

# 大氣科學

戚啓勳編著



大中國圖書公司印行

大學用書

大 氣 科 學

戚啓勳 編著

大中國圖書公司印行

4  
7 11.84



版權所有・翻印必究

編著者：戚 啓 勳  
發行人：薛 瑜  
出版者：大中國圖書公司  
印刷者

台北市重慶南路一段66號  
電話：3111487 郵撥：2619號

登記證：局版台業字第0653號

中華民國六十六年十二月初版

基本定價六元

編號：765

## 自序

大氣科學或氣象學在大學中成爲一獨立系還是近幾年內的事。早年只不過是地理系或地學系內設有氣象學的課程而已！再早則史地系內的氣象，所佔的份量當然更輕。作者在民國五十三年起在中國文化學院的地學系擔任普通氣象學的講授，當時很難找到一本適用的中文教科書，因爲二次大戰期間，氣象學應客觀需求而進展神速，戰後氣象報告開放，測站激增，我們對於氣象科學有了進一步的瞭解，有關教科書不斷刷新，中文方面教科書難免要落在後面。另一方面，大學一年級想要採用原文書，勢必會閱讀很吃力，進度緩慢，這就是我想要編撰一本普通氣象學的動機。

當時，一面蒐集國外有關的教科書從事編撰，一面作系統性的講授。翌年完成初稿，承蔣丙然、高平子兩位前輩的推薦，劉衍淮博士的精心審核，乃得國立編譯館採爲部定大學用書，正中書局在民國五十五年十月初版發明。氣象原是冷門學科，印書多半是賠錢生意，却不料這十年內居然已經發行到第九版。推其原因，一方面因爲至少有三個大學（學院）先後成立了大氣科學系，氣象系，或大氣物理系；而且預官考試中氣象學成爲特種軍官考試的指定科目，這本書僥倖成爲參考書，由此可見氣象學之日漸受人重視。

然而這十多年來氣象學的進步更快，主要因爲在聯合國世界氣象組織的推動下，全球性氣象觀測網和資料蒐播系統的建立，國際合作的地區性研究計畫積極推行，再加上氣象衛星的問世，積效輝煌，雷達和其他電子技藝的相輔相成，而高速電子計算機在數值模式上更發揮了空前未有的光采，才使我們對大氣稟性和行爲有了更深入的理解。

最近國外出版的一些大氣科學教科書，不僅內容多有刷新，就是重點也大有出入。作者深感於過去所編撰的那本普通氣象學既然受到讀者的歡迎和支持，當然會時時刻刻感到有增修訂的必要，然而大家都知道：想要修改一件衣服，如果改的地方太多，倒不如重新另製一件。另一方面，由

於大氣科學或氣象學既已單獨成系，這一系的基本學識當然應該充實一些，這一本大氣科學的主要目的即在於此，而且參考的書籍大多是 1975 年國外出版的新書。

大氣科學顧名思義當然是研究大氣的一門學問，如果不太嚴格，那末和氣象學的內容並沒有重大的出入，因為氣象學實際上就是研究大氣性質和現象的一門學問。但近世由於地球科學的發展，大氣科學已有取代氣象學的趨勢。另一方面，大氣科學着眼的範圍比氣象學稍廣，以其主要目標在於大氣的物理和化學過程，所以舉凡高空大氣、空氣污染、大氣光學等都包括在內。難怪近世氣象系大都以大氣科學系來代替。

本書稱之為大氣科學，既然涉及的範圍較廣，所以過去普通氣象學第二章的氣象儀器和觀測只好改放在附錄內，近世大氣科學或氣象學大都如此，這也可以使本文更富有連貫性。全書計分十二章，第一章對整個大氣圈作一概述，大氣的基本性質則在第二章內論述，也就是氣壓、溫度和濕度，因為一切大氣現象無不導源於這三種性質；而後再講到地球大氣的能源，受到熱量後，空氣當然會產生垂直運動。接下來講水循環中的各種過程以及空氣的水平向運動。從第七章起論述各種幅度的大氣環流，自大而小，第十章屬於熱帶氣象學的基礎，由於台灣常受颱風侵襲，所以在這一章內論述稍詳盡。第十一章氣候內對中國的氣候和台灣的氣候都有簡明扼要的敘述，相信能切合我們的需要，最後一章大氣科學的應用是本書一大重點，因為任何科學，直接間接都是以應用為最後目標。近幾年來，大學畢業生不容易找到出路，所以初進大學的學生必須讓他們知道大氣科學應用的範圍很廣，才會對學習發生興趣。當然事實因為限於篇幅，只能作簡明扼要的說明。後面增加四種附錄，包括地面及高空的觀測與儀器，天氣符號和填圖模式，以及換算因子和常數，相信都能切合需要，最後特別編撰索引，以利查改。

本書內容相當豐富，至少和過去的普通氣象學比較可以這樣說，所以老師講授的時候可以選擇重點予以申論，但因本書都採用白話直敘式，相信一般高中畢業生都能看得懂，不會發生困難，較艱深的公式已予省

略，留待動力氣象學中再講解。

話雖如此，本書完成過於匆促，謬誤自所難免，尚希海內外專家多多匡正，俾於再版時訂正，此所至盼！

戚啓勳序於

民國六十六年七月

# 大氣科學

## 目 錄

<b>第一章 大氣的組成</b>	<b>1-20</b>
第一節 大氣的由來	1
第二節 大氣的垂直伸展	2
第三節 大氣的分層	4
第四節 下層大氣的成分	10
第五節 上層大氣的成分	14
第六節 磁性層	17
習 題	19
<b>第二章 大氣的性質</b>	<b>21-51</b>
第一節 大氣的壓力	21
第二節 流體靜力平衡	25
第三節 理想氣體和實際氣體的物態方程	28
第四節 測高公式	33
第五節 氣壓的測量和換算	37
第六節 濕度的表示法	39
第七節 熱和溫度	42
第八節 物質的分子說	43
第九節 熱容量	45
第十節 溫度系統和溫標	47
習 題	50

### 第三章 大氣的能源 52-82

第一節	熱能的轉移	52
第二節	輻射學說	54
第三節	太陽能	56
第四節	黑體輻射	59
第五節	太陽輻射的分配	63
第六節	地球的熱平衡	70
第七節	地球上熱能的分配	73
習題		81

### 第四章 空氣的垂直運動 83-115

第一節	定容狀態和定壓狀態	83
第二節	絕熱過程	85
第三節	乾空氣的絕熱過程	90
第四節	飽和絕熱過程和假絕熱過程	91
第五節	直減率和穩定度	93
第六節	絕熱圖和熱力圖	96
第七節	熱力圖的應用	100
第八節	氣層穩定度	101
第九節	垂直運動的原因和後果	103
第十節	大氣穩定度的熱力學	106
習題		114

### 第五章 水循環的過程和大氣現象 116-171

第一節	水文循環	116
第二節	蒸發	119
第三節	凝結	124



第四節 露和霜	129
第五節 霧	131
第六節 雲	137
第七節 降水過程	145
第八節 降水型式	150
第九節 能見度和視障	155
第十節 光象	156
習 題	170

## 第六章 空氣的水平向運動 172-203

第一節 慣性與非慣性坐標系	173
第二節 科氏力和離心力	174
第三節 動量及其保守性	177
第四節 氣壓梯度力	179
第五節 水平運動中力的平衡	183
第六節 渦旋度和波型運動	195
第七節 輻合輻散和連續性方程	199
習 題	202

## 第七章 大氣的主環流 204-236

第一節 運動的輻度	204
第二節 熱力性環流圈的建立	209
第三節 全球性風系	214
第四節 緯流的經向變化	217
第五節 活動中心和環流指數	222
第六節 移動性環流型	223
第七節 噴射氣流	224
第八節 平流層和中氣層內的環流	232

習 題	236
<b>第八章 次環流</b>	<b>237—295</b>
第一節 季風環流	237
第二節 氣團	247
第三節 鋒	258
第四節 氣旋和反氣旋	274
第五節 反氣旋和寒潮	291
習 題	294
<b>第九章 局部環流和劇烈天氣</b>	<b>296—317</b>
第一節 局部環流的種類	296
第二種 陸風和海風	297
第三種 山風和谷風	299
第四節 下坡風	301
第五節 焚風	302
第六節 其他地方風	303
第七節 旋風及塵捲風	305
第八節 雷暴	306
第九節 雹暴	313
第十節 龍捲風	314
習 題	317
<b>第十章 熱帶天氣和颱風</b>	<b>318—343</b>
第一節 熱帶氣象要素的特殊性	318
第二節 熱帶地區的特殊綜觀系統	321
第三節 熱帶氣旋的發生地區和強度區分	325
第四節 颱風的成因	326

第五節	颱風的加強和成熟	332
第六節	颱風的移行和消滅	334
第七節	颱風的結構	334
第八節	颱風的災害	340
第九節	颱風季和颱風警報	341
習 題		343

## 第十一章 氣 候 344—398

第一節	氣候的意義和控制因子	344
第二節	溫度型	345
第三節	雨量型	352
第四節	小氣候	361
第五節	氣候分類	362
第六節	中國氣候	367
第七節	台灣氣候	379
第八節	氣候變遷	387
習 題		398

## 第十二章 大氣科學的應用 399—494

第一節	天氣預報	399
第二節	天氣和氣候的改造	425
第三節	農業	435
第四節	航空	447
第五節	航海	460
第六節	工業	463
第七節	空氣污染	466
第八節	房屋建築	474
第九節	軍事	484

第十節 行動的決定.....	486
習 題.....	492
附錄一 地面氣象儀器及觀測.....	495—521
附錄二 高空觀測技術.....	522—526
附錄三 天氣符號及填圖模式.....	527—529
附錄四 換算因子及常數.....	530—532
重要參考資料.....	533
索 引.....	534—559

# 大 氣 科 學

## 第一章 大氣的組成

從字面上來講，大氣科學（atmospheric science）是研究大氣（atmosphere）的一種科學。那末大氣又是什麼呢？大氣是指包裹在地球周圍的一層空氣，可見空氣就是組成大氣的實質。

本章先要說明地球上大氣的由來，向上伸展的高度，再解釋按照溫度的分層，最後講解下層大氣的成份和上層大氣的性質。

### 第一節 大氣的由來

在我們這個太陽系內，雖然除了水星而外，每個行星的周圍都包裹着一層大氣，但是很可能只有地球大氣幾乎完全由氮和氧組成，火星和金星的大氣主要是二氧化碳，木星和土星則由氫、氦、沼氣、和阿摩尼亞組成大氣。

地球爲什麼會有如此成份的大氣？到現在還是爭論的主題，但是有一點却可以確定：距今約四十五億年前地球剛誕生的時候，因爲溫度太高（從地殼、地涵到核心的分層，再加上大部核心到現在還是熔體的事實推想而知），任何大氣都留不住（高溫度空氣分子運動太快）。氣體分子之所以不能逃離地球，是因爲重力把它們吸住的緣故。吸力的大小要看各該行星的質量而定。小而熱的行星，像水星，除非是很重的氣體分子，一般氣體都吸不住。地球因爲夠大，而且現在也相當冷，所以能吸住薄薄的一層空氣。

縱然如此，地球大氣的邊緣此刻仍有一些分子在緩慢地逃向外太空。離地面大約 600 公里以上，氣體既稀且熱，有些較輕較快的分子仍能掙脫

地球的引力，地球上的質點逃逸速度 (escape velocity) 相當高，大約為每秒 11.3 公里 (月球上却只有每秒 2.4 公里)，所以唯有很輕的氫和氦才能以較高率脫離地球，至於較重的氧分子和氮分子，按照它的逃逸率，估計要  $10^{45}$  -  $10^{51}$  年才會逃光！

地球誕生之初，周圍這層原始大氣主要由沼氣 ( $\text{CH}_4$ ) 和阿摩尼亞 ( $\text{NH}_3$ ) 所組成，這些氣體現在是木星、土星、天王星和海王星的主要成份。我們大體上可以肯定：當初並沒有自由氧氣。有一種學說認為直到地球開始冷卻，趕走了原始大氣，才逐漸形成現在這種大氣。新大氣來自熔岩內，地面起泡衝出熔解氣體，其中大部份是水汽，還有一部份是二氧化碳和氮氣 (現時火山內噴出的就是這些氣體，水汽約佔 60 - 70%，二氧化碳佔 10 - 15%，氮佔 8 - 10%，其餘為硫化物)。

地球再冷下去，水汽凝結，雲和液態水同時存在，而後有雨水降落，但只能降在大氣的上層，因為雨水降到赤熱的地殼附近，立刻被蒸發。距今大約三十億年前，水份循環已經開始，再過幾十萬年，地球上籠罩着濃厚的黑雲，地殼終於逐漸冷卻，下了大約四萬年的傾盆大雨，形成海洋。

有了海洋，液態水慢慢地吸收了大氣中大部份的二氧化碳；另一方面則二氧化碳侵蝕地殼，造成許多碳化岩石，留下氮氣成為大氣中最豐富的氣體。至於大氣中的氧，一般專家都相信一直要等到距今約八億年前，基本植物出現之後，經由光合作用 (photosynthesis) 使得二氧化碳轉變為氧。另外一種說法，則認為大氣中的氧主要因為水汽分子被紫外輻射照射產生光解作用 (photolysis)，分成原子氧和原子氫，隨後原子氫從地球大氣中逃出，剩下原子氧結合成分子氧。不管怎樣，現在主要由氮和氧混合而成的大氣，是光合作用或光解作用活動一段時期後才逐漸形成。

## 第二節 大氣的垂直伸展

地球周圍的大氣圈並沒有一定的界限，而是離地球愈高，逐漸變為更稀薄，以至於近似真空，進入星際太空。根據太陽光在地平線下被大氣折射而產生的曙暮光 (twilight) 推算，大氣的厚度至少有七、八十公里

；但從流星和北極光的最高發光點推算，證明離地八百公里還有少許空氣存在。所以一般來說，大氣層的厚度採取 1000 公里，大約相當於地球直徑的十二分之一，雖然離地一百五十公里的氣壓只佔海平面氣壓的百萬份之一，已經相當於電燈泡內的真空狀態。

空氣因為有壓縮性，所以整個大氣有一半在離地五公里半以下，四分之一在五公里半到十一公里之間，另外四分之一則向上一一直伸展到大氣層的邊緣。表 1 - 1 內可以看出離地四百公里以內，大氣的密度怎樣隨高度的增加而遞減。四百公里以上，因為大氣本身的密度已經很小，所以減低得非常緩慢。事實上，大氣的總質量有百分之 99 集中在離地三十公里以內。

表 1 - 1 大氣的溫度和密度隨高度的變化

高度 (公里)	溫度 ( 度氏 )	密度 ( 每立方公分克數 )
4	288	$1.2 \times 10^{-3}$
10	225	$4.1 \times 10^{-4}$
20	217	$8.9 \times 10^{-5}$
30	231	$1.8 \times 10^{-5}$
40	261	$4.0 \times 10^{-6}$
50	283	$1.1 \times 10^{-6}$
60	245	$3.7 \times 10^{-7}$
70	173	$9.4 \times 10^{-8}$
80	168	$1.4 \times 10^{-8}$
90	176	$1.9 \times 10^{-9}$
100	208	$2.8 \times 10^{-10}$
140	662	$4.7 \times 10^{-12}$
180	1115	$1.5 \times 10^{-12}$
400	2161	$6.5 \times 10^{-15}$

\*400 公里以下錄自 Henry Lepp, Dynamic Earth, Table 8-1, 400 公里則錄自 Longley, Elements of Meteorology, Table 2-1; 至於氣壓和高度的比照，見表 1 - 2 所列。

表1 - 2 氣壓和高度的比照約數

地面	1000 毫巴
3 公里	700 毫巴
6 公里	500 毫巴
10 公里	285 毫巴
20 公里	50 毫巴
30 公里	10 毫巴
50 公里	1 毫巴

離地五、六百公里以上，由於空氣質點的密度非常稀薄，被此碰撞的機會極少，有些質點能逃離地球的引力，這一大氣的邊緣地帶，史畢茲（Lyman Spitzer）稱它為外氣層（exosphere），這一個希臘字“exosphere”的意思就是“最外層”。

超高空的大氣密度，可以從它質點的平均自由路徑（mean free path）顯示出來，以海平面的標準狀況來說，空氣的平均自由路徑大約為  $5.5 \times 10^{-8}$  公分，離地六十公里約 0.01 公分，一百公里約 2.5 公分，三百公里即達 25 公尺。

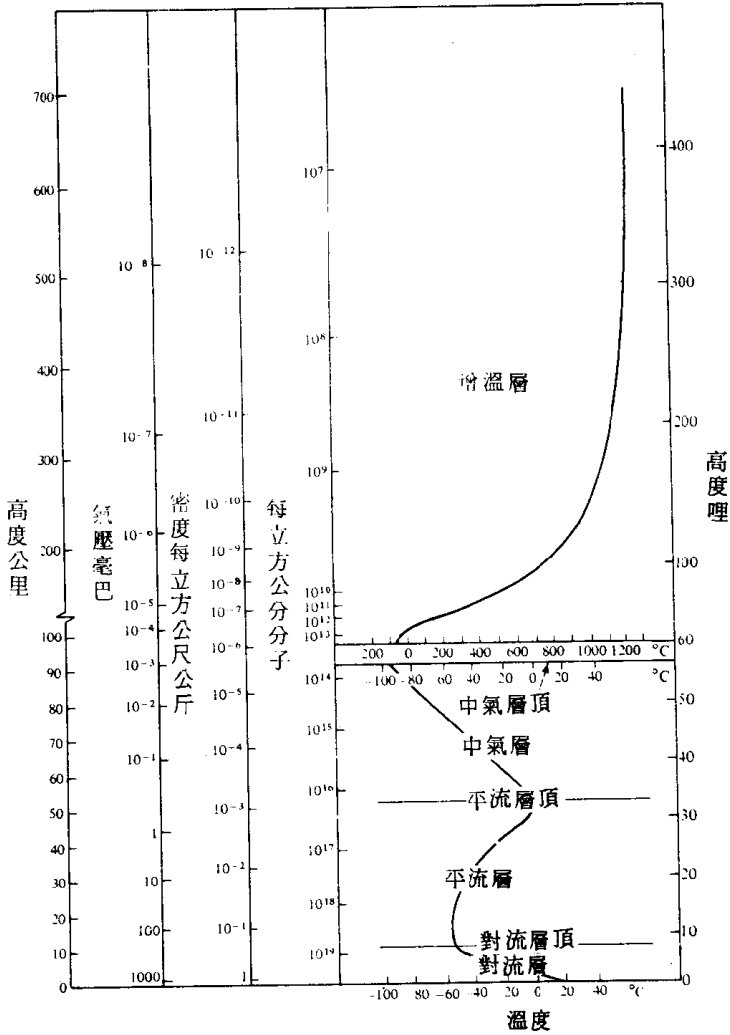
### 第三節 大氣的分層

垂直方向的大氣分層有很多種標準，但最常用的就是按照溫度的垂直分佈來加以劃分，1962年世界氣象組織（簡稱WMO）執行委員會正式通過大地及地球物理聯合會（International Union of Geodesy and Geophysics）所建議的分層系統，得到世界各國的普遍採用，這樣才消除了平流層（stratosphere）三種相差很大的定義。

此種分層系統將大氣圈按照溫度平均分佈劃分為四層，如圖 1 - 1 所示，下面扼要加以說明：

#### 一、對流層





(4)

圖 1-1 大氣性質和現象的垂直分佈