

空氣污染學

Air Pollution

原著者：Henry C. Perkins

譯述者：黃正義 黃炯昌

科技圖書股份有限公司

空氣污染學

Air Pollution

原著者：Henry C. Perkins

譯述者：黃正義 黃炯昌

科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版臺業字第1123號

書名：空氣污染學
原著者：Henry C. Perkins
譯述者：黃正義 黃炯昌
發行人：趙國萃
發行者：科技圖書股份有限公司
臺北市復興南路1段360號7樓之3
電話：7073230・7056781
郵政劃撥帳號15697

六十六年十月初版
七十三年七月五版

特價新 \$ 150

有成書業公司
\$46・00

原序

本書係利用在丹麥哥本哈根渡假時間，開始撰寫。丹麥技術大學(Danish Technical University)的同事們使人真有賓至如歸之感，尤其受舒密特博士(Dr. Peder Worsøe-Schmidt)的鼓勵與協助，對於本書的誕生，更屬難得。在那裡研究一年當中，使我免於受到瑣事纏身，那是在我原服務學校難以得到的寧靜。

本書將各污染物及其來源，分述於各章中，尤以塵粒、 SO_2 、及 NO_x 等為重心，並論及特殊的污源，如汽車等。另外各章則涉及污染的影響(包括地方性的及全球性的)，聯邦政府在空氣污染方面的立法經過，燃燒過程的基本知識，燃燒所產生的污染控制方法，亦分別說明，另有大氣及污染物擴散現象之討論等。

本書可作為技術工程的引導，曾用作大學四年級及碩士研究生的教材。

本原稿送交出版公司後，污染控制方面，發生了幾樁重要事件，皆將其補述於備註中。其主要事件計有：(1)環境保護署(EPA)宣佈廢除 SO_2 的年平均二級標準。(2)關於須符合CO，HC及 NO_x 的排放標準的限制，汽車製造廠可延緩一年實施。(3) NO_x 的大氣品質標準，因缺乏準確的測定方法，無疑的，其標準國會將會重新釐定。(4)環境保護署已同意，間斷式的空氣污染控制法可資採用，以備惡劣氣象情況下，減除地面污染濃度。此種輔助式控制系統，在阿里桑那州稱為閉環式(closed-loop)，可使工業排煙作暫時性的減低排放量。

另一重要事情值得一提的是，1973年6月間，最高法院維持地方法院的原判：在具有乾淨空氣地區，不得有顯著的降格。也就是說，現有空氣品質比規定值優良的地區，需加保護，不得放任使其增高至規定的極限，不過其執行方法仍未擬妥。

能源危機的衝擊，在淨化空氣的工作中，亦為重要影響因素之一。由於能源危機的逼迫，必然將容忍高硫燃料的使用。因此在某些城市中， SO_2 的濃度勢必增加，不過其為患期間與程度，目前尚難估計。但註定是悲觀的命運。

本書的完成，得助於多人的幫忙，在此願向Inge-Lisa Munzert 致謝他為本書的英語初稿打字，而Debbie Grimble 及 Pat Lou整理二稿，Meta

11.17.74/89

空氣污染學

Anderson 完成定稿的打字，在此一併致謝。我也要謝謝阿里桑那大學及丹麥技術大學同事們熱心的協助，萬得博士（Dr. Jost Wendt）對燃燒方面的指正，使該章增色不少。內人的鼓勵與協助，令人感激。另外，編輯先生們的貢獻甚大，要不是他們的幫助，我真找不出頭緒呢。

波金斯（Henry C. Perkins）

譯者序

吾人所賴以爲生的空氣，近年來因工業發達，已受到相當嚴重的污染影響我們日常生活與健康的安全，因此空氣污染的防治，實爲目前極待通力合作以求解決的主要工作之一。

空氣污染學一書，不但闡明污染的危害，更從理論與實際上，詳細說明防治之道，這是一本討論空氣污染問題，唯一根據工程技術範疇而編寫的，而成爲一般從業人員及學者們良好的閱讀書籍。其中，尤以美國在空氣污染工作上所作的努力，其奮鬥過程與法令規章的基本精神，更值得我們借鏡。

本書譯述，承蒙趙國華老師的鼓勵，譯者利用公畢課餘之暇，歷時一年始行脫稿，冀以簡明文字譯述，惜因才疏學淺，謬誤之處，在所難免，尚祈先進賢達，賜予指正，是幸。

譯者 黃正義 謹誌
黃燭昌

六十六年十月

目 錄

第一章 環境問題

1.1 概說	1
1.2 人類的需要	2
1.3 空氣污染之定義	3
1.4 歷史	5
1.5 目前空氣污染之排放量	6
1.6 解決空氣污染的方法	9
1.7 全球性的影響	12
1.8 結論	14
參考資料	14
習 題	15

第二章 空氣污染對全對全球性的影響

2.1 大氣的根源	18
2.2 二氧化碳	24
2.3 浮游塵	30
2.4 熱	34
2.5 二氧化硫	39
2.6 結論	39
參考資料	40
習 題	41

第三章 污源及其排放物種類

3.1 概說	43
3.2 懸浮微粒	44
3.3 一氧化碳	45
3.4 硫氧化物	46
3.5 氮氧化物	48
3.6 碳氫化合物	49

空氣污染學

3.7 自然界來源	50
3.8 排放因數	52
3.9 結論	59
參考資料	59
習題	60

第四章 熱力學、動力學與空氣污染

4.1 概說	62
4.2 燃燒	63
4.3 平衡計算	65
4.4 化學動力學	72
4.5 結論	79
參考資料	80
習題	80

第五章 洛杉磯型

5.1 光化學	82
5.2 光化學煙霧	87
5.3 光分解循環	93
5.4 反應機構	97
5.5 氧化劑	100
5.6 硝酸基過氧乙酸	103
參考資料	104

第六章 汽車

6.1 概說	106
6.2 操作狀況	107
6.3 汽車排放物之來源	113
6.4 碳氫化合物	120
6.5 控制	122
6.6 未來的防止	126
6.7 未來的引擎	130
6.8 試驗週期	138

參考資料	142
習 題	143

第七章 氣象學

7.1 總論	145
7.2 風的縱剖面	145
7.3 亂流的擴散	148
7.4 薔薇風向圖	151
7.5 地形的影響	153
7.6 分離流	155
7.7 大氣溫度	157
7.8 逆轉	164
7.9 烟柱的形態	167
7.10 1966 年感恩節大悲劇	171
參考資料	176
習 題	177

第八章 烟柱的擴散

8.1 概說	182
8.2 高斯模式	183
8.3 擴散係數	189
8.4 逆轉的影響	195
8.5 模式的限制	196
參考資料	197
習 題	197

第九章 烟柱的上升

9.1 概說	201
9.2 動量源	204
9.3 漂浮烟柱	205
9.4 摘要	215
參考資料	216
習 題	216

第十章 微粒灰塵

10.1 概說	220
10.2 常用的術語	223
10.3 顆粒大小的分佈	227
10.4 去除機構	229
10.5 膠凝	231
10.6 糊塗係數	233
10.7 微粒的捕集	234
10.8 設備的選擇	247
參考資料	256
習題	257

第十一章 硫氧化物

11.1 概說	260
11.2 二氧化硫的來源	262
11.3 自然形成的硫化物	267
11.4 大氣濃度	268
11.5 測定方法	272
11.6 控制技術	273
11.7 排放標準	282
11.8 經費	282
11.9 下風地區的大氣濃度	283
11.10 摘要	284
參考資料	285
習題	286

第十二章 氮氧化物

12.1 概說	289
12.2 污源	290
12.3 排放物結算	294
12.4 大氣中濃度	294
12.5 測定方法	301

12.6	氮氧化物的熱力及動力問題	302
12.7	控制技術	308
12.8	執行標準	313
12.9	經費	315
12.10	結論	315
參考資料		315
習題		316

第十三章 空氣污染的影響

13.1	概說	318
13.2	植物傷害	318
13.3	腐蝕	325
13.4	藝術寶藏的損傷	327
13.5	價值損失	328
參考資料		330

第十四章 空氣污染對人類健康的影響

14.1	概說	332
14.2	呼吸系統	334
14.3	悲劇史實	339
14.4	流行病學的研究	344
14.5	特殊疾病	352
14.6	特殊污染物	354
參考資料		358

第十五章 空氣品質與排放標準

15.1	美國的奮鬥	361
15.2	標準的制定	367
參考資料		375
習題		375

第十六章 結 論

16.1	概說	377
------	----------	-----

空氣污染學

16.2 能源	378
16.3 結論	381
參考資料	382
習 題	382

第一章

環境問題

我們首先要強調的是環境的不可分割性 (indivisibility) 以及複雜性 (complexity)。例如地球上的空氣是如此完全的混合，並在生物圈 (biosphere) 中迅速的迴流 (recycled)。因此，當你下一次呼吸時，所吸入的空氣可能含有耶蘇在客西馬尼 (Gethsemane) 及希特勒 (Adolf Hitler) 在慕尼黑 (Munich) 所呼出的氣體分子，同時亦可能含有原子彈爆炸所產生的銦 (strontium) 90 及碘 (iodine) 131 同位素，還有世界上各地煙囪所排放出的廢氣。摘自："The Oxygen Cycle", by P. Cloud and A. Gibor. Scientific American. Sept. 1970.

1.1 概 說

近年來大家對環境問題的興趣，已大大的提高，許多以前較生疏的名辭，今天已成為我們常用的口頭語了。例如生態 (ecology)、環境 (environment)，光化學煙霧 (photochemical smog)，及溫室效應 (greenhouse effect) 等等。環境問題的發生，大多由於高度進步的工藝技術，尋求所要求的物質享受，及提供吾人所需要的軍事保護。在衆多的環境問題中，空氣污染 (air pollution) 為主要問題之一。空氣污染會增加老年人甚至青年人呼吸系統的疾病，減低能見度 (visibility)，傷害動植物，更可能造成全球性的大災害。我們亟應了解引起空氣污染的各種原因及其影響，明瞭控制各種污染因子的方法。

2 空氣污染學

由於無法完備的分析某一特定空氣污染的問題，因此使我們經常遭到極大的挫折。例如某些科學家推測，目前地球上平均溫度逐漸降低的趨勢，是由於大氣中懸浮微粒累積的結果。但另一派的科學家們，卻認為懸浮微粒的累積，事實上會造成溫暖效應 (warming effect)。到目前為止，這問題的最終答案，尚沒有人知道。

另一方面我們已有很大的進步，例如對洛杉磯型“光化學煙霧”(photochemical smog)產生的原因，已經有了相當的了解。多年來仔細研究洛杉磯型的現象，已使工程師們發展出了多種防治的方法。

為什麼在這時候，我們要特別關心空氣污染呢？人類已經在充滿了灰塵 (dust)、甲烷氣 (methane) 及碳氫化合物的空氣中生活了許多世紀。其中甲烷氣大部份由沼澤所產生，碳氫化合物大部份由森林中的樹木所產生。人們所以會特別關心空氣污染，是因為文明及工業化，促使密度極高的人口聚集在極小的土地上。由人類各種活動所產生的污染物濃度，已經累積到會對植物、動物、及人類的健康造成傷害程度。整個地球上污染物的濃度，已經達到會對地球本身造成嚴重影響的程度了。

工業化的結果，使大多數的家庭擁有一輛或二輛的汽車，電力的需要量在八至十年間即增加一倍。同時人類也產生了大量的固體廢物，這些固體廢物通常都被焚化或傾棄於曠野。

由於文明的結果，使多數國家的人民，居住在百分之一的土地上，以最低的價錢要求高度的生活水準，而對週遭的環境卻漠不關心。工業的急速發展，製造更多更新的產品，但却使污染物的濃度達到危險程度。

1.2 人類的需要

人類需要多少的空氣量？表 1.1 指出一個人每天實際吸入的空氣量，人體每天大約需要 50 磅的空氣，以得到所需要的氧氣量。用這數字乘以地球上約 40 億的人口，則地球上的人類每天約呼吸二千億磅的空氣。

表 1.1 人體空氣需要量

	公升 / 分	公升 / 日	磅 / 日	公斤 / 日
休息時	7.4	10,600	26	12
輕工作時	28	40,400	98.5	45
重工作時	43	62,000	152	69

• 人的平均體重 $68.5 \text{ kg} = 151 \text{ lb}$ 重

每人每日所消耗的食物約重 1.5 kg (約 3 lb)，而人體空氣的需要量約為 50 磅，相當於食物需要量的 15 到 20 倍。由此可解釋為何我們對空氣污染濃度的限制要較食物限制來得嚴格。空氣中的污染物如 NO_2 、 SO_2 、及碳氫化合物等的平均濃度，均要求小於若干億分之一 (pphm)；而魚類及貝類中水銀的含量限制為 50 pphm (0.5 ppm)。我們通常不會覺得空氣是一種生活上必須的物質，因為它存在於各地，隨時可以得到。但我們可以嚐試看看，沒有空氣是否能夠生存？

茲再以煤碳的燃燒，作為我們利用空氣的一個例子，煤碳燃燒的反應方程式為： $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

以美國許多正在興建中的 2,200 百萬瓦的多單位工廠 (multiple-unit plant) 為例，(現有的工廠以 500 - 750 百萬瓦的單位工廠居多)。這種工廠每天約需要 21,000 噸的煤碳，計算工廠每天所需要的空氣量，假設煤碳中含有百分之百的碳。因為 1 lb-mole 的 C 等於 12 lb 的碳，故這工廠每天將燃燒 $(21,000 \times 2,000)/12 = 1,750 \times 2,000$ lb-mole 的 C。每 1 mole 的碳燃燒需要 1 mole 的氧，而 1 lb-mole 的氧等於 32 lb 的氧，所以在完全燃燒化學反應下，每天需要 $1,750 \times 2,000 \times 32 = 112 \times 10^6$ lb 的氧。而每 1 mole 的氧進入燃燒爐時，將伴隨著 3.76 mole 的 N_2 ，每 1 lb-mole 的 N_2 等於 28 lb 的 N_2 ，故每天約有 366×10^6 lb 的 N_2 經過燃燒爐，很顯然的在燃燒的過程中將消耗巨量的氧，而氮可能會轉變為二氧化氮，很幸運的是其實際轉變量不多。

再用汽車來看空氣的用量。茲舉洛杉磯的 4 百萬輛汽車為例，若完全燃燒，每 1 磅的燃料約需 15 磅的空氣，而美國平均每部車子每天約用 12 lb 的汽油，故每天每部車子約需要 180 lb 的空氣，則 4 百萬輛汽車每天即需要 $4 \times 10^6 \times 180 = 720,000,000$ lb 的空氣。由上面的敘述可知我們每日的活動，實際完全依靠着空氣。

1.3 空氣污染之定義

何謂空氣污染？工程師聯合協會 (The Engineers' Joint Council) 在討論“空氣污染及其控制”時，曾作如下的定義：

空氣污染為室外空氣中；含有一種或多種污染物，例如落塵 (dust)，蒸煙 (fumes)，氣體 (gas)，霧 (mist)，味 (odor)，煙霧 (smoke) 或者蒸汽 (vapor) 等，其存在的量、性質與歷時之久暫將會傷害到人類、植物及動物的生命、損害財物，或無理干擾舒適的生活環境。

4 空氣污染學

以上為一種廣義的定義，經常作為撰寫法令的參考。阿里桑那州“空氣污染控制條例”(air pollution control regulations)，對空氣污染的定義如下：

「空氣污染表示在室外的空氣中，含有一種或多種污染物或其混合物，其存在的數量和時間，可能造成傷害（或有傷害傾向）到人類、植物、動物生命及財物。

空氣污染物包括煙、蒸汽、焦紙(charred paper)、落塵、油煙(soot)、煤塵(grime)、碳薰煙(carbon fumes)、氣體、霧、氣味、粒狀物(particulate matter)，放射性物質(radioactive materials)，有毒化學物(toxic chemicals)，或其他室外大氣中的含有物。]

阿里桑那州的條款，對污染物僅定義為“有傷害的傾向”而感觀上的條款如“無理干擾舒適的生活環境”並未列入。當然法院是否能裁決“何謂無理的干擾”實在是個問題，某一個人的工作可能對另一個人產生“無理的干擾”，這問題將牽涉到時間的觀念。

各種污染物名詞的定義如下，這些定義與美國試驗及材料協會(American Society for Testing and Materials)，“空氣取樣分析標準方法”(Standards on Methods of Atmospheric Sampling and Analysis)的定義相當。本書以下節將應用到這些名詞。

懸浮微粒(particulate)：是微小而單獨存在的顆粒物的通稱，不論是固體或液體，懸浮微粒有時與浮游塵(aerosol)可交替使用。

浮游塵(aerosol)：微細尺寸(microscopic size)的固體或液體粒子，分散於氣體介質中，如煙(smoke)，霧(fog)，霧(mist)等。

落塵(dust)：一種比膠體(colloidal)大的固體粒子，能夠暫時懸浮於空氣或其他氣體中。除非存在於靜電場中，否則落塵將不會聚集(flocculate)，亦不會擴散(diffuse)，但會受重力的作用而沉降。落塵通常由於體積較大的物質，受到物理力量粉碎而形成的。

珠滴(droplet)：一種較小的液體粒子，其大小及比重適足以在平靜的狀態中沉降，但會在亂流中作懸浮。

飛灰(fly ash)：為一種細小的灰塵粒子，夾雜於燃料燃燒所產生的氣體中。灰塵的顆粒可能含有燃燒未完全的燃料。這名詞主要用於吹散式鍋爐(spreeder stoker)，下部飼煤式鍋爐(underfeed stoker)。煤粉式鍋爐(pulverized fuel firing)所產生的灰塵。

霧(fog)：為一個籠統的名詞，用於能見的氣霧(aerosols)，其擴散相(dispersed phase)為液體。通常由於凝結作用而產生。在氣象學上，用於稱水或冰的擴散現象。

蒸煙 (fume)：指由氣態物質凝結所產生的固體粒子，通常由溶解性物質的揮發化作用 (volatilization) 產生，經常伴隨着化學反應如氧化作用等。蒸煙會架集，偶而亦會合生 (coalesce)。在許多的法律和條文中，這名詞泛指任何或所有形態的污染物，而此污染物具有某種不希望的反應。

氣體 (gas)：物質三種形態的一種，沒有一定的形狀和體積，且能無限制擴張。

霧 (mist)：一個籠統的名詞，用於指低密度，體積較大的液體粒子。在氣象學來說，是一種擴散的水滴 (water droplets) 具體積已經足以開始沈降的程度。

粒子 (particle)：一種小而各別的固體或液體物質。

煙 (smoke)：由於不完全燃燒所產生的微細塵霧。主要成份為碳或其他可燃燒物質。

油煙 (soot)：帶有焦油的碳的集合顆粒，由含碳物質不完全燃燒所產生。

蒸汽或氣 (vapor)：物質的一種氣體形態，通常存在於液態或固態之中。

1.4 歷史

「但願聽到我聲音的每一個人了解，以後燃燒生煤者，可能會被判死刑。

愛德華一世 (King Edward I. 1300) 」

空氣污染的現象是最近才發生嗎？或者是一直最近才被注意到呢？某些形式的污染如光化學煙霧，的確是一種新發生的現象，這種現象的發生，需要某種程度的太陽光及相當數量的汽車，在氣象穩定的區域內才會發生。汽車所需要的密度，最近才在城市的中心區域達到此種數量。至於煙的污染，已與人類並存有數個世紀之久了。在愛德華一世統治英國的時期，由於燃燒生煤，產生煙及氣味的問題，故宣佈倫敦在議會開會期間，禁止燃燒生煤。由於大量的焚燒木材，使得英國的森林迅速的減少，因此雖然皇室不贊成燃燒生煤，但其用量仍繼續增加。在 1661 年強愛文 (John Evelyn) 寫了“倫敦空氣污染的壞處及簡易管制方法”一書。1772 年又出版了一新的版本，可惜強愛文所提出的解決方案，在當時未被接受。這些方法包括將工廠遷到市郊，在都市周圍種植綠帶，這兩種簡易方法，至今仍被用為解決空氣污染的方案。更深入了解英國空氣污染的歷史，頗