

我国太阳辐射量区域性变化特征研究^{*}

查良松

(安徽师范大学地理系 芜湖 241000)

摘 要 对我国近35年来到达地面的太阳辐射量观测资料进行方差分析和统计检验,结果表明:从70年代开始,我国太阳直接辐射和总辐射量普遍减少,变化趋势分别为 $-246\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ 和 $-16.8\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$,减少量最大中心在长江流域。太阳散射辐射量在东北、华北以及南方地区增加,在长江流域和西北地区减少。此外,用太阳辐射量倾向率的形式归纳出我国四种典型的区域性太阳辐射量季节变化特征。

关键词 方差技术 太阳辐射量 区域性变化

分 类 (中图法) P422.1 (科图法) 56.4221, 56.458

太阳辐射是气候形成的最重要因素,火山爆发送入到平流层的气溶胶和随着城市建设规模的扩大和工业的迅速发展造成了地理环境的改变以及产生的人工气溶胶,都会引起到达地面的太阳辐射量发生变化^[1-4]。我国的地域差异性较大,揭示不同区域太阳辐射量变化特征,对于研究区域以及全球变化具有重要意义。资料选用1957—1992年全国58个台站(甲种站)比较齐全的实测日射资料,即到达地面的太阳散射辐射量(D)、水平面上的太阳直接辐射量(S')和太阳总辐射量($Q=D+S'$)。为了便于分析,本文对年、月平均太阳辐射量单位统一为日辐射测度量——兆焦耳/米²日($\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$)。

1 近30多年太阳辐射量的变化规律

计算出我国58个站点1957—1990年的年均太阳辐射量的平均值及4个时段(1957—1960, 1961—1970, 1971—1980, 1981—1990)的平均值和各时段的距平值,列出我国部分主要城市(计29个)年平均太阳辐射量在各时段的距平值(表1)。

由表1可清楚地看出,时段Ⅰ(1961—1970年),我国各大城市太阳直接辐射量(S')都为正距平,合肥、南昌分别达 $1.08\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$ 和 $1.01\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$,太阳散射辐射量(D)的距平值或正或负,但距平的绝对值均小于太阳直接辐射量距平值(郑州除外),因此太阳总辐射量($Q=D+S'$)为正距平,表明这时段我国到达地面的太阳总辐射量在增加。时段Ⅱ,太阳辐射量的距平值发生了变化,主要表现为71%的城市太阳总辐射的正距平转变成负距平。时段Ⅲ,太阳直接辐射量(S')的距平全成了负值,太阳散射辐射量(D)正负距平的城市几乎各占一半,太阳总辐射量(Q)全为负距平值,其中57%的城市负距平值在 $-1.00\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$ 以下。综上所述,我国太阳直接辐射量和总辐射量在60年代为正距平,80年

^{*} 国家自然科学基金资助项目(0488002)
收稿日期:1995-10-11,收到修改稿日期:1996-02-13

表 1 我国部分城市不同时段年平均太阳散射辐射 (D)、直接辐射 (S')
和总辐射 (Q) 距平值 (1957—1990 年)

Tab. 1 The values of departure of annual mean diffuse direct and global radiation (D , S' and Q)
in some sitys of China during different periods of yeays (1957—1990)

距平单位: $10_2\text{MJ}/\text{m}^2\text{d}$

时 段 辐射	I (1957—1960 年)			II (1961—1970 年)			III (1971—1980 年)			IV (1981—1990 年)		
	D	S'	Q	D	S'	Q	D	S'	Q	D	S'	Q
哈 尔 滨	-7	-44	-51	6	8	15	2	19	21	-14	-38	-52
长 春	-45	50	5	-22	66	44	7	-33	-26	52	-83	-31
沈 阳	-26	28	3	23	75	98	-8	-16	-24	-7	-86	-94
北 京	-60	85	25	10	50	60	14	-1	13	-8	-107	-115
天 津	-45	82	37	13	56	69	-15	-18	-33	16	-77	-61
太 原	-8	90	82	-29	90	61	11	-23	-12	28	-122	-94
济 南	35	22	57	-21	94	73	-24	19	-5	53	-159	-106
郑 州	-22	85	63	-80	33	-46	40	-7	32	67	-73	-7
西 安	14	76	90	30	43	72	-9	15	5	-33	-104	-137
兰 州	-82	40	-42	-29	60	32	63	-11	53	-38	-77	-115
西 宁	8	88	96	5	96	101	42	7	49	-80	-202	-283
乌鲁木齐	-17	122	105	-13	61	49	-4	-17	-21	28	-98	-70
上 海	-28	84	56	-12	83	71	-2	-28	-30	32	-115	-83
南 京	-31	107	76	-1	81	80	3	0	3	6	-146	-140
合 肥	16	218	234	24	108	132	-39	-6	-45	-1	-129	-130
杭 州	37	69	106	5	72	77	4	-11	-7	-21	-114	-135
南 昌	12	163	175	39	101	139	0	-52	-52	-52	-86	-137
武 汉	-44	75	31	47	93	141	-19	-24	-43	-25	-152	-178
长 沙	-7	136	129	-2	80	79	-33	-38	-71	46	-81	-36
成 都	19	31	50	13	30	43	4	13	17	-30	-70	-100
重 庆	29	82	111	12	61	72	-15	-3	-18	-1	-103	-104
贵 阳	47	39	86	36	47	83	-28	18	-10	-18	-99	-116
昆 明	-3	122	118	3	36	39	-24	-68	-92	33	-35	-2
拉 萨	3	85	89	77	65	142	-58	-10	-68	12	-176	-164
福 州				-16	64	48	-32	-18	-50	66	-70	-10
广 州	-7	143	136	9	62	71	-18	-36	-54	13	-104	-91
南 宁	25	63	88	-21	41	20	5	-10	-5	10	-76	-66
海 口	-49	75	26	59	68	127	-22	-50	-72	-40	-89	-129

代发生了突变，全为负距平，所收集到的部分 1990 年以后的太阳辐射资料表明，我国太阳直接和总辐射量仍然趋于减少。因此，在到达地面的太阳辐射量 35 年的时间序列中，存在着上升和下降两阶段，设太阳辐射年变化量为 2 个水平（正距平和负距平），每个水平出现次数分别为 n_1 、 n_2 ，总年代为 N ，则有：

$$N = \sum_{i=1}^2 n_i$$

(1)

各水平各次距平值为 x_{ij} ， i 为试验水平 $i=1, 2$ ； j 为每个距平值序号 $j=1, 2, \cdots \cdots n_i$ 。构造 F 统计量：

$$F(2-1, n-2) = \frac{\sum_{i=1}^2 n_i \frac{(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{(2-1)}}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \frac{(\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2}{(n-2)}}$$

(2)

式中 \bar{x} 为 x_{ij} 的总平均值， \bar{x}_i 为第 n_i 组平均值。在显著水平 $\alpha=0.05$ 时，进行 F 检验表明，除郑州以外，全国各城市的年平均太阳总辐射量（ Q ）下降趋势显著，因此，70 年代为我国太阳辐射量发生转折变化的年代。

2 区域性变化与类型特征

按照^[5]的划分方法，将我国分成 7 个区域，各个不同时段太阳辐射量距平值（表 2）有如下特点，Ⅳ时段（1981—1990 年），东北、华北、华南、西南太阳散射辐射在增加（正距平），太阳直接辐射和总辐射在减少（负距平），但长江流域和西北地区与其不同的是太阳散射辐射也在减少（负距平），因此太阳总辐射量减少更显著。为分析这种变化趋势的规

表 2 我国不同时段年平均太阳散射辐射（ D ）、直接辐射（ S' ）和总辐射（ Q ）的区域性距平值（1957—1990 年）

Tab. 2 The regional values of departure of annual mean diffuse direct and global radiation (D , S' and Q) in China during different periods of yeays (1957—1990)

距平单位：10₂MJ/m²d

时 段 辐 射	I (1957—1960 年)			I (1961—1970 年)			II (1971—1980 年)			IV (1981—1990 年)		
	D	S'	Q	D	S'	Q	D	S'	Q	D	S'	Q
东 北	—26	12	—14	2	50	52	0	—10	—10	10	—69	—59
华 北	—15	68	53	—23	54	31	10	—9	0	20	—81	—61
西 北	—18	72	54	4	44	47	11	—12	—1	—19	—62	—81
长江中下游	—6	119	113	17	90	107	—9	—20	—29	—10	—124	—134
长江中上游	15	77	92	10	55	64	—10	—1	—10	—4	—94	—98
华 南	—13	106	93	6	80	86	—6	—26	—32	4	—101	—97
西 南	—5	48	44	26	20	45	—32	4	—29	10	—61	—51

律性，根据该序列的实际分析，各地的年平均太阳辐射量可用一次线性方程来拟合，即：

$$\hat{X}_i(t) = a_{i0} + a_{i1}t \tag{3}$$

式中 $i=D, S, Q$ ； t 为时间（年）。

其趋势变化率方程为：

$$\frac{d \hat{X}_i(t)}{dt} = a_{i1} \tag{4}$$

$a_{i1} > 0$ ，表示太阳辐射量随时间（ t ）增加； $a_{i1} < 0$ ，表示太阳辐射量随时间（ t ）减少。把 $a_{i1} \times 10$ 年称作太阳辐射量倾向率，以此来定量描述太阳辐射量的变化趋势。单位为：兆焦耳/米² · 10 年（下文用 MJ/m² · 10a 表示）。

利用最小二乘法原理，计算出全国各站太阳辐射量变化倾向率，即（3）式系数 a_{i0} ， a_{i1} 。下面讨论计算结果。

我国东北、华北绝大部分地区以及华南的部分地区、东南沿海和云贵高原西侧地区的太阳散射辐射量在增加，即 $a_{D1} > 0$ 。最大的太阳散射辐射增加量中心在烟台、郑州、太原和二连浩特一带，太阳散射辐射量倾向率最大值达 216MJ/m² · 10a，南京以西的长江沿线地区为太阳散射辐射量减少中心带，即 $a_{D1} < 0$ 。我国整个地区太阳直接辐射量倾向率基本全为负值（ $a_{S1} < 0$ ），减少量最大区在我国东部，减少量最大中心在长江中下游流域，另一个减少中心在西北地区的西宁，东北地区太阳直接辐射减少量较小。太阳总辐射量倾向率分布趋势基本同太阳直接辐射量倾向率分布相一致（图 1），即全国太阳总辐射量基本是减少的（ $a_{Q1} < 0$ ）。南京、合肥、武汉、汕头的太阳总辐射量倾向率都在 -29.2MJ/m² · 10a 以下。80

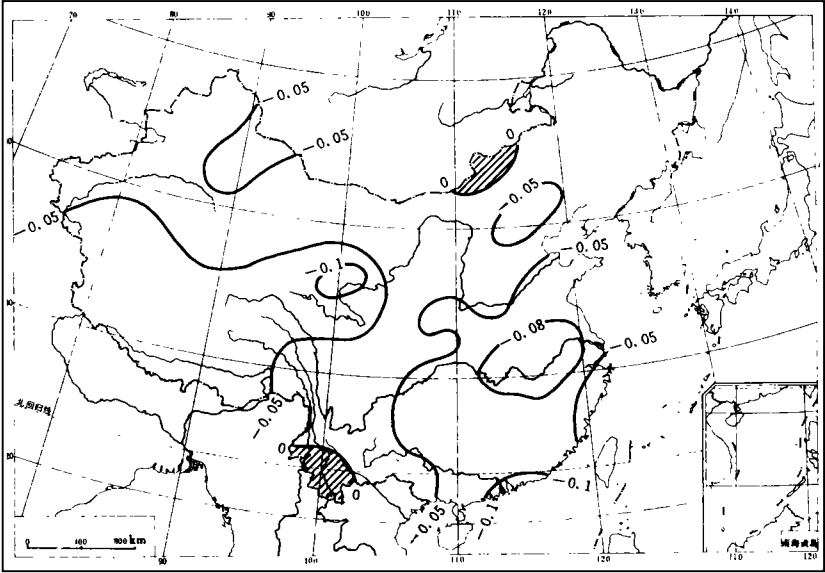


图 1 太阳总辐射量倾向率（365MJ/m² · 10a）分布图（1957—1992）
Fig.1 The distribution of the annual amount slope function for global solar radiation (365MJ/m² · 10a) in China (1957—1992)

年代长江流域气温有所下降^[6]，形成了以冷湿为主的气候特征^[7]，本文的资料表明，地面太阳辐射量的减少，可能是导致该地区气温下降的原因之一。

虽然我国太阳辐射量有逐年减少的趋势，但在一年中太阳辐射量变化仍有很大差异。从图2可以看出：太阳散射辐射量变化幅度较小，太阳直接和总辐射量全年都是减少的，夏季减少量最突出，两者变化趋势基本一致，因要抵消部分太阳散射增加量，所以总辐射倾向率要比直接辐射量小一量级，太阳直接辐射和总辐射量变化趋势全国平均分别为 $-246\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$ 和 $-16.8\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$ 。

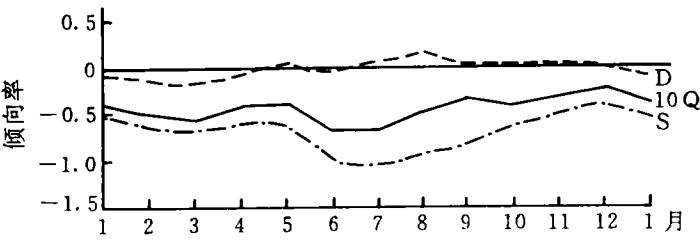


图2 我国太阳散射(D)、直接(S)和总(Q)辐射量倾向率($365\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$)月变化曲线(1957—1992)

Fig. 2 Slope values ($365\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$) for linear least squares fits to separate time series of each months' average solar radiation (D, S' and Q) in China (1957—1992)

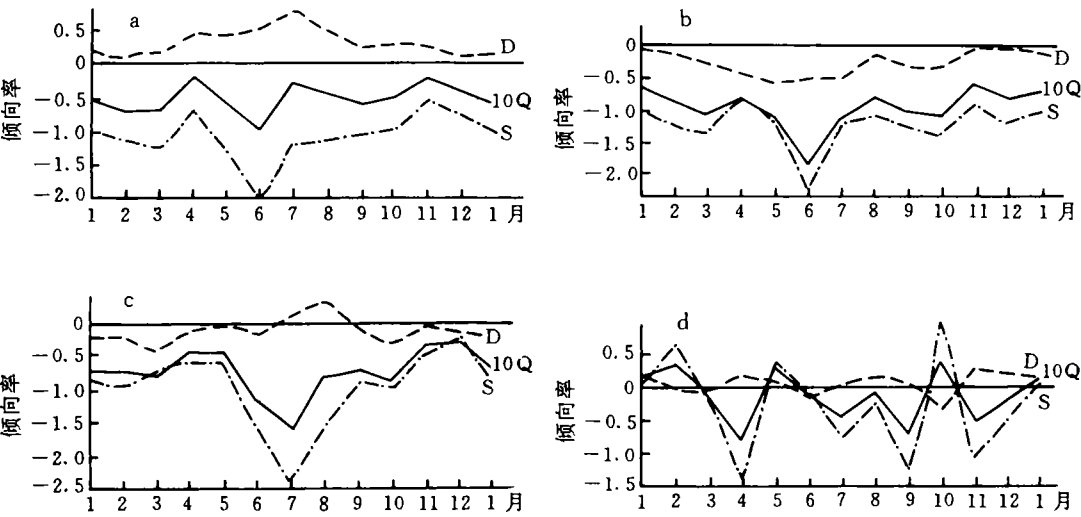


图3 (a) 济南市、(b) 西宁市、(c) 武汉市、(d) 昆明市的太阳散射(D)、直接(S')和总(Q)辐射量倾向率($365\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$)月变化曲线(1957—1992)

Fig. 3 Slope values ($365\text{MJ/m}^2 \cdot 10\text{a}$) for linear least squares fits to separate time series of each months' average solar radiation (D, S' and Q) at

(a) the city of Jinan; (b) Xining; (c) Wuhan; (d) Kunming in China (1957—1992)

太阳辐射量在不同区域里季节变化的差异性很大,但可归纳为如下四种类型:

(1) 太阳散射辐射量全年在增加,太阳直接、总辐射量全年在减少,如上海、北京、兰州、银川、长春、太原、大同、济南等城市属于这种类型(图 3.a 选例)。

(2) 太阳散射辐射、直接辐射和总辐射量全年都在减少,如拉萨、西安、敦煌、西宁等城市属于这种类型(图 3.b 选例)。

(3) 太阳散射辐射量除 7、8 月明显增加外,其它月份呈波动性地减少。太阳直接和总辐射减少量比其它区域大,特别在 7 月份,太阳直接辐射量和总辐射量分别以 $-821\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ 和 $-58\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ 的倾向率在减少,如宜昌、万县、海口、南昌、福州、长沙、武汉等城市属于这种类型(图 3.c 选例)。

(4) 太阳散射、直接和总辐射量以波动形式作增减变化,变化幅度比其它区域小,如桂林、滕冲、威宁、中山、昆明等城市属于这种类型(图 3.d 选例)。

3 讨论

(1) 方差分析和 F 检验表明:我国西北和长江沿线大部分地区太阳散射辐射量随着时间在减少,其它地区在增加或增加量不明显,太阳直接辐射量大部分地区减少趋势显著,太阳总辐射量几乎全国显著在减少。70 年代为我国到达地面的太阳直接辐射和总辐射趋于减少的转折时期,两者变化趋势分别为 $-246\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ 和 $-16.8\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ 。

(2) 四种典型的区域性变化:太阳散射辐射量华北区各月以增加为主(如济南市);西北区全年以减少形式为主(如西宁市);长江流域基本上是夏季在增加,冬季在减少(如武汉市);云贵高原太阳辐射量全年呈 3—4 月周期增减(如昆明市)。前三个区域类型一个显著特点是太阳直接辐射和总辐射在任何季节都是减少的,夏季减少量最大。长江流域太阳总辐射量的显著减少趋势,可能是导致该地区气温有所下降的原因之一。

(3) 目前,我国日射观测资料存在两个问题:①辐射仪器老化,灵敏度下降,会使观测值越来越低,给分析问题带来困难。②日射站初建时,绝大多数在郊外,随着城市扩展,现大多数已在市区内,故实测日射值很大程度上反映了测站附近大气污染日趋严重的状况,由城市化的迅速发展和大气污染范围日益扩大,造成了太阳直接辐射、总辐射趋于减少^[8],这是必然结果,如我国东部的太阳直接、总辐射减少量大于西部、长江流域为一显著减少中心,显然与这些地区城市集中和工业大气污染严重有关。

(4) 太阳总辐射量的减少趋势,无疑是地面和大气对流层中一个重要的致冷因素,在很大程度上起到抵消由温室气体增多而引起地面温度升高的作用。有关到达地面的太阳辐射量减少趋势引起温度变化的定量关系问题有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Ellsworth G. Dutton *et al.* J. Climate, 1991, 4: 848—858.
- 2 周淑贞, 张超. 上海城市热岛效应. 地理学报, 1982, 37(4).
- 3 周淑贞, 邵建民. 上海城市对太阳辐射的影响. 地理学报, 1987, 42(4): 319—327.
- 4 查良松. 西北地区太阳辐射量变化的研究. 干旱区地理, 1995, 18(1): 8—13.
- 5 林学椿, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势. 气象, 1990, 16(3): 16—21.
- 6 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, 52(3): 261—273.
- 7 施能, 陈家其. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431—439.
- 8 李克让, 张丕远. 中国气候变化及其影响. 海洋出版社, 1992. 307—312.

REGIONAL VARIATIONS OF SOLAR RADIATION IN CHINA

Zha Liangsong

(Department of Geography, Anhui Normal University, Wuhu 241000)

Abstract

The variation of solar radiation in China during the recent 35 years (1957—1992) is analyzed with variance technique and significance test ($F_{\alpha=0.05}$). The results show that, direct solar radiation has obviously decreased in the whole county since the 1970's, with the maximum value of decreasing occurred in the Yangtze valley. The trend of diffuse solar radiation showed regional features: increased in the Northeast, North China and the south of China, decreased in the Yangtze valley and the Northwest. The annual amounts of direct and global solar radiation of the whole country are decreasing at a rate of $-246\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ and $-16.8\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot 10\text{a}$ respectively. In addition, among the available regions, the typical distribution characteristics of seasonal variation of solar radiation are classified into four types.

Key words Variance technique, Solar radiation, Regional variation