

空氣污染氣體成分之分析及 其對於氣候上之影響

鄭 子 政

Main Gaseous Constituents of Pollutants in the Atmosphere and Its Effects on Climate

Kenneth T. C. Cheng

Gaseous constituent of pollutants maybe divided mainly into two groups, i. e. the natural and the man-made ones. In this paper, the writer only refers to the man-made pollutants which are growing much more important to the health of human beings with modern industrialization and urbanization. The subject has been treated under the following headings: (1) Introduction; (2) Cycle of sulphur dioxide; (3) Cycle of nitrogen dioxide; (4) The change of concentration of carbon dioxide in the atmosphere; (5) Characteristics of carbon monoxide in relation to the variation of the amount of traffic; (6) The total oxidants at lower levels of the atmosphere become toxicant when they are oxidized with hydrocarbons under photochemical actions; (7) The effect of air pollutants on climate; (8) Change of dust loads in the atmosphere with variation of turbidity at lower levels; (9) Remarks on conclusion. Latest contributions on gaseous pollutants in the air are generally referred. It also gives an overall discussion on main constituent of pollutants in the atmosphere and illuminates the global effects of environmental pollution on risk of the endangerment to tip over the future ecoequilibrium.

一、引 言

空氣污染問題原隨大氣有始以俱來。在歷史上曾有數以千計火山爆發之紀錄，至今調查世界上活火山尚有 500 座以上⁽¹⁾。1963 年巴里 (Bali) 島上安榮 (Agung) 火山爆發，空氣層中塵埃層 (Junge layer) 厚度高達 15 至 20 公里。1883 年巽他海峽 (Str. Sunda) 中克拉開托 (Krakatoa) 火山爆發，火山塵埃上浮泰空中達三年之久，自地面遙望太陽周圍尚見朱黃色日華現象⁽²⁾。海上波濤洶湧，白浪曝日，鹽粒散佈空際，約略估計每年每英畝降水中所含鹽粒約為四英磅。若以地球表面面積二萬萬平方英里中，其 70% 為海洋。按一英畝為 $1/640$ 平方英里，則在每年海上鹽粒存在於空氣中之分量約近為一千八百萬短噸 ($640 \times 56 \times 10^7$ lb) 以上。(2,000 磅等於一

短噸) 如許分量之鹽質對於下層大氣之成分，自難能稱謂無些微之影響。

大氣運行無時或息。風暴來去在北緯 45 度至 60 度間環球一周約需 40 天光景⁽³⁾。但在沙漠中狂飈、塵沙蔽日，不辨東西。薩哈拉之塵土可吹到地中海沿岸，而戈壁之沙粒可遠送至桂境⁽⁴⁾。空氣中塵沙含量之多寡，其影響可及於混濁度 (Turbidity) 之變化。

至於空氣中水汽之含量則隨氣溫之高低而增減，因之，在赤道水汽含量佔空氣成分之百分比為 2.63，推至北緯 70 度其含量僅有零 0.22。空氣層中水汽含量集中在赤道自地面向上升達高空 20 公里間，若在兩極則在 10 公里以下。一般通稱為對流層 (Troposphere)。至於在對流層以上之平流層 (Stratosphere) 中所存在之水汽可稱稀少已至幾微程度。

平流層之高度約可達 90 公里。因此而論空氣中之成分，若以水汽屏除在外，空氣中之成分，可稱無所變化。其原因由於在大自然間，有大氣的循環 (General circulation) 與水的循環 (Hydrological cycle)，使自然污染物質 (Natural pollutants) 受自然的淨化作用，而經常維持在適宜於人類生存的環境平衡 (Ecoequilibrium) 之下。若一旦失去環境平衡的重心，人類生存於大氣間，將受生命鑿傷的危險。有先知灼見的羅士培 (Rossby, C. G.) 先生⁽⁶⁾曾說：『窺改自然可能有危險性的，因為自然能有復仇性的，我們對此星體，是我們生存的世界，應該予以珍愛』。此簡明數語，確實的是語重心長，而為當代工藝家 (Technologists) 所應信奉的金科玉律。

現在空氣中的污染因素起於工業革命以後，工廠林立，都市奇突的擴張。世界人口爆發，都市生活與環境氣象的關係，益臻密切⁽⁶⁾。因此現時空氣污染的成分的增加乃屬於人為的因素。對於工業化都市環境平衡的維持及其各項主要污染因素的分析，作者以前曾有所論述⁽⁷⁾。在人類生存環境中，於空氣、水質、土壤與有機體中污染物質之種類繁多⁽⁸⁾端視乎工業區域環境之不同，而其污染成分之變化，因而亦有差別。空氣中所含有污染物質除卻自然環境中之花粉霧點與塵埃之外，人為之氣體污染物質以硫化物為嚴重因素之一種，因自 19 世紀末葉至 20 世紀末葉，由於工業發展煙煤一項消耗已增至 56 倍以上⁽⁹⁾。其次為氧化物如臭氧 (O_3)、一氧化碳 (CO) 與二氧化碳 (CO_2) 之類。交通工具種類與數量日益增多，其由燃燒石油所剩餘之污染物質，排除在空氣中亦與日俱增。又氮化物如氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO_2)、氨 (NH_3) 之類。此外尚有鹵化物 (Halogen compounds) 如氟化氫 (HF) 及氯化氫 (HCL)。及有機化合物如醛 (Aldehydes)、炭氫化物 (Hydrocarbons)、栢油之類。輻射性物 (Radioactive substance) 亦為人為嚴重污染危害之物質。以上所舉各種污染物質其在大氣中污染之程度，大抵尚未為科學人士所證明瞭其實況。麥開卑 (McCabe, L. C.) 曾列舉在美國洛杉磯 (Los Angeles) 此類污染物質最大容許之濃度 (Maximum allowable concentrations)⁽¹⁰⁾。空氣中氣體污染成分之分析至今仍在科學人士所追求與探討之中，以期能知污染物質含量之濃度及其危害臨界之標準 (Critical level)。然後方知其所以籌謀防範措施之方法。茲僅就現時知識所及有關於氣體污染之成分分別述之。

二、二氧化硫之循環

在大氣中硫化物質大抵包涵有自然性與人為性二種不同的淵源。自然間硫化污染物乃由海上浪沫所產生如硫酸銨 $(NH_4)_2 SO_4$ 或硫酸 (H_2SO_4) 與在沼濕地區由有機物分解所產生之硫化氫 (H_2S)。在火山活動地區與工業區域皆亦有少量之硫化氫產生。至於二氧化硫則純屬於人為污染作用之來源。

全年世界所放射 二氧化硫污染物之分量，開茲 (Katz, M.) 於 1958 年⁽¹¹⁾ 估計約在 1 億 4 千 7 百萬噸 (147×10^6 tons)。此總數 70% 來自自然燒煙煤，而其 16% 則由於提煉石油與鎔解金屬所排洩之物質。按 1937 年世界二氧化硫放射量為 6 千 9 百萬噸 (69×10^6 tons)，而 1940 年為 7 千 8 百萬噸 (78×10^6 tons)。由以上放射量顯見二氧化硫放射量在 1940 年至 1965 年間已增加放射量約近一倍之多。但在 1965 年魯賓遜 (Robinson, E.) 與陸秉智 (Robbins, C.) 估計以實際硫量計約為 2 億 2 千萬噸 (220×10^6 tons)。⁽¹²⁾。其分別估計硫化物之放射量如下表：

硫 化 物	來 源	估計放射量 (每年噸數)	估計放射量 (以硫計量) 每年噸數
二氧化硫 (SO_2)	石 炭 燃 燒	102×10^6	51×10^6
	石 油 提 煉	6×10^6	3×10^6
	石 油 燃 燒	23×10^6	11×10^6
	金 屬 鎔 煉	16×10^6	8×10^6
硫 化 氫 (H_2S)	工廠放射量	3×10^6	3×10^6
	海洋放射量	30×10^6	30×10^6
	地表放射量	70×10^6	70×10^6
四氧化硫 (SO_4)	海洋放射量	130×10^6	44×10^6
	總計放射量		220×10^6

以上估計其 50% 基於陸地與海洋面積上硫化氫放射量推論，自難臻於精確估計之理想。

二氧化硫在水滴中常須有一種特殊催化劑 (Catalysts) 以促使其氧化。在低氫離子指數 (pH) 或稱酸性低時，二氧化硫之溶度甚低，但有氨存在時則能吸收二氧化硫，以中和酸性，而增加其溶度。二氧化硫與二氧化氮及炭氫化物混合之後，經過光化氧化作用 (Photochemical oxidation)，其遺留氣懸膠體 (Aerosol) 每形為硫酸氫 (H_2SO_4)，其結果空氣中所有二氧化硫含量甚低。空氣中部份二氧化硫含量亦經植物之沉除過程 (Scavenging process)。若按

粒數一千萬分之 1 (Particles per billion) 濃度而論，二氧化硫沉澱率 (Deposition rate) 約為每日平方公尺 2.5 毫克 ($2.5\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)。空氣中二氧化硫之濃度每由於降雨密度與氣懸膠體之大小而其沉除程度隨之而異。空氣層中二氧化硫與四氧化硫含量濃度測量之紀錄尚甚稀少。1967 年在美國內布拉斯加 (Nebraska) 測量於對流層上方其二氧化硫含量少於千萬分之 0.3 (ppb) 粒數與在夏威夷所測得之值相等，在佛羅里達 (Florida) 東南沿岸所測得之含量則為千萬分之 1 粒數。在對流層中硫化物之平均含量二氧化硫為千萬分之 0.2 粒數；硫化氫為千萬分之 0.2 粒數；四氧化硫為每立方公尺空氣中 2 毫克。(按 $(\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \times 41.3 \times \text{molecular weight})$)

三、二氧化氮及其循環

地表環境對於氮化物污染之情形所知尚屬鮮少。由人為所產生重要氮化污染物質為一氧化氮與二氧化氮。微生物常在酸性土壤無空氣環境中由一氧化氮而產生二氧化氮或由硝酸 (HNO_3) 中產生一氧化氮。氮為微生物產物之一種，而放射入於大氣層氮化污染自然性者實遠超過於人為性者。估計世界全年大氣中氮化物之放射量如下：

氮 化 物	來 源	估計放射量 (每年噸數)	估計放射量 以氮量計 (每年噸數)
二氧化氮(NO_2)	石 炭 燃 燒	26.9×10^6	8.2×10^6
	石 油 提 煉	0.7×10^6	0.2×10^6
	石 油 燃 燒	7.5×10^6	2.3×10^6
	其他油類燃燒	14.1×10^6	4.3×10^6
	天然汽燃燒	2.1×10^6	0.6×10^6
	其 他 燃 燒	1.6×10^6	0.5×10^6
二氧化氮(NO_2)	總 計	52.9×10^6	16.1×10^6
氮 (NH_3)	燃 燒 作 用	4.2×10^6	3.5×10^6
二氧化氮(NO_2)	生 物 作 用	500×10^6	150×10^6
氮 (NH_3)	生 物 作 用	$5,900 \times 10^6$	$4,900 \times 10^6$
氧化亞氮(N_2O)	生 物 作 用	650×10^6	410×10^6

空氣中二氧化氮之濃度在各地區之測定值多不一致。在巴拿馬於乾季時二氧化氮含量為千萬分之 0.9 粒數，但在雨季則其粒數為千萬分之 3.6。氧化氮採集標本之最高濃度曾達粒數千萬分之 6。在佛羅里達測得二氧化氮平均濃度為粒數千萬分之 0.9，而在夏

威夷測定之平均值為粒數千萬分之 1.8。在科羅拉多測得二氧化氮平均濃度為粒數千萬分之 4.1，而氧化氮之平均濃度為粒數千萬分之 2.7。在陸地上測定二氧化氮之濃度較海上為高。在大氣平流層 (Stratosphere) 中為光化反應 (Photochemical reaction) 活動與臭氧量集中之領域，因此臭氧 (O_3) 遭遇氧化氮 (NO) 時即迅速形成二氧化氮 (NO_2)。其化合率蓋約 500 倍大於臭氧與硝酸酐 (五氧化二氮) 間之組合。

四、大氣中二氧化碳含量之變化

二氧化碳原為大氣組成成分之一種，以容量而論約佔粒數百萬分之 300⁽¹³⁾。但由於工業建設與都市化之結果，大氣層中二氧化碳之含量急增，據吉鈴 (Keeling, C. D.) 之觀測在都市區域乾燥空氣中二氧化碳之含量已達粒數百萬分之 320 基數⁽¹⁴⁾ 茲據吉鈴在下列各處所測得大氣中二氧化碳之含量以百萬分之粒數計 (Particles per million) 如下：

地 點	二 氧 化 碳 濃 度 (以百萬分之粒數為單位)
哈 德 隘 (Hart's Pass)	307
奧 林 必 克 公 園 (Olympic Park)	404
奧 特 灣 (Otter Creek)	299 (最低) 506 (最高)
太 平 洋 (Pacific Cruise)	303
國 家 紀 念 碑 (National Monument)	320 (最高)

植物吸收二氧化碳與水分以經營其光合作用 (Photosynthesis)。因此大氣中二氧化碳含量以一日間之下午為最低，蓋由於此時植物經營其光合作用最盛，而在夜間二氧化碳濃度最高，蓋此時植物則經營其呼吸作用。植物每季節之變化因此二氧化碳亦顯有季節之周期。大氣中二氧化碳含量以百萬分之 506 粒數為最高，而以 299 粒數為最低。大氣中二氧化碳濃度的測定，顯然可以為都市與鄉間區域之分野。據在美國辛辛那提城大氣中二氧化碳含量之周日變化以每日上午七時為最高，而以一日下午四時為最低。又據調查巴黎歷年平均二氧化碳濃度之變化，列表如下⁽¹⁶⁾ (以百萬分之粒數計)

時 間 階 段	1891— 1900	1901— 1909	1954— 1964	55 年 間 差 數	每 5 年 差 數	1954— 1958	1959— 1964	每 5 年間 差 數
全 年	320	321	351	加 30	加 2.7	348	354	加 6
冬季 (十月至三月)	325	332	367	加 35	加 3.2	364	371	加 7
夏季 (四月至九月)	313	312	334	加 20	加 1.8	333	335	加 2

由上表中觀察在巴黎空氣中二氧化碳之濃度繼續在增進中，而其每 5 年之增長率亦隨之增加。此種都市空氣中二氧化碳濃度增加之趨勢可以為世界各大都市一般變動之表率。以整個世界而言，大氣中每年二氧化碳濃度之增加率約為百萬分之 0.7 粒數。

五、大氣中一氧化碳 (CO) 含量之平衡問題

在都市環境空氣中一氧化碳之濃度可達粒數百萬分之 50 至 100。一氧化碳能吸收日射光譜 4.7 微米 (Micron) 譜段。一氧化碳純屬於人為的污染物質，而在美國 68 % 皆出於車輛放射射餘剩物質。一氧化碳乃屬於不活動氣體之一種，且不與大氣中他種成分相混合，而常滯留於大氣近地面下層。據哈菲 (Jaffe, L. S.) 1968 年調查美國一氧化碳放射總量達 1 億 2 百萬噸⁽¹⁰⁾。按在美國一氧化碳放射量各種性質之分析如下表：

放射物來源	一 氧 化 碳 放 射 總 量 (每年百萬噸計)	一 氧 化 碳 放 射 總 量 (百分比)
機動車輛燃燒	63.8	67.5
定置汽機燃燒	1.9	2.0
工業過程燃燒	11.2	11.9
廢棄垃圾焚燒	7.8	8.3
其他人為火災	9.7	10.3
小 計	94.4	100.0
森 林 火 災	7.2	
總 計	101.6	

估計世界全年一氧化碳放射量約為 2 億 3 千萬噸。一氧化碳自然性之來源除森林火災之外，火山、煤礦、沼區亦能產生部份之污染物質。海中藻類亦能產生微量之一氧化碳。由於自然間生物分佈尚無法實測，因之自然環境中所生之一氧化碳分量亦不易於估計。一氧化碳由於其為都市中產物，因而有都市性特徵。其在空氣中之濃度視車輛交通量之增減而有漲落

。有周日與季節之變化。每日在上午 7 時至 9 時與下午 6 時之濃度最大。秋季大氣中一氧化碳含量較大於冬季與夏季。氣象環境之變化亦能有影響及於一氧化碳之濃度，在大氣穩定度增加而有氣溫逆增層 (Temperature inversion) 之存在時候，一氧化碳之濃度增高。1957 年於一風靜之日，一氧化碳濃度曾達粒數百萬分之 235。在倫敦黑牆隧道中平均每時一氧化碳濃度為粒數百萬分之 100，而其最高濃度達粒數百萬分之 295。

一氧化碳在下層大氣中常見氧化作用 (Oxidation)。譬如： $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}$ 。當遇有水汽存在時，則其演變形式為： $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ 。臭氧亦能氧化一氧化碳而為二氧化碳，但其過程非常遲鈍。二氧化氮與一氧化碳間亦能發生氧化反應，例如： $\text{NO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$ 。此種活動過程且勝於臭氧過程。至於在高層大氣中紫外光波在光譜波段 1 千 7 百埃 ($1\text{cm} = 10^8 \text{\AA} = 10^4 \mu$) 常能因光的刺激作用而分解二氧化碳為一氧化碳與原子氧 ($\text{CO}_2 + h\nu \rightarrow \text{CO} + \text{O}$) 之反應過程。

大氣中一氧化碳之含量可能隨工業發展而與日俱增。在美國估計 1960 至 1980 年間將增加一倍。因而估計世界全年一氧化碳放射量將達 2 億 5 千萬噸。在瑞士少婦峯 (Jungfrau) 與在北部阿拉斯加一氧化碳之濃度皆在粒數百萬分之 0.1 左右。一氧化碳在下層大氣中生存期較長，而估計在對流層中生存期可自 0.1 年至 5 年之久。一氧化碳在環境空氣中雖對於植物無害，但在濃度升高時仍屬於對植物有毒 (Phytotoxicant)。

六、大氣下層臭氧 (Ozone) 污染性質之新發現

大氣層中臭氧分佈及其消長與變化之研究亦為近年來事⁽¹⁷⁾。大氣中臭氧集中高度大抵平均在 26 至 30 公里之間。在大氣上層臭氧量之增減與地面之氣象變化亦有密切關係。在大氣上層分子氧與原子氧受日

射紫外光波與穿透射線之照射，產生刺激作用，空氣分子發生光化分離與重新組合程序，於是臭氧產生。此為高層大氣中所常見現象。因而有一般觀念臭氧除在雷雨之際有微量產生，大抵多由大氣平流層輸送至大氣下層中。在平流層中臭氧濃度以容量論，大致在億萬分之 600 至 800 粒數 (Particle per hundred million) ⁽¹⁸⁾。至於在近地面空氣層中則在各地所含臭氧量不一。世界若干地區所測得地面臭氧濃度在粒數億萬分之 0 與 5 (ppbm) 韋爾遜 (Wilson, W. S. et al) 在阿拉斯加州柯立奇 (College) 地方測得地面臭氧濃度在粒數億萬分之 20 以上。巴德爾 (Bartel, A. W.) 在洛杉磯區域測得臭氧濃度亦高達粒數億萬分之 20 至 50 之間。但在海平面空氣中臭氧含量之濃度僅為粒數百萬分之 0.01 至 0.03 而已，人類感覺對之無法覺察。臭氧又稱為純氧化體 (Total oxidants)。1956 年在洛杉磯測得大氣下層在煙霧中最高臭氧含量為粒數百萬分之 0.99。據 1964 年年平均各地大氣臭氧含量如次：(以百萬分之粒數 (ppm) 為單位) ⁽¹⁹⁾

地 名	年平均值	一日最高值	五分鐘最高值
芝 加 哥	0.03	0.08	0.15
辛辛那提	0.03	0.08	0.32
洛 杉 磯	0.04	0.15	0.51
費 城	0.02	0.09	0.25
聖 路 易	0.03	0.07	0.85
華 盛 頓	0.03	0.08	0.24
舊 金 山	0.02	0.05	0.22

空氣中臭氧之濃度經過晚近之測定始知與二氧化硫有剋制之反應。臭氧濃度增加為煙霧時之特徵。其濃度以夜間為最低，濃度漸增至正午為最高，午後逐漸降低至日落時消失。在夜間臭氧濃度鮮有超過於粒數百萬分之 0.05 者。在短時間內洛杉磯臭氧濃度曾達粒數百萬分之 0.51，而辛辛那提於 1964 年曾達百萬分之 0.32 粒數。據調查加州在日射強盛時而於空氣中含有炭氫化物 (Hydrocarbons) 與二氧化氮含量達百萬分之 0.1 至 10 粒數時，臭氧濃度即見增加 ⁽²⁰⁾。在環境空氣中臭氧含量在百萬分之 1 粒數而每日 8 小時歷時 1 年之久即易生支氣管炎與纖維瘤，若臭氧濃度達百萬分之 2 粒數時，在此環境中歷時 1 小時，健康人之器官即受其影響。若在二氧化氮濃度達粒數百萬分之 5，而歷經 8 小時即可能產生肺纖維

炎症。 ⁽²¹⁾ 空氣污染性之嚴重由此可以想見。

七、空氣污染對氣候上之影響

丹屬格陵蘭島 (Greenland) 上冰河積雪，歷經年代久遠。空氣中氣體隨着冰雪下降，積聚地面，經壓縮而凍結於冰雪中，倘能取出冰雪標本，不難加以分析而追求過去數世紀中空氣中所有一氧化碳之含量。現已在格陵蘭島開鑿 1,000 英尺長之隧道而由地面下降 100 公尺深度，並取出 1700 年 1775 年與 1825 年之冰雪標本，以求過去時期空氣成分變化之分析，想在最近將來，必能有創見聞諸於世 ⁽²²⁾。

19 世紀以來，空氣中二氧化碳之含量已有顯著增加，乃為無可諱言之事實。19 世紀二氧化碳含量基準 (Base level) 為百萬之 290 粒數，但至 1960 年已增加至百萬分之 330 粒數，顯屬在此時期已增加二氧化碳 14 %。若確信此值，則由人為所放射二氧化碳總量百分之 75 % 仍留存於大氣中 ⁽²³⁾。自 1958 年至 1965 年間二氧化碳每年增加率約為百萬分之 0.7 粒數。在 1965 年以後每年增加率稍減約為百萬分之 0.5 粒數。在太平洋中夏威夷島上茅納羅亞火山 (Mauna Loa) 上與在兩極地區所測定之二氧化碳為百萬分之 314.0 與 313.4 粒數，其間相差粒數尚不達百萬分之 1.0。依據上述情形推斷，將可得下列四點結論：

- (甲) 大氣中二氧化碳長期之年增加率約為 0.2%。
- (乙) 在 1960 年地面大氣二氧化碳含量約近於百萬分之 315 粒數或 8 %，高出於 19 世紀時二氧化碳含量基數百萬分之 290 粒數。
- (丙) 空氣中二氧化碳含量之增加，顯見由於人為因素，人類燃燒燃料之結果，其中 40% 或 50% 仍遺留於空氣中。
- (丁) 十九世紀二氧化碳含量基數為粒數百萬分之 290。則推至 1944 年已增加 5%，而至 1967 年已增至 10%。以此類推，比例增加至 1970 年增加 11%，待至 1980 年將增加 15%；而至 1990 年增加 20%。推至公元 2000 年時將增加為 27%。

假定估計二氧化碳含量增加 10%，譬如自百萬分之 300 增至 330 粒數，空氣氣溫將增加攝氏 0.2 度，倘空氣中之相對濕度維持不變。以此類推至公元

2000 年時，空氣氣溫將增加攝氏 0.5 度。按地面空氣中二氧化碳含量失去平衡時，設若相對濕度環境不變，氣溫即隨之變化。茲假定空氣中二氧化碳含量減低一半或增加一倍之時，氣溫之變化，以攝氏溫標計將有如下之情況：

二氧化碳含量 (ppm)	平均雲量	晴天
300 降至 150	減 2.28 度(攝氏)	減 2.80 度(攝氏)
300 增至 600	增 2.36 度(攝氏)	增 2.92 度(攝氏)

按聯合國社會經濟處豫測假定空氣中二氧化碳含量增加 25%，在 1900 年至 2000 年之間，則地面氣溫將增加攝氏 0.8 度而地面氣候將蒙受甚大之影響。若在平流層中二氧化碳之含量有大幅度之增加，則氣溫將有顯然降低之現象。

八、大氣中微塵量之變化

工業發展使浮游於空中人爲之微塵量大爲增多。約略估計約全年有 2 千萬公噸。此類化學性遲鈍之顆粒其在空中停留時間可達 1/10 年。此類塵粒之直徑大小約在 1/10 至 1 微米 (Micron)。因其有障礙日射與視程之效應，使日射光波產生散射 (Scattering) 及吸收 (Absorption) 作用而影響及於地面輻射平衡 (Radiation balance)。對流 (Convection) 擾動予無數塵粒上下流動之動力，而使空氣中混濁度 (Turbidity) 增加。美國華府 (Washington, D. C.) 於 1905 至 1964 年間空氣混濁度增加 57%，而瑞士之達伏獅於 1920 至 1953 年間混濁度增加 88%。夏威夷島之茅納羅亞火山位於太平洋中於 1957 至 1967 年間混濁度增加 30%，亦即爲在 3,600 公尺高度空氣層中微塵量增加 15%。美國芝加哥煙霧日數在 1930 年以前每年增加率爲 20%，但至 1948 年芝加哥全年煙霧日數已達 320 日。此外人類從事於控制氣候研究而經常在作雲種撒播 (Cloud seeding) 實驗與各處噴射機在平流層中飛行，在地面仰望，常見凝結尾 (Contrails) 橫掃碧空。若假定在空中有 3,000 架噴射機，平均飛行速度爲每時 500 英里，而其留空時間爲兩小時，其 50% 行程中有凝結尾出現。則其簡捷估計法應爲 $3,000 \times 500 \times 0.5 \times 2 \times 0.5 \text{ mi}^2$ 之凝結尾，其影響範圍所及亦屬可觀。據日人眞鍋四九郎 (Syukuro Manabe) ⁽²⁴⁾ 研究在上層之凝結尾若佔天空空間 1% 倘假定對於地面輻射屬於純黑色澤時，則將增加溫度平衡攝氏 0.3 度。

九、結 語

近百年來，由於工業發展與都市化 (Urbanization) 之影響，使一地區氣候之演變已深受人爲之效應，而形成爲自然與人爲綜合之氣候型態，所謂都市氣候 (Urban climates)。都市區域由於建築之密集與空氣污染物質濃度之增加使城市氣候與郊區氣候有顯明之分野。以臺北市而言，即屬若是 ⁽²⁵⁾。都市區域氣溫之分佈在較大範圍之氣溫分佈圖中形成一個『熱島』 (Heat island) ⁽²⁶⁾。向德勒 (Chandler, T. J.) ⁽²⁷⁾ 所著倫敦之氣候一書中稱都市之「熱島」強度與下層大氣氣溫上升遞減率 (Lapse rate) 間之相關係數 (Correlation coefficient) 達 0.6。都市之「熱島」恆視其氣象與地理環境而異，一地之雲量與風速之變動對於「熱島」之強度尤其有密切之關係。在「熱島」邊緣地帶，其溫度梯度 (Temperature gradient) 每比較「熱島」之中心或在「熱島」之外圍地區爲較大。空氣污染程度不僅可改變都市區域之氣溫，且能因空氣濕潤度之增加而減少日射量。又因空氣中所含有之塵埃量增加，於是霧日數或煙霧日數增多，水汽凝結核爲雨滴下降之要件，因此在都市區域降雨之機會亦隨之增加。質言之，空氣污染成分對於局部地區氣候之影響已爲無可諱言之事實。空氣污染因素之嚴重、工業都市之發展與都市氣候之改變，此三者皆有相因相生之關係而爲在科學上一個新穎研究的課題。

引用文獻

1. Volcanic Aerosols-NCAR Quarterly, No.22, February, 1959.
2. Humphreys, W. J. : Physics of the Air, Chapt. III Volcanism p. 591.
3. Shaw, N.: Manual of Meteorology, Vol. II p. 355, 1927.
4. 鄭子政：華北之霾與沙陣，見「氣象雜誌」第 18 卷第 51 至 57 頁。
5. 鄭子政：氣象知識的新里程，見「中國一周」第 354 期第 8 頁至第 9 頁 (原文見「時代周刊」1956 年 12 月 17 日)。
6. 鄭子政：都市生活與環境氣象，見「文藝復興」月刊第 5 期第 36 頁至第 41 頁。
7. 鄭子政：對工業化都市環境平衡的幾項建議，見「現代學苑」第 8 卷第 4 期第 1 頁至第 7 頁。
8. 見前 7. 第 5 頁 ibid Universitas Vol. 8, No.85 p. 137.

9. The World Book Encyclopedia Vol. 4, p. 578.
10. McCabe, L. C.: The Identification of the Air Pollution Problem-In Barker, K. ed. Air Pollution p. 41.
11. Katz, M.: 1958, in Air Pollution Handbook (ed. by P. L. Magill et al-McGraw-Hill Book Company, Inc., N. Y.)
12. Robinson, E. and Robbins: Gaseous Atmospheric Pollutants. From Urban and Natural Sources.
13. Katz, M.: Some Aspects of the Physical and Chemical Nature of Air Pollution-Barker, K. ed.-Air Pollution p. 98.
14. Tebbens, B. D.: Gaseous Pollutants in the Air-In Stern, A. C. ed. Air Pollution, Vol. I. p. 28, Academic Press, 1970.
15. *ibid*, Tebbens, -p. 30.
16. Jaffe, L. S.: The Global Balance of Carbon Monoxide.
17. 鄭子政: 揭開大氣中臭氧層的秘密, 見「東方雜誌」復刊第2-卷第5期第58頁至第62頁。
18. Cadle, R. D. and Magill, P. L.: Chemistry of Contaminated Atmospheres In Magill, P. L. et al ed. Air Pollution Handbook, Section 3-5, McGraw-Hill Book Company, 1956.
19. 見前註 (14) 第 33 頁 *ibid* Tebbens, B. D.: Gaseous Pollutants in the Air, pp. 33-45.
20. Meetham, A. R.: Atmospheric Pollution, 3rd. Ed. 1964, Pergamon Press, London.
21. *ibid* Meetham, -p.283. 見前註 20. 第283頁。
22. Robinson, E.: Some Research on Atmospheric Carbon Monoxide. Proceedings of Conference on Air Pollution in California, 1968.
23. Mitchell, Jr., J. M.: Atmospheric Pollution as a Cause of the Global Temperature Fluctuation of the Past Century.
24. Syukuro Manabe: Cloudiness and the Radiative, Convective Equilibrium.
25. 鄭子政: 臺北都市氣候與空氣污染之關係, 見氣象學報第 15 卷第 3 期, 民國 58 年 9 月。
26. Oke, T. R. and Hannel, F. G.: The Form of the Urban Heat Island in Hamilton, Canada.
Ludwig, F. L.: Urban Temperature Fields.
Sekikuti, T.: Thermal Situations of Urban Areas, Horizontally and Vertically. All in Proceedings of the Symposium on Urban Climates and Building Climatology, WMO Technical Notes No. 108.
27. Chandler, T. J.: The Climate of London. Hutchinson & Co., Ltd., London, 1965.