

竖直墙面不同方位上太阳辐射量的计算分析^①

杨卫国¹, 夏红卫¹, 魏生贤², 李明¹, 方玉萍¹

1. 云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650092; 2. 曲靖师范学院物理系, 云南 曲靖 655011

摘要: 在太阳能的开发利用中, 竖直墙面单位面积接收的太阳辐射量是个重要的基本参数, 本文采用计算机编程的方法, 来模拟计算此参数. 算结果显示: 在昆明, 墙面方位角为 $\pm 45^\circ$ 时, 竖直墙面接收到的太阳辐射量最大. 当方位角在 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 之间变化时, 竖直墙面单位面积上全年接收到的太阳辐射量在 $3.99 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \sim 4.04 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 之间变化; 当方位角大于 45° 以后竖直墙面单位面积上全年接收到的太阳辐射量逐渐下降, 最少为 $3.69 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

关键词: 竖直墙面; 方位角; 太阳辐射; 计算模型; 太阳赤纬角

中图分类号: TK511

文献标识码: A

能源问题已成为一个世界性的难题, 它将成为制约和促进一个国家经济发展的关键因素. 煤、石油、天然气等有限的常规能源日益枯竭, 世界土地沙漠化日益严重, 南极冰雪逐渐融化, 臭氧层漏洞等问题也不容人们忽视. 在能源危机和环境污染日益严重的双重压力下, 大力开发和利用太阳能能源, 是解决上述问题最有效途径之一. 太阳能是一种巨大的能源, 可以说是取之不尽, 用之不竭; 太阳能是一种清洁能源, 在环境污染越来越严重的今天, 这一特点极为宝贵; 另外太阳能本身是免费供应的, 可就地取材, 而不受人的控制和垄断, 且太阳能的利用方式是多样化的^[1]. 1999 年召开的世界太阳能大会明确提出, 当代太阳能科技发展的两大趋势: 一是光与电的结合, 二是太阳能与建筑的结合^[2]. 这一基本思想, 给太阳能的综合利用注入了新的活力. 从经济、实用及建筑外观上考虑, 房屋顶部大量安装太阳能热水器等初级太阳能利用设备已不能满足广大用户的生活要求, 人们更注重房屋居所的通风采暖以及太阳能供电等一体化的综合型多功能房屋建筑. 有关资料显示^[3-13], 国内外学者对建筑屋顶太阳辐照情况的研究较多, 而竖直墙面上的相关研究较少. 从太阳能利用的特点以及目前的开发前景来看, 竖直墙面(本文只考虑东、南、西三面, 由于建筑北墙面日照时间较短, 研究意义不大, 故文中未涉及北墙面)受光面积占绝对优势. 云南地处低纬, 海拔高, 终年太阳高度角大, 日照时间长, 太阳辐射量大, 是太阳能开发利用的有利地区^[4-5]. 本文根据文献^[2, 6, 14, 15]建立计算模型, 以云南昆明为例, 模拟计算竖直墙面在不同方位时($-90^\circ \sim 90^\circ$)单位面积上所获得的太阳辐射量, 并对其进行分析研究, 以期得出对工程设计有用的结论.

1 理论计算模型

1.1 计算模型

根据 Hay 模型^[2, 14, 16], 散射辐射是各向异性的, 若设墙面接收的总太阳辐射量为 H_t , 则:

$$H_t = H_b R_b + H_d R_d + \rho [(H_b + H_d)(1 - \cos\beta)/2] \quad (1)$$

$$R_d = (2 + \cos\beta)/3 \quad (2)$$

① 收稿日期: 2007-04-28

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(2003(253)).

作者简介: 杨卫国(1970-), 男, 云南大理人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事物理教育和太阳能应用领域的研究工作.

$$\omega_0 = \arccos(-\tan \lambda \tan \delta) \tag{3}$$

$$\delta = 23.45 \sin[360(284 + n)/365] \tag{4}$$

其中: H_t 为墙面日均接收到的总太阳辐射量; H_b 为水平面上日均接收的太阳直射辐射量; H_d 为水平面上日均接收的大气散射辐射量; ρ 为地面反射率(0.2); β 为竖直墙面与水平面的夹角(90°); ω_0 为太阳对地平面的日落时角; λ 为地理纬度; δ 为太阳赤纬角; n 为日序.

$$R_b = \frac{C(\omega_{cs} - \omega_{cr}) + B(\sin\omega_{cs} - \sin\omega_{cr}) - A(\cos\omega_{cs} - \cos\omega_{cr})}{2D} \tag{5}$$

式中

$$\left. \begin{aligned} A &= \sin\varphi \cos\delta & B &= \sin\lambda \cos\varphi \cos\delta \\ C &= -\cos\lambda \sin\beta \cos\varphi \sin\delta & D &= \omega_0 \sin\lambda \sin\delta + \cos\lambda \cos\delta \sin\omega_0 \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

其中 φ 为墙面的方位角.

(a) 当方位角 $\varphi=0^\circ$ 时, 即墙面朝向正南方时, 修正因子

$$R_b = \frac{\cos\delta \sin\omega_0 \sin\lambda - \omega_0 \sin\delta \sin\lambda}{\omega_0 \sin\delta \sin\lambda + \cos\lambda \cos\delta \sin\omega_0} \tag{7}$$

(b) 当方位角 $\varphi < 0^\circ$ 时

$$\omega_{cr} = -\min(\omega_0, \omega_1), \omega_{cs} = \min(\omega_0, \omega_2) \tag{8}$$

(c) 当方位角 $\varphi > 0^\circ$ 时

$$\omega_{cr} = -\min(\omega_0, \omega_2), \omega_{cs} = \min(\omega_0, \omega_1) \tag{9}$$

其中

$$\omega_1 = \arccos \frac{E_1 E_2 - \sqrt{E_1^2 - E_2^2 + 1}}{E_1^2 + 1}, \omega_2 = \arccos \frac{E_1 E_2 + \sqrt{E_1^2 - E_2^2 + 1}}{E_1^2 + 1} \tag{10}$$

$$E_1 = \frac{\sin\lambda}{\tan\varphi}, E_2 = \tan\delta \frac{\cos\lambda}{\tan\varphi} \tag{11}$$

其中: ω_{cr} 为太阳对竖直墙面的日出时角, ω_{cs} 为太阳对竖直墙面的日落时角.

1.2 计算结果分析与讨论

模拟计算结果如图 1 至图 3 所示, 图中 VE, SS, AE 和 WS 分别表示英文 vernal equinox(春分), summer solstice(夏至), autumnal equinox(秋分)和 winter solstice(冬至)的缩写形式. 图 1 示出了昆明房屋竖直墙面在两分和两至日均接收的太阳辐射量随墙面方位的变化情况; 图 2 给出了昆明处于不同方位的竖直墙面年均接收太阳辐射的情况; 图 3 给出了昆明正南向的竖直墙面日均接收太阳辐射量的情况.

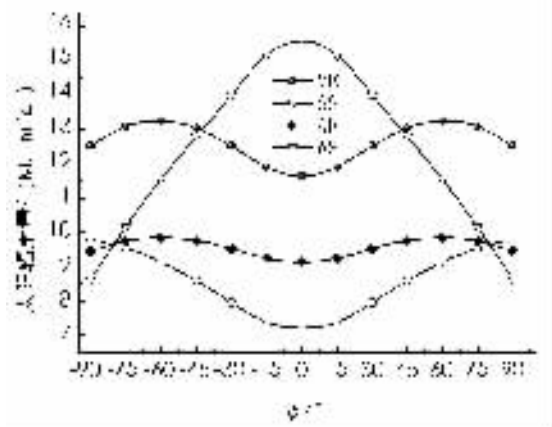


图 1 昆明 4 个季节代表日在不同方位上墙面接收到的太阳辐射量

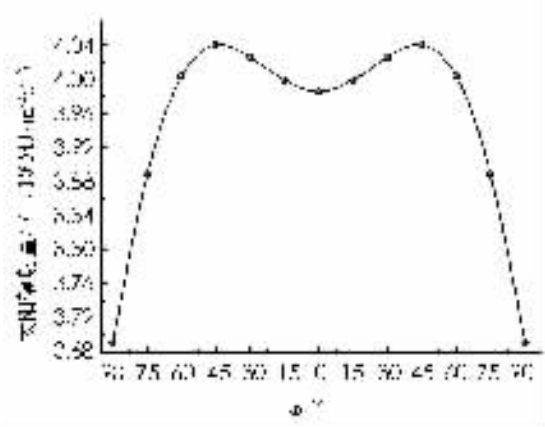


图 2 昆明竖直墙面不同方位上全年接收到的太阳辐射量

根据图 1 至图 3 可初步得出以下结论:

1) 由图 1 可知, 当竖直墙面方位角在 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 变化时, 春分日接收的太阳辐射量在 $11.63 \sim 13.25$ $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间变化, 秋分日的则在 $9.12 \sim 9.84$ $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间变化, 即不同方位上墙面接收到的日

均太阳辐射量变化比较平缓. 相比之下, 冬至日不同方位上墙面日均接收到的太阳辐射量变化相对较大, 但无论在哪个方位都维持在 $8.63 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上, 最高达 $15.57 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. 夏至日昆明垂直墙面上接收到的太阳辐射量几乎比其它代表日接收到的太阳辐射量都小, 且当墙面朝向正南时所得的日均太阳辐射量最小, 约为 $7.20 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. 因此, 昆明垂直墙面上冬季和春季是太阳能利用的最佳季节, 秋分次之, 夏季可利用的日均太阳辐射能量最少.

2) 从垂直墙面不同方位上全年接收到的总太阳辐射量来看, 并不是以墙面朝向正南方时为最大值, 而是在方位角为 $\pm 45^\circ$ 左右时全年接收的总太阳辐射量最大(图 2). 由图 2 可知, 就昆明而言, 较科学的房屋设计应该尽量将集热器件所在墙面朝向正南方或者与正南方的夹角不超过 45° 为佳, 此时全年太阳辐射总量均在 $3.99 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 以上. 可利用的方位角如此之大, 可能是由云南昆明地处低纬(25.01°N , 接近北回归线)、太阳高度角大所引起的.

3) 从全年各月代表日墙面朝正南时接收到的太阳辐射量来看, 10 月中旬到次年 3 月中旬, 昆明垂直墙面日均接收到的太阳辐射量均在 $10.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上, 最大值约为 $16.0 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 即昆明冬半年是太阳能利用的最佳时期. 3 月中旬到 10 月中旬, 昆明垂直墙面日均接收到的太阳辐射在两在 $7.1 \sim 10.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间, 即夏半年昆明云雨天增多, 垂直墙面接收到的太阳辐射量渐减. 上述结果与昆明的气候息息相关, 是由昆明的明显干湿季节引起的. 但从总体上可看出, 昆明建筑墙面接收到的太阳能资源是很丰富的, 可开发利用潜力较大.

2 结 束 语

本文基于典型的太阳辐射模型, 以昆明为例, 对方位角在 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 之间变化的垂直墙面所接收到的太阳辐射量采用计算机编程进行了模拟计算, 获得一些有价值的成果. 从全年来看, 垂直墙面在不同方位上接收到的太阳能辐射量并不是以正南方向为最大, 而是以方位角 $\pm 45^\circ$ 时为最大, 这可能是由昆明的地理位置引起的. 从四季来看, 昆明垂直墙面上冬季和春季是太阳能利用的最佳季节, 秋分次之, 夏季可利用的日均太阳辐射能量最少. 由 3 个曲线图可知, 昆明垂直墙面上接收到的太阳辐射量几乎以正南方向为轴呈对称分布. 而且, 昆明垂直墙面上接收到的太阳辐射量与昆明典型而又明显的干湿季节是一致的. 冬半年, 青天多, 云量少, 日照时间长, 是太阳能利用的最佳季节; 夏半年属于湿季, 云雨天相对较多, 日照时间短, 可利用的太阳辐射能少. 但从总体上可看出, 昆明建筑墙面接收到的太阳能资源是很丰富的, 全年各代表日墙面接收到的太阳辐射量在 $7.10 \sim 15.91 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间, 可开发利用潜力较大.

参考文献:

- [1] 张一平, 范淼淼. 昆明城市太阳辐射资源及利用现状初探 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 640 - 643.
- [2] 张鹤飞. 太阳能热利用原理与计算机模拟 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1990: 1 - 40.
- [3] 王嵩杰, 赵学义. 论太阳能与建筑一体化设计 [J]. 建筑学报, 2001(7): 28 - 29.
- [4] 王炳忠. 中国太阳能资源利用区划 [J]. 太阳能学报, 1983, 4(3): 221 - 228.
- [5] 王炳忠, 张国富, 李立贤. 我国的太阳能资源及其计算 [J]. 太阳能学报, 1980. 1(1): 1 - 9.
- [6] 唐润生, 吕恩荣. 集热器最佳倾角的选择 [J]. 太阳能学报, 1988. 9(4): 269 - 375.
- [7] 田中俊六. 太阳能供冷与供暖 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [8] 林文贤, 高文峰. 云南省太阳能辐射资源研究—直接辐射 [J]. 云南师范大学学报, 1995, 15(3, 4): 65 - 83.
- [9] 林文贤, 高文峰. 云南省各地水平面上散射辐射的分布规律研究 [J]. 云南师范大学学报, 1995, 14(3): 11 - 25.
- [10] Anne great hestnes. Building integration of solar energy systems [J]. Solar Energy, 1999, 67(4-6): 181 - 187.
- [11] Jens Pfafferott, Sebastian Herkel, Mstthias Wsmbsgan. Desgin, monitoring and evaluation of a low energy office building

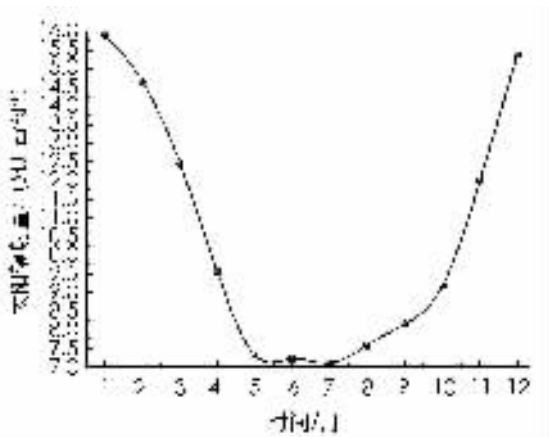


图 3 昆明正南向墙面
各月代表日接收的太阳辐射量

with passive cooling by night ventilation [J]. *Energy and buildings*, 2004, 36: 455 – 465.

[12] 喜文华. 太阳能实用工程技术 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1990.

[13] 姚建勋, 王 刚. 建筑节能中的太阳能利用 [J]. *节能技术*, 2004, 22(2): 37 – 38.

[14] 杨金焕, 毛家俊, 陈中华. 不同方位倾斜面上太阳辐射量及最佳倾角的计算 [J]. *上海交通大学学报*, 2002, 36(7): 1032 – 1036.

[15] Tang Runsheng, Lv Enrong. Optimal tilt—angles for solar collectors used in China [J]. *Applied Energy*, 2004, 79(5): 239 – 248.

Theoretical Calculation and Analysis of Solar Radiation Received by Building Facades at Different Azimuth

YANG Wei-guo¹, XIA Hong-wei¹, WEI Sheng-xian²

LI Ming¹, FANG Yu-ping¹

1. School of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China;

2. Department of Physics, Qujing Normal University, Qujing 655011, China

Abstract: In the application of the solar energy, the solar radiation gained by the facades of building is an extremely important parameter. This paper refers to the simulated calculation of this parameter through computer program. the results are as follows: In Kunming, the solar energy radiation received by the facades is the largest when the azimuth angle just reach about $\pm 45^\circ$. When the azimuth angle between -45° and 45° , the solar radiation received by the facade of building is in the range of $3.99 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ to $4.04 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. The solar radiation gained by facade wall decreased rapidly to $3.69 \times 10^3 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ when the azimuth angle is greater than 45° . In a word, the solar radiation received by the facade of building in Kunming is very abundant. The investigation of this paper is valuable for the design and application of solar energy integrated with the building.

Key words: the facade of building; azimuth angle; solar radiation; calculated model; declination of sun

责任编辑 潘春燕