

成驰, 吴息. 墙面可能晴天太阳辐射小时总量的计算与分布 [J]. 南京气象学院学报, 2008 31(1): 83-91

墙面可能晴天太阳辐射小时总量的计算与分布

成驰, 吴息

(南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要:以卡斯特洛夫公式为理论基础, 得到各朝向墙面可能晴天太阳总辐射和直接辐射小时总量的计算方案, 计算了我国 704 个气象站各月代表日各个朝向墙面的逐时辐射值, 分析其变化规律, 并讨论了最大 1 h 辐射量的全国分布。结果表明: 南墙晴天最大 1 h 辐射量随纬度升高而增大, 而且在冬季其辐射量在各墙面中最大; 东、西墙受纬度因素影响相对较小, 在夏季其辐射量在各墙面中最大。

关键词: 墙面; 可能晴天太阳辐射; 小时总量

中图分类号: P463 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008) 01-0083-09

Distribution and Calculation of Possible Sunny Day Hourly Solar Radiation Amount Received by Wall Surfaces

CHENG Chi, WU Xi

(School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract Based on the kastrov expression, the calculative method of the possible sunny day total and direct radiation received by wall surfaces with different orientations was obtained. Using vapor pressure to fit the parameter of expressions, we calculated the hourly solar radiation amount received by wall surfaces with different orientations at 704 stations of China, and analyzed its variations. The distribution of radiation exposure in the strongest hourly radiation over China was also analyzed. Results show that the sunny day solar radiation amount received by southern walls increases with latitude in winter and it is the largest among those received by walls with different orientations, and variations of the sunny day solar radiation received by eastern and western walls with latitude are relatively smaller than other orientations and its radiation amount is the largest in summer.

Key words wall surface; possible clear solar radiation; hourly amount

0 引言

在强调建设资源节约型社会的今天, 建筑物热工设计要求根据当地的气候状况, 合理利用太阳能等气候资源, 减少夏季使用空调和冬季采暖造成的能源消耗。在节能建筑设计和规划中, 太阳辐射数据是需要重点考虑的气象参数。目前对于水平面和墙面的太阳辐射年、月气候学平均值的计算和分布的研究均已较为完善, 但在太阳能利用及其在建筑热工设计时需要了解不同墙面最大小时辐射总量和各小时辐射量的日变化特征^[1], 此类研究成果尚不

多见。作为应用性的研究工作, 本文拟对晴天条件下我国不同朝向墙面的可能太阳辐射小时总量进行分析。

由于我国太阳辐射测站稀疏, 现有的观测资料远不能满足全国研究的需要, 且缺乏墙面的实测资料, 所以一般需要借助理论计算^[2-3]。文献[4-5]应用气候学方法研究我国总辐射的月、年总量, 文献[6-7]对我国部分城市的墙面总辐射特征进行了讨论。缪启龙等^[8]研究了墙面辐射的月、年总量的全国分布。吴继臣等^[1]研究了哈尔滨冬季墙面逐时辐射状况。对于晴天辐射, 文献[9-11]提供了一些

计算方案, 这些计算模型有的来自理论推导, 有的属于经验公式, 有的属于半理论半经验公式。李怀瑾等^[12]应用半理论半经验的卡斯特洛夫公式计算了晴天太阳总辐射和直接辐射日总量。翁笃鸣等^[13]和孙治安等^[14]研究了卡斯特洛夫公式中系数 f_c 的变化特征, 建立了 f_c 系数和水汽压之间的经验关系, 认为利用水汽压资料反演 f_c 值, 可以精确地拟合全国的可能晴天太阳总辐射和直接辐射。

本文以卡斯特洛夫公式为基础, 计算了晴天情况下 66 个一级辐射站各代表月的 f_c 值, 得到其各月与水汽压的回归关系, 再应用回归公式计算全国 704 个站点的 f_c 值, 进而计算这些站点的墙面逐时总辐射和直接辐射值。

1 计算方案

1.1 全国各站各代表月的 f_c 值

由卡斯特洛夫公式^[15], 水平面总辐射强度为

$$Q = \frac{S_0 \sinh}{1 + f_m}, \tag{1}$$

水平面上直接辐射强度为

$$S' = \frac{S_0 \sinh}{1 + c_m}。 \tag{2}$$

式中: S_0 为垂直太阳光线方向天文辐射强度; h 为太阳高度角; m 为大气光学质量, 可近似取为 $\frac{1}{\sinh}$; c 是表征晴天大气透明状况的参数, c 值越小, 表示大气对阳光的透射能力越强, 与空气中的水汽含量和气

溶胶状况密切相关; f 值是表征天空和地面状况的参数, 在地面无积雪的晴天, f 值也由大气透明状况决定。

对公式 (1)、(2) 时间积分, 即可得到水平面上晴天太阳总辐射和直接辐射日总量的公式^[15]。

采用全国 66 个一级辐射站 1978—1985 年中总辐射和直接辐射日总量资料, 选取 1 月 (代表冬季)、4 月 (代表春季)、7 月 (代表夏季)、10 月 (代表秋季) 云量小于 2 的日总量作为晴天辐射日总量, 再取各月平均的晴天直接辐射和总辐射。根据辐射日总量公式^[15]用迭代法反求得站点各月晴天的日平均 f_c 值。由于 f_c 值在一天中的变化缓慢^[13, 16], 因此, 可用日平均值来求算不同时刻总辐射和直接辐射的通量密度。无实测辐射的站点, 据拟合分析, 以翁笃鸣等^[13]所提方案的精度最好, 据此建立 f_c 与水汽压 e 之间的回归关系:

$$f = 0.133 + 0.084 h(1 + e), \tag{3}$$

$$c = 0.218 + 0.138 h(1 + e)。 \tag{4}$$

f_c 与 $h(1 + e)$ 的相关系数都在 0.7 以上, 回归效果较好。图 1 为使用反演的 f_c 参数计算的水平面晴天太阳总辐射日总量与实测值的对比。由图 1 可以看出, 反演效果理想, 各月总辐射相对误差为 4.18%, 直接辐射相对误差为 5.22%, 与文献 [17] 得到的精度相当。我国部分城市的各月 f_c 值见表 1。

表 1 10 个代表城市的 f_c 值

Table 1 The f and c values for 10 cities in China

城市	1 月		4 月		7 月		10 月	
	f	c	f	c	f	c	f	c
哈尔滨	0.143	0.316	0.199	0.419	0.317	0.539	0.222	0.354
北京	0.185	0.406	0.177	0.534	0.203	0.541	0.198	0.402
上海	0.275	0.596	0.335	0.579	0.393	0.613	0.229	0.518
武汉	0.251	0.545	0.415	0.649	0.446	0.633	0.191	0.352
广州	0.284	0.614	0.524	0.704	0.435	0.891	0.346	0.709
乌鲁木齐	0.176	0.385	0.253	0.463	0.279	0.410	0.208	0.384
成都	0.324	0.786	0.391	0.993	0.462	0.862	0.289	0.535
重庆	0.336	0.811	0.345	1.033	0.459	0.655	0.356	0.837
昆明	0.202	0.438	0.271	0.590	0.324	0.515	0.176	0.316
拉萨	0.107	0.238	0.131	0.248	0.156	0.311	0.132	0.194

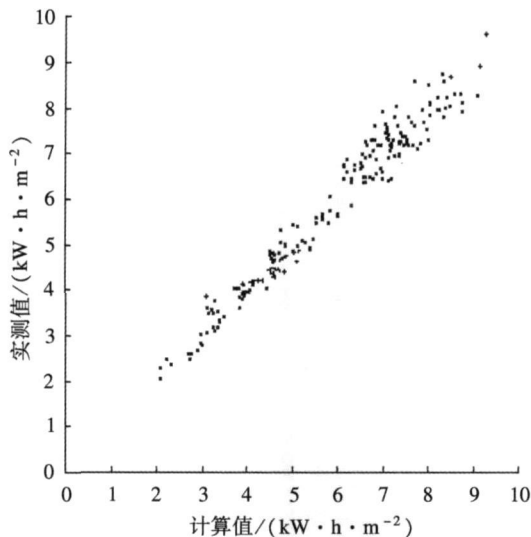


图 1 晴天总辐射日总量反演值与实测值

Fig 1 Comparison between retrieved and measured daily total radiation amounts in sunny days

1.2 墙面直接辐射和总辐射时总量的计算

利用文献[18], 可得垂直墙面直接辐射通量为

$$S_{90\beta} = S_m \cosh \cos(\alpha - \beta)_0 \quad (5)$$

式中: S_m 为垂直太阳光线方向辐射通量; β 为墙面朝向; α 为太阳方位角。将墙面角 β 代入可得各朝向墙面的直接辐射公式。朝南墙面 $\beta = 0^\circ$, 有

$$S_{900} = S_m \cosh \cos \alpha \quad (6)$$

朝北墙面 $\beta = 180^\circ$, 有

$$S_{90180} = -S_m \cosh \cos \alpha \quad (7)$$

朝东墙面 $\beta = -90^\circ$, 有

$$S_{90-90} = -S_m \cosh \sin \alpha \quad (8)$$

朝西墙面 $\beta = 90^\circ$, 有

$$S_{9090} = S_m \cosh \sin \alpha \quad (9)$$

由公式(2)可得垂直太阳光线方向的晴天辐射强度

$$S_m = \frac{S_0}{1 + \frac{c}{\sinh}} \quad (10)$$

将(10)式代入(6)~(9)式可得南、北墙的晴天直接辐射强度

$$S_{SN} = \pm \frac{S_0 \cosh \cos \alpha}{1 + \frac{c}{\sinh}} \quad (11)$$

以及东、西墙直接辐射

$$S_{W,E} = \pm \frac{S_0 \cosh \sin \alpha}{1 + \frac{c}{\sinh}} \quad (12)$$

式中太阳方位角 α 、太阳高度角 h 均可计算得到^[19]。取各月 15 日为代表日, 每半小时计算一次辐射通

量, 再采用梯形近似法可计算出各月代表日东、南、西、北墙的晴天太阳直接辐射逐时小时总量。

到达墙面的太阳总辐射 Q_i 由直接辐射 S_i 、散射辐射 D_i 和其他建筑及地面的反射辐射 R_i 组成, 即

$$Q_i = S_i + D_i + R_i \quad (13)$$

由于没有一个较好的能普遍适用的各向异性模式^[19], 因此本文散射辐射 D_i 采用各向同性模式。如果不考虑其他建筑物的遮挡, 则

$$D_i = \frac{1}{2} D_{00} \quad (14)$$

式中 D_{00} 为水平面散射辐射, 由水平面总辐射减去水平面直接辐射得到。

反射辐射 R_i 的情况比较复杂, 它包括地面反射的辐射和建筑物反射的辐射。由于建筑物反射辐射和建筑物遮挡造成散射辐射减弱在一个量级上, 为了简化计算, 在实际处理中认为地面和其他建筑的反射辐射能够抵消建筑物遮挡造成的散射辐射的减弱, 即(13)式可简化为

$$Q_i = S_i + \frac{1}{2} D_{00} \quad (15)$$

2 3 个代表城市的墙面晴天总辐射小时总量日变化特征

用上述方法计算了 3 个代表城市(哈尔滨、武汉、广州)各朝向墙面 1 月和 7 月晴天总辐射小时总量(图 2)。由图 2 可知, 不论纬度高低, 东、西墙面年变化最小, 南墙面年变化较大, 尤其是北回归线以南地区, 这是由于冬季南墙面与太阳光线夹角大, 夏季南墙面与太阳光线夹角小, 从而冬季南墙面直接辐射量与水平面相当, 而夏季南墙面直接辐射则很小。南墙面辐射日变化与水平面类似, 都是正午最大。东、西墙面都只能接受半天的直接辐射, 最大值冬季出现在 09 时和 15 时前后, 夏季(7 月)出现在 08 时和 16 时前后。冬季(1 月)3 个城市东、西墙面辐射峰值都要小于南墙面, 而夏季要大于南墙面, 纬度越低, 东、西墙与南墙的差值越大。北墙冬半年都只能接受到散射辐射, 因此, 冬季总辐射日变化呈单峰型。夏季北墙每天可以接受两次太阳直接辐射, 峰值出现在 06—07 时和 17—18 时; 夏季北墙总辐射的日变化呈现三峰型, 分别出现在早晚 2 次直接辐射最大时和正午 1 次散射辐射最大时。

冬季中国大部分地区南墙面总辐射都要大于水平面, 因此充分利用这部分通过垂直面进入室内的太阳辐射, 可以降低采暖的能耗。夏季南方地区东、

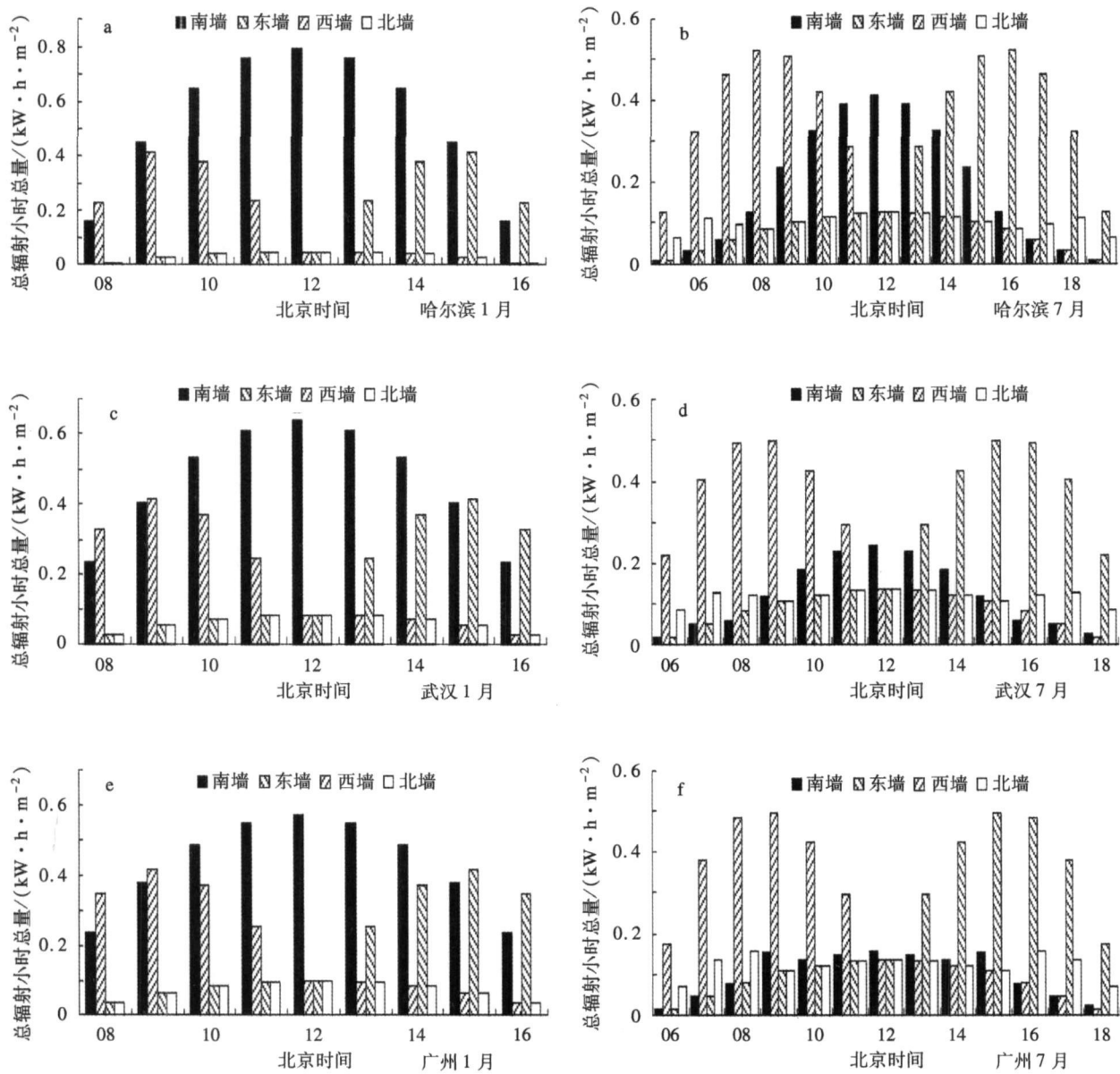


图 2 3 个代表城市各朝向墙面 1 月 (a c e) 和 7 月 (b d f) 晴天总辐射小时总量 (单位: $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig 2 Hourly total radiation amount ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$) received by wall surfaces with different orientations in sunny days in (a c e) January and (b d f) July in three representative cities

西墙面的辐射要远大于南墙面, 所以注意对东、西墙面的遮阳可以减少空调制冷的能耗。

3 墙面晴天辐射量与水平面晴天辐射量的比较

墙面晴天辐射量与水平面晴天辐射量的比值 M 是建筑热工设计上常用的参数, 本文计算了 3 个代表城市各月代表日日总量的 M 值 (表 2)。由表 2 可知, 高纬地区 M 值年变化要大于低纬地区, 南墙面 M 值年变化远大于其他墙面。除了冬半年 (1

月、10 月) 的南墙面, 其他墙面的 M 值都小于 1, 表明墙面接受辐射的条件不如水平面。北墙的 M 值空间分布较均匀, 与文献 [8] 的结论较一致; 东、西墙面的 M 值空间分布也较均匀。南墙和东、西墙面 M 值都是冬半年大、夏半年 (4 月、7 月) 小, 而北墙是夏半年大、冬半年小。夏季低纬度地区北墙和南墙的 M 值接近, 且纬度越低, 北墙 M 值相对南墙就越大, 表明夏季低纬度地区北墙的辐射量超过南墙。

表 3 还给出了南墙面晴天总辐射最大 1 h 辐射量与水平面的比值, 这个比值的空间变化和年变化

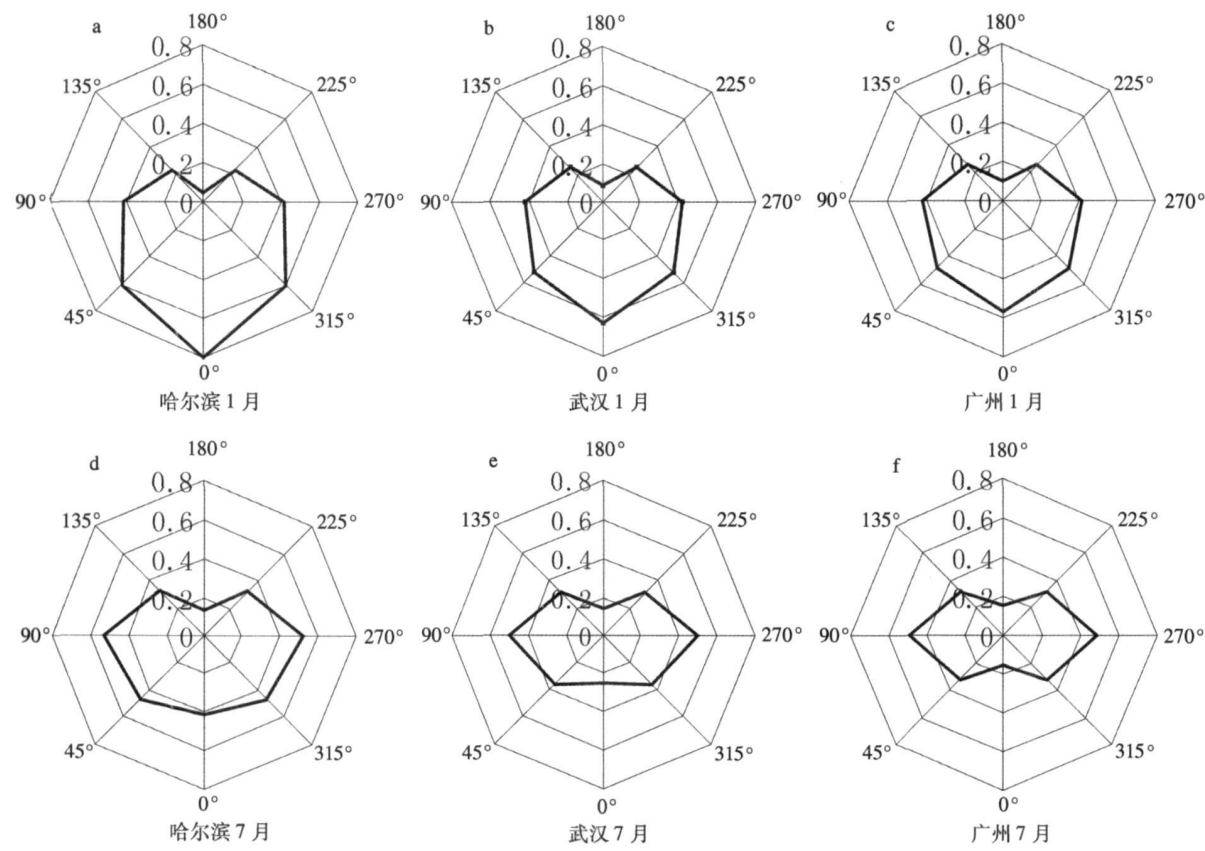


图 3 3 个代表城市不同朝向墙面 1 月 (a b c) 和 7 月 (d e f) 最大 1 h 晴天总辐射量 (单位: $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig 3 The strongest sunny day hourly total radiation amount($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$) received by wall surfaces with different orientations in (a b c) January and (d e f) July in three representative cities

表 4 不同日照时间对应的建筑间距系数及晴天直接辐射量

Table 4 Building insulation interval coefficient and sunny day direct radiation for different sunshine durations

城市	建筑间距系数				直接辐射量 / ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)			
	南北朝向		东西朝向		南北朝向		东西朝向	
	1 h	2 h	1 h	2 h	1 h	2 h	1 h	2 h
哈尔滨	2.377	2.441	0.655	1.537	0.748	1.461	0.191	0.530
武汉	1.283	1.307	0.409	0.913	0.554	1.085	0.166	0.463
广州	0.988	1.004	0.352	0.778	0.473	0.928	0.159	0.446

6 全国墙面最大 1 h 晴天辐射量分布

利用 (3)、(4) 式计算得到的全国 704 站各月的 f_c 值, 分别计算了各朝向的小时辐射量 (图略), 并在各小时总量中挑出最大值, 给出了最大 1 h 晴天辐射量的全国分布。

6.1 1 月各墙面最大 1 h 晴天直接辐射量与总辐射量的分布

由图 4 可见, 1 月南墙面 (图 4a, 4c) 最大 1 h 的晴天直接辐射量的高值区位于青藏高原和东北地

区, 直接辐射量在 $0.80 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 总辐射量达 $0.84 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上; 低值区位于华南地区, 直接辐射量在 $0.50 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 总辐射量在 $0.60 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下。我国东部地区南墙最大 1 h 辐射量空间分布与纬度密切相关, 由北向南递减, 其中四川盆地附近比同纬度地区略低, 黄土高原地区比同纬度地区略高。在我国西部地区南墙辐射量呈现与海拔高度密切相关的分布, 由青藏高原向周边递减。

东、西墙面 (图 4b, 4d) 最大 1 h 辐射量的空间

分布均匀, 且呈现与地形、水汽因素相关的分布形态。高值区位于青藏高原和西北地区北部, 直接辐射量在 $0.52 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 总辐射量 $0.56 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上; 低值区位于东南沿海, 四川盆地和云南南部, 直接辐射量在 $0.36 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 总辐射量在 $0.44 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 其中东北部分地区和四川盆地总辐射量在 $0.40 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下。我国东部地区等值线较稀疏, 东北地区北部与华南的直接辐射量差值小于 $0.10 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$, 总辐射量差值更小, 分布趋势由西北向东南递减。等值线密集区位于在青藏高原向较低

海拔过渡地区。

1月北墙(图 4e)接受不到太阳直接辐射, 因此总辐射量的分布也就是墙面散射辐射量的分布。低值区位于高纬地区和青藏高原, 在 $0.05 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 总辐射量空间分布东部地区基本与纬线平行, 华南地区达到 $0.10 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上。

6.2 7月各墙面最大 1 h 晴天直接辐射量与总辐射量的分布

由图 5 可见, 由于 7 月正午 1 h 太阳高度角较高, 北回归线附近接近 90° , 光学质量 $m = 1/\sin h$ 较

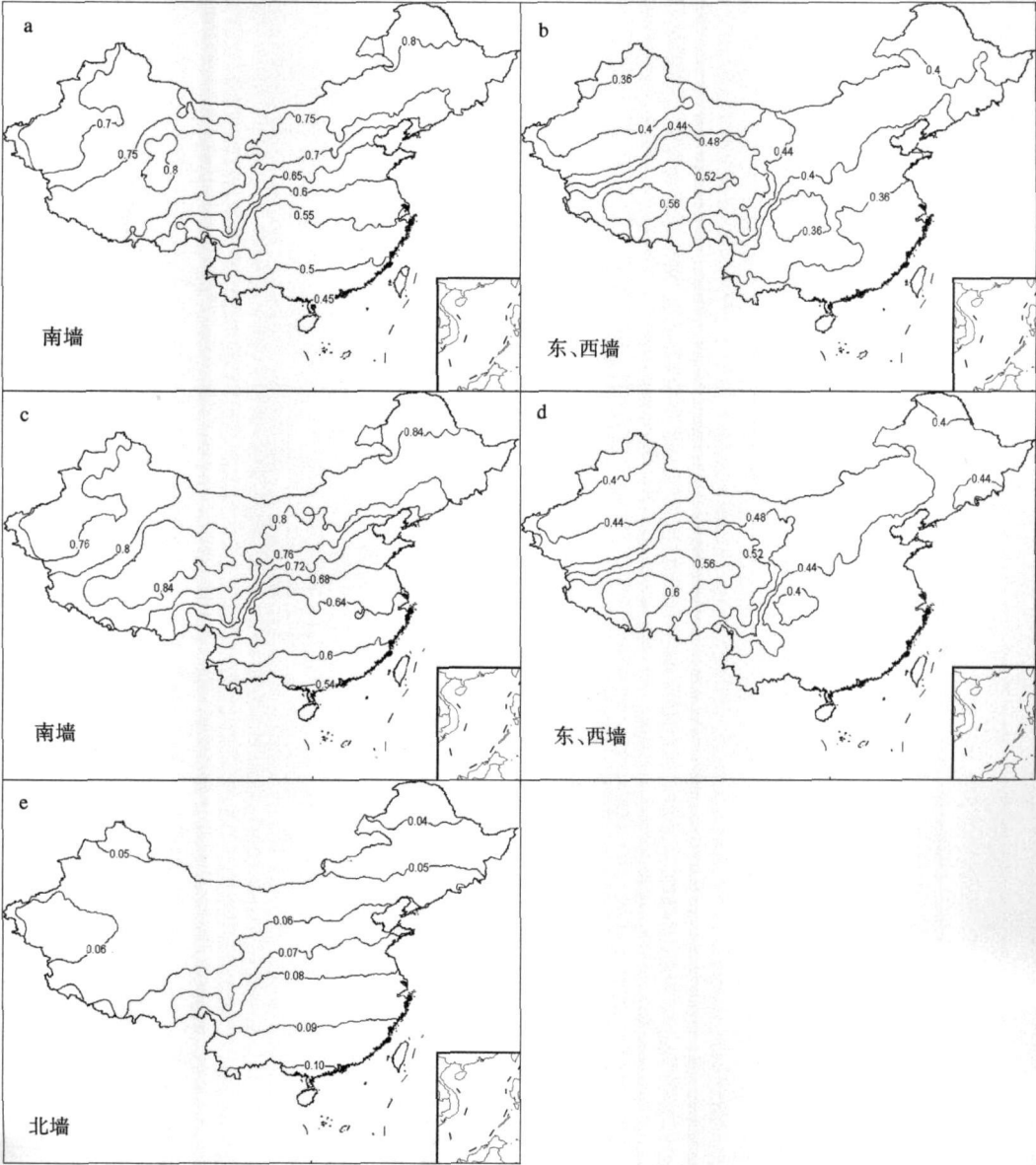


图 4 1月最大 1 h 晴天直接辐射量 (a b) 和总辐射量 (c d e) (单位: $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 4 Distributions of the strongest sunny day hourly (a b) direct and (c d e) total radiation($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$) received by surfaces with different orientations in January

小,因此南墙面(图 5a 5b)接受的太阳晴天直接辐射与太阳高度角密切相关,与大气透明度的相关相对较小,所以正午 1 h 晴天辐射量等值线基本与纬线平行,这与文献 [8]所列月平均辐射结果类似。直接辐射量和总辐射量分别从东北地区的 0 32 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 0 44 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上递减到华南地区的 0 04 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 0 16 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下。

7月东、西墙(图 5c 5d)的最大 1 h 晴天辐射量青藏高原最大,东、西部递减,青藏高原直接辐射量

和总辐射量分别在 0 52 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 0 6 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上。与 1月东、西墙的情况类似,东部地区的等值线分布也很稀疏,东南沿海地区直接辐射量和总辐射量在 0 42 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 0 50 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下。

7月北墙(图 5e 5f)能接受到早晚两次太阳直接辐射,最大 1 h 辐射出现的时间在各个站点并不一样。北墙直接辐射高值区在青藏高原,为 0 12 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$,沿海拔下降到东部平原地区,为 0 11 $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在我国长江流域以南的中低纬度地

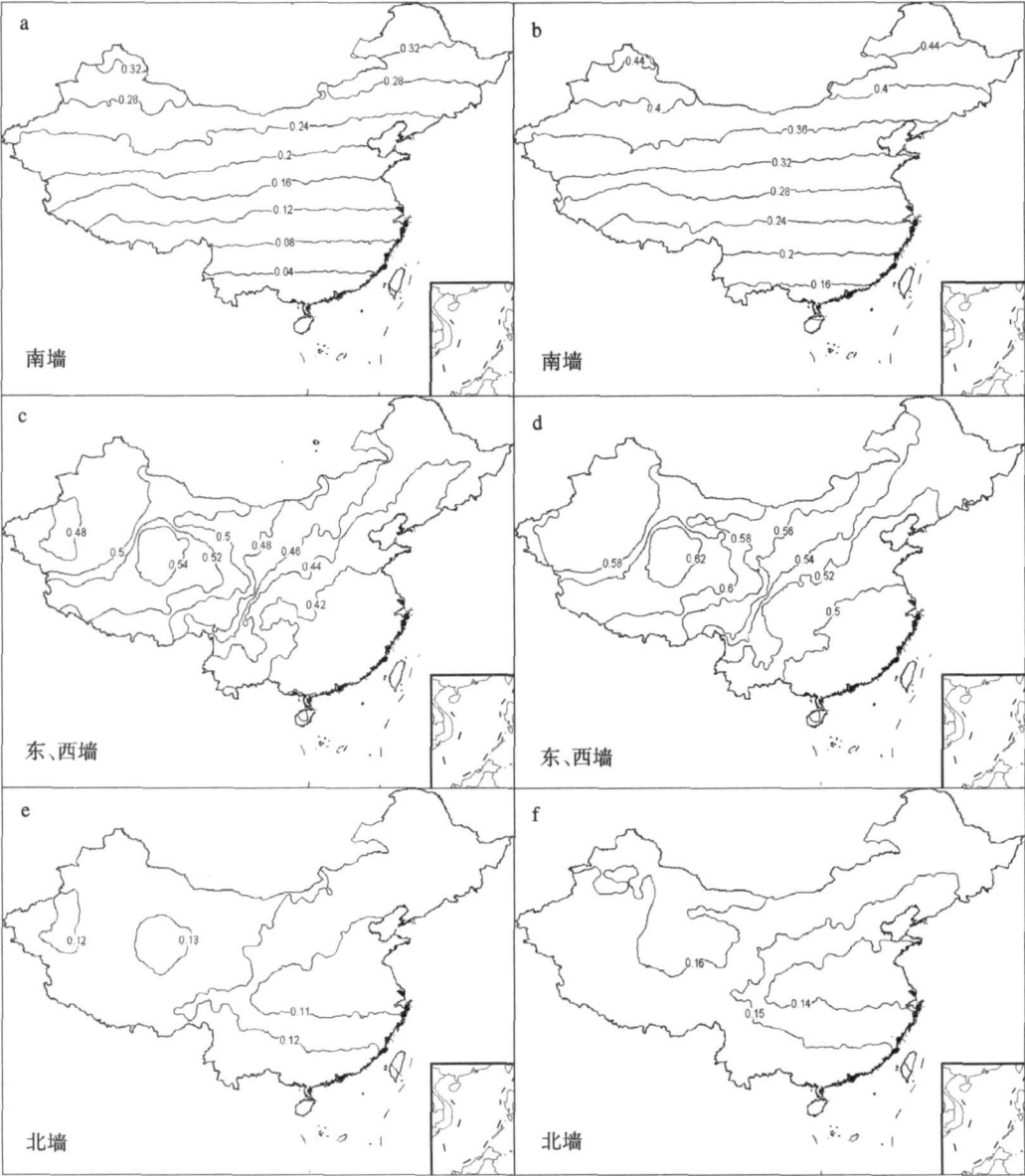


图 5 7月最大 1 h 晴天直接辐射量 (a c e)和总辐射量 (b d f) (单位: $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig 5 Distributions of the strongest sunny day hourly (a c e) direct radiation and (b d f) total radiation received by wall surfaces with different orientations in July (units $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

区,北墙最大 1 h 直接辐射量要大于南墙。北墙晴天总辐射量的分布与直接辐射量基本一致,高值区仍在青藏高原,低值区在东部地区,从 0 16 kW · h · m⁻²递减到 0 14 kW · h · m⁻²。

7 小结

(1)墙面可能晴天太阳辐射小时总量与水平面有较大差别。中高纬地区南墙面冬季日总辐射量和最大 1 h 辐射量大于水平面,夏季则小于水平面。北墙冬季无直接辐射,夏季可以接受 2 次直接辐射,在低纬地区夏季北墙接受辐射量要大于南墙面。东、西墙面辐射年变化最小,而夏季最大 1 h 辐射量要大于其他朝向。

(2)冬季不同纬度城市建筑墙面的辐射量差异较大,要达到同样的日照时间,北方地区要求建筑间距大。同样的日照时间,南北朝向布局的建筑接受的辐射量大于东西朝向。

(3)晴天最大 1 h 辐射量的全国分布是纬度和大气透明度因素共同影响的结果。纬度越高,南墙辐射量越大,而东、西墙辐射受纬度因素影响较小。受大气透明度因素影响,不论朝向和季节,青藏高原地区晴天最大 1 h 辐射量总是高值区,东南沿海和四川盆地附近总是低值区。

参考文献:

[1] 吴继臣,徐刚. 全国主要城市冬季太阳辐射强度的研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(10): 1236-1239

[2] Gulm S, M uneer T, K ambezi is H D. M odel s for obtaining solar radiation from o ther m eteo rological data[J]. So lar Energy, 1998, 64(1): 99-108.

[3] Hanm er A, Heinem ann D, Lorenz E, et al Short-tem forecasting of solar radiation a statistical approach using satellite data[J]. So-

lar Energy, 1999, 67(1): 139-150.

[4] 孙治安,施俊荣,翁笃鸣. 中国太阳总辐射气候 计算方法的进一步研究 [J].南京气象学院学报, 1992, 15(2): 21-29.

[5] 鞠晓慧,屠其璞,李庆祥. 我国太阳总辐射气候学计算方法的再讨论 [J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(4): 516-521.

[6] 朱志辉. 郑州墙面太阳辐射的气候学研究 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 1987, 17(1): 75-80.

[7] 朱志辉. 墙面太阳辐照的理论计算与模式估计——以上海为例 [J]. 地理学报, 1987, 42(1): 28-41

[8] 缪启龙,翁笃鸣,孙治安,等. 中国墙面太阳总辐射的计算及全国分布 [J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 184-190.

[9] John A D, W illiam A B. So lar engineering of thermal processes [M]. New York: John W iley & Sons Inc 1980 62-98

[10] Edw ard E A. Fundamentals of solar energy conversion [M]. New York: Addison-W esley Publishing Company, 1983 62

[11] 邱国全,夏艳君,杨鸿毅. 晴天太阳辐射模型的优化计算 [J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 456-460.

[12] 李怀瑾,朱超群. 晴天日射强度和日射日总量计算法 [J]. 太阳能学报, 1983 4(1): 105-112

[13] 翁笃鸣,孙治安. 中国可能太阳直接辐射的气候计算及其分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 1987, 10(1): 10-18

[14] 孙治安,高庆先,史兵,等. 中国可能太阳总辐射的气候计算及其分布特征 [J]. 太阳能学报, 1988 9(1): 12-23.

[15] 高绍凤,陈万隆,朱超群,等. 应用气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 2001

[16] 翁笃鸣,高歌. 晴天太阳总辐射的一种参数化形式 [J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 317-323.

[17] 翁笃鸣,李炬,高歌,等. 晴天太阳总辐射的参数化及气候计算 [J]. 气象科学, 1997, 17(1): 1-9

[18] 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1990

[19] Burlin R, Bivona S, Leone C. Instantaneous hourly and daily radiation on tilted surfaces[J]. Solar Energy, 1991, 47(2): 83-89

[20] 中华人民共和国建设部. 城市居住区规划设计规范 (GB 50180-93) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002