

四维 EOF 分析检验数值模式模拟气候 及其变化能力研究*

赵得明 苏炳凯 汤剑平

南京大学大气科学系, 南京, 210093

摘 要

文章提出了一个四维经验正交函数(4D-EOF)方法,原理是三维经验正交函数(3D-EOF)与扩展经验正交函数(EEOF)简单的组合,此方法不仅提供空间水平分布特征场及其对应的月际变化特征和年际变化特征,而且还提供空间垂直结构特征。利用这个新方法分析东亚季风国际区域模式比较计划(RMIP)MM5V3 模拟的 1989—1998 年 10 a 积分结果——包括中国大部分区域(4941 个格点,格距 60 km)月平均 100,500,700,1000 hPa 4 个位势高度场(模拟场)及其距平场;同时分析对应的 NCAR/NCEP 再分析资料(观测场),进而对比两者检验模式模拟东亚季风气候及其变化能力。对比分析结果表明:对于月平均高度场的第一特征向量场,模式能比较准确地模拟出平均气候场的分布及其垂直相当正压性的结构特征;对于月平均高度距平场第一、二特征向量场,模式对于距平场的模拟也较成功,垂直方向有明显的相当正压性特征;月平均高度场及其距平场相应的月际变化和年际变化特征也在模拟中得到较好的反映。本研究表明:4D-EOF 具有综合检验数值模式模拟气候及其变化的能力,而 MM5V3 模拟 20 世纪 90 年代东亚气候及其变化能力是令人满意的。

关键词: 4D-EOF, 数值模式, 模拟能力, 气候变化。

1 引 言

长时期气候变化模拟的效果检验是个值得探讨的问题,若用常用的检验指标会得到太多的信息,故期望得到少而精的综合信息。例如,在东亚季风国际区域模式比较计划(RMIP)第 一阶段中,我们对 MM5V3 的模拟结果(模拟场)和 NCAR/NCEP 再分析资料(观测场)的 500 hPa 位势高度场作模拟效果检验工作表明,应用奇异值分解(SVD)来检验某个气象要素场的模拟效果是个好的综合方法,从总体上它可以给出:经检验显著的模拟场和观测场间的模态相关以及模拟场与模态观测场或模态模拟场与观测场的异类相关。那么,对垂直 K 层就需要做 K 次 SVD,尽管增加计算量,但得到的仅是 K 个模态相关和异类相关,得不到特征场空间水平分布和垂直结构,及其对应的月际变化特征和年际变

化特征。

张邦林、丑纪范等^[1]用 1951—1984 年实际的北半球 500 hPa 月平均高度距平场资料、候平均高度距平场资料和逐日高度距平场资料分别做扩展经验正交函数(EEOF)展开,前几个特征向量场可以用来研究月平均环流异常的主要空间分布结构及对应的年内变化特征,而时间展开系数可以研究环流异常的年际变化。

靳立亚、丑纪范等^[2]利用 EEOF 分析方法,对北半球 100,500 和 700 hPa 三层月平均高度距平场进行展开,得到了不仅能反映各层高度距平场本身的空间结构分布特征,而且能同时反映各层高度距平场之间有机联系的特征向量场。分析结果表明,北半球月平均环流异常在垂直方向上具有明显的相当正压性结构特征。

苏炳凯等^[3]曾提出三维 EOF(3D-EOF)分析中

* 初稿时间:2005 年 6 月 14 日;修改稿时间:2005 年 8 月 25 日。

资助课题:“973”国家重点基础研究发展规划项目(2001CB309400,G1999043400)。

作者简介:赵得明,男,1970 年生,博士,主要从事模式比较和土壤湿度的影响研究。Email: Demizh @163.com

国降水 160 个站 1951—1984 年逐月降水量,由于它考虑月际间、年际间的降水空间场是相互有影响的,故能同时给出中国降水的空间分布特征、季节变化特征与年际变动特征。

本文提出四维 EOF(4D-EOF)分析,得到的空间分布与所有年份的任何月份都是相关联的,表示气候要素空间分布特征的模式;月际变化与所有年份的任何格点都是相关联的,表示气候要素月际变化特征的模式;年际变化与所有月份的任何格点都是相关联的,表示气候要素年际变动特征的模式;同时还能反映系统的垂直结构分布。针对 10 a 的 100,500,700,1000 hPa 月平均高度场及其距平场的观测场与模式的模拟结果分别作 4D-EOF,进一步对比分析两者相应结果,从而检验模式模拟气候及其变化能力。

2 4D-EOF 模型

本文提出的 4D-EOF 模型,其实质是 3D-EOF 模型^[3]与扩展 EOF(EEOF)^[4-5]联合分析某个要素场。若记某 $l(l=1,2 \dots L)$ 层高度场 H^l ,本文设 $L=4$,即 $H_n^1 \times m_1, H_n^2 \times m_2, H_n^3 \times m_3, H_n^4 \times m_4$ (本文分别为 100,500,700,1000 hPa),所谓 4D-EOF 数学模型,首先将 L 层高度场扩展联合为

$$X_n \times m = [H_n^1 \times m_1, H_n^2 \times m_2, H_n^3 \times m_3, H_n^4 \times m_4] \quad (1)$$

式中, $m=4 \times m_l$ (本文中每层高度场的格点数 m_l 均为 4941),资料样品数 $n=n_k$ 年 $\times n_j$ 月/年 $=n_k \times n_j$ 个月。然后对 X 按三维 EOF 数学模型展开,即把观测资料立方体以联合矩阵 X 表示,其中的元素 x_{ijk} 为第 i 个格点、第 j 月、第 k 年的气候要素,它可分解成(图 1):

$$x_{ijk} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_k} a_{ii} b_{jj} c_{kk} g_{ijk} \quad (2)$$

式中 3 个无因次的经验正交函数: a_{ii} 是第 i 个空间函数中的第 i 个格点、 b_{jj} 是第 j 个月际函数中的第 j 个月、 c_{kk} 是第 k 个年际函数中的第 k 年。 g_{ijk} 是与分析要素因次相同的权重系数。当状态 m 与状态 $(n_j n_k)$ 联合,则上式的矩阵形式为

$$n_j n_k X_m = (n_j B_{n_j} \otimes n_k C_{n_k}) n_j n_k G_m A_m^T \quad (3)$$

且满足

$$A A^T = A^T A = I_m$$

$$B B^T = B^T B = I_{n_j}$$

$$C C^T = C^T C = I_{n_k}$$

$$G^T G = \text{diag}(1, 2 \dots m) = m$$

同样地,状态 n_j 和 n_k 可以分别与 $(m \ n_k)$ 和 $(m \ n_j)$ 联合。式中符号 \otimes 表示 Kronecker 积, I 为单位矩阵, diag 为对角矩阵,下标均为矩阵维数。特征型矩阵 A, B 和 C 能由经典 EOF 确定。特征型矩阵 A 与所有年份的任何月份都是相关联的,表示气候要素空间分布特征的模式,其中头 m_l 个元素为 100 hPa 特征模态场、其次 m_l 个元素为 500 hPa 特征模态场、……、最后 m_l 个元素为 1000 hPa 特征模态场。特征型矩阵 B 与所有年份的任何站都是相关联的,表示气候要素月际变化特征的模式。特征型矩阵 C 与所有月份的任何站都是相关联的,表示气候要素年际变动特征的模式。权重系数矩阵 G 由下列方程计算。

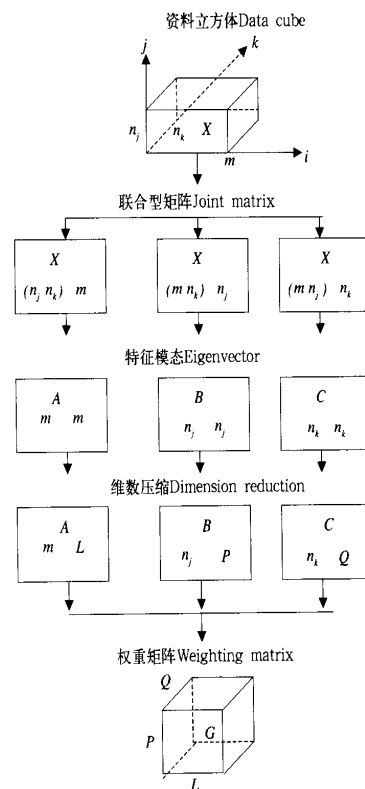


图 1 4D-EOF 模型

Fig. 1 The 4D-EOF model

$$n_j n_k G_m = (n_j B_{n_j} \otimes n_k C_{n_k})^T n_j n_k X_m A_m \quad (4)$$

若按主成分分析确定最佳维数分别为 L, P, Q ,则上式可写成

$$PQ G_L = (P B_{n_j} \otimes Q C_{n_k})^T n_j n_k X_m A_L \quad (5)$$

权重矩阵的含意是空间分布型、月际变化型和年际变动型在各模态上的得分(scores),表示3个型中任意2个模态间相互关系。如果其空间模态相对年际模态的得分大致相等,则表明该空间分布随时间变化不大。

3 模式模拟效果检验个例

东亚季风国际区域模式比较计划(RMIP)第阶段,我们用MM5V3^[6]模式模拟积分时间11.5 a(1988年7月—1999年12月),用于分析的时间是10 a(1989年1月—1998年12月)。模拟区域中心为35°N,105°E,格点范围151(E—W)×111(S—N),格距60 km,用于分析的区域范围是81(E—W)×61(S—N)。动力框架为:垂直方向16层、非静力动力过程、Grell积云参数化过程、Dudhia的短波参数化过程、OSU LSM陆面参数化过程、MRF的边界层方案、RRTM长波辐射方案。

我们对100,500,700,1000 hPa月平均高度场的MM5V3模拟结果和观测场及其对应的距平场作4D-EOF分析,得到各高度场和对应的距平场的空间分布特征、月际变化特征与年际变动特征,并分别对冬、夏季月平均高度场作4D-EOF分析,得到冬、夏季的主要气候系统,以此检验模式的模拟能力。

4 模式模拟大气环流的4D-EOF模态特征及其性能检验

为检验模式模拟10 a(1989年1月—1998年12月)大气环流的主要特征,我们以100,500,700,1000 hPa等压面分别代表平流层底部、对流层中部、对流层底部和近地面层大气环流状况。对10 a模拟场与同时段观测场分别做4D-EOF分析,得到它们相应的空间水平分布特征及其对应的垂直结构特征、月际变化特征和年际变化特征,进而对模式模拟大气环流的能力做出客观评价。

4.1 权重系数矩阵

权重系数矩阵中的元素是空间分布型(SDEM)、月际变化型(MVEM)和年际变动型(AVEM)在各模态上的得分,这里的空间分布型、月际变化型和年际变动型反映的是一种综合指标,是相对于整个观测场或模拟场而言,即对所有格点、所有月份和所有年份的一种综合。从1989—

1998年100,500,700,1000 hPa月平均高度观测场和模拟场作4D-EOF分析得出的权重系数矩阵(表1,表2)可以看出,无论是观测场还是模拟场,都是空间和时间的第一模态权重系数(可达 1.3×10^7)远大于其他模态的值($1.0 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^5$),观测场和模拟场对应的权重系数分布相似,说明模拟场能很好地模拟出观测场的特征;进一步分析观测场和模拟场的权重系数分布还可以发现,除了空间分布型第一模态相对第一特征时间有变化,其他模态基本上随时间变化不大,表明空间和时间的第一模态代表了场的大部分特征。与此对应,空间分布型第一模态对应的模态解释方差贡献率(SCF)达到99.99%,因而仅分析空间分布型第一模态。

表1 10 a月平均高度观测场作4D-EOF分析得出的权重系数矩阵(单位: 10^3)

Table 1 The weighting coefficients matrix obtained from the 4D-EOF analysis of the observed monthly mean geopotential height fields of 1989 - 1998 (units: 10^3)

| SDEM AVEM MVEM | 1 | | 2 | |
|----------------------|---------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1 | 13535.3 | -1.4 | -0.2 | -1.5 |
| 2 | -203.2 | -3.2 | -7.6 | -4.0 |

注:1和2分别代表空间分布型(SDEM)、月际变化型(MVEM)和年际变动型(AVEM)的第一和第二模态

表2 10 a月平均高度模拟场作4D-EOF分析得出的权重系数矩阵(单位: 10^3)

Table 2 Same as Table 1 but for the simulated fields

| SDEM AVEM MVEM | 1 | | 2 | |
|----------------------|---------|------|-------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1 | 13576.2 | -1.6 | 4.4 | -0.4 |
| 2 | -219.7 | -3.8 | -10.4 | -4.4 |

注:1和2分别代表空间分布型(SDEM)、月际变化型(MVEM)和年际变动型(AVEM)的第一和第二模态

4.2 月平均大气环流特征

模拟的和观测的月平均高度场的4D-EOF分析可以看到,观测场和模拟场中500 hPa第一特征向量场的等载荷线分布(图2b)相似,同时与500 hPa 120个月总体平均高度场分布(图3)也极为相似,表明第一特征向量场实际反映的是一种气候平均态(其余层次的情况相同,图略)。因此,图2a 2d分别反映了100,500,700和1000 hPa 10年大气环流的平均气候特征。

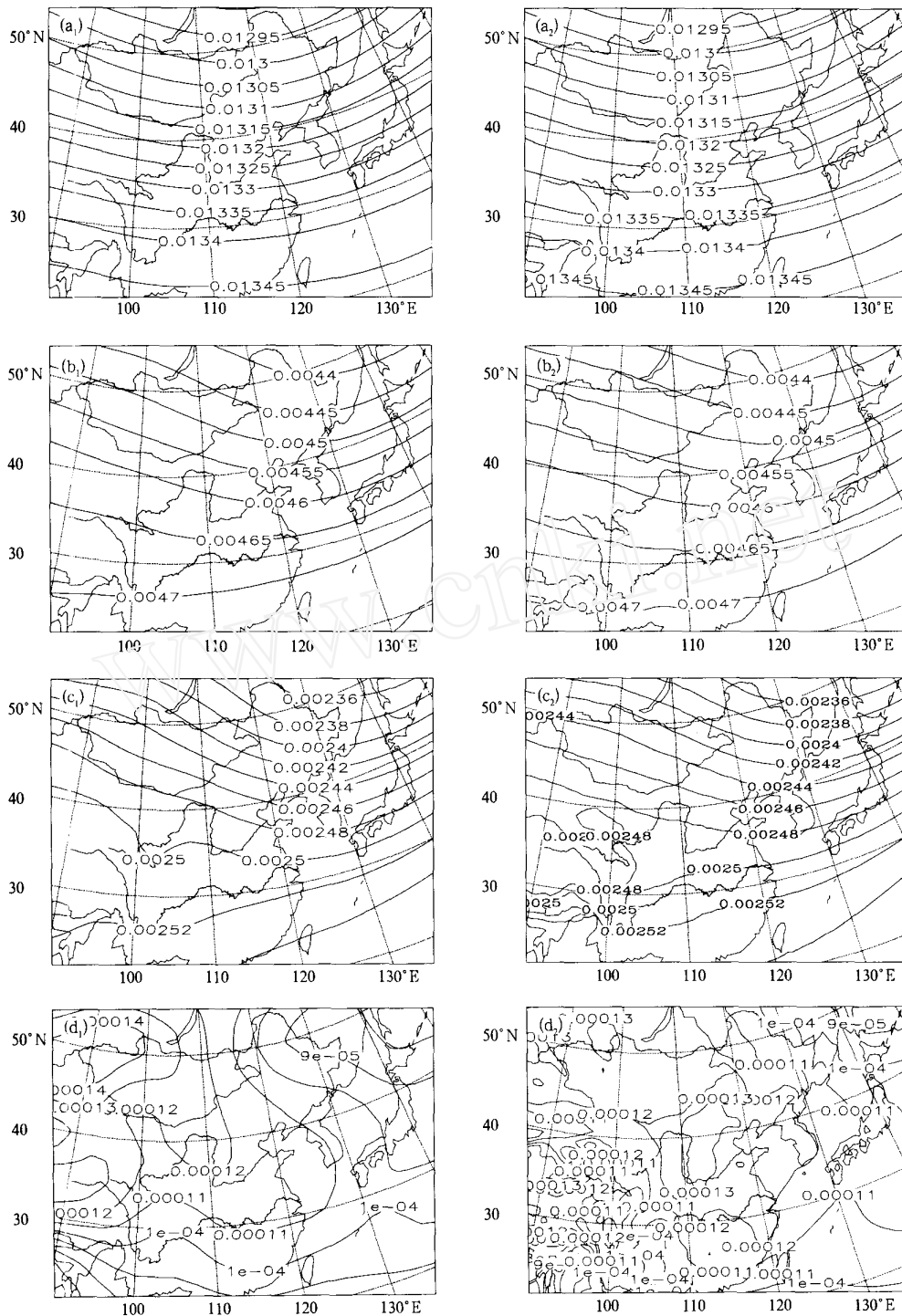


图 2 观测和模拟的月平均高度场第一特征向量场的空间水平分布

(a₁—d₁. 观测场, a₂—d₂. 模拟场; a. 100 hPa, b. 500 hPa, c. 700 hPa, d. 1000 hPa)

Fig. 2 Horizontal distributions of the first eigenvector for the observed (a₁—d₁) and simulated (a₂—d₂) monthly mean geopotential height fields

(a. 100 hPa, b. 500 hPa, c. 700 hPa, d. 1000 hPa)

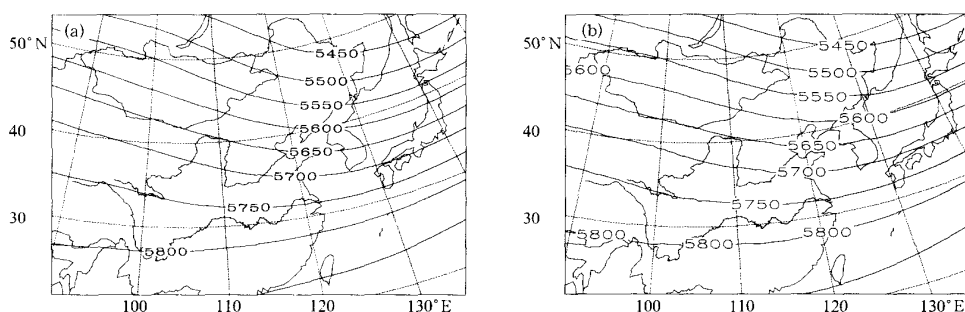


图3 观测和模拟的500 hPa 10 a总体平均高度场

(a. 观测场;b. 模拟场)

Fig. 3 Observed (a) and simulated (b) ensemble mean 500 hPa geopotential height fields over 1989 - 1998

计算模拟的与观测的载荷场间的相关系数,自高层往低层分别为:0.998, 0.998, 0.983和0.813(置信度0.01的相关系数置限值为0.081),可见,模拟场与其对应的观测场之间有很高的相关系数,经检验是显著的。第一特征向量中观测和模拟场的等载荷线分布相似,其值在中、高层呈现出南高北低。但是在低层相关系数只有0.813,中低层的相关系数要小于中高层的值。

以上分析是针对10 a平均气候的总体模拟效

果,为了反映模式模拟气候变化的能力,下面对4层距平高度场作EOF分析。

4.3 大气环流异常特征分析

为了分析大气环流异常特征,对月平均高度距平场另作4D-EOF,前两个特征向量代表了场的大部分特征,模态分布(图4、图5)对应的模态解释方差贡献率,SCF和模拟的与观测的载荷场相关系数 R 如表3所示。

表3 观测场与模拟场的月平均高度距平场第一、第二特征向量场的SCF和相关系数(R)
Table 3 Squared covariance fraction (SCF) and correlation coefficient (R) of the first two eigenvectors for the observed and simulated monthly mean geopotential height anomaly fields

| | SCF(观测场) | SCF(模拟场) | R (100/500/700/1000 hPa) |
|---------|----------|----------|----------------------------|
| 第一特征向量场 | 46.44 % | 46.73 % | 0.974/0.988/0.990/0.940 |
| 第二特征向量场 | 15.63 % | 12.75 % | 0.976/0.981/0.965/0.866 |

模拟的和观测的月平均高度距平场的第一特征向量场分布显示(图4):观测场和模拟场的模态解释方差贡献率(SCF)分别为46.44%和46.73%,两者基本一致,说明模拟的和观测的距平场的第一特征向量极为相似。大气环流异常变化主要集中在东北亚地区,中高层为全场同相位的西风带槽脊的异常,在垂直方向表现为明显的相当正压性的特征,对应的近地面层分布为西高东低反位相。

比较观测的和模拟的月平均高度距平场第一特征向量场的载荷分布,我们发现模拟的和观测的模态场极为相似,相关系数为0.99—0.94,其强度基本一致,模拟场的载荷值在高层略比观测场的弱0.002,但在中低层模拟场的载荷值要比观测场的稍强0.001—0.002。

模拟场和观测场的月平均高度距平场的第二特征向量场(图5)显示:异常变化表现为呈一对分别位于贝加尔湖以西和日本以东洋面上的、反相位的偶极子型,而且这种异常存在于近地面层到平流层底。同样在垂直方向表现为明显的相当正压性的特征。

比较观测和模拟距平场的第二特征向量,发现观测场和模拟场的模态解释方差贡献率(SCF)分别为15.63%和12.57%,说明第二特征向量场也能反映一部分距平场的特征。模拟的和观测的模态场也很相似,相关系数除近地面层外均超过0.96;中高层其强度基本一致,对应的近地面层模拟场等载荷线正值区变窄,在长江中游存在-0.002的等载荷线的闭合中心,近地面层的相关系数为0.866,中低层的相关系数要小于中高层的值。

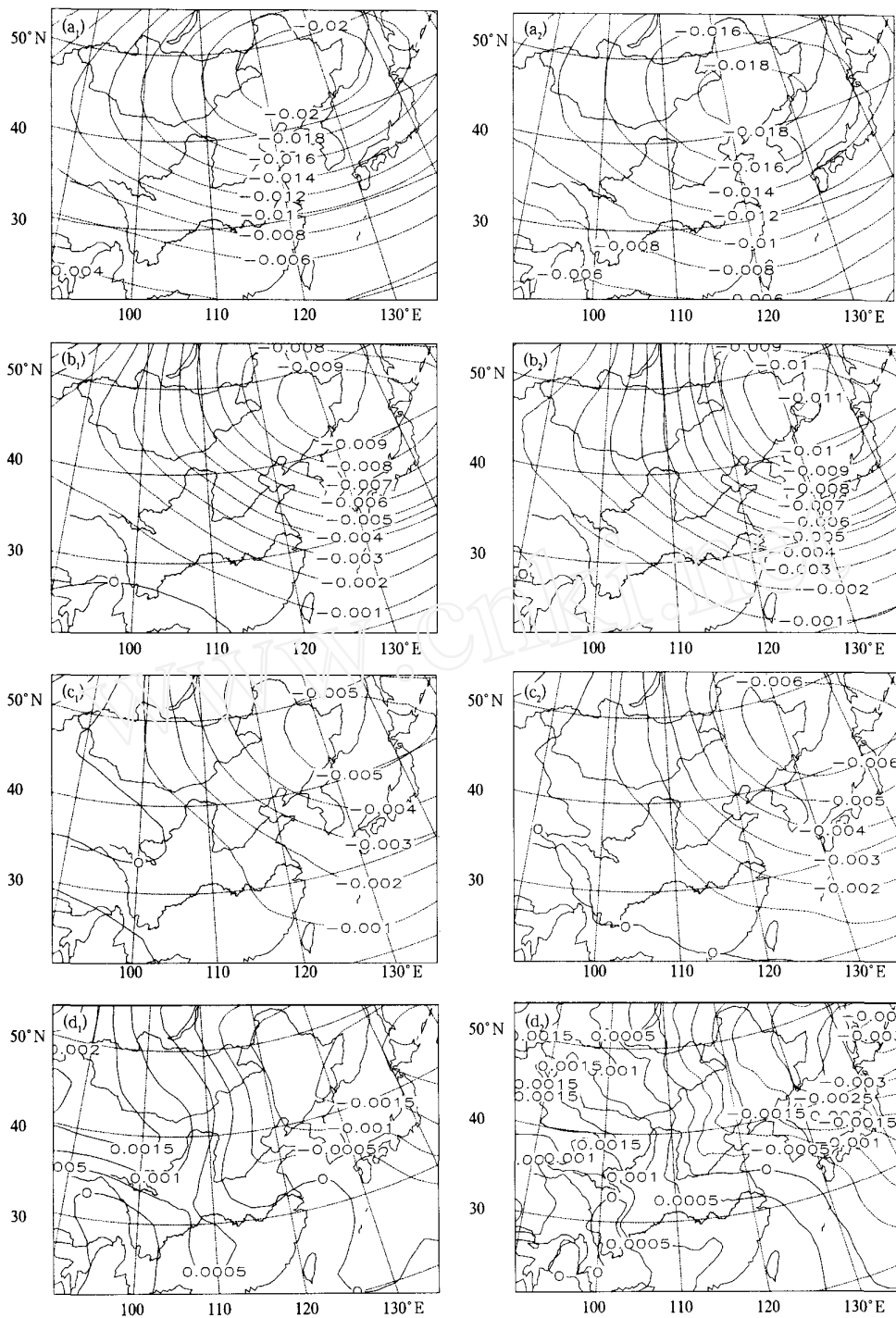


图 4 观测场和模拟场的月平均高度距平场第一特征向量场的空间水平分布
 (a₁—d₁: 观测场, a₂—d₂: 模拟场; a. 100 hPa, b. 500 hPa, c. 700 hPa, d. 1000 hPa)

Fig. 4 Same as Fig. 2 but for the anomaly fields

月平均高度距平场的 4D-EOF 分析不但反映了气候系统的异常,同时也表示出了垂直方向的相当正

压性的特征,观测和模拟场的等载荷线的分布类似,说明模式对于月平均高度距平场的模拟也很成功。

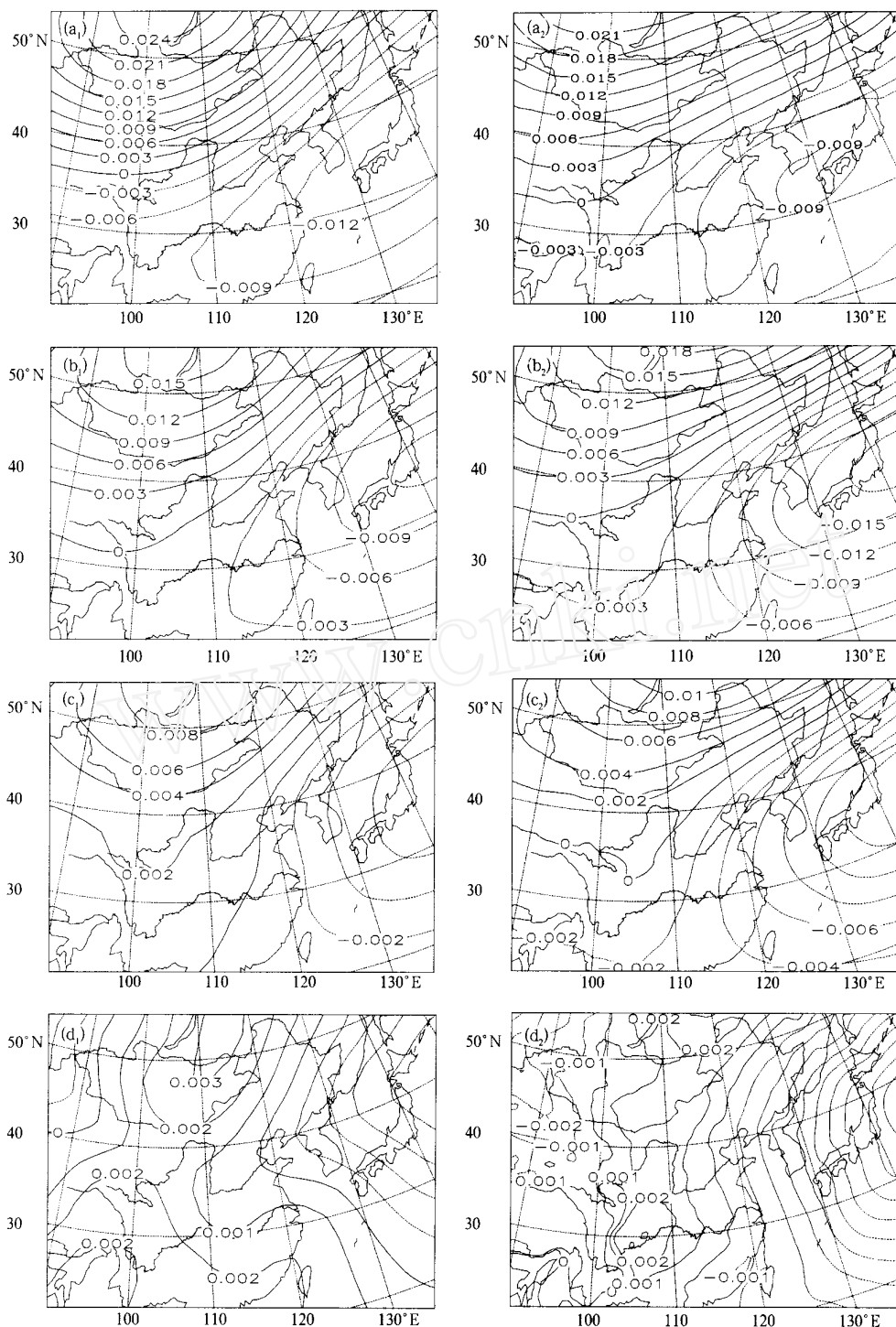


图5 观测场和模拟场的月平均高度距平场第二特征向量场的空间水平分布
(a₁—d₁: 观测场, a₂—d₂: 模拟场; a: 100 hPa, b: 500 hPa, c: 700 hPa, d: 1000 hPa)

Fig. 5 Same as Fig. 4 but for the second eigenvector

4.4 空间垂直分布特征

图6为月平均高度场及其距平场的扩展系数的高度分布,扩展系数分布随高度的增加而增大,而且

低层的要比高层的小很多,这是由于平流层底的位置高度达16 kgpm,而对流层中层只有3—5 kgpm,扩展系数在图8中表现为低层缓慢增大,而从对流

层到平流层迅速增大。

由于高度场的第一特征向量反映的是气候平均态特征,对应的扩展系数的高度分布反映的是 4 层气候平均态之间的关系,图 6a 可以看出模拟场和观测场高度一致,说明气候平均态的模拟很成功。

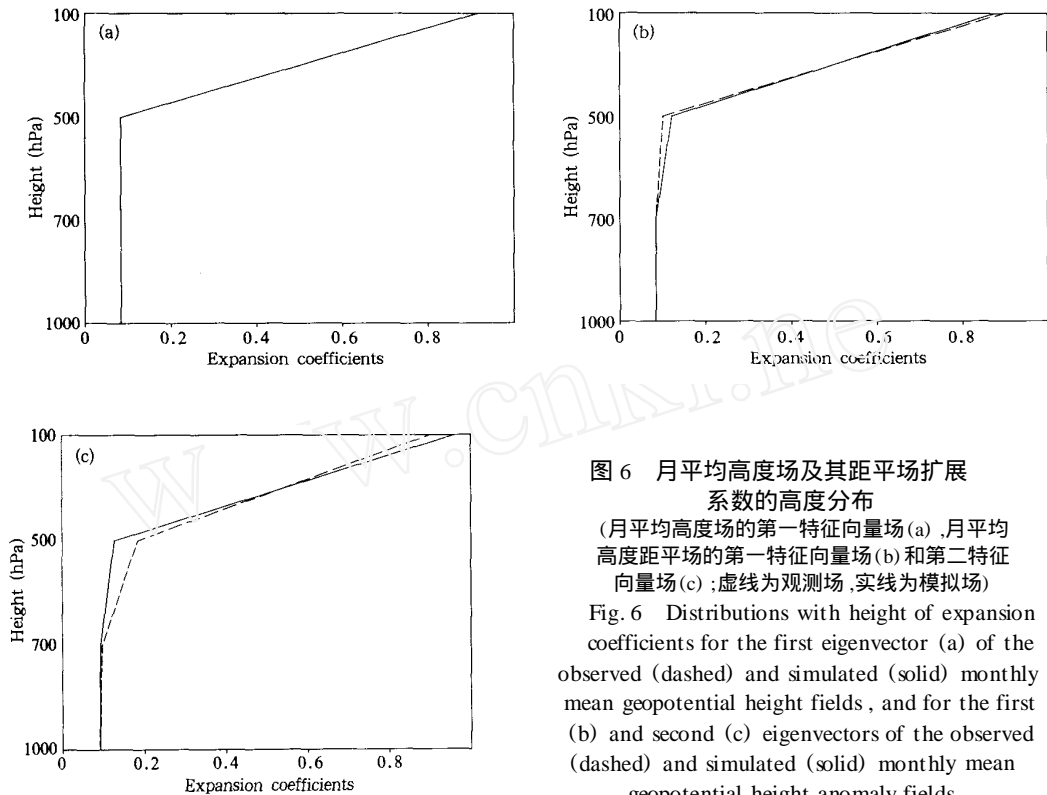


图 6b 和 6c 对应的是月平均高度距平场的第一和第二特征向量场的扩展系数的高度分布。总体上,模拟场的扩展系数的高度分布与对应观测场的一致,但第一特征向量场扩展系数的高度分布比第二特征向量场的好,这与对应的距平场的空间水平分布的差异一致。

图 6 月平均高度场及其距平场扩展系数的高度分布

(月平均高度场的第一特征向量场(a),月平均高度距平场的第一特征向量场(b)和第二特征向量场(c);虚线为观测场,实线为模拟场)

Fig. 6 Distributions with height of expansion coefficients for the first eigenvector (a) of the observed (dashed) and simulated (solid) monthly mean geopotential height fields, and for the first (b) and second (c) eigenvectors of the observed (dashed) and simulated (solid) monthly mean geopotential height anomaly fields

因此,扩展系数的垂直分布显示,模式能很好地模拟出平均气候态及其异常的垂直分布。

4.5 大气环流的月际变化特征

EOF 分析得到的月际变化反映的是 4 个高度场 120 个月 1—12 月的月平均(共 12 个月)的总体变化,与高度场的月平均的变化趋势一致,只是相差一个比例常数,图 7 为月平均高度场第一月际变化特征模态和月平均高度距平场的前两个月际变化特征模态。

月平均高度场的第一月际变化特征模态(图 7a)显示观测场和模拟场很相近,反映出模拟和观测的高度场的月际等载荷线分布都一致,10 a 平均的每个月全为正值,极大值出现在 7 月,其值达 0.295,极小值

出现在 1 月,其值为 0.283,大体上载荷值在 0.286 以上为夏半年,以下为冬半年,即显现夏高冬低的年程的月际变化特征。

月平均距平高度场的第一月际变化特征模态(图 7b)反映的是西风带槽脊的异常月际变化,10 a 中每个月均为正值,表明西风带槽脊的异常一直存在,月际变化的分布观测场和模拟场基本一致,只是在下降的过程中稍有差别。

月平均距平高度场第二月际变化特征模态(图 7c)中,异常在冬季和夏季相反,同样观测场和模拟场的月际变化基本一致,只是很小的差别。

月际变化特征显示,模式对于大气环流的气候平均态及其气候系统的异常的模拟也很成功。

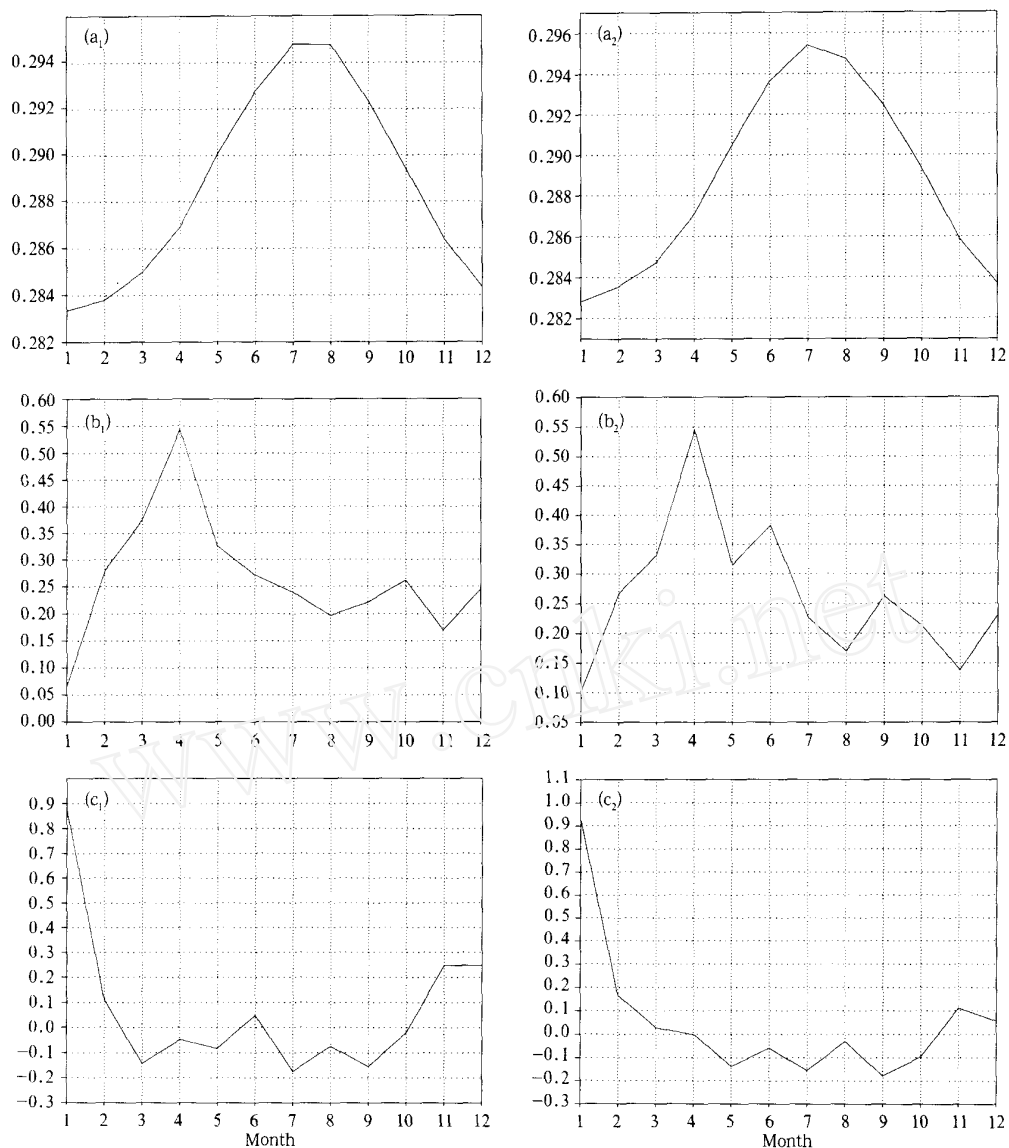


图 7 月平均高度场及其距平场月际变化特征

($a_1 - e_1$, 观测场, $a_2 - e_2$, 模拟场; 月平均高度场的第一特征向量场 (a), 月平均高度距平场的第一特征向量场 (b) 和第二特征向量场 (c))

Fig. 7 Annual variations of expansion coefficients for the first eigenvector (a) of the observed (a_1) and simulated (a_2) monthly mean geopotential height fields, and for the first (b) and second (c) eigenvectors of the observed ($b_1 - c_1$) and simulated ($b_2 - b_2$) monthly mean geopotential height anomaly fields

4.6 大气环流的年际变动特征

EOF 分析得到的年际变化反映的是 4 个高度场 120 个月每年的年平均(共 10 a)的总体变化,与高度场的年平均的变化趋势一致,只是相差一个比例常数,图 8 为月平均高度场第一年际变化特征模态和月平均高度距平场的前两个年际变化特征模态。

月平均高度场的第一年际变化特征模态(图 8a)

显示观测场和模拟场很相近,10 a 的每个月全为正值,反映出模拟和观测位势高度场的年际等载荷线都一样,但是 1991—1992 和 1997—1998 年的变化剧烈,同时是反位相的变化趋势,也许正对应于 1991 年和 1998 年的洪涝及 1997 年的干旱气候特征。

月平均距平高度场年际变化第一特征模态(图 8b)反映的是西风带槽脊的异常年际变化,观测场和

模拟场基本一致。可以发现其分布与平均气候态的年际变化(图 8a)一致,说明气候平均态的年际变化与西风带槽脊的异常高度相关。

月平均距平高度场年际变化第二特征模态(图

8c)中,第二特征向量反映的是一对偶极子的反位相的异常,年际变化基本一致,只是强度稍有差别。

年际变化特征显示,模式对于大气环流的气候平均态及其气候系统的异常的年际变化模拟也很成功。

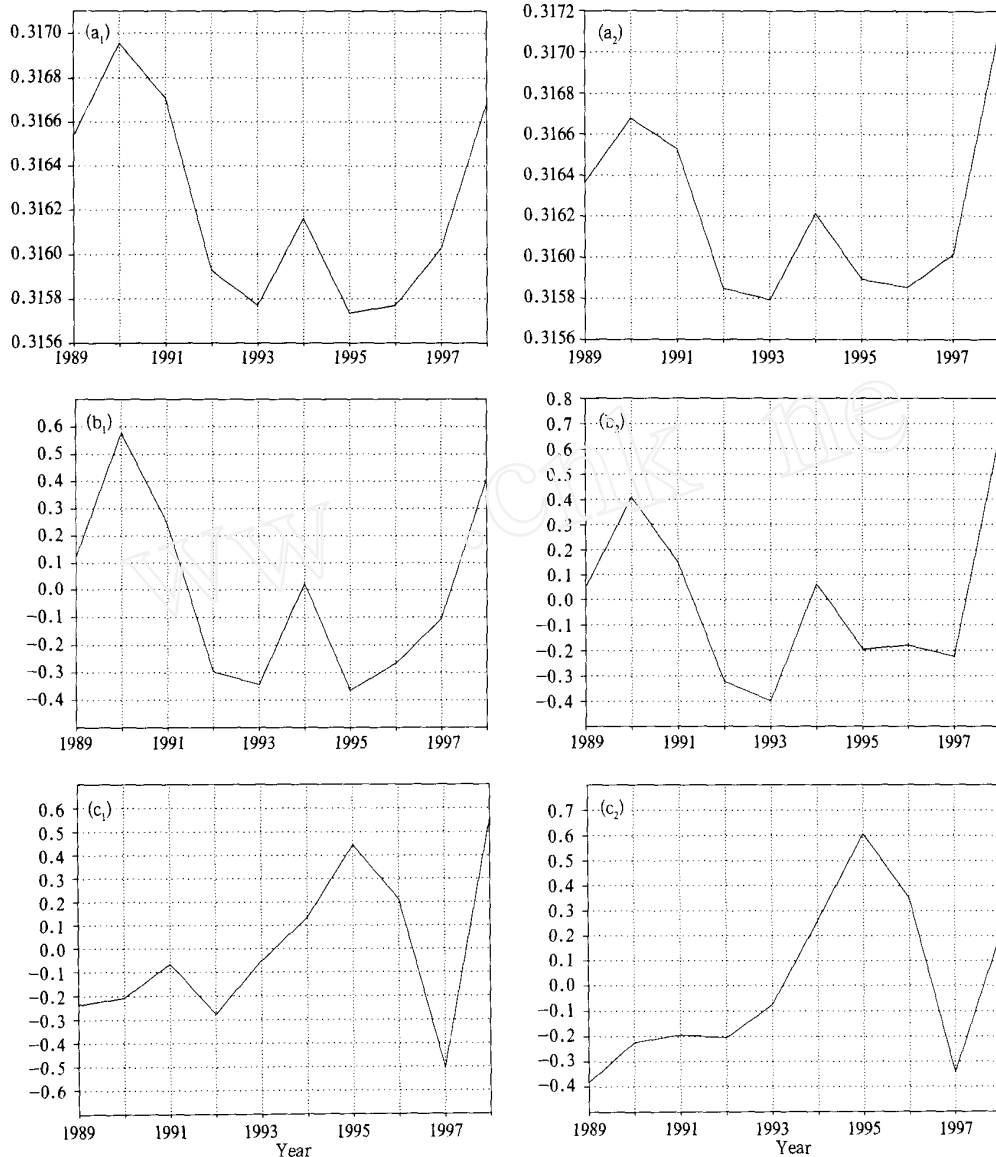


图 8 月平均高度场及其距平场年际变化特征

(a_1-e_1 . 观测场, a_2-e_2 . 模拟场; 月平均高度场的第一特征向量场(a), 月平均高度距平场的第一特征向量场(b)和第二特征向量场(c))

Fig. 8 Same as Fig. 7 but for interannual variations

5 结 论

针对气候系统的多尺度性和 10 a 模拟结果分析检验数值模式模拟气候及其变化能力,我们提出

4D-EOF 方法分析 1989—1998 年 10 a 100, 500, 700, 1000 hPa 模拟和观测的月平均高度场及其距平场,不但能克服一般检验方法(如 t 检验和 SVD 方法)信息量多的特点,而且能得到特征场空间水平

分布和垂直结构,及其对应的月际变化和年际变化特征。

对于月平均高度场的第一特征向量场,模拟场能准确地模拟出观测场对应的平均气候场的分布及其垂直结构相当正压性的分布特征。气候平均态的垂直结构模拟很好,月际和年际变化特征分布模拟场和观测场极为相似,呈现夏高冬低的年变程的月际变化特征,同时对气候异常年份也能很好的模拟。

对于月平均距平高度场,第一特征向量场反映的是西风带槽脊在整个模拟区域的同位相的异常,模拟场能真实地模拟出观测场西风带槽脊的异常分布;第二特征向量场反映的是一对偶极子的反位相的异常,也能在模拟场中得到真实的反映。同时还模拟出上述异常的垂直分布的相当正压性特征,垂直方向上对异常的模拟也很成功,月际变化和年际变化的分布观测场和模拟场基本一致,气候平均态的年际变化与西风带槽脊的异常高度相关。

综上所述,我们认为 MM5V3 对东亚区域的气候及其变化的模拟是成功的,在 10 a 尺度上有一定的模拟能力,同时也说明 4D-EOF 是描述气候特征的一种较理想的方法。

参考文献

[1] 张邦林,丑纪范,刘洁. 500 hPa 月平均高度距平场统一的时

空结构研究. 气象学报, 1993, 51(2): 227-231

Zhang Banglin, Chou Jifan, Liu Jie. A study on the united time-space structure of 500 hPa monthly mean height. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 1993, 51(2): 227-231

[2] 靳立亚,张邦林,丑纪范. 北半球月平均环流异常垂直结构的综合分析. 大气科学, 1993, 17(3): 310-318

Jin Liya, Zhang Banglin, Chou Jifan. The composite analysis on the vertical structure of the monthly mean circulation anomalies over the northern hemisphere. Sci Atmos Sinica (in Chinese), 1993, 17(3): 310-318

[3] Su Bingkai, Xu Guiyu, Fu Congbin. The use of three-dimensional EOF technique to analyze climatic characteristics of precipitation in China. Acta Meteor Sinica, 1991, 5(5): 617-627

[4] 谢炯光. 扩展经验正交函数(EOF)及其在月、季降水预测中的应用. 大气科学, 1995, 19(4): 481-486

Xie Jiongguang. Extended empirical orthogonal function (EOF) and applications to monthly (seasonal) rainfall prediction. Sci Atmos Sinica (in Chinese), 1995, 19(4): 481-486

[5] Weare B C, Nasstrom J S. Examples of extended empirical orthogonal function analyses. Mon Wea Rev, 1982, 110(6): 481-485

[6] Grell G A, Dudhia J, Stauffer D R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/ TN-398 + STR, 1994, 117pp

TESTING THE ABILITY OF NUMERICAL MODEL TO SIMULATE CLIMATE AND ITS CHANGE WITH 4D EOF ANALYSIS

Zhao Deming Su Bingkai Tang Jianping

Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093

Abstract

The four-dimensional empirical orthogonal function (4D-EOF) which in reality is a simple combination of three-dimensional EOF (3D EOF) and extended EOF (EEOF), is put forward in this paper to test the ability of numerical model to simulate climate and its change. The 4D-EOF analysis is able to reveal not only the horizontal characteristic pattern of analysis variable, and its corresponding annual and inter-annual variations, but also the vertical structural characteristics. The method suggested is then used to analyze the monthly mean 100, 500, 700, and 1000 hPa geopotential height fields (4941 grids, grid spacing 60 km) and their anomaly fields in 1989 - 1998 simulated by the MM5V3 from the RMIP (Regional Climate Model Inter-comparison Project for East Asia) II, as well as their counterparts (used as the observed fields) from the NCEP/NCAR re-analysis dataset in the same period. The ability of MM5V3 in simulating East Asian climate and its change is tested by comparing the 4D-EOF analysis results of the simulated and observed datasets. The comparative analyses results show that the horizontal pattern of the first eigenvector of the observed monthly mean geopotential height fields and its vertical equivalent barotropic feature were well simulated; the simulations of the first two eigenvectors of the observed monthly mean geopotential height anomaly fields were also successful for their horizontal abnormal distributions and significant equivalent barotropic features in the vertical were well reproduced; and furthermore, the observed characteristics, such as the variation with height, and annual and inter-annual variations of the monthly mean geopotential height/ anomaly fields also were well reflected in the simulation. Therefore, the 4D-EOF is able to comprehensively test numerical model's ability of simulating the climate and its change, and the simulation ability of MM5V3 for the climate and its change in East Asia in the 1990s was satisfactory.

Key words: 4D-EOF, Numerical model, Simulation ability, Climate change.