

山东省太阳辐射的计算及其分布

王建源¹ 冯建设¹ 袁爱民²

(1 山东省气象中心, 济南 250031; 2 山东省邹城气象局, 邹城 273500)

摘要 通过对国内外太阳总辐射气候学计算方法的分析对比, 确定 $Q = Q_0(a + bS)$ 为山东省太阳辐射最佳计算公式。根据济南、福山、莒县 1961 ~ 2000 年历年各月的总辐射和日照百分率, 采用最小二乘法拟合出公式中各月的经验系数, 并计算了山东省各地的月太阳总辐射。结果表明: 山东省太阳总辐射年变化都表现为 5 月最大, 12 月最小。年太阳总辐射在 $4488 \sim 5692 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 北部多, 南部少, 其中年总辐射最大值出现在鲁北的庆云, 其值高达 $5692 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 最低值出现在鲁西南的曹县, 其值为 $4488 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

关键词 太阳辐射 气候学计算 分布 山东省

引言

太阳辐射是地面的主要能量来源, 也是地面热量平衡的重要组成部分。外国学者进行了大量的研究, 我国由于太阳辐射站较少, 一些省、市、区甚至全国的太阳辐射均基于气候学方法进行计算^[1~3], 这些研究成果虽然十分宝贵, 但是由于考虑区域的大小及所用资料的年限长短不同等原因, 这些成果在使用过程中均受到时间和空间的限制。山东省位于 $34^{\circ}25' \sim 38^{\circ}23' \text{ N}$, $122^{\circ}43' \sim 144^{\circ}36' \text{ E}$, 南北最大长度约 420 km, 东西最大宽度约 700 km, 境内有沿海、平原、丘陵、山地等多种地形, 使之太阳辐射的差异较大。但是, 山东省只有济南、福山、莒县 3 个辐射观测站, 所以研究适用于山东省太阳辐射的计算方法十分必要。本文利用济南、福山、莒县 1961 ~ 2000 年太阳辐射和气候资料, 对山东省太阳辐射进行计算, 并对其分布特征进行了讨论, 以便为研究全球气候变化、评估农业气候生产潜力以及太阳能工程等提供科学的依据。

1 计算方法

目前, 国内外太阳辐射的气候学计算方法可归纳为:

$$Q = Q_0 f(s, n) \quad (1)$$

$$Q = Q_1 f(s, n) \quad (2)$$

$$Q = Q_2 f(s, n) \quad (3)$$

式中: Q 为地表受到的太阳总辐射, Q_0 、 Q_1 、 Q_2 分别为天文总辐射、晴天大气总辐射、理想大气总辐射, $f(s, n)$ 是以日照百分率和总云量表示的天空遮蔽度函数。研究表明, 使用晴天大气总辐射、理想大气总辐射或天文总辐射进行计算差别不大^[3,4], 用日照百分率比云量效果好, 双因子略好, 相差不大。考虑到天文总辐射可直接用公式计算, 本着使用简便的原则, 本文确定计算公式为:

$$Q = Q_0(a + bS) \quad (4)$$

根据 1961 ~ 2000 年各月辐射和日照百分率, 采用最小二乘法拟合出式(4)中各月的经验系数 a 、 b , 然后计算出各地的各月的地面月平均太阳总辐射。

2 月太阳辐射的计算和检验

2.1 月天文总辐射的计算

由日天文辐射总量公式计算出日天文总辐射, 然后逐日求和累计出月辐射量。日天文辐射总量的计算公式如下:

$$Q_n = \frac{TI_0}{\pi \rho} (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0) \quad (5)$$

式中: Q_n 为天文辐射总量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), T 为周期 ($24 \times 60 \times 60 \text{ s}$), I_0 为太阳常数 ($13.67 \times 10^{-4} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), ρ 为日地相对距离, ω_0 为日落时角 ($^\circ$), φ 地理纬度, δ 太阳赤纬, 日地相对距离 ρ 由式 (6) 计算^[5-7]:

$$\rho = \sqrt{1 + 0.033 \cos(2\pi J/365)}$$

(6)

式中: J 为年内天数, 从 1 月 1 日的 0 到 12 月 31 日的 364。

太阳赤纬由式 (7) 计算^[8]:

$$\delta = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39)$$

(7)

表 1 济南、福山、莒县 3 站月太阳辐射计算公式中各月经验系数和统计检验

		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
济南	a	0.081	0.128	0.050	0.058	0.124	0.043	- 0.046	0.062	0.062	0.002	- 0.049	0.086
	b	1.029	0.953	1.150	1.211	1.103	1.297	1.494	1.230	1.220	1.325	1.373	1.079
	R	0.834	0.849	0.802	0.811	0.824	0.831	0.760	0.705	0.798	0.884	0.918	0.856
	F	84.7	95.3	66.8	71.3	78.2	82.4	50.5	36.6	64.7	132.1	199.5	101.1
福山	a	0.112	0.255	0.257	0.265	0.310	0.262	0.142	0.089	0.159	0.251	0.242	0.186
	b	0.924	0.720	0.759	0.764	0.734	0.830	1.033	1.191	1.068	0.816	0.733	0.803
	R	0.620	0.629	0.732	0.636	0.613	0.588	0.687	0.672	0.735	0.670	0.704	0.720
	F	17.1	18.6	34.5	20.3	16.9	15.8	25.1	24.7	35.2	24.5	29.4	32.3
莒县	a	0.055	- 0.039	0.306	0.216	0.360	0.230	0.090	0.395	0.178	0.052	0.153	0.062
	b	1.109	1.344	0.552	0.791	0.494	0.803	1.056	0.422	0.945	1.233	0.969	1.120
	R	0.78	0.668	0.713	0.606	0.640	0.619	0.579	0.613	0.736	0.670	0.647	0.677
	F	37.5	17.7	24.3	15.6	16.8	15.7	14.1	14.3	28.9	17.9	17.1	18.6

3 太阳辐射的变化及分布

3.1 太阳辐射年际变化

图 1 给出济南、福山、莒县 3 站 1961 ~ 2000 年太阳辐射变化曲线。以济南为例, 太阳辐射的年际变化范围在 $4147 \sim 5777 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间(图 1), 从变化趋势线看出, 整个变化呈下降趋势, 下降幅度每年达 $22.5 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在 1981 年之前, 年辐射量基本在 $5000 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 其中 60 年代有 3 年超过 $5500 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$; 1982 年以后, 则基本在 $5000 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 特别是 80 年代中后期, 有 4 年在 $4500 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下, 90 年代变化比较平稳, 基本在 $4540 \sim 5120 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间。

3.2 太阳辐射的年内变化

图 2 是济南(代表鲁北)、福山(代表半岛)、莒县(代表鲁南)太阳总辐射年变化曲线。可以看出, 全省各地太阳总辐射年变化趋势以 5 月份最大, 12 月份最小。虽然 7 月份天文总辐射最大, 由于山东省 6、7 月份正处于汛期, 阴雨天较多, 日照较少, 受阴

日落时的太阳时角由式 (8) 计算^[5]:

$$\omega_0 = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$

(8)

2.2 月太阳辐射计算公式的建立和检验

根据济南、福山、莒县历年各月的总辐射和日照百分率进行拟合, 计算出各月的经验系数, 为检验方程的意义, 对各月的回归方程的相关系数和 F 值检验, 结果如表 1。从表 1 可以看出相关系数大部分在 0.60 以上, 只有福山的 6 月份和莒县的 7 月份在 0.60 以下, 分别为 0.588 和 0.579, F 值均通过 $F_{0.01}$ 检验, 回归总体显著。

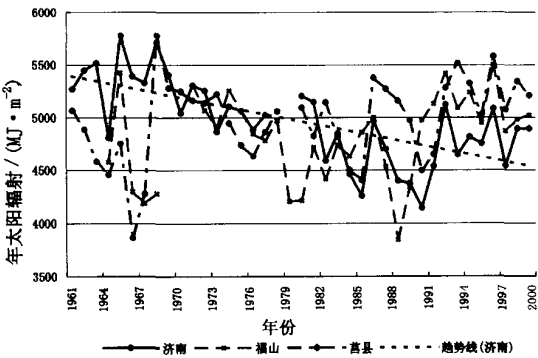


图 1 济南、福山、莒县太阳辐射历年变化

雨天的影响, 辐射强度受到影响, 而 5 月份正处于夏季风最盛行时期, 副热带高压稳定控制山东, 多晴好天气, 天文总辐射仅次于 6、7 月份, 因此, 太阳总辐射最大。12 月份, 山东省处于冬季, 天文总辐射与实际总辐射都处于最低点。

3.3 太阳辐射的空间分布

利用济南、福山、莒县 3 站的回归方程, 当地月日照百分率多年平均值和月天文辐射, 计算全省各

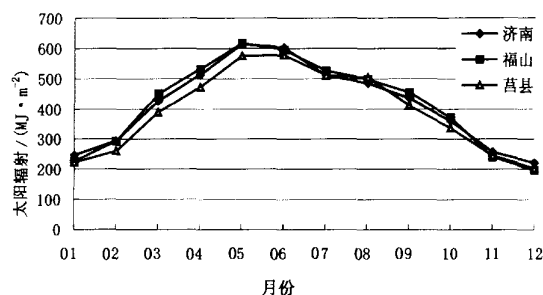


图2 济南、福山、莒县太阳辐射年变化

县、市水平地面的月平均太阳总辐射(鲁北地区各县、市利用济南站的回归方程计算,半岛各县、市利用福山站的回归方程计算,鲁南各县、市利用莒县站的回归方程计算)。

春季辐射占全年总辐射的28%~33%,在1327~1769 MJ·m⁻²之间,其中低值出现在鲁西南,在1350 MJ·m⁻²以下,最低值在成武,高值出现在鲁北,在1700 MJ·m⁻²以上,最高值在阳信。夏季辐射占全年总辐射的31%~36%,在1495~2017 MJ·m⁻²之间,其中低值出现在鲁南及鲁东南沿海,在1500 MJ·m⁻²以下,枣庄最低,高值出现在鲁北,在2000 MJ·m⁻²以上,庆云最高。秋季辐射占全年总辐射的20%~24%,在1023~1230 MJ·m⁻²之间,分布情况与春季相似,其中低值出现在鲁西南,在1050 MJ·m⁻²以下,最低值在成武,高值出现在鲁北,在1150 MJ·m⁻²以上,最高值在阳信。冬季辐射占全年总辐射的10%~15%,在581~815 MJ·m⁻²之间,其中低值出现在鲁西,在600 MJ·m⁻²以下,高值出现在鲁东南,在750 MJ·m⁻²以上,此时,多以受西太平洋副热带高压控制的少云晴朗天气为主,实际辐射受云量影响较小,分布状况与天文辐射分布相似,最高值出现在泰山。

年总辐射在4488~5692 MJ·m⁻²之间,分布趋势如图3所示,南少北多,其中,低值出现在鲁西南,在4650 MJ·m⁻²以下,最低值在曹县,高值出现在鲁北和黄河三角洲,在5550 MJ·m⁻²以上,最高值在庆云。

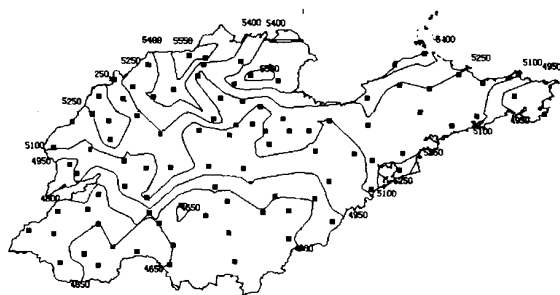


图3 山东省年太阳总辐射分布

(单位: MJ·m⁻²)

4 小结

(1) 综合考虑计算效果和便于应用,山东省太阳总辐射气候学计算的基数值以天文总辐射为好。

(2) 天空遮蔽度函数以日照百分率的一次函数为宜,即 $Q = Q_0(a + bS)$,为提高计算年太阳总辐射的精确性,采取按月建立经验公式的方法。

(3) 山东省太阳总辐射年变化趋势以5月份最大,12月份最小。全省年太阳总辐射在4488~5692 MJ·m⁻²之间,南部少,北部多,其中年总辐射最大值出现在庆云,为5692 MJ·m⁻²,最低值出现在曹县,为4488 MJ·m⁻²。

参考文献

- [1] 左大康. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[J]. 气象学报, 1963, 33(1): 78-96.
- [2] 王炳忠, 张富国, 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.
- [3] 缪启龙, 周锁钎, 吴息. 西部山区总辐射气候学计算及分布[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(2): 177-182.
- [4] 刘绍民, 李银芳. 新疆月太阳总辐射气候学计算方法的研究[J]. 干旱区地理, 1997, 20(3): 75-81.
- [5] 高国栋, 缪启龙, 王安宇, 等. 气候学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1996. 31-32.
- [6] 杜尧东, 毛慧琴, 刘爱君, 等. 广东省太阳总辐射的气候学计算及其分布特征[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 66-67.
- [7] 张雪芬, 陈东, 付建祥, 等. 河南省近40年太阳辐射变化规律及其成因探讨[J]. 气象, 1999, 25(3): 21-25.
- [8] 刘钰, Preira L S, Teixeira J L, 等. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997, (6): 27-33.

Calculation and Distributive Characteristics of Solar Radiation in Shandong Province

Wang Jianyuan¹ Feng Jianshe¹ Yuan Aimin²

(1 Shandong Provincial Meteorological Center, Jinan 250031 ; 2 Zoucheng Weather Bureau, Shandong Province, Zoucheng 273500)

Abstract : By analyzing and contrasting climatological calculation methods of solar radiation domestic and abroad , an optimal calculation formula is presented for Shandong Province . In accordance with the monthly global solar radiation and percentage of sunshine from 1961 to 2000 in Ji' an and Fushan and Juxian , the experiential coefficients for each month in formula are fitted using the least square method , and the monthly global solar radiation for all parts of the province is calculated . The results show that the annual variation of global solar radiation took a one-peak form with maximum in May and minimum in December , although the maximum extra-terrestrial solar radiation should be in July . The reason is that there was less sunshine and more clouds in June and July . The annual global solar radiation in the province ranged from $4488 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ to $5692 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ from south to north . The minimum annual solar radiation was at Caoxian County of the southwestern Shandong and Maximum at Qingyun County of the northern Shandong .

Key words : solar radiation , climatological calculation ; distribution , Shandong Province