

一个海气耦合模式对东亚夏季气候预测潜力的评估

秦正坤^{1,2} 孙照渤¹ 林朝晖² 陈红² 罗京佳³

1 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

2 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

3 Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan

摘 要 利用一个具有较高分辨率的海气耦合模式 SINTEX-F (Scale Interaction Experiment-Frontier Research Center for Global Change coupled GCM) 的多年回报结果, 评估了该海气耦合模式对东亚区域, 尤其是中国地区气候异常的预测潜力。与观测实况的比较结果表明: SINTEX-F 模式对夏季降水、500 hPa 高度场和地表气温都有一定的预测技巧, 但是相比而言降水与高度场的回报技巧要高于地表气温; 而且耦合模式对东亚地区气候异常的主要空间分布和年际变化特征也有较好的预测潜力, 对 500 hPa 高度场效果较好; 对降水异常的年际变化也有一定的预测潜力, 尤其是我国中部地区效果较好, 但是模式预测的降水异常的幅值较观测相对偏弱; 此外对我国西部的极端气候也有一定的预测潜力。

关键词 海气耦合模式 夏季气候异常 季度预报 预测潜力

文章编号 1006-9585 (2007) 03-0426-11 **中图分类号** P435 **文献标识码** A

Evaluation on Potential Predictability of Summer Climate over East Asia by an Air-Sea Coupled Model

QIN Zheng-Kun^{1,2}, SUN Zhao-Bo¹, LIN Zhao-Hui², CHEN Hong², and LUO Jing-Jia³

1 Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 International Center for Climate and Environmental Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan

Abstract By using secular ensemble hindcast results of a high resolution air-sea coupled model SINTEX-F (Scale Interaction Experiment-frontier Research Center for Global Change coupled GCM), the potential predictability of the coupled model on climate anomaly of East Asia (EA), especially of China is evaluated. Results show that the SINTEX-F has some skill in predicting summer rainfall, geopotential height at 500 hPa and surface air temperature, but the skill of surface air temperature is relative lower. The comparison between observation and hindcast shows that the coupled model can reproduce well the most spatial features of EA abnormal climate and its evolution, especially for geopotential height at 500 hPa. The model has relative high potential predictability on annual variation of summer rainfall anomaly in the middle of China, but the magnitude of the hindcast result is relative weak; there also has some potential predictability on extreme climate over the west of China.

收稿日期 2007-03-15 收到, 2007-04-20 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40575040、40221503 和中国科学院创新团队国际合作伙伴计划项目“气候系统模式研发及应用研究”

作者简介 秦正坤, 男, 1979 年出生, 博士研究生, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: qzk_0@mail.iap.ac.cn

Key words air-sea couple model, summer climate anomaly, seasonal prediction, potential predictability

1 引言

随着世界经济的快速发展,气候的年际变化导致的各类自然灾害对社会发展和人民生活的影响日益严重。因此,短期气候预测的研究得到越来越多的重视,并已经成为了世界气候研究计划(WCRP)的中心问题之一^[1],为此国际上也启动了诸多相关研究计划,如 PROVOST、DEME-TER 等^[2,3]。就全球而言,绝大多数的人口均居住于受季风影响的区域,而季风区强烈的年际变化导致了该地区气候灾害更为频繁,季风区气候异常的预测问题也就更为重要,因此世界气候研究计划(WCRP)2005~2015 年战略框架——地球系统的协调观测和预报(COPES)也明确将提高季风区季度预报的水平做为其主要目标之一^[4]。

早在 1989 年,中国科学院大气物理研究所(IAP/CAS)率先利用自行研制的大气环流模式进行了跨季度汛期降水预测试验并获得了成功^[5]。随后在此基础上经过不断完善和发展,建成了可供业务使用的 IAP 短期气候数值预测系统,并成功地应用于中国夏季旱涝的实时预测实践中^[6~8]。与此同时,国内外科学家也纷纷开展短期气候预测方面的研究,如国家气候中心也利用大气环流模式进行了中国地区的汛期降水预测试验^[9]。总体说来,这些研究大都是先利用海气耦合系统预测出热带太平洋地区海表温度异常(SSTA),然后再利用预报出来的海温异常驱动大气环流模式进行大气状态异常的预测,亦即所谓的两步法^[10]。与此同时,也有不少研究机构开始直接利用海气耦合模式开展短期气候异常的预测试验^[3,11]。

虽然利用大气模式(AGCM)对东亚季风气候异常的预测取得了一定的成功,但是 Wang 等^[12]通过分析多个大气模式的模拟结果发现,在热带西北太平洋和孟加拉湾的季风区,在观测海温强迫驱动下,大气环流模式很难准确预测大气的观测异常,并指出直接利用海气耦合模式进行预测可能是提高东亚地区气候预测水平的重要途径。现阶段利用海气耦合模式对我国夏季气候异

常的预报也有一些初步的工作,如李清泉等^[13]利用国家气候中心海气耦合模式的单次回报效果,考察了该模式对中国夏季气候的跨季度预测能力。

本文将利用具有较高分辨率的复杂海气耦合模式 SINTEX-F 多年的集合回报试验结果,分析该耦合模式对东亚地区气候异常的预测潜力,给出起报时间对该模式预测潜力的影响,同时试图考察该模式对东亚地区极端降水和气温的模拟和预报能力,从而为将来利用该耦合模式开展东亚地区短期气候预测提供理论依据。

2 SINTEX-F 模式简介及回报试验介绍

2.1 模式简介

SINTEX-F 模式是由欧洲的 SINTEX 模式发展而来的全球海气耦合模式^[14~16]。该耦合模式的海洋部分为 OPA (Ocean Parallelise) 的 8.2 版本。模式的水平分辨率为 2° 的麦卡托网格,并且经向分辨率随着纬度减小而增加,赤道地区经向分辨率接近 0.5° ,垂直为 31 层 z 坐标,其中有 19 层在 400 m 以上。模式采用自由表面^[17],利用一个 1.5 层的湍流闭合方案来计算垂直的涡动扩散系数和粘性系数^[18],其他的模式物理过程和参数化设计可见文献 [19]。

大气模式采用的是 ECHAM4 的 T106 版本^[20],垂直采用 σ -压力混合坐标,一共 19 层,其中有 4~5 层在行星边界层内。模式还包括了一个 5 层的陆面模式,主要考虑土壤水分和陆地雪盖的影响。模式其他的物理过程,例如对流参数化方法、辐射方案等可见文献 [21, 22]。

海洋和大气模式的交换量主要是表面的热通量、水汽通量等,主要是通过 OASIS 2.4 (Ocean Atmosphere Sea Ice Soil) 耦合器^[23]进行,每 2 h 交换一次。耦合模式没有经过任何通量调整,只是海冰用观测的月平均气候值代替。

模式的长期数值模拟结果表明:该模式能够很好地模拟 ENSO 的变化特征,包括异常量级、3~5 年的周期和海温异常的经向宽度等^[14~16, 24]。通过改进耦合的物理过程, Luo 等^[25]还消除了耦

合模式普遍存在的热带太平洋冷舌偏西的偏差, 热带西太平洋暖池的偏干现象也得到了进一步的改善, 在热带西太平洋的 ENSO 信号和北太平洋的遥相关特征也得到了更为真实的模拟。最近的预测研究还表明该耦合模式对印度洋也有较好的预测效果, 能够很好地预测出印度洋偶极子的变化特征^[26]。

2.2 回报试验设计

利用该耦合模式, Luo 等^[26]已经进行了多年的集合回报试验。模式回报的初始扰动场是由不同的海表风应力计算形式和张弛逼近的时间尺度组合而成的, 分别考虑 3 种不同的海表风应力计算形式、3 种不同的海温张弛逼近的时间尺度, 则构成了 9 个初始扰动场。根据回报提前的时间不同, 对每个季节, 按不同的起报时间可以分别有提前 1、2、3 和 4 个月总共 4 组集合回报结果。对于本文所分析的夏季 (JJA) 预测潜力而言, 按照回报起始时间的不同将试验分为 H1、H2、H3、H4, 分别代表起报时间为 3 月 1 日、4 月 1 日、5 月 1 日、6 月 1 日的情形, 对于每组集合后回报试验而言, 均有 9 个不同的集合样本。本文主要分析模式对东亚夏季气候异常的预测潜力, 表 1 给出了夏季各次回报的简要情况。模式的回报时间为 1983~2005 年, 这里考虑 9 个初始场集合平均的结果, 并将回报结果统一插值到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的分辨率上作为模式预测值。

本文用于比较的观测资料主要有: 美国 NCEP/NCAR (National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research) 再分析 (Reanalysis-2) 的 500 hPa 高度场和表面 2 m 的气温月平均资料 (1979 年 1 月至 2005 年 12 月), 网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。所用的降

表 1 不同起报时间的集合回报试验设计

Table 1 Design of ensemble hindcast experiment for different lead time

	H1	H2	H3	H4
起报时间	3月1日 0000 UTC	4月1日 0000 UTC	5月1日 0000 UTC	6月1日 0000 UTC
初始资料	观测资料驱动下耦合模式的初始化结果 (1971~1982 年)			
扰动方式	不同风应力计算方式+不同的海温张弛逼近时间			

水观测资料为 CMAP (the Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation)^[27] 提供的再分析月平均资料 (1979 年 1 月至 2006 年 6 月), 分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

模式回报试验的时间长度为 1983~2005 年, 分析的区域主要为包含中国的东亚地区 ($10^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$, $70^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$)。此外, 本文主要考察该耦合模式对夏季气候异常的预报潜力, 分析的变量主要包括夏季降水、地表气温和 500 hPa 高度场。夏季定义为当年 6、7 和 8 月 3 个月的平均。

3 结果分析

3.1 不同起报时间对预测潜力的影响

上面介绍了模式进行的多次不同起报时间的回报试验, 并记为 H1、H2、H3 和 H4。下面我们首先分析一下不同起报时间对模式预测潜力的影响。

图 1 给出了不同起报时间 SINTEX-F 耦合模式对夏季降水、500 hPa 高度场、地表气温的预报能力。距平相关系数 (ACC) 结果表明 SINTEX-F 对 3 个变量都具有一定的预测潜力, 同时起报时间对回报效果也有显著的影响。

从图 1a 可以看出, 就平均而言, H1、H2 的降水回报效果相对偏低, 两者的 ACC 分别为 0.03 和 0.04, 但是当超前时间为两个月时, 回报结果 H3 的平均 ACC 可以达到 0.12, 超前时间为 1 个月的 H4 回报结果回报技巧最高, ACC 为 0.15。图 1b 为 500 hPa 高度场的回报效果比较, 高度场回报的 ACC 平均值变化情况表现出和降水相似的特征, 其中 H1 和 H2 的回报技巧明显偏低, ACC 分别为 0.02 和 0.04, 而 H3 的 ACC 为 0.13, 当超前时间为 1 个月时, 回报技巧达到最高的 0.15。在地表气温的回报平均效果比较中, H3 和 H4 具有更高的预测技巧评分, 在超前 2 个月以上的回报结果 H1 和 H2 中, ACC 的平均值都为负值, 超前 4 个月时, H1 的平均 ACC 为 -0.04, 模式回报技巧较差, 且 H2 的回报技巧还进一步出现了下降, 说明模式对超前 3 个月以上的气温预测潜力明显偏低, 而超前 2 个月以内的 H3 和 H4 则表现出较好的回报技巧, H4 结果具有最高的回报技巧, 其平均 ACC 可以达到 0.12。因此, 所有变量

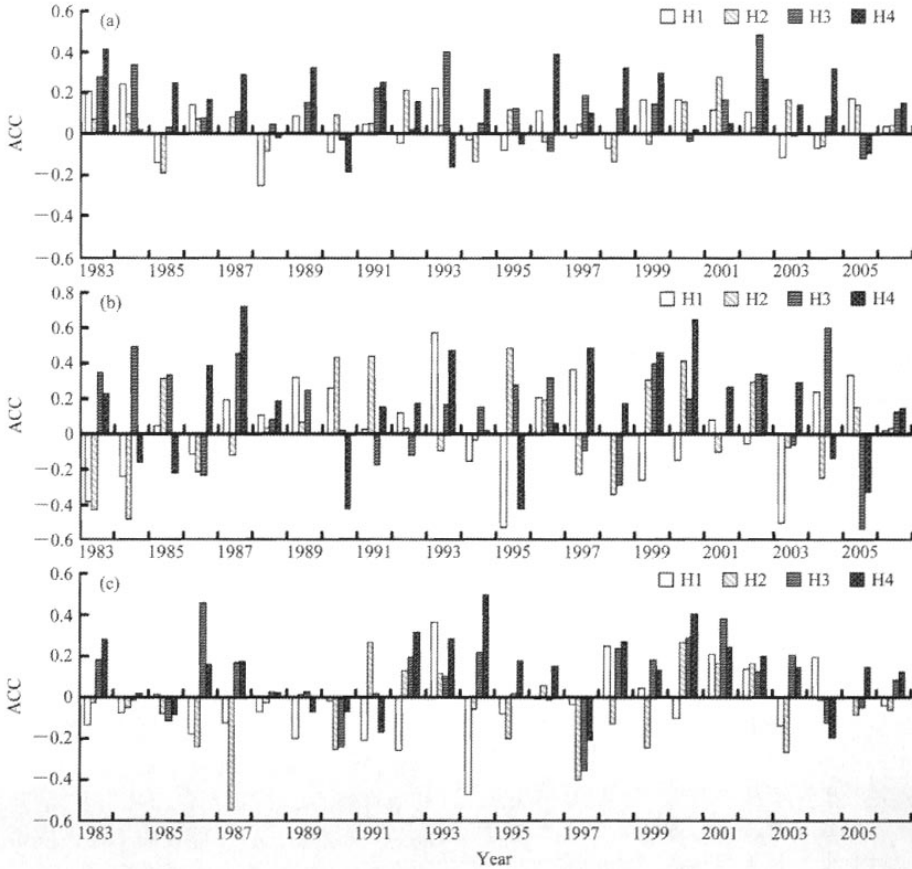


图 1 1983~2005 年不同起报时间回报效果比较：(a) 降水；(b) 500 hPa 位势高度场；(c) 地表面气温

Fig. 1 The comparison of the predictability with different lead time: (a) precipitation; (b) geopotential height at 500 hPa; (c) surface air temperature

回报结果的平均 ACC 比较表明：就 SINTEX-F 模式而言，随着提前时间的缩短回报效果能够不断改善，超前 1 个月的回报效果最好，而且当提前时间为 2 个月以内时效果改善最为明显。

从 ACC 的年际变化情况也可以看出，模式对各个变量不同年份的预报技巧也是不同的。降水的回报结果中可以看到，大部分年份 H3 和 H4 都能表现出明显高于 H1 和 H2 的回报技巧，其中 H3 和 H4 都有 6 年以上的回报 ACC 评分大于 0.2，而 H1 和 H2 中都是低于 3 年；评分在 0.4 以上的年份也都是出现在超前时间小于 2 个月的结果中，比如 1983 年 H4 结果 ACC 可以达到 0.41，而 2002 年 H3 的 ACC 则可以达到 0.48。

与降水回报相比，500 hPa 高度场回报技巧年际变化要明显大于降水。但是对于 4 个不同起报时间的回报结果来讲，23 年中有 17 年超前时间小于 2 个月的 H3 和 H4 结果要好于超前时间大于 3 个月的 H1 和 H2，超前一个月的 H4 结果最高 ACC 甚至可以达到 0.79。

地表气温的 ACC 的年际变化结果与其他变量的结论相似，大部分效果较好的年份出现在超前时间较短的 H3 和 H4 中，而 H1 和 H2 则大部分年份是负的 ACC，而且随着提前时间减少，ACC 能够出现显著变化，比如 1994 年，H1 与 H2 的 ACC 为负值，最低为 -0.469，而 H4 则获得了 ACC 为 0.497 的较大正值。

综上所述，模式 SINTEX-F 对 3 个变量都有

一定的预测潜力, 平均 ACC 比较结果表明模式对夏季 500 hPa 高度场和降水的预测潜力要高于地表气温。就该模式而言, 当提前 2 个月时回报效果就得到了最明显的改善, 提前 1 个月的效果最好。因此, 在实际预测中该模式以提前 2 个月以内为其较好的预测时效。H4 为模式最优的回报结果, 下面就注重分析 H4 的结果。

3.2 平均状况的模拟能力

研究表明模式对大气平均状态的模拟能力显著影响模式的气候异常预测效果^[28], 因此这里检验了模式对夏季降水、500 hPa 高度场和地表气温的平均状况模拟能力, 主要分析提前 1 个月的回报结果, 对变量在 1983~2005 年的观测和回报的平均结果进行比较。

图 2 给出了 1983~2005 年 23 年平均的夏季降水、地表气温和 500 hPa 高度场观测和回报结果。可以明显看出, 模式很好地再现了变量场的平均状况。我国夏季降水的南多北少和中国地区降水纬向带状分布特征都得到了很好的再现, 南部洋面的热带辐合带强降水区也得到了很好的模拟, 孟加拉湾多雨区也能一定程度模拟出来。但是回报结果的量值普遍偏弱, 长江流域回报结果与观测最大偏差可以达到 $3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 我国东北地区的降水回报也略有不足, 大部分东北地区有 $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 的偏少; 对于孟加拉湾的强降水区, 尤其是其北部的强降水区回报则明显偏少, 虽然该地区回报降水空间分布特征与观测相似, 但是量值普遍要比观测低了 $6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。地表气温平均状况模拟效果较好, 模式很好地再现了位于青藏高原的低温中心, 位于新疆地区的低温槽也得到了很好的模拟, 东南地区回报地表气温与观测尤为相近, 夏季平均温度都在 25°C 左右, 只是东北地区温度回报偏低, 与观测相比普遍都有 4°C 的偏低, 在江淮地区地表气温也较观测偏低 4°C 左右。3 个变量中高度场平均状态回报效果最好, 回报结果的等值线分布也与观测基本一致, 只是中国北部高度场略偏弱, 而副热带高压地区回报结果则略有偏强, 同时回报结果有部分小的波动特征。

3.3 主要空间分布特征预测潜力分析

短期气候预测的可预测性主要来自于缓变的下边界条件, 因此大气模式对下边界强迫导致的

大气异常准确模拟是预测准确的首要条件。但由于大气模式发展的不完善, 各类误差的存在很可能使得模式对下边界强迫的反应出现一定偏差, 这就使得利用单点进行的评价方法得出较差的评价结果。因此, 利用 Ward 和 Navarra^[29]提出的方法, 采用奇异值分解方法 (SVD) 从空间上对模式回报结果进行分析, 从而更客观的评价模式预测潜力。

图 3 给出了夏季降水、地表气温和 500 hPa 高度场的观测和回报 SVD 分析的第 1 模态比较情况。其解释方差见表 2。由于后面的模态容易出现随机噪音^[29], 因此这里主要分析第 1 模态。模式对各个变量的主要异常空间特征有一定的预测潜力, 但也存在明显的不足。

降水场的变化特征相对复杂, 回报效果也相对不足。观测场模态在中国地区基本表现为纬向分布特征, 我国东部地区表现为“负—正—负”的异常分布特征, 而西部则是南正北负的空间特征。模式对西部的南北反向变化特征回报效果较好, 但东部地区回报结果表现为同向变化, 我国的南部和北部偏差较大; 模式对海洋上空的降水变化特征回报效果则明显好于陆地, 回报结果很好地再现了 20°N 以南, 120°E 两侧的降水正负间的分布形势。这可能说明了陆面模式的耦合对于东亚陆地地区降水预测的重要性^[30,31]。

模式对地表气温和 500 hPa 高度场的主要异常空间特征预测潜力相对较好, 观测的温度场基本表现为整体的同向变化特征, 在中国地区只是在西南部分有小的正值区域。模式很好地再现了同向变化, 但对于西南的小正值区域回报结果未能很好地再现。对于高度场, 中国陆地地区的东北部与其他部分表现为反向变化特征, 在中国

表 2 各变量 SVD 分析左 (回报)、右场 (观测) 第 1 模态解释方差

Table 2 The percentage of variance explained by the first mode of hindcast and observation using SVD expansion

变量	解释方差		时间系数 相关
	左场/%	右场/%	
降水	46.65	37.62	0.80
温度	15.12	9.79	0.96
500 hPa 位势高度	27.91	12.88	0.92

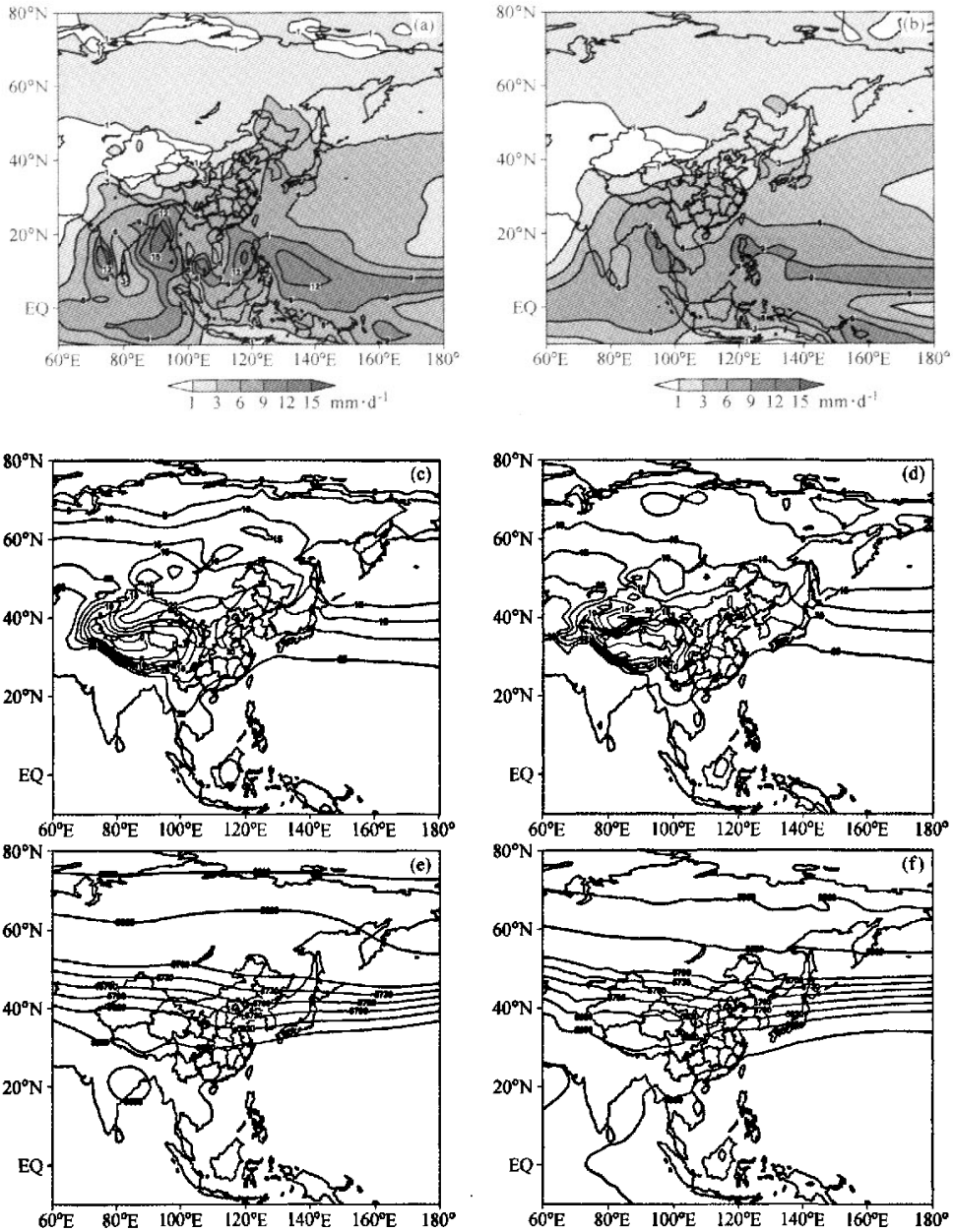


图 2 1983~2005 年 23 年平均的夏季降水 (a, b, 单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)、地表气温 (c, d, 单位: $^{\circ}\text{C}$) 和 500 hPa 高度场 (e, f, 单位: hPa)。(a)、(c)、(e) 为观测, (b)、(d)、(f) 为回报

Fig. 2 23-year averaged of (a, b) summer rainfall (unit: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), (c, d) surface air temperature (unit: $^{\circ}\text{C}$), and (e, f) geopotential height at 500hPa (unit: hPa) from 1983–2005. (a), (c), and (e) for observation; while (b), (d), and (f) for hindcast

东部洋面地区则是“正—负—正”的分布,空间特征在回报中得到了很好的再现,只是异常中心相对偏弱。

3.4 异常场年际变化特征的预测能力

本节进一步分析模式对变量异常场年际变化

情况的预测潜力。为了分析模式对异常场年际变化的回报效果,这里给出了变量异常场纬向平均结果的年际变化情况。取 $110^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 的纬向平均,给出了各个变量场的时间-纬度剖面图。

图 4 给出了夏季降水、地表气温和 500 hPa

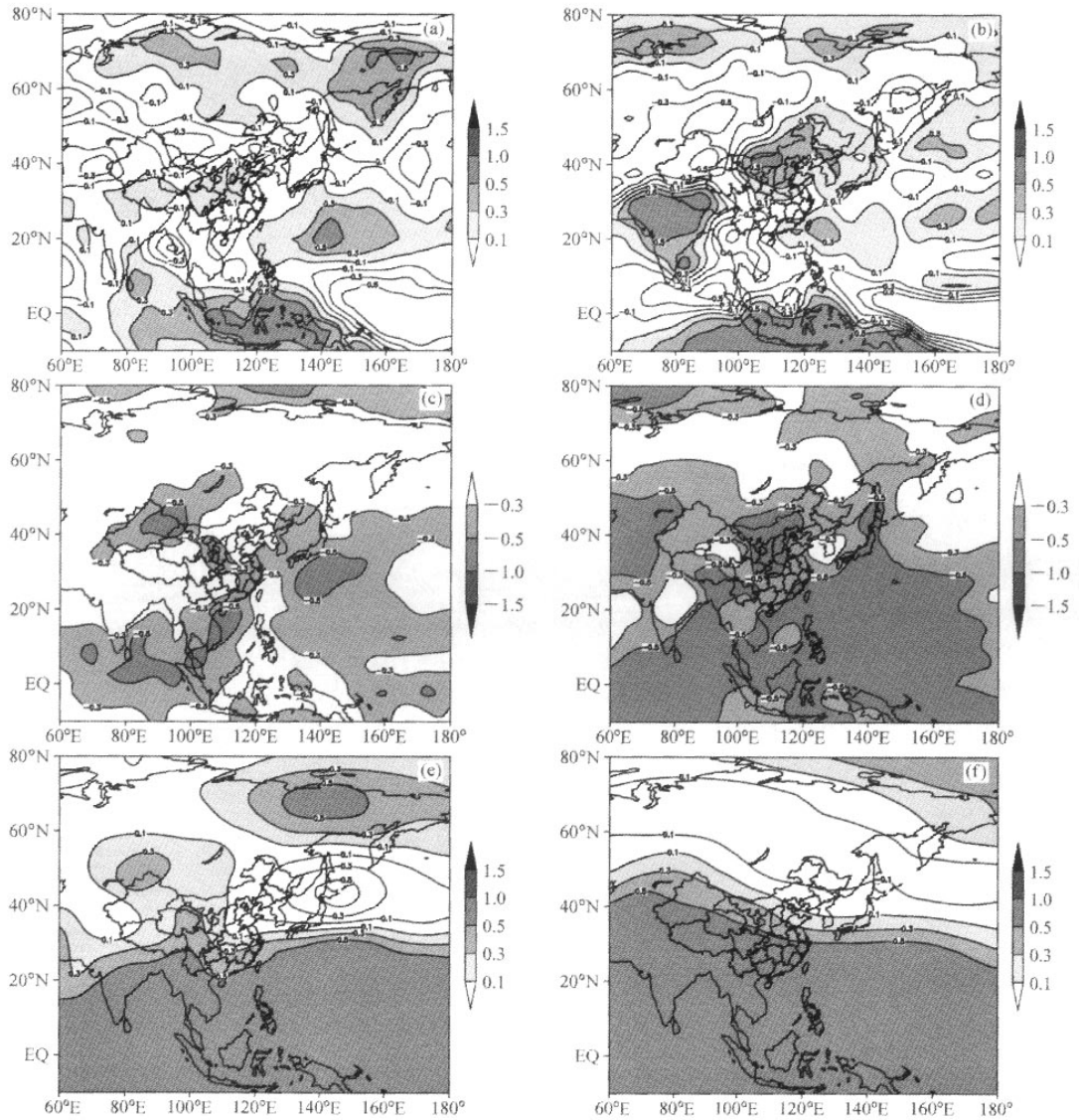


图3 SVD分析第1模态比较,其余同图2

Fig. 3 The same as Fig. 2 except for the first SVD spatial mode

高度场的观测和回报时间-纬度剖面。图中反映了各变量场纬向平均的异常场年际变化的情况。从降水的剖面图中可以看出,模式对夏季降水异常年际变化的主要特征有一定的预测潜力,尤其是显著异常年,比如1998年,观测和回报都出现了大的正值区,但是模式回报效果最好的区域是在30~50°N的中国中部地区,这与SVD模态分析结果一致,包括1992年前后的长江流域多雨、

1998年的整个东部多雨和2003年的淮河流域多雨等特征都得到了较好的回报。相比而言,模式对我国南部和北部地区降水异常回报效果存在一定不足,1990~1991年的东北多雨未能得到很好的再现,回报的2003~2004年的东北多雨也与观测不符。

回报的地表气温的异常年际变化明显偏弱,尤其是北部,温度正异常区明显少于观测,1986

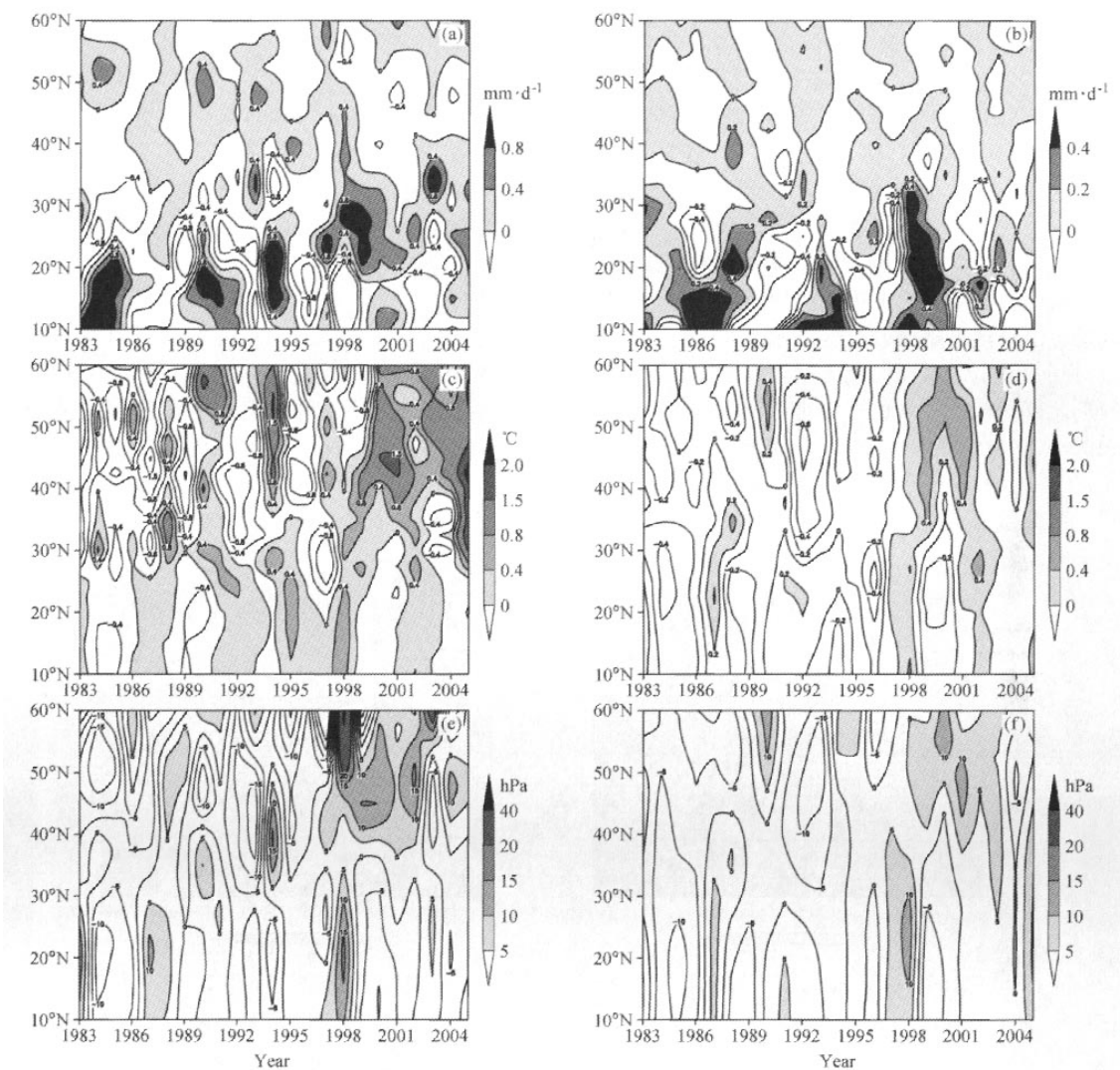


图 4 纬向平均的时间-纬度剖面图，其余同图 2
Fig. 4 The same as Fig. 2, except for time-latitude profiles of zonal average variables

~1988 年的东北升温和 1994 年的华北升温现象都未能得到很好的回报，相比而言南部气温回报效果相对较好，尤其是地表气温在 1998~2002 年间显著升温现象在回报中得到了很好的再现。

夏季 500 hPa 高度场的异常年际变化回报效果则明显较好，为了更好地分析副热带高压的特征，这里把范围扩大到 10°N。可以看出大部分异常变化特征能够得到较好的回报，副高在 1987 年、1995~1998 年的偏强特征和 2003 年弱的正异

常都能够一定程度再现，回报副高偏弱的年份也基本与观测一致；我国北部的 500 hPa 高度场异常年际变化回报效果相对不足，虽然对 1989 年和 2000 年前后的正异常特征有一定的回报效果，但是部分显著异常特征未能很好地再现，如 1986 年和 1998 年我国北部的正异常，以及 1994 年的华北正异常现象等。

3.5 极端天气的再现效果

极端气候对社会的影响尤其严重，是气候变

化对人类社会影响的最重要方面,因此对极端气候的预测能力是评估模式预测潜力的重要方面^[32]。这里对 1983~2005 年 23 年间中国地区最高气温和最大降水分布特征的回报效果进行了分析。

图 5 给出了观测和回报的 1983~2005 年 23 年间最高气温和最大降水的分布特征。图中各点量值代表了该点在 23 年间能够达到的最大降水率和最高气温。从降水极值图的比较可以发现,模式能一定程度再现热带地区降水极值,尤其是从南海到菲律宾以东洋面地区的强降水,对于孟加拉湾北部的极值降水也有一定的回报能力,但是模式对 20°N 以北的极端气候回报能力存在一定的不足,回报的我国东南部一直到淮河流域的极值降水与实况相比偏弱达 $6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。最高气温回

报效果好的地区主要在我国西部,模式很好地再现了极端气温的中心分布,并且由于较高的水平分辨率,模式还表现出小的局部特征。但是,在我国东部,极端气温的回报与实况相比偏弱,我国东部观测的最高气温都超过 25°C ,而回报的最高气温则主要是在 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 之间,另外我国东北地区极端高温的回报也有大约 5°C 的偏低现象。

4 结论

利用海气耦合模式 SINTEX-F 多年的回报资料,本文详细分析了耦合模式对东亚地区气候的预测潜力。结果表明:模式能够很好地模拟变量场的平均状况,对于观测场的主要异常变化特征的空间分布也有较好的预测潜力,基本再现了夏

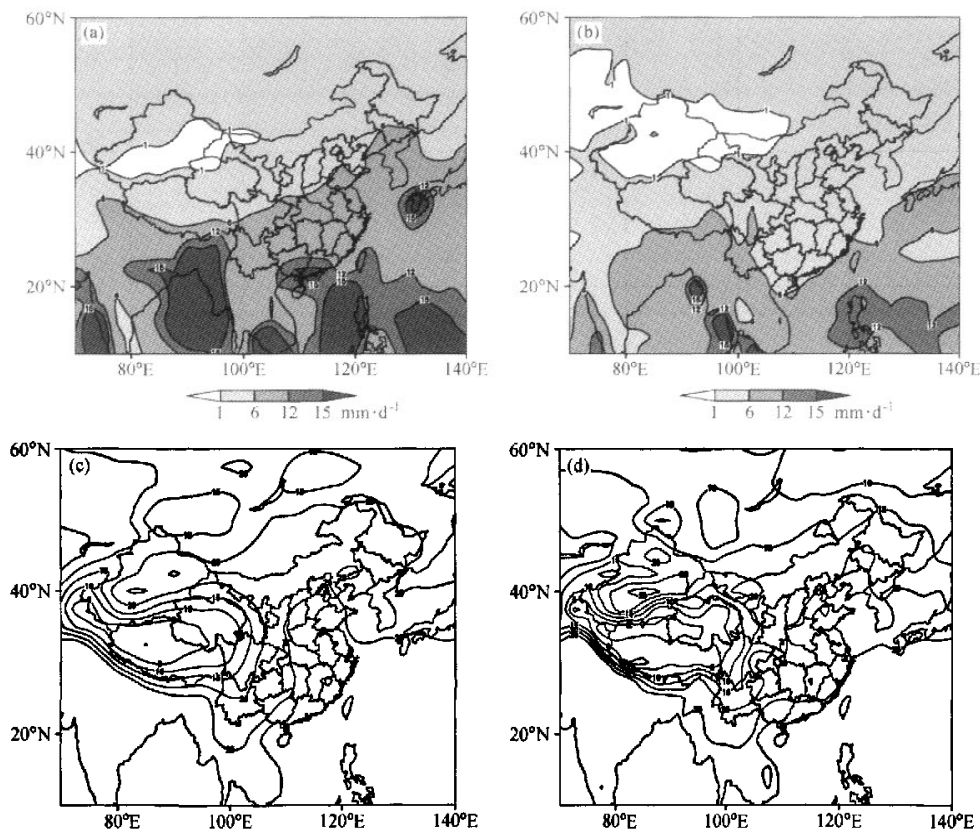


图 5 回报与观测的 23 年间最大降水 (a、b, 单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 和最高气温 (c、d, 单位: $^\circ\text{C}$) 分布特征。(a)、(c) 观测, (b)、(d) 回报

Fig. 5 23-year averaged spatial features of (a, b) the heaviest rainfall (unit: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and (c, d) highest air temperature (unit: $^\circ\text{C}$). (a) and (c) for observation while, (b) and (d) for hindcast

季降水、地表气温和 500 hPa 高度场的主要异常空间分布特征, 其中温度场和高度场主要特征的回报效果要明显好于降水场, 但是就整体效果而言, 模式对夏季 500 hPa 高度场和降水场的预测技巧要高于地表气温。

对于变量异常的年际变化特征, 模式对我国中部地区的夏季降水的异常年际变化特征回报效果较好, 而地表气温则是我国南部回报效果相对较优, 相比而言, 500 hPa 高度场异常年际变化的模式预测潜力要明显高于另外两个变量, 模式再现了大部分异常变化特征, 只是在我国北部与观测有一定偏差。

极端气候再现能力的检验表明, 模式对中国西部地区的极端温度和降水有较好的回报能力, 但是对于中国东部地区, 强降水和高温的回报都明显偏弱。

虽然上述研究初步肯定了 SINTEX-F 耦合模式在东亚地区的预测潜力, 但是对模式不足的原因还未深入分析, 同时对极端气候的检验也还是初步的结果。下一步需要进行进一步细致的检验并联系模式进行机理分析。

参考文献 (References)

- [1] WCRP. CLIVAR Science Plan, WCRP Pub. No. 89, WMO/TD-No. 690. World Meteorological Organization, Geneva, 1995, 255pp
- [2] Palmer T N, Shukla J. Editorial to DSP/PROVOST special issue. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, **126**: 1989~1990
- [3] Palmer T N, Alessandri A, Andersen U, et al. Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2004, **85**: 853~872
- [4] WCRP. The world climate research programme strategic framework 2005—2015 coordinated observation and prediction of the Earth system (COPES). World Meteorological Organization, Geneva, 2005, 36pp
- [5] 曾庆存, 袁重光, 王万秋, 等. 跨季度气候距平数值预测试验. *大气科学*, 1990, **14** (1), 10~25
Zeng Qincun, Yuan Chongguang, Wang Wanguo, et al. Numerical prediction of inter-seasonal climate anomaly. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1990, **14** (1): 10~25
- [6] 李旭. 短期气候异常的数值模拟和预测研究. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1992
Li Xu. Studies on numerical simulation and prediction of short-term climate anomalies. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1992; 136pp
- [7] 林朝晖, 李旭等. 中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统的改进及其对 1998 年全国汛期旱涝形势的预测. *气候与环境研究*, 1998, **3** (4): 339~348
Lin Zhaohui, Li Xu, Zhao Yan, et al. An improved short-term climate prediction system and its application to the extra-seasonal prediction of rainfall anomaly in China for 1998. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 339~348
- [8] 郎咸梅, 王会军, 姜大勝. 应用九层全球大气格点模式进行跨季度短期气候预测系统性试验. *地球物理学报*, 2004, **47** (1): 19~24
Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. Extraseasonal short-term predictions of summer climate with IAP9L AGCM. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2004, **47** (1): 19~24
- [9] 高学杰, 赵宗慈. 利用 OSU/NCC 模式进行我国汛期季度和年度短期气候预测试验. *应用气象学报*, 2000, **11** (2), 180~188
Gao Xuejie, Zhao Zongci. The experiment of extraseasonal prediction in China by OSU/NCC CGCM for flood season. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), **11** (2), 180~188
- [10] Lin Zhaohui, Wang Huijun, Zhou Guangqin, et al. Recent advances in dynamical extra-seasonal to annual climate prediction at IAP/CAS. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2004, **21** (3): 456~466
- [11] Stockdale T N, Anderson D L T, Alves J O S, et al. Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean-atmosphere model. *Nature*, 1998, **392**: 370~373
- [12] Wang B, Kang I, Lee J. Ensemble simulations of Asian-Australian Monsoon variability by 11 GACMs. *J. Climate*, 2004, **17**: 803~818
- [13] 李清泉, 丁一汇, 张培群. 一个全球海-气耦合模式跨季度汛期预测能力的初步检验和评估. *气象学报*, 2004, **62** (6): 740~751
Li Qingquan, Ding Yihui, Zhang Peiqun. Primary verification and assessment on the extra-seasonally prediction capability of a global atmospheric-oceanic coupled model in raining season. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (6): 740~751
- [14] Gualdi S, Navarra A, Guilyardi E, et al. Assessment of the tropical Indo-Pacific climate in the SINTEX CGCM. *Ann. Geophys.*, 2003, **46**: 1~26
- [15] Guilyardi E, Delecluse P, Gualdi S, et al. Mechanisms for ENSO phase change in a coupled GCM. *J. Climate*, 2003,

- 16, 1141~1158
- [16] Luo J J, Masson S, Behera S, et al. South Pacific origin of the decadal ENSO-like variation as simulated by a coupled GCM. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, **30**: 2250~2264
- [17] Roulet G, Madec G. Salt conservation, free surface and varying volume: A new formulation for ocean GCMs. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**: 23 927~23 942
- [18] Blanke B, Delecluse P. Variability of the tropical Atlantic Ocean simulated by a general circulation model with two different mixed layer physics. *J. Phys. Oceanogr.*, 1993, **23**: 1363~1388
- [19] Madec G, Delecluse P, Imbard M, et al. OPA 8.1 ocean general circulation model reference manual. *LODYC/IPSL Tech. Rep.* Note 11. Paris, France, 1998, 91pp
- [20] Roeckner E, Arpek, Bengtsson L, et al. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate. *Max Planck Institute für Meteorologie Rep.* 218, Hamburg, Germany, 1996: 90pp
- [21] Tiedtke M. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, 1998, **117**: 1779~1800
- [22] Morcrette J J, Smith L, Fouquart Y. Pressure and temperature dependence of the absorption in longwave radiation parameterizations. *Beitr. Phys. Atmos.*, 1986, **59**: 455~469
- [23] Valcke S, Terray L, Piacentini A. The OASIS coupler user guide version 2. 4. *CERFACE Tech. Rep.* TR/CGMC/00-10, 2000, 85
- [24] Guilyardi and Coauthors. Representing El Niño in coupled ocean-atmosphere GCMs: the dominant role of the atmospheric component. *J. Climate*, 2004, **17**: 4623~4629
- [25] Luo J J, Masson S, Roeckner E, et al. Reducing climatological bias in an ocean-atmosphere CGCM with improved coupling physics. *J. Climate*, 2005, **18**: 2344~2360
- [26] Luo J J, Masson S, Behera S, et al. Experimental forecast of the Indian Ocean dipole using a coupled OAGCM. *J. Climate*, 2007, in press.
- [27] Xie P, Arkin D A. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observation, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1994, **75**: 2539~2558
- [28] Kumar A., Hoerling M, Ji M, et al. Assessing a GCM's suitability for making seasonal predictions. *J. Climate*, 1996, **9**: 115~129
- [29] Ward M N, Navarra A. Pattern analysis of SST-forced variability in ensemble GCM simulations: Examples over Europe and the tropical Pacific. *J. Climate*, 1997, **10**: 2210~2220
- [30] Lin Zhaohui, Zeng Qingcun, Ouyang B. Sensitivity of the IAP two-level AGCM to surface albedo variations. *Theor. Appl. Climatol.*, 1996, **55**: 157~162
- [31] Yang S, Lau K M. Influence of sea surface temperature and ground wetness on Asian summer monsoon. *J. Climate*, 1998, **11**: 3230~3264
- [32] Kharin V V, Zwiers F W, Zhang Xuebin, et al. Intercomparison of Near-surface temperature and precipitation extremes in AMIP-2 simulation, reanalyses, and observation. *J. Climate*, 2005, **18**: 5201~5223