

# 论太阳总辐射的计算(I)

黄 润 本

(中山大学气象学系)

邓汉增

刘森元

(广州地理研究所)

(广州能源研究所)

太阳总辐射是地球上所观测到的许多物理、化学和生物过程的能量最主要的源泉。地表热量和水分平衡,首先与太阳总辐射的时空分布及其能量的转换有关。因此,太阳总辐射的研究,具有头等重要意义。

现有太阳总辐射直接观测资料很有限,这些资料远未能满足研究太阳总辐射的需要,所以仍须采用间接的计算方法。本文首先对近代计算太阳总辐射的一般方法予以评述,然后对我们认为较合理的方法曾经给出的某些数据资料加以补充。

## 一、晴天的太阳总辐射

为了计算太阳总辐射,通常把同时进行日照或云量及太阳总辐射观测的台站记录加以统计,得出经验公式;根据经验公式,由日照或云量记录计算出没有太阳总辐射观测地点的太阳总辐射值。学者们已提出许多计算太阳总辐射的经验公式,一些常见的经验公式在有关文献中都有谈到(例如文献[1]、[2]、[3])。这些经验公式,其一般形式如下:

$$J = J_0 f(R, n) \quad (1)$$

$$J = A_0 \phi(R, n) \quad (2)$$

式中 $J$ 为实际太阳总辐射值; $J_0$ 为晴天太阳总辐射值; $A_0$ 为天文太阳辐射值; $f(R, n)$ 和 $\phi(R, n)$ 为表征天空遮蔽度的函数,其中 $R$ 为日照率, $n$ 为总云量。晚近也有人采用下列形式<sup>[4]</sup>,

$$J = s'_0 \phi(R, n) \quad (3)$$

式中 $s'_0$ 为约等于1.98卡/厘米<sup>2</sup>·分的常数。上述(2)和(3)式,其中 $A_0$ 有表或列线图可查, $s'_0$ 实质上为半经验常数,均不必讨论。至于(1)式,为多数人所采用,其中晴天太阳总辐射值 $J_0$ ,在实践上往往要寻求这种数据,在考察影响太阳总辐射的物理因子时,也有必要研究它。 $J_0$ 的确定,大致有下列五种方法:

1) В.В.УКРАИНСКЕВ 方法。对不同纬度带的许多测站都绘制成 $J_0$ 图,图的横轴为一年中的日期,纵轴为根据若干年观测的相应的太阳总辐射日总量,图中的点子分布在上

限非常明显的一定范围之内, 这些图顶部的点子应该是属于晴天的, 经过这些顶部的点子划出平滑曲线, 便能得出晴天太阳总辐射日总量的年变化<sup>[6]</sup>。Т.Г. Берлянд 就是采用这种方法根据地球上70个测站的日射资料, 作出了各纬度 $J_0$ 的年变程<sup>[6]</sup>。

左大康等<sup>[7]</sup>亦采取这种方法利用我国日射观测资料, 总结出我国北纬20°—50°范围内各月的 $J_0$  (分平原区和青藏高原区两组)。

2) 使用表示晴天散射辐射日总量 $D_1$ 与晴天直接辐射日总量 $S_1$ 的比值 $\beta$  ( $\beta = D_1/S_1$ ) 的研究结果, 根据已知的 $\beta$ 及 $S_1$ 计算 $D_1$ , 便可得到 $J_0 = S_1 + D_1$ 。  $S_1$ 有成表可查 (例如Б.М. Гальперин<sup>[8]</sup>和М.С. Аверкиев<sup>[9]</sup>所计算的表),  $\beta$ 则根据观测资料求得。П.П. Кузьмин<sup>[10]</sup>曾采用Б.М. Гальперин的 $S_1$ 表和所求得的 $\beta$ <sup>[11]</sup>计算了北纬40°—70°在大气质量 $m = 1$ 时, 不同大气透明度 $P_1$ 每月15日的 $J_0$ 。

3) 分别计算每月某些日子不同太阳高度对应的同一大气质量 $m$ 的各种大气透明系数的晴天直接辐射和散射辐射值, 并作出日变程曲线, 曲线所包围的面积就是两者的日总量, 把每月某些日总量联结起来, 就得到两者的年变程曲线, 在此基础上, 便易于求得 $J_0$ 。W.C. Аверкиев 就是应用这种方法, 计算了北纬40°—70°在大气质量 $m = 2$ 时不同大气透明度 $P_2$ 的 $J_0$ 月总量<sup>[9, 12, 13]</sup>。

4) 根据绝对湿度与 $J_0$ 的经验关系, 取各纬度绝对湿度的平均值求算 $J_0$ , 并给予不同湿度的订正。А.П. Браславский和Э.А. Викулина<sup>[14]</sup>便是应用这种方法完成各纬度 $J_0$ 的计算。

5) 采用理论公式计算。Л.Г. Махоткин<sup>[15]</sup>根据А.Н. Гордов推导的散射辐射公式<sup>[16]</sup>加以简化, 从而获得与В.Г. Кастров以前计算直接辐射的公式<sup>[2]</sup>相类似的计算 $J_0$ 的公式; 其后М.Е. Берлянд<sup>[17]</sup>和К.Я. Кондратьев等<sup>[18]</sup>也分别以不同途径获得同样的公式。因为公式中有参数 $f$ , 为了便于和其他公式区别, 我们写成

$$J_{0,f} = \frac{s_0 \cos z}{1 + f \sec z} = \frac{s_0}{(1 + fm)m} \quad (4)$$

又如, Л.Р. Орленко<sup>[19]</sup>得出理论公式为

$$J_0 = \frac{s_0}{\rho^2} \left( 1 - \gamma \frac{M^e}{\cos z} \right) \cos z \quad (5)$$

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 (各家表示此参数的形式稍异);  $z$ 为太阳天顶距;  $m$ 为大气质量;  $\rho$ 为以平均距离的分数所表示的日地距离;  $\gamma = \frac{0.172}{s_0}$ ;  $M$ 为在大气中的水汽含量,  $M = 3.8 \sqrt[3]{e^2}$ 毫米, 或 $M = 0.38 \sqrt[3]{e^2}$ 克/厘米<sup>2</sup> (其中 $e$ 为2米高度空气的绝对湿度, 以毫米表示);  $\varepsilon = 0.303$ 。

以上所述求算晴天太阳总辐射值 $J_0$ 的五种方法, 其中第三和第五两种方法似较为妥善。因为第一种方法只是机械地考虑大气透明度的年平均变程, 在同一纬度上大气透明度的差别却没有考虑到。实际上, 太阳总辐射随透明系数的增加而增大, 例如, 大气质量 $m = 2$ 时透明系数 $P_2 = 0.70$ 变化到 $P_2 = 0.85$ , 则 $J_0$ 月总量可以增长20—25%<sup>[13]</sup>。第二种方法所需要的晴天条件散射辐射日总量 $D_1$ 和晴天条件直接辐射日总量 $S_1$ 之间的规律关系的系数 $\beta$ 的研究资料还很少, 亦难作出准确可靠的计算。第四种方法直接以空气湿度表征大气透明度对晴天太阳总辐射的影响, 这样的考虑, 显然是不充分的。

晴天太阳总辐射值 $J_0$ 除了与地理纬度和年中时间有关,以及受大气透明度的影响外,地面反射率的变化也是有作用的。在F.Albrecht<sup>[20]</sup>、A.П.Браславский和Э.А.Викулина<sup>[14]</sup>的著作中都估计了反射率对晴天太阳总辐射的影响,这个问题在以前A.Ångström等的著作中<sup>[21]</sup>也整理过。我们可以首先引用黑色表面(反射率 $\alpha = 0$ )的太阳总辐射,然后考虑地面反射率的影响予以修正,反射率对太阳总辐射的影响是无穷级数形式的修正系数:

$$\frac{1}{1 - ar}$$

这里 $r$ 为返回地面的反射辐射,无云时这个值为 $r_0$ ,F.Albrecht<sup>[20]</sup>取 $r_0 = 0.14$ ,A.Ångström<sup>[21]</sup>取 $r_0 = 0.25$ ,而A.П.Браславский和Э.А.Викулина<sup>[14]</sup>则取 $r_0 = 0.3$ ,这样 $r_0$ 的平均值可以采用等于0.2。因此,在地面反射率为 $\alpha$ 时的晴天太阳总辐射 $J_{0,\alpha}$ 可表示为

$$J_{0,\alpha} = J_{0,0} \left( \frac{1}{1 - \alpha r_0} \right) \tag{6}$$

式中 $J_{0,0}$ 为黑色表面的晴天太阳总辐射。M.С.Аверкиев所计算的晴天太阳总辐射,相当于 $\alpha = 0.2$ 时的情况<sup>[13]</sup>,现以 $J_{0,s}$ 表示它;因为晴天时 $r_0 = 0.2$ ,所以修正乘数为 $\frac{1}{0.96}$ 。设 $\alpha = 0.2$ 时,晴天太阳总辐射以 $J_{0,s}$ 表示,则

$$J_{0,0} = 0.96 \times J_{0,s}$$

因此,M.С.Аверкиев计算晴天太阳总辐射的方法无疑是比较合理的,因为影响晴天太阳总辐射各项因素都考虑到了。我们在研究广东地面的热量平衡时,对于北纬 $18^\circ - 24^\circ$ 间的晴天太阳总辐射值作过计算<sup>[22,23]</sup>,其中以采用M.С.Аверкиев方法得到较为满意的结果。由于M.С.Аверкиев的 $J_{0,s}$ 值计算表<sup>[13]</sup>只限于北纬 $40^\circ - 70^\circ$ ,为了在我国范围内都能采用这种方法所计算的 $J_{0,s}$ 值,因此,我们对于北纬 $10^\circ - 55^\circ$ 不同大气透明系数 $P_2$ 全年各月份的 $J_{0,s}$ 月总量作了计算,如附表所示。

采用M.С.Аверкиев的方法所计算的 $J_{0,s}$ 值,必须有当地大气质量 $m = 2$ 的透明系数 $P_2$ 资料。W.С.Аверкиев建议,可以根据附近有日射观测的台站所观测到的大气透明系数与绝对湿度的相关联系,应用绝对湿度资料来求透明系数。例如,我们根据广州台晴天的日射观测资料,求得 $P_2$ 与绝对湿度 $e$ (毫巴)的相关联系<sup>[23]</sup>如下:

$$\left. \begin{array}{l} \text{对于2—4月,} \quad P_2 = 0.733 - 0.005e \\ \text{对于5—1月,} \quad P_2 = 0.780 - 0.0035e \end{array} \right\} \tag{7}$$

随后,我们在进行韩江流域的热量平衡计算中<sup>[24]</sup>,曾经接触到上述第五种方法中的理论公式(4)。

## 二、实际的太阳总辐射

学者们提出许多计算实际太阳总辐射 $J$ 的经验公式,一般是建立在日照率或云量与太阳总辐射的相关关系研究基础之上的。利用日照率计算太阳总辐射的著名公式,

首先是A. Ångström<sup>(25)</sup>公式,其后H.L.Penman<sup>(26)</sup>、S.Fritz等<sup>(27)</sup>及J.N.Black等<sup>(28)</sup>作出了与A. Ångström公式的形式一致而经验系数不同的公式。这些公式都是认为 $\frac{J}{J_0}$ 与日照率的关系是线性的,但R.W.Hamon等<sup>(29)</sup>研究了美国北纬25.8°—46.8°共20个台站的日照和太阳总辐射记录,认为 $J/J_0$ 与日照率的关系不是线性的,并提出了一个以日照率的函数代替日照率的公式。我国朱岗崑和杨勿章<sup>(30)</sup>曾用H.L.Penman公式及尹宏<sup>(31)</sup>用R.W.Hamon等的公式计算过中国地区的太阳总辐射,随后肖文俊<sup>(32)</sup>及左大康等<sup>(7)</sup>则根据我国日射和日照观测资料得到 $\frac{J}{J_0}$ 与日照率的关系是线性的,从而总结出中国地区的经验系数值。

现有日照观测资料,多数用乔唐式日照计观测,少数用康培尔式日照计观测,通常根据乔唐式日照计所测得的日照时数要比康培尔式日照计所测得的多些,这是因为当太阳的位置离地平线不高时,或太阳辐射强度很弱时,康培尔式日照计就往往不能把日照记录下来,研究的结果表明<sup>(33)</sup>,只有当日射强度达到0.3—0.4卡/厘米<sup>2</sup>·分以后,日照纸才被灼穿。此外,绝大部分台站东西方向的地平遮蔽度不是等于零的,而一般台站的日照率资料并未对地平遮蔽度作出修正。因此,我们主张寻求云量与太阳总辐射经验关系的公式来计算太阳总辐射。

利用云量与太阳总辐射经验关系的著名公式,首先是H.Kimball<sup>(34)</sup>公式:

$$J = J_0[1 - (1 - k)n] \quad (8)$$

因为以前A. Ångström<sup>(25)</sup>和以后С.И.Савинов<sup>(35)</sup>提出过类似于(8)式的公式,故苏联学者称这个公式为Савинов—Ångström公式<sup>(1)</sup>。式中 $n$ 为总云量, $k$ 为阴天时太阳总辐射与晴天时太阳总辐射的比值,Т.Г.Берлянд<sup>(36)</sup>根据大量日射观测资料确定了 $k$ 的纬度平均值,殷宗昭等<sup>(37)</sup>采用我国日射观测资料进一步作出 $k$ 值在中国地区的修正。苏联地球物理现象总台采用这一公式计算了地球上许多地点的太阳总辐射<sup>(38)</sup>,作出太阳总辐射的世界分布图。殷宗昭研究我国的热量、水分平衡<sup>(39)</sup>,以及我们研究广东地区的热量平衡工作<sup>(22)</sup>,亦曾采用这个公式计算太阳总辐射。

П.П.Кузьмин<sup>(40)</sup>考虑到公式(8)中 $k$ 值随云的种类和厚度不同而发生变化,提出下列计算太阳总辐射公式:

$$J = J_0[1 - k_{M+H}(n - n_L) - k_L n_L] \quad (9)$$

式中 $n_L$ 为低云量, $k_L$ 为低云系数, $k_{M+H}$ 为中云及高云系数。B.C.Самойленко<sup>(41)</sup>曾根据H.H.Калитин和B.Хаурвиц的资料求出П.П.Кузьмин公式中系数 $k_L$ 及 $k_{M+H}$ 的平均值 $k_L = 0.76$ 及 $k_{M+H} = 0.35$ ;显然, $k_L$ 值比 $k_{M+H}$ 值大1倍左右,即 $k_{M+H} \approx \frac{k_L}{2}$ 。因此,М.С.Аверкиев<sup>(42)</sup>建议以 $\frac{k_L}{2}$ 代替 $k_{M+H}$ ,于是П.П.Кузьмин公式中的云量订正项为

$$[1 - k_{M+H}(n - n_L) - k_L n_L] = (1 - k_L \bar{n}_L),$$

其中,  $\bar{n}_L = n_L + \frac{n - n_L}{2} = \frac{n + n_L}{2}$

$\overline{n_L}$ 就是对于中层云和高层云影响作出修正的低云量,称为“有效低云量”。Н.И.Гойса<sup>(43)</sup>计算太阳总辐射公式中也作同样的处理。其实这样的处理,在С.И.Сивков计算太阳直接辐射公式中早已采用<sup>(2)</sup>。М.С.Аверкиев考虑了前面所述的地面反射率对太阳总辐射的修正,于是计算太阳总辐射公式如下:

$$J = J_{0,0}(1 - k_L \overline{n_L}) \left( \frac{1}{1 - ar} \right) \tag{10}$$

如果采用 $J_{0,s}$ (附表)计算太阳总辐射,应写成

$$J = 0.96 J_{0,s}(1 - k_L \overline{n_L}) \left( \frac{1}{1 - ar} \right) \tag{11}$$

至于公式中返回地面的反射辐射 $r$ ,有云量 $n$ 时可以考虑云的反射本领为 $0.7^{(10)}$ ,那么由云反射返回地面的辐射为 $0.7n$ ,没有云的天空部分 $(1-n)$ 散射返回地面的辐射为 $0.2(1-n)$ ,由是总计返回地面的反射辐射为

$$r = 0.2(1 - n) + 0.7n = 0.2 + 0.5n \tag{12}$$

我们认为,公式(10)是目前计算太阳总辐射公式中最有理论根据的。其中 $k_2$ 我们采用广州台日射观测数据求算,如表1所示。

表1  $k_L$ 的月平均值(根据广州台日射资料求算)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k_L$	0.75	0.76	0.77	0.77	0.72	0.70	0.65	0.63	0.71	0.74	0.77	0.79

表2是广东地区海口站太阳辐射月总量采用公式(10)的形式(11),以及公式(8)和左大康等的公式<sup>(7)</sup>计算的误差互相比较,可以看到,采用公式(11)计算太阳总辐射的误差最小。

表2 海口站太阳总辐射采用不同公式计算的误差\*

月值相对误差平均(%)			月值相对误差最大(%)			月值相对误差≤15%的比重(%)		
a	b	c	a	b	c	a	b	c
26.8	18.7	13.5	79.0	150.0	49.8	35	60	65

- ①a——公式(8), b——左大康公式, c——公式(11).
- 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 $10^{\circ}$ — $55^{\circ}$ 不同大气透明系数 $P_2$ 的 $J_{0.5}$ 月总量(大卡/厘米 $^2$ 月)

月份 $P_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

 $\varphi = 10^{\circ}$ 

0.65	15.85	15.70	19.10	19.10	19.60	18.55	19.20	19.55	18.70	18.15	15.90	15.30
0.70	16.60	16.45	19.95	19.15	20.45	19.40	20.10	20.40	19.55	19.00	16.65	16.05
0.75	17.50	17.35	20.90	21.00	21.50	20.40	21.10	21.45	20.55	20.00	17.55	16.95
0.80	18.55	18.40	22.05	22.10	22.70	21.50	22.25	22.60	21.70	21.15	18.60	18.00
0.85	19.70	19.55	23.30	23.35	24.00	22.80	23.60	23.90	22.95	22.35	19.75	19.15

 $\varphi = 15^{\circ}$ 

0.65	14.40	14.75	18.40	19.15	20.00	19.40	20.00	19.85	18.45	17.30	14.70	14.05
0.70	15.10	15.50	19.25	20.00	20.85	20.25	20.85	20.70	19.25	18.05	15.35	14.70
0.75	15.95	16.30	20.30	21.05	21.90	21.25	21.90	21.75	20.25	19.00	16.20	15.55
0.80	16.95	17.30	21.45	22.20	23.10	22.40	23.10	22.95	21.35	20.10	17.20	16.50
0.85	18.00	18.45	22.70	23.45	24.40	23.70	24.50	24.25	22.60	21.30	18.35	17.60

 $\varphi = 20^{\circ}$ 

0.65	13.10	13.80	17.65	19.00	20.50	20.00	20.45	20.00	17.90	16.25	13.35	12.50
0.70	13.75	14.45	18.45	19.85	21.35	20.85	21.35	20.85	18.70	16.95	13.95	13.10
0.75	14.60	15.30	19.45	20.85	22.45	21.85	22.45	21.85	19.65	17.85	14.75	13.90
0.80	15.45	16.25	20.55	21.95	23.65	23.00	23.60	23.00	20.80	18.90	15.65	14.80
0.85	16.50	17.35	21.75	23.20	24.95	24.30	25.00	24.30	22.05	20.10	16.70	15.85

 $\varphi = 25^{\circ}$ 

0.65	11.60	12.45	16.65	18.50	20.45	20.15	20.35	18.55	15.15	12.20	8.75	7.40
0.70	12.15	13.05	17.40	19.35	21.35	21.00	21.25	19.40	15.85	12.85	9.15	7.70
0.75	12.85	13.80	18.35	20.35	22.50	22.05	22.30	20.45	16.70	13.60	9.65	8.10
0.80	13.60	14.70	19.45	21.40	23.75	23.25	23.50	21.55	17.70	14.45	10.30	8.85
0.85	14.55	15.75	20.60	22.65	25.05	24.65	24.90	22.85	18.80	15.45	11.05	9.65

 $\varphi = 30^{\circ}$ 

0.65	10.00	11.05	15.50	17.75	20.35	20.20	20.50	19.30	16.25	13.65	10.35	9.10
0.70	10.45	11.60	16.20	18.60	21.20	21.05	21.40	20.10	16.95	14.30	10.85	9.55
0.75	11.00	12.30	17.10	19.60	22.25	22.10	22.50	21.15	17.85	15.10	11.40	10.10
0.80	11.70	13.05	18.10	20.65	23.50	23.30	23.70	22.30	18.95	16.05	12.20	10.90
0.85	12.50	14.00	19.25	21.90	24.80	24.70	25.10	23.60	20.10	17.10	13.10	11.80

$\varphi = 35^\circ$

0.65	8.35	9.75	14.25	16.95	20.00	20.15	20.35	18.55	15.15	12.20	8.75	7.40
0.70	8.70	10.20	14.90	17.80	20.85	21.00	21.25	19.40	15.85	12.85	9.15	7.70
0.75	9.15	10.75	15.75	18.75	21.90	22.05	22.30	20.45	16.70	13.60	9.65	8.10
0.80	9.75	11.40	16.70	19.80	23.15	23.25	23.50	21.55	17.70	14.45	10.30	8.85
0.85	10.50	12.25	17.75	21.05	24.45	24.65	24.90	22.85	18.80	15.45	11.05	9.65

$\varphi = 40^\circ$

0.65	6.60	8.35	13.00	16.05	19.50	20.00	20.10	17.80	13.95	10.65	7.15	5.75
0.70	6.85	8.70	13.55	16.95	20.35	20.85	21.00	18.65	14.65	11.20	7.45	6.00
0.75	7.20	9.15	14.30	17.85	21.45	21.90	22.05	19.70	15.50	11.85	7.90	6.35
0.80	7.75	9.70	15.20	18.90	22.70	23.15	23.30	20.80	16.40	12.55	8.50	6.85
0.85	8.40	10.50	16.20	20.15	24.00	24.55	24.75	22.10	17.45	13.50	9.10	7.50

$\varphi = 45^\circ$

0.65	4.85	6.95	11.65	15.30	19.10	19.80	19.80	17.05	12.75	9.20	5.55	4.45
0.70	5.05	7.25	12.15	16.05	19.95	20.65	20.70	17.90	13.45	9.70	5.80	4.35
0.75	5.35	7.65	12.80	16.90	21.00	21.70	21.75	18.95	14.25	10.30	6.20	4.70
0.80	5.75	8.10	13.70	17.95	22.25	22.95	23.00	20.05	15.10	10.85	6.75	5.10
0.85	6.30	8.80	14.60	19.15	23.55	24.35	24.45	21.35	16.15	11.80	7.25	5.60

$\varphi = 50^\circ$

0.65	3.40	5.45	10.40	14.25	18.55	19.55	19.35	16.45	11.75	7.60	4.05	2.70
0.70	3.70	5.70	10.70	15.00	19.35	20.40	20.25	17.20	12.30	8.05	4.30	2.90
0.75	3.85	6.00	11.35	15.85	20.35	21.45	21.35	18.05	13.00	8.60	4.60	3.15
0.80	4.15	6.55	12.10	16.85	21.60	22.70	22.60	19.15	13.80	9.15	4.95	3.40
0.85	4.60	7.15	13.00	18.10	22.95	24.10	24.00	20.40	14.75	9.95	5.40	3.75

$\varphi = 55^\circ$

0.65	2.15	4.05	8.60	12.95	17.75	19.15	18.95	15.35	10.35	6.25	2.80	1.65
0.70	2.35	4.30	9.10	13.65	18.55	20.00	19.75	16.10	10.90	6.55	3.00	1.80
0.75	2.50	4.60	9.70	14.45	19.55	21.05	20.80	16.95	11.50	6.90	3.20	1.95
0.80	2.75	4.95	10.40	15.50	20.80	22.35	22.05	18.05	12.20	7.35	3.45	2.10
0.85	3.00	5.45	11.20	16.70	22.20	23.75	23.50	19.30	13.15	8.05	3.80	2.30

## 参 考 文 献

- [1] Будыко М. И., 地表面热量平衡, 科学出版社, (1960).
- [2] Кондратьев К. Я., 太阳辐射能, 科学出版社, (1962).
- [3] Sayigh A. A. M. (ed.), *Solar Energy Engineering*, Academic Press, N. Y., (1977).
- [4] Bennett I., *Solar Energy*, 11 (1967), 1.
- [5] Алисов Ъ. Л. и др., 气候学教程, 第二册, 高等教育出版社, (1957).
- [6] Берлянд Т. Г., М. и Г., (1960), 6.
- [7] 左大康、王懿贤、陈建绥, 气象学报, 33 (1963), 1.
- [8] Гальперин Б. М., Труды ЛГМИ, (1956), 4.
- [9] Аверкиев М. С., Вестник МГУ, Сер. Биол., почвовед., геолог., (1956), 2.
- [10] Кузьмин П. П., Процесс таяния снежного покрова, Гидрометеоздат, (1961).
- [11] Гальперин Б. М., М. и Г., (1949), 4.
- [12] Аверкиев М. С., М. и Г., (1956), 5.
- [13] Аверкиев М. С., Вестник МГУ, Сер. Биол., почвовед., геолог., геогр., (1958), 4.
- [14] Браславский А. П., Биккулина Э. А., Нормы испарения с поверхности волноохранителей, Гидрометеоздат, ат, (1954).
- [15] Махоткин Л. Г., Изв. АН СССР, Сер. Геофиз., (1953), 5.
- [16] Гордов А. Н., Журнал геофизики, (1936), 4.
- [17] Берлянд М. Е., Труды ГГО, 48 (1954), 110.
- [18] Кондратьев К. Я., Велкова Г. Г., М. и Г., (1958), 7.
- [19] Орленко Л. Р., Труды ГГО, 60 (1956), 122.
- [20] Albrecht F., Arch. Meteorol. Geophys. and Bioklimatal., v. (1951), 3.
- [21] Ångström A., Tryselius O., *Geogr. Ann.*, 16, stockholm, (1934).
- [22] 黄润本, 地理学报, 26 (1960), 3.
- [23] 刘森元, 地理学报, 29 (1963), 3.
- [24] 邓汉增, 中山大学学报(自然科学版), (1965), 3.
- [25] Ångström A., *Arch. Mat. Astron. Physik.*, 17 (1922), 15.
- [26] Penman H. L., *Proc. Roy. Soc.* 193A, (1948).
- [27] Fritz S. & Macdonaldt, *Heating and Ventilation*, 46 (1949), 7.
- [28] Black J. N.- Bongthon C. W. & Prescott J. A., *Quart. J. R. Met. Soc.*, (1954), 80.
- [29] Hamon R. W., Wiess L. L., Wilson W. T., *Monthly Weather Rev.*, 82 (1954), 6.
- [30] 朱岗昆、杨纫章, 气象学报, 26 (1955), 1-2.
- [31] 尹宏, 气象学报, 28 (1957), 2.
- [32] 肖文俊, 北京大学学报, 8 (1962), 4.
- [33] Дроздов О. А., 气象观测的气候学整理方法, 农业出版社, 1963.

- [34] Kimball H., *Monthly Weather Rev.*, 56(1928),10.  
 [35] Савинов С. И., *Метеор. Вестн.*, (1933),5-6.  
 [36] Будыко М. И., Берлянд Т. Г., Зуёнок Л. И., *Труды ГГО*, 48 (1954),110.  
 [37] 殷宗昭、王友伦、唐致美, *气象学报*, 33(1963),1.  
 [38] Будыко М. И., Ефимова Н. А., *Труды ГГО*, 55(1955),112.  
 [39] Ин Цзун-чжао, *Труды ГГО*, (1959), 92.  
 [40] Кузьмин П. П., *Труды ГГИ*. 24 (1950),78.  
 [41] Самойленко В. С., *Формирование температурного режима морей*. Гидрометеониздат, М., 1959.  
 [42] Аверкиев М. С., *Вестн. МГУ*, (1961),1.  
 [43] Гойоа Н. И., *Труды Ткр. НИГМИ*. (1961).26.

## On the Calculation of Total Solar Radiation ( I )

Huang Runben    Deng Hanzeng    Liu Senyuan

### Abstract

This review first describes the general principles on the calculation of total solar radiation, it points the Аверкиев formula would be rewarding to pursue an approach that has a firm physical foundation. Next, it adds new data to the monthly total solar radiation for clear-sky conditions presented by Аверкиев.

### 更正

本期第57页英文题应为: Non-isometric Opposite Vertex Theorems for the Systems of Second-Order Linear Hyperbolic Equations and Their Applications

第63页汉语拼音署名应为: Zeng Tianxian Huang Jinwang .....