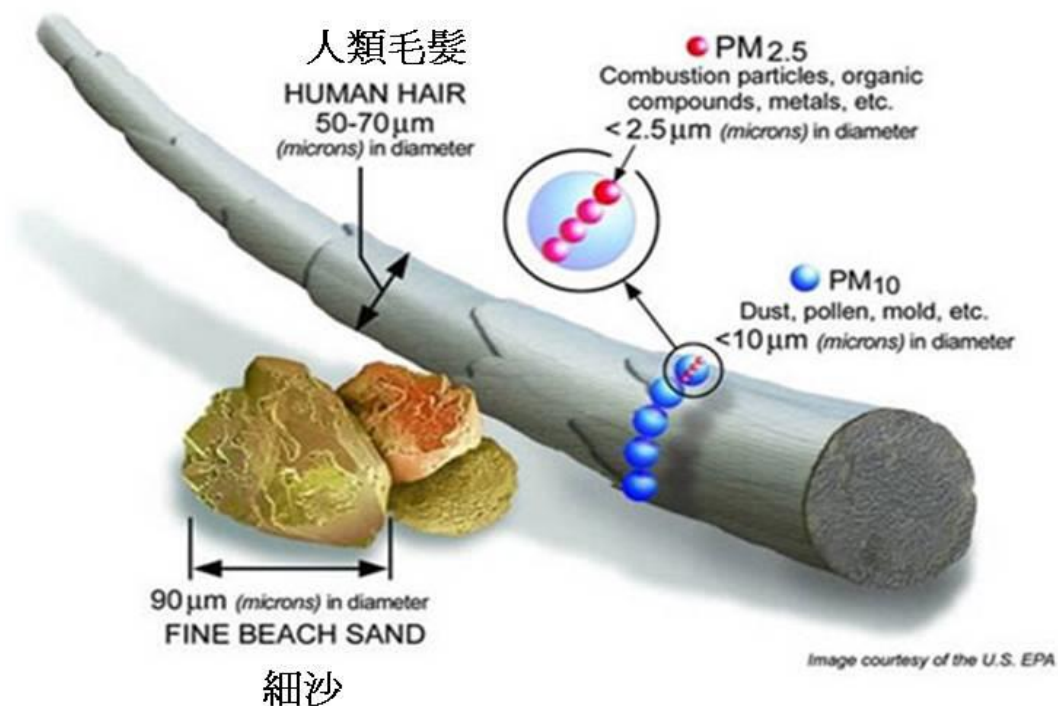


(Source: <https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/671> , credit: W. Brune)



## 2-2.1. PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>

### PM<sub>10</sub>與 PM<sub>2.5</sub>相對大小



PM<sub>10</sub>指粒徑小於10微米(μm)，可以懸浮在空氣中的顆粒; PM<sub>2.5</sub>則是指更小粒徑(<2.5μm)的顆粒，更容易被吸入人體肺腔內，對呼吸道造成健康效應。

## 2-2.1. PM形成機制與來源

- PM形成之機制、來源、化學成分、物理性質,甚至測量儀器篩選都會影響PM之屬性特徵。
- PM主要來源為石化燃料之燃燒、農業及森林之燃燒、營建工程、交通以及大氣中氣膠之二次形成。

## 2-2.1. Aerosol dust, smoke, soot

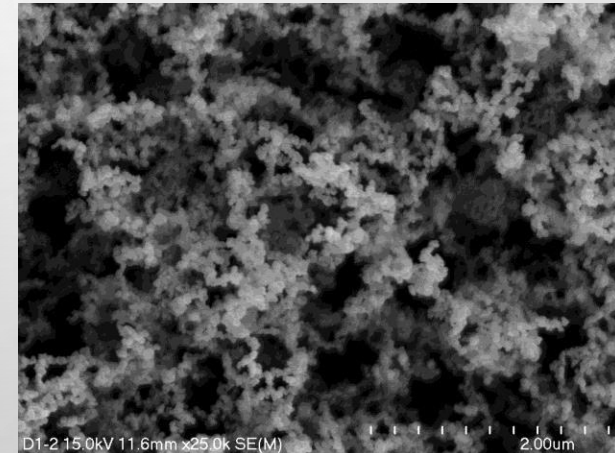
表 2-1 氣膠形態及其主要形成特徵

形態	分散質	粒徑(μm)	形成特徵	主要效應
輕霧(mist)	小滴	> 40	霧化、冷凝過程	淨化空氣
濃霧(fog)	液滴	< 10	霧化、蒸發、凝結和凝聚過程	降低能見度，有時影響人體健康
粉塵(dust)	固體粒子	> 1	機械粉碎、揚塵、煤燃燒	能形成水核
煙塵(fume)	固液微粒	0.01~1	蒸發、凝聚、昇華等過程，一旦形成很難再分散	影響能見度
煙(smoke)	固體微粒	< 1	昇華、冷凝、燃燒過程	降低能見度、影響人體健康
煙霧(smog)	液滴和固體微粒	< 1	冷凝過程、化學反應	同上
煤煙(soot)	固體微粒	~0.5	燃燒過程、昇華過程、冷凝過程	影響人體健康
霾(haze)	液滴固粒	< 1	凝聚過程、化學反應	濕度小時有吸水性，其他同煙

Source: burning of wood, diesel and other fuels; industrial plants; agriculture (plowing, burning off fields); unpaved roads

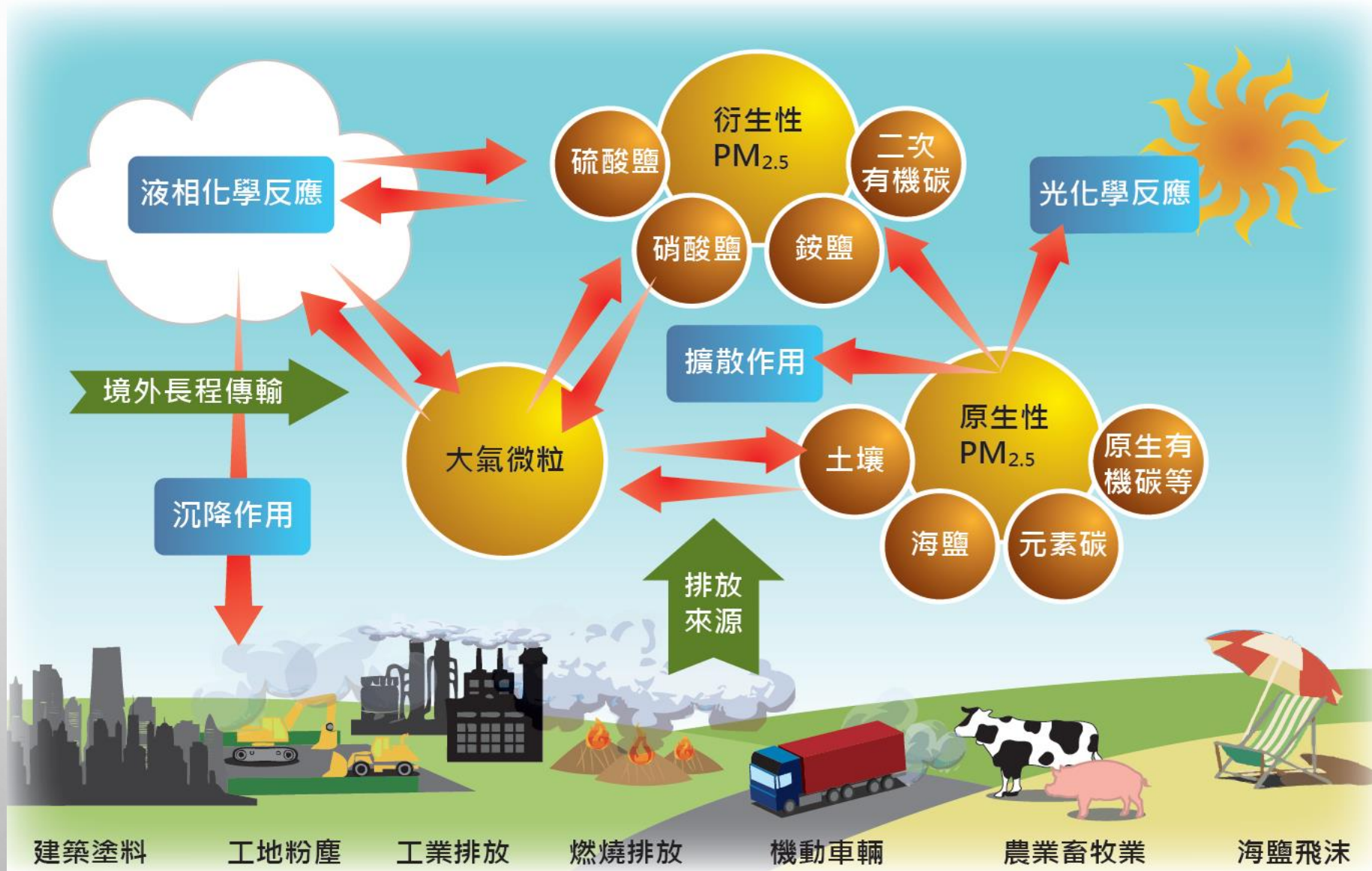
## 2-2.1. Soot and Carbon black

- **CARBON BLACK AND SOOT: TWO DIFFERENT SUBSTANCES:**(Watson AY, Valberg PA., AIHAJ. 2001 Mar-Apr;62(2):218-28.)
- **CARBON BLACKS ARE MANUFACTURED UNDER CONTROLLED CONDITIONS FOR COMMERCIAL USE PRIMARILY IN THE RUBBER, PAINTING, AND PRINTING INDUSTRIES.**
- **SOOTS ARE UNWANTED BYPRODUCTS FROM THE COMBUSTION OF CARBON-BASED MATERIALS FOR THE GENERATION OF ENERGY OR HEAT, OR FOR THE DISPOSAL OF WASTE.**
- **GREATER THAN 97% OF CARBON BLACK CONSISTS OF ELEMENTAL CARBON. DEPENDING ON THE TYPE OF SOOT, THE RELATIVE AMOUNT OF CARBON (< 60% OF THE TOTAL PARTICLE MASS), THE TYPE OF PARTICULATE CARBON, AND PARTICLE CHARACTERISTICS (SIZE, SHAPE, AND HETEROGENEITY) CAN VARY CONSIDERABLY.**





# PM<sub>2.5</sub>生成與來源



## 2-2.1. PM10

下圖為各污染物之排放源分布(TEDS8.1, 2010年資料)

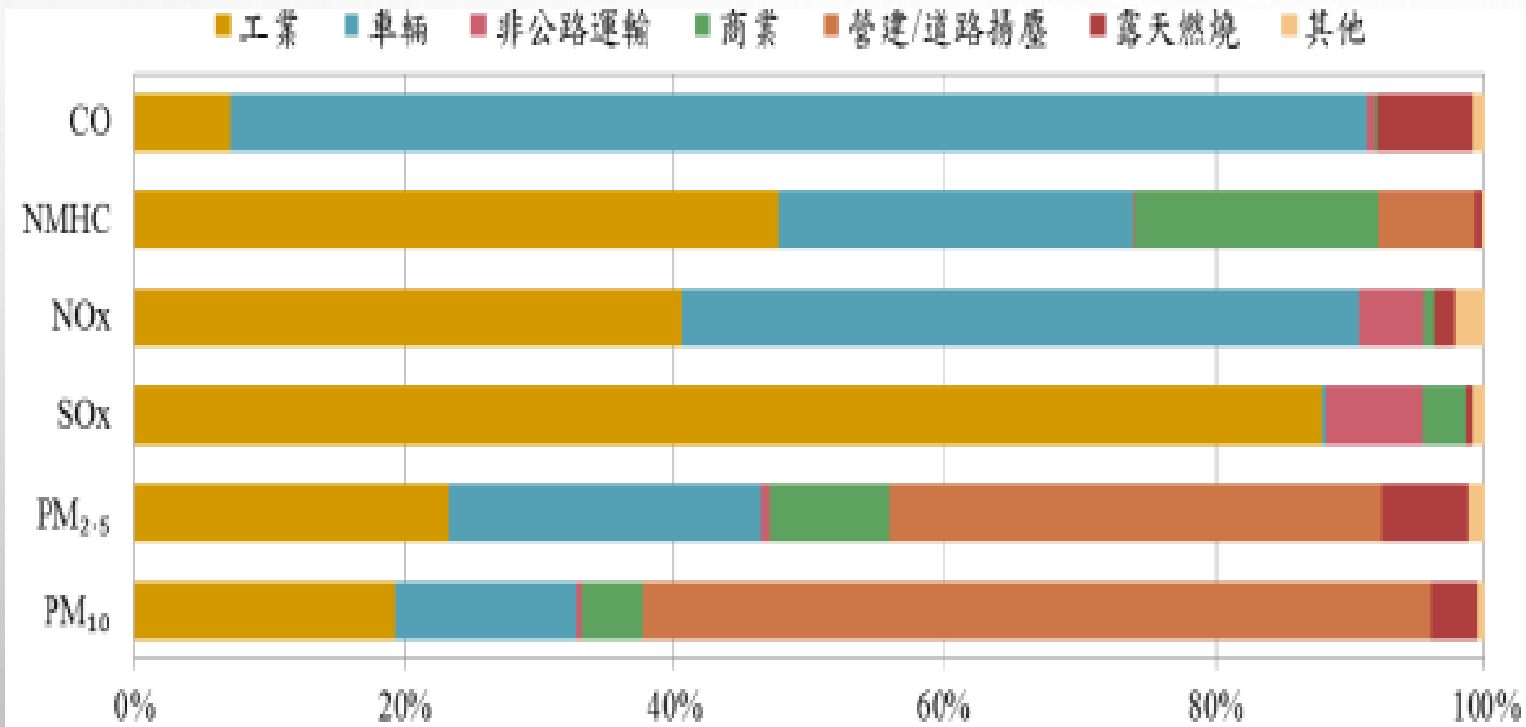


圖 3、全國空氣污染物排放來源貢獻比率(TEDS8.1)

若與1993年時PM<sub>10</sub>來源相較:

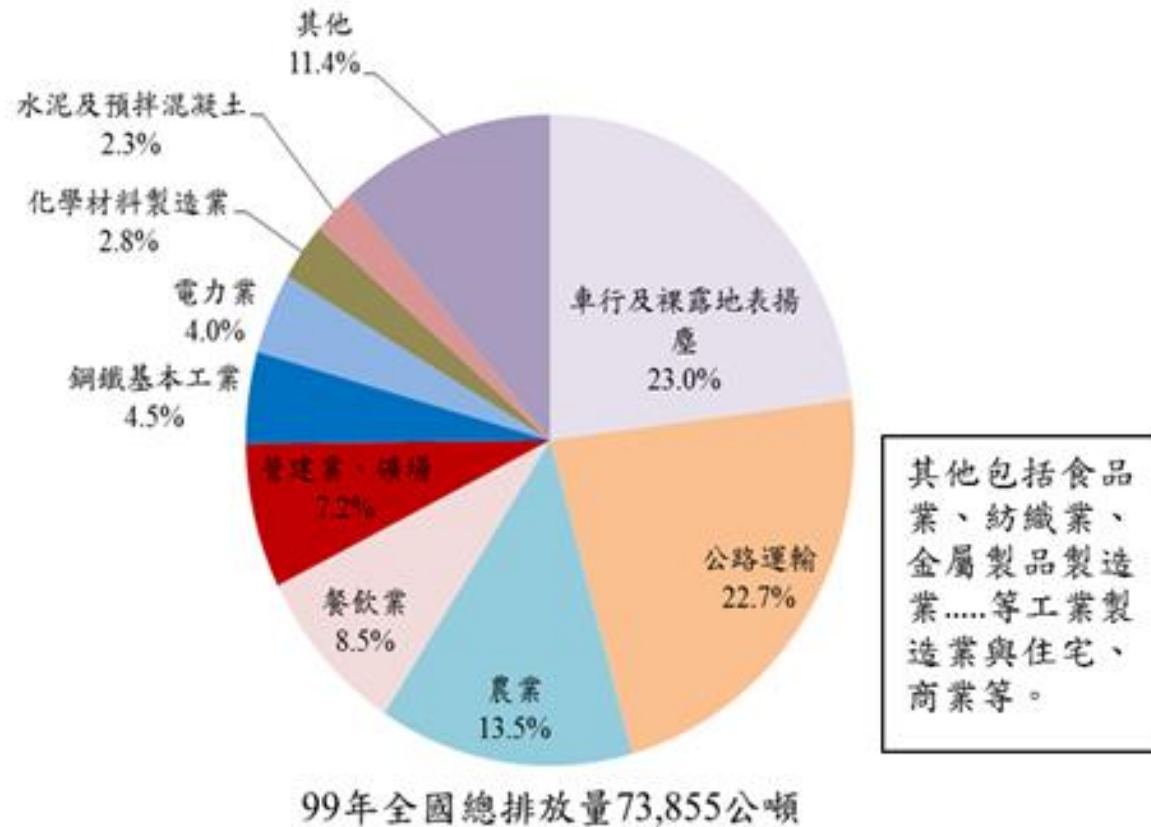
- 工業製程 (41.3%)：鋼鐵業、化學材料製造。
- 逸散性粒狀物 (34.6%)：道路揚塵、營建。
- 交通 (10.8%)：汽機車。
- 固廢及農廢燃燒 (8.4%)。

可以看到這十多年來的較大差異是工業製程占比漸減，逸散源比例增多。



# 2-2.1. PM2.5

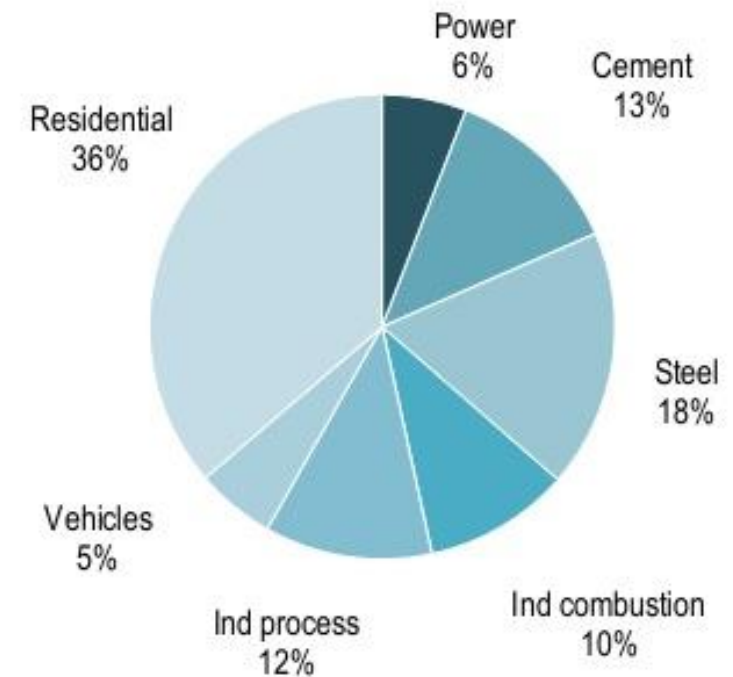
## 2010年 台灣PM2.5排放源分析



## 2010年 中國 PM2.5排放源分析

Figure 25: PM2.5 primary emission—China, 2010

China PM2.5 primary emission (2010)



## 2-2.1. PM10 監測結果

表 2-2 中華民國環保署空氣污染物監測結果<sup>(註)</sup>

懸浮微粒 (PM10)	年(月)平均 值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	小時平均值超 過 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之時數比率, %	日平均值超過 $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之日數比率, %
83年	70.51	2.78	11.36
84年	67.48	2.28	10.01
85年	64.47	2.13	9.66
86年	62.72	1.24	6.73
87年	58.15	1.33	6.27
88年	59.95	1.27	6.65
89年	59.39	1.48	7.45
	國家環境保護計畫目標值		
90年	55.15		
95年	<55.15		
100年	<55.15		

註: 環保署於民國 87 年 7 月 2 日制定「國家環境保護計畫」, 擬定短中長程計畫(至100年), 2014年發布的國家環境保護計畫並未更新此短中長程計畫。

<https://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=28708&ctNode=31614&mp=epa>

## 2-2.1. PM10: 與國外數值相較

### 與國外PM10年平均數值相較:

**Table 2.9** Summary of PM<sub>10</sub> measurements ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<i>Country</i>	<i>Annual concentration</i>	<i>Source</i>
Canada <sup>a</sup>	9–32	Environment Canada, 2000
Costa Rica <sup>b</sup>	38–54	Ministerio de Planificac[i]on, 2000
Japan <sup>c</sup>	32	Japanese Government, 2000b
New Zealand 2–10 (24 hr) rural	25–35 (24 hr) urban	New Zealand Government, 2000
Singapore (1998)	35	Singapore Government, 2000
UK <sup>d</sup>	12–46	DETR, 2000b
US <sup>e</sup>	10.0–46.9	USEPA, 2000

*a) Range of annual average levels for all NAP stations and cities for 1998*

*b) 1995–1997 San Jose (sampling duration not known)*

*c) Average levels from over 1500 general environmental monitoring stations for 1998*

*d) Range of annual average levels for UK automated sites for 1999*

*e) New York range of 11 sites*

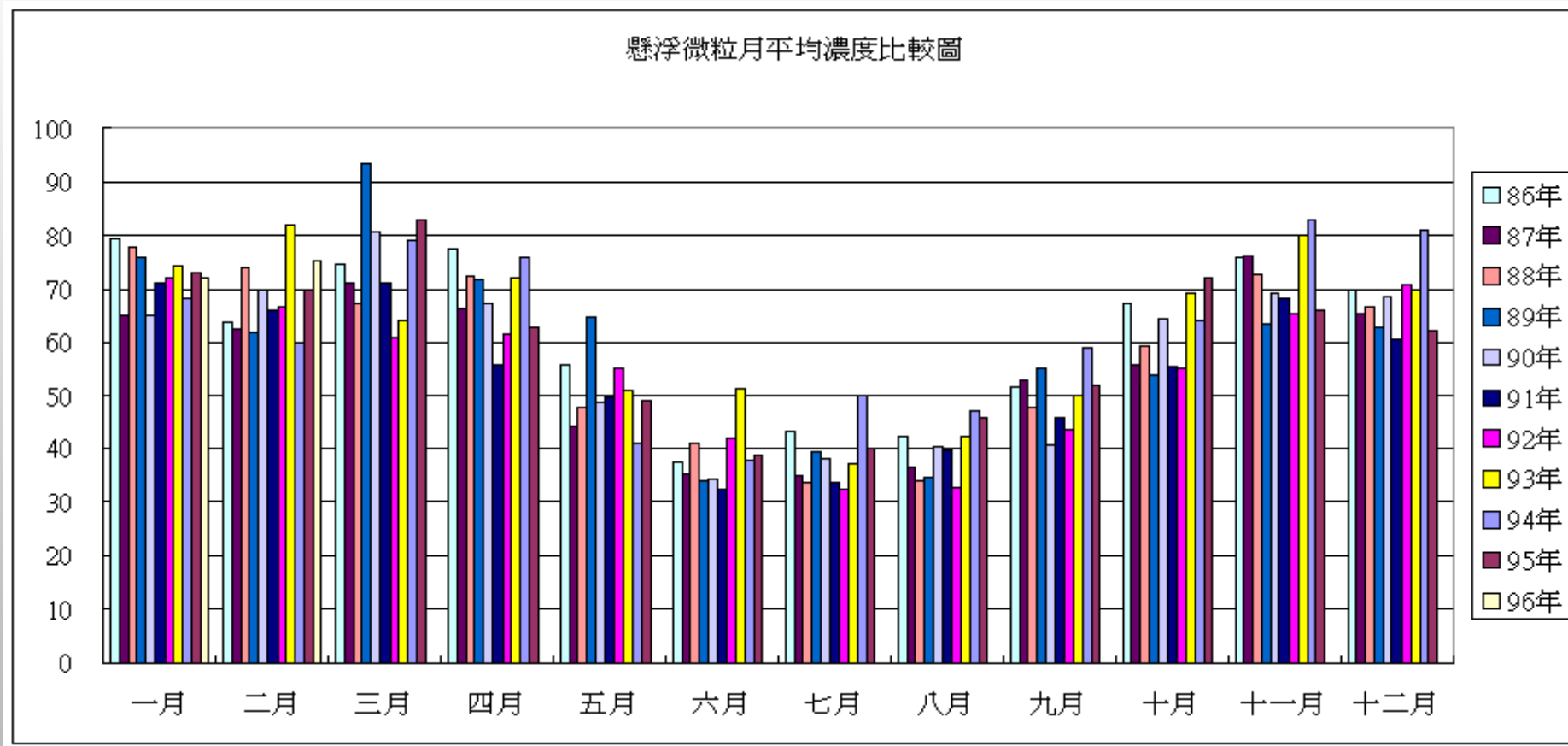
(Ref: Table 2.9 from Harrop, “Air quality assessment and management: a practical guide”, 2002.)

22

若與國外數值相較，台灣的PM10監測濃度(見前一頁表中監測值)明顯較國外高。

# 2-2.1. PM10逐月及逐年變化趨勢

我國之PM10年(月)變化趨勢



註: 環保署網站已不再提供污染物之全國月平均值變化趨勢, 因此只有86至96年之數據。

# 2-2.1. PM10

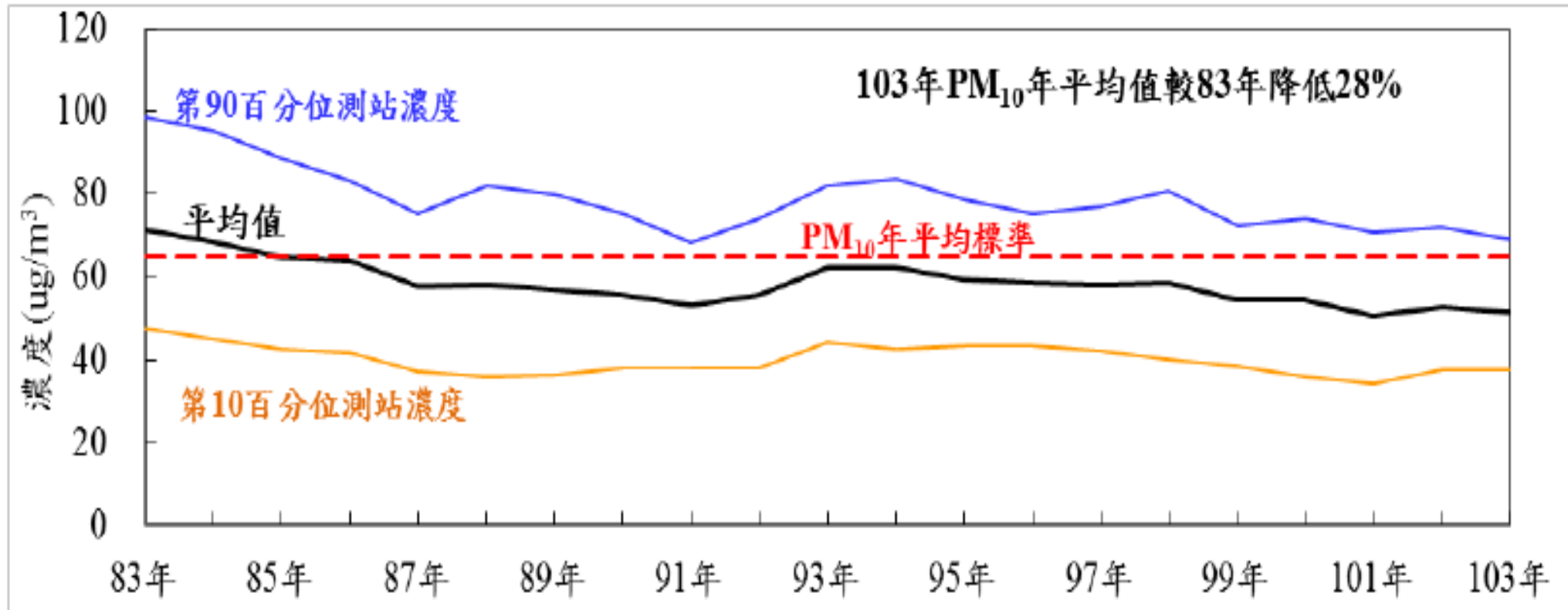
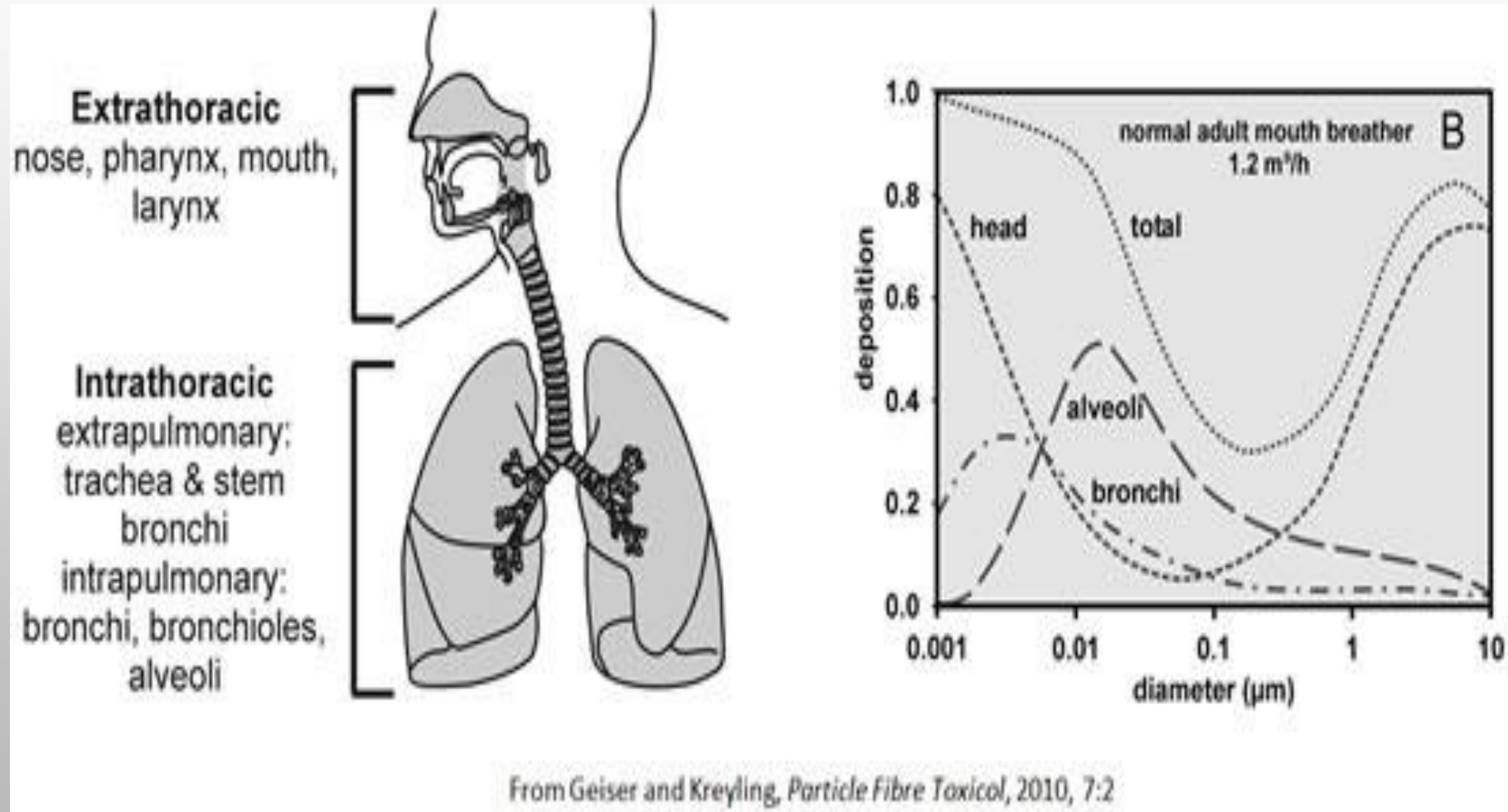


圖 18、趨勢一般測站歷年懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)年平均變化

## 2-2.1. PM10及PM2.5





## 2-2.1. PM10及PM2.5

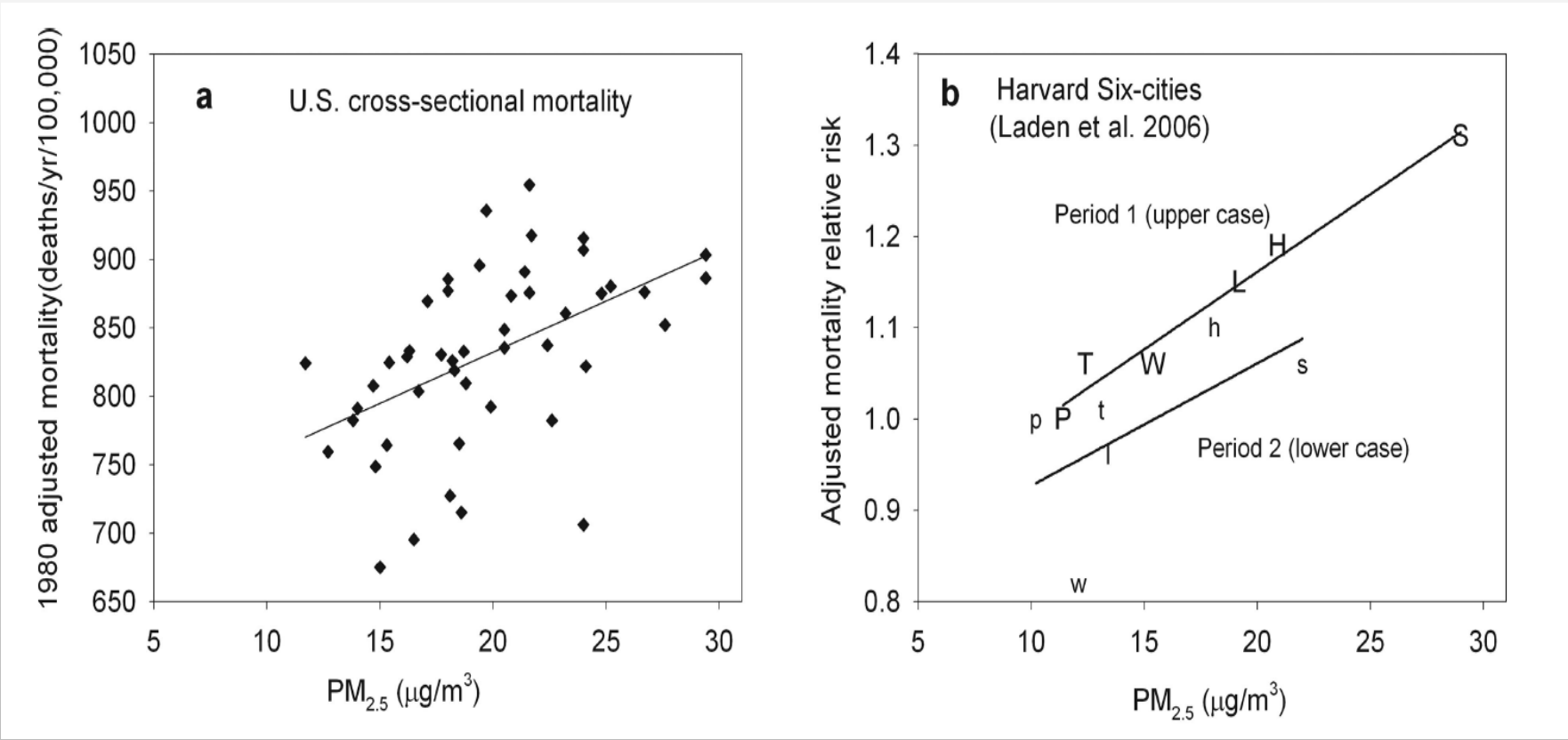
Health Effects: nose and throat irritation, lung damage, bronchitis, early death

**急性健康效應**：引發氣喘病的發生。氣喘的加劇、肺功能的降低、胸痛、咳嗽、呼吸困難、以及其他呼吸道病症。

**慢性呼吸效應**：肺功能的降低、肺部組織細胞及結構的變化、呼吸道防衛機能的減退、慢性支氣管炎、肺氣腫、氣喘、慢性阻塞性呼吸道疾病、以及肺癌。碳煙會導致皮膚病及變態性疾病。

# 2-2.1. PM10及PM2.5

## PM2.5和致死率(Mortality)之相關性



Reference source: Pope and Dockery, J of Air & Waste Manage. Assoc. (2006), 56:709-742

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

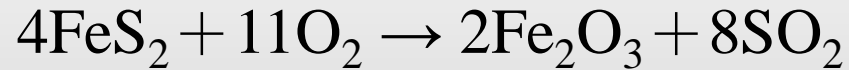
硫氧化物 (SO<sub>x</sub>) 主要是指二氧化硫 (SO<sub>2</sub>) 和三氧化硫 (SO<sub>3</sub>)，以SO<sub>2</sub>為主。二氧化硫是無色，有刺激性氣味的氣體，其本身毒性不大，動物連續接觸30 ppm 的SO<sub>2</sub>無明顯的生理學影響。

大氣中SO<sub>2</sub>主要來源於含硫燃料的燃燒過程，如燃燒重油、生煤，以及硫化物礦石的焙燒、冶煉過程。火力發電廠、有色金屬冶煉廠、硫酸廠、煉油廠和所有燒煤或油的工業爐、爐灶等都排放SO<sub>2</sub>煙氣。

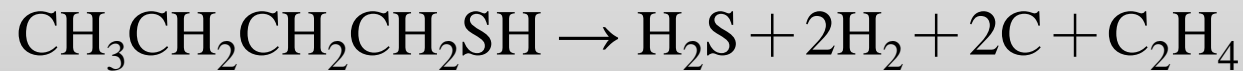
在排放SO<sub>2</sub>的各種過程中約有96%來自燃料燃燒過程，其中火力發電廠排煙中的SO<sub>2</sub>，濃度雖然較低，但總排放量卻最大。少數SO<sub>2</sub>來源於汽油引擎車所排放。

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

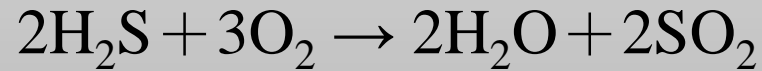
- 通常煤的含硫量為0.5~6%，石油為0.5~3%。
- 硫在燃料中可以無機硫化物或有機硫化物的形式存在。無機硫絕大部分以硫化礦物形式存在，在燃燒時生成SO<sub>2</sub>，例如：



- 有機硫包括硫醇、硫醚等，在燃燒過程中先形成H<sub>2</sub>S，如硫醇的燃燒產物：

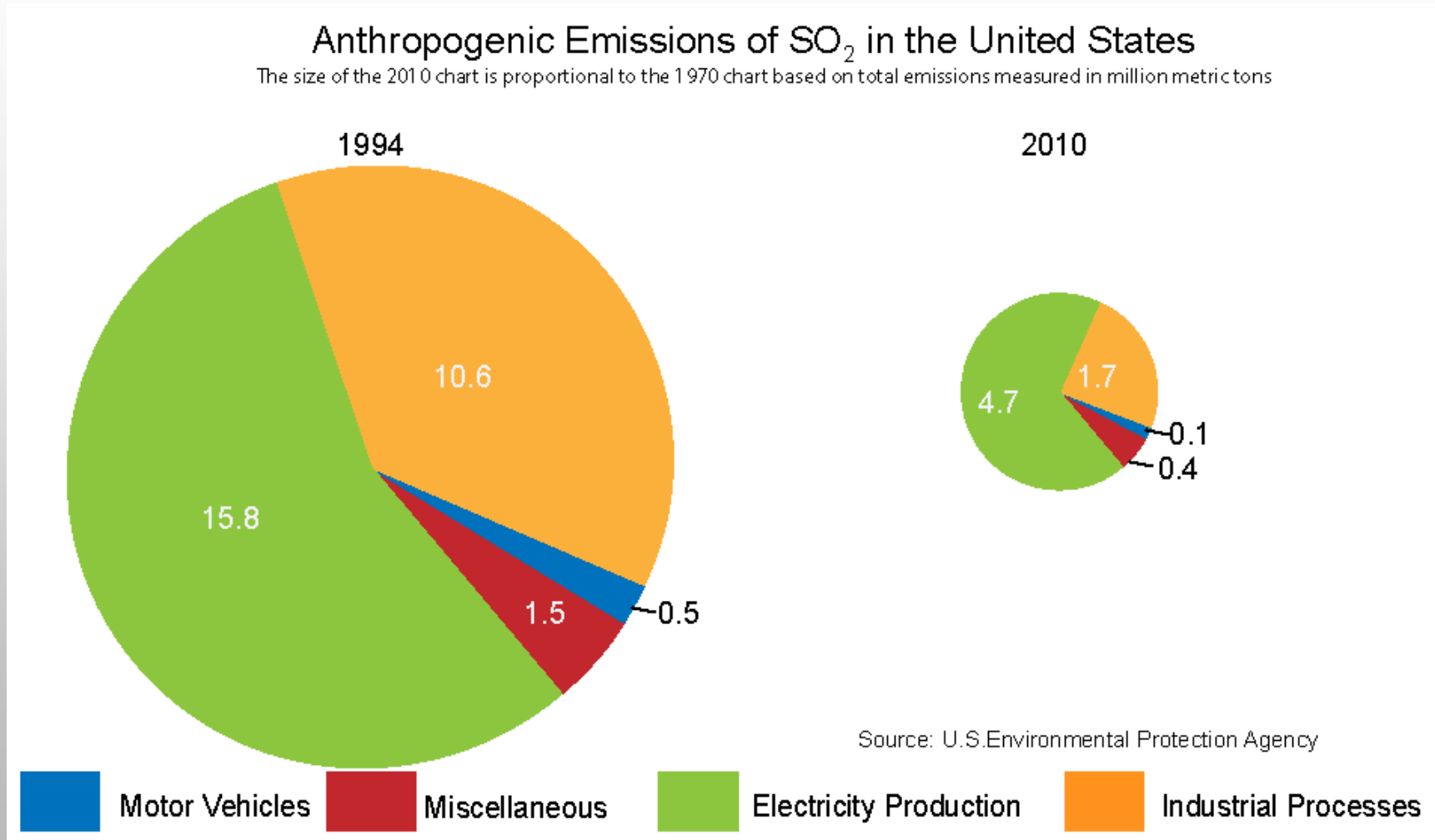


- 生成的H<sub>2</sub>S再被氧化為SO<sub>2</sub>：



- 燃料中的硫酸鹽類硫化物不參與燃燒反應，燃燒後多殘存於灰中，此種硫化物為非可燃性硫化物。

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

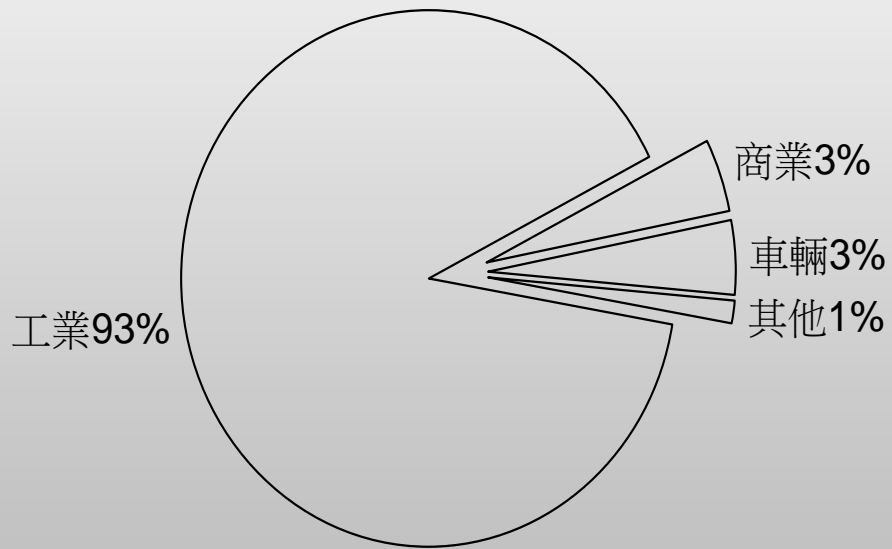


# 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

全國各類污染源空氣污染物排放量及排放量比率(2010年)

SOx Emission in 2000, Taiwan

Total SOx Emissions:  
348 Thousand Tons, 15.66 kg/ca



空氣污染物 污染源	細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )		硫氧化物(SO <sub>x</sub> )		氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	
	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率
工業(含電力業)	16,865	23%	<b>105,261</b>	<b>88%</b>	176,100	41%
車輛	16,756	23%	<b>343</b>	<b>0%</b>	217,109	50%
非公路運輸	601	1%	<b>8,559</b>	<b>7%</b>	21,033	5%
商業	6,440	9%	<b>3,651</b>	<b>3%</b>	3,684	1%
營建/道路揚塵	27,662	37%	<b>0</b>	<b>0%</b>	0	0%
露天燃燒	4,601	6%	<b>574</b>	<b>0%</b>	6,577	2%
其他	930	1%	<b>1,332</b>	<b>1%</b>	9,657	2%
總排放量	73,855	100%	<b>119,720</b>	<b>100%</b>	434,160 <sup>31</sup>	100%



## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

表2-3 中華民國環保署空氣污染物監測結果

二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	年(月)平均值ppm	小時平均值超過0.25 ppm之時數比率, %	日平均值超過0.1 ppm之日數比率, %
83年	0.009	0.01	0.22
84年	0.009	0.01	0.49
85年	0.007	0.04	0.10
86年	0.006	0	0
87年	0.006	0	0
88年	0.005	0	0
89年	0.004	0	0
	國家環境保護計畫目標值		
90年	0.006		
95年	< 0.006		
100年	< 0.006		

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

與國外SO<sub>2</sub>年平均數值相較:

**Table 2.10** Summary of SO<sub>2</sub> measurements (µg/m<sup>3</sup>)

<i>Country</i>	<i>Annual concentration</i>	<i>Source</i>
Canada <sup>a</sup>	2.7–58.5	Environment Canada, 2000
Japan <sup>b</sup>	10.6	Japanese Government, 2000b
Singapore (1998)	20	Singapore Government, 2000
UK <sup>c</sup>	1.6–21	DETR, 2000b
US <sup>d</sup>	2.7–37.2	USEPA, 2000

*a) Range of annual average levels for all NAP stations and cities for 1998*

*b) Annual average levels from over 1500 general environmental monitoring stations for 1998*

*c) Range of annual average levels for UK automated sites for 1999*

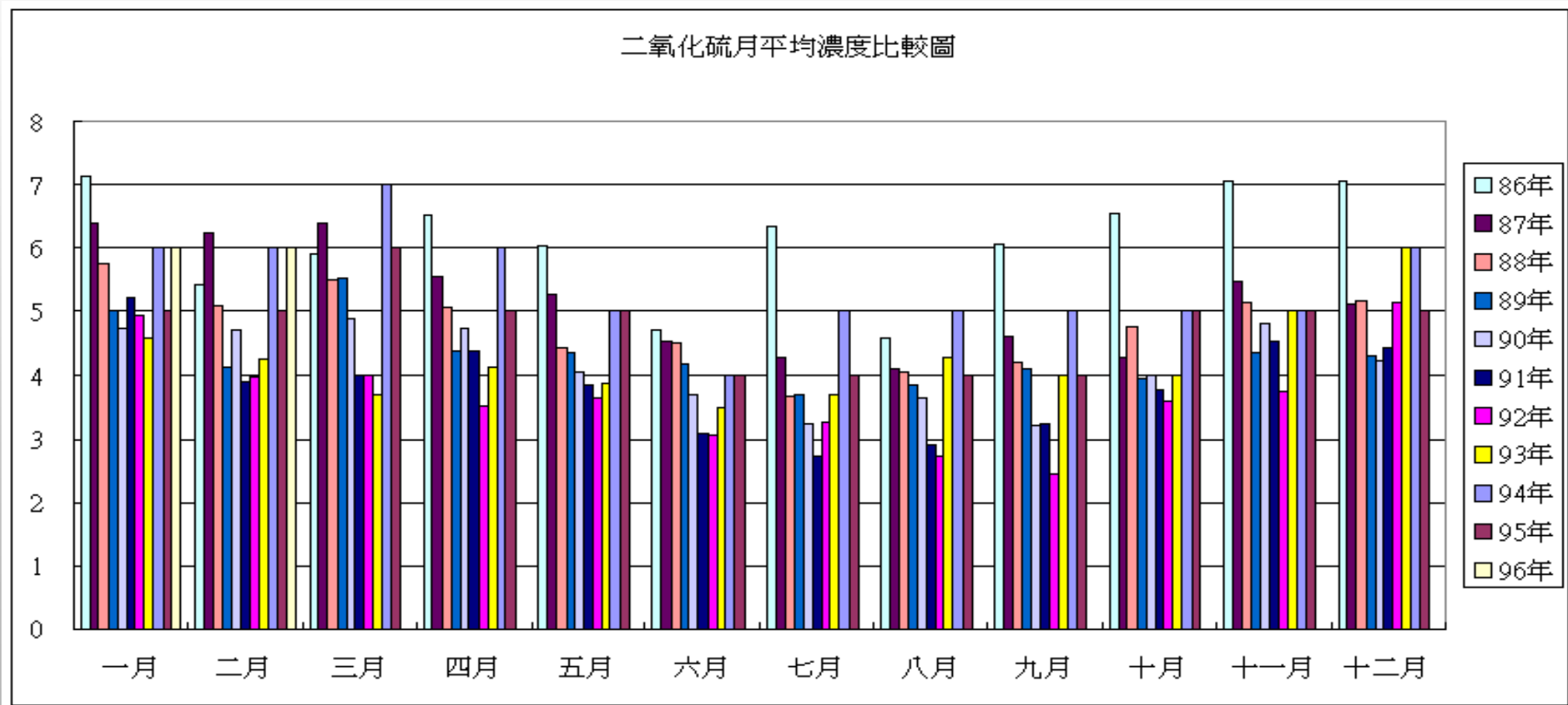
*d) New York range of 25 sites (ppm)*

Ref: Table 2.10 from Harrop, “Air quality assessment and management: a practical guide”, 2002.

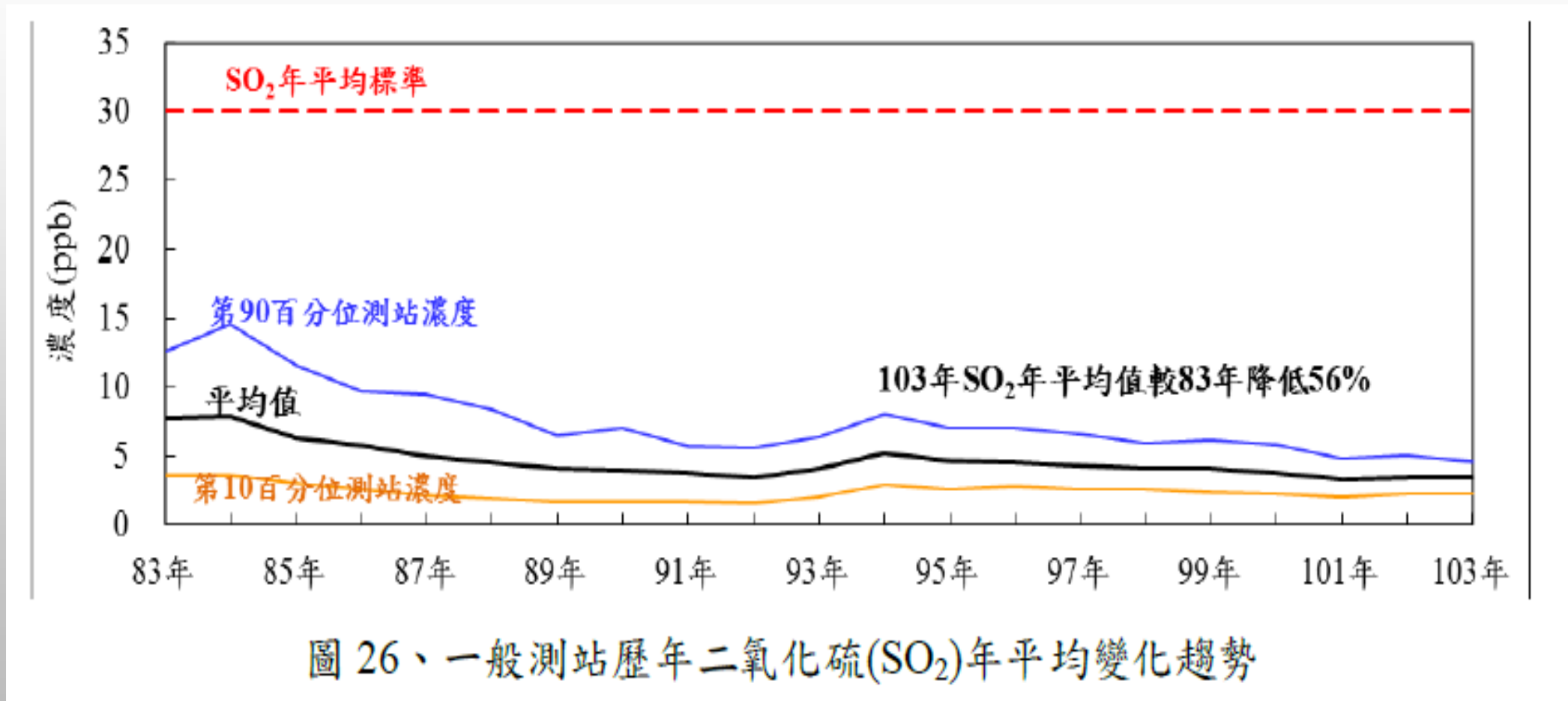
Note: 10 µg/m<sup>3</sup> of SO<sub>2</sub> at 25°C corresponds to roughly around 3.8 ppbv.

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

我國之SO<sub>2</sub>年(月)變化趨勢:



## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>



(Ref Source: 中華民國103年度空氣污染防制總檢討; 環保署空保處 [http://air.epa.gov.tw/Public/download\\_one.aspx](http://air.epa.gov.tw/Public/download_one.aspx); 已無法取得連結)

## 2-2.2. 二氧化硫 SO<sub>2</sub>

健康效應: 對眼睛和呼吸道黏膜產生刺激，呼吸短促、氣喘、支氣管炎。

Environmental Effects: SO<sub>2</sub> is an ingredient in acid rain (acid aerosols), which can damage trees and lakes.

Acid aerosols can also reduce visibility.

SO<sub>2</sub>在大氣中，尤其在污染大氣中易被氧化形成SO<sub>3</sub>，再與水分子結合生成硫酸分子，經過均相或非均相成核作用，形成**硫酸氣膠**，並同時發生化學反應生成**硫酸鹽**。硫酸和硫酸鹽可形成硫酸煙霧和酸性降水，造成較大的危害。SO<sub>2</sub>所以被作為重要的大氣污染物，原因就在於它參與了硫酸煙霧和酸雨的形成。

Property Damage: acid aerosols can eat away stone used in buildings, statues, monuments, etc.



## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 種類很多，它是NO、NO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NO<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等氮氧化物的總稱。造成大氣污染的NO<sub>x</sub>主要是指NO和NO<sub>2</sub>。

Source: burning of gasoline, natural gas, coal, oil etc. Cars are an important source of NO<sub>2</sub>.

燃燒室內的高溫、富氧與高溫反應時間是NO<sub>x</sub>排放的主要成因，機動車輛、火力電廠及工廠鍋爐之燃料在高溫燃燒時，由於燃料中氮化物與空氣中過量的氮和氧反應產生氮氧化物，溫度越高時越易產生。

燃燒源可分為移動燃燒源和固定燃燒源。城市大氣中的NO<sub>x</sub>一般2/3來自汽車等流動源的排放，1/3來自固定源的排放。

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

燃燒產生的NO<sub>x</sub>主要是NO，只有很少一部分被氧化為NO<sub>2</sub>。一般都假定燃燒產生的NO<sub>x</sub>中的NO占90%以上。燃料燃燒生成的NO<sub>x</sub>可分為以下兩種：

- (1) 燃料型FUEL NO<sub>x</sub>：燃料中含有的氮的化合物在燃燒過程中氧化生成NO<sub>x</sub>。
- (2) 溫度型THERMAL NO<sub>x</sub>：燃燒時空氣中的N<sub>2</sub>在高溫下氧化生成NO<sub>x</sub>。

● 燃燒過程中，NO<sub>x</sub>形成的機理為鏈反應機制，如：

- $O_2 \rightarrow O + O$  (極快)
- $O + N_2 \rightarrow NO + N$  (極快)
- $N + O_2 \rightarrow NO + O$  (極快)
- $N + OH \rightarrow NO + H$  (極快)
- $NO + 1/2 O_2 \rightarrow NO_2$  (慢)

燃燒過程產生的高溫使氧分子熱裂解為原子，氧原子和空氣中氮分子反應生成NO和氮原子，氮原子又和氧分子反應生成NO和氧原子。此外，氮原子可與火焰中的OH自由基反應生成NO和氫原子。

## 2-2.3. 氮氧化物 $\text{NO}_x$

- 燃燒過程中NO的生成量主要與燃燒溫度和空燃比(air/fuel ratio)有關。
- 所謂“空燃比A/F ratio”是指空氣的質量除以燃料的質量。
- 當燃燒完全時，即無過量的 $\text{O}_2$ 時，空氣與燃料的混合物就稱為化學計量混合物，此時的空氣質量與燃料的比例為**化學計量A/F ratio**。

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

- 對於典型的汽油，其化學計量A/F ratio為14.6。假若空氣與燃料的混合物中空氣的量少於化學計量的量，那麼此燃料混合物稱為“富燃料(fuel rich)”；而空氣的量過量時，稱為“貧燃料(fuel lean)”。
- 以汽車尾氣為例，燃燒溫度和NO的生成量的關係如表2-4所示，其為燃燒達快速平衡時之理論值，實際上要達成此理論值並不容易。若無污染控制，一般在煙囪出口處之NO<sub>x</sub>實際濃度值約為300~1200ppm，而NO與NO<sub>2</sub>之比值為10~20間。
- A/F ratio低時，尾氣中HC、CO含量高，而NO含量低；A/F ratio逐漸增高，NO含量增加；A/F ratio等於化學計量時，NO達到最大值；當A/F ratio超過化學計量時，由於空氣過量使火焰冷卻，NO又降低。
- 一般為達完全燃燒，燃燒多以略微過量空氣方式進行之，此將會增加NO之生成。

表2-4 汽車尾氣燃燒溫度和NO生成量（此表乃依照理論計算，僅供參考）

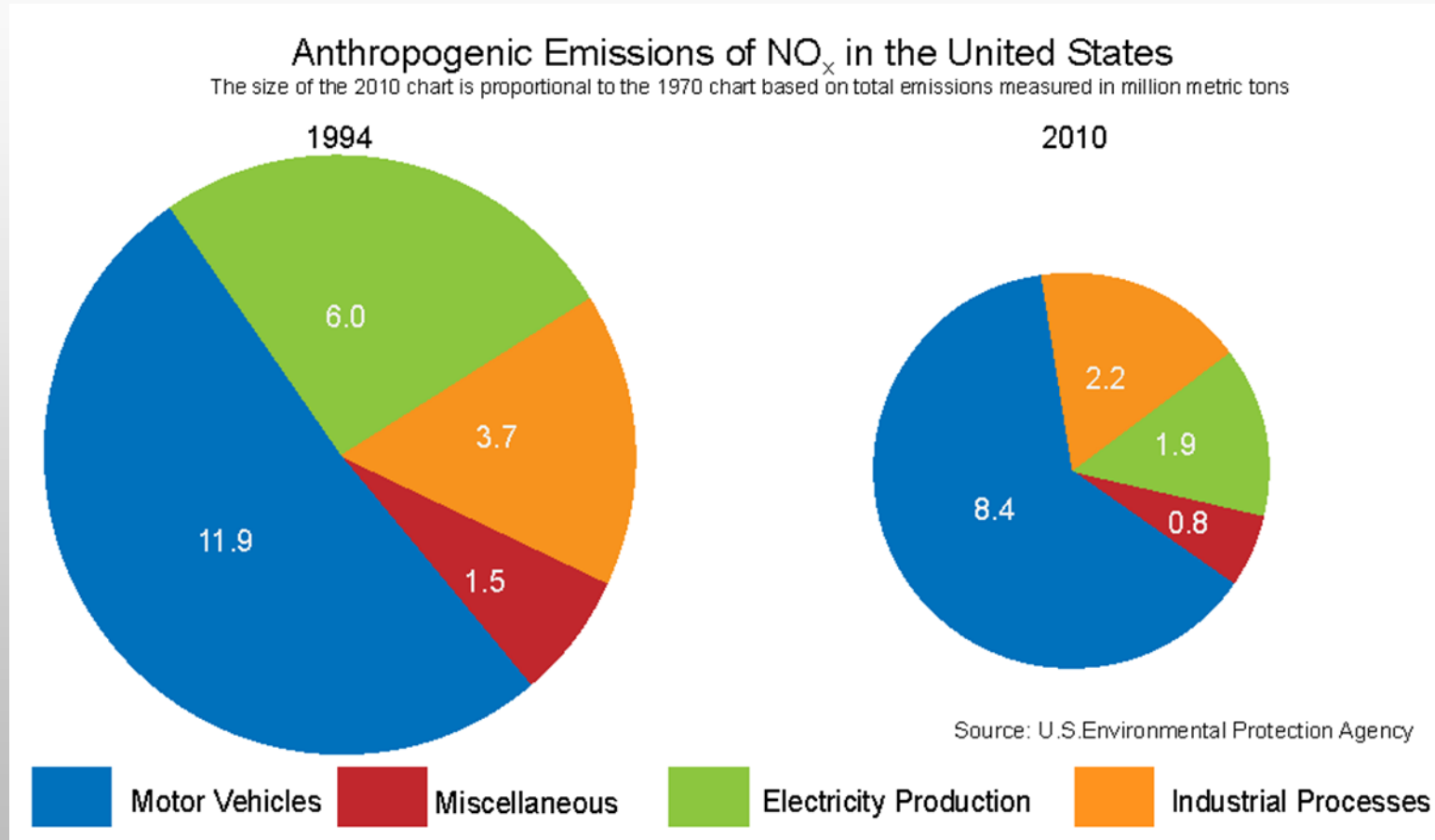
溫度°C	20	427	527	1358	2200
NO濃度ppm	< 0.001	0.3	2	3,700	25,000

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

- 據計算，燃燒1公噸天然氣產生6.35kg的氮氧化物，燃燒1公噸石油約產生12.3kg或9.1kg（視燃燒裝置的條件而定）NO<sub>x</sub>；燃燒1公噸煤則大約產生8~9kgNO<sub>x</sub>。
- 此數據僅供大家概略參考，若就環境法規(102年固定污染源排放標準)而言，對既存(新設)污染源而言，氣體燃料之NO<sub>x</sub>排放限值為300 (150) ppm,液體燃料為400 (250) ppm，固體燃料則為500 (350) ppm，若以考慮產生相同熱值而言，固體燃料之NO<sub>x</sub>排放量較其他燃料為高。



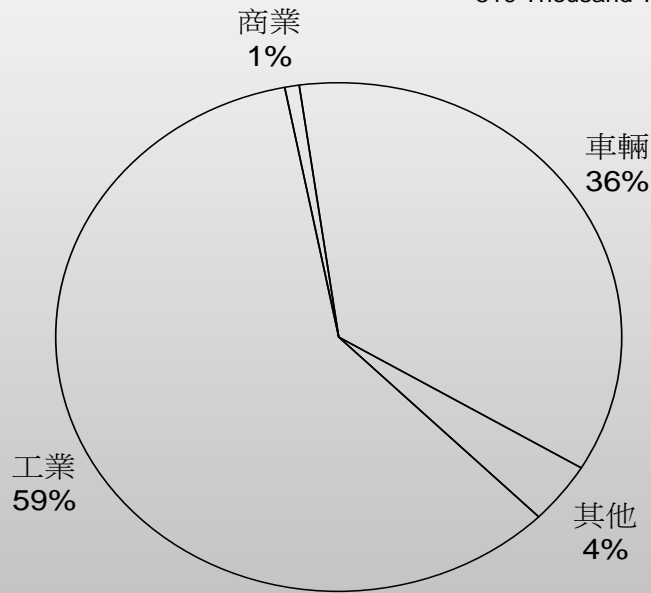
## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>



# 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> Emission in 2000, Taiwan

Total NO<sub>x</sub> Emissions:  
510 Thousand Tons, 22.96 kg/ca



空氣污染物 污染源	細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )		硫氧化物(SO <sub>x</sub> )		氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	
	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率
工業(含電力業)	16,865	23%	105,261	88%	<b>176,100</b>	<b>41%</b>
車輛	16,756	23%	343	0%	<b>217,109</b>	<b>50%</b>
非公路運輸	601	1%	8,559	7%	<b>21,033</b>	<b>5%</b>
商業	6,440	9%	3,651	3%	<b>3,684</b>	<b>1%</b>
營建/道路揚塵	27,662	37%	0	0%	<b>0</b>	<b>0%</b>
露天燃燒	4,601	6%	574	0%	<b>6,577</b>	<b>2%</b>
其他	930	1%	1,332	1%	<b>9,657</b>	<b>2%</b>
總排放量	73,855	100%	119,720	100%	<b>434,160</b>	<b>100%</b>

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

表 2-5 中華民國環保署空氣污染物監測結果

二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	年(月)平均值ppm	小時平均值超過0.25ppm之時數比率, %
83年	0.024	0
84年	0.024	0.01
85年	0.024	0.04
86年	0.024	0
87年	0.023	0
88年	0.023	0
89年	0.022	0
	國家環境保護計畫目標值	
90年	0.020	
95年	< 0.020	
100年	< 0.020	

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

### 與國外NO<sub>2</sub>年平均數值相較

**Table 2.7** Summary of NO<sub>2</sub> measurements (µg/m<sup>3</sup>)

<i>Country</i>	<i>Annual concentration</i>	<i>Source</i>
Canada <sup>a</sup>	9.6–59.2	Environment Canada, 2000
Costa Rica <sup>b</sup>	40.3–46.4	Ministerio de Planification, 2000
Japan <sup>c</sup>	32.5	Japanese Government, 2000a
New Zealand 0–1 (24 hr) rural	5–30 (24 hr) urban	New Zealand Government, 2000
Singapore (1998)	34	Singapore Government, 2000
UK <sup>d</sup>	5.1–92.0	DETR, 2000b

*a) Range of annual average levels for all NAP stations and cities for 1998*

*b) 1995–1997 San Jose (NO<sub>x</sub>) (sampling duration not known)*

*c) Average levels from over 1400 general environmental monitoring stations for 1998*

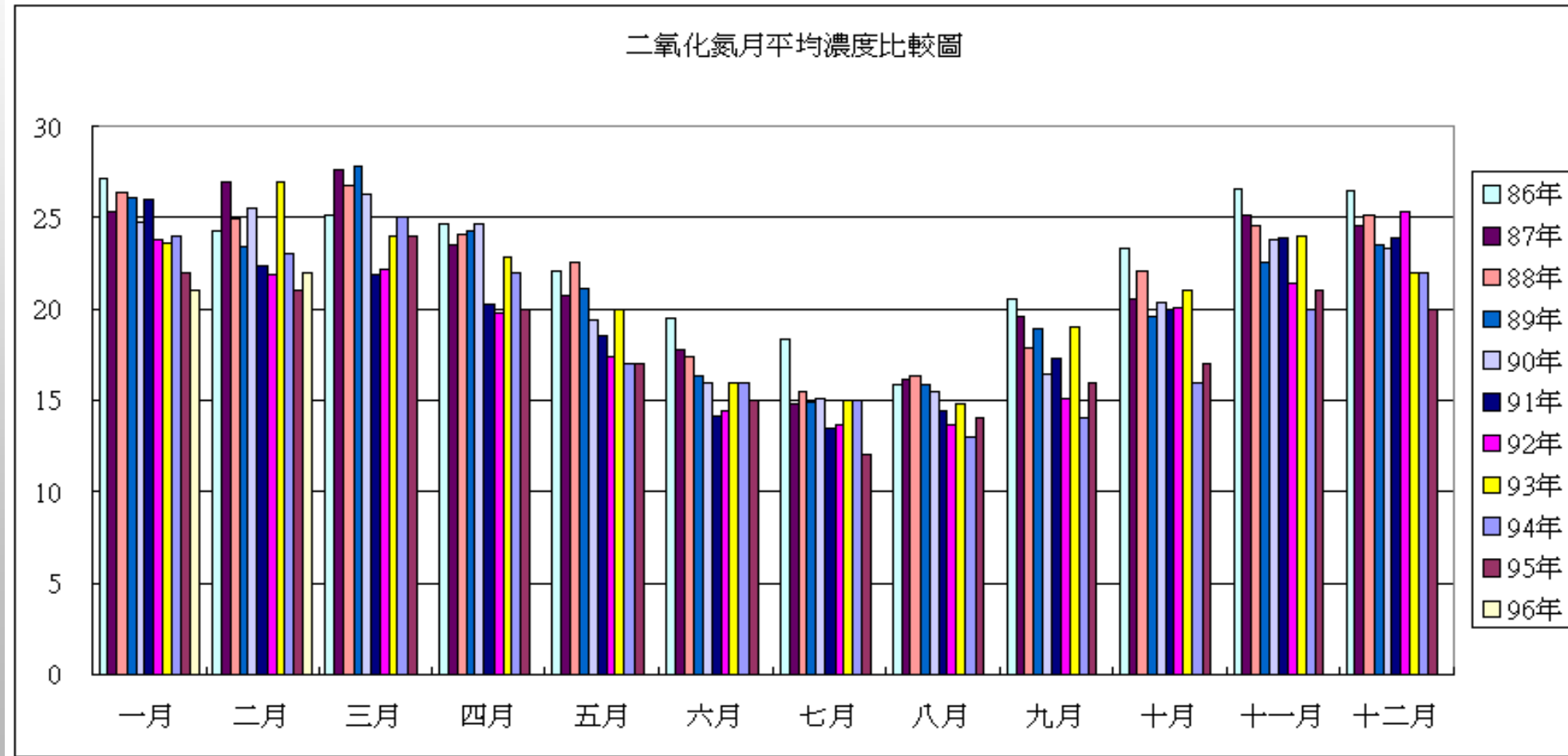
*d) Range of annual average levels for UK automated sites for 1999*

Ref: Table 2.7 from Harrop, “Air quality assessment and management: a practical guide”, 2002.

Note: 10 µg/m<sup>3</sup> of NO<sub>2</sub> at 25°C corresponds to roughly around 5.3 ppbv.

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

我國之NO<sub>2</sub>年(月)變化趨勢:



## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

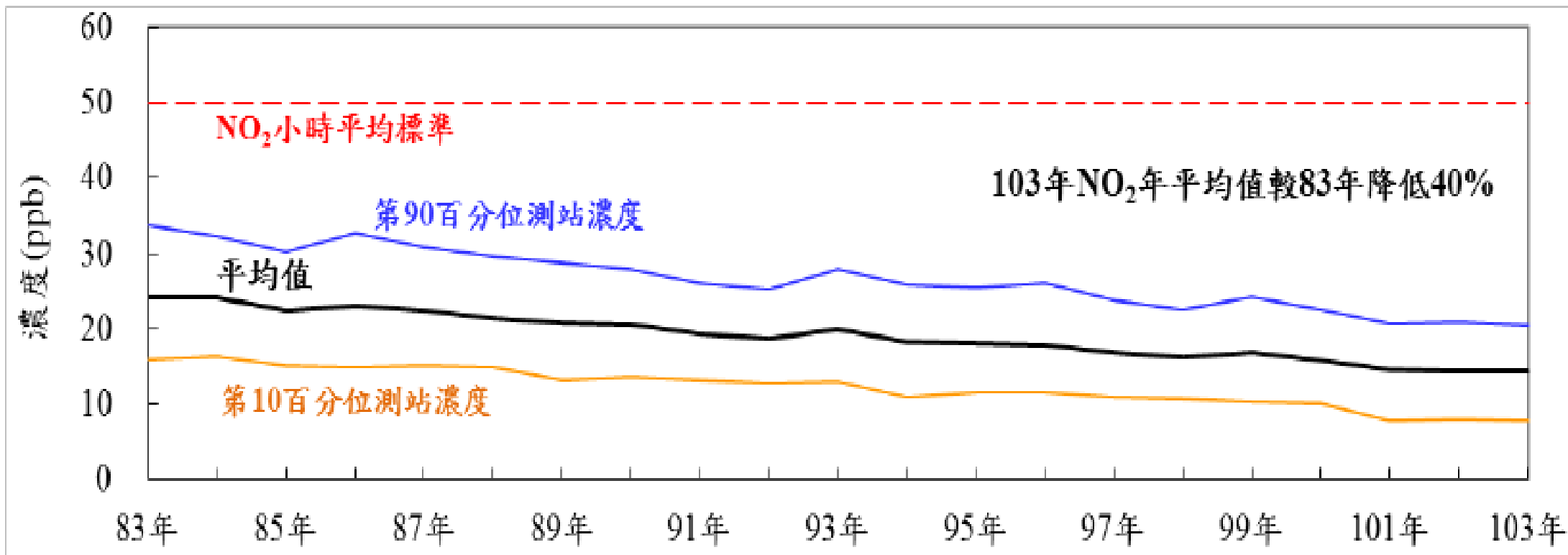


圖 31、一般測站歷年二氧化氮(NO<sub>2</sub>)年平均變化趨勢



## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

氮氧化物的天然源主要為生物源，包括：

1. 由生物機體腐爛形成的硝酸鹽，經細菌作用產生的NO及隨後緩慢氧化形成的NO<sub>2</sub>；
2. 生物源產生的氧化亞氮氧化形成NO<sub>x</sub>；
3. 有機體中氨基酸分解產生的氨經OH自由基氧化形成的NO<sub>x</sub>。

Health Effects: lung damage, illnesses of breathing passages and lungs (respiratory system)

NO<sub>2</sub>比NO較具毒性及刺激性(irritating)。對眼睛、鼻和肺產生刺激。氣管炎、肺炎、減低抵抗力使呼吸道易受感染。傷害紅血球、肝、腎、神經及智力。

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

表2-6 NO<sub>2</sub>對人及生物的影響

NO <sub>2</sub> 濃度(ppm)	影 響
0.5	連續3-12月，患支氣管炎部位有肺氣腫出現
1.0	聞到臭味
2.5	超過7小時，西紅柿，植物等作物葉子變白
5.0	聞到強烈臭味
50	一分鐘之內，人的呼吸異常，鼻受刺激
80	35分鐘引起胸痛
100~150	人在30-60分鐘，就因肺氣腫而死亡

## 2-2.3. 氮氧化物 NO<sub>x</sub>

Environmental Effects: nitrogen dioxide is an ingredient of acid rain (acid aerosols), which can damage trees and lakes. Acid aerosols can reduce visibility.

大氣中的NO<sub>x</sub>最終轉化為硝酸（HNO<sub>3</sub>）和硝酸鹽微粒，經濕沉降和乾沉降從大氣中去除。

Property Damage: acid aerosols can eat away stone used on buildings, statues, monuments, etc.

## 2-2.4. CO 一氧化碳

CO 是燃料不完全燃燒的產物 Products of Incomplete Combustion, PICs，其主要影響因素是燃料與空氣的混合比。

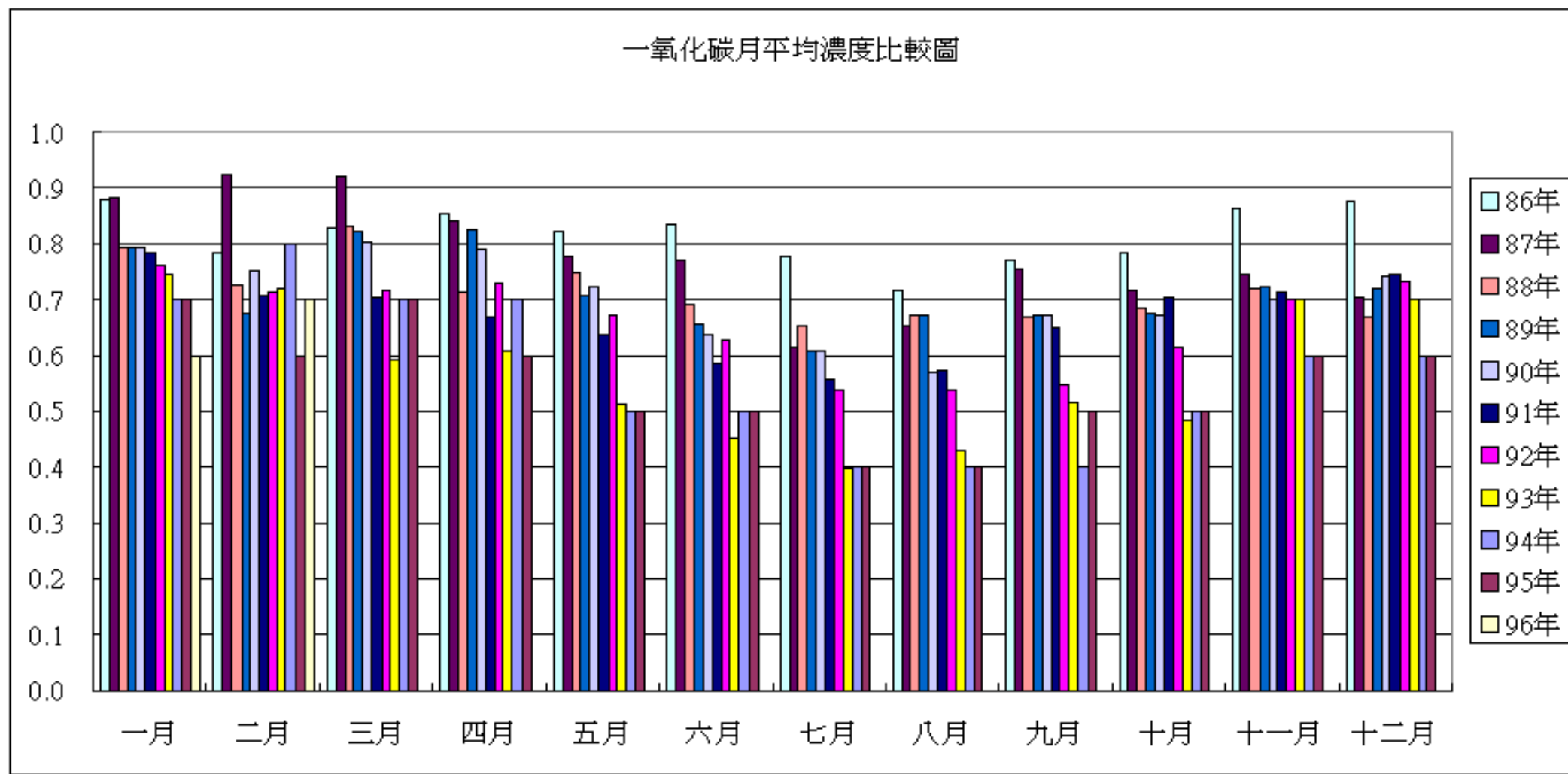
Source: burning of gasoline, natural gas, coal, oil etc. 機動車排放燃燒不完全氣，及煉焦廠、電石工廠等為污染源。

## 2-2.4. CO 一氧化碳

表2-7 中華民國環保署空氣污染物監測結果

一氧化碳 (CO)	年(月)平均值ppm	小時平均值超過35 ppm之時數比率, %	日平均值超過10 ppm之日數比率, %	8小時平均值超過9 ppm之次數比率, %
83年	1.39	0.19	1.3	1.34
84年	0.92	0	0	0.02
85年	0.96	0	0	0.05
86年	1.03	0	0	0.07
87年	0.81	0	0	0
88年	0.74	0	0	0
89年	0.70	0	0	0
	國家環境保護計畫目標值			
90年	0.689			
95年	< 0.689			
100年	< 0.689			

## 2-2.4. CO 一氧化碳





## 2-2.4. CO 一氧化碳

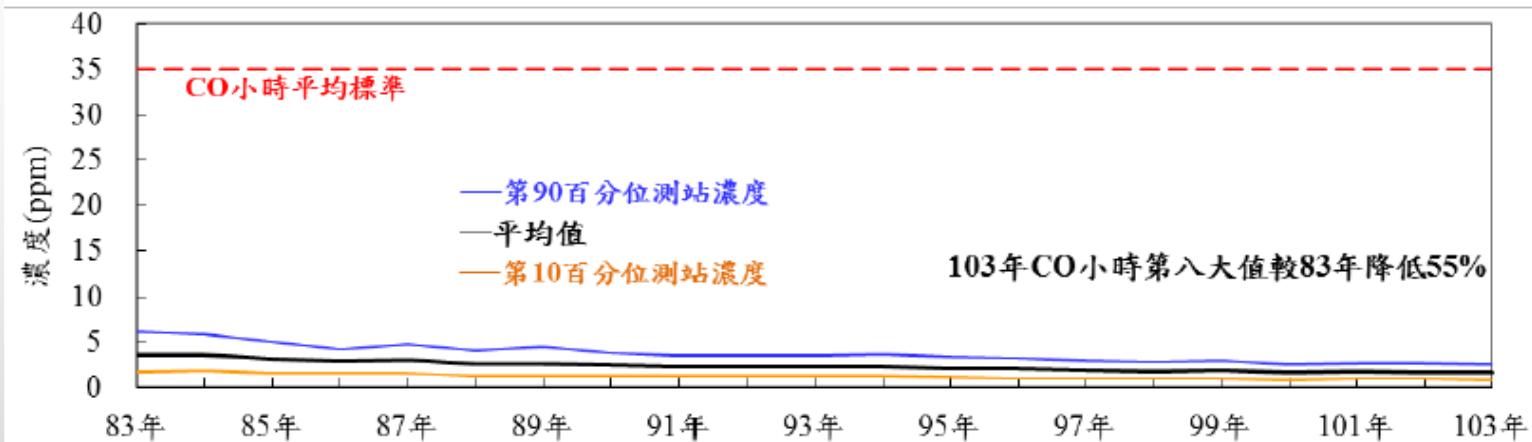


圖 34、一般測站歷年一氧化碳(CO)小時第八大值變化趨勢

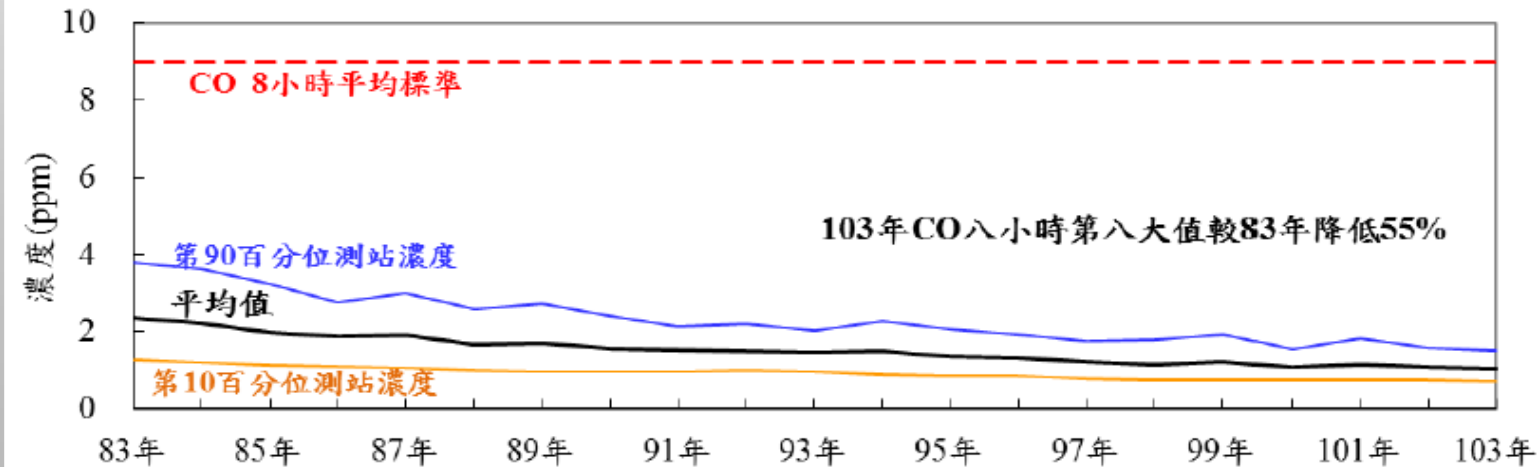


圖 35、一般測站歷年一氧化碳(CO)八小時第八大值變化趨勢

## 2-2.4. CO 一氧化碳

Health Effects: reduces ability of blood to bring oxygen to body cells and tissues; cells and tissues need oxygen to work. Carbon monoxide may be particularly hazardous to people who have heart or circulatory (blood vessel) problems and people who have damaged lungs or breathing passages.

CO極易與人體中的血紅蛋白Hb結合成COHb，從而阻礙Hb帶氧。破壞血液中紅血球攜氧功能。造成主要器官及組織缺氧，使人體缺氧中毒，影響知覺、思考、反射動作、暈眩、昏睡，嚴重者因心臟衰竭或窒息而死亡。

## 2-2.4. CO 一氧化碳

表2-9 CO對人體健康之危害性

CO 濃 度 (ppm)	危 害
10	人慢性中毒、貧血、病人心臟、呼吸道惡化
30	人在4-6小時內中毒
100	使人頭痛、噁心
120	人在1小時內中毒
10000	使人死亡

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

Source: chemical reaction of pollutants; VOCs and NO<sub>x</sub>

VOCs與NO<sub>x</sub>為生成O<sub>3</sub>之重要前驅物質，VOCs物種甚多、成分複雜，對O<sub>3</sub>生成扮演著重要角色，有許多研究探討VOCs對生成O<sub>3</sub>速率之影響。

目前常見之光化反應特性指標來表示VOCs對生成O<sub>3</sub>之重要性包括下列三者(錢哲瑋，2008): 增量反應性 (Incremental reactivity, IR)、最大增量反應性 (Max incremental reactivity, MIR) 及光化臭氧生成潛勢指標 (Photochemical ozone creation potential index, POCP)。

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

### 1. 增量反應性(Incremental reactivity, IR):

其定義為增加某特定量之VOCs其所導致臭氧形成之變化。

VOCs 排放量增加、減少或被其他VOCs 所取代，對臭氧的形成都會造成影響，欲了解因排放量變化對臭氧形成的影響，Carter(1994)建議使用增量反應性來進行VOCs 對臭氧形成所造成影響之量化。

Incremental reactivity (IR) is expressed as **the number of additional grams of ozone formed per gram of VOC compound added** to the base organic mixture. Incremental reactivity conveniently computes the ozone formation potential of a VOC when it is readily available for reaction in the troposphere.

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

### 2. 最大增量反應性(maximum incremental reactivity, MIR):

Russell et al. (1990)將最大增量反應性定義為：在初始環境或排放條件下，增加少量之VOCs 其對於**尖峰臭氧濃度**所造成之最大的敏感度。

理論上於低VOC/NO<sub>x</sub> 比值的環境下，臭氧生成主要受VOCs 之影響，Carter 以此模擬MIR值；在高VOC/NO<sub>x</sub>比值環境中，VOCs 對臭氧生成影響較小。

VOCs/NO<sub>x</sub>比值在6~8時，大部分VOCs會出現最大增量反應(MIR值)，當VOCs/NO<sub>x</sub>值增加時，NO<sub>x</sub>將成為限制O<sub>3</sub>生成之關鍵因子。



## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

表2-10污染源排放O<sub>3</sub>之貢獻量分析(以高雄為例)

污染源種類		最大臭氧生成潛勢(MIR)		臭氧增量潛勢(IR)	
		總量(公噸/年)	百分比(%)	總量(公噸/年)	百分比(%)
固定污染源	1.石化業	100691.8	57.05%	2118.8	51.55%
	2.工業	21394.6	12.12%	319.1	7.76%
	3.商業	8907.7	5.05%	308.4	7.50%
	4.營建	4464.1	2.53%	113.6	2.76%
	5.露天燃燒	5568	3.15%	308.4	7.50%
	6.其他(不含生物源)	55.3	0.03%	3.9	0.09%
	小計	141081.5	79.93%	3172.2	77.18%
移動污染源	1.公路運輸	35330.3	20.02%	938.1	22.82%
	汽油車	12059.4	6.83%	335.8	8.17%
	柴油車	994.7	0.56%	84.2	2.05%
	機車	22276.2	12.62%	518.1	12.60%
	2.非公路運輸	95.6	0.05%	0	0.00%
	小計	35425.9	20.07%	938.1	22.82%
合計		176507.4	100.00%	4110.3	100.00%

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

**3. 臭氧光化學反應活性當量(Photochemical Ozone Creation Potential, POCP):**  
定義為每100分單位質量的VOCs相當於多少質量的乙烯質量之反應活性，其乃由光化模式所跑出之數值。

POCP為Derwent et al.(1996)以光化學軌跡模式模擬歐洲地區西北方至大不列顛群島，評估95種碳氫化合物相對之單位質量臭氧的生成，並以乙烯之POCP=100 為基準。

Photochemical Ozone Creating Potential (POCP) (Derwent and Jenkin, 1991), which was defined by subtracting the emissions of a particular VOC from a 69-component mixture and re-running the photochemical model calculation. The POCP model was defined relative to ethylene as the reference compound.

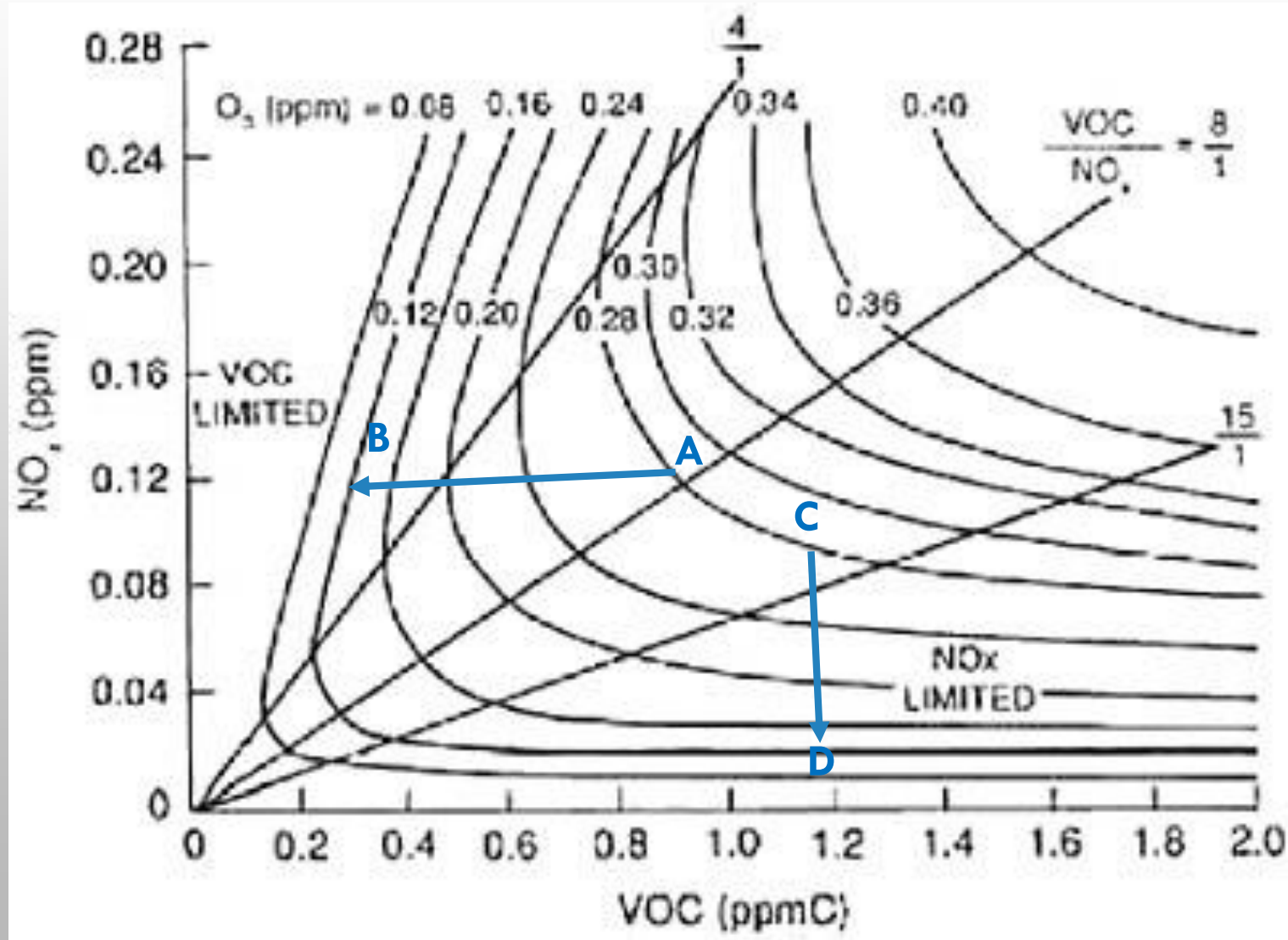
## 2-2.5. Ozone 臭氧, $O_3$

EKMA(empirical kinetic modeling approach); 臭氧等濃度曲線圖(Ozone isopleth plot) :

Dodge(1977)利用不同VOC/ $NO_x$ 比值繪製最大臭氧等濃度曲線圖 EKMA(empirical kinetic modeling approach), 建立因光化學反應產生之 $O_3$ 濃度與其前驅物的關係。

如下圖所示之Ozone isopleth plot, 當大氣中 $NO_x$ 與VOC (NMHC)的濃度位在圖中VOC/ $NO_x=8/1$ 線上方時, 臭氧濃度隨VOC 濃度的增減而增減(如AB 線段, VOC limited)。在此時若 $NO_x$ 濃度減低時, 臭氧濃度並無明顯降低, 反而增加。在這種狀況下, 欲降低臭氧濃度, 只有設法控制VOC, 稱為VOC控制( VOC-limited, VOC-sensitive)。反之稱為 $NO_x$ 控制 ( $NO_x$ -limited,  $NO_x$ -sensitive)。

# 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>



**A → B: VOC limited**  
**C → D: NO<sub>x</sub> limited**

EKMA plot: from  
<https://www.nap.edu/read/11972/chapter/3>

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

臭氧與其前趨物關係示意圖 (Ozone isopleth plot)(Milford, 1994)

我國的空氣品質模式中心也建立了類似的臭氧與其前趨物關係圖如下:

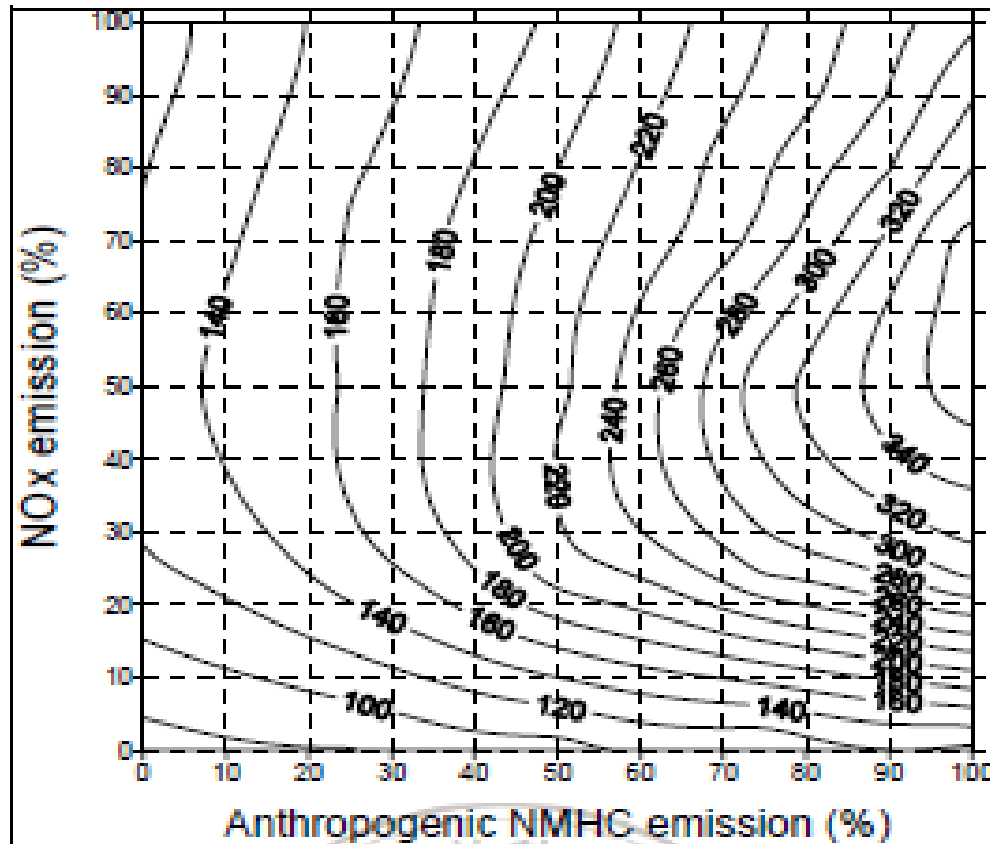


圖2.3.1 臭氧最大等濃度線圖

註：以上臭氧生成相關資料主要參考來源：錢哲瑋，2008，”臭氧及其前驅物量化關係與管制方向之分析研究”，雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

表 2-11 中華民國環保署空氣污染物監測結果

臭氧 (O <sub>3</sub> )	年(月)平均值ppm	日最大小時值之 平均值ppm	小時平均值超過0.12 ppm之時數比率, %	8小時平均值超過 0.06 ppm之次數比 率, %
83年	0.022	0.051	0.12	2.95
84年	0.022	0.052	0.13	2.75
85年	0.023	0.055	0.24	3.81
86年	0.022	0.054	0.24	3.99
87年	0.021	0.053	0.24	3.52
88年	0.023	0.054	0.23	4.09
89年	0.024	0.054	0.14	3.79
	國家環境保護計畫目標值			
90年	0.047			
95年	< 0.047			
100年	< 0.047			



## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

與國外O<sub>3</sub>年平均數值相較:

**Table 2.8** Summary of O<sub>3</sub> measurements (µg/m<sup>3</sup>)

<i>Country</i>	<i>Level</i>	<i>Source</i>
Canada <sup>a</sup>	14–72	Environment Canada, 2000
Costa Rica <sup>b</sup>	36.8–52	Ministerio de Planificacion, 2000
UK <sup>c</sup>	13–74	DETR, 2000b
US <sup>d</sup>	20–310	USEPA, 2000

*a) Range of average levels for all NAP stations and cities for 1998*

*b) 1995–1997 San Jose (sampling duration not known)*

*c) Range of annual average levels for UK automated sites for 1999*

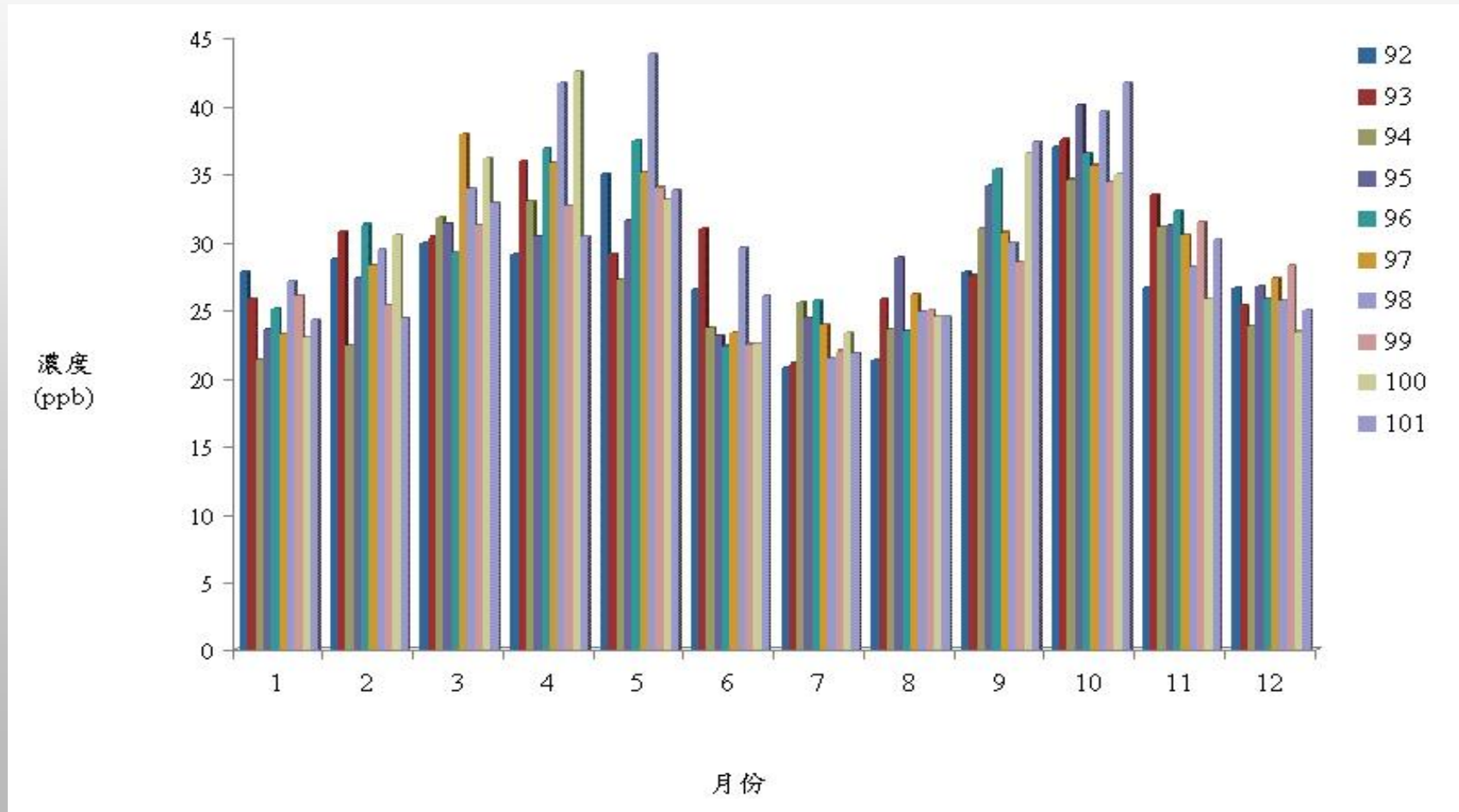
*d) New York 25 sites (1 hr average) (year)*

Ref: Table 2.8 from Harrop, “Air quality assessment and management: a practical guide”, 2002.

Note: **The hourly average air quality standard of O<sub>3</sub> by USEPA is 235 µg/m<sup>3</sup>, corresponds to roughly around 120 ppbv at 25°C(which is TEPA hourly st’d)**

# 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

我國之O<sub>3</sub>年(月)變化趨勢:



(Source: 光化測站 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/b0104.aspx>)

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

下左圖則是鹿林山背景(LABS)測站所監測的O<sub>3</sub>月平均變化值，若與上面的測值相較，會發現其高峯值月份(三月)與台灣平地高峯測值(四、五月)不太相同，而且最高值(~60ppb)也顯著較上圖為高。根據Ou Yang et al.(2012)研究結果顯示，其可能是受東南亞生質燃燒(biomass burning in Southeast asia)之長程傳送所影響。

282

C-F. Ou Yang et al. / Atmospheric Environment 46 (2012) 279–288

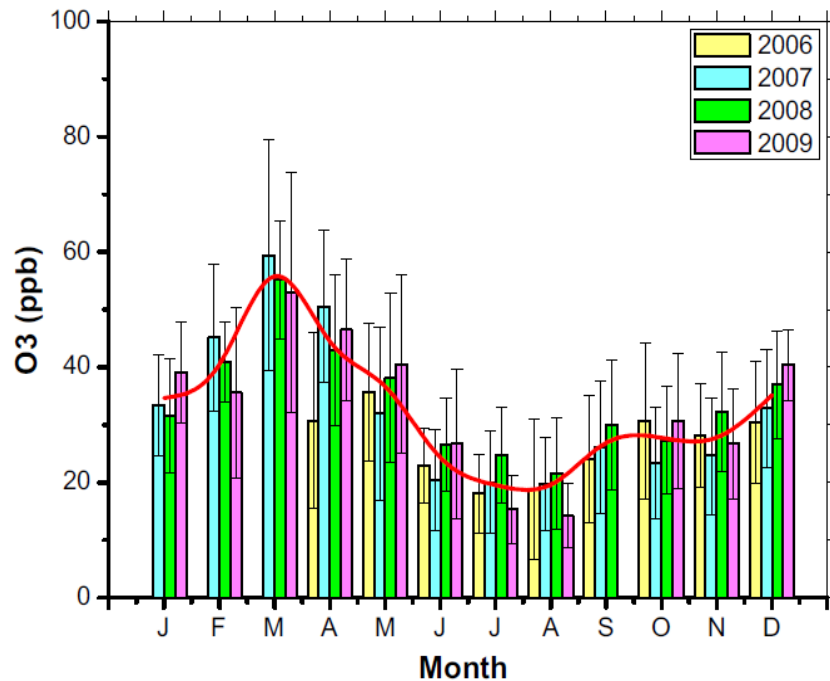


Fig. 2. Seasonal variation of ozone observed at the LABS averaged over 2006–2009.

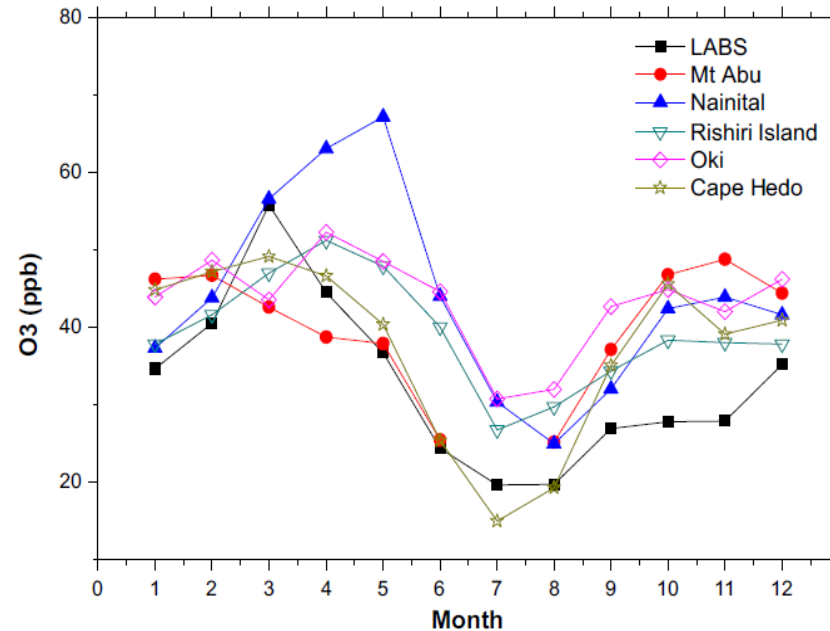


Fig. 3. Seasonal variations of ozone observed at background sites in Asia. Solid dots and open dots are representing mountainous sites and boundary layer sites, respectively. The ozone data at other Asian sites are acquired from the references listed in Table 1.

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

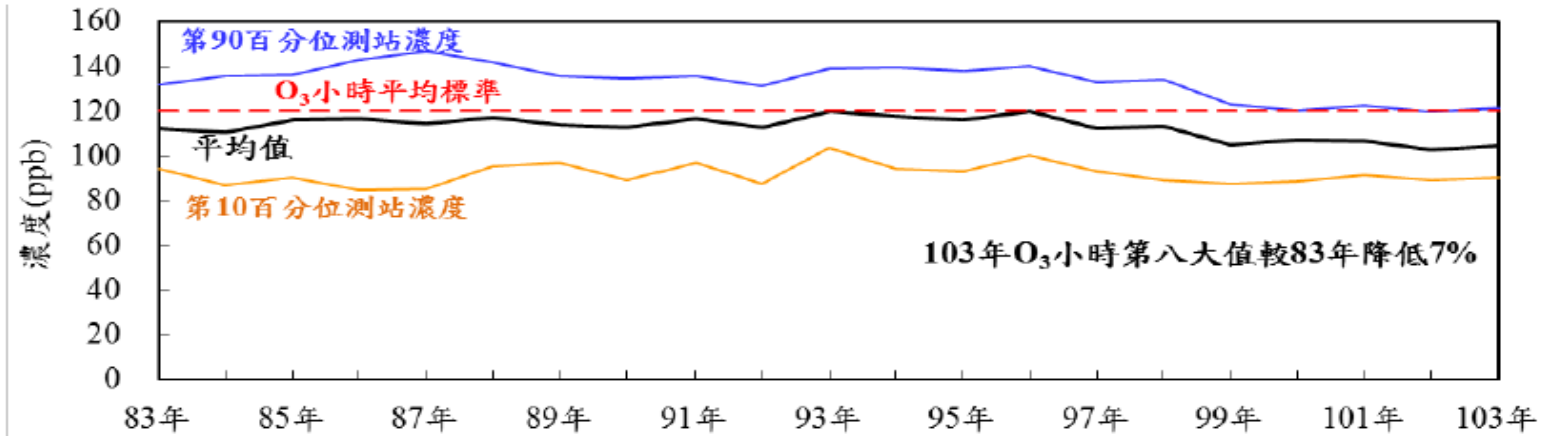


圖 22、一般測站歷年臭氧(O<sub>3</sub>)小時第八大值變化趨勢

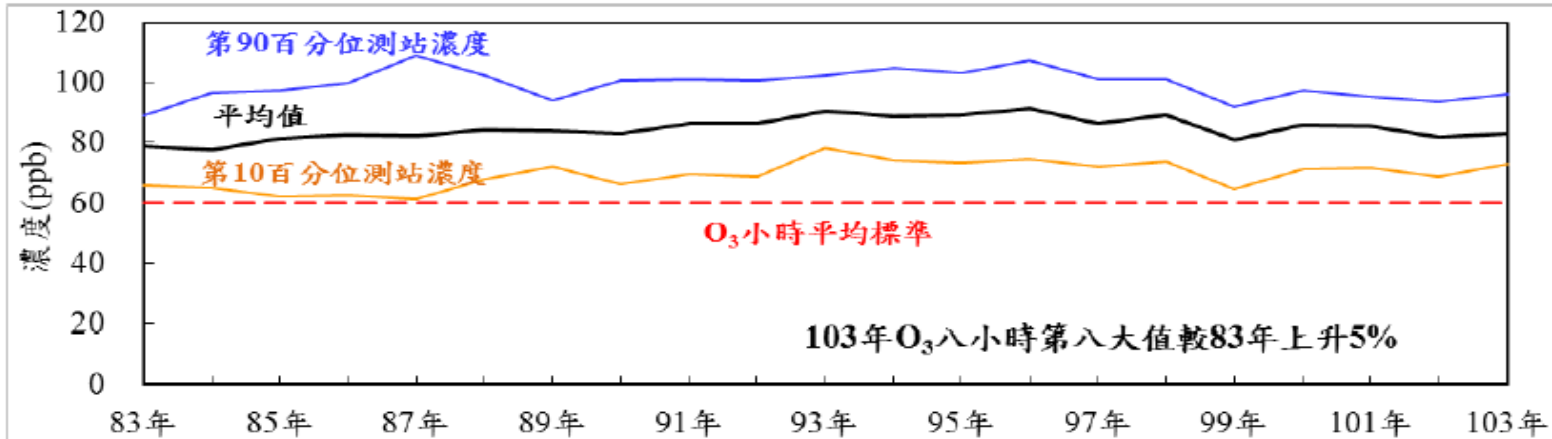


圖 23、一般測站歷年臭氧(O<sub>3</sub>)八小時第八大值變化趨勢

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

Health Effects: breathing problems, reduced lung function, asthma, irritates eyes, stuffy nose, reduced resistance to colds and other infections, may speed up aging of lung tissue

臭氧吸入肺部會使氣喘惡化，肺功能降低，呼吸道發炎，呼吸急促，減低肺部對傳染性疾病及毒素的抵抗力。臭氧亦會妨礙植物的光合作用。

但在**平流層 (Stratosphere)**，臭氧層能吸收來自太陽的紫外線，減少其到達地面的能量，從而減少皮膚癌及白內障的發生以及植物的受害。臭氧可用於自來水消毒。

## 2-2.5. Ozone 臭氧, O<sub>3</sub>

表 2-12 Ozone對人體和生物的影響

O <sub>3</sub> 濃度(ppm)	影 響
0.02	5分鐘內多數人能覺察，1小時內膠片脆化
0.2	人肺的減弱，胸部有緊縮感，眼睛紅痛
0.2~0.5	3-6小時，使人視力減弱
0.3~1.0	1小時內呼吸緊張，氣喘病惡化
1~2	2小時頭痛，胸痛，肺活量減少，人慢性中毒
5~10	全身疼痛，麻痺，肺氣腫
15~20	小動物2小時內死亡
50以上	人在1小時內死亡

The slide features a light gray gradient background. In the top-left and bottom-right corners, there are several realistic water droplets of various sizes, rendered with soft shadows and highlights to give them a three-dimensional appearance. The text "Thanks for your participation" is centered in a black, serif font.

Thanks for your participation