



太平洋副热带高压特征向量 及其与我国天气的关系

董 敏 张先恭 林学椿

(气象科学研究院)

一、引言

西太平洋高压是全球副高的重要组成部分，它的强度和位置的变化，对我国的天气尤其是夏半年的降水和温度有着重要的影响。要研究副高的变化，首先遇到的问题是如何表示副高的特征？目前业务上广泛使用的副高面积指数、脊线位置等特征量，虽然能从某些侧面反映副高的特征，但是也存在一些问题。例如用得较多的副高面积指数，是用大于 588 位势什米的点数来表示副高所占面积的大小。但是，由于地球为圆形，纬度越高经距越小，所以在不同的纬度相同格点所代表的面积并不相同，纬度越高所代表的面积越小。此外，即使同样大小的副高面积，由于所处纬度不同，其天气学意义也不一样，因此用副高面积指数不能很好地表征我国的天气变化。

本文对 40°N 以南、 100°E — 135°W 地区共 91 个网格点的 12 个月多年平均高度值进行自然正交分解，求出了 12 个基本的典型场，将对应的时间系数定义为副高系数。这些副高系数从不同的侧面反映了副热带地区高度场的分布特征，并且与我国的夏季天气，尤其是降水有密切的关系，因此为研究副高的天气气候规律及进行长期预报提供了一个方便的工具。

二、原理与计算方法

1. 设有时空场 $f(x, t)$ ，这里 x 表示空间点， t 表示时间，其定义域为 $x \in D, t \in [a, b]$ 。根据富里哀定理，有定义在 D 上的正交规格化的函数族 $\{\varphi_j(x), j = 1, 2, \dots\}$ 即有满足条件

$$\int_0^1 \varphi_i(x) \varphi_j(x) dx = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{当 } i \neq j \\ 1 & \text{当 } i = j \end{cases} \quad (1)$$
$$i, j = 1, 2, \dots$$

的函数族。如果函数族是完备的，则场 $f(x, t)$ 可按 $\{\varphi_j(x)\}$ 展成级数：

$$f(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} c_j(t) \varphi_j(x) \quad (2)$$

(2) 式称为场 $f(x, t)$ 按函数族 $\{\varphi_j(x)\}$ 的富氏展开。其中 $c_j(t)$ 称为时间系数，可按下式确定

$$c_j(t) = \int_D f(x, t) \varphi_j(x) dx \quad (3)$$

由 (2) 式可以看出，一个随着空间和时间变化的函数 $f(x, t)$ 可以分解为两部分，一部分只是空间的函数 $\varphi_j(x)$ ，另一部分只随时间变化。

我们把副热带地区的高度，也看作是随时间和空间变化的函数，用 F 来表示。由于我们的观测资料是离散的，其样本资料可用矩阵 $nF_m = (F_{ij})$ 来表示，其中 i 随时间变化， j 随空间变化。

我们只要求出一组正交规格化的空间函数族 $\{\varphi_j, j = 1, 2, \dots\}$ ，即可按上述原理将时空场 nF_m 按 $\{\varphi_j\}$ 展开。

根据自然正交函数的原理，函数族 $\{\varphi_j\}$ 可以先求出 $nF'm$ ， $nF_m = nR_m$ ，然后求解实对称矩阵 nR_m 的特征值和对应于各特征值的规格化特征向量 $\phi_j, j = 1, 2, \dots, m$ ，它就是所要求的正交规格化的函数族。于是原始矩阵可以写成

$$nF_m = nZ_m \phi'_m \quad (4)$$

其中

$$\Phi = \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdots & \varphi_{1m} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdots & \varphi_{2m} \\ \vdots & & & \\ \varphi_{m1} & \varphi_{m2} & \cdots & \varphi_{mm} \end{pmatrix} \quad (5)$$

其每一列为一个特征向量， nZ_m 为时间系数

矩阵

$$_nZ_m = _nF_{mm}\Phi_m \quad (6)$$

2. 资料和计算方法: 取1951—1980年30年平均的1—12月的500毫巴副热带地区高度值。空间上取10—40°N、100°E—135°W共91个点。因此原始资料为12行91列的矩阵。由于计算机的容量限制和为了节省机时, 我们不直接求 $_m F_n' \cdot _n F_m$ 的特征值和特征向量, 而是求 $_n F_{mm} F_n'$ 的特征值, 然后根据时空转换公式求出 $_m \Phi_m$ 的前12个特征向量。由于 $_m R_m = _m F'_n n F_m$ 的秩为n, 因此 $_m R_m$ 只

有n个不为零的特征值, 这n个特征值与 $_n F_{mm} F_n'$ 的n个特征值是一样的。

表1 主要特征值及累积比例

特征值	77752.61	349.62	5.5703	2.7737	0.6763	0.4912	...
累积比例	0.9954	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	...

表1给出了几个主要的特征值及相应的累积比例。表2则是与12个特征向量相对应的平均时间系数的值。

表2

多年月平均场的时间系数

	Z _A	Z _B	Z _C	Z _D	Z _E	Z _F	Z _G	Z _H	Z _I	Z _J	Z _K	Z _L
1月	703.85	79.61	6.22	4.00	-2.51	-1.37	1.81	-1.56	1.55	-0.58	-1.03	-0.25
2月	705.11	77.24	6.44	-0.48	-2.76	0.85	-0.37	1.29	-2.17	-0.23	1.16	0.62
3月	726.73	52.80	5.39	-4.49	5.31	-1.53	-0.34	1.94	0.19	-0.38	-0.62	-0.23
4月	759.80	13.25	-4.35	-8.97	-1.39	0.53	-2.15	-0.95	1.62	0.43	-0.09	1.21
5月	784.37	-12.14	-3.11	-8.30	-1.05	0.80	1.96	-0.77	-0.52	0.09	0.48	-1.75
6月	809.04	-34.14	1.80	1.82	1.54	4.63	2.79	0.47	0.32	0.14	-0.48	0.80
7月	821.84	-64.13	6.96	1.41	1.85	-0.55	-1.20	-2.71	-0.47	-1.81	0.87	0.18
8月	824.14	-69.19	8.22	1.13	-1.62	-0.57	-1.79	0.41	-0.78	1.94	-1.35	-0.38
9月	816.55	-59.73	-0.70	3.21	-1.47	-1.26	0.10	2.72	2.00	-0.35	1.38	-0.24
10月	798.07	-24.93	-9.79	0.54	0.22	-3.62	2.40	-0.17	-1.36	0.31	-0.30	0.98
11月	768.39	15.07	-11.50	4.00	-0.61	1.49	-2.28	0.70	-0.62	-1.70	-1.13	-0.55
12月	733.21	54.41	-5.20	6.02	2.45	0.56	-0.97	-1.38	0.25	2.15	1.09	-0.39

3. 我们感兴趣的不是多年平均场的时间系数, 因为它是准定常的, 它只能说明天气系统的气候特征, 但不能描述天气系统年际之间的差异。为了描述天气系统逐年变化, 就必须求出各年各月的时间系数, 将公式(6)中的 $_n F_m$ 矩阵由多年平均值换成具体年分的值, 就可以求出每一年12个月各特征向量的时间系数。我们把每一年每个月的12个特征向量分别记为 $S_A, S_B, S_C, \dots, S_K, S_L$ 称为副高系数。作为例子表3给出1951—1980年6月第一副高系数 S_A 的值。可以证明, 某一月各年的系数的平均值等于用某一月多年平均场进行分解所得的相应系数的值, 设某月, 例如6月的实际高度场的资料为 $k X_m$, 其中k为年数, 以S表示副高系数, 根据公式(6)则有

$$k S_n = k X_m \Phi_m \quad (7)$$

写成分量形式即为:

$$S_{ij} = \sum_{p=1}^m X_{ip} \Phi_{pj} \quad (8)$$

S_{ij} 表示6月分第i年第j个特征向量的系数。若对时间求平均则有

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\sum_{p=1}^m X_{ip} \Phi_{pj}) = \sum_{p=1}^m (\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_{ip}) \Phi_{pj} \quad (9)$$

(9)式右端 $\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_{ip}$ 就表示某个月(这里

是6月)各空间点的平均值, 这里就是(6)式中F矩阵的第6行。于是有

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_{ij}^{(6)} = \sum_{p=1}^m F_{ip} \Phi_{pj} = Z_{6j} \quad (10)$$

左端为6月第j个副高系数的平均值, 右端

是6月平均场的第j个时间系数，这就证明了我们前面提出的结论。从表3中可以看出 S_A 的30年平均值正好等于表2第1列第6行的值。

表3 6月第一副高系数 S_A

年分	S_A	年分	S_A
1951	796.36	66	809.93
52	810.77	67	799.51
53	806.20	68	809.33
54	812.89	69	815.41
55	805.35	70	818.39
56	801.64	71	809.29
57	798.34	72	803.36
58	813.30	73	810.27
59	810.83	74	794.87
60	817.83	75	807.09
61	813.69	76	798.77
62	806.45	77	807.50
63	817.75	78	816.51
64	800.78	79	818.79
65	808.02	80	824.96

三、主要副高特征向量及其系数的天气学意义

图1给出第一特征向量的图形，此特征向量及其系数有明显的天气学意义。这里简要的进行一些说明：

1. 第一特征向量（图1）

第一特征向量的所有分量都是正值，在大洋上有一闭合中心， 30°N 以北地区梯度很大，它代表了副高北侧的锋区。在 140°E 附近有一明显的槽，这一特征向量代表了各月多年平均状态。我们绘制了12个月的多年平均图（图略），发现它与第一特征向量的图形是非常一致的。由表1可知，第一特征向量的拟合比例为（指对全体资料的平方和）

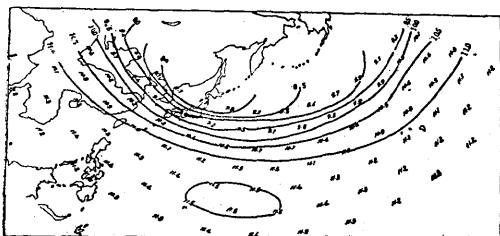


图1 副高第一特征向量

0.995，因此与其相应时间系数的乘积就代表了实际场的绝大部分，所以我们可以把第一特征向量看作基本场，而把其余的特征向量看作为叠加在基本场上的扰动。

由于特征向量各分量均是正值，时间系数也是正值，因此系数越大就说明在整个副热带区域的高度越高，夏季的高度比冬季高，故第一特征向量的系数 S_A 也是冬季最小夏季最大（见表2）。若在上述地区（ $10^{\circ}\text{--}40^{\circ}\text{N}$ 、 100°E — 135°W ）整个基本场的高度高，说明副热带高压强，因此副高面积指数（588位势什米以上的点数）就应越大，即 S_A 系数应与副高面积指数变化位相一致。图2给出1951—1980年6月 S_A 系数与6月副高面积指数的变化曲线。可以看出两者的变化趋势相当一致，只有少数几年如1957、1961、1978等年两者相差较大，但实际考察这些年分6月高度场发现， S_A 曲线能更好的说明实际场的特征，以1978年6月为例，实际高度距平场（如图3）负距平的区域很小，且负距平的数值不大，在 40°N 以南、 100°E — 135°W 范围内是以正距平为主的，副高应是偏强的，从副高面积指数来看，它是正常的，而从 S_A 系数来看则是明显偏强的，因此副高系数 S_A 比面积指数能更好的反映上述地区高度场的特征。

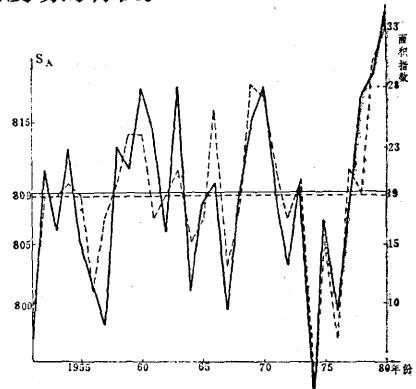


图2 6月副高第一特征向量系数(S_A , 实线)与副高面积指数(虚线)多年变化曲线

2. 第二特征向量（图4）

与第一特征向量不同，其分量有正有负，零线在 $27^{\circ}\text{--}28^{\circ}\text{N}$ 附近，零线以北为负值区，以南为正值区。这种场的系数可以反映副高

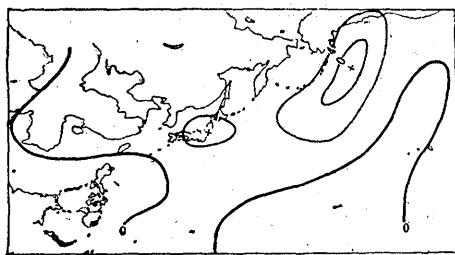


图3 1978年亚洲—西太平洋地区500毫巴高度距平场

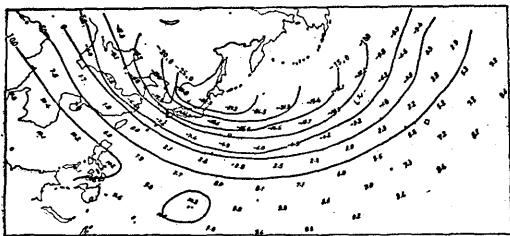


图4 副高第二特征向量

位置的南北移动。当 S_B 系数为负值时，叠加在基本场上的这一扰动场，在 $27^{\circ}\text{--}28^{\circ}\text{N}$ 以北是正值，以南是负值。叠加的结果使实际场上北面的数值升高，南面的数值下降，即相当于使副高及其脊线向高纬度移动。而当 S_B 系数为正时则表明副高向南移动。从表2可以看出 S_B 系数在冬季是正值，而夏季为负值并于8月达到绝对值最大，这与副高冬季南撤，夏季北进的季节变化是完全相符的，图5给出6月 S_B 年际变化曲线与副高脊线位置的年际变化曲线^[2]。两条曲线的变化方向相反，即当 S_B 较小（负值较大）时脊线位置偏北，当 S_B 较大时副高脊线偏南。

3. 第三特征向量（图6）

在 $150^{\circ}\text{--}160^{\circ}\text{E}$ 的太平洋上有一个很强

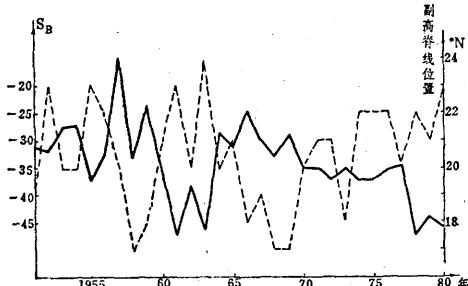


图5 6月副高脊线位置（虚线）与第三特征向量系数 (S_B , 实线) 多年变化曲线

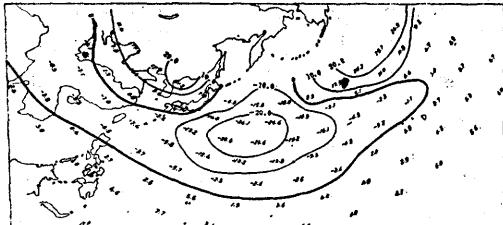


图6 副高第三特征向量分布

的负值区，它呈带状向东伸到 155°W ，向西一直伸到我国长江以南地区；我国长江以北地区和日本、朝鲜则为一较强的正值区且强度很大。当对应的副高系数 S_C 为负值时，合成的扰动场呈中间正、南北两侧为负的状态，在日本以东的洋面上为一强的正中心。这种扰动场对总场的贡献是有利于在 $30^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{N}$ 一带出现东西向的带状高压坝，而当副高系数 S_C 为正值情况则相反。由于春秋两季副高呈带状分布的情况较多，因此，4—5月、10—11月 S_C 为绝对值较大的负值（表2）。

4. 第四特征向量（图7）

第四特征向量基本上为东正西负的形状， 140°E 以东为正值区，以西为负值区，这种场与其相应的系数 S_D 的乘积构成的扰动场对实际场的贡献是促使总的场的分布呈东西摆动，当系数为负值时，中国大陆东部地区为很强的正偏差，这有利于副高西伸，当 S_D 为正值时则有利于副高东撤。

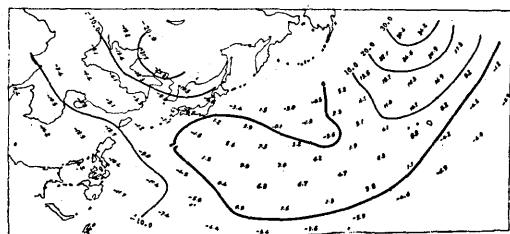


图7 副高第四特征向量

由于第二特征向量以下均表示叠加在基本场上的一些扰动场，并且序号越大扰动的尺度越小，因此这里就不一一描述了。

四、副高系数与我国降水的关系

我国气象学者对副高与我国夏季降水之间的关系作了很多研究，指出了副高对我国长江流域梅雨的发生和结束有密切关系，同

时副高的南北移动对我国雨带的变化也具有决定性的影响。因此，作为表示副高特征的量应与我国降水有密切的关系。本文所求的副高系数就能较好的描写我国东部地区的降水状况，图8给出了7月我国160个站的降水与副高第二系数 S_B 之间的相关系数。小点区为负相关，斜线区为正相关，可以看出长江流域为明显的正相关区，而南岭附近和华北东部为负相关区。正负相关区均呈东北西南走向并且在空间分布上呈正负相间的特征。从前面分析可知， S_B 系数反映了副高脊线的南北移动：当 S_B 系数较大时（即为绝对值较小的负值）反映副高位置偏南，因此，长江流域正处于副高的西北侧，故降水偏多；而华南则由于受副高本身的影响降水偏少，华北地区又由于副高太偏南不利于水汽向更北的地方输送也少雨。因此 S_B 系数与华南、长江流域、华北的降水分别呈明显的负、正、负相关是有天气学根据的。

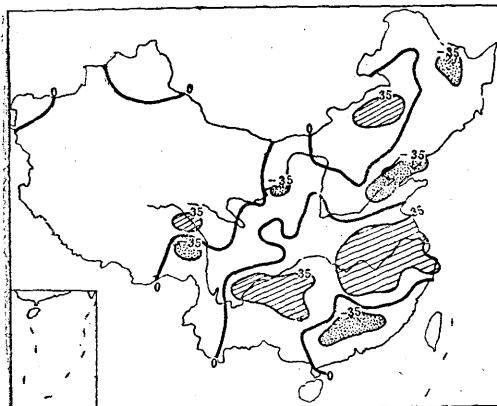


图8 我国7月降水与副高第二特征量(S_B)之间的相关系数

上述定义的副高系数不仅能很好反映同期我国降水的分布状况，而且由于前期副高特征将会影响到环流的后期演变，故前期副高系数与后期降水也有一定关系。例如2月份第一副高系数 S_A 就与后期7月华北降水（以北京、天津、石家庄等为代表）有很好的关系。表4给出了2月副高系数 S_A 、7月北京降水逐年的数值及其距平符号。可以看出，在1951—1980年30年中有25次两者距平符号是一致的。相关概率达83%，这种关系为降水的长期预报提供了较好的依据。

表4 2月 S_A 系数与7月北京降水的关系

年分	北京 7月降水		2月 S_A 系数		年分	北京 7月降水		2月 S_A 系数	
	值	距平	值	距平		值	距平	值	距平
1951	73	-	699.5	-	1967	174	-	714.0	+
1952	312	+	712.1	+	1968	139	-	662.8	-
1953	141	-	720.3	+	1969	311	+	711.8	+
1954	223	+	715.3	+	1970	256	+	709.5	+
1955	173	-	703.9	-	1971	154	-	691.6	-
1956	131	-	680.7	-	1972	167	-	688.2	-
1957	103	-	679.8	-	1973	290	+	721.7	+
1958	243	+	692.3	-	1974	248	+	705.4	+
1959	511	+	730.2	+	1975	192	-	703.5	-
1960	281	+	723.7	+	1976	160	-	703.6	-
1961	255	+	713.2	+	1977	268	+	712.9	+
1962	201	+	705.7	+	1978	115	~	696.8	-
1963	162	-	687.3	-	1979	228	+	719.0	+
1964	125	-	717.0	+	1980	31	-	691.5	-
1965	38	-	690.5	-					
1966	82	-	724.4	+			平均	193	705.1

五、小结

1. 应用自然正交分解的方法对各月多年平均场进行分解得到的十二种典型场有较明显的天气学意义，它们的相应系数能反映出副热带地区高度场分布的主要特征。如副高面积大小，脊线南北摆动等。

2. 上述副高系数是以固定的平均场的特征向量为坐标求出的，由于平均场可以看作是准定常的，因此这组坐标可以认为也是准定常的，这样就避免了自然正交函数的不稳定性。只要是对应同一特征向量的系数，无论在年际之间还是年内的各月之间均有较好的比较性，这对于应用它来研究副高的季节变化和多年变化是很方便的。

3. 副高系数同我国各地同期及后期降水有密切的联系，这对于研究降水预报方法及实际业务预报将提供一个手段。

4. 本文只初步提出了表征副热带高度场特征的物理量，对它同我国天气的关系也只作了初步分析，进一步研究副高系数的自身变化规律，它与其它大型系统之间的关系等将是下一步要完成的工作。

参考资料

- [1]陶诗言等，中国夏季副热带天气系统若干问题的研究，科学出版社，1963。
- [2]中央气象台，北半球500毫巴月平均高度及距平图，气象出版社，1982。