

# 中国墙面太阳总辐射的计算 及全国分布

缪启龙 翁笃鸣  
孙治安 史兵  
(南京气象学院)

## 提 要

本文在讨论墙面太阳总辐射计算方法的基础上,讨论了我国墙面总辐射的年变化及其随不同朝向的变化规律,并分析了墙面总辐射的全国分布。

## 一、引 言

人类居住的建筑物在寒冷的冬季要求尽可能多地吸收太阳辐射以增加室内温度,而在炎热的夏季则又要避免太阳光的强烈辐射。因此,室内温度的高低与太阳辐射的强弱有明显的关系。据估计,北京、西安等地,室内得到的自然热量中有31—56%直接来自太阳辐射<sup>[1]</sup>。所以在建筑设计中,必须考虑太阳辐射的影响。虽然,屋顶的倾斜面接受到的太阳辐射对室内温度的影响也较大(如乡村的农舍),但在现代城市建设中,多为楼房建筑,因此,墙面太阳辐射状况对城市建筑物的热工设计、调温设备的计算等诸方面的影响是重要的。已有的工作仅对我国部分城市的墙面总辐射特征进行过讨论<sup>[2,3]</sup>,而对其在全国范围的分布情况尚未分析过,至于如何考虑散射辐射的各向异性的特点则更未涉及。本文即在讨论墙面实际太阳辐射计算方法的基础上,计算了全国244个站的墙面太阳总辐射,分析其特征及全国分布状况,为全国各地的城市规划、建筑设计提供一定的科学依据。

## 二、墙面太阳总辐射的计算

墙面短波辐射应包括墙面接受到的太阳直接辐射 $S_j$ 、散射辐射 $D_j$ 和地表及其它建筑物的反射辐射 $A_r$ ,即

$$Q = S_j + D_j + A_r \quad (1)$$

考虑到建筑群区其它建筑物的反射辐射的计算和实测均较复杂,所以本文在反射辐射各向同性的假定下,仅分析平地反射辐射对孤立墙面总辐射的影响。由坡面得到的反射辐射 $A_a = \frac{A_0}{2}(1 - \cos\alpha)$ ,式中 $A_0$ 为平地的反射辐射, $\alpha$ 为坡面坡度,当令 $\alpha = 90^\circ$ 时,则墙面

得到的反射辐射  $A_r$  为

$$A_r = \frac{A_0}{2} \quad (2)$$

实际云天条件下的倾斜面日平均太阳直接辐射为

$$\begin{aligned} \overline{S'_{\alpha\beta}} = & \frac{I_0}{2\pi R^2} [U \sin \delta (\omega_2 - \omega_1) + V \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \\ & - W \cos \delta (\cos \omega_2 - \sin \omega_1)] \cdot (a s_1 + b s_1^2) \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $\delta$  为太阳赤纬,  $I_0$  为太阳常数,  $1/R^2$  为日地平均距离订正,  $s_1$  为日照百分率,  $a, b$  为经验系数。  $U, V, W, \omega_1, \omega_2$  均与文献[4]相同。当  $\alpha=90^\circ$  时, 则墙面实际太阳直接辐射  $S_J$  可求。

倾斜面太阳散射辐射根据天空各向异性特点<sup>[5]</sup>, 我们曾按照南京和大别山的实验观测资料, 拟合出坡面散射辐射计算模式, 现将该式稍作改变可拟合成本

$$\overline{D_{\alpha\beta}} = \overline{D_0} [\cos^2(\frac{\alpha}{2}) + 0.1(c_{\alpha\beta} - c_{\alpha\beta})F(n)] \quad (4)$$

式中  $c_{\alpha\beta}$  可表示为

$$c_{\alpha\beta} = \int_{-\omega_0}^{\omega_0} \cos i d\omega = 2[\omega_0 U \sin \delta + V \cos \delta \sin \omega_0]$$

$c_{\alpha\beta}$  表示东墙的  $c_{\alpha\beta}$  系数,  $i$  为太阳光入射角,  $\omega_0$  为水平面日出时角。当墙面  $\alpha=90^\circ$  时,

$$D_J = \overline{D_{\frac{\pi}{2}, \beta}} = D_0 [\frac{1}{2} + 0.1 C_{\frac{\pi}{2}, \beta} F(n)] \quad (5)$$

$F(n)$  为云的影响函数, 可表示为

$$F(n) = 1 - (0.08n + 0.02n_L)$$

其中  $n, n_L$  为总云量和低云量(0—10)。

(4)式的拟合精度与文献[5]的原式一致, 但其普适性更好, 据在昆明、西宁的短期实验观测结果验证, 效果也较满意(误差小于10%)。利用上述(2)—(5)式, 墙面太阳总辐射可由(1)式求得。至于屋顶倾斜面的太阳总辐射、太阳直接辐射、散射辐射的计算, 可参考文献[4—6]有关内容。

### 三、墙面短波辐射的特征分析

文献[2]指出, 冬半年墙面总辐射以南墙为最大, 自南墙起随着朝向改变而逐渐减小至北墙最小。夏半年南墙到东(西)墙逐渐增大, 东(西)墙最大, 尔后随朝向偏移又逐渐减小在北墙最小。在年变化中偏南墙以冬季最高, 夏季最小; 东(西)墙、东北(西北)墙和北墙则冬季最小、夏季最大; 因各地天气气候条件不同, 最大、最小值出现的时间也相应不同。本文计算结果与上述结论一致, 计算结果还表明各地不同朝向的墙面总辐射年变化均小于水平面, 显然这与墙面  $90^\circ$  倾角有关。

墙面太阳直接辐射、散射辐射随墙面朝向的变化见表1。该表表明墙面太阳直接辐射随墙面朝向的变化十分明显。一月我国各地都以南墙最大, 逐渐减小至北墙为零。七月则东(西)墙太阳直接辐射最大, 黄河一带以北在北墙最小, 在其以南, 则以南墙最小, 海南岛

表 1 不同朝向墙面直接辐射和散射辐射月平均值 ( $W/m^2$ )

方 位(度)		0	45	90	135	180	225	270	315	360	
墙面 散射 辐射	一 月	漠 河	27	26	24	22	21	22	24	26	27
		北 京	37	35	30	25	22	25	30	35	37
		南 京	40	38	32	26	24	26	32	38	40
		广 州	50	47	34	28	26	28	34	47	50
		海 口	52	49	41	35	32	35	41	49	52
	七 月	漠 河	65	64	63	61	60	61	63	64	65
		北 京	73	73	72	72	72	72	72	73	73
		南 京	64	65	66	67	68	67	66	65	64
		广 州	62	64	67	70	71	70	67	64	62
		海 口	62	64	65	65	65	65	65	64	62
墙面 太阳 直接 辐射	一 月	漠 河	124	89	32	1	0	1	32	89	124
		北 京	141	105	49	5	0	5	49	105	141
		南 京	83	63	33	5	0	5	33	63	83
		广 州	63	50	29	5	0	5	29	50	63
		海 口	54	43	26	5	0	5	26	43	54
	七 月	漠 河	45	62	73	50	28	50	73	62	45
		北 京	21	44	59	42	19	42	59	44	21
		南 京	11	41	62	47	21	47	62	41	11
		广 州	1	32	57	49	25	49	57	32	1
		海 口	0	35	66	58	32	58	66	35	0

表 2 墙面总辐射与水平面总辐射的比值  $M$ 

月 份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
南 墙	漠 河	3.78	2.65	1.82	1.08	0.72	0.65	0.68	0.84	1.16	1.86	3.10	3.97	1.37
	北 京	1.88	1.41	1.04	0.71	0.54	0.49	0.54	0.63	0.82	1.17	1.63	1.98	0.91
	南 京	1.38	1.13	0.84	0.60	0.48	0.43	0.44	0.52	0.73	1.01	1.31	1.51	0.77
	广 州	1.13	0.92	0.72	0.56	0.46	0.44	0.39	0.47	0.62	0.87	1.14	1.24	0.72
	海 口	1.09	0.90	0.71	0.51	0.39	0.38	0.36	0.45	0.61	0.83	1.07	1.16	0.64
北 墙	漠 河	0.81	0.76	0.68	0.55	0.42	0.60	0.57	0.48	0.38	0.46	0.76	0.84	0.63
	北 京	0.33	0.35	0.35	0.40	0.47	0.52	0.52	0.44	0.35	0.33	0.33	0.32	0.41
	南 京	0.35	0.39	0.38	0.41	0.47	0.53	0.50	0.41	0.36	0.34	0.31	0.32	0.42
	广 州	0.38	0.45	0.46	0.49	0.56	0.60	0.56	0.48	0.40	0.36	0.35	0.37	0.47
	海 口	0.41	0.42	0.43	0.46	0.52	0.61	0.56	0.50	0.41	0.37	0.37	0.39	0.47

南墙为零。墙面散射辐射随不同朝向的变化不甚明显,夏季散射辐射随不同朝向的变化更小,仅几  $W/m^2$ 。一月南墙最大,北墙最小;七月在黄河一带以南偏北墙大于偏南墙,在其以北,则偏南墙大于偏北墙。

比较墙面总辐射与水平面总辐射的差异,可看出南、北墙总辐射与水平面的差异最大,东(西)墙最小。表 2 是南、北墙总辐射与水平面总辐射月平均值的比值  $M$ 。表明南墙总辐射大于水平面( $M > 1$ )的时间长度随着纬度的增高而增加,例如,漠河 9 月至次年 4 月,北京 10 月至次年 3 月,南京 10 月至次年 2 月,而海口则 11 月至次年 1 月。各月南墙的比值  $M$  亦随纬度的增高而增加,如 12 月漠河南墙总辐射为水平面总辐射的 4 倍。而年平均漠河南墙总辐射仅稍大于水平面。其它各地南墙年平均则小于水平面, $M$  为 0.60—1.00。各地北墙总辐射一般为水平面总辐射的一半左右( $M$  变化于 0.30—0.70 之间)。各地北墙比值  $M$  分布均匀,年变化也较小。

表 3 给出各地墙面实际太阳直接辐射与总辐射的比值资料。显然这种比值不仅与太阳直接辐射的入射强度有关,也与各地的天气气候条件即云量有关。由表 3 仍可看出南墙直接辐射占总辐射的比值在 50% 以上的时间长度随着纬度的增高而逐渐增加的。如漠河为 9 月至次年 3 月达 7 个月,南京为 10 月至次年 2 月仅 5 个月。在北回归线以南各地区,6 月均接近于零,可说明南墙在热带地区 6 月份几乎接受不到太阳直接辐射。而北墙则在整个冬半年全国各地均不能得到太阳直接辐射;在夏半年北墙太阳直接辐射占总辐射的比值仍较小,在 1%—30% 之间,随纬度变化不甚明显,北墙直接辐射与总辐射的年平均的比值随纬度增高虽稍有增加,但其比值也仅在 10% 左右变化。至于东(西)墙太阳直接辐射对总辐射的比值与对水平面的比值很相近,大多在 40—60% 左右;东南(西南)墙太阳直接辐射与总辐射的比值则介于南墙与东(西)墙之间;东北(西北)墙的比值介于东(西)墙与北墙之间(表略)。

表 3 墙面直接辐射与墙面总辐射的比 (%)

月 份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
南 墙	漠 河	75	66	52	44	39	34	34	43	57	68	71	74	53
	北 京	75	65	50	37	28	19	18	28	49	63	73	77	51
	南 京	62	51	40	27	15	9	12	25	37	54	64	66	41
	广 州	51	31	19	9	2	0	1	10	28	47	56	56	32
	海 口	46	25	14	7	2	0	0	12	40	49	52	50	28
北 墙	漠 河	0	0	0	7	23	29	25	15	1	0	0	0	11
	北 京	0	0	0	5	17	21	17	10	1	0	0	0	10
	南 京	0	0	0	4	14	19	20	11	1	0	0	0	9
	广 州	0	0	0	5	16	23	28	14	1	0	0	0	10
	海 口	0	0	0	5	20	26	26	11	1	0	0	0	10

#### 四、全国墙面太阳总辐射分布

用(1)式我们计算了中国各地 244 个站、各月及年平均各朝向墙面总辐射平均辐照度。得到:东(西)墙面的太阳总辐射与文献[7—8]所计算的水平面总辐射的分布基本一致;东南(西南)墙的分布近似于南墙总辐射的分布;东北(西北)墙总辐射分布则与北墙相似。因此,我们主要讨论南、北墙 1、7 月及年平均的全国分布特征。

### 1. 墙面总辐射年平均值的分布

墙面总辐射年平均值的全国分布与水平面总辐射的全国分布有相似之处,亦有不同。由图 1 a 可见,南墙年平均总辐射高值区位于北方干旱、半干旱地区及青藏高原,最大值中心在内蒙的中、北部。低值区位于秦岭、淮河流域以南,一般在  $120W/m^2$  以下,其中川、黔、湘、鄂等山区仅在  $80W/m^2$  以下,最低值仅  $58W/m^2$ 。

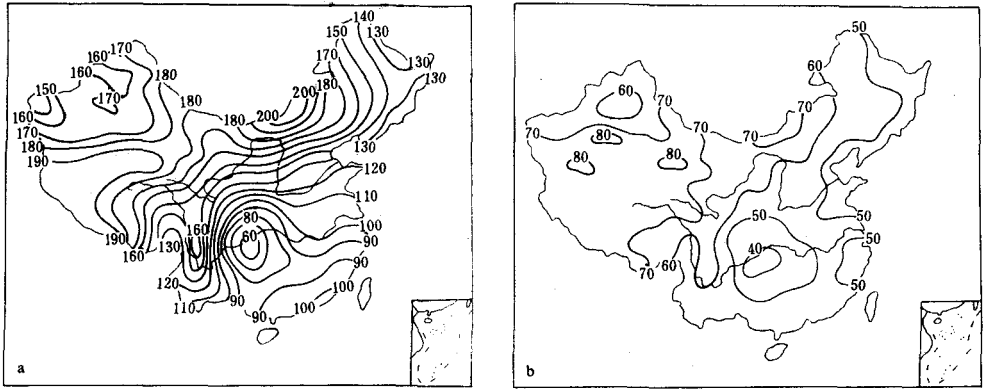


图 1 墙面总辐射年平均分布 ( $W/m^2$ )  
(a)南墙 (b)北墙

北墙总辐射分布比较均匀(图 1b),总的分布趋势仍以半干旱、干旱的中、西部地区(包括青藏高原在内)较大,最大值在塔里木盆地,可超过  $80W/m^2$ 。 $60W/m^2$  的等值线从东北西部经华北北部,陕西中部到甘肃东南经川西山区、云南西北山区然后折向藏东南。其以东地区较小,均在  $50W/m^2$  左右,川黔山区最低,可降至  $40W/m^2$  以下。

### 2. 一月墙面总辐射的分布

一月南墙总辐射分布较多地与年平均总辐射分布相似(图 2a)。高值位于我国西部、北部及青藏高原,大部在  $200W/m^2$  以上,青藏南部的定日达  $301W/m^2$ 。而横断山脉到云

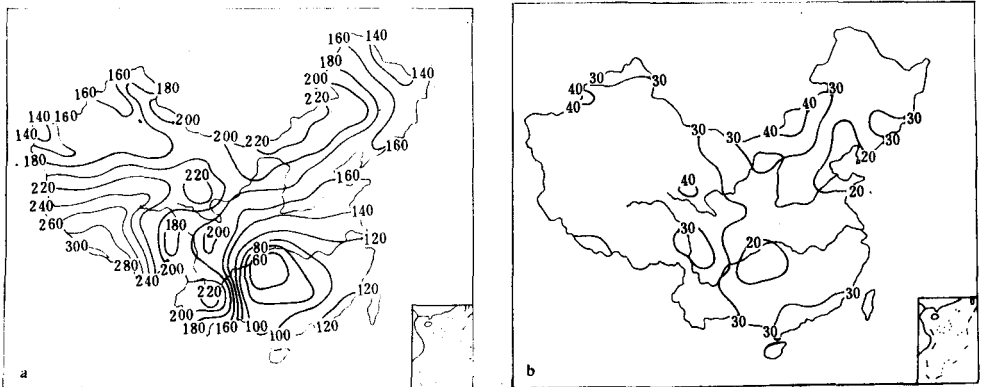


图 2 一月墙面总辐射分布( $W/m^2$ )  
(a)南墙 (b)北墙

南亦有一南北向的超过  $200\text{W}/\text{m}^2$  的高值区。东南地区较小,一般在  $100\text{W}/\text{m}^2$  上下,川黔山区分别有  $80$ 、 $60\text{W}/\text{m}^2$  的低值中心,遵义则不到  $50\text{W}/\text{m}^2$ 。

一月北墙总辐射分布也与年平均分布相近(图 2b)。全国分布均匀( $30\text{--}45\text{W}/\text{m}^2$ )。西部、北部稍高,东部、南部稍低,但因冬季北墙接受不到太阳直接辐射而仅有散射辐射,所以数值较小,月平均值仅为年平均的二分之一,为南墙一月平均总辐射的五分之一。

### 3. 七月墙面总辐射的分布

七月南墙总辐射的等值线呈纬向分布(图 3a),数值具有由东、南向西、北增加的特征。秦岭、淮河一线以南小于  $80\text{W}/\text{m}^2$ ,东南沿海及川黔山地最小,高值区位于西、北干旱区,均在  $100\text{W}/\text{m}^2$  以上,最大值在塔里木盆地达  $149\text{W}/\text{m}^2$ 。

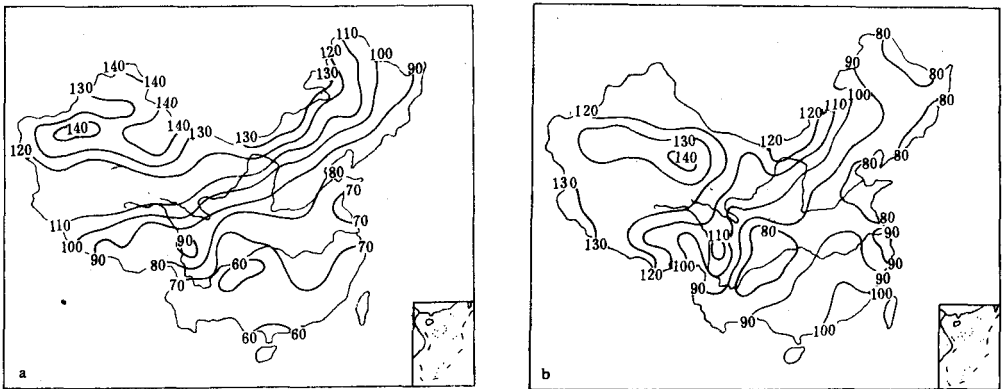


图 3 七月墙面总辐射分布( $\text{W}/\text{m}^2$ )

(a)南墙 (b)北墙

七月北墙总辐射分布(图 3b)的总趋势为中、东部小,西、北部大。塔里木盆地、柴达木盆地为大于  $130\text{W}/\text{m}^2$  的高值闭合区,四川盆地、云贵高原北部以及东北长白山、大兴安岭等地是小于  $80\text{W}/\text{m}^2$  的低值区。

## 五、小 结

1. 墙面实际太阳总辐射可由墙面太阳直接辐射、散射辐射和反射辐射计算之和求得。考虑散射辐射各向异性的特性,使得总辐射计算更符合实际。

2. 随着墙面朝向的改变,墙面太阳直接辐射变化十分明显。一月北墙完全接受不到直接辐射,而七月在海南岛地区南墙完全接受不到直接辐射。散射辐射随着墙面朝向改变而引起的变化不大。

3. 全国墙面总辐射分布表明,南墙年平均分布在西、北部的干旱、半干旱地区大,内蒙中部高达  $180\text{W}/\text{m}^2$  以上,而东、南部地区较小,尤以四川盆地、云贵高原等山地为最小。北墙年平均全国分布较均匀,变化于  $40\text{--}80\text{W}/\text{m}^2$  之间,  $60\text{W}/\text{m}^2$  等值线将中国一分为二,其以西为高值区,以东为低值区。

## 参 考 文 献

- [1] 谭冠日等,应用气候,上海科技出版社,73—83,1985年。  
[2] 李怀瑾等,墙面日射特征研究,气候学论文集,南京大学出版社,155—165,1985年。  
[3] 朱志辉等,上海墙面日射研究,地理学报,第二期,1988年。  
[4] 翁笃鸣等,中国亚热带东部山区坡面太阳能资源和净辐射图集,气象出版社,1988年。  
[5] 李占清、翁笃鸣,坡面散射辐射的分布特征及其计算模式,气象学报,46,3,1988。  
[6] 缪启龙等,中国亚热带东部山区坡面太阳直接辐射的计算和分布,南京气象学院学报,第二期,1989年。  
[7] 祝昌汉,再论总辐射的气候学计算方法(一),南京气象学院学报,第1期,1982年。  
[8] 祝昌汉,再论总辐射的气候学计算方法(二),南京气象学院学报,第2期,1982年。

A CALCULATION METHOD OF THE TOTAL SOLAR RADIATION  
RECEIVED BY WALL SURFACES IN CHINA

Miao Qilong Weng Duming

Sun Zhian Shi Bing

(*Nanjing Institute of Meteorology*)

Abstract

This paper deals with the annual variation of the total radiation received by the wall surfaces and its variation law with different orientation in China based on the calculation methods. Also, its distribution all over the country is analyzed in detail.