

利用經驗公式由日照記錄計算 中國東部總輻射的分佈*

尹 宏

(北 京 大 學)

提 要

本文首先用北京和南京的總輻射及日照記錄，比較了幾種計算總輻射經驗公式的精確程度，然後用哈蒙等人設計的圖解，由日照求出中國東部總輻射的分佈。

一. 總輻射的經驗公式

由於進行總輻射觀測的台站較少，進行日照及雲量觀測的台站較多；所以爲了計算總輻射的分佈，常把同時進行日照、雲量及總輻射台站所得的記錄加以統計，得出經驗公式，根據經驗公式由日照或雲量的記錄算出沒有總輻射觀測地區的總輻射分佈。

安斯蒼 (Ångström)** 提出的經驗公式如下：

$$Q = Q_0[k + (1 - k)S], \quad (1)$$

其中 Q 爲一日收到的總輻射； S 爲日照百分率； Q_0 爲 S 爲 100% 時的總輻射。當 $S=0$ 時， $Q=kQ_0$ 。 k 爲陰天總輻射和晴天總輻射的比值。安斯蒼求得在斯德哥爾摩 $k=0.235$ 。

金波爾 (Kimball)** 提議不用日照百分率，而用平均雲量 \bar{n} ，他提出的經驗公式如下：

$$Q = Q_0(1 - A\bar{n}), \quad (2)$$

其中 A 爲統計得出的經驗係數。在北緯 40° ， $A=0.71$ ，Т. Г. 貝料德 (Берлянд)** 指出 A 隨緯度增加而減少，在北緯 70° ， $A=0.45$ 。

上面兩個經驗公式的精確程度都不能令人滿意，沙維諾夫 (Савинов)** 提出用 $\frac{S+1-\bar{n}}{2}$ 來代替 (1) 式中的 S ，則

* 1956 年 11 月 29 日收到。

** 參看文獻 [3] 497—499 頁。

$$Q = Q_0 \left[k + (1 - k) \left(\frac{S + 1 - \bar{n}}{2} \right) \right]. \quad (3)$$

富里次 (Fritz)^[1] 及麥克唐納 (MacDonald) 根據北緯 25—44° 的 11 個台站的記錄統計得出:

$$Q = Q_0(0.35 + 0.61 S). \quad (4)$$

(4) 式的運用範圍是日照百分率 S 在 35—97% 之間, 計算所得數值和觀測值的相關係數為 0.88.

烏克郎茲夫 (Украицев)* 提出用每天日照時數來求總輻射。他所建議的經驗公式如下:

$$Q = m t + n, \quad (5)$$

其中 t 為每天平均日照時數; m 和 n 為由統計得出的經驗係數, 它隨緯度及季節而變化。這個公式的運用範圍是日照百分率大於 20%。貝料德用這個公式來計算一些台站的總輻射, 發現在多數情況下計算值和觀測值的誤差為 5—10%。在冬季由於有時日照百分率小於 20%, 則誤差較大。

烏克郎茲夫給出了北緯 70—35° 的 m, n 值 (見表 1, 2)。由於沒有北緯 35° 以南的 m, n 值, 所以不能用這個公式來計算中國 35° 以南的總輻射。

表 1 m 隨緯度及月份的變化

| 月 緯度 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 35 | 28.0 | 32.0 | 35.5 | 39.0 | 40.0 | 41.6 | 42.7 | 39.3 | 35.5 | 30.8 | 28.6 | 26.1 |
| 40 | 22.5 | 27.0 | 33.5 | 38.0 | 37.5 | 39.5 | 39.0 | 36.0 | 33.4 | 26.3 | 23.2 | 19.4 |
| 45 | 17.5 | 22.0 | 30.6 | 36.5 | 35.5 | 36.8 | 35.0 | 32.2 | 30.6 | 22.7 | 18.2 | 14.6 |
| 50 | 13.0 | 17.0 | 26.5 | 33.0 | 33.3 | 34.3 | 31.7 | 28.1 | 26.8 | 20.3 | 15.2 | 11.4 |
| 55 | 9.6 | 14.2 | 21.9 | 30.0 | 31.2 | 31.8 | 29.9 | 26.6 | 23.8 | 18.1 | 12.0 | 7.6 |
| 60 | 7.0 | 11.5 | 17.3 | 25.2 | 29.0 | 29.3 | 28.6 | 26.0 | 21.0 | 15.7 | 9.2 | 4.1 |
| 65 | — | 9.5 | 13.8 | 17.7 | 24.5 | 25.7 | 27.0 | 24.3 | 17.9 | 11.6 | 6.7 | — |
| 70 | — | — | 12.3 | 12.5 | 16.0 | 21.0 | 23.3 | 20.6 | 13.5 | 7.4 | — | — |

表 2 n 隨緯度及月份的變化

| 月 緯度 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 35 | 130 | 160 | 200 | 250 | 280 | 300 | 290 | 270 | 230 | 200 | 140 | 120 |
| 40 | 100 | 130 | 160 | 200 | 220 | 230 | 220 | 200 | 170 | 150 | 110 | 90 |
| 45 | 70 | 100 | 130 | 160 | 180 | 190 | 180 | 170 | 140 | 110 | 80 | 65 |
| 50 | 50 | 80 | 110 | 150 | 160 | 170 | 160 | 150 | 130 | 100 | 55 | 40 |
| 55 | 30 | 60 | 100 | 140 | 145 | 160 | 145 | 130 | 120 | 80 | 35 | 25 |
| 60 | 15 | 42 | 95 | 125 | 135 | 150 | 130 | 110 | 90 | 50 | 20 | 12 |
| 65 | — | 30 | 85 | 190 | 230 | 200 | 160 | 90 | 70 | 40 | — | — |
| 70 | — | — | 85 | 270 | 400 | 300 | 250 | 170 | 100 | 40 | — | — |

* 參看文獻 [3] 502—504 頁。

朱崗崑和楊紱章^[4]在計算中國的蒸發時,用下面的公式來計算總輻射:

$$Q = R_A(0.18 + 0.55 S), \quad (6)$$

其中 R_A 為大氣完全透明時的總輻射, S 為日照百分率。

哈蒙 (Hamon)^[1] 等三人研究了美國北緯 46.8—25.8° 20 個台站的日照和總輻射記錄, 提出了修正安斯蒼的公式 (1) 的方案。他們認為總輻射 Q 和日照百分率 S 不是線性關係, 而是一個函數關係。

$$Q = Q_0[k + C_s(1 - k)], \quad (7)$$

其中 C_s 是日照百分率 S 的函數, 關係如圖 1。 k 隨緯度和季節而變, 但受緯度的影響較大, 隨季節的變化較小。 k 的年平均值與緯度的關係見圖 2。 Q_0 是緯度和季節的

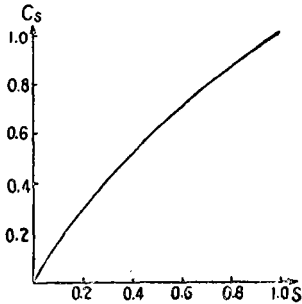


圖 1. C_s 和 S 的關係
(採自 Hamon, 1954)

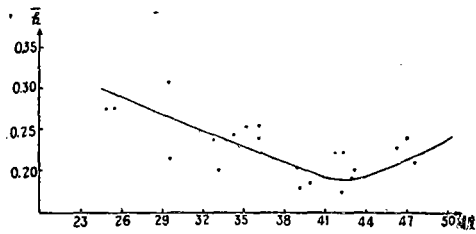


圖 2. k 的年平均值 \bar{k} 和緯度的關係
(採自 Hamon)

函數, 可以用日照百分率為 100% 時的總輻射記錄統計得出。令

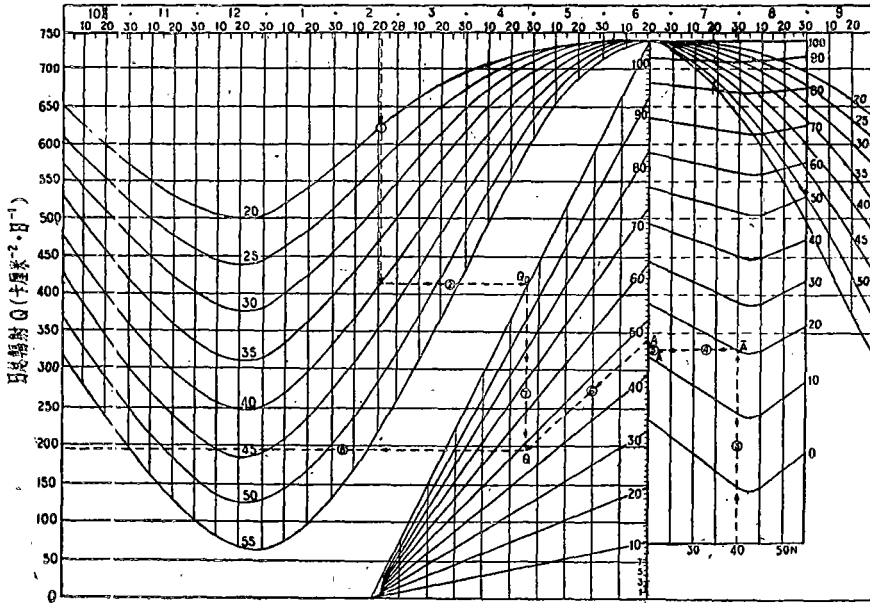
$$\bar{A} = [\bar{k} + C_s(1 - \bar{k})], \quad (8)$$

其中 \bar{k} 是 k 的年平均值。由於 \bar{k} 是緯度的函數 (見圖 2), C_s 是日照百分率 S 的函數 (見圖 1), 因此, \bar{A} 可由緯度和 S 來確定。用緯度為橫坐標, \bar{A} 為縱坐標 (以百分數為單位), 以 S 為參數作等值線, 就得到圖 3 右邊的圖形。最後加上季節訂正 δ (由圖 3 左下角附表查得), 則可得

$$A = [k + C_s(1 - k)] = \bar{A} + \delta (\text{月份}, S), \quad (9)$$

其中 δ 是隨日照百分率和月份而變的, 其關係見圖 3 左下角的表。

這樣, 由圖 3 知道了日期、緯度及日照百分率, 就可以求得一天的總輻射。哈蒙等人計算了 207 個例子; 計算值和觀測值的相關係數是 0.97, 標準誤差為 ± 36 卡/厘米²·日。如果計算月平均總輻射, 則標準差降低到 ± 5.7 卡/厘米²·日。



δ (月, S) 值

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|---|----|-----|
| 70 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | +1 |
| 60 | +1 | +1 | 0 | -1 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | +1 | +1 |
| 50 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
| 40 | +2 | +2 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
| 30 | +2 | +2 | -1 | -1 | -2 | -3 | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
| 20 | +3 | +2 | -1 | -1 | -3 | -4 | -3 | -3 | -1 | 0 | +1 | +3 |
| 10 | +3 | +3 | -1 | -2 | -3 | -4 | -4 | -3 | -2 | 0 | +2 | +3 |
| 0 | +4 | +3 | -1 | -2 | -4 | -5 | -5 | -4 | -2 | 0 | +2 | +4 |
| S 月 | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |

圖 3. 哈蒙等設計的, 用日照百分率求總輻射的圖解

(採自 Monthly Weather Review 1954, 145 頁).

計算方法舉例: $\varphi=40^\circ$, $S=20$
2 月 21 日.

- ①② 由月、日及緯度求到 2 月 21 日, 緯度 40° 日照百分率為 100 時的輻射 Q_0 .
- ③④ 由緯度 φ 及日照百分率 S 求 \bar{A} .
- ⑤ 由月份及日照百分率求 δ (由左表得出), 訂正後得 $A = \bar{A} + \delta$.
- ⑥⑦⑧ 由 A 及 Q_0 求得日總輻射 $Q = Q_0 A$.

二. 幾種經驗公式的比較

中國只有北京和南京有較長的總輻射觀測記錄, 把北京 1952 年 9 月至 1955 年 12 月共 40 個月, 及南京 1931—1934 年共 48 個月的總輻射記錄, 和根據緯度、日照百分率用經驗公式 (5), (6), (7) 計算得的結果比較, 計算值的誤差及計算值與觀測值的相關係數如下表 (南京處於北緯 32° , 不能用 (5) 式計算總輻射, 故南京只用 (6), (7) 兩式進行計算):

由表 3 可見在北京 (7) 式的誤差較小, 在南京 (6) 式的誤差較小. 總的說來, (6) 式計算值多半比觀測值小 (負誤差 79 次, 正誤差 9 次), 平均小 40.3 卡/厘米 2 ·日. 因此 (6) 式的常數應該用中國觀測記錄加以修改, 如果根據中國總輻射及日照觀測記錄,

表 3 各種經驗公式精確程度的比較

| 經驗公式 | 地點 | 經驗公式誤差分佈 (卡/厘米 ² ·日) | | | | | | | | | 標準誤差 (卡/厘米 ² ·日) | 相關係數 |
|------|----|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|--------------------------------|-------|
| | | 71以上 | 70至51 | 50至31 | 30至11 | 10至-10 | -11至-30 | -31至-50 | -51至70 | -71以下 | | |
| (5) | 北京 | 1 | 1 | 6 | 2 | 13 | 10 | 6 | 1 | 0 | 30.2 | 0.979 |
| (6) | 北京 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 11 | 9 | 10 | 59.8 | 0.972 |
| | 南京 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 12 | 13 | 8 | 6 | 44.3 | 0.957 |
| | 合計 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 17 | 24 | 17 | 16 | 52.0 | 0.963 |
| (7) | 北京 | 0 | 0 | 2 | 6 | 8 | 13 | 9 | 1 | 0 | 28.2 | 0.983 |
| | 南京 | 6 | 6 | 16 | 15 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 48.3 | 0.964 |
| | 合計 | 6 | 6 | 18 | 21 | 12 | 14 | 9 | 1 | 0 | 40.3 | 0.972 |

用最小二乘法求係數,則(6)式應改爲

$$Q(\text{北京}) = R_A(0.117 + 0.775 S), \quad (10)$$

$$Q(\text{南京}) = R_A(0.254 + 0.490 S). \quad (11)$$

這樣標準誤差可以分別減少到 37.0 卡/厘米²·日(北京)及 27.2 卡/厘米²·日(南京)。由(10),(11)兩式,可見(6)式的常數是隨緯度而變的。如果把常數當作隨緯度及月份而變的係數,那末一定會得到更好的結果。

三. 用哈蒙公式計算中國東部總輻射分佈

用哈蒙公式計算得的數值正負誤差次數相差不大(正誤差 53 次,負誤差 35 次),標準誤差也比較小,運用範圍(北緯 25—50°)對中國比較合適,因此採用它來計算中國東部總輻射的分佈(各月日照分佈採用 1953 年出版的中國氣候圖集)。圖解上 20 及 55 緯度的曲線是用外延的方法作出來的。

計算結果,中國東部四季及全年總輻射分佈見圖 4—8。由於戈壁沙漠地區日照記錄不足,利用郝德(Haude)^[7] 1931—1932 年在內蒙古觀測所得的記錄加以補充,圖 8 上的虛線就是表示用郝德觀測值所補作的等值線。

根據總輻射分佈圖可以看出:在內蒙古及台灣西南部終年總輻射都比較多,在黑龍江北部、長白山地、四川盆地、

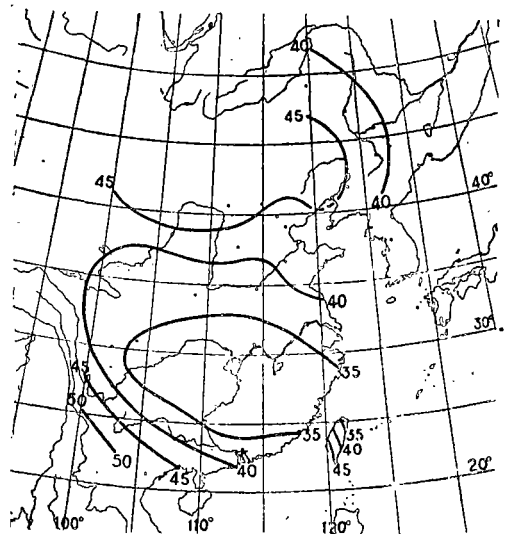


圖 4. 春季總輻射 (千卡/厘米²·季)

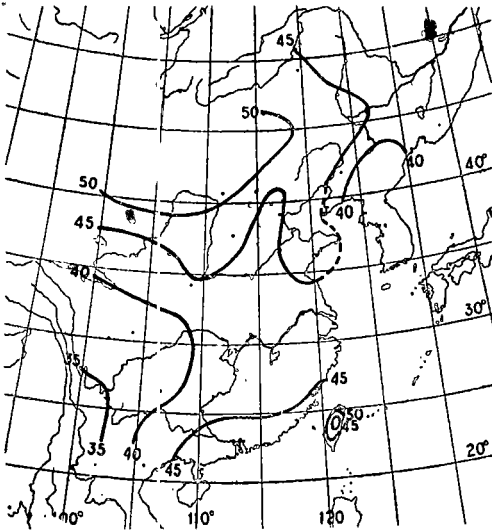


圖 5. 夏季總輻射 (千卡/厘米²·季)

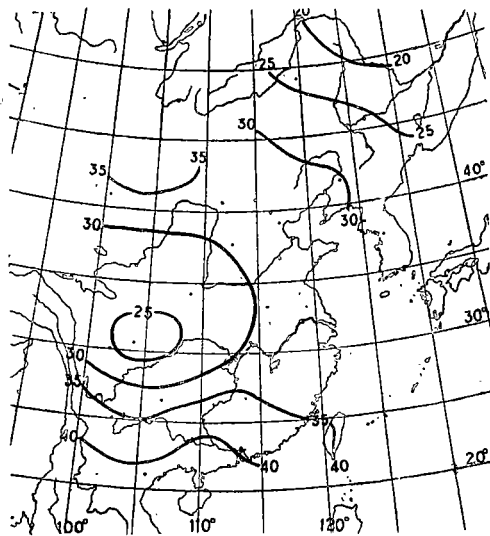


圖 6. 秋季總輻射 (千卡/厘米²·季)

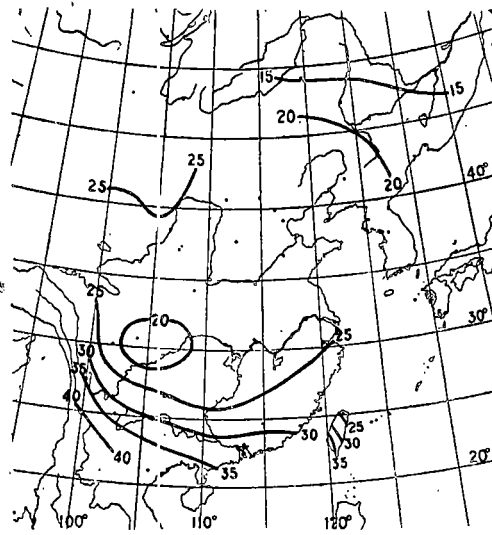


圖 7. 冬季總輻射 (千卡/厘米²·季)

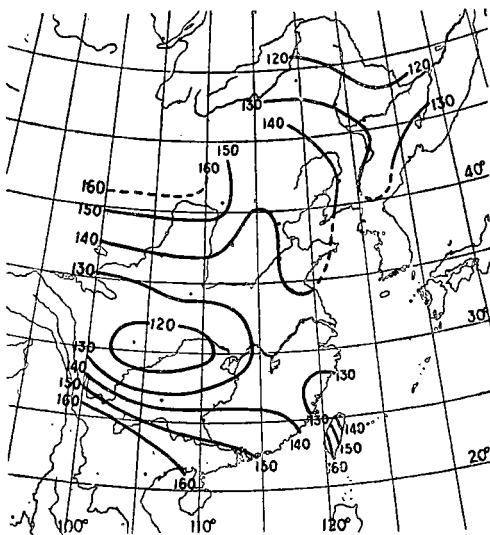


圖 8. 全年總輻射 (千卡/厘米²·年)

京漢鐵路北段終年總輻射都比較少，在雲南除了夏季由於雨季，總輻射比較小外，在其他各月份總輻射都比較大。

把中國陸上年總輻射各緯度的平均值，和美洲大陸及全球各緯度平均總輻射比較，則得表 4。

根據表 4，可見在緯度 40—50 中國的總輻射比地球其他地方要大，在緯度 25—35 中國的總輻射比地球其他地方要小。原因是中國北部沙漠和草原地區佔的比重較大，日照百分率比其他同緯度地區要大，中國南部為季風區，而在地球上同緯度地區大部為

表 4 中國各緯度年總輻射平均值和北美及全球年總輻射平均值的比較
(單位: 千卡/厘米²·年)

| 緯 度 | 50° | 45° | 40° | 35° | 30° | 25° |
|--------------------------------|------|-----|-----|-----|------------------|------------------|
| 中國東部 | 120 | 136 | 146 | 134 | 126 | 147 |
| 美洲大陸 (Houghton) ^[6] | 98.5 | 111 | 127 | 142 | 146 | |
| 全 球 (Houghton) ^[6] | 101 | — | 131 | — | 160 | |
| 全 球 (Берляни) ^[5] | 99 | 114 | 132 | 147 | 170 [*] | 175 [*] |

副熱帶高壓所控制, 日照百分率比中國要大。

致謝: 本文原稿承李憲之、謝義炳、朱崗崑諸先生提出修改意見, 北京大學氣象專業吳佶寧等同學分担了一部分計算工作, 在這裏謹向他們表示感謝。

參 考 文 獻

- [1] Hamon, R. W., Weiss, L. L. & Wilson, W. T., Insolation as an empirical function of daily sunshine duration, *Monthly Weather Review*, 82 (1954), No. 6.
- [2] 中國氣候圖 (上集), 59—64 頁 (1953).
- [3] Кондратьев, К. Я., Лучистая энергия солнца. 496—509.
- [4] 朱崗崑、楊叔章, 中國各地蒸發量的初步研究, *氣象學報*, 26 (1955), 1—24.
- [5] Берлянд, Т. Г., Радиационный и тепловой балансы поверхности суши внетропических широт северного полушария. *Труды Г. Г. О.* 18 (80), 1949.
- [6] Houghton, H. G., On the annual heat balance of the northern hemisphere, *J. of Meteor.*, 11 (1954), 1—9.
- [7] Albrecht, F., Ergebnisse von Dr. Haudes, Beobachtungen der Strahlung und des Wärmehaushaltes der Erdoberfläche an den beiden Standlagern bei Ikengung und am Edsen-gol, 1931—1932.
- [8] 前中央研究院氣象研究所, 氣象年報, 1931—1935.
- [9] Fritz, S. & MacDonald T. H., "Average Solar Radiation in the United States", *Heating and Ventilating*, 4 (1928), 1—7.

THE DISTRIBUTION OF TOTAL INSOLATION IN EASTERN CHINA COMPUTED BY EMPIRICAL FORMULA

YIN HUNG

(Peking University)

ABSTRACT

First in this paper different empirical formula for computing the total insolation are compared with insolation data observed at Nanking and Peking. Then the distribution of the total insolation in eastern China is computed with the empirical-graphical method designed by Hamon, Weiss and Wilson.

* 這兩個數據是根據貝料德所作的總輻射隨緯度變化的圖形估計出來的。