

# 论太阳总辐射的计算(II)

黄 润 本

(气象学系)

邓汉增

(广州地理研究所)

刘森元

(广州能源研究所)

我们在《论太阳总辐射的计算(I)》中,对近代计算太阳总辐射的一般方法作了评述,并对其中较合理的方法曾经给出的某些数据资料加以补充。本文拟就我们所采用的公式中某些参数的处理问题作进一步的讨论。

## 一、晴天的太阳总辐射

我们进行韩江流域的热量平衡计算中<sup>(1)</sup>,曾经接触到《论太阳总辐射的计算(I)》中的理论公式(4),利用该公式计算晴天太阳总辐射 $J_{0,f}$ 的日总量 $J'_{0,f}$ 可写成

$$J'_{0,f} = \frac{2S_0}{\rho^2} \int_0^{t_0} \frac{\cos^2 z}{f + \cos z} dt$$

式中 $S_0$ 为太阳常数; $f$ 为主要与大气透明状况有关的参数; $z$ 为太阳天顶距; $\rho$ 为以平均距离的分数所表示的日地距离; $t_0$ 为日没时刻。

因为

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \Omega = A + B \cos \Omega$$

这里 $\varphi$ 为地理纬度; $\delta$ 为太阳赤纬; $\Omega = \frac{2\pi}{T} t$ 为太阳时角(其中 $T$ 为昼夜长度)。若以 $\Omega_0$ 表示对应于日没时刻的时角,于是

$$J'_{0,f} = \frac{S_0 T}{\pi \rho^2} \int_0^{\Omega_0} \frac{(A + B \cos \Omega)^2}{f + A + B \cos \Omega} d\Omega$$

积分后,得出

(i) 当 $|B| > |A + f|$ 时,

$$J'_{0,f} = \frac{S_0 T}{\pi \rho^2} \left[ (A - f)\Omega_0 + B \sin \Omega_0 + \frac{f^2}{\sqrt{B^2 - (A + f)^2}} \cdot \ln \frac{\sqrt{B + A + f} + \sqrt{B - (A + f)} \operatorname{tg} \frac{\Omega_0}{2}}{\sqrt{B + A + f} - \sqrt{B - (A + f)} \operatorname{tg} \frac{\Omega_0}{2}} \right] \quad (1)$$

(ii) 当  $|B| < |A+f|$  时,

$$J'_{o,f} = \frac{S_0 T}{\pi \rho^2} \left[ (A-f)\Omega_0 + B \sin \Omega_0 + \frac{2f^2}{\sqrt{(A+f)^2 - B^2}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{A+f-B}{A+f+B}} \operatorname{tg} \frac{\Omega_0}{2} \right] \quad (2)$$

为了确定公式中的参数  $f$ , 我们利用汕头日射与绝对湿度观测资料, 总结出  $f$  与绝对湿度的关系如下:

$$\left. \begin{array}{l} \text{对于2—4月, } f = 0.263 + 0.004e \\ \text{对于5—1月, } f = 0.228 + 0.004e \end{array} \right\} \quad (3)$$

式中  $e$  为绝对湿度 (毫巴)。

为了检验公式(1)、(2)的精度, 我们利用广州1960年全年29个全晴天实测的太阳辐射日总量, 与由公式(1)、(2)计算的  $J'_{o,f}$  比较, 相对误差平均为8%, 最大22%; 误差分布  $\leq 10\%$  的有20次,  $> 20\%$  的仅2次而已, 其余7次在10.1%至15%之间。由此可见, 公式(1)和(2)理论上是有根据, 参数确定不困难, 精度亦相当高, 所以是值得我们采用的。附表是我们研究广东地区太阳总辐射所计算的包括北纬  $18^\circ - 26^\circ$  各月  $f = 0.200$  至  $f = 0.400$  的晴天太阳总辐射  $J_{o,f}$  月总量的表。

## 二、实际的太阳总辐射

我们在《论太阳总辐射的计算(I)》文中, 曾论证 M.C. Аверкнев 计算太阳总辐射公式<sup>(2,3)</sup>是较有充分的理论根据的,

$$J = J_{o,0} (1 - k_L \bar{n}_L) \left( \frac{1}{1 - \alpha r} \right) \quad (4)$$

式中  $J$  为实际太阳总辐射;  $J_{o,0}$  为黑色表面的晴天太阳总辐射;  $\bar{n}_L = \frac{n + n_L}{2}$  为“有效低云量”(其中  $n$  为总云量,  $n_L$  为低云量);  $k_L$  为低云系数, 取值见于后面的讨论;  $\alpha$  为地面反射率, 取值可参考表1<sup>(4)</sup>;  $r$  为返回地面的反射辐射, 可取  $r = 0.2 + 0.5n$ 。采用我们的计算晴天太阳总辐射  $J_{o,f}$  月总量的表(见附表)来计算实际的太阳总辐射月总量, 式(4)可写成

$$J = k_\alpha J_{o,f} (1 - k_L \bar{n}_L) \left( \frac{1}{1 - \alpha r} \right) \quad (5)$$

式中  $k_\alpha$  为反射率修正系数, 不难理解,  $k_\alpha = 1 - 0.2\alpha$ 。自然陆面基本类型的平均反射率和对应的  $k_\alpha$  值如表1所示。

在这里, 对于式(5)中计算  $\bar{n}_L$  时的总云量  $n$  和低云量  $n_L$ , 以及系数  $k_L$ , 我们拟作不同于以前的处理。大家知道, 平均云量通常是采用台站各次观测的平均值。实际上, 各次观测的云量对太阳总辐射的影响是不同的, 因此取各次观测(甚至包括午夜的一次)的算术平均值来计算太阳总辐射显然是不那么合理的, 特别是对于云量日变化较大的地区

及季节来说更是如此。H.И.Гойса<sup>(5)</sup>计算太阳总辐射时用加权平均值来计算平均云量,这是合理的,我们认为可以采用。云量的辐射权 =  $\Sigma J_o / \Sigma_a J_o$ , 其中 $\Sigma J_o$ 是该次观测前后三小时的晴天太阳总辐射总量, $\Sigma_a J_o$ 是晴天太阳总辐射日总量。云量辐射权有年变化,但纬度变化不大。我们取纬度 $\varphi = 24^\circ$ 、 $f = 0.300$ 作为华南地区的平均情况,求得年中各月各观测时间的云量辐射权列于表2中。

表1 自然陆面基本类型平均反射率及 $k_a$ 值

陆 面 类 型	反射率	$k_a$
高纬度( $>60^\circ$ )稳定的雪被	0.80	0.840
中纬度( $<60^\circ$ )稳定的雪被	0.70	0.860
不稳定的雪被	0.45	0.910
针叶林	0.14	0.972
苔原、干草原、闊叶林、热带草原(湿季)	0.18	0.964
热带草原(干季)和半沙漠	0.25	0.950
沙漠	0.30	0.940

表2 华南地区各月各观测时间的云量辐射权

观 测 时 间 \ 月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7时	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.26	0.26	0.25	0.23	0.21	0.21	0.20
13时	0.78	0.76	0.73	0.70	0.66	0.65	0.66	0.68	0.72	0.74	0.76	0.77
19时	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.08	0.07	0.05	0.05	0.03	0.03
8时	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34
14时	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.59	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66
20时	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00

影响系数 $k_L$ 变化的主要为太阳高度,低云量在总云量中所占的比重 $\frac{n_L}{n}$ 和有效低云量 $\bar{n}_L$ 等。太阳高度不同,则太阳光线穿透云层的路径长短不同,因而太阳辐射受云层的影响的程度亦有差异,一般而论,太阳高度越大时 $k_L$ 值应当越小,太阳高度越小时 $k_L$ 值应当越大。总云量中低云所占份量越大时, $k_L$ 值应当越大;在某些计算太阳总辐射的公式中分别考虑了低云系数 $k_L$ 和中云及高云系数 $k_{M+H}$ ,例如П.П. Кузьмин的公式<sup>(6)</sup>便是这样,В.С. Самойленко<sup>(7)</sup>曾求出П.П. Кузьмин公式中这两个系数的比重为 $k_L \approx 2k_{M+H}$ ,可见低云影响太阳辐射远比中云和高云重要。同样地,有效低云量 $\bar{n}_L$ 越大时, $k_L$ 值应当越大, $\bar{n}_L$ 越小时, $k_L$ 值应当越小。我们根据汕头、广州的日射观测资料,总结出 $k_L$ 与 $\frac{n_L}{n}$ 、 $\bar{n}_L$ 的关系如下:

对于5—9月和10—4月分别为

$$\left. \begin{aligned} k_L &= 0.2320 \frac{n_L}{n} + 0.4531 \bar{n}_L + 0.1605 \\ k_L &= 0.1117 \frac{n_L}{n} + 0.2741 \bar{n}_L + 0.1486 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

全年时期分为两段,就是因为太阳高度影响的缘故.有了关系式(6),即可利用当地的 $\frac{n_L}{n}$ 和 $\bar{n}_L$ 值求出 $k_L$ ,这就比利用纬度平均值或该地区某站代表值更为合理.

表3是广省地区海口站太阳总辐射月总量采用前文《论太阳总辐射的计算(I)》中公式(11)、多年来国内采用较广泛的左大康公式<sup>[8]</sup>和H.Kimball公式<sup>[9]</sup>,以及本文公式(5)并利用我们作不同处理的参数计算作一比较,可以看到,采用本文公式(5)计算太阳总辐射的误差最小.

表3 海口站太阳总辐射采用不同公式计算的误差

月相对误差平均(%)				月相对误差最大(%)				月相对误差≤15%的比重(%)			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
26.8	18.7	13.5	12.1	79.0	150.0	49.8	50.3	35	60	65	73

说明: ① a—H.Kimball公式, b—左大康公式, c—前文公式(11), d—本文公式(5).  
②采用海口站太阳总辐射资料期限为1958—1961年共四年整.

附表 北纬18°—26°不同f值的 $J_{0,f}$ 月总量(大卡/厘米<sup>2</sup>·月)

月份 f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

$\varphi = 18^\circ$

0.20	15.50	16.05	20.30	21.40	22.70	21.95	22.60	22.20	20.20	18.60	15.60	14.60
0.25	14.55	15.20	19.25	20.30	21.55	20.85	21.50	21.15	19.10	17.60	14.70	13.75
0.30	13.70	14.45	18.30	19.30	20.50	19.85	20.45	20.10	18.20	16.70	13.90	13.00
0.35	13.00	13.75	17.45	18.40	19.60	19.00	19.50	19.25	17.30	15.90	13.20	12.30
0.40	12.40	13.05	16.65	17.60	18.75	18.15	18.70	18.35	16.50	15.15	12.50	11.70

$\varphi = 20^\circ$

0.20	14.80	15.60	19.95	21.25	22.75	22.20	22.80	22.15	20.00	18.15	14.95	13.90
0.25	13.90	14.75	18.90	20.20	21.60	21.10	21.70	21.10	19.90	17.15	14.10	13.10
0.30	13.10	14.00	18.00	19.20	20.55	20.10	20.65	20.05	18.00	16.25	13.30	12.35
0.35	12.40	13.25	17.15	18.30	19.65	19.25	19.70	19.20	17.15	15.45	12.70	11.70
0.40	11.80	12.60	16.35	17.50	18.80	18.40	18.90	18.30	16.35	14.75	12.05	11.10

$\varphi = 22^\circ$

0.20	14.10	15.05	19.60	21.10	22.85	22.45	23.00	22.10	19.75	17.65	14.30	13.20
0.25	13.25	14.25	18.55	20.10	21.70	21.35	21.90	21.05	18.70	16.70	13.50	12.40
0.30	12.45	13.50	17.65	19.10	20.65	20.35	20.85	20.00	17.80	15.80	12.70	11.70
0.35	11.80	12.80	16.85	18.20	19.75	19.45	19.90	19.15	16.95	15.05	12.10	11.05
0.40	11.20	12.15	16.05	17.40	18.90	18.60	19.10	18.25	16.15	14.30	11.50	10.50

$\varphi = 24^\circ$

0.20	13.40	14.50	19.20	20.95	22.95	22.65	23.20	22.05	19.45	17.10	13.65	12.45
0.25	12.60	13.75	18.20	19.95	21.80	21.55	22.05	21.00	18.45	16.20	12.85	11.70
0.30	11.85	12.95	17.30	19.00	20.75	20.50	21.00	19.95	17.55	15.30	12.10	11.00
0.35	11.20	12.30	16.45	18.10	19.85	19.60	20.05	19.10	16.70	14.55	11.50	10.40
0.40	10.60	11.65	15.70	17.30	19.00	18.75	19.25	18.20	15.95	13.85	10.90	9.85

$\varphi = 26^\circ$

0.20	12.70	13.90	18.75	20.80	23.05	22.85	23.30	22.00	19.15	16.55	12.95	11.70
0.25	11.95	13.15	17.80	19.80	22.90	21.70	22.15	20.95	18.15	15.65	12.20	11.95
0.30	11.25	12.40	16.90	18.85	20.85	20.65	21.10	19.90	17.25	14.80	11.50	10.30
0.35	10.60	11.75	16.10	18.00	19.95	19.75	20.15	19.05	16.45	14.05	10.85	9.70
0.40	10.00	11.15	15.35	17.20	19.10	18.90	19.35	18.15	15.70	13.35	10.30	9.20

参 考 文 献

- [1] 邓汉增, 中山大学学报(自然科学版), (1965), 3.
- [2] Аверкиев М. С., Вестник МГУ, Сер Биол., Почвовед., Геолог., Геогр., (1958), 4.
- [3] Аверкиев М. С., Вестник МГУ, (1961), 1.
- [4] Будыко М. Н., 地表面热量平衡, 科学出版社, (1960).
- [5] Гойса Н. И., Труды УКР. НИГМИ, Вып, 26, (1961).
- [6] Кузьмин Ц. Ц., Труды ГГИ, Вып, 24(78), (1950).
- [7] Самойленко В. С., Формирование Температурного Режима Морей, Гидрометеоздат, М.,(1959).
- [8] 左大康、王懿贤、陈建绥, 气象学报, 33(1963), 1.
- [9] Kimball H., *Monthly Weather Rev.*, 56(1928), 10.

On the Calculation of Total Solar Radiation(Ⅱ)

Huang Runben

Deng Hanzeng liu Senyuan

Abstract

In this review, some parameters using to calculate the total solar radiation in the Аверкиев formula recommended on the topic "On The Calculation of Total Solar Radiation (Ⅰ)" are given a further treatment. Besides, some numeric data of calculating the total solar radiation appropriate to South China are given.