

西太平洋副热带高压的气候振动

张先恭

(气象科学研究院天气动力研究所)

提 要

本文根据1951—1984年逐月副高面积指数和赤道东太平洋海面温度资料,研究了副高的长期变化特征及其与海面温度和太阳活动的关系。发现:副高的强弱有明显的阶段性和3.2、3.8、11.3和22.5年的周期性,周期的长度随着阶段的转变而变化;副高的3—4年振荡主要受海面温度的支配,在副高由弱转强时,海温的变化在先,副高由强转弱时,海温的变化在后;副高的11.3年和22.5年的周期可能受太阳活动的影响,副高阶段的转折年份大都在太阳黑子11年周期的极值年前后,而且在太阳活动奇数周期中副高偏强,偶数周期中副高偏弱。这些结果为副高的气候预报提供了某些依据。

一、引 言

对流层中部的西太平洋副热带高压(简称副高)是影响中国夏季大范围降水的主要环流系统。大量的研究表明^[1-3],副高不但有明显的季节变化,而且还有一定的周期性变化。随着500百帕环流资料的不断增多,我们发现副高在长期变化中还有明显的阶段性变化。副高长期变化的阶段性是影响中国东部地区夏季降水气候振动的主要支配因子。而副高的阶段性变化又与太平洋海面温度的变化有密切关系。本文拟根据近三十多年的副高面积指数和太平洋海面温度资料,对副高的长期变化进行一些气候学分析,并对副高和赤道东太平洋海面温度(简称海温)长期变化之间的联系以及副高长期变化和太阳活动之间的联系进行一些探讨。

二、副高变化的阶段性

近年来的不少研究工作证实,我国大范围气候变化有明显的阶段性^[4,5]。作为影响我国夏季降水长期变化重要因子之一的西太平洋副热带高压,也应该反映出这个重要特征。为此,根据中央气象台长期预报科发布的1951—1984年逐月西太平洋副热带高压面积指数资料进行了累积距平分析。为了消除副高季节变化的影响,首先对副高面积指数进行标准化处理,即

$$I_{ij} = (I_{ij} - \bar{I}_j) / \sigma_j \quad \begin{array}{l} i=1, 2, \dots, 34(\text{年}) \\ j=1, 2, \dots, 12(\text{月}) \end{array}$$

式中 I_{ij} 为某年某月的副高面积指数, \bar{I}_j 为该月的多年平均值, σ_j 为该月的均方差, I_{ij} 即为标准化后的副高面积指数。然后对标准化后的值,按下式

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{12} I_{ij}$$



图1 1951—1984年西太平洋副热带高压面积指数(a)
和赤道东太平洋(0—10°S, 180—90°W)海面温度(b)的累积距平曲线

求出逐年逐月的累积距平值 C_{ij} , 并点绘成曲线。根据累积距平曲线的性质, 曲线下降表示负距平占优势, 称为低平阶段; 曲线上升表示正距平占优势, 称为超平阶段^[6]。因此在副高累积距平曲线上, 低平阶段表示副高持续偏弱, 超平阶段表示副高持续偏强。图1(a)为1951—1984年西太平洋副热带高压面积指数的累积距平曲线。根据图中副高强弱的变化, 近34年来可以划分出两个减弱期(即1951.1—1957.5和1963.10—1976.7)和两个增强期(即1957.6—1963.9和1976.8—1983.12)共4个阶段。我们计算了这4个阶段的一些统计量(均值、均方差、极大、极小等), 结果相同性质阶段的统计量相近, 不同性质阶段的统计量则相差较大(表1)。为了验证各个阶段之间是否有显著性差异, 我们对各阶段的均值进行了t检验。在大子样情况下, t检验的公式为:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_{x_1}^2}{n_2} + \frac{\sigma_{x_2}^2}{n_1}}}$$

表 1 1951—1984 年西太平洋副热带高压各阶段面积指数的统计特征

阶段编号	1	2	3	4
起迄日期	1951.1—1957.5	1957.6—1963.9	1963.10—1976.7	1976.8—1983.12
持续月数	77	76	154	89
极大值	27	31	29	33
极小值	0	2	0	4
平均值	9.9	15.3	10.6	17.6
均方差	6.68	7.44	8.11	6.90
正距平百分率	33/77=43%	47/76=62%	63/154=41%	64/89=72%
负距平百分率	44/77=57%	29/76=38%	91/154=59%	25/89=28%
t 值		4.725	4.247	6.837
F 值		1.24	1.19	1.38

式中 t 为统计量, \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 分别为样本 1 和样本 2 的平均值, σ_1^2 、 σ_2^2 分别为样本 1 和样本 2 的均方差, n_1 、 n_2 分别为样本 1 和样本 2 的大小。用这个公式分别计算了阶段 1 和 2, 阶段 2 和 3, 阶段 3 和 4 的 t 值(详见表 1), 结果均大于自由度为 $n_1 + n_2 - 2$ 时 0.001 的 t 值 3.29, 说明各阶段之间有显著性差异。为了比较各阶段内随机变量与其平均值的离散度, 用下式对各阶段的均方差进行了 F 检验:

$$F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$$

式中 σ_1 和 σ_2 分别为前后两个阶段的均方差, 在实际计算时, 把均方差大的作为分子, 均方差小的作为分母。计算结果各阶段之间的 F 值分别为 1.24、1.19 和 1.38, 均分别小于各相应自由度下信度为 0.05 时的 F 值 1.45、1.37 和 1.39。说明各阶段之间的标准差无显著性差异, 也就是说各阶段内变量的变化幅度是差不多的。由此可见, 根据副高面积指数的累积距平曲线所划分出的 4 个阶段是合理的。

分析这 4 个阶段的统计结果, 可以看到: 在副高的两个偏弱阶段中(即表 1 中的阶段 1 和阶段 3), 副高的平均面积指数均低于多年平均值(12.4), 副高面积指数出现负距平的月数略多于出现正距平的月数。而在两个偏强的副高阶段中(即表 1 中的阶段 2 和阶段 4), 副高的平均面积指数均在多年平均值以上, 出现正距平的月数明显地多于出现负距平的月数。特别是在 1976 年 8 月—1983 年 12 月这个偏强阶段中, 正距平月数占 72%, 平均面积指数比多年平均值高出 42%, 是 1951 年以来副高发展得最强的阶段。副高各个阶段的持续时间, 平均为 99 个月(8 年左右), 其中两个偏强阶段的长度接近, 其平均持续时间为 82 个月(7 年左右), 而两个偏弱阶段的平均持续时间要长得多, 平均持续时间至少在 10 年以上。

实际上阶段是气候周期中的一个位相, 一个偏弱阶段和一个偏强阶段组成了一个完整的周期。陈菊英在分析西太平洋副热带高压 19 年周期时指出^[7], 1976—1982 年副高一直持续偏强, 这种持续偏强趋势与 19 年前的 1957—1963 年这一段的持续偏强趋势相对应。其前期 1974—1975 年的持续偏弱趋势也与 1955—1956 年的持续偏弱趋势相似(图 2)。我们计算了 1976—1982 年和 1957—1963 年两个偏强阶段以及 1970—1975 年和 1951—1956 年两个偏弱阶段逐月副高面积指数(标准化)之间的相关系数, 分别为

0.32 和 0.36, 均达到 0.05 信度, 说明这种相似性是显著的。这种相似性给副高的长期预报提供了很有用的气候背景。

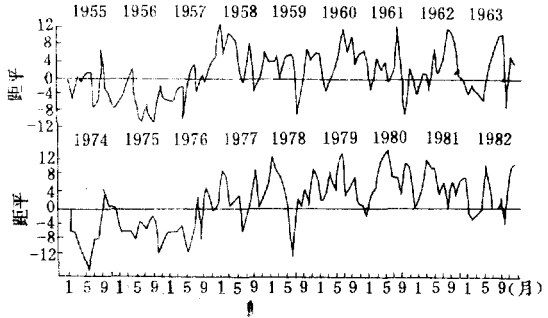


图2 1955—1963年和1974—1982年西太平洋副热带高压面积指数距平变化的相似性^[7]

三、副高变化的周期性

关于副高变化的周期性问题, 许多人根据不同时期的资料用不同的分析方法证实, 在副高变化的各种各样的周期中, 以 3—4 年的周期最明显^[2]。我们根据 1951 年 1 月到 1984 年 12 月共 408 个月副高面积指数的标准化序列, 对副高面积指数作功率谱分析^[8], 即

$$S_p(k) = \frac{1}{m} \left[R(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} R(\tau) \cos \frac{k\pi}{m} \tau + R(m) \cos k\pi \right]$$

式中 $R(\tau)$ 为各种时间后延的自相关函数, $k = 0, 1, 2, \dots, m$, m 为最大后延, k 为基本周期 $2m$ 内的谐波波数, $S_p(k)$ 即功率谱。本文取序列长度的 $1/3$ 作为最大后延, 则可得图 3(a) 的谱密度图形(图中略去了大于 30 的谐波)。由图可见方差集中在低频的现象很明显, 前 26 个波集中了方差的 61%。其后延为 1 的相关系数 $r_1 = 0.599$ 大大超过了 0.001 的信度要求, 说明副高面积指数序列有很强的持续性。为了揭露序列的隐含周期, 同后延为 1 的序列相关求一阶马尔柯夫连续谱, 即

$$R_p(k) = \overline{S_p} \left[\frac{1 - r_1^2}{1 + r_1^2 - 2r_1 \cos \frac{k\pi}{m}} \right]$$

其中

$$\overline{S_p} = \frac{1}{2m} [S_p(0) + S_p(m)] + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} S_p(k);$$

r_1 是后延为 1 的自相关系数; $S_p(k)/R_p(k)$ 服从 $\frac{\chi^2}{\zeta}$ 分布, 自由度 $\zeta = \frac{2n - \frac{m}{2}}{m}$ 。

图 3 中实线即为红色谱曲线, 虚线为 95% 的置信限。从图中可以看到, 落在置信限

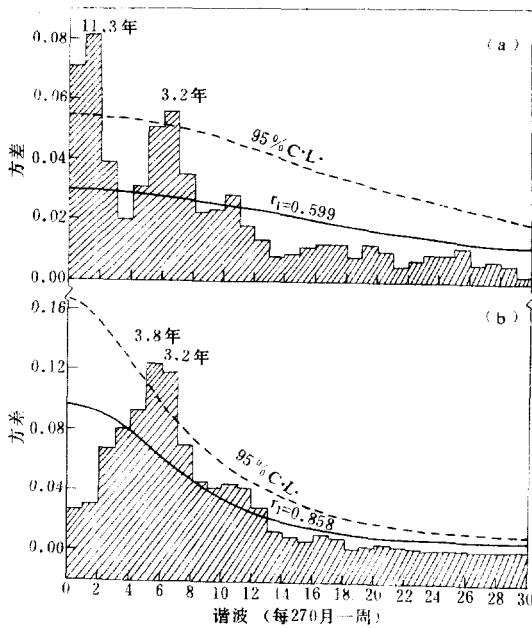


图3 西太平洋副热带高压面积指数(a)和赤道东太平洋海面温度(b)的功率谱
 以外的谐波有10处,分别为1、2、7、76、77、78、85、121、133和134。其中年以上长度的周期有22.5年、11.3年、和3.2年三个明显周期。此外还有三个周期,即3.8年、2.1年和1.3年也很突出,但未达到95%的置信限。

表2 各时段副高面积指数功率谱分析结果

时 段	1951—1956	1957—1963	1964—1975	1976—1983
m	N/2	N/2	N/2	N/2
r_1	0.237	0.403	0.643	0.543
信 度	0.2	0.01	0.001	0.001
随机过程性质	白噪声	红噪声	红噪声	红噪声
周 期	1.94	(1.37)	2.96, 3.94	(7.83)

为了考察副高周期的稳定性,作者把近34年副高面积指数资料按副高的阶段变化分为4个时段,即1951—1956,1957—1963,1964—1975和1976—1983,分别对各时段作功率谱分析。结果列于表2。可以看出,由于分段以后序列变短了,因此11年以上的长周期在各个时段中均无法反映出来,但11年以下的几个周期却分别出现在不同时段中。如在全时段分析中,3.2年和3.8年的周期,在1964—1975年这个偏弱阶段中表现很突出;2.1年的周期在全时段分析中虽不显著,但在1951—1956年这个偏弱阶段中却明显反映出来了。但是从两个偏强阶段中得到的两个周期均未达到95%的置信限,而这两个周期中的一个(1.3年)在全时段分析中也不显著,而另一个(7.8年)在全时段中根本没有找到。由此可见,不同阶段中变化周期不同,优势周期随着阶段的变化而变化,而且在偏强阶段中,副高的周期性不明显,而在偏弱阶段中副高的周期性则比较显著。特别是许多作者指出的副高3—4年的周期性变化,只是在1964—1975年的这个偏弱阶段中反映得最

清楚,而在其它阶段中几乎没有出现。

四、影响副高气候振动的因子

大量的研究表明,海洋热状况是影响副热带高压变化的重要因素。特别是赤道东太平洋海面温度的变化与西太平洋副热带高压的变化有密切的关系。而且海温的变化比副高的变化超前 3—4 个月^[2]。我们计算了 1951—1980 年逐月赤道东太平洋(0—10°S, 180—90°W)海面温度标准化序列和西太平洋副热带高压面积指数标准化序列之间的相关系数,结果同时相关为 0.37,而副高落后 5—6 个月的相关系数最大达 0.50(图 4),说明两者之间的关系非常密切。

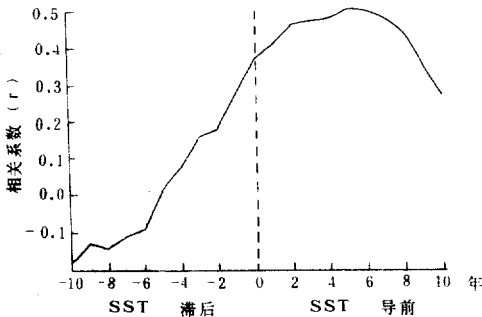


图 4 西太平洋副高面积指数与赤道东太平洋海温的交叉落后相关

表 3 赤道东太平洋海温变化的阶段

升温阶段	降温阶段
1951 年 1 月—1954 年 5 月	1954 年 6 月—1957 年 1 月
1957 年 2 月—1966 年 6 月	1966 年 7 月—1976 年 2 月
1976 年 3 月—1984 年 5 月	1984 年 6 月—

为了探讨副高长期变化与赤道东太平洋海面温度长期变化之间的联系,我们用与分析副高长期变化相同的方法,将 1951—1984 年逐月赤道东太平洋海面温度资料标准化后做累积距平曲线(图 1(b)),发现西太平洋副热带高压的长期变化与赤道东太平洋海面温度的长期变化总的趋势几乎完全一致。赤道东太平洋的海面温度的累积距平曲线,同样可划分出不同的变化阶段(表 3)。对照副高的变化阶段(参见表 1),发现两者有一定的联系:海温由下降趋势转为上升趋势比副高由偏弱阶段转为偏强阶段要提前,如 1957 年 2 月海温开始增温比副高由偏弱阶段转为增强阶段的时间 1957 年 6 月

提前了 4 个月。但海温由上升趋势转为下降趋势则比副高由偏强阶段转为偏弱阶段落后。如 1963 年 10 月副高已开始减弱,但海温到 1966 年 7 月才开始转为

下降趋势,落后了两年零 9 个月。因此,从长期变化来看,赤道东太平洋海温的升高能导致副高的加强,而副高的减弱又反过来促使海温的下降。

对赤道东太平洋海面温度进行功率谱分析(图 3(b)),达到 95%置信限的显著周期有 3.8 年,3.2 年,另外在 2.05 年和 1.32 年也有两个峰值,和副高的周期比较,除 22.5 年和 11.3 年这两个周期在海温上没有反映外,其它完全一致。我们用西太平洋副热带高压和赤道东太平洋海面温度两个标准化序列作交叉谱分析。交叉谱和功率谱不同之处在于两个不同序列 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的互相关函数不具备自相关函数的偶对称性,所以交叉谱由复值量组成,其实部和虚部分别称为协谱 ($P_{12}(k)$) 和正交谱 ($Q_{12}(k)$),其离散估计式分别为^[6]:

$$P_{12}(k) = \frac{1}{m} \left\{ R_{12}(0) + \sum_{\tau=1}^{m-1} [R_{12}(\tau) + R_{21}(\tau)] \cos \frac{k\pi}{m} \tau + R_{21}(m) \cos k\pi \right\}$$

$$Q_{12}(k) = \frac{1}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} [R_{12}(\tau) - R_{21}(\tau)] \sin \frac{k\pi}{m} \tau \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m)$$

两个时间序列不同频率分量之间的相关程度用凝聚函数 r_{12} 表示,即

$$|r_{12}(k)| = \left[\frac{P_{12}^2(k) + Q_{12}^2(k)}{P_1(k)P_2(k)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

其数值在 0—1 之间变化。两个时间序列谱分量的相角差为

$$\Phi_{12}(K) = \text{arctg} \frac{Q_{12}(k)}{P_{12}(k)}$$

根据以上各式计算,其协谱的符号在周期为年以上的低频部份均为正值,其后延为零的交叉相关系数为 0.341,说明海温与副高在低频部分具有同时增强同时减弱的趋势。其大于信度 0.001 的临界凝聚值 0.884 的周期为 45.00、38.57 和 33.75 月,而这三个周期也正是海温序列和副高序列在各自的功率谱分析中的均超过 95% 置信限的主要周期(表 4),在这个耦合频域内副高振荡比海温的时间滞后 3—5 个月,说明副高的 3.8 年和 3.2 年振荡主要受海温支配的。

表 4 赤道东太平洋海温与西太平洋副高之间的交叉谱特征

周期(月)	凝聚值	协谱符号	位相差(月)
45.00	0.889	+	-5.3
38.57	0.920	+	-3.5
33.75	0.908	+	-3.7

影响副高强度变化的另一个重要因子可能是太阳活动。杨鉴初在研究北太平洋海面温度对太阳活动的响应时,发现当太阳活动增强时,海温升高;反之当太阳活动减弱时,海温下降^[9]。从海面温度与副高之间的密切关系推知,太阳活动

与副高之间可能也有某种联系。陈兴芳等在分析副高长期变化时,发现副高强度和位置周期振动的转折时期,大多出现在太阳活动极值年附近^[10]。吴波认为副高的长年变化与太阳活动 22 年周期有关^[11]。我们计算了年太阳黑子数与北半球 500hPa 各网格点高度之间的相关系数,发现在太平洋中部有一个高相关区,这个区域正处在西太平洋副热带高压主体中心附近,其中夏威夷岛南部(170—130°W, 15—20°N)十个网格点上,平均相关系数为 0.66,最高达 0.81,均超过了 0.001 的信度。为了探讨西太平洋副热带高压与太阳活动 11 年周期和 22 年周期之间的关系,我们把近 30 年中太阳活动分为 4 个位相,即高值位相(1957、1958、1968、1969、1979、1980 年)、低值位相(1953、1954、1964、1965、1975、1976 年)、上升位相(1955、1956、1966、1967、1977、1978 年)和下降位相(1950、1951、1952、1960、1961、1962、1971、1972、1973 年)。并按太阳活动单双周统计了副高面积指数正负距平出现的百分率(表 5)。从表中看出,在单周高值位相和下降位相以正距平占优势;低值位相和上升位相以负距平占优势。而双周无论在哪个位相都是负距平占优势。因此只有在高值位相和下降位相上,单周和双周之间的对比才明显,这反映了太阳活动 22 年周期对副高的影响。而高值位相与低值位相之间的对比以及上升位相和下降位相之间的对比,单周都比较明显,这还反映了太阳活动 11 年周期对副高的影响。如果不考虑单周和双周的影响,则 11 年周期主要反映在高值位相和低值位相上。

表 5 太阳活动各位相中副高面积指数距平出现的百分率

百分率 \ 位相		高 值	下 降	低 值	上 升
单 周	正距平	74	72	28	45
	负距平	26	28	72	55
双 周	正距平	41	37	23	37
	负距平	59	63	77	63
合 计	正距平	63	49	26	43
	负距平	37	51	74	57

五、 小 结

1. 副高在长期变化中有明显的阶段性,每个阶段的平均持续时间为 8 年左右。
 2. 副高除阶段性外,还有 22.5 年、11.3 年、3.8 年和 3.2 年四个显著的周期。但不同阶段中的优势周期不同,偏弱阶段中副高的周期性比偏强阶段中的明显。
 3. 西太平洋副高的长期变化趋势与赤道东太平洋海温的长期变化趋势基本一致。海温与副高在 3—4 年周期上有最好的关系,且副高比海温落后 3—5 个月。
 4. 副高的长期变化对太阳活动 11 年周期和 22 年周期有很好的响应。
- 以上结果对于我们预报西太平洋副热带高压长期变化和我国东部旱涝趋势的长期和超长期预报提供了某些依据。

参 考 文 献

- [1] 副高及其与长江下游旱涝、雨季关系研究协作组,副热带高压的长期变化及其与长江下游汛期旱涝关系的初步研究(第一辑),中央气象台,1978 年。
- [2] 符淙斌等,北半球副高带长期变化,气象,第 3—7 期,1980 年。
- [3] 陈兴芳,副热带高压的研究和长期预报,1983 年全国汛期长期天气预报会议文集,北京气象中心,1984 年。
- [4] 张家诚,气候变化的基本概念及其预报问题的讨论,1978 年全国气候变化学术讨论会文集,科学出版社,1981 年。
- [5] 张庆云等,大气活动中心长期变化的阶段性,大气科学,第 7 卷第 4 期,1983 年。
- [6] 章基嘉,西太平洋台风频率多年变化及其与大气环流型多年变化之联系,气象学报,第 29 卷,第 2 期,1958 年。
- [7] 陈菊英,江南地区旱涝与日月关系的分析及预报,气象,第 11 期,1980 年。
- [8] 黄忠恕,波谱分析方法及其在水文气象学中的应用,气象出版社,1983 年。
- [9] 杨鉴初,北太平洋水面温度对太阳活动的响应,1975 年长江流域水文气象预报讨论会技术经验交流文集,长江流域规划办公室,1975 年。
- [10] 陈兴芳、杨义文,西北太平洋副热带高压的周期变化,副热带高压的长期变化及其与长江下游汛期旱涝关系的初步研究(第一辑),中央气象台,1978 年。
- [11] 吴波,西太平洋副高演变规律及其与邢台夏季旱涝分析,长期天气预报文集,气象出版社,1981 年。

THE CLIMATE OSCILLATIONS OF WEST PACIFIC SUBTROPICAL HIGH

Zhang Xiangong

(*Institute of synoptic Dynamic Meteorology, AMS*)

Abstract

Based on the data of the west pacific subtropical high area index and equatorial eastern pacific SST during 1951—1984, the long-term evolutive characteristics of the subtropical high and their relations with the SST and solar activity have been investigated. It is found that the intensity of the subtropical high has the obvious staginess and periodicities with 3.2, 3.8, 11.3 and 22.5 years. There are different period lengths during different stages. The 3—4 year oscillation of the subtropical high is controlled by SST. When the intensity of the subtropical high evolves from weak to strong, the change of the SST will be ahead of the former one, and vice versa.

The periods of 11.3 and 22.5 years would be influenced by solar activity. All of the turning years of the subtropical high's stage are almost around sunspot maxima and minima with 11 year period. The subtropical high would be strong in odd cycle of solar activity and weak in even cycle of solar activity. These results would be useful for the long range forecasting of the subtropical high.