

应用耦合模式进行 2003 年度气候预测试验

柳艳香^{1,2} 郭裕福¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 国家气候中心, 北京 100029

摘要 利用中国科学院大气物理研究所 IAP/LASG GOALS 4.0 耦合模式, 引进外强迫因子(温室气体、太阳活动及硫酸盐气溶胶)变化的影响后进行了 2003 年度集合预测试验研究。结果表明: GOALS 耦合模式预测出了 2003 年夏季淮河流域的降水正异常, 也较好地描述了中国区域大气环流场的变化。说明 GOALS 4.0 耦合模式在我国的短期气候预报业务中具有一定的预测能力。但该版模式分辨率还嫌太粗, 无法细致地描述我国区域的降水分布。

关键词 海气耦合模式 年度预测 降水距平

文章编号 1006-9585 (2005) 02-0257-08 **中图分类号** P456 **文献标识码** A

Experiment of Interannual Climate Prediction for 2003 with Coupled Model

LIU Yan-Xiang^{1, 2}, and GUO Yu-Fu¹

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *National Climate Center, Beijing 100081*

Abstract An ensemble prediction was performed for predicting precipitation anomaly over China during June to August 2003 by using coupled model. The fourth version model, Global Ocean-Atmosphere-Land System model (GOLAS 4.0), was developed by State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. We introduced the change of external forcing factors, such as greenhouse gas, solar activity, and sulfate into coupled model, and then, made an ensemble prediction for 7 initial fields integrating. The ensemble results showed that the positive precipitation anomaly over the Huaihe River valley in summer 2003 has been well predicted by the GOALS. The predicted pattern of general circulation anomaly (e. g., 500 hPa geopotential height and 850 hPa stream field) agrees well with the observation. All above results indicated that the GOALS has good predictability in short-term climate prediction over China. However, due to coarse resolution in this version, the GOALS model cannot describe detailing distribution of precipitation anomaly over China.

Key words GOALS model, Interannual prediction, precipitation anomaly

1 引言

短期气候预测是目前气候变化研究中的重要

课题,也是气候变率及可预测性(CLIVAR)国际研究计划的重要研究方向。在世界气象组织(WMO)未来的4个发展战略目标(资料同化、

收稿日期 2004-07-13 收到, 2005-05-08 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40275024、40231004 以及中国科学院创新团队国际合作伙伴计划“气候系统模式研发及应用研究”

作者简介 柳艳香, 女, 1966 出生, 副研究员, 主要从事全球气候变化与预测研究工作。E-mail: yxliu@lasg.iap.ac.cn

耦合模式、高分辨率模式及集合预报)中,用耦合模式进行集合预报也是一个具有挑战性的研究目标。早在 20 世纪 90 年代,国际上用于短期气候数值预测的方法和研究已经很多,如:直接应用大气环流模式(AGCM),将区域模式嵌套进大气环流模式,分步进行的大气和海洋模式的耦合,还有直接用气候模式进行预测等^[1~6]。这些研究更多地侧重于季度预测或热带地区的短期气候预测,如 ENSO 的预测,对中国区域的降水预测能力较低^[7,8]。自 20 世纪 80 年代以来,曾庆存等人率先研究发展了我国第一代格点大气环流模式(IAP 2L AGCM)并运用于我国区域的短期气

候预测业务^[9~11],取得了令人鼓舞的成果。随着水平分辨率和垂直分辨率的提高,中国科学院大气物理研究所又研发出一个可用于我国短期气候预测的第二代大气环流模式(IAP 9L AGCM)^[12,13]。在预测时,这两个大气环流模式与海洋模式的耦合均是分两步进行的,即先利用 IAP ENSO 预测系统预测出热带太平洋区域的海温异常,再用所预报的海温异常来驱动大气环流模式进行集合预报。中国气象局也相继研发出一个适合我国短期气候预测的区域气候模式(RegCM_NCC)并用于汛期预报业务^[14]。近年来,中国科学院大气物理研究所大气科学和地球

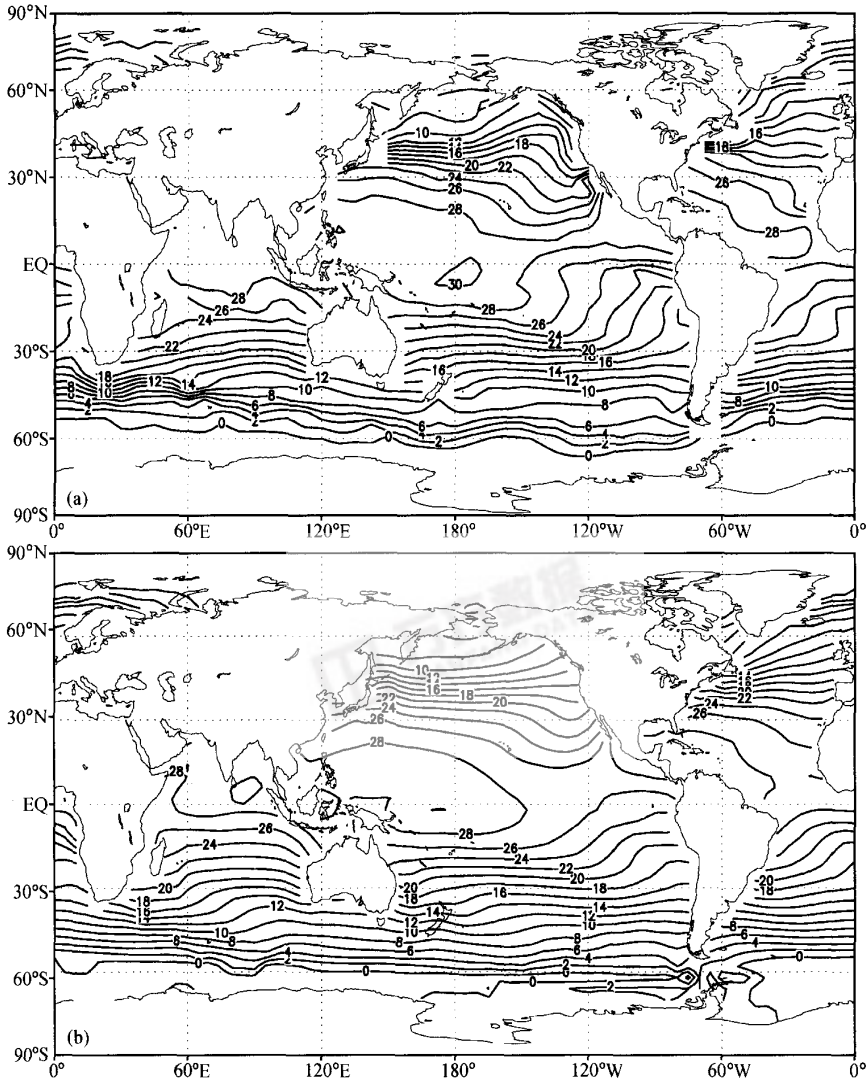


图 1 2002 年 10 月平均 SST (单位: °C)。(a) 观测; (b) OGCM

Fig. 1 Mean SST in October 2003 (units: °C) . (a) observation; (b) OGCM

流体力学数值模拟实验室 (LASG) 建立并发展了一个全球海洋—大气—陆面过程系统耦合模式 IAP/LASG GOALS (v. 1-4)^[15~17], 运用该模式进行的一系列研究表明模式具有较好的气候模拟能力^[18,19], 尤其引入了气候外强迫因子的作用后, 能较好模拟近几十年全球增暖以及北半球大气环

流年代际变化的一些基本特征^[20,21]。本文首次应用考虑了气候外强迫因子后的 GOALS 4.0 模式进行年度气候预测, 研究中海洋、大气模式的耦合不是采用两步方案, 而是采用逐日通量距平方案进行耦合, 并对 2003 年夏季的降水距平进行了集合预测及检验。

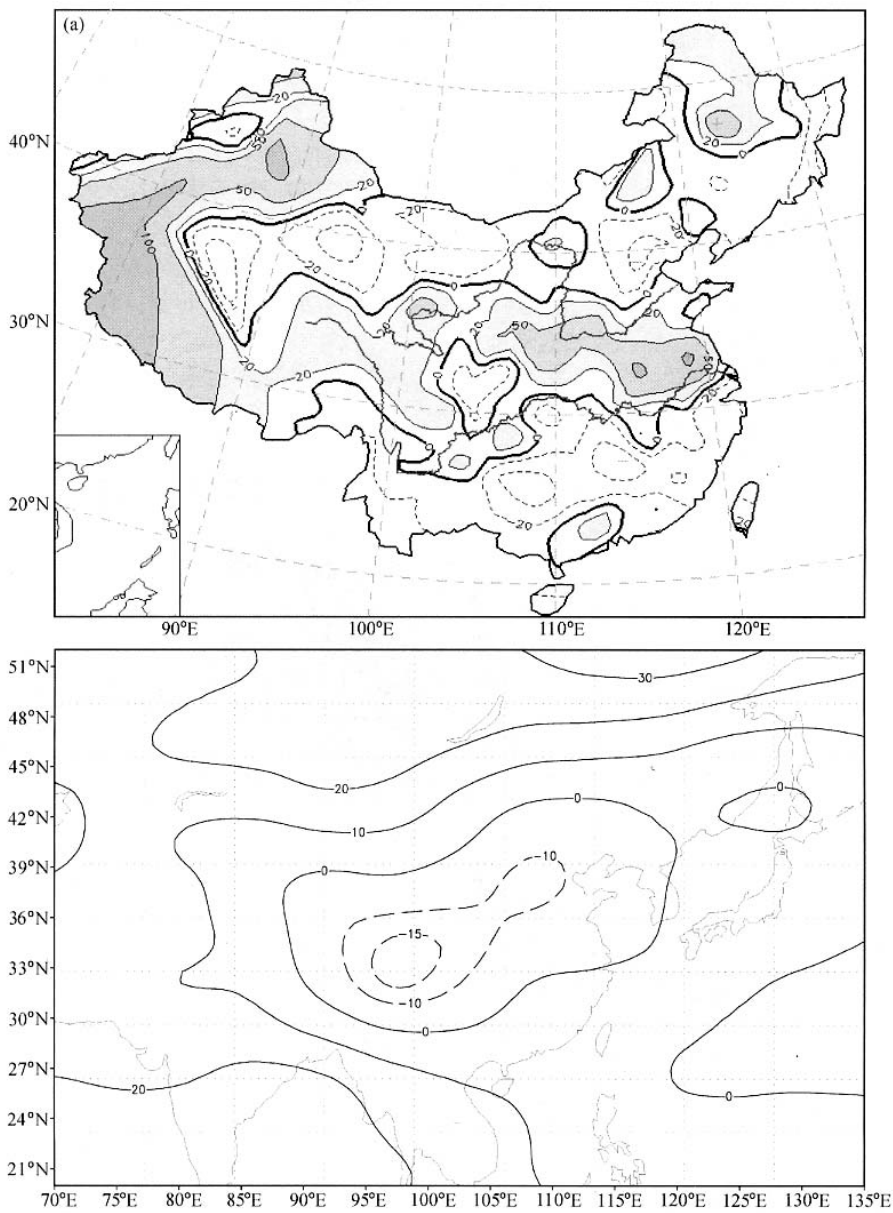


图 2 2003 年夏季降水距平百分率 (单位: %)。(a) 观测; (b) GOLAS 模式预测
Fig. 2 Precipitation anomaly percentage in June—August, 2003 (units: %) . (a) observation; (b) prediction with GOALS

2 模式、资料及试验设计

中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体动力学数值模拟实验室 (LASG) 发展的全球海洋—大气—陆面耦合气候模式 (GOALS 4.0), 包括以下分量: AGCM 为 9 层 15 波菱形截断谱模式 (R15L9), 水平分辨率相当于 4.5° (纬度) $\times$ 7.5° (经度), 垂直方向为不等距的 9 层分布; OGCM 是 20 层的全球海洋环流模式 (ML20-2), 水平分辨率为 4° (纬度) $\times$ 5° (经度); 同时有一个简单的热力学海冰模式和一个改进了的简单生物模式 (SSiB, 包括 3 层土壤、1 层植被, 11 种植被类型)。海洋和大气模式采用了逐日通量距平的耦合方案。预测试验中, 考虑了温室气体 (包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、FCF-11、及 CFC-12)、太阳活动和硫酸盐气溶胶的当前值对气候变化的强迫作用。

用完全耦合的海气模式进行预测, 必须解决一个问题, 就是如何设定海洋模式所需的初值。GOALS 耦合模式中, 采用的是逐日通量距平耦合方案, 实现了大气和海洋的完全耦合。所以, 海洋初始场就显得尤为重要。在耦合模式预测试验之前, 首先利用观测的有关海气界面通量和海表温度运行 OGCM, 模式运行 11 年后的次海表层海温达到一个稳定态。然后, 用这一稳定态作为耦

合模式的海洋初始场进行模拟预测。这样既可以将实际的海洋信息引进模式, 又可以得到与模式匹配的海洋初始场。为了检验这个新的海洋初始场与实际观测场的差别, 图 1a、b 分别给出了 2002 年 10 月观测的海表温度 (SST) 和 OGCM 产生的 SST。这两个 SST 场的最大区别在于后者在赤道太平洋日界线附近 30°C 线范围偏小, 孟加拉湾海域 SST 略偏高。其余海域差别不很明显。所以, 引入耦合模式的海洋初始信息是可信的, 同时证明了 GOALS 耦合模式中的 OGCM 对 SST 具有较好的模拟能力。

大气初值场为观测的 2002 年 10 月 25~31 日 0000 UTC 的 7 个样本, 对每个初值场从 11 月 1 日 0000 UTC 时开始耦合积分, 直到次年的 8 月 31 日, 然后进行集合, 最终得到一个集合的预测结果。

文中所用大气观测场均为 NCAR/NCEP 再分析资料, 水平分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 海温资料取自 NCEP, 水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$ 。

3 2003 夏季预测结果分析

3.1 夏季平均降水异常预测

2003 年夏季, 淮河流域发生了自 1991 年以来最严重的暴雨洪涝灾害, 大部地区降水超过常年 5 成以上, 主雨带位于淮河流域。东北、新疆等地

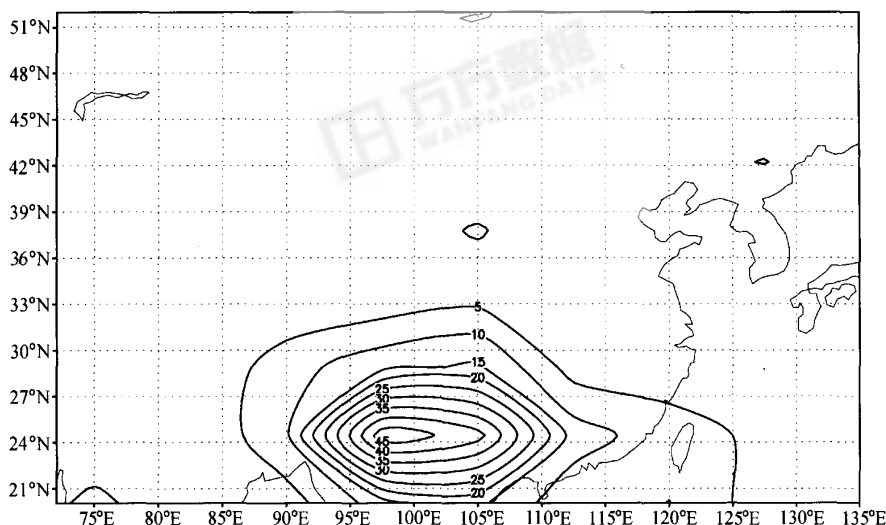


图 3 GOALS 模式预测的 2003 年夏季降水距平百分率标准偏差

Fig. 3 Standard deviation of precipitation anomaly percentage in June–August 2003 with GOALS

降水偏多，而江南、华南、内蒙古大部地区则比较干旱，降水较常年偏少 2 成以上（如图 2a 所示）。

图 2b 是 GOALS 模式模拟预测的 2003 年夏季降水距平百分率分布。从图中可以看到，预测结果和实况分布有一定的可比性。首先，淮河流域的主要强降水中心（大于 50%）预测与实况相符，东北和新疆大部地区降水为正距平，降水明显偏多，青藏高原西部及新疆西部的降水正距平中心甚至达到了 100%。而内蒙古中、东部的降水为负距平，降

水偏少。同时，也必须看到模式预测的失败之处在我国长江以南地区和南疆东部地区。

GOALS 模式在我国年度降水集合预测中，夏季降水异常分布集合预测的离散度见图 3。显然，西南地区出现的离散度较大，说明 GOALS 模式在该地区降水异常预测的可信度较低。事实上，GOALS 模式本身在青藏高原东部、我国西南地区的降水预测上就存在较大的偏差。但是，相对于 2003 年夏季实际降水预测的总体水平而言，

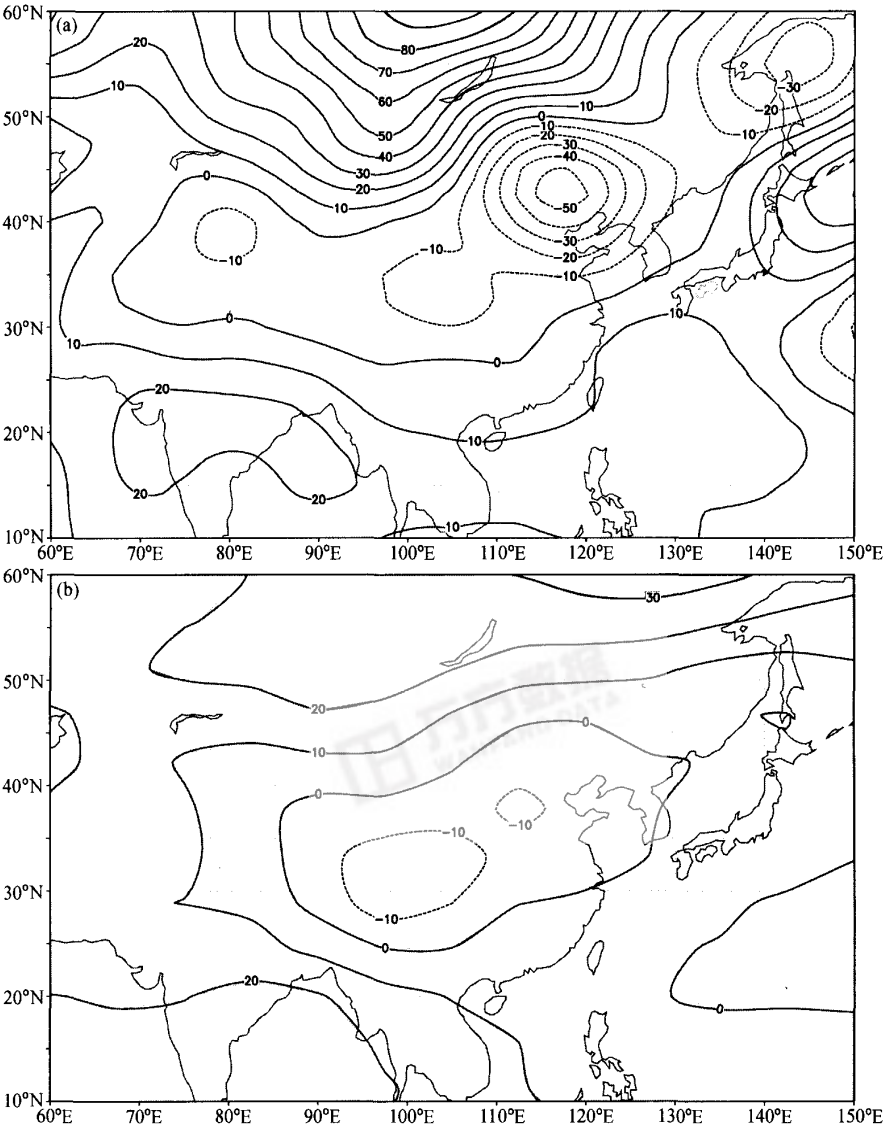


图 4 北半球 2003 年夏季 500 hPa 高度异常（单位：gpm）。(a) NCEP；(b) GOALS 预测
Fig. 4 Summer geopotential height anomaly at 500 hPa over the Northern Hemisphere in 2003 (units: gpm) . (a) NCEP; (b) prediction with GOALS

GOALS 耦合模式预测的降水分布与实况还是比较相似，重要的是它预测出了 2003 年夏季淮河流域正的降水距平。

3.2 500 hPa 高度场

2003 年夏季，500 hPa 高度距平场呈现南北向正、负、正的带状分布（见图 4a）。从华北地区东西贯穿中国大陆到我国西北地区的高度场为一负距平异常带，其中华北北部地区存在异常偏低的距平低压中心，淮河流域也处于明显的负距平区域。负距平带的南北两侧，即贝加尔湖和印度

一带均为较强的正距平区。

与观测结果相似，GOALS 模式预测的 500hPa 高度距平场也呈现出南北方向上的正、负、正带状分布（如图 4b），只是预测的距平强度变化均偏弱，中国区域的负距平区偏小，华北地区的距平低压强度亦偏弱，且中心位置偏南。负距平带南北两侧的贝加尔湖地区和印度一带距平高压的预测结果与实况接近，尤其是印度地区的距平高压。

总之，可以看出，GOALS 模式虽然能模拟预

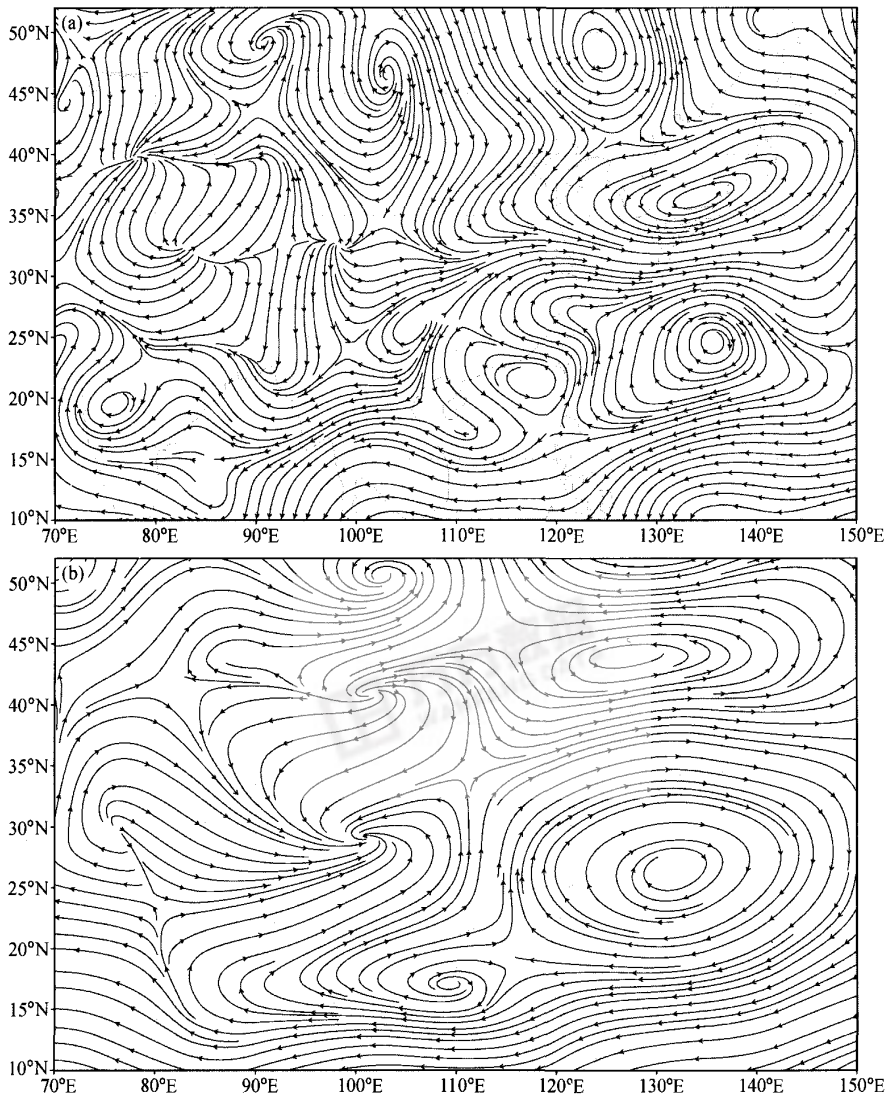


图 5 2003 年夏季 850 hPa 流场异常（单位： $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）。(a) NCEP 分析结果；(b) GOLAS 模式预测
Fig. 5 Streamline anomaly at 850 hPa in Summer, 2003 (units: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) . (a) NCEP; (b) prediction with GOALS

测出 500 hPa 高度场异常形势,但无论从强度还是范围都存在一定的偏差。

3.3 850 hPa 风场异常

图 5 给出了 2003 年夏季 850hPa 流场异常的 NCEP 分析结果及 GOALS 模式预测结果。图 5a 中,在中国大陆东南部的太平洋地区存在一中心位于 (25°N, 137°E) 的异常反气旋性环流,其范围可以影响到我国华南东部及沿海地区。在日本海及其以北地区则为异常的气旋性环流。与观测实况相符的是,GOALS 模式预测出了这一对异常的气旋和反气旋性环流,由于模式分辨率较粗,预测的环流中心位置均偏东,气旋性环流的中心位置也偏北。但对于淮河流域的水汽辐合带预测较好,它是 2003 年淮河流域异常降水的重要条件之一。同时,热带地区的东风异常也得到了很好的体现。我国西部地区流场的异常受地形影响较大,可参考性较低,这种结果是否是由于外强迫的引入而造成的海洋和大陆不同的反映,还有待进一步深入研究。

4 结语

通过引入了外强迫因子,如温室气体、太阳活动和硫酸盐气溶胶变化的 IAP/LASG GOALS 4.0 耦合模式,对 2003 年夏季降水异常进行了年度预测研究,发现该模式对 2003 年夏季中国区域的大气环流和降水异常具有较好的预报能力。如,它预报出了 2003 年夏季最重要的气候事件:淮河流域的降水正异常;它也较好地预测出了 500 hPa 高度距平场南北方向上正、负、正的带状分布。这说明 GOALS 耦合模式在短期气候预测研究与业务预报中具有很大的潜力。

这是首次用 IAP/LASG GOALS 4.0 耦合模式进行的尝试性的年度预测研究,上述分析均是模式直接预测结果的集合,没有进行任何订正,也没有进行 20 年后报的试验研究。从预报结果不难看出,要用于短期气候预测,该模式分辨率还嫌太粗,它对我国降水距平场的分布描述还不够细致,自然就会影响到预报效果。同时,模式本身对青藏高原东部以及我国长江以南地区降水异常的模拟还存在一定的问题,所以,如果要将该模式真正运用于我国的短期气候预测业务中去,

还有许多工作有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] Blumenthal M B. Predictability of a coupled Ocean-Atmosphere model. *J. Climate*, 1991, **4** (8): 766~784
- [2] Gent P R., Tribbia J J. Simulation and Predictability in a coupled TOGA model. *J. Climate*, 1993, **6** (10): 1843~1858
- [3] Brankovic C, Palmer T N, Ferranti L. Predictability of seasonal atmospheric variations. *J. Climate*, 1994, **7** (2): 217~237
- [4] Zwiers F W. Interannual variability and predictability in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2. *Climate Dynamics*, 1996, **12** (12): 825~847
- [5] Barnett T P, Arpe K, Bengtsson J M, Kumar A. Potential predictability and AMIP implications of midlatitude climate variability in two General Circulation Models. *J. Climate*, 1997, **10** (9): 2321~2329
- [6] Paulo N, Antonio D M, Sun Liqiang. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's regional spectral models at IRI. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, **82** (12): 2787~2796
- [7] 高学杰, 林万涛, Fred Kucharsky, 等. 实况海温强迫的 CCM3 模式对中国区域气候的模拟能力. *大气科学*, 2004, **28** (1): 78~90
Gao Xuejie, Lin Wantao, Fred Kucharsky, et al. A simulation of regional climate in China by using CCM3 and observed SST. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2004, **28** (1): 78~90
- [8] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估. *应用气象学报*, 2002, **13** (5): 513~525
Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. Detection and evaluation of effect of human activities on climatic change in East Asia in recent 30 years. *Journal of Applied Meteorology Science* (in Chinese). 2002, **13** (5): 513~525
- [9] 曾庆存, 袁重光, 王万秋, 等. 跨季度气候距平值预测实验. *大气科学*, 1990, **14** (1): 10~25
Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Wang Wanqiu, et al. Numerical predictive experiment of extraseasonal climate anomaly. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1990, **14** (1): 10~25
- [10] Wang HuiJun, Xue Feng, Bi Xunqiang. The interannual variability and predictability in a global climate model. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (4): 554~562
- [11] 周广庆, 曾庆存. IAP ENSO 预测系统预报技巧的时间依赖性及对 1999 年 La Nina 事件的预测. *气候与环境研究*,

- 2000, **5** (2): 109~117
- Zhou Guangqing, Zeng Qingcun. Time dependence of the forecast skills of IAP ENSO prediction system and the forecasts for the 1999's La Nina. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (2): 109~117
- [12] 林朝晖, 李旭, 赵彦, 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 年全国汛期旱涝形式的预测. *气候与环境研究*, 1998, **3** (4): 304~348
- Lin Zhaohui, Li Xu, Zhao Yan, et al. An improved short-term climate prediction system and its application to the extraseasonal prediction of rainfall anomaly in China for 1998. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 304~348
- [13] 曾庆存, 林朝晖, 周广庆. 跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II. *大气科学*, 2003, **27** (3): 289~303
- Zeng Qingcun, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. Dynamical extraseasonal climate prediction system IAP DCP-II. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2003, **27** (3): 289~303
- [14] 丁一汇, 刘一鸣, 宋永加, 李清泉. 我国短期气候动力预测模式系统的研究及试验. *气候与环境研究*, 2002, **7** (2): 236~246
- Ding Yihui, Liu Yiming, Song Yongjia, Li Qingquan. Study and experiments of short-term dynamical climate prediction model system in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (2): 236~246
- [15] Wu Guoxiong, Liu Hui, Zhao Yucheng, Li Weiping. A nine-layer atmospheric general circulation model and its performance. *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, **13** (1): 1~18
- [16] 吴国雄, 张学洪, 刘辉, 俞永强, 等. LASG 全球海洋-大气-陆面系统模式 (GOALS/LASG) 及其模拟研究. *应用气象学报*, 1997, **8** (增刊): 15~28
- Wu Guoxiong, Zhang Xuehong, Liu Hui, Yu Yongqiang, et al. LASG global ocean-atmosphere-land system model and its simulation research. *Journal of Applied Meteorology Science* (in Chinese), 1997, **8**, (Suppl.): 15~28
- [17] Zhang Tao, Guo Yufu, Wu Guoxiong. Analysis of the zonal mean atmospheric climate state in IAP/LASG GOALS model simulations. *Adv. Atmos. Sci.* 2002, **19** (6): 1091~1102
- [18] Zhang Xuehong, Shi Guangyu, Liu Hui, Yu Yongqiang. *IAP Global Ocean Atmosphere Land System Model*. Beijing: Science Press, 2000
- [19] Guo Yufu, Yu Yongqiang, Liu Xiyang Zhang Xuehong. Simulation of climate change induced by CO₂ increasing for East Asia with IAP/LASG GOALS model. *Adv. Atmos. Sci.* 2001, **18** (1): 53~66
- [20] 马晓燕. 外部强迫因子对气候变化影响的数值试验研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2002
- Ma Xiaoyan. Numerical simulation of climate change with outer forcing. Ph. D thesis. Institute of Atmospheric physics, Chinese Academy Sciences (in Chinese), 2002
- [21] 柳艳香, 马晓燕, 郭裕福. 外强迫对北半球冬季大气环流年代际变化影响的数值模拟. *高原气象*, 2004, **23** (4): 458~464
- Liu Yanxiang, Ma Xiaoyan, Guo Yufu. A simulation of decadal variability of circulation with outer forcing in North Hemisphere. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (4): 458~464