



近代氣象學基礎

陸正華 編著
許以平 校閱
戚啓勳



近代氣象學基礎

近代氣象叢刊 B 1

許以平
陸正華 著 · 戚啓勳 校閱

明文書局

究必印翻・所有權版

275 近代氣象叢刊 B 1

近代氣象學基礎

平裝一冊定價新臺幣二〇〇元

著者：陸正華・許以平

校閱者：咸啓書

出版者：明文書局

發行人：李潤海

印製所：台北市敦化南路四九二號
永華彩色製版印刷有限公司

發行所：中和市平和路18巷5號4樓之2
明文書局股份有限公司

行政院所屬：行政院新聞局出版字一九九三號

地址：台北市重慶南路一段49號7樓之3

電話：三三一八四七・三七五四六七九

郵撥：〇一四三六七八四號 明文書局

傳真：三六一九一〇一

中華民國八十年二月初版

Ming Wen Book Co., Ltd.

7F No.49, 1 Sec., Chungking South Road,
Taipei, Taiwan, R.O.C.

ISBN 957-9509-57-3

序

近代氣象學進步很快，應用的範圍也越來越廣。所以有關大氣科學的圖書真是浩如煙海。但無論如何，基本氣象學總是引入此一學科的「敲門磚」。前輩氣象學者蔣丙然先生和朱炳海先生都曾寫過「氣象學」。

大陸動亂後，兩岸的氣象科學自謀發展，互有短長，但氣象畢竟是一門具有地域性的科學，基本工具在於稠密而廣泛的觀測資料，所以這一方面，大陸具有先天性的優勢。前幾年，政府開放探親，同時也引進許多大陸上的科技圖書，氣象更是重要的一環。

大陸上氣象人員很多，相形之下，專家學者也比台灣要多，尤其是寫「科普」的教科書。本書原名「氣象學基礎知識」，由後起之秀陸正華和許以平兩位氣象學者編著，取材新穎，深入淺出，文筆非常通順，解釋得很清楚，且多引用諺語，讀起來更有親切之感。以其函蓋至廣，不僅包含基本學理，更涉及大氣探測，預報方法，人工影響天氣的歷程和展望。氣候一章則概述中國氣候，世界氣候和氣候變遷等，均不失簡明而扼要之宗旨。

筆者早年執教於中國文化學院氣象系，當時深感氣象學缺少入門書，乃將講義整理成「普通氣象學」，以部編大學用書於民國五十五年出版，銷路很好，迄今仍有採用。後來又爲了專科學校應用，編有「實用氣象學」一書，由環球書局印行。十多年後因感過去資料已嫌陳舊，乃另編「大氣科學」，內容較豐富，由大中國圖書公司出版。可見本人對氣象學的基礎書不僅感到興趣，而且也在實踐。因此我讀了這本書引起共鳴和讚佩，特別介紹給明文書局以繁體字本在台灣出版，相信一定會受到廣大歡迎。

在校正過程中，對常用氣象名詞之與此間相異者已加更改，非常用者保持不變，包括氣象儀器此間已將「表」改為「計」，單位之「毫米」與「公厘」，以及人名之翻譯等。此外，當然還有極少小節因為某種原因不得不改，但都不傷大雅，諒兩岸讀者都會諒解。

本書適合此間一般研習氣象之學子，亦可稱之為必讀書，專科學校之有「氣象」一科者可採用為教科書，以其內容已本土化，可以說非常適用，特此作序介紹。

戚 啓 勳

序于 1990 年 12 月

目 錄

一、地球的外衣	1
層狀團塊結構	1
大氣的成份	7
大氣的狀態	8
大氣的冷暖	9
大氣的壓力	11
大氣裏的水汽	16
小 結	18
二、大氣的運動	19
大氣運動的產生	19
大氣怎樣運動	21
大氣運動的形式	31
大氣的垂直運動	33
大氣的不規則運動	37
辨風知晴雨	38
小 結	42
三、雲・霧・雨・雪・冰雹・雷電	43
雲的形成	43
各種各樣的雲	47
霧	57

霧和霜	60
從雲到降水	62
雨和雪	64
冰 雹	66
雷 電	69
觀雲知雨	76
聞雷識天	78
小 結	81

四、大氣裏的光象 83

虹	83
暈	86
華	88
霞	89
海市蜃樓	90
小 結	93

五、天氣系統 95

氣 團	95
影響我國的一些氣團	96
鋒	100
氣旋和反氣旋	105
低壓槽和高壓脊	110
颱風	112
龍捲風	118
小 結	120

六、大氣探測 123

大氣探測的方法	123
直接的氣象觀測	124
氣象雷達	127
氣象衛星	132
世界天氣監視網	135
小 結	138
七、天氣預報	139
天氣圖預報方法	139
外推判斷法	142
相似判斷法	144
物理分析法	144
用電子計算機作天氣預報	150
縣站預報方法	154
中長期天氣預報方法	162
小 結	166
八、人工影響天氣	169
艱辛的歷程	170
蓬勃發展	172
方興未艾	177
小 結	180
九、氣 候	181
形成氣候的主要因素	181
我國氣候的主要特點	183
我國的多種氣候類型	187
我國的災害性天氣	192

我國氣候之最.....	196
世界氣候帶.....	203
氣候變遷和氣候變動.....	211
小 結.....	220

十、回顧和展望 221

氣象科學的形成和發展.....	221
氣象科學的發展趨勢.....	223

一、地球的外衣

我們居住的地球是太陽系中一顆特別的行星。在地球外面有一層大氣，它像一件外衣罩着地球。風、雲、雨、雪等各種天氣現象都發生在這裏。

層狀團塊結構

(一)

人們常常把大氣層比做空氣的海洋，來形容它的範圍十分廣大。大氣的底部是地面，可是上界並不十分明確。因為在大氣層外面還有極其稀薄的星際氣體，大氣的密度（單位體積的質量）隨着高度增加而逐漸減小，最後跟星際空間連接起來，它們之間不存在截然分明的界限。

當然，我們還是可以根據物理性質給大氣劃定一個大致的上界。大氣的上界究竟在哪裏？由於各人的着眼點不同，答案也不一樣。有人着眼於大氣層出現的一種物理現象——極光^①來估計大氣的上界。根據現有的觀測資料，最高的極光高度是1200公里。因此，他們認為大氣上界的高度大約是1200公里。另外一些人着眼於大氣密度接近於星際氣體密度的高度來估計大氣的上界。根據天文觀測數據，星際氣體密度大約是每立方公分一個原子。根據人造衛星觀測資料，地球大氣密度大約在2000～3000公里的高度上就減小到這個數值。他

① 極光是經常出現在高緯度地區高空的一種瑰麗的彩色光象，一般是帶狀、弧狀、幕狀或放射狀的。它是由太陽發出的高速帶電粒子激發高層空氣分子或原子而形成的。

2 近代氣象學基礎

們把這個高度定做大氣的上界。

(二)

大氣層的一個重要特徵就是不均勻性。在水平方向上，它可以分成物理性質不同的大塊空氣團；在垂直方向上，它可以分成物理性質不同的若干氣層。這就是說，大氣層具有層狀團塊的結構。

大氣層的一種重要狀態特徵是它的溫度。溫度一般用攝氏度做單位，符號是 $^{\circ}\text{C}$ 。攝氏溫度標因瑞典天文學家攝爾修斯（1701~1744）在1742年創立而得名，它把水在一大氣壓^①下的冰點定做 0° ，把水在一大氣壓下的沸點定做 100° 。在英、美等國也有用華氏度做單位的，華氏度的符號是 $^{\circ}\text{F}$ 。華氏溫度標因德國物理學家華倫海特（1686~1736）在1709年創立而得名，它把水在一大氣壓下的冰點定做 32° ，把水在一大氣壓下的沸點定做 212° 。另外，還採用一種愷氏溫度標，因英國物理學家愷爾文勳爵（1824~1907）在1848年創立而得名。愷氏溫度標以 -273.15°C 作為 0° ，分度和攝氏度相同，就是一愷氏度等於一攝氏度，愷氏度的符號是 $^{\circ}\text{K}$ 。愷氏溫度標也叫絕對溫度標或熱力學溫度標。1968年國際計量大會決定熱力學溫度單位不再叫“愷氏度”，而直接用“愷爾文”，符號是 K 。現在已經把開爾文定做國際單位制中的溫度單位。

世界氣象組織規定，按大氣溫度（簡稱氣溫）的垂直分布，大氣層粗略地可以分成對流層（也叫對流圈）、平流層（也叫平流圈）、中氣層（或中氣圈）、增溫層（也叫增溫圈）、外氣層（也叫外氣圈）。對流層和平流層之間是對流層頂。平流層和中間層之間是平流層頂。中氣層和增溫層之間是中氣層頂。

(三)

對流層是大氣層中最低的一層，它的底部是地面。對流層集中了

① 關於氣壓，下面“大氣的壓力”一節就要講到。

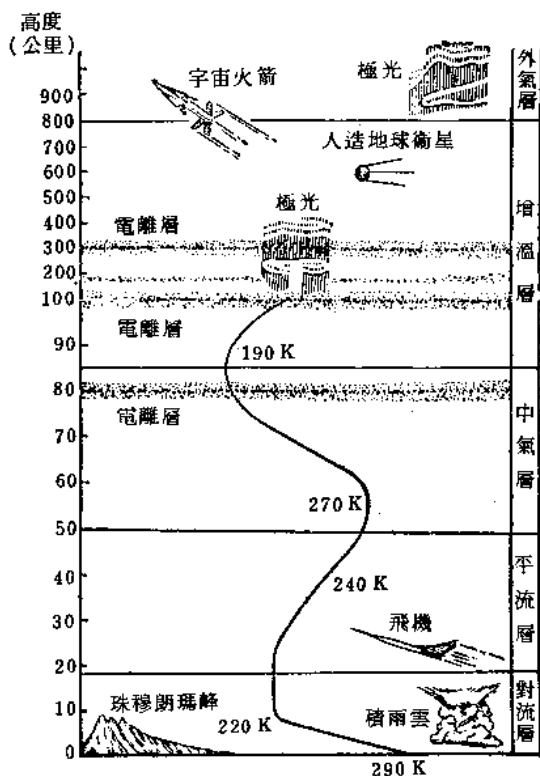


圖1 大氣層的垂直結構

整個大氣 75 % 的質量和 95 % 的水汽，各種天氣現象都出現在這一層裏。因此，對流層對人們的生活和生產活動影響最大，也是氣象學家研究的重點圈層。

對流層跟地面接觸。大氣的熱源是被太陽加熱了的地表面，所以，大氣溫度隨着高度增加而降低，平均每上升 100 米氣溫下降大約 0.65°C ，這叫溫度垂直遞減率。這是對流層的第一個重要特徵。

4 近代氣象學基礎

由於各地緯度不同，地表各處的性質不一樣，得到和吸收太陽輻射^①的數量和能力有大有小，散發出的熱量有多有少，因此各地上空的溫度、濕度^②等就很不相同；也就是說，在水平方向上對流層各處的大氣溫度、濕度等物理狀況是不一樣的。這是對流層的第二個重要特徵。

既然水平方向上對流層各處的大氣溫度不同，熱脹冷縮，空氣密度也就不一樣。氣體輕的上升，重的下沉。暖空氣輕，上升；冷空氣重，下沉。大氣就會發生強烈的對流作用。對流就是氣體（或液體）的比較熱的部分和比較冷的部分之間相對地發生循環流動的過程，對流層就是因此而得名的。對流把近地面的熱量、水份、雜質等向上空輸送，在成雲致雨過程中發揮重要的作用。這是對流層的第三個重要特徵。

對流層的高度因為緯度、季節的不同而不同。比如赤道地區，對流層高度是 17 ~ 18 公里；中緯度地區，對流層高度是 10 ~ 12 公里；兩極地區，對流層高度是 8 ~ 10 公里。

在對流層接近平流層的地方有一個厚幾百米到 1 或 2 公里的過渡層，叫做對流層頂。對流層頂的氣溫從下到上接近於等溫，或者說很少變化。平均氣溫，在低緯度地區大約是 -83°C (190 K)，在高緯度地區大約是 -53°C (220 K)。

(四)

從對流層頂到 50 公里高度的這層大氣是平流層。

在平流層裏，下部隨着高度的增高，氣溫保持不變或者略有上升；到 25 公里以上，隨着高度的增加，氣溫顯著升高；到 50 公里的

① 輻射是物體用電磁波的方式放出能量，包括光和熱等。輻射強弱和物體溫度有關。電磁波有長短不同的波長。太陽表面溫度高，發射出的電磁波波長比較短；地表面溫度低，發射出的電磁波波長比較長。

② 關於濕度，下面“大氣的成份”一節就要講到。

地方，溫度最高，大約在 $-3\sim 17^{\circ}\text{C}$ ($270\sim 290\text{K}$)。這是因為平流層含有大量能直接吸收太陽紫外輻射（紫外輻射的波長比太陽可見光的波長還短）的臭氧（ O_3 ）。臭氧集中的一層也叫臭氧層，它的濃度最大部分在 $20\sim 30$ 公里的高度；不過就在這裏，臭氧含量也只占同高度空氣體積的十萬分之一以下。

平流層的這種溫度分布特徵，使空氣難以對流，一般只能發生水平流動，所以叫做平流層。飛機在平流層裏飛行往往“風平浪靜”。

平流層裏水汽很少，雲很難形成。但是，在平流層底部，有時能見到一些對流層裏向上伸展得特別高的雲的頂部，或者一些分散的絲縷般的薄雲。在中、高緯度地區的早晨或黃昏，能見到出現在 $20\sim 30$ 公里高處的珍珠般色彩的雲，叫做珠母雲或貝母雲。

目前，導彈、火箭和飛機進入了平流層，那裏的風和空氣密度會影響它們的飛行。因此，隨着航空、太空事業的發展，平流層的研究顯得越來越重要。近代氣象學研究表明，平流層對對流層也有影響，例如平流層大氣流動情況的改變可以導致對流層裏大範圍的天氣變化，這一點已經受到氣象學家越來越大的關注。

（五）

從平流層頂一直伸展到 $80\sim 90$ 公里高度的這層大氣，叫中氣層。

中氣層沒有臭氧，沒法吸收紫外線，因此氣溫隨着高度的增加而迅速下降，頂部氣溫低到 -83°C (190K)。

由於上冷下暖，冷空氣下沉，暖空氣上升，空氣的對流運動十分劇烈，所以中氣層也叫高空對流層。

在這一層的頂部附近，在高緯度地區的夏季黃昏時刻，有時會出現銀白色的雲，叫做夜光雲。

（六）

中氣層頂以上是增溫層。增溫層的最高高度，一說到 500 公里，

6 近代氣象學基礎

一說到 800 公里。增溫層空氣很稀薄，密度很小。

增溫層的第一個特徵是氣溫隨着高度增加而很快上升，最高可以達到 1000 K 以上。這是因為所有波長比較短（波長小於 1750 埃^①）的太陽紫外輻射被增溫層的氣體所吸收。但是到某一高度以上，溫度隨高度變化不明顯。

增溫層的第二個特徵是空氣高度電離。這是由於那裏的空氣稀薄，在太陽紫外線和宇宙線的作用下，氧分子和一部分氮分子外面的電子被打出來，形成了帶正電荷的氣體離子和自由電子。含有正離子和自由電子的大氣層叫做電離層。不同高度的電子密度不同，電子密度比較高的幾層分別叫做 D 區、E 區、F₁ 區、F₂ 區，高度依次大約在 60 ~ 90 公里、110 公里、160 公里、300 公里處，它們的高度、厚度和電子密度隨晝夜和季節而變化，也受到太陽活動（如太陽黑子等）的影響。電離層能反射短波段的無線電波，使它返回地面，再由地面向上反射，經過連續幾次反射，使短波無線電能向遠距離傳播。由於電離層的存在，我們才能聽到遠處電台的短波段播音節目。

（七）

外氣層以上的大氣叫外氣層。

外氣層的空氣已經極其稀薄，同時又遠離地面，受地球引力的作用比較小，因此，大氣不斷向星際空間逃逸。

外氣層裏也都是帶電粒子，它們的運動受地球磁場的控制。

① 1 埃等於 10^{-8} 厘米或 10^{-10} 米，是說明光波波長常用的單位。光波波長在國際單位制中也常用微米做單位，1 微米等於 10^{-6} 米，所以 1750 埃等於 0.175 微米。

大氣的成份

(一)

大氣由多種氣體組成，還含有少量固體和液體雜質。

大氣裏除水汽和固體雜質外的整個混合氣體叫乾潔大氣。乾潔大氣裏主要成份是氧、氮、氬、二氧化碳，另外還有氖、氦、臭氧等微量氣體。按體積計算，乾空氣裏氮占 78.09%，氧占 20.95%，氬占 0.93%，二氧化碳占 0.03%，其他氣體合起來還不到 0.01%。90 公里以下，乾潔大氣成份的比大致不變。90 公里以上，大氣成份主要是氮、氧；但是由於太陽紫外線照射，氧、氮已經電離成帶電粒子。

(二)

大氣裏的氧是一切生命所必需的。

氮能沖淡氧的濃度，使氧化作用不至於太劇烈。

大氣裏的臭氧含量雖少，但是作用很重要。它能吸收太陽紫外輻射，影響大氣溫度的垂直分布，還能使地面上的生物免受紫外線的殺傷作用。

二氧化碳對太陽短波輻射吸收很少，主要吸收來自地面的長波輻射，同時又向周圍空氣和地面放出長波輻射。它可以阻礙地面氣溫的下降，就是所謂“溫室效應”。

(三)

大氣裏還有水汽。水汽主要集中在近地層，含量雖然不多，却是天氣變化的重要角色，是形成雲、雨的原料。

在一定溫度下，一定量空氣所能容納的水汽量是有一個最大限度的。容納了最大限度量的水汽的空氣就叫飽和濕空氣。這一能容納的水汽最大限度量是隨溫度而變化的。溫度越低，所能容納的水汽最大

限度量越小。

表示空氣裏含的水汽多少的物理量就是我們在上節提到過的所謂空氣的濕度。用單位體積空氣裏所含水汽的質量多少來表示的濕度叫絕對濕度，常用一立方米空氣裏所含水汽的克數來表示絕對濕度，例如在 20°C 當空氣裏水汽達到飽和的時候，絕對濕度是每立方米空氣含水汽 17.3 克。如果在 20°C 的空氣裏絕對濕度是每立方米 13.8 克，只相當於飽和時候的 80 % ($13.8 \div 17.3 = 0.8$)，這個百分率就叫相對濕度。

(四)

大氣裏還有各種固體雜質。

固體雜質是水汽凝結的核心。有了這個核心，水汽才能凝結成雲。

大氣的狀態

(一)

大氣是流體，具有一般流體的共同特徵：連續性、流動性、可壓縮性和黏性。

空氣處在什麼狀態，可以用氣壓、溫度、體積、密度這四個物理量來表示。

(二)

對一定質量的空氣來說，體積（或密度）、溫度、氣壓之間有密切的關係，其中一個量變了，其他量也隨着發生變化，這叫空氣的狀態變化。如果這三個量都不變，就可以說空氣處在某種狀態之中。

通過大量的科學實驗表明，一般氣體在壓力^①不太大、溫度不太

① 壓力指單位面積上所受的力。大氣的壓力簡稱氣壓，所以氣壓指大氣在單位面積上所施的壓力。