

# ENSO 暖冷事件下东亚冬季风的区域气候模拟<sup>\*</sup>

何溪澄<sup>1,2</sup> 李巧萍<sup>3</sup> 丁一汇<sup>4</sup> 何金海<sup>1</sup>

1 南京信息工程大学, 南京, 210044

2 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080

3 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029

4 国家气候中心, 北京, 100081

## 摘 要

选取强 El Niño 年(1997/1998 年)和强 La Nina 年(1998/1999 年)作为个例, 利用中国国家气候中心水平分辨率为 60 km 的区域气候模式(RegCM\_NCC)对东亚冬季风进行了数值模拟, 结果表明: 模式不仅从 500 hPa 东亚大槽、副热带高压、地面蒙古冷高压和 850 hPa 东亚风场等方面, 模拟出两年冬季风系统的不同特征, 而且也模拟出与 ENSO 事件密切联系的大气低层环流的明显差别, 表明区域气候模式对 ENSO 暖、冷事件下东亚冬季风的差异有较好的模拟能力。数值模拟也能够再现中国南海、菲律宾群岛以东的西太平洋和孟加拉湾 3 个主要的冷涌区, 以及在两年不同海温和环流背景下冷涌发生的频数变化。分析还表明, 模拟结果能较好地反映两年冬季中国气温的空间分布特征, 模拟出的冷空气过程、最冷时段出现时间与实际基本相符, 模拟的主要降水带位置也与实况接近, 特别是能够较好地模拟出中国南方地区 1997/1998(1998/1999)年冬季异常多(少)的降水量。虽然数值模式的总体性能是较为满意的, 但也发现在形势场的模拟中存在 1998/1999 年冬季东亚大槽模拟偏深和东亚沿海海面气压梯度偏大等不足, 需进一步加强对模式物理过程的研究。

**关键词:** 冬季风, ENSO 事件, 区域气候模式, 数值模拟。

## 1 引 言

东亚冬季风的年际和年代际变化一直受到人们的广泛关注, 冬季风爆发常会给中国带来寒潮、大风等灾害性天气。影响冬季风活动的因子很多, 如西伯利亚冷高压、欧亚大陆的积雪和北大西洋涛动(NAO)<sup>[1-4]</sup>。近 10 年来的一些研究表明, 热带太平洋海温异常不仅对热带地区的天气、气候有明显影响, 而且与亚洲冬季风的年际变化也有密切的联系。研究结果主要有: 观测资料合成分析显示, 大多数 El Niño 事件爆发前东亚冬季风偏强, 这表明东亚冬季风的异常对 ENSO 事件的发生有重要作用, 而大多数 El Niño 事件爆发后, 东亚冬季风偏弱, 大多数 La Nina 事件爆发前后的情形则相反<sup>[5-6]</sup>; 在 ENSO 暖(冷)期冬季, 东亚大槽强度比常年偏弱(偏强), 南支西风中的扰动活动频繁(减少), 导致华南

和青藏高原冬季降水为正(负)距平, 并对随后的夏季风产生明显影响<sup>[7-8]</sup>; 在 ENSO 的强盛期, 存在太平洋—东亚遥相关, 对流层下部菲律宾海附近的反气旋距平是罗斯贝波对西太平洋受抑制对流加热响应的结果, 反气旋的发展与局地海表冷却的加强同时发生, 东北信风的存在使得反气旋和海温冷却之间维持着正热力反馈关系, 该异常反气旋促使南海地区的南风增强<sup>[9]</sup>; 冬季 500 hPa 高度场和 SST 场存在 3 个海-气耦合流型域, 前两个以 ENSO 事件冷暖位相与北太平洋/北美区的正负位相的 PNA 型之间的关系为主要特征, 第 3 个称为东亚冬季风(EAWM)流型域, 与强东亚冬季风活动相联系的热带太平洋 SSTA 和 La Nina 事件下的 SST 异常有显著的差别<sup>[10-11]</sup>。

上述这些工作在揭示冬季风条件下海-气相互作用的观测事实及机理方面取得了不少成绩, 为统

\* 初稿时间: 2005 年 8 月 1 日; 修改稿时间: 2006 年 1 月 5 日。

资助课题: 国家“十五”科技攻关项目“全球与中国气候变化的监测和预测(2001BA611B-01)”。

作者简介: 何溪澄, 男, 1963 年生, 副研究员, 硕士, 主要从事数值预报和季风的研究。E-mail: xche@grmc.gov.cn

计预报提供了一些依据。但动力数值预报日益成为短期气候预测的发展方向,数值模式能否有效地模拟出热带太平洋海温异常下东亚冬季风的基本特征,这方面的工作开展得很少。

由于区域气候模式分辨率较高,可以更细致地反映大气内部的动力过程和下垫面与大气的相互作用,近年来已被广泛应用于全球各区域气候特征与变率的研究。东亚是全球主要的季风活跃区之一,应用区域气候模式模拟东亚季风的平均环流和年际变化已经取得了一些令人鼓舞的成果。Lee<sup>[12]</sup>在对东亚夏季风的 10 年气候模拟研究中认为,区域气候模式基本能够反映东亚夏季风主要气候系统的特征。Liu 等<sup>[13]</sup>和 Wang 等<sup>[14]</sup>分别用不同的区域气候模式模拟了 1998 年夏季东亚地区的环流和降水,模拟结果不仅对夏季风的异常活动有较好的反映,中国东部地区的强降水带及其随时间的演变也可以较好地模拟出来。李巧萍等<sup>[15]</sup>也利用区域气候模式对东亚区域进行了连续 5 年的气候模拟,较好地模拟出东亚大气环流的平均状态以及大气环流的季节转换。本文在这些工作的基础上,利用区域气候模式,选取强 El Niño 年(1997/1998 年)和强 La Nina 年(1998/1999 年)两个冬季作为个例,研究区域气候模式对 ENSO 暖、冷事件下东亚冬季风差异的模拟能力。

## 2 模拟方案与资料

模拟使用的是中国气象局国家气候中心的区域气候模式(RegCM\_NCC),它是在美国第二代区域气候模式的基础上,通过对物理过程参数化方案进行改进形成的<sup>[16-17]</sup>。本研究中模式物理过程方案的选取同文献<sup>[15]</sup>,即对流参数化采用的是 Betts-Miller 方案,非对流性降水是隐式水汽方案,行星边界层参数化是 Holtslag 方案,辐射过程选用的是 CCM3 辐射方案,陆面过程采用的是改进的 BATS 模式,包括 6 层土壤、3 层积雪和一层植被。

在本模拟研究中,模式垂直方向非均匀地分为 16 层,顶层气压为 50 hPa。水平分辨率为 60 km,南北方向格点数为 99,东西方向格点数为 151,模拟区域中心选在 35°N、110°E,模式范围覆盖了包括青藏高原在内的东亚大部分地区。模式侧边界采用指数张弛时变边界,边界缓冲区选为 8 圈。

模式初始值和边界值由 NCAR/NCEP 一日 4 次再分析资料提供,侧边界数值每 12 h 更新一次。海温资料来源于美国国家海洋大气局的每周 OI. v2 海温资料,线性内插到每 12 h。模式积分时间步长为 3 min,积分时间分别从 1997 年 11 月 1 日和 1998 年 11 月 1 日至次年 2 月 28 日,其中每年 11 月份的模拟作为模式的初始适应期,12 月至次年 2 月的积分结果用于冬季气候的分析。

本文选用 NCAR/NCEP 月平均和逐日平均的再分析资料作为模拟检验资料,资料水平分辨率为 2.5°×2.5°网格,物理量包括海平面气压场、高度场、风场、湿度场和 2 m 温度场等。

为了定量了解模拟场和 NCEP 分析场的相似程度,本文采用以下公式计算它们的空间相关系数<sup>[18]</sup>。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N W_i (\mathbf{P}_i^o - \bar{\mathbf{P}}^o) (\mathbf{P}_i^m - \bar{\mathbf{P}}^m)}{\sum_{i=1}^N W_i} \cdot \left[ \frac{\sum_{i=1}^N W_i (\mathbf{P}_i^o - \bar{\mathbf{P}}^o)^2}{\sum_{i=1}^N W_i} \frac{\sum_{i=1}^N W_i (\mathbf{P}_i^m - \bar{\mathbf{P}}^m)^2}{\sum_{i=1}^N W_i} \right]^{-1/2} \quad (1)$$

式中  $\mathbf{P}^o, \mathbf{P}^m$  分别表示 NCEP 再分析场和模拟场,上划线表示区域平均值,  $N$  为区域总格点数,  $W_i$  是与纬度有关的权重值。

为方便计,文中所称 1997(1998)年冬季是指 1997(1998)年 12 月至 1998(1999)年 2 月,冬季气温指冬季逐日平均气温的平均,冬季降水量指冬季 3 个月的累积降水量。

## 3 对冬季风环流差异的模拟

1997 年冬季和 1998 年冬季分别处于强 El Niño 和强 La Nina 事件的成熟期,两年的环流形势和天气的分布有明显的不同。在分析模式对 ENSO 暖、冷事件下冬季环流场的模拟能力之前,先对模式的基本性能作一个分析。

图 1 是区域平均的模式大气与 NCEP 再分析资料的差值随高度的分布,平均范围为 15°—50°N、80°—140°E,其中空心圆点是 1997 年冬季,实心圆点是 1998 年冬季。可见,两年温度偏差在对流层中层很小,在低层和高层都是偏暖的,整层平均差值

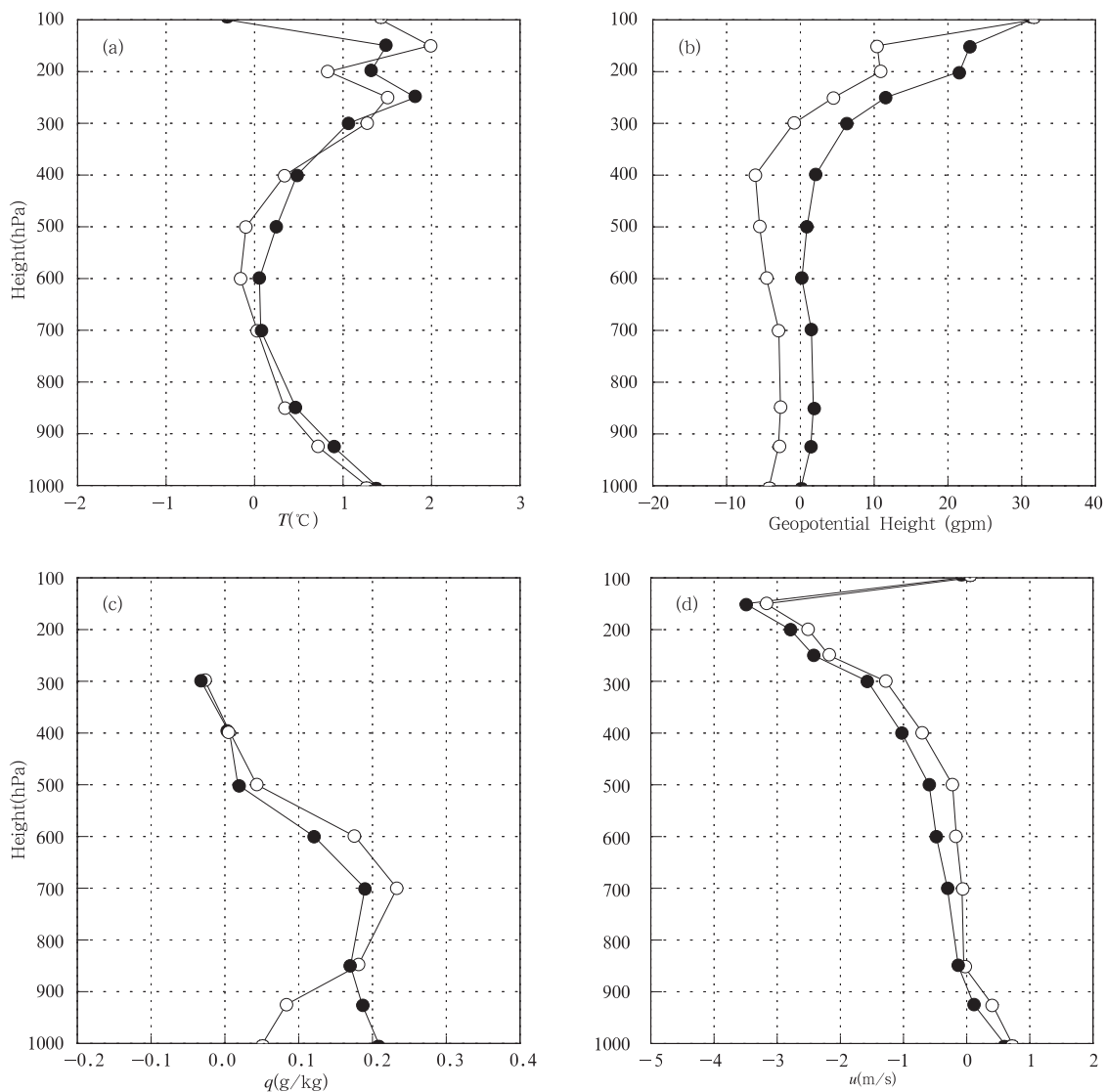


图 1 区域平均的模拟大气与 NCEP 再分析资料的差值随高度的分布

(a. 温度, 单位:  $^{\circ}\text{C}$ ; b. 位势高度, 单位: gpm; c. 比湿, 单位: g/kg; d. 纬向风, 单位: m/s;

空心圆点是 1997 年冬季, 实心圆点是 1998 年冬季, 平均范围为  $15^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\text{--}140^{\circ}\text{E}$ )

Fig. 1 Vertical profiles of the differences of (a) temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) geopotential height (gpm), (c) specific humidity (g/kg), and (d) zonal wind (m/s) between the two analyses (RegCM\_NCC simulation minus NCEP/NCAR reanalysis) averaged over the model domain ( $15^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\text{--}140^{\circ}\text{E}$ ), and curves with open (closed) circle are for the winter of 1997 (1998), respectively

1997 年为  $0.63^{\circ}\text{C}$ , 1998 年为  $0.60^{\circ}\text{C}$ 。位势高度的情形是在 300 hPa 以下偏差不大, 在 300 hPa 以上, 误差是正偏差并且数值随高度增加, 100 hPa 上的差值达到 30 gpm。湿度的模拟几乎是整层偏湿, 偏差值在 700 hPa 以上随高度迅速减小。在纬向风的模拟方面, 除 1000 hPa 模拟的西风略偏强外, 850—150 hPa 模拟的西风均偏弱, 差值的绝对值在 400 hPa 以下不超过 1 m/s, 150 hPa 处超过 3 m/s。

从图 1 可以看出, 各要素模拟场和分析场的差值总体都较小, 且差值随高度的分布在 1997 和 1998 年是非常相似的, 都具有低层偏暖偏湿和高层西风偏弱等特征, 这表明模式大气可能存在着系统性误差。将图 1 与 Lee<sup>[12]</sup> 和李巧萍<sup>[15]</sup> 文中的误差图表相比较, 可见误差分布特征是相似的, 这种误差的产生是否同他们所推测的与模式对青藏高原地形的处理有关, 还有待进一步探讨。

鉴于以上分析,为了突出这两年的差异和减小数值模拟的系统性误差,本文采用对比模拟场差场和 NCEP 再分析场差场的方式来分析区域气候模拟的效果。

### 3.1 500 hPa 位势高度场的模拟

在对流层中部 500 hPa 高度场上,冬季影响东亚地区天气气候的最主要系统是东亚大槽,槽后的西北气流频繁引导冷空气南下,使中国东部及沿海地区气温下降,北风增强。从模拟的 500 hPa 高度差值场上可见(图 2a),中国东北至日本海是负差值区,亚洲大陆的大部分地区为正差值区,反映了 1998 年冬季东亚大槽和中西伯利亚脊均偏强,表明 1998 年冬季风较 1997 年强。图中还显示出正距平脊线在 30°N 附近,正负差值区均向东西方向水平伸展,形成中高纬度南高北低型的分布,使 1998 年

东北和华北东部的西风风速加强。此外,在图中 20°N 以南的副热带地区是另一个呈东西向伸展的负距平带,表明 1998 年副热带高压偏弱,同时这个负距平带与中纬度的正距平带形成了一个与 500 hPa 平均高度场相反的南北向梯度,使 1998 年南支西风风速减弱。

与用再分析场得到的高度差值场(图 2b)相比,可以看出,模式能够较好地模拟出 1997 和 1998 年 500 hPa 高度场的主要差异,模拟的正负差值中心的位置也与实际基本一致,用式(1)计算出的空间相关系数高达 0.96。主要不足是东亚大槽模拟得偏强,槽线也伸展得偏南,而位于中纬度的脊线东伸得不够,位于四川的正差值中心未能模拟出来,这些使得 1998 年影响中国东部沿海的冷空气强度被过高地估计。

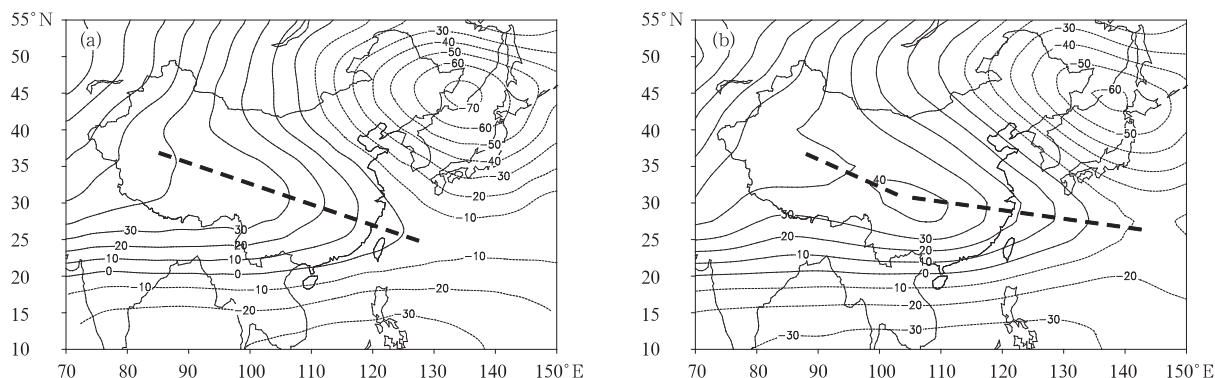


图 2 冬季 500 hPa 位势高度差值场(1998 年-1997 年)(a. RegCM\_NCC 模拟场, b. NCEP 再分析场;单位:gpm)

Fig. 2 Differences of 500 hPa geopotential heights (gpm) of 1998 minus 1997 winter

(a. RegCM\_NCC simulation, b. NCEP/NCAR reanalysis)

### 3.2 海平面气压场的模拟

图 3 显示的是数值模拟与观测得出的海平面气压差值场。从模拟的海平面气压场(图 3a)上可见,中国东北及以东地区是负差值区,负差值中心在鄂霍次克海南部,而蒙古冷高压的位置(40°—55°N, 80°—110°E)是正差值区,超过 2 hPa 的正中心区覆盖中国西北及蒙古西南部,表明大陆冷高压 1998 年比 1997 年强。模式也较好地模拟出在 ENSO 暖、冷事件强盛期低纬度海平面气压场的差异,特别是位于菲律宾海的负距平中心是 1997 年菲律宾海距平反气旋的反映。该反气旋是 Wang 等<sup>[9]</sup>提出的太平洋—东亚遥相关的重要一环,是罗斯贝波对西太平洋受抑制对流加热响应的结果。

此外,位于中国南方的正差值区也值得留意,它是图 2 中位于 25°—35°N 的 500 hPa 正差值脊区在海平面气压差场上的反映,在 Wang 等<sup>[9]</sup>对 1958—1998 年 ENSO 暖冷事件下海平面气压距平的合成分析图中也有类似的距平系统。它的存在一方面加强了其南侧南海北部的偏北梯度风,另一方面使长江至黄河下游地区出现了偏南梯度风。

与观测的海平面气压差场(图 3b)相比,模拟场的气压分布特征与再分析场的分析结果基本一致,计算出两者的空间相关系数达到 0.89。但也可以看出,模拟出的鄂霍次克海负值区偏强,长江口附近的正值中心位置偏西,中国东部沿海地区的气压梯度偏大。

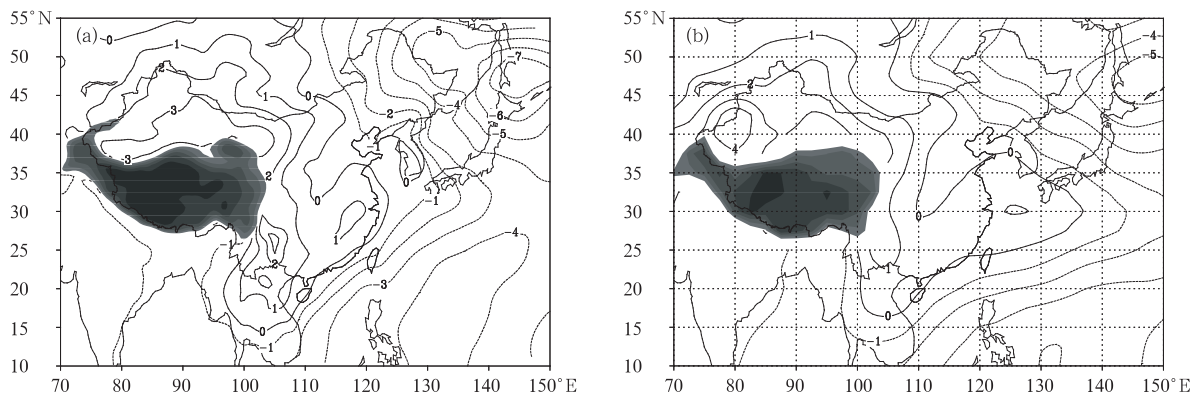


图3 冬季海平面气压差值场(1998年-1997年)

Fig. 3 Same as Fig. 2 but for sea level pressure

### 3.3 850 hPa 风场的模拟

两年冬季风的差异在低层风场上反映得非常清楚。图4a是模拟的1998年与1997年冬季850 hPa差值风场,图中的粗实线是间隔为2 m/s的经向风等值线。差场上东亚地区为偏北风所控制,反映了冬季风在1998年强于1997年。另外,东亚和西太平洋地区有两个气旋性环流,中心位于菲律宾海的气旋性环流 $C_1$ 是El Niño年由太平洋-东亚遥相关强迫出的菲律宾海距平反气旋的反映。对1997年来说,它加强了华南和南海中北部的偏南风,有利于低纬暖湿气流向北输送,增加了华南地区的降水。另外一个气旋性环流 $C_2$ 位于日本北海道附近,它是1997年冬季东亚大槽减弱的反映。在这两个气旋性环流之间,东亚中纬度出现一个反气旋性脊区,由于脊线以南地区两年的风向相反(1997年是西南

风,1998年是东北风),使得经向风的差值在该地区更明显。

与NCEP再分析资料得出的风场(图4b)相比,模式较好地模拟出两年冬季850 hPa差值风场的基本特征,特别是东亚和西太平洋地区的气旋和反气旋性环流系统都得到反映。不足之处是差场上偏北风模拟得偏强,菲律宾海的气旋性环流中心模拟得略偏北。

综上所述,区域气候模式不仅可以模拟出两年500 hPa东亚大槽、地面蒙古冷高压和850 hPa偏北风等东亚冬季风系统的强度差异,而且鉴于1997年和1998年分别是典型的El Niño和La Niña年,模式也较好地模拟出与ENSO事件相联系的菲律宾海气旋性差值环流等大气低层特征。

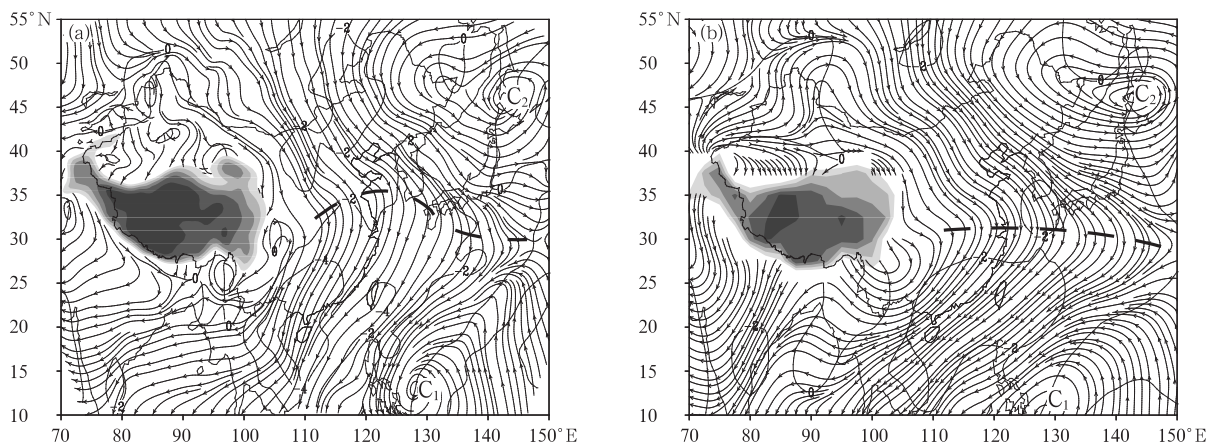


图4 冬季850 hPa差值风场的流线和经向风分量等值线(1998年-1997年)(a. RegCM\_NCC模拟场, b. NCEP再分析场)

Fig. 4 Same as Fig. 2 but for the flow field of differences of 850hPa winds and its meridional wind components (m/s; solid line)



### 4 对两年冬季气温和降水差异的模拟

#### 4.1 地面气温的模拟

地面气温是冬季气候模拟和预测的一个基本要素。由模拟场和再分析场得出的 1998 与 1997 年冬季地面 2 m 高度上的气温差值场(图 5)可以看出,模拟场和实况场的分布总体上来说是相似的(计算出的空间相关系数为 0.55)。模拟出的结果既较好地显示出 1998 年东亚大部分地区冬季气温比 1997 年高,又揭示出气温受 ENSO 事件影响最明显的区域是东亚沿岸和中南半岛。模拟的主要偏差是由于 1998 年东亚大槽模拟的偏强偏深(图 2),造成中国东部沿海负值区数值偏大和位置偏西。

值得指出的是,1997 年中国冬季气温距平为正常略偏高,而 1998 年中国大多数地区气温距平偏高 1—2 °C,这导致了 1998 年与 1997 年的气温差值场为正。1998/1999 年是 La Nina 年,亚洲大陆却是一个超强暖冬,这是与多数 La Nina 年的气温距平符号相异的。已有的一些统计研究和数值模拟表明,中国东部地区气温在多数 El Niño 年为正距平,多数 La Nina 年为负距平,概率为 70%—75%<sup>[19-20]</sup>。图 6 给出了用 NCEP 资料分析的 1998 年 1000—500 hPa 的厚度场距平,基准为 1971—2000 年 30 a 的平均。明显可见,该年冬季几乎整个亚洲大陆都是正距平,中国上游地区正距平特别显著,距平中心在威海附近,达 70 gpm。因此可以认定,1998 年的

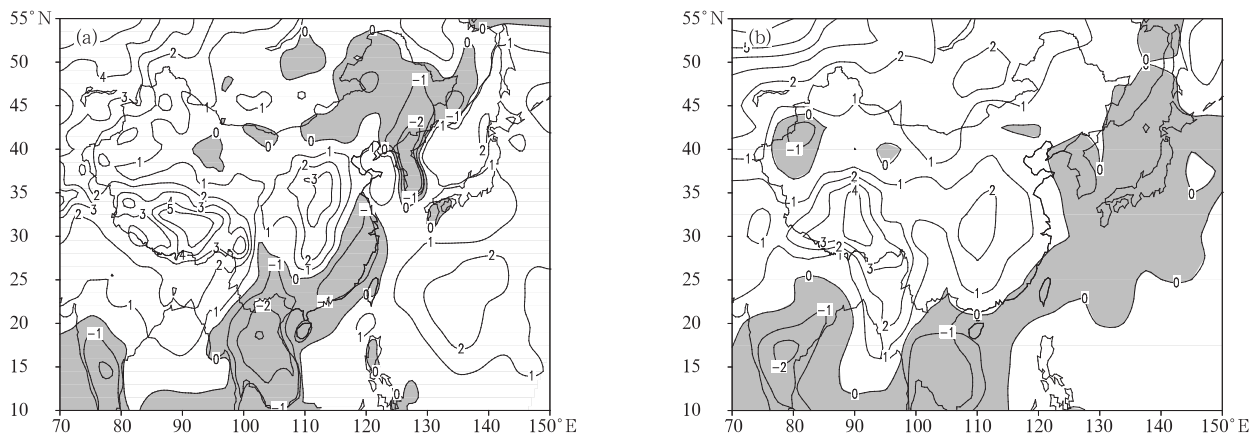


图 5 冬季平均的地面气温差值场(1998 年—1997 年)

(a. RegCM\_NCC 模拟场, b. NCEP 再分析场;单位: °C;阴影区表示气温差值小于 0 °C)

Fig. 5 Same as Fig. 2 but for differences of the winter mean surface temperature (at 2 m, °C) with negative values shaded

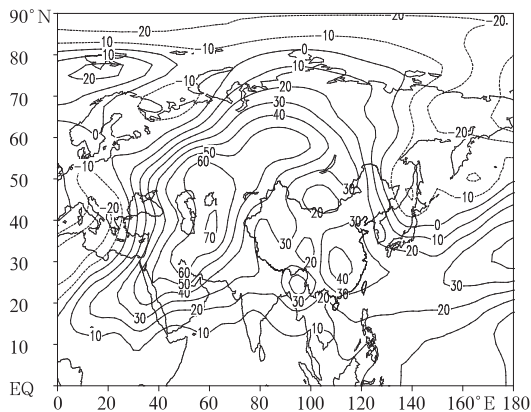


图 6 1998 年冬季 1000—500 hPa 厚度场距平(单位: gpm)

Fig. 6 Anomalies of the 1000—500 hPa thickness (gpm) in the winter of 1998 in the NCEP/NCAR reanalysis

暖冬同王会军等<sup>[21]</sup>研究的另一个超强暖冬 2002 年一样,是与整个北半球西风带大气环流异常相联系的。从图 6 还可以看出,1998 年异常的西风带环流型,使西风带锋区偏北,贝加尔湖至巴尔喀什湖一带的温度梯度减小,从而使冷平流减弱,有利于中国北方地区气温偏暖。而长江中游 40 gpm 的正中心是由于 La Nina 年 Hadley 经圈环流加强,有利于下沉运动增温的结果。

为了进一步了解模式对东亚冷空气过程的模拟能力,我们在模式范围内选取了 3 个区域,分别代表华南(20°—27.5°N, 105°—120°E)、长江中下游(27.5°—35°N, 105°—120°E)和华北(35°—42.5°N, 105°—120°E),分析了这 3 个区域平均地面气温的逐日变化。图 7a、c 分别是 1997 年冬季模式模拟的

和 NCEP 再分析的结果,实线、长虚线和短虚线分别表示华南、长江中下游和华北区域,可见 1997 年冬季的 7 次明显降温过程,模拟场都能较好地反映,每次过程最低温度出现的时间也与再分析资料相

近,特别是冬季最冷的时段(1 月 16—26 日)也正确地模拟出来。同样,1998 年冬季的 8 次强降温过程也都能很好地模拟出来,模拟资料和再分析资料都表明最冷的时段是在 1 月 6—16 日(图 7b、7d)。

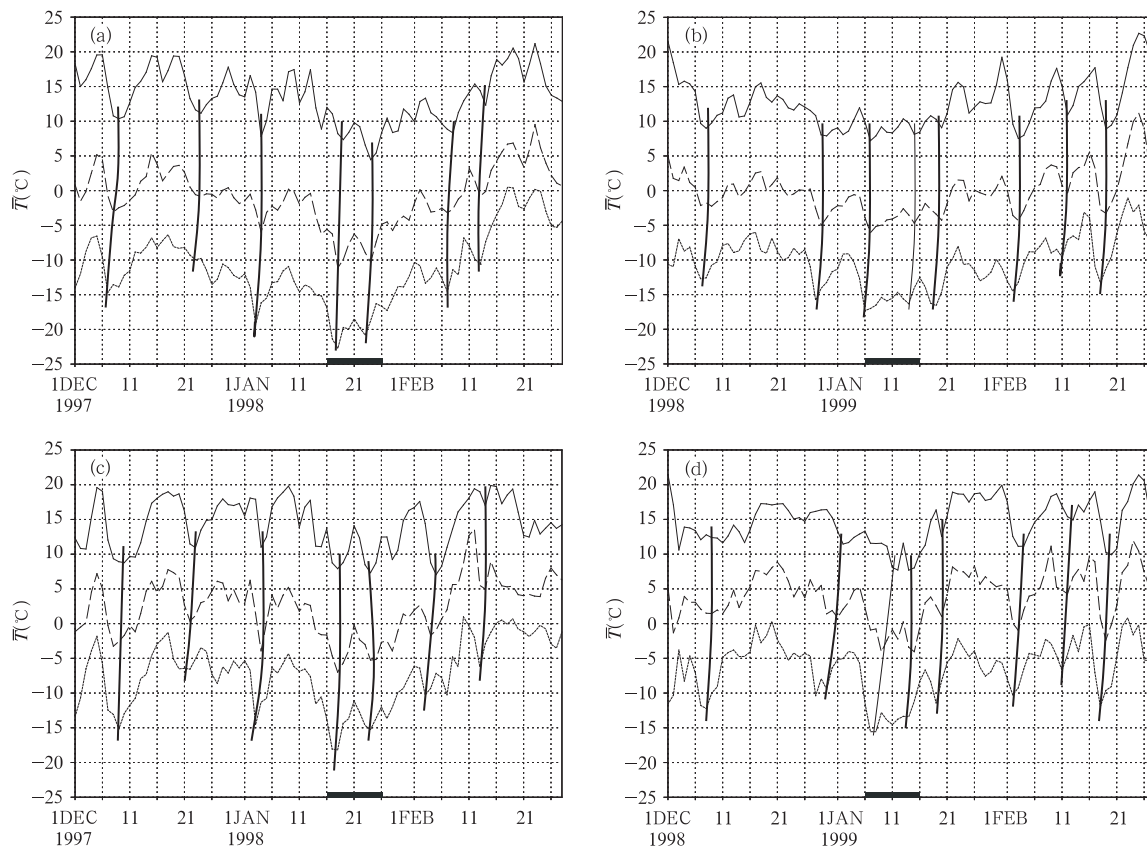


图 7 冬季区域平均的日平均气温随时间的变化

(单位:  $^{\circ}\text{C}$ , 华南、长江中下游和华北区域分别用实线、长虚线和短虚线表示,横坐标上的黑色区域表示冬季最冷的时段;

a. 1997 年模拟, b. 1998 年模拟, c. 1997 年 NCEP 再分析, d. 1998 年 NCEP 再分析)

Fig. 7 Time series of daily mean air temperature in three sub-regions

(a/b simulation for 1997/1998, c/d. NCEP/NCAR reanalysis for 1997/1998, respectively; solid line; South China, dash line; the mid-lower Yangtze River basin, dot line; North China; thick black line segment on the abscissa; the coldest period of each winter)

#### 4.2 降水场的模拟

ENSO 冷、暖事件及与之相关的东亚地区截然不同的环流形势对中国冬季降水有明显影响。1997 年冬季位于 El Niño 事件的成熟期,东亚冬季风减弱,长江以南和南海北部低层有明显的偏南风,同时南支西风带上扰动活跃,使长江以南地区降水明显偏多,最大降水超过 500 mm。而 1998 年冬季处在 La Nina 事件的成熟期,东亚冬季风增强,副热带高压偏弱,中国南方地区低层受稳定的偏北气流控制,中国大部地区降水偏少(图 8c、d)。

图 8a、b 分别是区域气候模式模拟的 1997 和

1998 年冬季的累计降水量,可见模式能够给出中国冬季主要降水带位置,也能较好地模拟出南方地区 1997 年的降水量远大于 1998 年。主要偏差是西南和北方地区模拟的降水量偏大,1997 年位于江西、浙江的降水中心位置模拟得偏西。

#### 5 对冷涌强度和频率的模拟

冷涌是冬季风期间中高纬度大陆冷空气突然向南爆发,引起南海地区及西北太平洋低层北风加强、气温降低的现象,模式对冷涌的模拟效果是衡量冬季风模拟能力的重要指标。

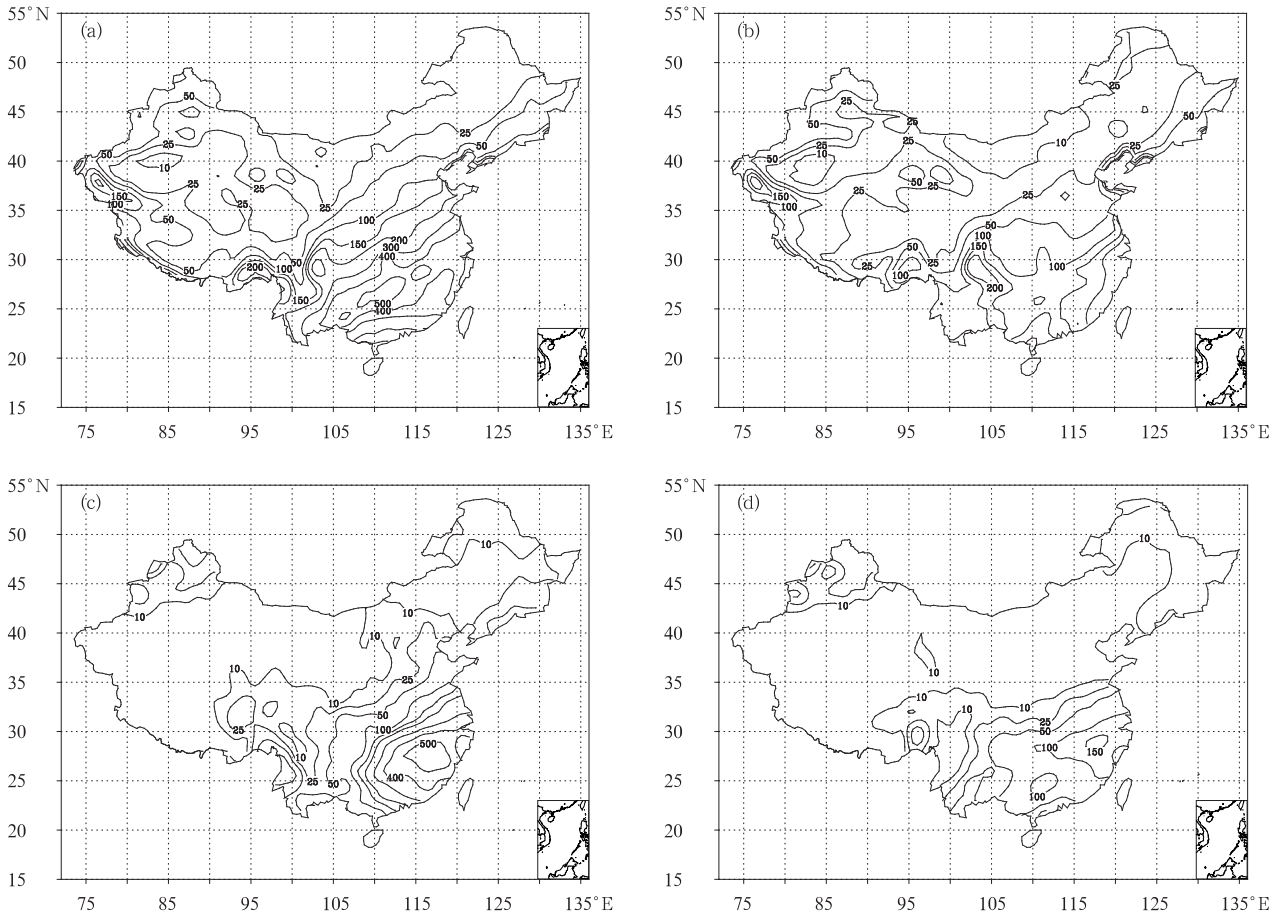


图 8 中国大陆冬季降水量分布

(a. 1997 年模拟场, b. 1998 年模拟场, c. 1997 年实况, d. 1998 年实况;等值线分别是 10、25、50、100、150、200、300、400、500 mm)

Fig. 8 Winter precipitation (mm) in China mainland (a/b simulation for 1997/1998, c/d observation in 1997/1998, respectively)

### 5.1 1000 hPa 风场的模拟

冷涌的基本条件必须是大气近地面层为北风,而且北风应有一定的强度和持续性。一些统计分析表明,中国南海、菲律宾群岛以东的西太平洋和孟加

拉湾地区是 3 个主要的冷涌区,也是平均北风较强的区域。这 3 个冷涌区在模拟的 1000 hPa 风场上都有较好反映,模式较好地模拟出从日本海经过东海一直延伸到南海地区较强的北风带。从两年的

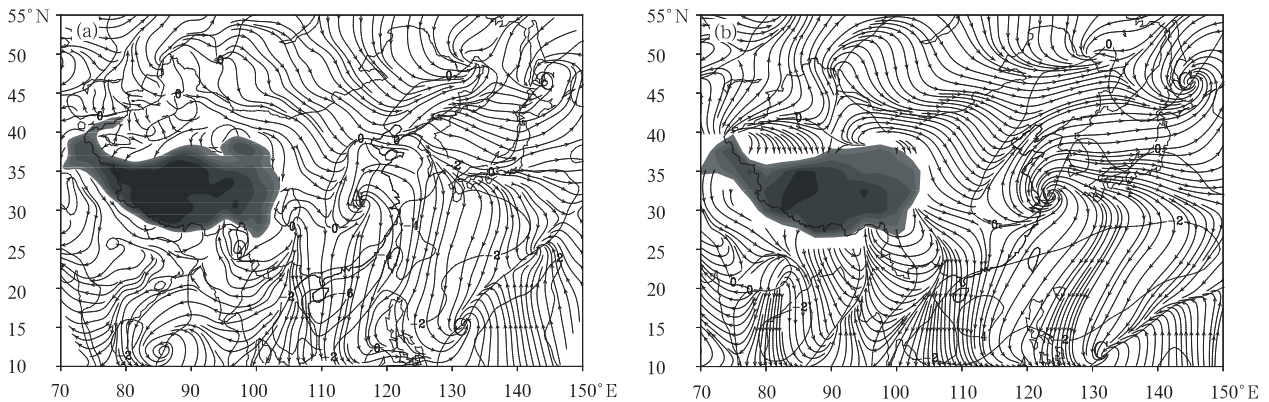


图 9 同图 4, 但为 1000 hPa

Fig. 9 Same as Fig. 4 but for 1000 hPa winds



1000 hPa 差值风场和经向风分量等值线分布图上(图 9a)可以看出,在上述 3 个区域 1998 年的北风均强于 1997 年,这些结果与 NCEP 资料的差场分析(图 9b)是基本一致的。不足之处是由于中国东部沿海地区海平面气压梯度模拟得偏大,使得东海和南海北部的北风模拟得偏强。

对比 1000 hPa 差值风场与 850 hPa 风场(图 4),发现虽然两者有许多相似之处,如东亚大部分地区是偏北风,在菲律宾海和日本北海道附近各有一个气旋性环流,但图 9 在相应 850 hPa 脊线上出现一个闭合的反气旋性环流,该环流中心与海平面气

压场(图 3)上位于 30°N 附近的正值中心相吻合,它使得 1998 年中国华北和东北东部地区地面偏北风减弱,而低纬地区的偏北风加强。

## 5.2 冷涌频率的模拟

关于冷涌的定义目前尚无统一标准,参照丁一汇的讨论<sup>[22]</sup>,这里选北风风速  $\geq 5$  m/s 视为出现冷涌。区域气候模式模拟的两年 1000 hPa 强北风出现的高频区都位于东亚沿海地区,从日本海经东海一直到达南海,最高频率超过 60%,在菲律宾群岛以东的西太平洋和孟加拉湾也各有一条北风活跃带,但频数比东亚沿海的要弱(图略)。

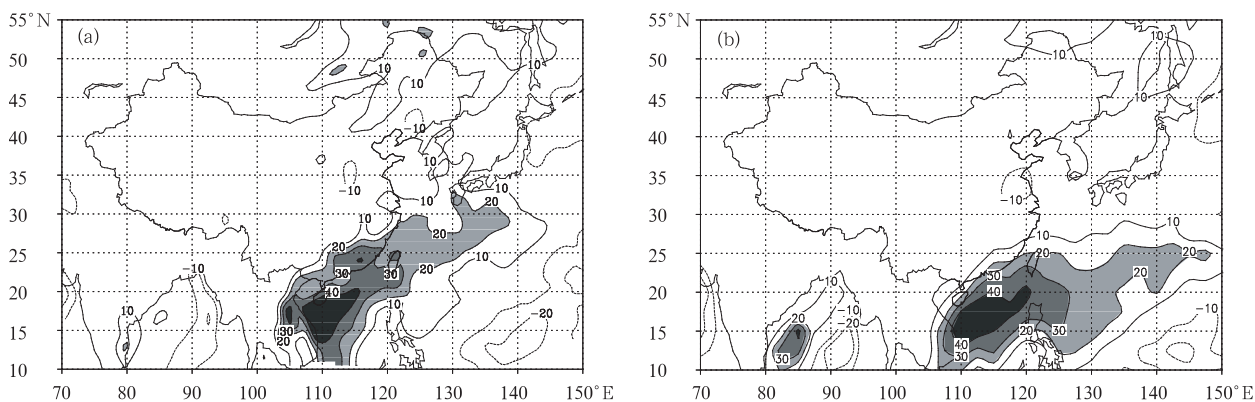


图 10 冬季 1000 hPa 北风大于 5 m/s 的频率差值场(1998 年-1997 年)

(a. RegCM\_NCC 模拟场, b. NCEP 再分析场;阴影区表示差值大于 20%)

Fig. 10 Frequency differences of the 1000 hPa strong north winds ( $>5$  m/s) of 1998 minus 1997, and those of above 20% are shaded (a. RegCM\_NCC simulation, b. NCEP/NCR reanalysis)

图 10a 是 1998 年减 1997 年的强北风频率差场。由图可知,在南海和华南地区,1998 年强北风频数明显高于 1997 年,在中国东北北部、日本岛以南海面及孟加拉湾西部也是如此,而在日本岛以东海面、孟加拉湾东部及黄河下游部分地区,1998 年强北风频数要略低于 1997 年,模拟结果与图 10b 显示的用再分析资料得出的结果相当一致。

## 6 结论和讨论

本文选取强 El Niño 年(1997/1998 年)和强 La Niña 年(1998/1999 年)作为典型个例,用中国国家气候中心的区域气候模式(RegCM\_NCC)对东亚冬季风进行了模拟,结合同期 NCEP 再分析资料,对两年模拟的结果进行了对比分析,得到以下主要结论。

(1) 模式不仅从 500 hPa 东亚大槽、地面蒙古

冷高压和 850 hPa 东亚风场等方面,模拟出 1998/1999、1997/1998 年两年冬季风系统的强度差异,而且也模拟出与 ENSO 事件相联系的菲律宾海气旋性差值环流等低层系统,表明区域气候模式对 ENSO 暖、冷事件下东亚冬季风的差异有较好的模拟能力。

(2) 数值模拟能够再现中国南海、菲律宾群岛以东的西太平洋和孟加拉湾 3 个主要的冷涌区,以及冷涌在两年不同海温和环流背景下发生频数的变化,模拟结果与用再分析资料得出的结果相当一致。

(3) 模拟结果能较好地反映两年冬季中国气温的空间分布特征,模拟出的冷空气过程、最冷时段出现时段与实际基本相符,模拟的主要降水带位置也与实况接近,特别是能够较好地模拟出中国南方地区 1997/1998(1998/1999)年冬季异常多(少)的降水量,说明该区域气候模式对 ENSO 事件下中国冬

季气候有一定的模拟技巧。

虽然模式的总体性能是较为满意的,一些系统性误差可以通过差场分析方法部分地消除,但分析中也发现在形势场的模拟中存在 1998/1999 年东亚大槽模拟得偏深、东亚沿海海平面气压梯度偏大等不足,要素场模拟中也反映出中国北方地区模拟的降水量偏大,这些不足表明模式中的物理过程有待进一步改进。

中国冬季气候的年际变化是西风带大气环流、与热带海洋相联系的大气遥相关及地-气相互作用等因素共同影响的结果。气候系统是非常复杂的,虽然统计研究表明,中国东部地区气温在多数 El Niño 年为正距平,多数 La Nina 年为负距平,但发生在过去 50 a 中最为典型的两个暖冬 2001/2002 年和 1998/1999 年都不对应着 El Niño 年,后者甚至是强 La Nina 年。郭其蕴<sup>[23]</sup>在分析东亚冬季风强度与中国气温异常的关系时也曾指出,尽管冬季风活动与中国气温变化有密切关系,但用冬季风指数去拟合中国北方冬季气温的效果并不令人满意,这表明还有其他因子在起作用。本文的分析进一步表明,单纯利用 ENSO 指数或者冬季风指数用统计方法预测冬季气温距平是不够的,区域气候动力模式由于内在地包含不同气候影响因子间的非线性相互作用,其预报能力可能优于统计预报。此外,本文的结果也显示,区域气候模式对大气环流场的模拟能力要强于对降水、温度等要素场的直接模拟,因此,为了进一步提高短期气候数值预测业务的水平,在今后的工作中除了需要不断改进数值模式和初边值处理方法外,还应加强短期气候数值模式结果的统计释用工作。

## 参考文献

- [1] Ding Y, Krishnamurti T N. Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Mon Wea Rev*, 1997, 115: 2428-2449
- [2] 朱乾根,施能,吴朝晖等. 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系. *气象学报*, 1997, 55(6): 750-757
- [3] 陈海山,孙照渤. 欧亚积雪异常分布对冬季大气环流的影响 I: 观测研究. *大气科学*, 2003, 27(3): 304-316
- [4] 武炳义,黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风. *大气科学*, 1999, 23(6): 641-651
- [5] 李崇银. 频繁的东亚大槽活动与 El Niño 的发生. *中国科学(B)*, 1998, 28(6): 667-674
- [6] 穆明权,李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息. I: 观测资料分析. *大气科学*, 1999, 23(3): 276-285
- [7] 陶诗言,张庆云. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. *大气科学*, 1998, 22(4): 399-407
- [8] 陈文. El Niño 和 La Nina 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. *大气科学*, 2002, 26(5): 595-610
- [9] Wang B, Fu X. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J Climate*, 2000, 13: 1517-153
- [10] 布和朝鲁,纪立人. 东亚冬季风活动异常与热带太平洋海温异常. *科学通报*, 1999, 44(3): 252-259
- [11] Bueh Cholaw, Ji Liren. The ocean-atmosphere coupled regimes and East Asian winter monsoon (EAWM) activity. *Adv Atmos Sci*, 1999, 16(1): 91-106
- [12] Lee D K, Suh M S. Ten-year east Asian summer monsoon simulation using a regional climate model (RegCM2). *J Geophys Res*, 2000, 105(D24): 29565-29577
- [13] Liu Y, Ding Y. Simulation of heavy rainfall in the summer of 1998 over China with regional climate model. *Acta Meteor Sinica*, 2002, 16(3): 348-362
- [14] Wang Y, Sen O, Wang B. A highly resolved regional climate model (IPRC-RegCM) and its simulation of the 1998 severe precipitation event over China. Part I: model description and verification of simulation. *J Climate*, 2003, 16: 1721-1738
- [15] 李巧萍,丁一汇. 区域气候模式对东亚季风和降水多年的模拟与性能检验. *气象学报*, 2004, 62(2): 140-153
- [16] 丁一汇,钱永甫,颜宏等. 高分辨率区域气候模式的改进及其在东亚持续性暴雨事件模拟中的应用//国家“九五”重中之重项目执行专家组编. 短期气候预测业务动力模式的研制. 北京:气象出版社, 2000. 217-231
- [17] 丁一汇,张晶,赵宗慈. 一个改进的陆面过程模式及其模拟试验研究第二部分:陆面过程模式与区域气候模式的耦合模拟试验. *气象学报*, 1998, 56(3): 385-400
- [18] Pan Z, Christensen J H, Arritt R W, et al. Evaluation of uncertainties in regional climate change simulations. *J Geophys Res*, 2001, 106(D16): 17735-17751
- [19] 李崇银. 中国东部地区的暖冬与厄尼诺. *科学通报*, 1989, 34(4): 283-286
- [20] 陈受钧. 厄尼诺与东亚暖冬的数值模拟. *气象学报*, 1995, 53(3): 380-384
- [21] 王会军. 2002 年亚洲北部的超强暖冬事件及其超常大气环流. *科学通报*, 2003, 48(7): 734-736
- [22] 丁一汇. 东亚冬季风的统计研究. *热带气象*, 1990, 6(2): 119-127
- [23] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系. *应用气象学报*, 1994, 5(2): 218-225

## NUMERICAL SIMULATION OF EAST ASIAN WINTER MONSOON WITH ENSO EPISODES USING A REGIONAL CLIMATE MODEL

He Xicheng<sup>1,2</sup> Li Qiaoping<sup>3</sup> Ding Yihui<sup>4</sup> He Jinhai<sup>1</sup>

1 *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*

2 *Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080*

3 *Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029*

4 *National Climate Center, Beijing 100081*

### Abstract

Taking the strong El Niño episode in the winter of 1997/1998 and strong La Nina episode of 1998/1999 as typical cases, the work conducts numerical simulations of the East Asian winter monsoon using the regional climate model (RegCM\_NCC) of the National Climate Center of China, which has 16 vertical levels, a 60 km horizontal resolution and a domain size of  $151 \times 99$  grid points. The initial atmospheric conditions and lateral boundary data are from the NCEP/NCAR Reanalysis dataset. Lateral boundary conditions are provided every 12 hour via a relaxation method. The weekly optimum interpolations OI SST. v2 data are linearly interpolated into daily values.

The model was initialized on November 1 and integrated up to the end of February for the two winters. Impacts of ENSO events on the East Asian winter monsoon are investigated by analyzing the differences of the winter meteorological fields between 1998/1999 and 1997/1998. Results show that the model not only reproduces well differences of East Asian winter monsoons in the two winters, especially in the main features related to 500 hPa East Asian trough, subtropical high, surface cold high over Mongolia and 850 hPa wind field, but also reveals the features of low level circulation that are believed to be closely related to ENSO events. The simulations can also capture the variation of cold surge genesis in the different background of SST and atmospheric circulation in the two seasons, as well as the three high frequency regions of cold surge occurrence over the South China Sea, the western Pacific Ocean east to Philippines and the Bay of Bengal. It's implied that the RegCM\_NCC has certain capability in the simulations of the impacts of ENSO events on East Asian winter circulations.

Moreover, the comparisons of some climate fields between observation and simulation reveal that the simulation gives realistic spatial distribution of seasonal averaged air temperature, the periods linked with cold waves, the position of the rain belt and the extremely abundant (scarce) rainfall in 1997/1998 (1998/1999) winter, indicating that the regional climate model enjoys some level of skill in simulating winter climate variability in China under ENSO episodes.

The shortcoming of the simulation include over-prediction of the strength of the East Asian trough in 1998/1999 winter, and overestimated sea level pressure gradient at the coast area and rainfall in the northern part of China, which means that improvement in the associated physical processes within the model is desirable in the future.

**Key words:** Winter monsoon, ENSO events, Regional climate model, Numerical simulation.