

# 涡度方程的时空客观分解与副热带高压的突变与分岔

洪梅<sup>1,2</sup>, 张韧<sup>1,2</sup>, 薛峰<sup>2</sup>, 刘科峰<sup>1</sup>

(1. 解放军理工大学 气象学院 海洋与空间环境系, 南京 211101;

2. 中国科学院 大气物理研究所, LASG, 北京 100029)

(周哲玮推荐)

**摘要:** 为了分析研究副热带高压异常活动的动力学机理, 基于热力强迫和涡动耗散效应的大气偏微涡度方程, 采用 Galerkin 方法进行方程的时-空变量分离, 针对常规方法在空间基函数选择中存在的主观人为性, 提出从实际资料场序列中用经验正交函数 (EOF) 分解与遗传算法结合客观反演空间基函数的思想. 选择一组三角函数族作为广义空间基函数, 以该基函数与 EOF 典型场的误差最小二乘和基函数间的完备正交性构造双约束泛函, 再引入遗传算法进行空间基函数曲面拟合和系数优化, 反演得到客观合理的副热带高压常微动力模型. 最后, 基于所得非线性动力学模型, 对热力强迫作用下的副热带高压的动力学行为和机理进行了分析和讨论, 发现太阳辐射加热和纬向海陆热力差异是影响副热带地区位势和流场变化从而导致副高强弱变化和中期进退活动的重要因素, 前者以渐变为主; 后者则更多表现出突变的特性. 通过分析, 得到了一些有意义的结果.

**关键词:** 基函数拟合; 经验正交函数分解; 遗传算法; 非线性涡度方程; 副热带高压

**中图分类号:** P732      **文献标识码:** A

**DOI:** 10.3879/j.issn.1000-0887.2009.10.006

## 引言

西太平洋副热带高压 (简称副高) 是影响夏季东亚天气气候的主要系统, 它的强弱变化和进退活动对该地区夏季降水丰欠和天气炎凉关系十分密切. 柳崇键和陶诗言<sup>[1]</sup> 用月尖突变模式探讨了不同类型的太阳辐射加热与副高突变的对应关系, 提出了副高北跳的一种可能的机制. 董步文和丑纪范<sup>[2]</sup> 用一个简单的非线性强迫耗散正压高截谱模式模拟了西太平洋副高的季节性北跳, 指出在适定的纬向海陆热力差异和不同情况的经向热力强迫作用下, 可以分别形成副高的一次北跳和两次北跳. Zhang 和 Yu<sup>[3]</sup> 也用高截谱方法研究论证了太阳季节性加热是副高的缓变因子, 纬向海陆热力差异则是副高的突变因子. 上述研究表明, 副高的季节性转换, 特别是副高的突变与异常进退是一个物理机制极为复杂的过程. 然而, 上述研究中所采用的 Galerkin 高截谱方法对基函数的选择大多极为简单和理想, 所取空间基函数与实际大气的副

收稿日期: 2008-09-11; 修订日期: 2009-08-24

基金项目: 中国科学院联合创新青年学者计划资助项目 (IAP09305)

作者简介: 洪梅 (1982-), 女, 江苏武进人, 博士生 (联系人, E-mail: flowerinlm@126.com);  
张韧 (1963-), 男, 四川峨眉人, 教授 (E-mail: zren63@126.com).

热带高压位势场结构相差甚远,因而制约了对副高动力学性质更为细致、深入的分析研究.因此,对副高活动,特别是副高异常活动的动力学行为作进一步的深入研究,必须改进和完善空间基函数的选择,使其更逼近实际、更具针对性.本文提出用经验正交函数分解(EOF)和遗传算法从实际位势场时间序列中反演大气涡度偏微方程空间基函数,进而获取副高动力模型的研究思想,并在此基础之上,分析讨论不同类型的热力强迫作用对副热带高压活动形态和副高异常突变的影响制约和动力机理.

## 1 偏微涡度方程

描述副热带高压等大气大尺度的基本运动,可采用强迫耗散的非线性正压涡度方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\nabla^2 \phi) + J(\phi, \nabla^2 \phi) + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = -Q + k \nabla^4 \phi,$$

式中  $\phi$  为流函数,由于大气的大尺度运动较为严格地遵守“地转”原则,故大气位势场和风场满足关系<sup>[4]</sup>:  $\phi = f \cdot \psi$ ,  $u = -\partial \psi / \partial y$ ,  $v = \partial \psi / \partial x$ ,  $\phi, u, v$  分别为大气的位势和纬向、经向风,  $k$  为涡动扩散系数,  $f = 2 \cdot \Omega \cdot \sin(\varphi)$  为地转参数,  $\varphi$  为纬度.

因此,上述涡度方程可用于描述大尺度的副热带高压位势场结构及其变异以及对应的大气流场分布和变化.对上述涡度方程进行无量纲化处理<sup>[4]</sup>,得到如下无量纲的涡度方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\nabla^2 \phi) + J(\phi, \nabla^2 \phi) + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = -\bar{Q} + k \nabla^4 \phi,$$

式中  $\beta = \frac{\beta_0 L_0}{f_0}$ ,  $\bar{Q} = \frac{Q_0}{f_0^2}$ ,  $k = \frac{k}{L_0^2 f_0}$ ,

$f_0, \beta_0, L_0, Q_0$  分别为地转参数、地转参数经向梯度、水平尺度以及热力强迫参数的特征值.

### 边界条件

以  $y = \pi / 2$  和  $y = \pi$  为固壁条件,即  $v = \partial \psi / \partial x |_{y=\pi/2, y=\pi} = 0$

$x$  方向以  $\pi / 2$  为周期取周期变化;取太平洋副高研究区域为

$$D = \left\{ x: 0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}, y: \frac{\pi}{2} \leq y \leq \pi \right\}.$$

用 Galerkin 方法对上述偏微涡度方程进行时-空分离,以获取描述副高变化的常微动力系统模型:

将  $\phi$  和  $Q$  分别展开为

$$\phi(x, y, t) = \phi_1(t)f_1(x, y) + \phi_2(t)f_2(x, y) + \phi_3(t)f_3(x, y),$$

$$Q = Q_1 f_1(x, y) + Q_2 f_2(x, y) + Q_3 f_3(x, y),$$

式中  $f_1, f_2, f_3$  分别为满足完备正交的空间基函数.

以往大气动力学研究中,对上述基函数的选取多采用极为简单的经、纬向 2~3 波的三角函数来模拟实际的大气环流和位势场结构,其空间基函数与实际天气系统结构相差较大,建立的天气模型难以客观、准确地描述天气系统的结构特性和变异活动<sup>[1-6]</sup>.为此,本文提出从实际观测资料中反演空间基函数的研究思想,对 10 年平均的副高位势场观测资料序列进行经验正交函数(EOF)分解,从中提取出副高空间结构的主要模态,以此作为副高动力系统空间基函数客观优选的拟合反演目标,随后以误差最小二乘和完备正交性构造双约束泛函,采用遗传算法对空间基函数系数进行全局寻优,以获取能够准确逼近实际天气的空间基函数和客观合理的副高非线性常微动力系统模型.

## 2 空间基函数反演

为描述副热带高压夏季活动的基本特征和对热力强迫的动力学响应, 选用美国国家环境预报中心 (NCEP) 和国家大气研究中心 (NCAR) 提供的 1997~ 2006 年夏季 (5 月 1 日 ~ 8 月 31 日) 逐日的 500 hPa 位势场时间序列 (空间范围:  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}N$ ;  $90^{\circ}E \sim 180^{\circ}E$ ), 用以反演副高动力模型的空间基函数.

### 2.1 经验正交函数分解

经验正交函数 (empirical orthogonal function, EOF) 是地球科学中广泛应用的场分析方法<sup>[7]</sup>. 它对实际数据场序列作时-空正交分解, 将时空要素场转化为若干空间的基本模态和相应的时间系数序列的线性组合, 进而得以客观定量地分析要素场的空间结构和时变特征.

基于 EOF 分解思想和算法途径, 我们首先用 EOF 分解方法对上述位势场资料场序列进行时-空分解. 各分解模态的方差贡献统计结果如表 1 所示, 其中前 3 个空间典型场累积方差贡献达 92.946%, 基本上可以表现该位势场主要的空间结构特征; 第 3 个之后的空间典型场所占总方差贡献低于 8%, 主要是对前 3 个空间场结构的细节上的补充. 因此, 上述位势场分解的前 3 个空间典型场结构基本上能较好地表现副高等大尺度天气系统的基本特征. 为此, 我们将其作为构造副高动力模型的空间基函数目标, 通过构建误差最小二乘和完备正交约束泛函, 用遗传算法和曲面拟合方法从 EOF 分解的前 3 个典型空间场中提取和反演逼近实际天气的空间基函数.

表 1 前 10 个 EOF 分解模的方差和累积方差贡献

EOF 特征模	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献 $\delta_i$ (%)	0.7432	0.1108	0.07546	0.02343	0.01659	0.00636	0.002669	0.002153	0.001811	0.001559
累计方差 $e_i$ (%)	0.7432	0.8540	0.92946	0.95289	0.96948	0.97584	0.978509	0.980662	0.982473	0.984032

### 2.2 空间基函数的遗传算法反演

以 EOF 分解的前 3 个空间典型场  $F_i$  为目标, 选择如下三角函数组合作为广义的空间基函数:

$$\begin{cases} f_1 = a_1 \sin a_2 x \sin a_3 y + a_4 \cos a_5 x \sin a_6 y + a_7 \sin a_8 y + a_9 \cos a_{10} y; \\ f_2 = b_1 \sin b_2 x \sin b_3 y + b_4 \cos b_5 x \sin b_6 y + b_7 \sin b_8 y + b_9 \cos b_{10} y; \\ f_3 = c_1 \sin c_2 x \sin c_3 y + c_4 \cos c_5 x \sin c_6 y + c_7 \sin c_8 y + c_9 \cos c_{10} y. \end{cases}$$

以上广义基函数的反演可归结为在满足误差极小和完备正交两个约束条件下的三角函数系数  $[a_1, a_2, \dots, a_{10}; b_1, b_2, \dots, b_{10}; c_1, c_2, \dots, c_{10}]$  的优化. 为此, 构造如下约束泛函:

1) 基函数计算值  $f_i$  与对应 EOF 典型场  $F_i$  的误差最小二乘累积  $S = \sum_{i=1}^3 (F_i - f_i)^2$  最小;

2) 基函数之间必须满足完备正交性:

$$\iint_D f_i \cdot f_i = 1; \quad \iint_D f_i \cdot f_j = 0 \quad i \neq j$$

其中  $D$  为模型积分区间,  $i, j = 1, 2, 3$ .

为避免常规参数优化方法 (如爬山法、最速梯度下降法) 易陷入局部最优及对初始解的敏感性和依赖性问题, 我们采用遗传算法进行基函数的参数优化. 遗传算法是近年得到广泛应用的一种全局优化算法, 其特点在于全局搜索和并行计算, 具有很好的参数优化能力和误差收敛速度<sup>[8]</sup>.

以上述误差最小二乘和完备正交性作为约束条件,用遗传算法在参数空间中进行最优参数搜索. 设参数种群为  $P$ , 取误差最小二乘:  $S = \sum_{i=1}^3 (F_i - f_i)^2$  为适应度函数, 同时满足完备正交性条件:  $\iint_{\Gamma} f_i = 1; \iint_{\Gamma} f_i f_j = 0$  否则跳出进化过程继续选择. 遗传参数优化的具体操作步骤如下:

采用标准遗传算法的编码、种群生成和交叉、变异等进化策略, 取终止条件为最优目标函数值  $L \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon = 0.2\%$ ), 具体计算方案和算法流程可参考遗传算法的相关文献, 不再赘述. 通过遗传操作和计算迭代, 反演得到满足误差最小二乘极小和完备正交条件的空间基函数:

$$\begin{cases} f_1 = 1.4997 \sin x \sin 4y - 1.4967 \cos x \sin 4y, \\ f_2 = 0.1608 \sin 3x \sin 4y - 0.1616 \cos 3x \sin 4y + \\ \quad 0.8659 \sin 5y - 0.2055 \cos 5y, \\ f_3 = 0.6967 \sin 2x \sin 2y + 0.5398 \cos 2x \sin 2y + \\ \quad 0.8228 \sin 2\sqrt{2}y + 0.2076 \cos 2\sqrt{2}y. \end{cases}$$

比较 EOF 分解的前 3 个空间典型场与反演所得的完备正交的空间基函数对比情况 (图略), 反演结果与实际位势场的空间结构特征非常接近, 基本反映了副高位势场的空间分布和背景特性. 其中 EOF 第 1 空间场与反演所得第 1 个空间基函数场的相关系数达到 0.9132, EOF 第 2 空间场与反演所得第 2 个空间基函数的相关系数达到 0.9003, EOF 第 3 空间典型场与反演所得第 3 个空间基函数的相关系数达到 0.8751.

将以上从实际资料中反演得到的空间基函数代入流函数  $\phi$  和热力强迫项  $Q$  的谱展开式中, 并将  $\phi$  和  $Q$  带入无量纲的偏微涡度方程进行 Galerkin 分解变换, 并对涡度方程分别乘以  $f_1, f_2, f_3$  之后沿研究区域  $[x \in (0, \pi/2); y \in (\pi/2, \pi)]$  积分, 可将偏微涡度方程转化为如下的常微方程组:

$$\begin{cases} \frac{d\phi_1(t)}{dt} = 1.145 \times 10^{-3} \phi_1 \phi_2 + 1.484 \times 10^{-3} \phi_1 \phi_3 + 2.1335 \phi_2 \phi_3 + \\ \quad 2.07 \times 10^{-4} \beta \phi_1 - 3.347 \times 10^{-2} \beta \phi_2 + 0.0588 \bar{Q} Q_1 - 17k \phi_1, \\ \frac{d\phi_2(t)}{dt} = 0.05788 \phi_1 \phi_2 - 1.2357 \phi_1 \phi_3 - 0.08399 \phi_2 \phi_3 - 0.04058 \beta \phi_1 - \\ \quad 2.026 \times 10^{-5} \beta \phi_2 - 0.006480 \beta \phi_3 + 0.04 \bar{Q} Q_2 - 25k \phi_2, \\ \frac{d\phi_3(t)}{dt} = -0.8733 \phi_1 \phi_2 + 0.1232 \phi_1 \phi_3 - 1.7298 \phi_2 \phi_3 - 0.09629 \beta \phi_1 - \\ \quad 2.635 \times 10^{-5} \beta \phi_2 + 0.01919 \beta \phi_3 + 0.125 \bar{Q} Q_3 - 8k \phi_3. \end{cases} \quad (1)$$

基于上述表述副高流场 (位势场) 演变的常微动力学模型, 即可针对不同热力强迫下副高动力行为和变异特性的分析讨论.

### 3 热力强迫作用下副高的动力学行为讨论

由于热力强迫项被分解为空间基函数的线性组合  $Q = Q_1 f_1(x, y) + Q_2 f_2(x, y) + Q_3 f_3(x, y)$ , 综合分析,  $Q_1$  大体反映了随季节变化而呈现出的太阳辐射加热的经向分布差异;  $Q_2$  则表现了东亚沿岸和西太平洋地区海温感热或降水潜热的分布构型和经向差异;  $Q_3$  基本反映了纬向海陆热力差异和纬向的热力梯度效应.

### 3 1 平衡态方程组

对于副高等大尺度天气系统, 当它们处于相对稳定的准定常状态时, 其动力模式中的时间变化项为小值, 这时方程组 (1) 式的左边项可视为 0 由此可得到描述副高形态和活动处于准定常情况下的平衡态方程组:

$$\begin{cases} 1.145 \times 10^{-3} \phi_1 \phi_2 + 1.484 \times 10^{-3} \phi_1 \phi_3 + 2.1335 \phi_2 \phi_3 + 2.07 \times 10^{-4} \beta \phi_1 - \\ 3.347 \times 10^{-2} \beta \phi_2 + 0.0588 Q Q_1 - 17k \phi_1 = 0 \\ 0.05788 \phi_1 \phi_2 - 1.2357 \phi_1 \phi_3 - 0.08399 \phi_2 \phi_3 - 0.04058 \beta \phi_1 - 2.026 \times 10^{-5} \beta \phi_2 - \\ 0.006480 \bar{\beta} \phi_3 + 0.04 \bar{Q} Q_2 - 25k \phi_2 = 0 \\ -0.8733 \phi_1 \phi_2 + 0.1232 \phi_1 \phi_3 - 1.7298 \phi_2 \phi_3 - 0.09629 \beta \phi_1 - 2.635 \times 10^{-5} \beta \phi_2 + \\ 0.01919 \beta \phi_3 + 0.125 Q Q_3 - 8k \phi_3 = 0. \end{cases}$$

平衡态解求出后, 需对解的稳定性进行判别, 上述动力系统的平衡态解可基于常微方程定性理论予以讨论, 其基本原理和操作步骤可参阅文献 [9]. 因篇幅限制, 不再阐述.

### 3 2 副高平衡态随热力参数的演变-分岔与突变

讨论该平衡态系统的平衡点分布和变化可大致表现副热带高压的准定常形态和状况随热力强迫的演变. 上述平衡方程组的平衡态随热力参数  $Q_1, Q_2, Q_3$  的演变情况分别如图 1 和图 2 所示.

当  $Q_2 = -0.4$  中纬冷、低纬暖;  $Q_3 = 0.6$  东(海)暖、西(陆)冷(可表现大致冬春季节的情况). 平衡点  $\phi_1$  随  $Q_1$  增大(季节性增暖), 分布结构如图 1.

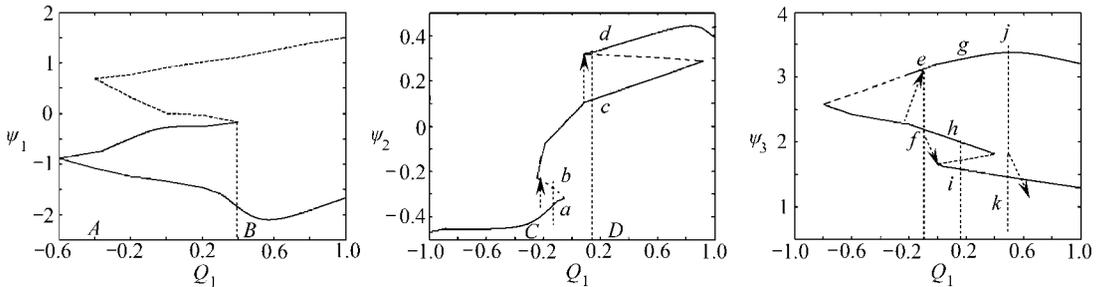


图 1 平衡点  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  随  $Q_1$  变化时解的结构分布 (——为稳定解, -----为不稳定解)

由图 1 可见, 平衡点  $\phi_1$  随  $Q_1$  增加, 在一定的范围 (-0.6 到 0.4 之间, 图 1 中 A, B) 分别会有两个稳定的正、负值平衡态共存(同样, 随着  $Q_1$  的减小, 该双平衡态解最后汇为一解). 结合第 1 模态的空间结构, 表明在  $Q_1$  一定取值范围(对应于太阳季节性加热一定的时期), 副高有可能同时存在两个潜在的形态(如双脊线形态).

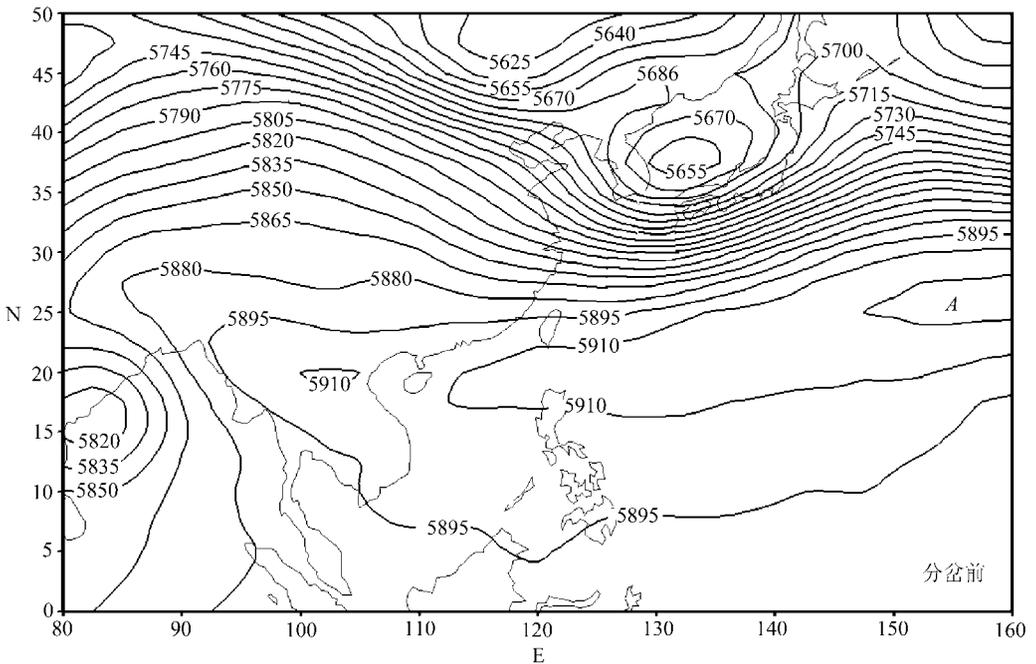
平衡点  $\phi_2$  随  $Q_1$  增加而连续增加, 但大约在两个临界参数点  $Q_1 = -0.2$  和  $0.1$  处(图 1 中 C, D 点)可产生不连续的跳跃, 分别从一个负值平衡点和一个正值平衡点突变跃升到相对高值的平衡点(图 1 中  $a \rightarrow b$  和  $c \rightarrow d$ ). 平衡点  $\phi_2$  随  $Q_1$  的两种突变意味着当季节性太阳辐射增温逐渐增加时, 在一定临界点附近, 可以导致  $\phi_2$  出现跃升. 结合第 2 模态空间结构, 其中, 第 1 次跃升分别表现了低纬正位势减弱(高压系统减弱)和中纬负位势减弱(低压系统减弱), 孕育着大气位势和环流场从冬季向夏季的转型; 第 2 次跃升则分别表现出低纬的负位势增强(如季风低压增强)和中纬正位势增强(副高系统加强)的天气变化. 值得注意的是, 尽管平衡点  $\phi_2$  随  $Q_1$  的逐渐增加亦表现出突变态势, 但  $\phi_2$  的两次跃变均是在相同的平衡解值(同相位)范围

内变化,没有出现平衡解的反位相跃变,且跃变的幅度也较前者弱.因此,对副高系统而言,平衡点  $\phi_2$  随  $Q_1$  渐变所表现出的突变主要表现在副高强度的跃增,而非副高形态的跳跃或剧变.

随  $Q_1$  的变化,  $\phi_3$  先是出现一段连续的减弱,随后约在  $Q_1 = -0.2$  处,分岔为两个稳定的高、低值的平衡解(图 1 中  $e, f$  点);随着  $Q_1$  进一步增加到约  $Q_1 = 0.1$  处,则  $\phi_3$  进一步分岔为 3 个稳定平衡解(图 1 中  $g, h, i$  点);  $Q_1$  增加到约  $Q_1 = 0.4$  时,  $\phi_3$  又回归到两个稳定平衡解(图 1 中  $j, k$  点). 结合第 3 模态空间结构,随着季节性太阳辐射的逐渐北移,西部大陆低位势和东部海洋高压系统先均有所减弱,当  $Q_1$  增加到第一强迫临界值时,出现第一次分岔,出现西低-东高逐渐增强和逐渐减弱的两种平衡态趋势(图 1 中  $e, f$  点);第 2 次分岔后,将出现西低-东高逐渐增强、逐渐减弱和跃变减弱等 3 种平衡态趋势(图 1 中  $g, h, i$  点);随后又回归到西低-东高增强和减弱两种极端的平衡态趋势(图 1 中  $j, k$  点). 同样,随着  $Q_1$  变化的  $\phi_3$  的分岔变化均是出现在相同符号的平衡解(相同位相)范围内,即是在位势场西低-东高结构形式不变的前提下,仅是其强度或位势梯度可能出现强、弱不同程度的平衡态结构. 因此,  $Q_1$  对  $\phi_3$  的影响应该说表现在“量”的意义大于“质”的意义,但在量的程度上又表现出“突变”的特性.

图 2 是分岔前 ( $Q_2 = -0.4, Q_3 = 0.6, Q_1 = -0.5$ ) 和第 1 次分岔后 ( $Q_2 = -0.4, Q_3 = 0.6, Q_1 = 0$ ) 的平衡态解与空间基函数 EOF 合成所得的副高平衡态位势场合成图.

图 2 中可以看出,随着季节的逐渐增暖,副高的形态和位置将出现较为显著的变化:分岔前副高基本形态为近似东-西向的单一的带状结构(图 2 中  $A$ );分岔后副高单一的带状结构分裂为 3 个孤立的副高单体(图 2 中  $B, C, D$ ),其中副高主体从分岔前较为偏南(约  $20^\circ N$ ) 位置(图 2 中  $A$ ) 北跳至分岔后偏北(约  $30^\circ N$ ) 的位置(图 2 中  $B$ ), 并出现了两个平衡态共存的副高双脊线形势,副高的双脊线现象近年来已为观测事实和诊断研究所揭示<sup>[9]</sup>.



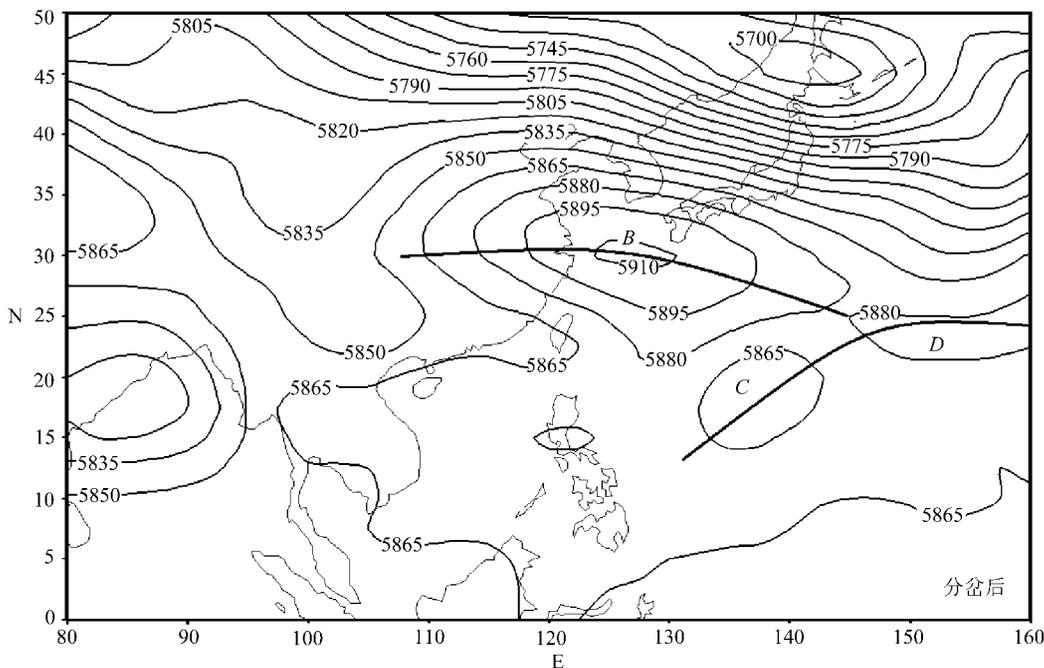


图 2 分岔前 ( $Q_2 = -0.5, Q_3 = 0.5, Q_1 = -0.5$ )和  
分岔后 ( $Q_2 = -0.5, Q_3 = 0.5, Q_1 = 0$ )副高位势场图

## 4 小 结

基于实际资料场时间序列 EOF 分解与遗传算法参数优化途径,提出了偏微涡度方程的时空分解与空间基函数客观反演的新方法,得到了一组逼近实际大气位势场结构的空间正交基函数,在此基础上分解得到一组描述大气位势场 EOF 分解时间系数变化的非线性常微动力系统模型。

在此基础上,对不同类型热力强迫因子影响下的副热带高压的动力学行为进行了分析和讨论,发现太阳辐射加热和纬向海陆热力差异是影响副热带地区位势和流场变化从而导致副高强弱变化和中期进退活动的重要因素。前者以渐变为主,主要导致副热带地区流场和位势场的强度变化,但亦可导致副高形态和位置出现分裂或跃变;后者则更多表现出突变的特性,当其海、陆热力差异渐变至其临界值时,可导致副热带地区流场和位势场的强度和形态的突变以及副高位置的剧烈变动-副高跳跃。

### [参 考 文 献]

- [1] 柳崇健,陶诗言.副热带高压北跳与月尖(CUSP)突变[J].中国科学, B辑, 1983, 5(10): 474-480
- [2] 董步文,丑纪范.西太副高脊位置季节变化的实况分析和理论模拟[J].气象学报, 1988, 46(3): 361-363
- [3] ZHANG Ren, YU Zh-hao Numerical and dynamical analyses of heat source forcing and restricting subtropical high activity[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2000, 17(1): 61-71
- [4] 吕克利,徐银梓,谈哲敏.动力气象学[M].南京:南京大学出版社, 1997

- [5] 缪锦海, 丁敏芳. 热力强迫下大气平衡态的突变-副高北跳 [J]. 中国科学, B辑, 1985, 1(12): 87-96
- [6] 曹杰, 黄荣辉, 谢应齐, 等. 西太平洋副热带高压演变物理机制的研究 [J]. 大气科学, 2002, 32(8): 559-666
- [7] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2005, 2-32
- [8] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004, 21-30
- [9] 占瑞芬, 李建平, 何金海. 西太副高双脊线及对 1998 年长江流域二度梅影响 [J]. 气象学报, 2004, 62(3): 194-209

## Space-Time Objective Decomposition of the Vortex Equations and the Mechanism Analysis of the Subtropical High Abnormal Activities

HONG Mei<sup>1,2</sup>, ZHANG Ren<sup>1,2</sup>, XUE Feng<sup>2</sup>, LIU Ke-feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology,  
Nanjing 211101, P. R. China;

(2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences LASG,  
Beijing 100029, P. R. China)

**Abstract** In order to analyze the dynamic mechanism of unusual activities of the subtropical high, based on the heat force and the whorl movement dissipation effect, the partial differential vortex equations were space-time variable separated by Galerkin methods. Aiming at the subjective and man-made conventional method of choice in the space-based function, the research ideas of the EOF and the genetic algorithm combined inversion of the space-based functions from the actual sequence of fields were put forward. A group of trigonometric functions were chosen as a broad-space based function, with the least-squares of the error of the based function and EOF typical fields, as well as the complete orthogonal conformation of based functions as the dual-bound function. Then, the genetic algorithm was introduced to carry out the surface fitting and coefficient optimization of the based function, as a result, the objective and reasonable constant differential equation of the subtropical high was obtained by inversion. Finally, based on the obtained nonlinear dynamics model, the dynamic behavior and mechanism of the subtropical high was analyzed and discussed under the influence of heat force. It is found that solar radiation heating and zonal differences in land and sea impacting the potential field and flow field changes of the sub-tropical areas are the important factors that can lead to the strength changes of the subtropical high and medium-term advance and retreat activities. The front is gradual change while the last more put up the characteristic of the break. Some meaningful results were got through the analysis.

**Key words** based function fitting, EOF, genetic algorithm, non-linear equation of vortex, subtropical high