

太阳辐射强度模型的建立及验证

林媛

(安徽建筑工业学院环境工程系,合肥 230601)

摘要:通过建立太阳辐射的数学模型,推导出了任意角度采光面的太阳直射辐射和散射辐射计算公式。此外还讨论了云层对太阳辐射强度的影响,得到云遮修正系数,使非晴天的太阳辐射强度计算成为可能。通过实验验证,所采用的太阳辐射强度计算模型是较为准确的。

关键词:直射辐射;散射辐射;云遮修正系数

中图分类号:TU111.3

文献标识码:A

文章编号:1006-4540(2007)05-044-03

The Model of the Solar Radiation Energy's Establishment and Verification

LIN Yuan

(Dept. of Environmental Engineering, Anhui Institute of Architecture & Industry, Hefei 230601, China)

Abstract: After establishing solar radiation mathematical model, incident angle computing formula of solar direct radiation and scattered radiation of arbitrary angle of flat solar energy absorber plane was obtained. In addition, the impact of cloud layer on solar radiation intensity was discussed, and overcast compensation factor was obtained. So, the solar radiation intensity calculation of the days of no sunshine becomes possible. The experiment proved the availability of the model.

Key words: the solar of direct radiation; the solar of scattered radiation; overcast compensation factor

单位面积在单位时间内接受的太阳辐射能称为太阳辐射强度,通常以 I 表示,其单位为 W/m^2 ,这个数值决定着利用太阳能的可能性。由于大气层对太阳辐射的衰减作用,到达地面上的太阳辐射能有两种:一种是太阳直接辐射;另一种是由大气、灰尘、水滴等散射而来的,称为散射辐射。在天气晴朗时,到达地面的太阳能主要是直接辐射;在阴天时主要是散射辐射。此外,在海拔高度不同的地区,太阳辐射强度也不相同。海拔高的地区高于海拔低的地区。至于确定辐射量大小的方法,可以利用数学公式进行计算或者用观测法测量辐射量。

空调负荷计算中采用的太阳辐射强度可以根据气象台实测数据,用统计的方法给出具体数值。我国的有关规范多半是用这一方法得出的,其特点是按城市给出各朝向在各时刻的太阳辐射法向强度。它也叫观测法,即用观测仪器直接测出到

达地面的辐射强度。本文所讨论的是用计算来确定太阳辐射强度^[1~4],为了考虑同样条件下不同地方的大气条件的差异,在计算过程中引入一随地区而异的系数—大气透过率或大气透明度,它们是通过分析、统计后确定的^[4]。

1 太阳辐射直射强度计算方法

以 l 表示大气层厚度,建立如图1所示的坐标系。 I_0 表示大气层外表面接受到的太阳辐射强度, I_{DN} 表示太阳辐射到达地表平面时的强度。太阳辐射经过大气层,其强度有所衰减。根据研究,这一减弱量与通过大气层的路线长度成比例,并且还还与辐射强度自身大小有关。从而对 dx 这一微元大气层,太阳辐射通过它后的减弱量为:

$$dI = -KI \frac{dx}{\sin \alpha_s} \quad (1)$$

其中, K 为大气吸收太阳辐射能力的系数,称为

收稿日期:2007-06-07

作者简介:林媛(1972—),女,讲师,硕士研究生,主要研究方向太阳能土壤源热泵。

消光系数(m^{-1}); dx 为所研究的微元大气层的厚度(m); I 为进入微元大气层的太阳辐射强度(W/m^2); α_i 为太阳高度角(rad)。

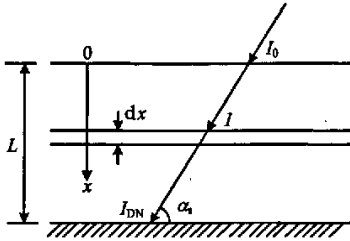


图1 太阳辐射直射强度示意图^[1]

(1)式可改写为下式:

$$\frac{dI}{I} = -K \frac{dx}{\sin \alpha_i} \quad (2)$$

对上式进行积分:

$$\int_{I_0}^{I_{DN}} \frac{dI}{I} = -\frac{K}{\sin \alpha_i} \int_0^L dx \quad (3)$$

即得:

$$I_{DN} = I_0 \exp(-KL/\sin \alpha_i) \quad (4)$$

$$\text{令 } P = \exp(-KL) \quad (5)$$

P 称为大气透过率,其含义是:当太阳在天顶时($\alpha_i = 90^\circ$),到达地面的大气辐射强度与大气层外表面太阳辐射强度之比,即:

$$P = \frac{I_{DN}}{I_0} \Big|_{\alpha_i=90^\circ} \quad (6)$$

将式(5)代入式(6)得到:

$$I_{DN} = I_0 P^{(1/\sin \alpha_i)} \quad (7)$$

到达地球大气层外表面的平均太阳辐射强度为 $1353 (\text{W}/\text{m}^2)$,通常称之为太阳常数。由于地球绕太阳旋转的轨道是椭圆的,各月大气层外表面接受到的太阳辐射强度 I_0 是不同的,具体数值见文献[1]。太阳高度角 α_i 可由公式计算得到。于是只要知道 P 值,就可以计算任意时期任意时刻的太阳辐射强度。 P 值随地点而异,即使在同一地点, P 值还随时间而异。 P 的具体数值应通过对实测值的统计和分析来确定。

下式是引用了美国 ASHARE 提出的太阳辐射直射强度计算公式:

$$I_{DN} = A(CN) \exp(-B/\sin \alpha_i) \quad (8)$$

其中, CN 为大气透明系数,随地区而异。

比较式(7)和式(8),二者的形式基本是一致的。但式(7)中的 $\exp(-KL)$ 随地点而异,而式

(8)中的 B 值不随地点而变化,用 CN 来考虑不同地点的大气透明情况。

A 和 B 的逐月值见文献[1], A 的单位是 kW/m^2 , B 为无量纲数。

根据 I_{DN} 即可算出与水平面成任意夹角的斜面所接受的太阳辐射直射强度 I_B :

$$I_B = I_{DN} \cos i_i \quad (9)$$

其中, i_i 为太阳直射光线与该表面法线间的夹角。

2 太阳辐射的散射强度

太阳辐射到达地面以后有一部分被反射,在大多数情况下,这种反射属于漫反射,加之天空散射,构成对地面物体的总散射辐射强度:

$$I_D = I_{ds} + I_{dg} \quad (10)$$

其中, I_D 为总散射辐射强度(W/m^2); I_{ds} 为天空散射强度(W/m^2); I_{dg} 为地面反射辐射强度(W/m^2)。

天空辐射是一个相当复杂的问题,迄今为止研究的还不够。本文引用 ASHARE 推荐的如下公式:

$$I_D = CI_{DN} \quad (11)$$

其中, C 是一个随月份而异的无量纲数,其具体数值见文献[1]。

对于垂直面或倾斜面,在上式中需引入该面与天空间的角系数 F_s :

$$I_{ds} = CI_{DN} F_s \quad (12)$$

用 F_g 表示该面与地面间的角系数,则有:

$$F_s = 1 - F_g \quad (13)$$

而 F_g 可用下式计算:

$$F_g = 0.5(1 - \cos S) \quad (14)$$

地面反射辐射强度 I_{dg} 可用下式计算:

$$\begin{aligned} I_{dg} &= \rho_g F_g (CI_{DN} + I_{DN} \sin \alpha_i) \\ &= \rho_g F_g I_{DN} (C + \sin \alpha_i) \end{aligned} \quad (15)$$

其中, ρ_g 为地面反射率,随地面情况和入射角(指太阳光线和地面法线间的夹角)而异。

3 太阳辐射总辐射强度

由上述的计算结果即可得到任意平面接受的太阳总辐射强度 I_t :

$$I_t = I_B + I_D = I_B + I_{ds} + I_{dg} \quad (16)$$

4 云遮影响的确定

前面所述的太阳辐射强度计算是针对晴天进

行的,然而,天气状况变化无常,天空中云层对太阳辐射的影响之大是显而易见的,这就需要对基于晴天计算的太阳辐射强度做出云遮修正。云遮修正办法很多,木村建一和 D. G. Stephenson 曾对此作过研究,以下介绍 NBSLD 程序中的实际处理办法^[5]。

云遮修正系数 C_c 与太阳高度角 α_s 、云量 C_t 和云类 C_r 有关。云量分 1~10 十种情况,表明天空被覆盖的程度;云类分 0、1 和 2 三种,0 代表卷云,属于太阳辐射最易透过的情况;1 代表云层,属于太阳辐射最不易透过的情况;2 代表 0~1 之间的中间情况。云量和云类的数值可以从逐时实际气象记录中得到。

在得到云遮修正系数之后即可对太阳辐射强度进行修正:

$$I_k = I_c C_c \quad (17)$$

其中, I_k 透过云层投射到某一平面上的太阳辐射强度(W/m^2)。

5 太阳辐射强度模型的验证

由于太阳辐射强度的计算模型比较复杂,为此笔者编写了一个软件,用以减少计算工作量,提高计算精度。以下是计算太阳辐射强度的一个算例。

计算条件如下:

(1) 计算地点为合肥市,经度为 117.23° ,纬度为 31.87° ;

(2) 计算时间为 2006 年 8 月 27 日,时间间隔 30 min;

(3) 集热器采光面方位角为 0° ,倾斜角为 0° ;

(4) 集热器所处环境为混凝土建筑;

(5) 晴天且集热器采光面无阴影遮挡。

通过软件计算得到下表所示结果,为了验证该模型的准确性,笔者在同一天用天空辐射表记录了对应时间水平面太阳总辐射强度,记录结果同样列于表 1 中,并作图以比较实测数据与计算数据,从图 2 中可以看出,实测数据与计算数据较为接近,从而验证了本文所建立的太阳辐射强度模型是较为准确的。

6 结 论

在太阳能的主动式热利用系统分析中,太阳

辐射强度是最基本的输入量,如何得到太阳辐射强度数据是本文所要解决的主要问题。通过建立太阳直射辐射强度及散射辐射强度数学模型,采用 ASHRAE 提出的计算公式,便可得到任何时间任何地域内的太阳辐射能。另外本文还讨论了云层对太阳辐射强度的影响,得到云遮修正系数,使非晴天的太阳辐射强度计算成为可能。通过实验验证,本文采用的太阳辐射强度计算模型是较为准确的。

表 1 太阳辐射计算结果及总辐射强度测量值

| 时间 | I_t 测量值 (W/m^2) | | 模型计算值 | | | |
|-------|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | I_t (W/m^2) | I_d (W/m^2) | I_g (W/m^2) | I_{dt} (W/m^2) | I_{gt} (W/m^2) | I_{gt} (W/m^2) |
| 8:30 | 546.59 | 571.45 | 493.31 | 78.14 | 0.00 | |
| 9:00 | 603.16 | 641.17 | 560.75 | 80.43 | 0.00 | |
| 9:30 | 681.36 | 700.28 | 618.19 | 82.09 | 0.00 | |
| 10:00 | 733.78 | 747.73 | 664.45 | 83.28 | 0.00 | |
| 10:30 | 735.44 | 782.70 | 698.62 | 84.08 | 0.00 | |
| 11:00 | 762.90 | 804.58 | 720.03 | 84.55 | 0.00 | |
| 11:30 | 804.49 | 813.01 | 728.28 | 84.73 | 0.00 | |
| 12:00 | 792.85 | 807.83 | 723.21 | 84.62 | 0.00 | |
| 12:30 | 767.89 | 789.13 | 704.91 | 84.22 | 0.00 | |
| 13:00 | 736.27 | 757.23 | 673.73 | 83.50 | 0.00 | |
| 13:30 | 687.19 | 712.70 | 630.28 | 82.41 | 0.00 | |
| 14:00 | 599.83 | 656.29 | 575.41 | 80.87 | 0.00 | |
| 14:30 | 553.24 | 588.99 | 510.24 | 78.75 | 0.00 | |
| 15:00 | 485.02 | 512.00 | 436.15 | 75.85 | 0.00 | |
| 15:30 | 401.00 | 426.70 | 354.89 | 71.81 | 0.00 | |
| 16:00 | 316.97 | 334.72 | 268.67 | 66.05 | 0.00 | |
| 16:30 | 227.12 | 238.05 | 180.58 | 57.46 | 0.00 | |

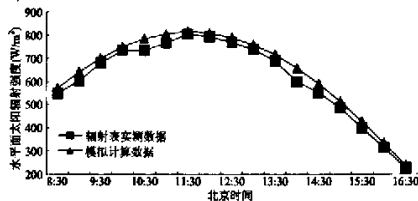


图 2 水平面太阳辐射强度实测与计算数据对比

参考文献

- 1 陈沛霖,曹叔维,郭健雄. 空气调节负荷计算理论与方法[M]. 上海:同济大学出版社,1987. 125—137,149—158.
- 2 温笃鸣. 中国辐射气候[M]. 气象出版社,1997. 46—140.
- 3 刘明鉴. 太阳辐射的计算机模型[J]. 新能源,1995,17(3),46—48.
- 4 陈在康,杨昌智. 暖通空调计算机应用[M]. 长沙:湖南大学出版社,1999. 59—60.
- 5 Khalid A. Joudi, Nabeel S. Dhaidan. Application of Solar Assisted Heating and Desiccant Cooling Systems for a Domestic Building[J]. Energy Conversion & Management, 2001, 42(8), 995—1022.

(责任编辑:陈 玲)