

基于遗传优化的西太平洋副高异常活动年份的动力预报模型反演*

洪梅[†] 张韧 刘科峰

(解放军理工大学气象海洋学院军事海洋环境军队重点实验室, 南京 211101)

(2012年10月11日收到; 2012年11月23日收到修改稿)

基于2000—2010年NECR/NECP的500 hPa位势场资料, 用EOF时空分解方法和动力模型重构思想, 通过遗传算法的全局优化搜索和并行计算途径, 开展了500 hPa位势场动力预报模型反演, 建立了刻画副高活动的非线性动力预报模型, 实现了副高活动的中长期预报. 模型预报试验表明, 该模型对副高的中长期活动, 尤其是异常活动能够较好地描述和预报, 进而为副高等复杂天气系统的预报探索了新的方法思路.

关键词: 副热带高压, 500 hPa 位势场, 动力模型反演, 遗传算法

PACS: 05.45.Tp, 92.60.Wc, 93.30.Pm

DOI: 10.7498/aps.62.070505

1 引言

西太平洋副热带高压(简称副高, 后同)是东亚夏季风系统的重要成员, 它与东亚季风环流相互作用、互为反馈, 共同处于非线性系统之中, 副高的异常活动经常导致我国江淮流域出现洪涝和干旱灾害^[1-4]. 例如1998年8月长江流域特大洪涝灾害即是由于副高的异常南落所致; 2003年副热带高压的异常偏强和偏西以及长时间在24°N南北两个纬距范围内摆动, 导致淮河流域出现了30多天的连续强降水; 2010年夏季副高的异常活动导致5至7月华南、江南遭受了14轮暴雨袭击. 因此, 副高形态的突变与异常进退与东亚地区夏季的洪涝等极端天气密切相关. 但副高活动具有明显的非线性和非周期性, 针对性描述副高活动的物理解析模型很难准确构建, 因此副高预测(尤其是副高的中、长期预测)一直是气象科学研究和灾害性天气预报的难点问题.

目前副高预报主要分为形势预报、统计预报和数值预报. 形势预报较大依赖于预报经验, 主观因素影响较大; 统计预报对观测数据要求较高, 且

缺乏明确的物理意义, 目前主要用于副高的各种特征指数预报^[5,6], 且对副高的异常活动和中长期预报表现出较大的局限性^[7,8]. 近年来方差分析、人工神经网络等非线性统计学方法^[9,10]在副高预报中取得了一定的成效, 但在预报因子的选择以及预报时效上仍存在较多不足. 数值预报是目前副高预报的主要手段, 但由于副高活动机理和规律尚未彻底弄清楚, 一定程度上制约了副高数值预报的准确率^[11,12]. 目前, 副高的数值预报产品均不同程度地存在预报偏差, 尤以副高活动异常和中长期预报中的误差更为明显^[13,14].

由于副高系统的非线性和复杂性, “精确”建立副高活动的动力预报模型非常困难, 本文基于表现副高活动的500 hPa位势场时间序列再分析资料和动力模型重构思想^[15-18], 针对2010年夏季的副高异常活动, 从历史资料序列中反演重构了副高位势高度场动力预报模型, 并进行了预报试验和效果检验.

2 资料和方法

研究资料选取NECR/NECP近十年(2000.

* 国家自然科学基金(批准号: 41005025/D0505, 41075045)、江苏省自然科学基金(批准号: BK2011123)和解放军理工大学预研基金资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: flowerrainhm@126.com

10.01—2010.10.01) 逐日 500 hPa 位势场再分析资料, 资料范围为 (90—180° E, 0—90° N).

2.1 经验正交函数分解 (EOF)

采用 EOF 方法对上述位势场序列进行时间 (系数)、空间 (结构) 分解. 其中, 前 3 个特征模向量的误差收敛较快, 累积方差贡献达到原始场的 83.36% (其中第一模态达到 71.41%), 前三个模态已基本能较好地表现位势场的主要特征, 其后的特征模方差贡献迅速减小. 为此, 本文取 EOF 分解前 3 个典型特征模作为建模对象.

2.2 副高活动特征

不同年份的副高季节内变化与平均状况相比会有很大出入, 特别是一些年份出现的副高“异常”活动往往造成东亚地区副热带环流异常和我国的极端天气事件. 基于此, 我们先对典型副高活动个例进行筛选和分析. 参照中央气象台定义的副高特征指数, 计算并绘制了 2000.10—2010.9 十年的副

高各特征参数逐月演变图 (图 1), 图中直线为多年平均值, 图中可以看出, 各年副高的变化各异, 个别年份甚至可出现连续几个月的“异常”变动. 其中 2010 年是副高活动异常较为突出的年份, 该年从 5 月开始到 9 月, 副高面积指数均在均值以上, 且在 7 到 8 月达到近 10 年来的最大峰值 (图 1(a) 箭头所示). 在副高强度图上, 2010 年 5 月到 9 月副高强度也在均值之上, 8 月份也达到近 10 年来的最大峰值 (图 1(b) 箭头所示). 副高西脊点指数基本在均值以下, 其中 7, 8, 9 月基本是极小值 (图 1(d) 箭头所示), 表明副高的范围最广、强度最强且位置偏西显著. 该年的副高南北位置略有不同, 脊线只在 7, 8, 9 月明显偏南, 其他月份则偏北. 可见, 在 2010 年 7—9 月期间, 副高经历了异常的变化过程, 出现了较往年异常偏强和偏西的情况, 并由此造成了华北及东北地区罕见的暴雨和洪涝. 2010 年夏半年, 特别是 7 到 9 月, 副高在整体偏强、偏西情况下, 8, 9 月份位置偏南, 且中短期变化过程明显. 故选择 2010 年夏季副高异常变化过程作为本文研究案例.

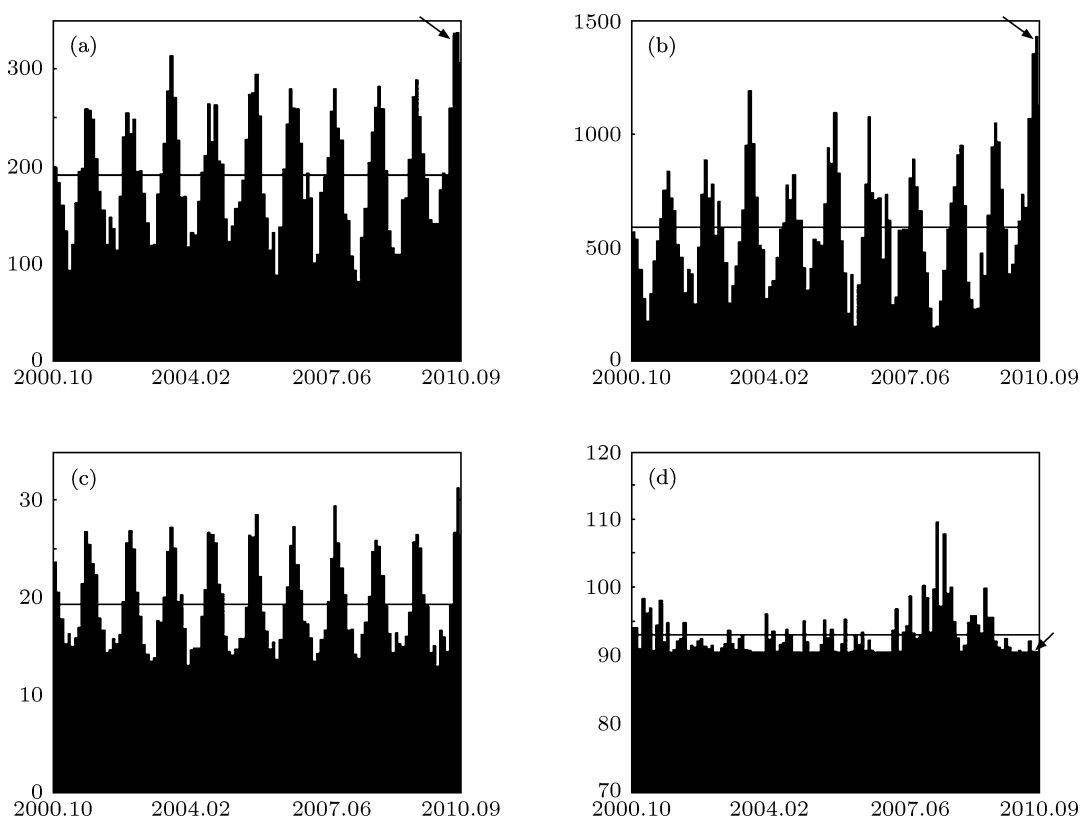


图 1 2000.10—2010.09 十年逐月的副高面积指数 (a)、强度指数 (b)、脊线指数 (c)、西脊点指数 (d)

3 副高动力预报模型反演

3.1 动力系统重构原理

设任意一个非线性的系统随时间变化的物理规律可以写为如下形式:

$$\frac{dq_i}{dt} = f_i(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

其中, f_i 为 $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_N$ 个变量组成的广义非线性函数, N 为其中变量的个数. 上式差分形式为

$$\frac{q_i^{(j+1)\Delta t} - q_i^{(j-1)\Delta t}}{2\Delta t} = f_i(q_1^{j\Delta t}, q_2^{j\Delta t}, \dots, q_i^{j\Delta t}, \dots, q_N^{j\Delta t}), \quad j = 2, 3, \dots, M-1, \quad (2)$$

其中 M 是观测资料时间序列长度, 从观测数据中可通过反演计算获取模型的参数和系统结构, $f_i(q_1^{j\Delta t}, q_2^{j\Delta t}, \dots, q_i^{j\Delta t}, \dots, q_N^{j\Delta t})$ 为未知非线性函数, 设 $f_i(q_1^{j\Delta t}, q_2^{j\Delta t}, \dots, q_i^{j\Delta t}, \dots, q_N^{j\Delta t})$ 有 G_{jk} 个包含变量 q_i 的函数展开项和对应的 P_{ik} 个参数, ($i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M, k = 1, 2, \dots, K$) 可设为

$$f_i(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{k=1}^K G_{jk} P_{ik},$$

方程 (2) 的矩阵形式可表示为 $D = GP$, 其中

$$D = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_M \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{q_i^{3\Delta t} - q_i^{\Delta t}}{2\Delta t} \\ \frac{q_i^{4\Delta t} - q_i^{2\Delta t}}{2\Delta t} \\ \dots \\ \frac{q_i^{M\Delta t} - q_i^{(M-2)\Delta t}}{2\Delta t} \end{Bmatrix}, \quad G = \begin{Bmatrix} G_{11}, G_{12}, \dots, G_{1K} \\ G_{21}, G_{22}, \dots, G_{2,K} \\ \dots \\ G_{M1}, G_{M2}, \dots, G_{M,K} \end{Bmatrix}, \quad P = \begin{Bmatrix} P_{i1} \\ P_{i2} \\ \dots \\ P_{iK} \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

可通过实际数据的反演来确定前述未知方程组的系数项. 即已知向量 D 来求得一个向量 P 以满足上式. 从 q_i 的角度来看, 上式是一个非线性系统; 但从 P 的角度 (也就是认为 P 是未知数), 则其为一个线性系统, 可用最小二乘法来估计, 这样使残差平方和 $S = (D - GP)^T(D - GP)$ 达到最小, 并进一步得到正则方程 $G^T GP = G^T D$.

因 $G^T G$ 是奇异矩阵, 故可求出其特征向量与特征值, 除去其中的“0”值点, 特征矩阵 U_L 将由余下的 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ 组成的对角矩阵 Λ_k 与相对应的特征向量组成. $V_L = GU_i/\lambda_i, H = U_L \Lambda^{-1} V_L^T$, 继续求得 $P = HD$, 最终得到参数 P .

基于上述方法途径, 可反演估算出上述非线性动力方程组中各未知系数, 并由此构建出与观测数据相对应的非线性动力模型.

3.2 基于遗传算法的参数搜索

遗传算法是近年来得到广泛应用的仿生优化方法, 其优点在于并行计算能力和全局搜索效率, 因此具有较好的误差收敛速度和参数优化能力. 我们用 T_1, T_2, T_3 来表示 EOF 分解以后得到的前 3 个基本模态的时间系数序列, 用遗传算法来进行模型参数优化和动力模型重构. 基于 3.1 的基本原理, 设参数 P 为种群, 残差平方和 $S = (D - GP)^T(D - GP)$ 为适应度函数, 在参数空间中以并行方式和模型参数种群 (多解) 来进行最优参数的搜索. 具体操作步骤包括:

1) 编码: 设 N 个样本被分为 c 类: $M_1, M_2, M_3, \dots, M_c$, 参数矩阵 $P = (p_{ij})$ 中共有 $N \times c$ 个元素. 将每个 p_{ij} 用三位二进制编码, 组成 $N \times c$ 个基因链, 所有基因链拼接在一起形成一个染色体.

2) 初始化群体生成: 初始化群体生成以基因编码为基础, 当类数 c 给定后, 可以随机生成 p_{ij} 组成参数矩阵 $P = (p_{ij})$, 其中 p_{ij} 满足 1) 编码方案, 根据编码可得到多个个体.

3) 适应值计算: 以个体的残差平方和 $S_m = (D - GP)^T(D - GP)$ 为目标函数值, S_m 越小, 个体的适应值越高. 因此个体的适应值可取 $f_i = -S_m$, 总的适应值为 $F = \sum_{i=1}^n f_i$.

4) 父本选择: 计算个体的选择概率 $p_i = f_i/F$ 和累积概率 $q_i = \sum_{j=1}^i p_j$, 采用旋转花轮法, 旋转 m 次即可选出 m 个个体. 实现步骤: 产生 $[0,1]$ 随机数 r , 若 $r < q_1$, 则第一个个体入选, 否则, 第 i 个个体入选, 且 $q_{i-1} < r < q_i$.

5) 交叉操作: 对个体产生 $[0,1]$ 间随机数 r , 若 $r < p_c$ (p_c 为选定的交叉概率), 则该个体参加交叉操作, 选出交叉操作后的一组随机配对; 每一配对产生 $[1, (3 \times n + c)]$ 间随机数以确定交叉位置.

6) 变异操作: ① 对基因编码中的前 c 位, 采用如下变异方法: a) 随机选择一个个体和一个随机整数 h ($1 \leq h \leq c$); b) 随机选取 h 个样本

$x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_j}, \dots, x_{i_h}$; c) 随机产生 h 个不同的整数 r_j ($1 \leq r_j \leq h$); d) 将该个体的第 r_j 个基因换成 x_{i_j} .
 ② 对基因编码中第 c 位以后的基因, 采用如下变异方法: a) 对每一串中的每一位产生 $[0, 1]$ 间的随机数 r , 若 $r < p_m$ (p_m 是变异概率), 则该位变异; b) 实现变异操作, 即将原串中的 0 变为 1, 1 变为 0, 如果新的个体数达到 N 个, 则已形成一个新群体, 转向第 3) 步; 否则转向第 4) 步继续遗传操作.

7) 终止操作: 在遗传算法中, 起终止条件往往是人为给定的, 根据本问题的特点, 取终止条件为: 最优目标函数值 $S_m \leq \varepsilon$ (取 $\varepsilon = 0.2\%$).

基于上述操作步骤, 可实现非线性动力学模型的参数优化反演. 需要强调, 遗传算法是对种群进行操作, 种群中一般包含若干个体 (参数解), 进化过程最后一代中的最优解即是求得最优化参数.

3.3 位势场 EOF 时间序列的动力模型反演

根据前面 3.1 和 3.2 的原理, 对位势场 EOF 时间序列进行动力模型反演. 首先构建如下的广义二阶非线性方程组:

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} &= a_1 T_1 + a_2 T_2 + a_3 T_3 + a_4 T_1^2 + a_5 T_2^2 \\ &\quad + a_6 T_3^2 + a_7 T_1 T_2 + a_8 T_1 T_3 + a_9 T_2 T_3, \\ \frac{dT_2}{dt} &= b_1 T_1 + b_2 T_2 + b_3 T_3 + b_4 T_1^2 + b_5 T_2^2 \\ &\quad + b_6 T_3^2 + b_7 T_1 T_2 + b_8 T_1 T_3 + b_9 T_2 T_3, \\ \frac{dT_3}{dt} &= c_1 T_1 + c_2 T_2 + c_3 T_3 + c_4 T_1^2 + c_5 T_2^2 \\ &\quad + c_6 T_3^2 + c_7 T_1 T_2 + c_8 T_1 T_3 + c_9 T_2 T_3. \end{aligned} \quad (4)$$

以 T_1, T_2, T_3 分别代表 EOF 第一模态时间序列、第二模态时间序列和第三模态时间序列. 基于上述遗传算法的动力系统重构途径和 2000 年 10 月 1 日到 2009 年 10 月 31 日的实际观测资料 (2009.11.01—2010.10.01 资料留作独立预报检验), 鉴于副高活动主要在夏半年显著, 故选用 2001—2009 年 5 月 1 日至 9 月 30 日等夏半年期间的资料. 采用前述的反演步骤和操作过程, 从上述三个时间序列中反演估算副高非线性动力模型的未知参数, 通过计算和比较模型中各项的相对方差贡献, 剔除对系统影响较小的作用项, 得到该样本资料时期描述副高活动的非线性动力模型方程组

$$\frac{dX}{dt} = 0.0653X + 0.1376Y - 0.1785Z + 9.6232$$

$$\begin{aligned} &\times 10^{-6}X^2 + 5.3469 \times 10^{-5}Z^2 - 3.6732 \\ &\times 10^{-5}XZ + 3.6653 \times 10^{-5}YZ, \\ \frac{dY}{dt} &= 0.0391X - 0.5717Z + 7.8618 \times 10^{-6}X^2 \\ &\quad + 6.0125 \times 10^{-5}Z^2 - 8.0663 \times 10^{-5}XZ \\ &\quad + 8.3548 \times 10^{-5}YZ, \\ \frac{dZ}{dt} &= 0.3122Y - 0.0434Z - 3.3079 \times 10^{-5}Y^2 \\ &\quad + 3.5581 \times 10^{-5}XY - 5.7705 \times 10^{-5}YZ. \end{aligned} \quad (5)$$

对上述反演的动力模型进行积分回报试验, 通过从指数序列中选取真实的预报初值对模型进行数值积分和拟合比较, 模型中三个时间系数的积分预报值与实际值的相关系数分别达到 0.7606, 0.7619, 0.6595. 表明, 上述反演的动力预报模型能对副高位势场的变化予以较为准确、可靠的描述.

4 模型的预报试验

4.1 时间序列预报试验

为检验上述动力反演模型的实际预报效果, 以及对夏季副高活动的描述, 选用未参与反演建模时段的副高位势场数据样本 (EOF 分解时间系数序列) 来检验模型的预报效果. 取 2010 年 6 月 14 日作为积分初值 (前 3 个 EOF 时间系数), 代入上述反演得到的动力预报模型 (1), 进行模型数值积分运算, 以 1 天为时间积分步长, 积分 11 步后得到 2010 年 6 月 14 日至 2010 年 6 月 25 日 11 天的数值积分预报结果, 如图 2 所示.

图中三个模态的预报结果与实际值均拟合的很好, 仅部分时段存在一些微小的误差, 预报值与实际值之间的相关系数分别为 0.9794, 0.9915 和 0.9940; 表明, 反演得到的动力模型对于实际副高位势场变化有较为准确的把握和表现. 进一步拓展时间积分预报, 得到 2010 年 6 月 14 日至 2010 年 7 月 18 日共 35 天的数值积分预报结果, 如图 3 所示.

图 3 中, 模型预报值对于实际值仍有较准确的描述和刻画, 两者相关系数分别为 0.9373, 0.9950 和 0.9809 (略逊于 11 天预报效果), 均方根误差分别为 5.93%, 7.01% 和 8.74%, 表明随着积分时间的增加, 长时效的预报结果偏差表现出增加的趋势.

进一步延长时间积分, 得到 2010 年 6 月 14 日至 2010 年 8 月 13 日共 59 天的数值积分预报结果, 如图 4 所示.

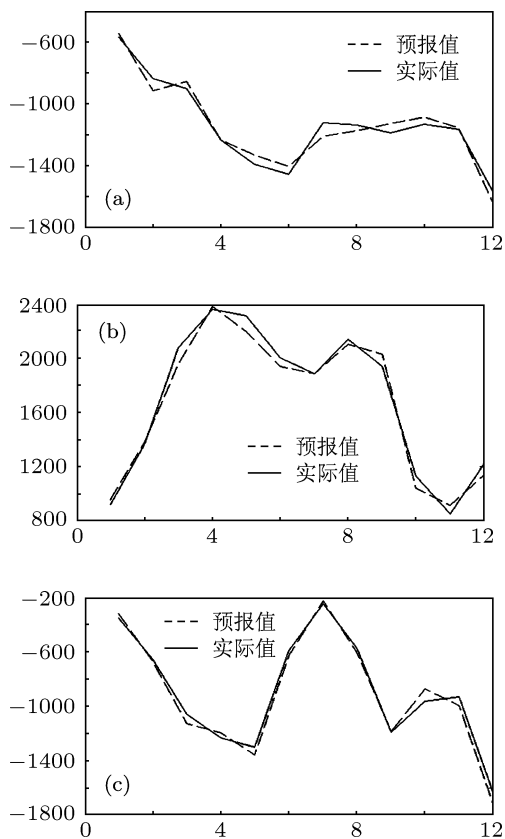


图2 副高位势场 EOF 分解的前三个模态时间系数 11 天预报效果 (2010.6.14—2010.6.25) (a) 第一模态预报图; (b) 第二模态预报图; (c) 第三模态预报图

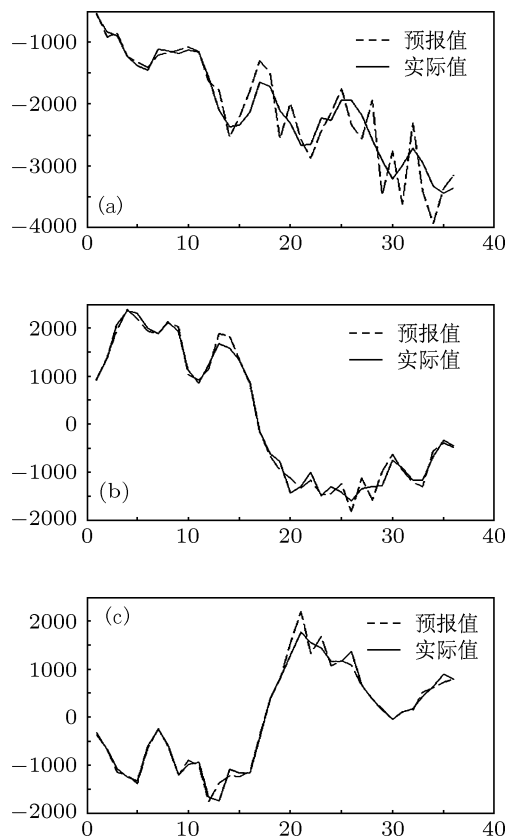


图3 副高位势场 EOF 分解的前三个模态时间系数 35 天预报效果 (2010.6.14—2010.7.18) (a) 第一模态预报图; (b) 第二模态预报图; (c) 第三模态预报图

对副高的长期预报是非常困难的工作, 图中预报结果虽然对实际的副高变化特征尚有较好的把控和描述 (相关系数分别为 0.8512, 0.9145 和 0.8810), 但精确预报效果主要表现在前 30 天预报时效范围内, 随着预报时效的增加, 预报扰动和误差逐渐增加, 部分时段甚至明显偏离实际结果, 均方根误差分别达到 11.46%, 18.72% 和 27.84% (主要是后 30 天的预报误差贡献). 表明, 反演得到的动力预报模型对 30 天以上的副高活动预报仍表现出一定的局限性.

4.2 副高位势场重构与预报试验

将上述 EOF 模态的时间系数 T_1, T_2, T_3 的积分预测结果代入下式进行 EOF 的时空场恢复

$$\hat{x}_{tj} = \sum_{n=1}^6 F_{nj} \cdot T_{nt},$$

$$t = 1, 2, \dots, 20,$$

式中 F_{nj}, T_{nt} 分别为 EOF 分解的空间场和时间系数, \hat{x}_{tj} 为 EOF 恢复的位势场. 经上述空间模态 (近

视为定常) 和时间系数 (模型预测值) 的重构, 则可得到相应的副高位势预报场.

4.2.1 短期预报效果比较 (11 天)

基于图 2 中的副高位势场 EOF 分解时间系数的预报结果, 通过与相应的 EOF 空间模态的时空重构, 即可得到相应的副高位势场的预报结果. 其中, 第 11 天的副高位势场预报结果如图 5 所示.

对比分析可以看出, 第 11 天的预报结果对于 2010.06.25 中心位于 (145° E, 30° N) 日本东南部洋面的副高主体 (G) 基本能准确预报和正确刻画 (副高的预报位置略为偏西、偏南, 5900 位势线范围偏大); 对于位势场总体形式的表现也与实际情况基本符合, 部分位势场最大误差为 50 hPa、其余均控制在 30 hPa 以内.

4.2.2 中期预报效果比较 (38 天)

中期预报以第 38 天预报时效为例. 以 2010 年 6 月 14 日为初值的副高位势场的中期预报效果如图 6 所示, 图 6(a), (b), (c) 分别为 2010 年 7 月 20 日副高位势预测场 (38 天预报时效)、实况场和预报场误差.

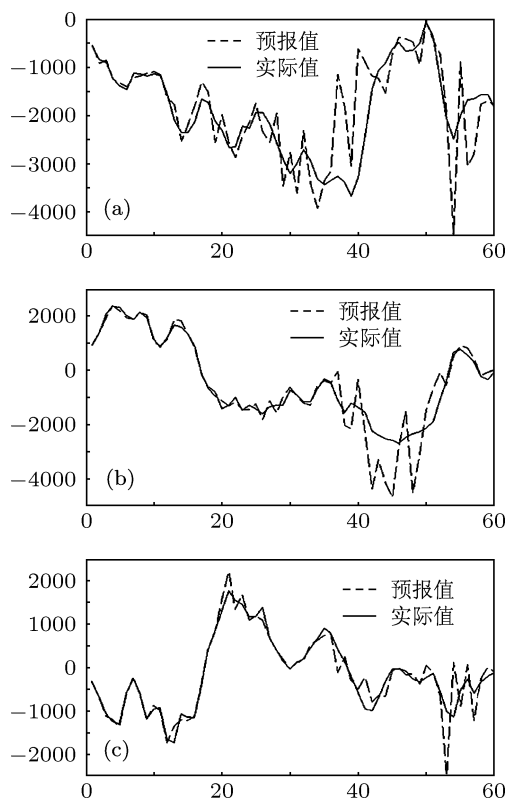


图4 副高位势场 EOF 分解的前三个模态时间系数 59 天预报效果 (2010.6.14—2010.8.13) (a) 第一模态预报图; (b) 第二模态预报图; (c) 第三模态预报图

图 6 中, 2010.07.20 中心位于 (132°E , 32°N), 范围覆盖日本南部地区的副高主体被准确预报和描述出来, 副高中心位置的预报基本正确 (图中 G 点), 但副高预报强度偏强、范围 (5900 位势线范围) 有虚假扩大. 预报结果对于 500 hPa 位势场的预报刻画也与实际场的特征大体相符, 位势场误差均控制在 40 hPa 以内.

4.2.3 长期预报效果比较 (55 天)

长期预报以第 55 天预报时效为例. 以 2010 年 6 月 14 日为初值的副高位势场的长期预报效果如图 7 所示, 图 7(a), (b), (c) 分别为 2010 年 8 月 7 日副高位势预测场 (55 天预报时效)、实况场和预报场误差.

2010 年 8 月 7 日, 中心强度为 5950 位势什米的副高位于 (150°E , 35°N) 的日本以东洋面, 副高较为强盛 (5900 的位势线范围覆盖了西至 138°E , 东至 160°E ; 南起 15°N , 北到 45°N 的西太平洋广阔海域). 动力反演模型的 55 天的副高预报结果对该副高活动形态的描述与实际情况相差较大, 基本上没有刻画出上述主要特征, 仅对 30°N 附近 $140^{\circ}\text{--}160^{\circ} \text{E}$ 范围的副高有一定的表现. 误差场也

明显增大到 50 hPa 以上 (最大达 100 hPa). 试验结果表明, 鉴于副高活动的复杂性以及动力模型反演中对预报因子和物理过程考虑的不完备, 使模型预报能力和预报效果尚存在一定的局限和欠缺, 尚需要进一步改进和完善.

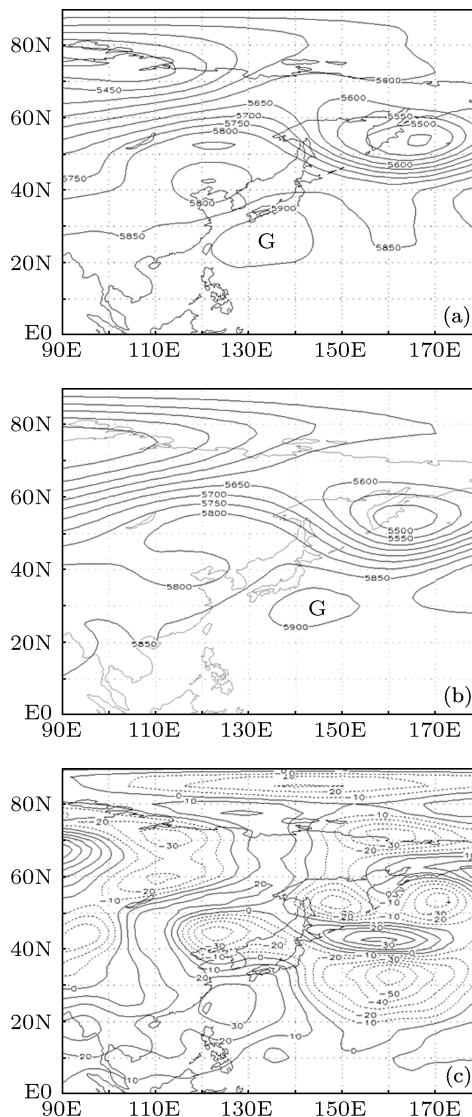


图5 2010.06.25 的副高预报场 (a)、实况场 (b) 和预报误差场 (c)

5 结论

针对副热带高压活动机理复杂, 难以准确建立针对性的动力解析模型的困难, 提出了用遗传算法从实际观测资料中反演重构副高位势场动力模型的研究方法和技术途径, 反演重构了副高的非线性动力模型; 通过对 EOF 时 (时间系数)、空 (空间模态) 函数合成, 实现了对副高位势场的动力模型预报.

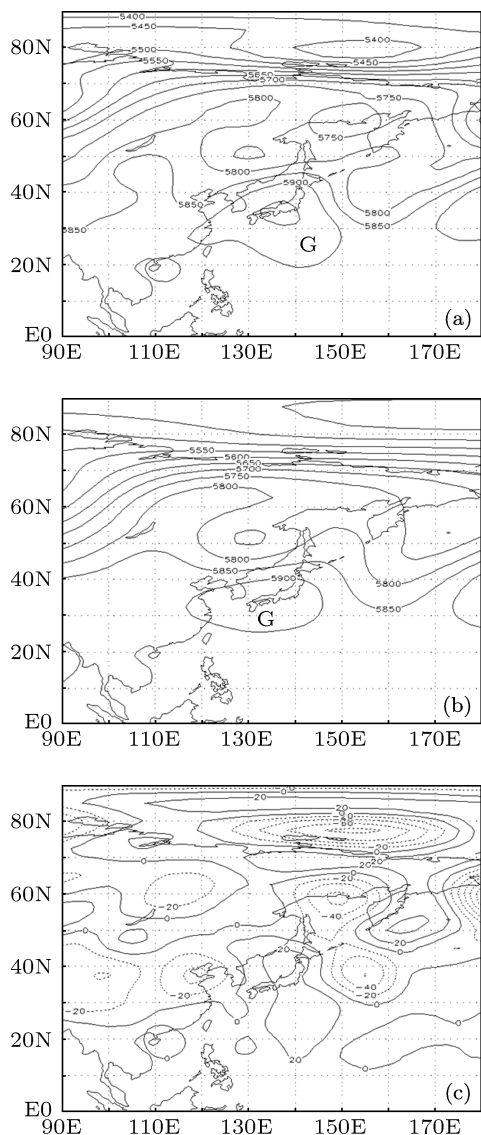


图6 2010.07.20的副高预报场(a)、实况场(b)和预报误差场(c)

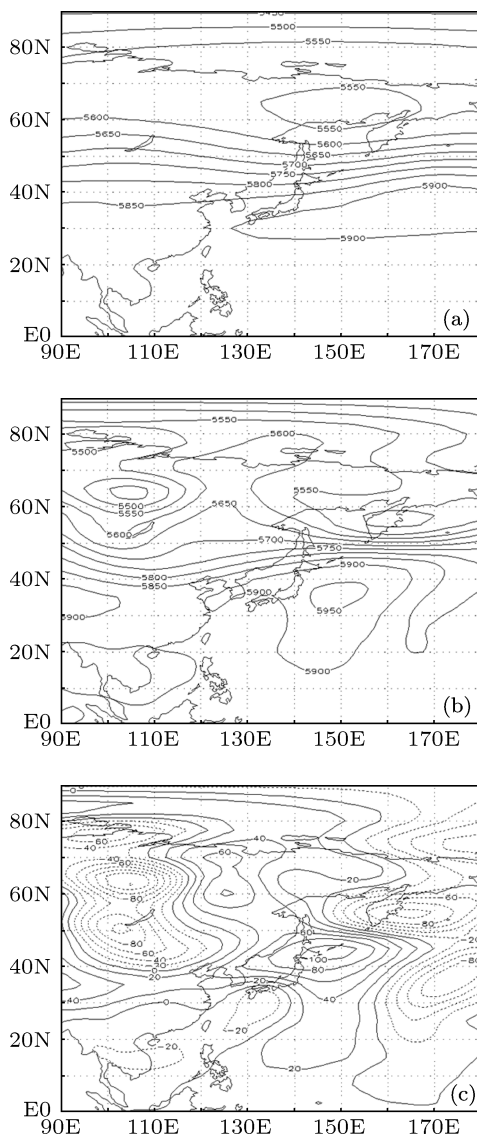


图7 2010.08.07的副高预报场(a)、实况场(b)和预报误差(c)

首先对2010年夏季副高活动进行了特征分析,并针对该年份的副高活动与变异进行了动力模型预报试验.结果表明,在短期(1—12天)预报上,模型预报效果很好,不仅预报出了副高活动的变化趋势,对副高中心位置、副高范围和强度大小也有较准确的刻画;对中期预报(12—36天),也有一定程度的预报准确率,对副高的中心、范围和强度基本能合理刻画;对长期预报(36—60天),预报准确率随着积分时间增加逐渐降低,误差明显增大,仅部分结果有一定参考意义,表明该模型对副高的描述和预报尚需进一步改进和完善.

副高预报一直以来都是一个困难问题.目前对于副高的预报,主要还是分为两类:数值预报和统计预报.数值预报,以欧洲中心中期数值预报模式

为例^[19],对于边界场要求很高,计算复杂且效率不高,计算结果也很不稳定.统计预报虽然可以利用历史资料,但是对副高的物理机理却无法解释^[20].并且这些方法预报的可靠性随预报时间的增加而逐渐降低,一般一周之后的预报效果和可信度已很低^[21].本文反演动力统计模型的预报方法是对传统的数值预报和统计预报方法的探索和补充,并使预报时效得到较大的拓展和延伸.

反演模型取得的较好预报效果,大体可作如下理解:1)副高是一个复杂天气系统,影响副高活动既有复杂的非线性因素,也有环流因素和热力因素,不同的副高活动年份往往表现出较明显的异常性和特殊性,而一般研究方法难以针对性地充分引入这些因素而建立共性的、普遍的副高预报模型,这

也是当前副高预报的困难之一. 根据 Takens^[22] 的相空间重构理论, 虽然从资料场中反演的预报模型较为简单, 但由于位势场的观测资料中隐含了影响制约副高变化的上述诸多影响因素, 包含了较为充分的副高作用过程信息和影响因素, 因而在副高模型反演过程中间接地考虑和引入了这些因素. 2) 资料中高频变化和噪声是影响副高预报的难点

问题之一, 通过 EOF 分解的方差贡献估计, 合理滤除了方差贡献较小的高阶模态, 既减小了预报模型的复杂性, 又较好地保留了副高变化的主要特征.

上述动力统计模型反演方法充分利用了实况的“观测资料”信息, 建立的模型能够较为客观、真实地反映要素场变化, 进而为副高等复杂天气系统的预报提供了有益参考借鉴和方法思路.

- [1] Lau K M, Li M T 1984 *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **65** 114
- [2] Zhu Q G, He J H, Wang P X 1986 *Advances in Atmospheric Sciences* **3** 466
- [3] Huang R H, Wu Y F 1989 *Advances in Atmospheric Sciences* **6** 21
- [4] Wu G X, Chou J F, Liu Y M 2003 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **27** 503 (in Chinese) [吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷 2003 大气科学 **27** 503]
- [5] Zhao Z G 1999 *Summertime Floods and Droughts in China and the Associated Circulations* (Beijing: China Meteorological Press) p45 (in Chinese) [赵振国 1999 中国夏季旱涝及环境场 (北京: 气象出版社) 第 45 页]
- [6] Mu Q Z, Wang S W, Zhu J H 2001 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **25** 787 (in Chinese) [慕巧珍, 王绍武, 朱锦红 2001 大气科学 **25** 787]
- [7] Lu R Y 2002 *Advances in Atmospheric Sciences* **19** 1004
- [8] Sui C H, Chung P H, Li T 2007 *Geophys. Res. Lett.* **34** 11701
- [9] Kang I S, Lee J Y, Park C K 2004 *J. Climate* **17** 834
- [10] Shi H B, Zhou T J, Wan H 2008 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **32** 36 (in Chinese) [施洪波, 周天军, 万慧 2008 大气科学 **32** 36]
- [11] Li L J, Wang B, Wang Y Q 2007 *Advances in Atmospheric Sciences* **24** 323
- [12] Wang B, Wan H, Ji Z Z 2004 *Science in China A* **47** (Suppl.) 4
- [13] Zhou T J, Yu R C 2006 *J. Climate* **19** 5843
- [14] Li L J, Wang B, Zhou T J 2007 *Geophys. Res. Lett.* **34** 18807
- [15] Hong M, Zhang R, He J H, Xue F, Ge J J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6871 (in Chinese) [洪梅, 张韧, 何金海, 薛峰, 葛晶晶 2010 物理学报 **59** 6871]
- [16] Zhang R, Hong M 2008 *Chinese Journal of Geophysics* **51** 203 (in Chinese) [张韧, 洪梅 2008 地球物理学报 **51** 203]
- [17] Chen T L, Gao Z Y, Li K P 2003 *Chin. Phys.* **12** 1213
- [18] Dai D, Ma X K, You Y, Li F C 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2459 (in Chinese) [戴栋, 马西奎, 李富才, 尤勇 2002 物理学报 **51** 2459]
- [19] Li Z C, Chen D H 2002 *Journal of Applied Meteorological Science* **13** 1 (in Chinese) [李泽春, 陈德辉 2002 应用气象学报 **13** 1]
- [20] Tan J Q, Xie Z H, Ji L R 2003 *Advances of Atmospheric Sciences* **20** 837
- [21] Zou L W, Zhou T J, Wu B, Chen H M, Li L J 2009 *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* **33** 959 (in Chinese) [邹立维, 周天军, 吴波, 陈昊明, 李立娟 2009 大气科学 **33** 959]
- [22] Lecture F 1981 *Notes in Mathematics* **898** 361

Retrieving dynamic forecast model of the western pacific subtropical high in abnormal years based on GA*

Hong Mei[†] Zhang Ren Liu Ke-Feng

(*Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China*)

(Received 11 October 2012; revised manuscript received 23 November 2012)

Abstract

On the basis of the potential field data on 500 hPa from 2000–2010 from NCEP/NCAR, introducing the ideas of EOF(empirical orthogonal function) time-space separation and the dynamic system reconstruction of time series, with the advantages of the global optimization and parallel calculation by genetic assistance, dynamic model inversion is carried out, thus a nonlinear forecast model of the subtropical high activity and aberrance is established. And a mid/long-range forecast of subtropical high activity was carried out. The results of dynamic model forecast experiment showed that the mid/long-range forecast of subtropical high pressure by our model can be very actual. Especially, the aberrance of the subtropical high pressure can be drawn and forecast. A new method of idea is presented for diagnosing and forecasting such complicated weathers as subtropical high activity.

Keywords: subtropical high pressure, 500 hPa potential field, dynamic retrieve, GA

PACS: 05.45.Tp, 92.60.Wc, 93.30.Pm

DOI: 10.7498/aps.62.070505

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41005025/D0505, 41075045), the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (Grant No. BK2011123), and the Advanced Research Program of PLA University of Science and Technology.

[†] Corresponding author. E-mail: flowerrainhm@126.com