

# 一种估算太阳辐射能的方法

周小奋

人们采用太阳常数 $\sigma$ 来描述地球大气层上方的太阳辐射强度。它是指平均日地距离时,在地球大气层上界垂直于太阳辐射的单位表面积上所接收的太阳辐射功率,单位是 $\text{mW}/\text{cm}^2$ (毫瓦每平方米)。太阳常数 $\sigma$ 在中午阳光直射时约为 $137\text{mW}/\text{cm}^2$ 。根据彭望禄所著《遥感概论》,太阳的电磁辐射经过大气时,约有30%被云层或其他粒子反射回太空,22%被散射,17%被吸收。这样,透过大气到达地面的能量只占入射总能量的31%,即地球表面的太阳常数 $\sigma$ 约为 $42.47\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

来自太阳的辐射能量可以利用太阳常数 $\sigma$ 和一些几何知识求出。如果我们采用 $\text{mJ}$ (毫焦)作为单位,则接收到的辐射能是  
辐射能( $\text{mJ}$ )=太阳常数( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) $\times$ 面积( $\text{cm}^2$ ) $\times$ 时间( $\text{s}$ )。  
如果被照射面始终与阳光垂直,12小时后每平方厘米获得的太阳能

$$(42.47\text{mW}/\text{cm}^2) \times (1\text{cm}^2) \times (4.32 \times 10^4\text{s}) \approx 1.83 \times 10^6\text{mJ}。$$

不过我们知道地表不可能始终与阳光垂直。每天太阳都要从东运动至西,每年还要在南北之间移动,一年之内,太阳光在赤道上下移动 $23.5^\circ$ 。通常每年的3月21日和9月21日,太阳在赤道的正上方。每年的夏至(6月21日)正午,太阳直射北纬 $23.5^\circ$ 的北回归线地区,每年的冬至(12月21日)正午,太阳直射南纬 $23.5^\circ$ 的南回归线地区。

设太阳入射光与地球赤道平面之间的角度(太阳的赤纬)为 $\delta$ (如图1),则

$$\delta = 23.5^\circ \sin \left[ \left( \frac{T}{365.25} \right) \times 360^\circ \right] \quad (\text{本公式为近似公式})。$$

其中 $T$ 是距离春分(3月21日)的天数(注意,在北半球的冬天, $\delta$ 为负数),然后我们可以计算任何一天特定纬度( $L$ )的太阳常数 $\sigma_D$ ,以 $P$ 点为例,

$$\sigma_D = (42.47\text{mW}/\text{cm}^2) \cos(L - \delta)。$$

而在每一天中,太阳从东方升起,在西方落下。我们假设这段时间等于12小时,太阳在天空运动的角度是 $180^\circ$ ,也就是说阳光与地面的夹角在一天之内从 $0^\circ$ 变化到 $180^\circ$ 。在某时刻 $t$ ,阳光与地面的夹角是 $A$ ,经过 $dt$ 后,夹角增大了 $dA$ ,所以存在这

样的关系 $dt = \frac{12}{\pi} dA$ ,其中,时间的单位是小时,如果换算成秒,则公式变为

$$dt = 3600 \times \frac{12}{\pi} dA = \frac{43200}{\pi} dA。$$

可以求出:水平地面上 $1\text{cm}^2$ 的面积在垂直于阳光方向的投影面积为 $\sin A \text{cm}^2$ 。在某纬度单位面积( $1\text{cm}^2$ )上获得的太阳能可以用下式表示

$$\begin{aligned} dE &= \sigma_D (\sin A) dt \\ &= \sigma_D (\sin A) \frac{43200}{\pi} dA \\ &= -\sigma_D \frac{43200}{\pi} d(\cos A)。 \end{aligned}$$

在白天12小时的日照中, $A$ 从 $0^\circ$ 变化至 $180^\circ$ ,将上式积分后可得 $E = \sigma_D \frac{86400}{\pi}$ 。如果 $\sigma_D = 42.47\text{mW}/\text{cm}^2$ (即太阳直射的那一天),则 $E \approx 1.17 \times 10^6\text{mJ}$ ,即每平方厘米的面积经过一个白天的日照所获得的太阳辐射能为 $1.17 \times 10^6\text{mJ}$ 。

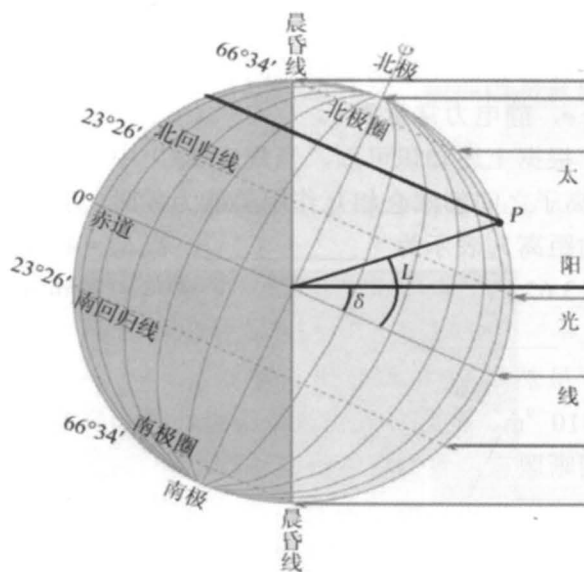


图1

笔者所在的地点是江苏省镇江市,处于北纬 $32.11^\circ$ 。盛夏(7月15日)一天每平方厘米的面积获得的太阳辐射能 $E$ 计算过程如下:

$$\delta = 23.5^\circ \sin\left(\frac{116}{365.25} \times 360^\circ\right) \approx 21.4^\circ.$$

$$\begin{aligned}\sigma_D &= (42.47\text{mW/cm}^2) \cos(L - \delta) \\ &= (42.47\text{mW/cm}^2) \cos(32.11^\circ - 21.4^\circ) \\ &\approx 41.73\text{mW/cm}^2,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= \sigma_D \frac{86400}{\pi} \\ &= 41.73\text{mW/cm}^2 \times \frac{86400}{\pi} \text{cm}^2 \cdot \text{s} \\ &\approx 1.14 \times 10^6 \text{mJ}.\end{aligned}$$

在寒冬（1月15日）一天每平方厘米的面积获得的太阳辐射能  $E$  计算过程如下：

$$\delta = 23.5^\circ \sin\left(\frac{300}{365.25} \times 360^\circ\right) \approx -21.2^\circ,$$

$$\begin{aligned}\sigma_D &= (42.47\text{mW/cm}^2) \cos(L - \delta) \\ &= (42.47\text{mW/cm}^2) \cos(32.11^\circ + 21.2^\circ) \\ &\approx 25.38\text{mW/cm}^2,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= \sigma_D \frac{86400}{\pi} = 25.38\text{mW/cm}^2 \times \frac{86400}{\pi} \text{cm} \cdot \text{s} \\ &\approx 6.98 \times 10^5 \text{mJ}.\end{aligned}$$

寒冬与盛夏的太阳辐射能比值为

$$\frac{6.98 \times 10^5 \text{mJ}}{1.14 \times 10^6 \text{mJ}} \approx 61.2\%.$$

这就意味着，在相同的面积上，冬天接收到的太阳能只有夏天的 61.2%。而且在计算过程中还没有考虑冬天的日照时间比夏天更短，因此这个比例实际还会更小！

如果考虑寒冬和盛夏的日照时间的区别，如何估算寒冬和盛夏接收到的太阳辐射能之比呢？通过文献（徐晓洁，《如何确定每天的日照时间》一文，发表在《现代物理知识》2005年第5期）可知，每天的日照时间为

$$T_D = \frac{24}{\pi} \arccos[-(\tan \delta) \cdot (\tan L)] \text{h},$$

其中  $\delta$  表示太阳的赤纬， $L$  表示该地的纬度，日照时间的单位是小时（h）。根据  $dt = \frac{12}{\pi} dA$ ，将其中的 12 替换为  $T_D$  并将时间转化为国际单位制秒（s），

$$\text{可得 } dt = \frac{3600T_D}{\pi} dA,$$

$$dE = \sigma_D (\sin A) \frac{3600T_D}{\pi} dA = -\sigma_D \frac{3600T_D}{\pi} d(\cos A),$$

$$E = \frac{7200T_D}{\pi} \sigma_D.$$

仍以江苏省镇江市为例（ $L = 32.11^\circ$ ）。盛夏（7月15日）一天每平方厘米的面积获得的太阳辐射能  $E$  计算过程如下：由前面的计算可知  $\delta \approx 21.4^\circ$ ， $\sigma_D \approx 41.73\text{mW/cm}^2$ ，

$$T_D = \frac{24}{\pi} \arccos[-(\tan \delta) \cdot (\tan L)] \text{h} = 13.9\text{h},$$

$$E = \frac{7200T_D}{\pi} \sigma_D = \frac{7200 \times 13.9}{3.14} \times 41.73 = 1.33 \times 10^6 \text{mJ}.$$

寒冬（1月15日）一天每平方厘米的面积获得的太阳辐射能  $E$  计算过程如下：由前面计算可知  $\delta \approx -21.2^\circ$ ， $\sigma_D \approx 25.38\text{mW/cm}^2$ ，

$$T_D = \frac{24}{\pi} \arccos[-(\tan \delta) \cdot (\tan L)] \text{h} = 10.13\text{h},$$

$$E = \frac{7200T_D}{\pi} \sigma_D = \frac{7200 \times 10.13}{3.14} \times 25.38 = 5.9 \times 10^5 \text{mJ}.$$

寒冬与盛夏的太阳辐射能比值为

$$\frac{5.9 \times 10^5 \text{mJ}}{1.33 \times 10^6 \text{mJ}} = 44.36\%.$$

通过估算，我们知道在北纬  $32.11^\circ$  的地区，相同的面积上，冬天接收到的太阳能只有夏天的 44.36%，难怪冬天比夏天冷多了！

（江苏省镇江市第四中学 212000）

