

西北太平洋副热带高压强度的统计预报*

金一鸣 蔡金祥 刘宁生

(浙江省气象科学研究所)

提 要

本文对1982年7—9月中央气象台发布的东亚范围500百帕的48小时预报图进行了误差分析,发现 40°N 以北的中高纬度预报误差较小,而在 35°N 以南的较低纬度,尤其是副热带地区,预报误差较大。因此我们对西风带高度场和副热带高度场分别进行了车贝雪夫多项式和自然正交函数展开。分析表明,他们之间具有一定的关联。在此基础上,提出了一个用车贝雪夫系数去预报同一时刻副热带高压系数(时间系数),从而获得48小时副热带高度场的统计预报方法。通过独立样本检验并与B模式的预报结果进行对照,证明本文的预报方案具有参考和应用价值。

一、引 言

西北太平洋副热带高压(以下简称副高)是影响我国夏半年大范围降水和旱涝的重要天气系统。陶诗言^[1]、章淹^[2]、黄仕松^[3]等曾分别对副高与旱涝、梅雨和台风的关系作过深入的分析研究。这使我们对副高的活动特征及其对各种天气过程的影响有了一定的了解。近年来随着业务数值预报的开展及MOS、PPM等动力统计预报方法的引进,要求数值形势预报,特别是对副高的预报有一定的准确性,否则将会得出与实况截然不同的天气过程和天气现象。但是由于种种原因^[4],目前数值预报还存在着一定的误差;而对7—9月较低纬度副高的预报,其各格点的平均绝对误差常明显地大于相应各点的持续性预报的平均绝对误差。因此,有必要对副高的数值预报输出进行误差分析,寻求一种比较简便有效的方法对副高的强度、位置和形状作出补充预报。

二、数值预报产品的误差分析

经过两年来的业务使用,我国预报员认为我国的业务数值预报模式——B模式对中高纬度天气系统有一定的预报能力,但预报较低纬度的副高的效果较差。我们对1982年B模式7—9月48小时的数值形势预报进行了误差分析,分析的范围是 $15^{\circ}\text{--}60^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ}\text{--}150^{\circ}\text{E}$ 。如果以持续性预报水平作为衡量模式预报水平的基准,那么通过制作模式预报技术水平分布图^[5]就能够了解不同地区模式预报技术水平的高低。我们以上述范围B模式的500百帕48小时预

* 本文于1985年8月28日收到,1985年11月5日收到修改稿。

报各格点的平均绝对误差与相应格点的持续性预报的平均绝对误差(变高绝对值的平均)相减, 就可以得到B模式对于上述范围的预报技术水平的分布。差值按下式计算:

$$\Delta E = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N [|\Phi_P - \Phi_0|_K - |(\Phi_0)_{K-1} - (\Phi_0)_K|] \quad (1)$$

式中 Φ_P 为某格点的等压面预报高度, Φ_0 为该点等压面高度的实际值(或客观分析值), K 为样本日期序号, N 为统计平均的次数。

图1给出了1982年7—9月B模式的500百帕48小时预报技术水平的分布。由图可见, 在较低纬度的西北太平洋上和高原下游地区, B模式的预报技术水平相对于持续性预报而言是很低的, 但它对于 35°N 以北东亚的中高纬度西风带则有一定的预报能力, 分月计算的结果也是如此(图略)。由此可见, 在7—9月B模式预报48小时副高的能力是很低的。然而, 有趣的是B模式对于48小时 35°N 以北的中高纬度西风带的预报技术水平还是比较高的。因为同时刻的环流是相互制约的, 因此我们注意到了用相同时刻的B模式预报的中高纬度西风带来预报较低纬度副高的可能性, 并以此来订正B模式对于7—9月西北太平洋副热带高压的预报。用这种方法对局部地区形势预报的误差进行订正, 实际上也是对数值预报产品的一种统计解释。

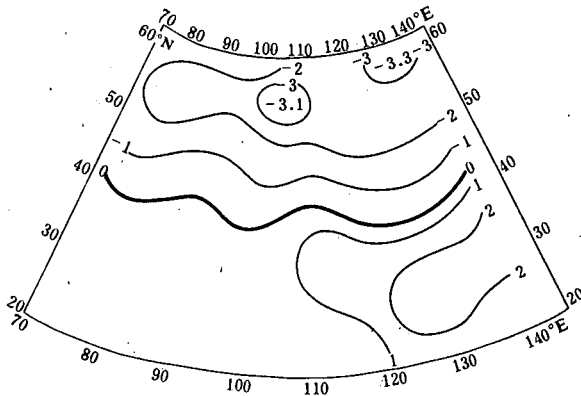


图1 1982年7—9月B模式500百帕48小时预报的技术水平分布

三、高度场的正交展开

为了分析气象要素场之间的相互关系, 就需要比较客观地描述和了解气象要素场时空分布的主要特征, 对于有限区域内的不规则格点来说, 自然正交函数分解^{[6][7]}和车贝雪夫多项式分解^[8]是广泛使用的研究气象场的有用方法。它不仅对气象场有清楚的物理解释, 而且具有收敛快的特点, 能够以少数几项去逼近自然状态。由于自然正交函数的收敛速度比车贝雪夫多项式要快一些, 而车贝雪夫多项式则具有标准图形, 有利于对每个分量的准确解释, 因此我们在分析1958年—1970年7—9月297个台风样本中; 对中高纬度表征东亚西风带主要特征的 $40-60^\circ\text{N}$ 、 $75-140^\circ\text{E}$ (5×7 个格点) 的有限区域的500百帕高度场进行车贝雪夫多

项式展开,而对较低纬度表征西北太平洋副热带高压主要特征的 20—35°N、120—145°E (4 × 6 个格点) 的有限区域的 500 百帕高度场进行自然正交函数展开, 进而研究它们的主要信息之间的关联。

1. 副热带高度场的自然正交函数展开

展开公式如下:

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^n T_{ik} \Phi_{kj} \quad \left(\begin{array}{l} i=1, 2, \dots, 297 \text{ 样本数} \\ j=1, 2, \dots, 24 \text{ 格点数} \end{array} \right) \quad (2)$$

表 1 主要特征值及累积比例

特征值	149763.70	73.73	45.34	30.67
累积比例	0.9855	0.9985	0.9992	0.9994

式中 Z_{ij} 为第 i 个样本的副热带高度场, Φ_{kj} 为其第 K 个特征向量场, T_{ik} 为 i 个样本第 K 个特征向量场的权重系数, 这里我们称它为副热带高压系数。

计算结果如表 1 所示, 表 1 给出了几个主要的特征值及相应的累积比例。由表 1 可见, 用自然正交函数逼近副热带高度场时, 它的前 4 项已表示了副热带高度场总方差的 99.94%。这说明用自然正交函数展开逼近副热带高度场时, 收敛很快, 并且效果也较好。它反映了副热带高度场的主要特征, 主要的几个副高特征向量及其系数均具有明显的天气学意义。

图 2 给出了第一特征向量的分布, 它代表了 1958—1979 年 7—9 月台风样本日副高的平均状态, 副高脊线在 29—30°N 附近, 它与相应时间系数 (副热带高压系数) 的乘积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。由于第一特征向量各分量均是正值, 其对应的副高系数 T_1 也是正值, 因此系数越大, 说明在整个副热带区域的高度越高, 这也就意味着副高越强。反之系数越小, 就意味着副高越弱。

与第一特征向量不同, 第二特征向量 (图 3) 的分量有正有负, 零线在 28—29°N 附近, 零线以北为负值区, 以南为正值区。这个场对应的副高系数 T_2 可以反映副热带高压位置的南北

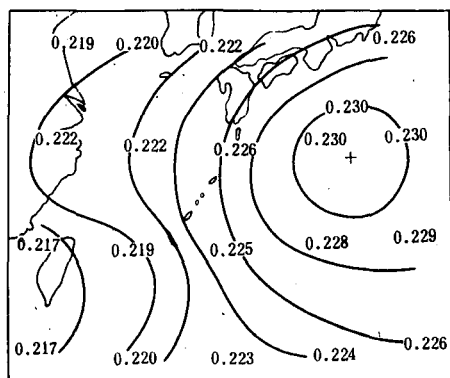


图 2 副高第一特征向量分布

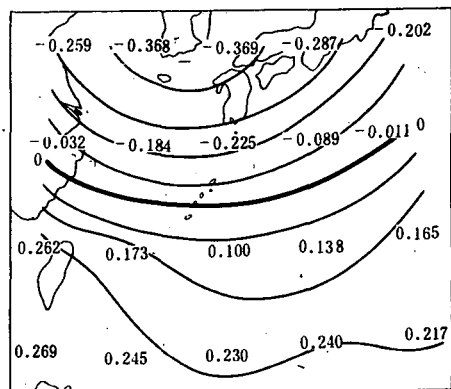


图 3 副高第二特征向量分布

移动。当系数 T_2 为负值时, 叠加在基本场上的这一扰动场, 在 $28-29^\circ\text{N}$ 以北是正值, 以南是负值。叠加的结果使实际上北面的数值升高, 南面数值下降, 相当于使副高及其脊线向高纬度移动, 而当系数 T_2 为正值时, 则表明副高向南移动。

第三特征向量(图4), 其分量也是有正有负, 但它的分布是东西向的, 零线在 $130-132^\circ\text{E}$ 附近; 零线以西为负值区。在东海北部和黄海南部有一个负中心, 零线以东为正值区。因此, 当对应的副高系数 T_3 为负值时, 合成的扰动场呈西正东负的状态, 东海北部和黄海南部有一正的扰动中心, 这种扰动场对总场的贡献是有利于副高西进, 并在东海北部和黄海南部有利于出现副热带高压的分裂中心, 而当副高系数 T_3 为正值时, 则有利于副高东撤。

第四特征向量(图5)在 $120-140^\circ\text{E}$ 的西北太平洋上有一个很强的正值区, 在济州岛

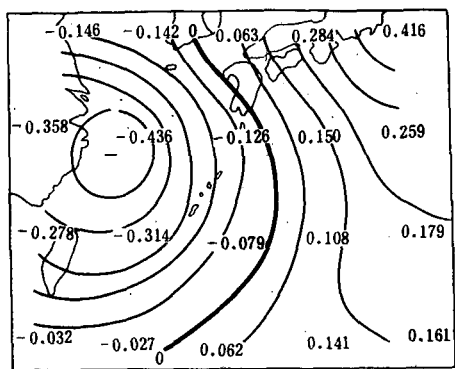


图4 副高第三特征向量分布

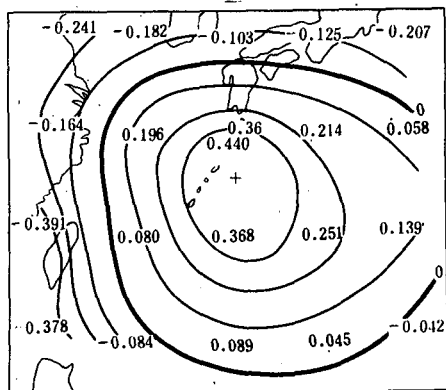


图5 副高第四特征向量分布

的南部有一个比较强的正中心, 因此当对应的副热带高压系数 T_4 为负值时, 意味着 $120-140^\circ\text{E}$ 的西北太平洋上的副高将有利于减弱; 而当系数为正值时, 则有利于副高加强。

2. 西风带高度场的车贝雪夫多项式展开

展开公式如下:

$$Z_{ij} = \sum_{k=0}^{K_0} \sum_{s=0}^{S_0} A_{ks}(Z) \phi_k(i) \phi_s(j) \quad (i=1, 2, \dots, I_0; j=1, 2, \dots, J_0) \quad (3)$$

其中:

$$A_{ks}(Z) = \sum_{i=1}^{I_0} \sum_{j=1}^{J_0} Z_{ij} \phi_k(i) \phi_s(j) \quad (k=0, 1, 2, \dots, K_0; s=0, 1, 2, \dots, S_0) \quad (4)$$

式中 i, j 分别为 X 方向和 Y 方向的格点序号, K_0, S_0 分别为 X 方向和 Y 方向所取多项式最高阶数, Z_{ij} 为格点 (i, j) 的位势高度, $\phi_k(i)\phi_s(j)$ 为标准的车贝雪夫多项式, $A_{ks}(Z)$ 为展开式系数。

上式展开的均方根误差为:

$$\sigma_{K_0 S_0} = \sqrt{\frac{1}{I_0 J_0 - 1} \left\{ \sum_{i=1}^{I_0} \sum_{j=1}^{J_0} Z_{ij}^2 - \sum_{k=0}^{K_0} \sum_{s=0}^{S_0} A_{ks}^2(Z) \right\}} \quad (5)$$

本文所展开的有限区域 $I_0 = 7$, $J_0 = 5$, 当取多项式最高阶数 $K_0 = S_0 = 2$ 时, 297 样本的平均均方根误差为 2.1 位势什米, 这说明当每个样本的 A_s 取 9 个展开式系数 ($K = 0, 1, 2$; $S = 0, 1, 2$) 时, 样本拟合的总效果还是比较理想的。由此可见, 只要取 9 个展开式系数就可以在某种程度上逼近原始场 Z_{ij} 分布的基本特征。由于标准的车贝雪夫多项式 $\Phi_k(i)\Phi_s(j)$ 有固定的标准图形^[7], 所以这里不再一一赘述。与其相应的系数 A_{00} 代表西风带高度场样本平均值的权重, A_{01} 代表西风带高度场有南高北低的权重, 当 A_{01} 为负值时, 有利于西风槽的位置偏南, 为正值时有利于西风槽的位置偏北。 A_{10} 代表西风带有东高西低的权重, 当 A_{10} 为负值时, 西风带东面的高度下降, 西面的高度上升, 有利于西风槽位置偏东, 反之有利于西风槽位置偏西。 A_{02} 表示西风带高度场有中间低南北高的权重, 因此当 A_{02} 为负值时, 西风带南北的高度下降, 而中间的高度上升, 有利于高气压的形成。当 A_{02} 为正值时则西风带的高度场中间下降, 南北上升, 有利于低气压的形成。 A_{20} 表示西风带高度场有中间低东西高的权重。当 A_{20} 为负值时, 这种扰动场对总场的贡献是有利于出现二槽一脊的形势, 而当 A_{20} 为正值时, 对总场的贡献有利于出现二脊一槽的形势。

四、副高强度的统计预报

以上分析指出, 副高系数(时间系数)能较好地反映出副高的主要特征, 而车贝雪夫系数又能够较好地反映出大气波动的演变趋势。并且他们都能达到一定的精度, 因此副高的预报, 实际上就归结为对副高系数的预报^{[9][10]}。根据天气系统间相互影响和东西风带相互作用的天气学原理, 我们进一步研究了副高系数与车贝雪夫系数之间的关系, 表 2 给出了它们二者之间的相关系数, 它们通过了 5% 显著性检验。

由表 2 可见, 副高系数与车贝雪夫系数之间存在着一定的关联。这说明了西风带系统对副高强度变化的影响是不可忽视的, 也为我们利用数值预报得到的西风带高度场去预报同一时刻的副热带高度场提供了可靠的物理依据。

表 2 副高系数与车贝雪夫系数之间的相关系数

副高系数 \ 车贝雪夫系数 相关系数	A_{00}	A_{01}	A_{02}	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{20}	A_{21}	A_{22}
T_1	0.32	0.25	0.35	0.23	0.31	0.28	0.20	0.32	0.21
T_2	-0.46	-0.37	-0.27	-0.30	-0.43	0.26	-0.28	-0.23	-0.30
T_3	0.30	0.20	0.20	-0.24	0.31	0.33	0.40	0.45	0.36
T_4	-0.35	-0.30	0.39	-0.37	-0.26	0.32	0.29	-0.28	-0.20

我们以1958—1979年7—9月297样本的副高系数 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 为预报量,以车贝雪夫系数 A_{00} 、 A_{01} 、 A_{02} 、 A_{10} 、 A_{11} 、 A_{12} 、 A_{20} 、 A_{21} 、 A_{22} 作为预报因子,采用多元线性回归方法求取回归方程(表3)。

表3 预报副高系数的回归方程

预报量 \ 预报因子	b_0	A_{00}	A_{01}	A_{02}	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{20}	A_{21}	A_{22}
T_1	315.7549	0.1582	0.2794	0.6602	0.1326	0.1303	0.5460	-0.0791	-0.3951	-0.0392
T_2	108.8373	-0.2483	-0.3900	-0.4483	-0.1958	-0.3108	-0.3418	-0.0624	0.1090	-0.1339
T_3	-10.3590	0.0232	0.0014	0.0026	0.0465	0.1719	0.2138	0.2559	0.3894	0.1388
T_4	23.1986	-0.0511	-0.1110	0.0335	-0.0274	-0.0118	0.1780	-0.0171	-0.1683	-0.1379

我们绘制了副高系数 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 的历史样本值与拟合值的变化曲线以表示该方程对297个历史样本的拟合结果(因图幅太长故略)。分析发现,它们高低变动的趋势和数值的大小基本上是接近的。

五、几个主要指标的检验和结论

为了检验本文的统计模式对西北太平洋有限区域副高的实际预报效果,我们利用1982年7—9月每天20时B模式48小时500百帕预报的西风带高度场对同时刻的副热带高度场进行预报的独立样本检验,并将检验结果与B模式的预报进行了比较。

1. 副高脊线预报位置(取 120°E 、 125°E 、 130°E 、 135°E 、 140°E 的平均)的比较如表4。

2. 副高西脊点预报的比较如表5所示(当实际副高的西脊点 $<120^\circ\text{E}$ 或 $>145^\circ\text{E}$ 时,分别以 120°E 和 145°E 进行统计)。

3. 副热带高度场预报误差的比较如表6所示。

4. 副高面积指数和副高强度(指预报区中的最大值)的比较见表7。

从表4、5、6、7的几个主要指标的独立样本检验可以看出,无论是哪个月或哪一项,统计模式均优于B模式,尤其是副高脊线位置和西脊点的预报有明显的改进,这也正是台风

表4 副高脊线预报位置平均绝对误差的比较(单位:纬距)

平均绝对误差 \ 月份	7	8	9	7-9
B模式	3.3	6.9	4.1	4.8
统计模式	3.0	4.5	3.9	3.5

表5 副高西脊点预报的平均绝对误差(单位:纬距)

平均绝对误差 \ 月份	7	8	9	7-9
B模式	24.6	15.2	20.6	21.0
统计模式	18.3	12.6	13.7	14.9

表 6 副热带高度场预报误差的比较 (单位: 位势什米)

平均绝对误差 预报模式	月份			
	7	8	9	7-9
B 模 式	3.8	4.0	4.1	4.0
统 计 模 式	3.4	3.5	3.4	3.4

表 7 副高面积指数和强度的预报误差的比较

统计量误差值 月(平均)	副高面积指数(588线包围的点数)		副高强度(位势什米)	
	B 模 式	统 计 模 式	B 模 式	统 计 模 式
7	6.6	5.4	3.0	3.0
8	5.8	4.1	2.8	2.6
9	4.6	3.9	2.1	1.8
7-9	5.7	4.5	2.6	2.5

预报和旱涝预报中的主要因素。由此可见, 本文利用 B 模式预报的西风带高度场对同一时刻的副热带高度场进行修正的办法具有一定的效果。它实际上也是对数值预报产品的一种统计解释。它不仅物理意义清楚, 而且具有实际的应用和参考价值。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言、徐淑英, 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征, 气象学报, 第32卷, 第1期, 1-10, 1962年。
- [2] 章淹、李月洪、毕慕莹, 初夏太平洋副热带高压活动与梅雨和海温关系的初步探讨, 1975年长江流域中长期水文气象预报文集, 水利电力出版社, 164-177, 1979年。
- [3] 黄仕松, 副热带高压的东西向移动及其预报的研究, 气象学报, 第33卷, 第3期, 320-332, 1963年。
- [4] 朱永提、程斌晖, 高空形势场数值预报的误差订正, 气象, 第10期, 2-5, 1981年。
- [5] 朱永提、杨美川, 业务数值预报产品应用中的问题, 气象, 第10期, 2-6, 1983年。
- [6] 王宗皓、李麦村, 天气预报中的概率统计方法, 科学出版社, 184-185, 1974年。
- [7] Julia, N. Paegle and Reed, B. Haslam, Empirical orothogonal function estimates of local predictability, Journal of Applied Meteorology, Vol. 21, No. 2, 117-126, 1982.
- [8] 周家斌, 不规则格点上的车贝雪夫多项式展开问题, 大气科学, 第7卷, 第3期, 239-248, 1983年。
- [9] 黄仕松, 有关副热带高压活动及其预报问题的研究, 大气科学, 第2卷, 第2期, 159-168, 1978年。
- [10] Julia, N. Paegle and Reed, B. Haslam, Statistical prediction of 500mb height field using eigenvectors, Journal of Applied Meteorology, Vol. 21, No. 2, 127-158, 1982.

THE PREDICTION OF THE INTENSITY OF THE SUBTROPICAL
ANTICYCLONE IN THE NORTHWEST PACIFIC
BY A STATISTICAL METHOD

Jin Yiming · Cai Jinxiang · Liu Ningsheng

(Institute of Meteorological Science of Zhejiang Province)

Abstract

This paper consists of two parts. First, an analysis has been made on the errors in geopotential height at 500 hPa in 48 hours in Eastern Asia in summer 1982 by the operational numerical model given by SMA. It is found that the errors in the middle and high latitudes (to the north of 40°N) are much smaller than that in the subtropical and tropical regions. Second, we have made the expansion of the geopotential height at 500 hPa in middle and subtropical latitudes respectively, and have found that there is a definite relation between them. According to this relation, a statistical method for the 48-hr prediction of the geopotential height at 500 hPa in Eastern Asia in summer has been developed. We found that the 48-hr prediction of the height field in the subtropical region, especially the intensity of the subtropical anticyclone in the Northwest Pacific, is much better than the prediction given by the operational numerical model.