

氣候學

棟蓉 編著
高國 著
陸渝 著

明文書局

氣候學

陸國棟
高渝蓉
編著

明文書局

究必印翻・有所權版

227 氣 候 學

平裝一冊定價新臺幣四〇〇元

編著者：高 國 棟・陸 渝 蓉

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

凡成印製事業有限公司

發行所：明文書局股份有限公司

地址：台北市重慶南路一段四十九號七樓

電話：三六一九一〇・三三一八四四七

郵發：〇一四三六七八四號 明文書局

中華民國七十八年十月一日初版

Ming Wen Book Co., Ltd.

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

ISBN 957-9509-05-0

前 言

本書是根據我們多年教學經驗所編寫而成的。在編寫中，我們比較注意地把氣候學的基本體系和近代氣候科學的最新成就結合起來，系統地闡述氣候學的基礎原理和基本方法，並結合原理，介紹世界、尤其是我國氣候的實況。

全書共分五大部分。即(一)物理氣候；(二)天氣氣候；(三)地理氣候；(四)氣候分類和(五)氣候變化。內容包括：天文輻射；輻射收支；水熱平衡；大氣環流；季風氣候；海陸分布及地形對氣候的影響；氣候分類指標與氣候區劃；不同時代的氣候變化事實和氣候變化原因的各種論說及其研究方法等方面。

本書可供氣象、地理、生物、水文、農林等專業工作者和有關高等院校師生參考。

書中附圖由石宗祥先生繪製。編寫過程中得到校內外以及出版社許多同仁的鼓勵和支持，深表謝忱。

編著者

一九八六年七月

於南京大學大氣科學系

氣候學目錄

前 言	1
第一章 到達地表面的太陽輻射	1
§ 1 總輻射、直接輻射和散射輻射	1
§ 2 反射輻射	24
第二章 地面與大氣的長波輻射	32
§ 1 計算方法	32
§ 2 有效輻射的時空分布	45
第三章 地球上的輻射平衡	49
§ 1 地表面的輻射平衡	49
§ 2 大氣及地 - 氣系統的輻射平衡	58
第四章 地球上的熱量平衡	70
§ 1 熱量平衡方程式	70
§ 2 熱量平衡各分量的氣候計算法及時空分布	73
§ 3 地球上的熱量平衡	98
第五章 地球上的水分平衡	109
§ 1 水分平衡方程式	109
§ 2 水分平衡各分量的確定	111
§ 3 水分平衡各分量的時空分布	113
第六章 大氣環流	129
§ 1 大氣環流形成的物理因子	129
§ 2 大氣環流的基本特徵	135
§ 3 大氣環流的變易特徵	151
第七章 大氣中的第Ⅲ團	157

§ 1	氣團的形成條件及源地	157
§ 2	氣團的分類及其天氣氣候特徵	163
§ 3	我國境內氣團的活動和影響	167
第八章	大氣中的鋒	170
§ 1	鋒的形成和特徵	170
§ 2	鋒的分類及其天氣氣候特徵	175
§ 3	我國各地區鋒面活動的特點	185
第九章	氣旋與反氣旋	192
§ 1	氣旋與反氣旋的概念和分類	192
§ 2	地球上氣旋與反氣旋的分布	194
§ 3	影響我國天氣氣候的氣旋系統	201
§ 4	影響我國天氣氣候的反氣旋系統	209
第十章	季風環流與季節劃分	218
§ 1	季風環流的形成與分布	218
§ 2	我國季風及其對大氣環流的影響	227
§ 3	環流演變與季節劃分	234
§ 4	我國自然季節的劃分	240
第十一章	海陸的氣候差異	246
§ 1	地球上海陸分布及其特徵	246
§ 2	海陸面上氣象要素的差異	254
§ 3	表顯海陸影響的特徵量	262
第十二章	海洋對氣候的影響	272
§ 1	海洋對氣候的調節作用	272
§ 2	海洋運動與氣候	276
§ 3	海洋上氣候變化靈敏區與遙聯現象	293
第十三章	地形對氣候的影響	298
§ 1	地形對氣候影響的基本因素和多面性	298

§ 2	地形對太陽輻射和溫度狀況的影響	300
§ 3	地形對大氣壓力和空氣環流的影響	310
§ 4	地形對乾濕狀況的影響	316
第十四章	不同下墊面的氣候特徵	324
§ 1	城市氣候特徵	324
§ 2	森林氣候特徵	332
§ 3	農田氣候特徵	338
§ 4	冰雪覆蓋地區氣候特徵	345
第十五章	氣候指標	350
§ 1	表顯氣候的熱量指標	350
§ 2	表顯氣候的水分指標	353
第十六章	氣候分類與區劃	369
§ 1	氣候分類法	369
§ 2	中國氣候區劃簡介	379
第十七章	氣候變候簡史和近代氣候變化	393
§ 1	氣候變化的定義和時期的劃分	393
§ 2	地質時代氣候的研究與氣候情況	398
§ 3	歷史時代的氣候變化	401
§ 4	本世紀世界和我國的氣候變化	407
第十八章	氣候變化的原因	413
§ 1	天文學方面原因的假說	413
§ 2	地理學方面原因的假說	425
第十九章	氣候變化的研究方法	434
§ 1	歷史文獻氣候記載的研究方法	434
§ 2	物候學和生物學方法	440
§ 3	自然地理方法	446
§ 4	數值模候方法	448

第二十章 人類活動對氣候的影響	454
§ 1 大氣成分改變對氣候的影響	454
§ 2 下墊面狀態的改變對氣候的影響	459
§ 3 人類無意識活動對氣候的影響	465
§ 4 重視人類對氣候的影響	468
參考文獻	472

第一章 到達地表面的太陽輻射

影響氣候變化的因素有太陽輻射、大氣環流、地理環境和人類活動。太陽輻射是大氣中一切物理過程或現象形成的基本動力，是地球、大氣唯一的能量源泉。太陽輻射由於太陽位置在時間上與空間上的變化而不同。氣候不但因緯度具有差異，即同一緯度也有季節變化。雖然氣候還受其他如環流因素、地理因素和人類活動的影響，但是這些因素所以能夠影響氣候，就是因為太陽輻射的效應受到這些因素控制的緣故。因此太陽輻射在地球上的分布和變化問題，在氣候學上極為重要。

到達地面的太陽輻射通常是由兩部分組成的。一部分是太陽輻射通過大氣直接到達地表面的平行光線稱為直接輻射（ Q ）。另一部分是太陽輻射被空氣分子和大氣中浮游的灰塵所散射的來自天穹各個部分的光線稱為散射輻射（ q ）。直接輻射與散射輻射的和，稱為總輻射（ W ），到達地面的總輻射並不是全部被地表面吸收，有一部分被地表面所反射的稱為反射輻射（ R_i ）；另一部分被地面所吸收的稱為吸收輻射（ G_a ）。

由於目前氣象台站的日射觀測還很少，而且日射觀測台站分布也不均勻，為了克服這種困難，一般採用氣候學的計算方法。以下我們著重介紹太陽輻射收支各分量的近似計算方法，並討論各分量的時空分布規律及其對於氣候形成的影響。

§ 1 總輻射、直接輻射和散射輻射

到達地表面的短波輻射量的總和稱為總輻射量，它包括直接輻

射和散射輻射。

1.1 計算方法

1. 總輻射的計算方法

影響總輻射量的因素可概括為三，即天文輻射量 W_A ，大氣透明狀況及雲量（狀），故總輻射量 W 的計算關係式可由下式表示之

$$W = W_A \cdot \varphi(a, b) \cdot f(s, n) \quad (1.1)$$

式中 $\varphi(a, b)$ 表示大氣透明狀況的函數， $f(s, n)$ 表示天空晴朗程度的函數， n 為雲量， s 為相對日照。

無雲（晴天）情況下的總輻射量稱為可能總輻射量，將上式中不考慮雲量（狀）對總輻射的減弱作用，即得

$$W_0 = W_A \cdot \varphi(a, b) \quad (1.2)$$

及
$$W = W_0 \cdot f(s, n) \quad (1.3)$$

雲量（狀）對總輻射量影響的天空晴朗程度函數 $f(s, n)$ ，在簡單的情況下，可用平均雲量 $\bar{n}$ 或相對日照 s 表示之，故

$$f(s, n) = c_1 s = 1 - c_2 \bar{n} = c_3 \frac{s + 1 - \bar{n}}{2} \quad (1.4)$$

式中 c 表示與雲狀有關的係數。

若考慮分高、中、低雲層雲量對於總輻射的影響，則

$$f(s, n) = 1 - (c_{\text{高}} n_{\text{高}} + c_{\text{中}} n_{\text{中}} + c_{\text{低}} n_{\text{低}}) \quad (1.5)$$

大氣透明狀況因大氣分子、水汽及灰塵而變化，故大氣透明狀況的函數 $\varphi(a, b)$ 的精確計算是很困難的，在計算關係式中一般作為係數來處理。根據實驗結果 W 與 $W_A f(s, n)$ ， $(W)_0$ 與 W_A 之間關係一般為線性函數，故大氣透明狀況函數 $\varphi(a, b)$ 中的 a 可作關係式的斜率而 b 作為截距來確定。即

$$W = a_1 W_A f(s, n) + b_1 \quad (1.6)$$

$$W_0 = a_0 W_A + b_0 \quad (1.7)$$

$$\text{或} \quad W = W_0 f(s, n) = (a_0 W_A + b_0) f(s, n) \quad (1.8)$$

根據日射觀測資料 W 或 W_0 及雲量 (n) 或相對日照 (s) 即能求得係數 a 及 b 。

總輻射的計算過程中一般也可先求得晴天總輻射，然後再考慮雲量（狀）的影響。

以下讓我們來討論不同時段的晴天（可能）和雲天（實際）的總輻射計算方法：

(1) 晴天總輻射強度

每分鐘晴天總輻射量主要決定於太陽高度 $h\theta$ 或天頂距 $z\odot$ ，計算關係式一般有如下的形式：

$$W_{0\text{分}} = a' \sinh\odot - b' \sqrt{\sinh\odot} \quad (1.9)$$

$$W_{0\text{分}} = ah\theta + b \quad (1.10)$$

$$\text{或} \quad W_{0\text{分}} = \frac{I_0 \cos z\odot}{1 + \varepsilon\tau_0 \sec z\odot} = \frac{I_0 / m'}{1 + \varepsilon\tau_0 m'} \quad (1.11)$$

式中 a ， b 及 $\varepsilon\tau_0$ 都是與大氣透明狀況有關的係數。下角的分表示每分鐘輻射量。式 (1.9) 中根據 $W_{0\text{分}}$ 與 $\sinh\theta$ 關係求得 $a' \approx 2.0$ ， $b' \approx 0.32$ ；式 (1.10) 中根據線性關係得 $a \approx 0.025$ ， $b \approx 0$ ，如圖 (1.1)；式 (1.11) 中係數 $\varepsilon\tau_0$ 一般根據大氣光學質量 $m' = 2$ 時求得已足夠精確，根據計算 $\varepsilon\tau_0 \approx 0.30$ ，如圖 (1.2)，爲了計算方便， m' 與 $h\theta$ 的關係可作成查算表， $m' \approx \sec z\odot$ 。

其中 $\sinh\odot = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega$

式中 φ 爲緯度， δ 爲赤緯， ω 爲時角。

在水平面上天文輻射強度：

$$W_{A\text{分}} = \frac{I_0}{\rho_s} \sinh\odot = \frac{I_0}{\rho_s} \cos z\odot$$

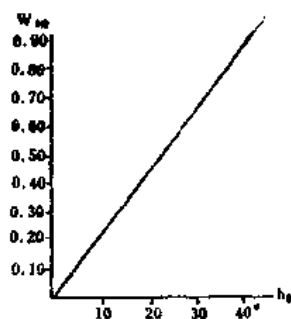


圖 1.1 晴天總輻射強度和太陽高度的關係



圖 1.2 晴天總輻射強度和 m 的關係

式中 I_0 為太陽常數， $I_0 = 8.12 - 8.20$ 焦耳/厘米²·分 (即 $1.94 - 1.96$ 卡/厘米²·分)*， ρ_r 為日地相對距離。

(2) 晴天總輻射日總量

晴天總輻射日總量的計算一般採用如下方法：

① 根據晴天總輻射強度的日變化，用圖解法代入梯形公式求得日總量。設 W_0 分值为 a ，則日總量的梯形總面積公式為：

(見圖 1.3)

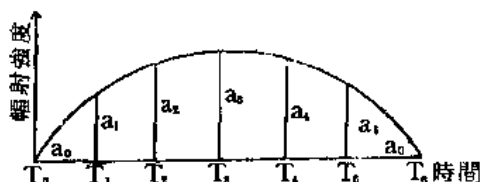


圖 1.3 梯形公式求日總量示意圖

*法定的輻射強度單位應為焦耳/厘米²·分， 1 卡/厘米²·分 = 4.1855 焦耳/厘米²·分。本書所用輻射資料都是以前的觀測數據，圖表也是根據這些數據製成，不宜變動，因此書中均保留原單位不作換算。

$$\begin{aligned}\Sigma a = & \frac{a_0 + a_1}{2} (T_1 - T_0') \\ & + \frac{a_1 + a_2}{2} (T_2 - T_1) \\ & + \frac{a_2 + a_3}{2} (T_3 - T_2) \\ & + \cdots + \\ & + \frac{a_n + a'_0}{2} (T''_0 - T_n)\end{aligned}$$

式中 a_0 及 a'_0 分別表日出、日沒時的輻射強度量（一般都用 0 來表示）， $a_1, a_2, \dots, a_n$ 分別表示各次觀測時的值。 T'_0 及 T''_0 表日出和日沒時間， $T_1, T_2, \dots, T_n$ 分別表 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 的各次觀測時間， Σa 即為日總量。

當每次值的時間間隔為 60 分鐘，則上式可改寫為：

$$\begin{aligned}\Sigma a = & \frac{a_1}{2} (T_1 - T'_0) + 30(a_1 + a_n) + 60(a_2 + a_3 + \cdots + a_{n-1}) \\ & + \frac{a_n}{2} (T_0 - T_n)\end{aligned}$$

若上午和下午輻射量對稱，則

$$\Sigma a = a_1 (T_1 - T_0) + 60(a_1 + a_{\text{中午}}) + 120(a_2 + a_3 + \cdots + a_{\text{中午}-1})$$

根據上式即可近似地算出一天中的輻射總量。

② 根據晴天總輻射日總量與天文輻射日總量的線性關係求得。即

$$W_{\text{日}} = a W_A \text{日} + b$$

$$\text{其中 } \overline{W_A} \text{日} = \frac{T_{\text{日}} I_0}{\pi \rho_s^2} (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0)$$

式中 $T_{\text{日}}$ 為一天時間長度， ω_0 為日沒時角， $-\omega_0$ 為日出時角，

$$\omega_0 = \cos^{-1} (-\tan\varphi \tan\delta)$$

所以 $2\omega_0$ 就是晝長時數。a 及 b 為與大氣透明狀況有關的係數。

③ 如要計算大範圍地區的晴天總輻射量，可以採用“上限值”方法來確定。就是對每個有總輻射觀測的台站作圖，其橫座標為一年內日期，縱座標為相當的每日總輻射量，把逐年每天的實際總輻射值都點在圖上，最後將這些點子的上限連成平滑曲線，這個曲線就代表無雲時總輻射日總量的年變化曲線。如此，便可求出無雲總輻射的日總量，再將同緯度各地的值求平均得到晴天總輻射日總量的緯度平均值，這個值一般是比较穩定的。

④ 加利彼林利用式 (1.11) 從日出到日沒積分，得出了比較簡單的計算晴天總輻射日總量公式。水平面上晴天總輻射日總量的一般關係式為：

$$W_{0\text{日}} = 2 \int_0^{\tau_0} I_m \cos z_{\odot} dt$$

$$I_m = W_{0\text{分}} = I_0 / (1 + \varepsilon \tau_0 m)$$

設 $C' = \varepsilon \tau_0$

代入 $W_{0\text{日}} = 2 I_0 \int_0^{\tau_0} \frac{\cos^2 z_{\odot}}{C' + \cos z_{\odot}} dt$

已知 $\cos z_{\odot} = \sin h_{\odot} = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega$
 $= A + B \cos\omega$

其中 $A = \sin\varphi \sin\delta$ ， $B = \cos\varphi \cos\delta$

所以 $W_{0\text{日}} = \frac{I_0 T_{\text{日}}}{\pi} \int_0^{\omega_0} \frac{(A + B \cos\omega)^2}{C' + A + B \cos\omega} d\omega$

區別下面兩種情況積分：

(a) $|B| > |A - C'|$ 時，得

$$W_{0\text{日}} = \frac{I_0 T_{\text{日}}}{\pi} \int_0^{\omega_0} \left[(A - C') + B \cos\omega + \frac{C'^2}{C' + A + B \cos\omega} \right] d\omega$$

$$= \frac{I_0 T_B}{\pi} \left[(A - C') \omega_0 + B \sin \omega_0 + \frac{C'^2}{\sqrt{B^2 - (A + C')^2}} \right. \\ \left. \cdot \ln \frac{\sqrt{B + A + C'} + \sqrt{B - (A + C')} \operatorname{tg} \frac{\omega_0}{2}}{\sqrt{B + A + C'} - \sqrt{B - (A + C')} \operatorname{tg} \frac{\omega_0}{2}} \right]$$

(b) $|B| < |A + C'|$ 時，得

$$W_{0B} = \frac{I_0 T_B}{\pi} \left[(A - C') \omega_0 + B \sin \omega_0 + \frac{2C'^2}{\sqrt{(A + C')^2 - B^2}} \right. \\ \left. \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left(\sqrt{\frac{A + C' - B}{A + C' + B}} \operatorname{tg} \frac{\omega_0}{2} \right) \right]$$

(c) 極晝條件下， $\omega_0 = \pi$ 得

$$W_{0B} = \frac{I_0 T_B}{\pi} \left[(A - C') \pi + C'^2 \frac{2}{\sqrt{(C' + A)^2 - B^2}} \cdot \frac{\pi}{2} \right] \\ = I_0 T_B \left[(A - C') + \frac{C'^2}{\sqrt{(C' + A)^2 - B^2}} \right]$$

必須指出，在推導過程中認為 $C' = \varepsilon \tau_0$ 是與時間無關的常數，由前述知道，當 $m' < 3$ 時， C' 隨太陽高度的變化很小；而當 $m' > 3$ 時， C' 雖隨 m' 有變化，但由於此時的輻射強度在日總量中所佔比重很小，故 C' 的變動時日總量的影響也很小。此外，又採用了 $m' \cong \sec z \theta$ 的近似假定，這個假定在 $z \theta < 60^\circ$ 的範圍內是相當精確的，而在 $z \theta > 60^\circ$ 時，採用此假定雖會使計算值偏低，但亦由於此時通量小，故影響不大。

(3) 晴天變幅射月（季）總量

晴天總幅射月總量的計算一般採用如下幾種方法：

① 根據晴天總幅射月（季）總量與天文幅射月（季）總量的線性關係求得，即

$$W_{0月} = a W_{A月} + b$$

式中 a 及 b 為與大氣透明狀況有關的係數，

$$\begin{aligned}
 W_{\lambda \text{ 月}} = & \frac{T_{\text{日}} I_0}{2\pi^2 \sqrt{1-e^2}} \left[b_0 (\lambda'' - \lambda') \right. \\
 & - \frac{\pi}{2} \sin \varepsilon \sin \varphi (\cos \lambda'' - \cos \lambda') \\
 & - \frac{b_1}{2} (\sin 2\lambda'' - \sin 2\lambda') \\
 & \left. + \frac{b_2}{4} (\sin 4\lambda'' - \sin 4\lambda') - \dots \right]
 \end{aligned}$$

其中 e 為偏心率， λ' 、 λ'' 為月初、月沒黃經， ε 為黃道對赤道傾角， b_0 、 b_1 ……為係數。

② 根據日總輻射量的上限方法得到的年變化曲線上，利用面積和輻射量的關係，便近似的求得各月晴天總輻射量（見圖 1.4），然後再計算緯度平均值。圖（1.5）表示北半球各緯度各月無雲時

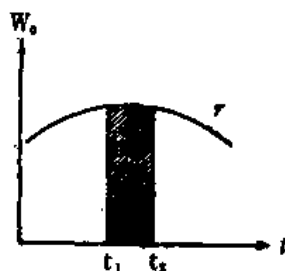


圖 1.4 某時段內晴天總輻射量

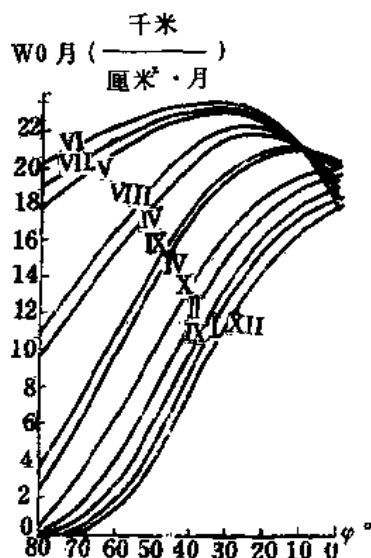


圖 1.5 晴天總輻射量（千卡／厘米²·月）*隨緯度的變化

*1 卡 = 4.1855 焦耳，下同

總輻射量。左大康等根據我國 1957 年 7 月到 1960 年底 26 個日射觀測站的資料，採用上述方法，得出了我國北緯 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 範圍，每 2.5 個緯距各月 W_0 的緯度平均值。表 1-1 為平原（除青藏高原以外的廣大地區）及高原（拔海 2500 公尺以上地區）的晴天狀況下總輻射的緯度平均值。

從圖 (1-5) 及圖 (1-6) 可以看出，由於我國季風氣候特點，我國地區晴天總輻射的緯度平均值和北半球的平均情況有許多顯著的差異，而我國平原區和高原區也是很明顯的。因此在計算我國總輻

表 1.1 我國晴天狀況下總輻射的緯度平均值
(千卡/厘米²·月)*

(1)平原區

月份 緯度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年總量
50.0	5.7	8.6	13.9	17.9	21.9	23.1	22.5	18.8	14.6	10.0	6.4	4.7	168.1
47.5	6.7	9.6	14.6	18.4	22.1	23.3	22.7	19.3	15.2	11.0	7.5	5.7	176.1
45.0	7.7	10.6	15.1	18.9	22.2	23.4	22.9	19.8	15.7	11.9	8.5	6.6	183.3
42.5	8.7	11.3	15.7	19.3	22.4	23.5	23.0	20.3	16.3	12.8	9.5	7.4	190.2
40.0	9.4	11.9	16.0	19.5	22.6	23.6	23.2	20.7	16.9	13.5	10.2	8.2	195.7
37.5	9.9	12.0	16.0	19.3	22.3	23.0	22.7	20.5	16.9	13.8	10.5	8.7	195.6
35.0	10.1	12.1	15.9	19.0	21.7	22.3	22.0	20.1	16.8	13.9	10.8	9.3	194.0
32.5	10.4	12.3	15.9	18.6	21.2	21.6	21.4	19.6	16.8	14.1	11.3	9.7	192.9
30.0	11.0	12.7	16.0	18.4	20.9	21.5	21.2	19.0	16.9	14.5	12.0	10.2	194.7
27.5	12.1	13.6	16.5	18.9	21.1	21.8	21.4	19.8	17.4	15.3	12.8	11.3	202.0
25.0	13.2	14.5	16.8	19.5	21.8	22.4	22.2	20.4	17.9	16.1	13.8	12.4	211.0
22.5	13.3	14.4	16.6	19.3	21.5	22.0	21.8	20.4	17.9	15.8	13.8	12.5	209.3
20.0	13.3	14.1	16.2	18.7	21.0	21.5	21.3	20.0	17.4	15.4	13.7	12.5	205.1

* 1 卡 = 4.1855 焦耳，下同