

我国冬季气候数值预测潜力的初步分析

郎咸梅 陈 红

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 20 世纪 80 年代以来, 我国南方地区先后在 1984 年冬季和 2008 年冬季发生了两次过程相似的极端天气事件。为了考察该类天气事件的气候预测潜力, 分别利用中国科学院大气物理研究所的 2 层和 9 层全球大气环流模式进行了跨年度集合回报试验。结果表明, 两个模式都表现出了一定的预测能力, 但针对我国不同的区域和气候因子, 预测能力存在差异, 例如, 2 层模式对我国东部近地面风场异常的预测潜力相对较大, 而 9 层模式对月平均降水距平百分率的预测能力则更为突出一些。综合两个模式的集合回报结果来看, 包含该类极端天气事件的关键区月平均降水异常和近地层风场异常都具有一定程度的气候可预测性。与降水的预报技巧相比, 模式对近地面风场的预测能力要更为稳定一些。

关键词 大气环流模式 极端天气事件 气候预测

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0539-09 **中图分类号** P447 **文献标识码** A

Preliminary Analysis on Numerical Potential Predictability of Winter Climate in China

LANG Xian-Mei and CHEN Hong

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract From the 1980s, there happened two similar extreme weather events in South China in winters of 1984 and 2008, respectively. Aiming to investigate the potential predictability of such extreme winter weathers in China, the extra-annual hindcast experiments are performed by using the two-level and nine-level atmosphere general circulation models developed by Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. The results indicates that the two models are capable of making reasonable prediction to a certain degree, and the prediction skills embedded in the models vary along with regions and climate factors. For instance, the capabilities of the two-level and nine-level models are more competent in predicting near surface wind anomaly and percentage anomaly of precipitation, respectively. Taken together, the recorded anomalies of monthly near surface wind field and precipitation in the key regions can be predicted to some extent. On the whole, the potential predictability of near surface wind anomaly is more steady than that of precipitation.

Key words atmospheric general circulation model, extreme weather event, climate prediction

1 引言

2008 年初, 我国南方大部分地区和西北东部

地区发生了半个世纪以来最为严重的持续性大范围低温、雨雪和冰冻的极端天气。这次极端天气事件经历了 4 次天气过程, 暴雪的持续时间和积雪深度达到了 1961 年以来之最, 暴雪范围也仅次

收稿日期 2008-04-11 收到, 2008-05-09 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所创新重点项目 IAP07120、国家科技支撑计划项目 2006BAC02B04、自然科学基金项目 40505017 和中国科学院大气物理研究所创新项目 IAP07205

作者简介 郎咸梅, 女, 1973 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事气候预测研究。E-mail: langxm@mail.iap.ac.cn

于 1984 年。不仅造成了人员伤亡、房屋倒塌、大面积农作物受灾,还引发了铁路、公路、电力、通信、供水、燃气等生命线工程严重受损,人员、信息、物资流动受阻,给人民群众生产、生活及社会经济发展造成了严重影响,在全国范围内引起了极大的关注。

期间,我国气象工作者召开了多次专门会议,就剧烈天气过程进行实时会商、研讨应急措施。此后,科研人员利用统计分析和数值预测方法,从天气学和气候学的角度针对这次极端天气事件集中开展了研究工作,以期了解其成因及其气候预测潜力,从而达到加强应对此类突发极端天气事件的防范、应急及减灾能力。

虽然这次极端天气事件的持续时间几乎长达 1 个月之久,但由于它并不是集中在单个月份,因此如果从气候学的角度来审视,针对逐月气候进行的数值预测结果可能会出现一定程度的不确定性。但考虑到几次较强的降水过程的综合结果可以在很大程度上代表 1 个月的平均降水特征,因此认为这次维持时间相对较长的极端天气事件应该会在数值模式的气候预测中得到一定程度的体现。为此,希望通过分析数值模式预测此类极端天气事件的潜力,为今后借助动力气候模式进行提前预测奠定基础。为了尽可能多地选取试验个例,我们考察了历史上具有同类极端天气事件的年份,发现 1984 年冬季和 2008 年冬季的海洋状况和天气状况都非常相似。一方面,从前 1 年 10 月至当年 2 月,热带太平洋地区都出现了典型的 La Niña 事件,这不但从统计上来说会对中国冬季(前 1 年 12 月至当年 2 月的平均)气候及东亚冬季风产生重要影响^[1~3](如冬季东亚季风偏强,副热带高压偏北、偏强,以及我国出现南涝北旱的降水分布型式),还会使我国冬季气候的数值可预测性有所增大^[4]。另一方面,1~2 月期间我国南方都发生了强烈暴雪事件,只是维持的时段略有差异。鉴于目前在中国科学院大气物理研究所(IAP/CAS)开展的跨年度数值气候预测只考虑大气初始异常和海洋表面温度(SST)异常(SS-TA)的影响,而 SST 信号是下边界条件(主要包括 SST、海冰、土壤湿度、积雪等)中最主要的影响因子,我们有理由认为数值模式针对这两个年份所表现出来的预测特性具有较大的共性和

代表性,是有利于我们从中寻找规律、总结经验的。

2 模式和试验设计

本文的数值预测研究是通过集合回报试验来完成的,即 SST 场采用的是实测资料而非实时预测结果,因此预测结果体现出的是气候模式最大可能的预测水平,也就是所谓的预测潜力。所用到的气候模式为 IAP 2 层和 9 层全球大气环流模式(分别记做 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM)。其中,IAP DCP-II 的垂直分层有 2 层,水平分辨率为 2° (纬度) $\times$ 2.5° (经度),该模式经过多年不断地改进和完善,在预测实践中已取得了多次成功,并已被定型为现行的正式用于业务气候预测的版本^[5~7]。IAP9L-AGCM 是在 IAP DCP-II 的基础上建立和发展起来的,垂直方向有 9 层,水平分辨率为 4° (纬度) $\times$ 5° (经度),模式自 2002 年开始参与我国汛期气候预测并取得了较好的结果^[8],并于 2002 年秋季首次被应用于我国当年冬季及次年春季气候异常的跨年度实时预测试验,提前半年对 2003 年春季的沙尘气候形势做出了正确预测^[9]。目前,这两个模式每年都针对我国汛期气候异常、冬季气候异常和春季沙尘天气气候异常分别进行跨季度和跨年度实时气候预测,预测意见已成为 IAP 和中国气象局气候预测会商会的重要参考依据。

为了便于说明问题,回报试验中的超前积分时间和运行时段都与 IAP 目前进行的跨年度实时气候预测相一致,即:IAP DCP-II 的初始积分时间为前 1 年 9 月 1~30 日,集合样本数为 30 个;IAP9L-AGCM 的初始积分时间为前 1 年 10 月 25~31 日,集合样本数为 7 个。每个样本都积分至当年 2 月底,分别将两个模式所有单个积分结果的算术平均作为各自的集合平均预测结果。其中,大气初始场采用的是 NCEP/NCAR 的再分析资料,包括高空 17 层位势高度场、风场、相对湿度和温度场以及近地层的位势高度、气压、风、温度和相对湿度。SST 采用 NCEP 的全球月平均 SST 资料。用于回报的“真实”的月平均 SST,是将利用实测资料计算出的月平均 SSTA 插值到模式网格点后,叠加到模式月平均 SST 的气候

态上。

3 数值回报结果及其效果分析

由于 1984 年和 2008 年冬季我国南方雪灾集中在 1 月中旬至 2 月中旬, 而气候预测对象的时间尺度最短为月平均, 因此本文侧重于考察 1 月和 2 月月平均气候异常情况。

3.1 1984 年极端天气事件的分析

据 1984 年 1 月月平均实况分析 (图 1), 全国降水以偏少为主, 尤其是我国东部地区。在内蒙古中部以西、东北东部、长江口一带、四川—甘肃—青海三省交界一带、西南以及新疆东部存在明显的降水正距平。近地面风场异常显示, 我国北方和东部沿海一带为显著北风距平, 副热带高压异常偏强, 东北亚一带为显著的偏东风距平。对比实况和回报结果 (图 2) 可以看出, 如果综合两个模式的回报结果来看, 上述气候异常状况都能在模式结果中得到体现, 只是降水范围以及正距平中心的预测效果不够理想。相比之下, 我国东部地区的风场异常较降水异常更容易被预测得准确一些。考察预测效果发现, IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 对与我国气候异常密切相关的气候因子都具有一定的预测潜力, 但针对不同区域和气候因子, 两个模式各具预测优势和缺陷, 不能独自预测出所有的气候异常状况。比如, IAP DCP-II 在对四川—甘肃—青海三省交界一带降水偏多, 自蒙古国入侵我国的冷空气路径, 以及我国东部风场异常状况的预测中都具有明显的预测

优势, 而 IAP9L-AGCM 则对长江口和西南地区降水、东北亚和副热带太平洋地区环流场异常以及南海、孟加拉湾和阿拉伯海的风场异常具有较好的预测潜力。总体来看, 天气过程所引起的气候异常是具有气候可预测性的, 上述结果也增强了我们今后利用气候模式预测此类极端天气事件的信心。

从 2 月月平均降水和近地面风场异常的实况 (图 3) 来看, 我国除西北中部、西南地区、内蒙古北部以及东北东部降水较常年偏多外, 其他地区降水几乎都较常年偏少, 南方地区的极端天气过程在月平均时间尺度上已基本反映不出来。在近地面, 东北亚地区受显著反气旋环流控制, 从蒙古国入境至我国中东部的冷空气, 与来自东北亚一带携带大量水汽的偏东风距平汇合, 沿我国东部沿岸长驱直入到达了我国南海一带。比较回报结果来看 (图 4), 两个模式对我国西北中部降水异常都具有较好的预测潜力, 对于东部的旱情, IAP DCP-II 基本没有刻画出来, 但 IAP9L-AGCM 的回报结果基本符合实况, 只是降水范围及其强度还存在一些偏差。这就提醒我们, 需要借助一些有效的订正方案, 将模式结果的异常幅度订正到与观测量值相匹配的水平上来。在这方面, 国内外学者一直没有停止探索和研究, 提出了多种有效的订正方案^[10~14]。然而, 由于气候模式还不够完善、气候存在复杂的年际和年代际变化, 订正方法往往需要结合模式自身特点进行研究才能得到, 其订正效果具有很大的模式依赖性, 因此要找到行之有效的订正方案, 在现阶段而言

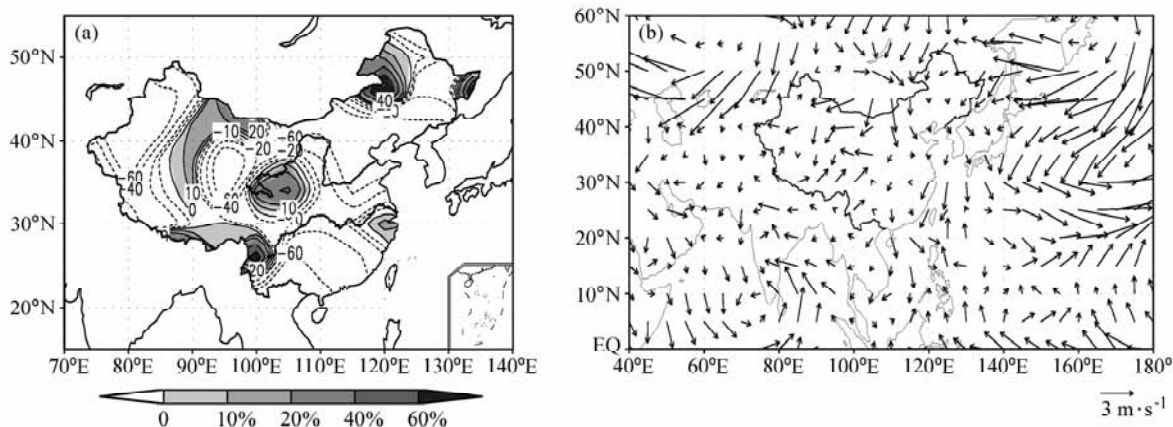


图 1 1984 年 1 月降水距平百分率 (a) 和 1 000 hPa 风场距平 (b) 分布实况

Fig. 1 Observed percentage anomaly of precipitation (a) and wind anomaly at 1 000 hPa (b) for Jan 1984

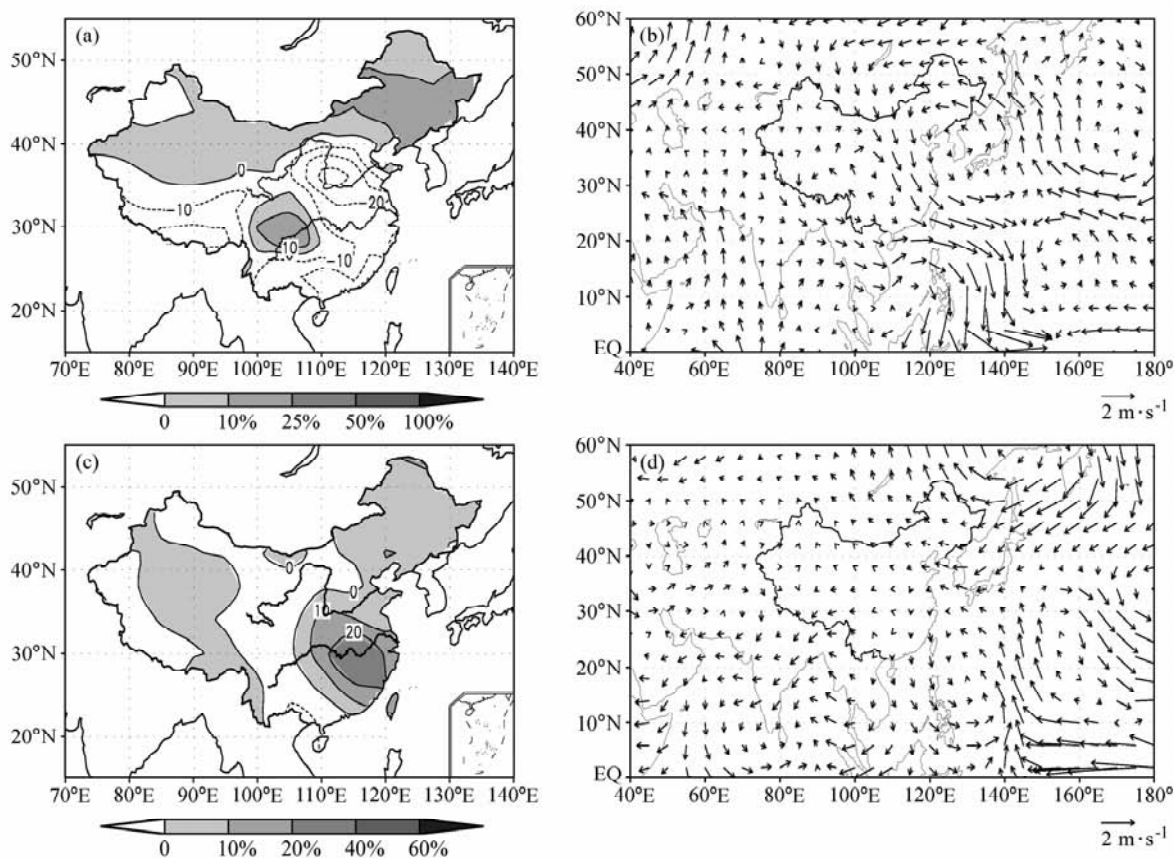


图2 1984年1月降水距平百分率(左列)和1000 hPa风场距平(右列)的模式回报结果:(a)和(b)为IAP DCP-II回报结果;(c)和(d)为IAP9L-AGCM回报结果

Fig. 2 Model results of percentage anomaly of precipitation (left) and wind anomaly at 1000 hPa (right) for Jan 1984; (a), (b) by IAP DCP-II; (c), (d) by IAP9L-AGCM

仍然是高度复杂和困难的。另外,从近地面风场的预测效果可以看出,两个模式对我国东部至南海一带偏北风距平都能够合理模拟出来。与模式对1月气候异常的预测技巧相似,IAP DCP-II较IAP9L-AGCM对我国东部地面风异常状况仍然具有较大的优势。遗憾的是,两个模式都未能刻画出东北亚地区的风场异常情况。

3.2 2008年极端天气事件的分析

对实况的分析^[15]显示,2008年1月,全国降水以偏多为主,只有东北及华北东部、新疆北部以及江南大部降水偏少。在1000 hPa,我国东部基本为东北风或北风距平,与来自南海和孟加拉湾的显著偏南风距平在西南和华南地区交汇,使得这些地区的降水较常年显著偏多。从图5中降水的回报结果来看,两个模式的预测潜力仍然存在差异。2层和9层模式的预测优势分别体现在对西南、长江中上游一带降水的预测和西北大部、

西南部分地区以及华南沿海一带降水的预测上,而我国东部尤其是对华东沿岸地区降水的预测潜力都不理想。对于1000 hPa风场异常,我国东部偏北风距平、华东沿海一带东北风或偏东风距平以及南沙群岛一带西南风距平都能在两个模式结果中得到体现,但来自孟加拉湾和南海地区的西南风异常未能得到合理的预测,这与华南西部至西南地区降水预报技巧有限相对应。

从2月月平均实况分布(图6)中可以看出,降水主要集中在(30°N, 95~110°E)以南的大部分地区、新疆西南部以及内蒙古北部和东北北部的少部分地区。我国东部乃至南海地区都为显著偏北风距平,孟加拉湾地区的西南风距平仍然存在,但势力已经大大减弱。从回报结果来看(图7),东北和内蒙古地区以及华南东部的降水正距平中心能在较大程度上被2层模式复制出来,河套以南至新疆地区降水偏多的走势则在9层模

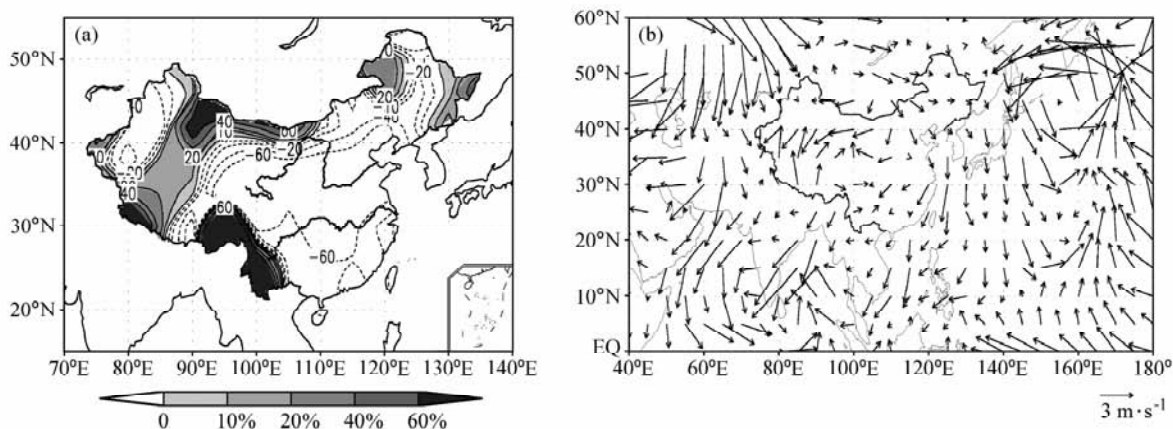


图3 同图1, 但为1984年2月

Fig. 3 Same as Fig. 1, but for Feb 1984

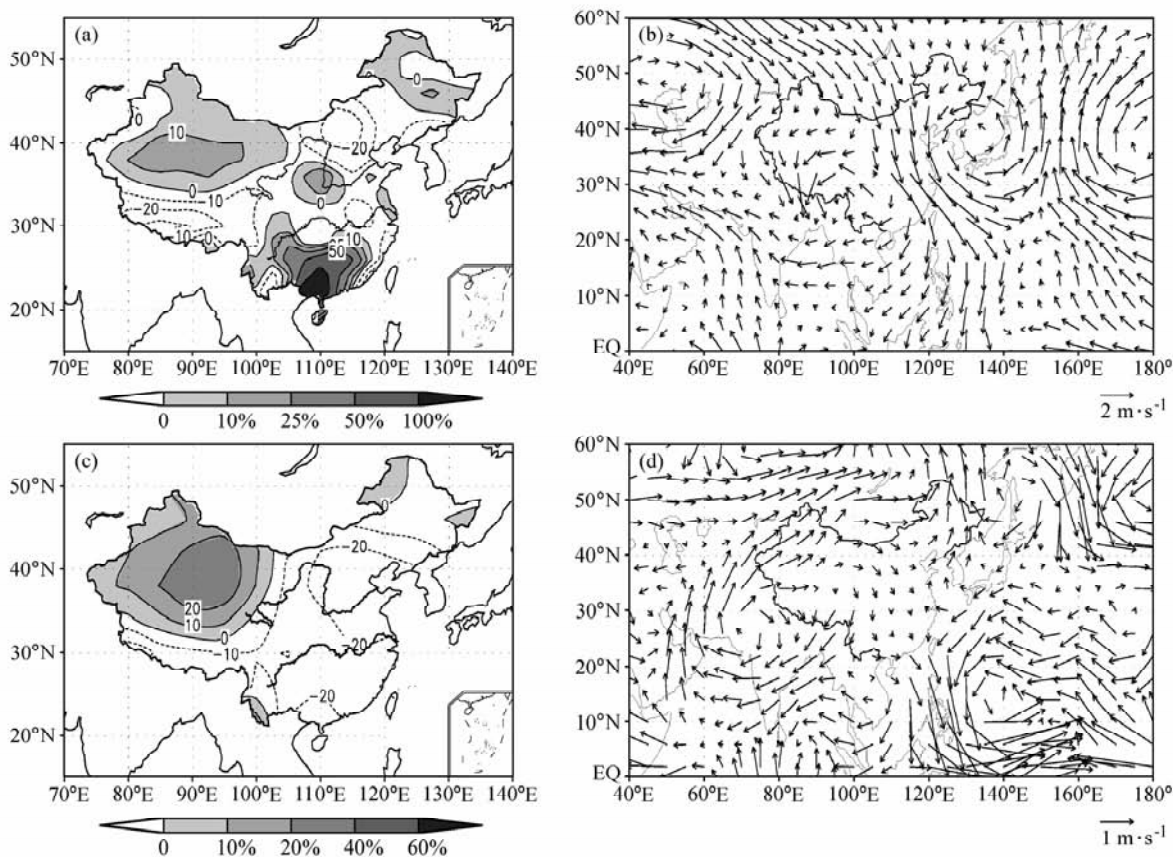


图4 同图2, 但为1984年2月

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for Feb 1984

式中得到了较好的刻画。虽然在细节方面未能尽如人意, 两个模式所表现出的预测能力仍然能够在较大程度上体现出极端天气过程降水的气候可预测性。而且, 鉴于模式分辨率较粗的缺陷, 预测性能所表现出的不理想也是必然的。对于 1 000

hPa 风场, 两个模式都对我国东部至南海地区的偏北风距平具有很好的预测潜力, 这在很大程度上肯定了它们对我国冬季显著气候异常的良好预测性能。

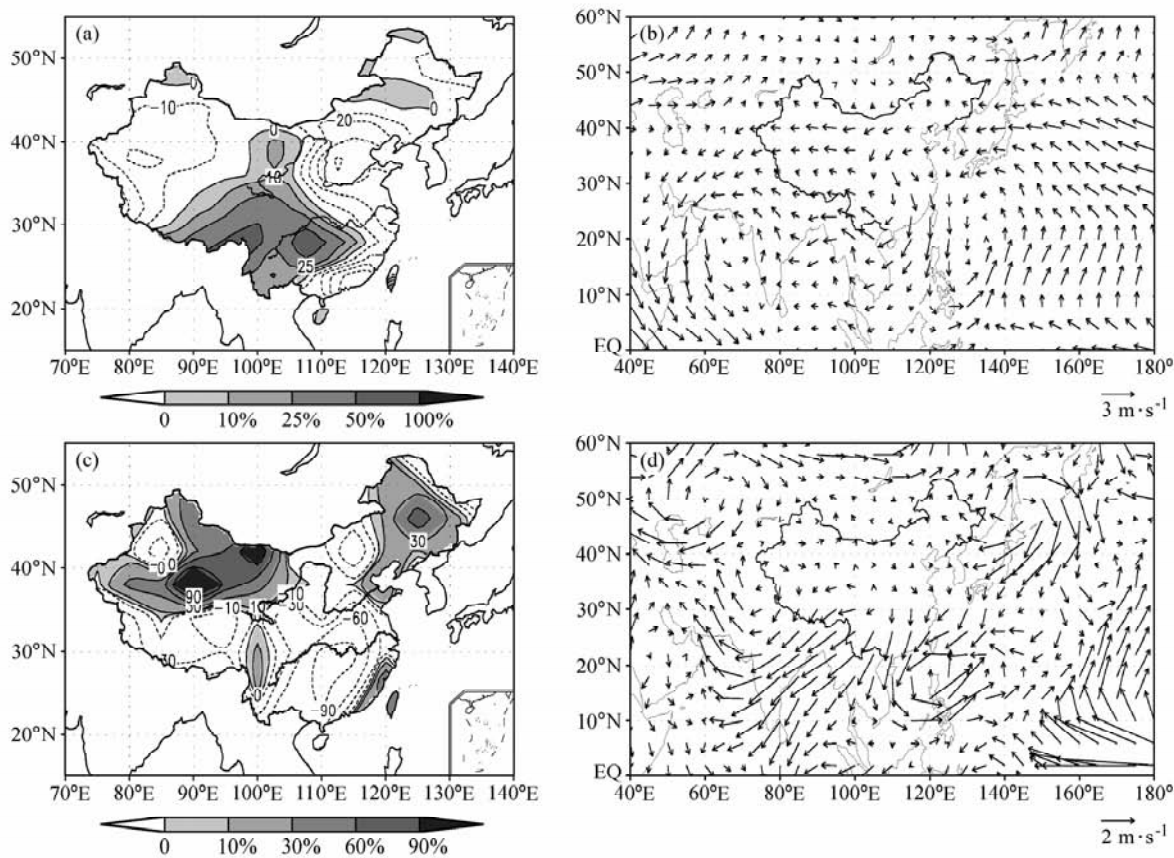


图5 同图2, 但为2008年1月

Fig. 5 Same as Fig. 2, but for Jan 2008

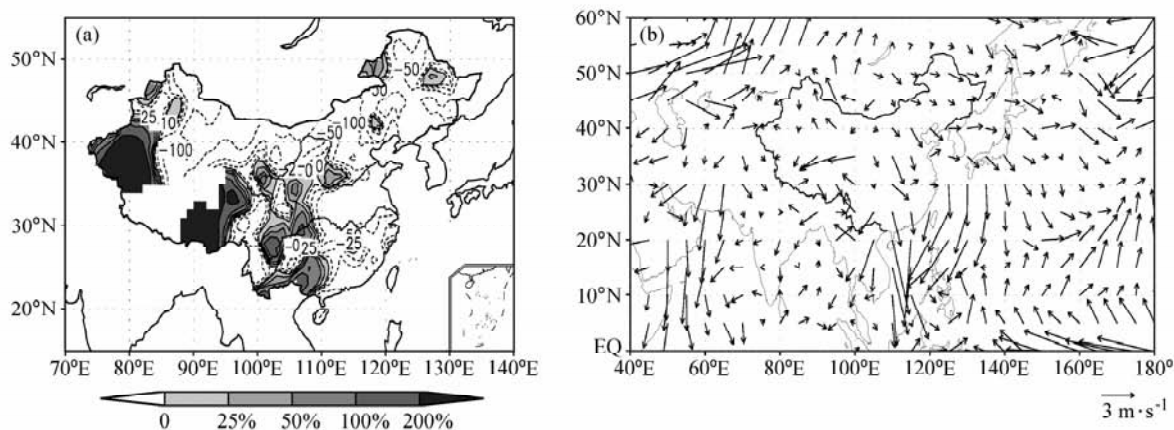


图6 同图1, 但为2008年2月

Fig. 6 Same as Fig. 1, but for Feb 2008

4 结论和讨论

本文针对1984年和2008年冬季发生的极端天气事件, 利用IAP DCP-II和IAP9L-AGCM进行了跨年度集合回报试验, 考察了该类天气事件

的气候预测潜力。结果表明, 两个模式对包含有极端天气过程的月平均降水异常和近地层风场异常都具有一定的预测潜力, 而且各具优势, 在一定程度上体现了此类天气事件的数值气候可预测性。由于这两个年份的初始大气信息和积分过程中的SSTA信号都存在差异, 同一个模式对不同

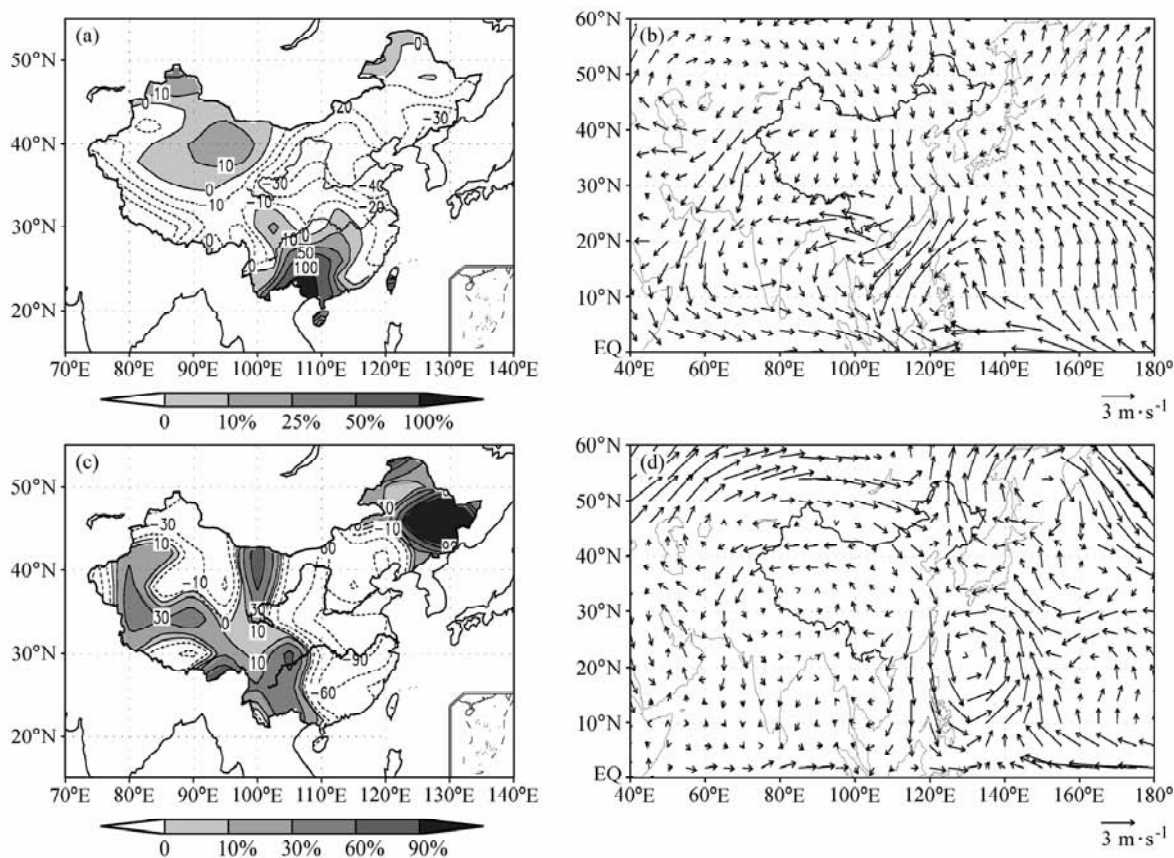


图7 同图2, 但为2008年2月
Fig. 7 Same as Fig. 2, but for Feb 2008

年份中相同时段气候异常(尤其是降水异常)的预报技巧在空间上变化较大,但对于我国东部地区月平均近地面风场异常始终具有较大的预报潜力。总体来看,2月降水的可预测性普遍比1月的要大,这可能是由于在积分过程中初始大气中不确定性因素的作用相对海温信号的影响程度在不断减弱所致,但具体原因还需进一步研究。此外,IAP DCP-II对冬季我国东部月平均近地面风场异常的预测潜力具有较大优势,而IAP9L-AGCM则是对月平均降水距平百分率的预测能力更为突出一些。这与两个模式在对2008年冬季极端天气事件的实时预测中所表现出来的预测能力比较一致^[15],两个模式体现出的这种预测优势互补的特性恰恰有利于得到更为准确的预测结果。这就提示我们,如果在今后的工作中对这两个模式的预测结果进行集合,很有可能会提高类似极端天气过程的气候预测技巧。

从气候学的角度考虑,涉及到本文的工作还

有一些问题需要注意。首先,由于气候预测的最小时间尺度是时间达1个月的平均结果,因此,如果天气过程比较集中或短暂,即使是非常强烈,也难以用气候预测的方法提前预测。另外,虽然SST是短期气候预测结果主要的决定因子,但在热带以外的地区,仅仅基于SSTA强迫得到的气候预测技巧存在较大的局限性,若不考虑短期气候变化的其他影响因子,如积雪、土壤湿度、植被反照率等,必然会影响到气候预测的准确度。同时,由于冬季距离预测的起始时间大约在4个月之内,预测结果很可能会受到大气初始异常的影响^[16~21],加之东亚季风与ENSO之间的联系存在不稳定性^[22~25],当外部强迫信号的作用不大时,初始大气环流异常的作用可能会被放大。因此,在进行气候预测时,对于初始积分时间以及集合样本个数的选取都值得进一步研究。还有,由于数值预测技巧在SST信号比较强时普遍较高^[26],因此ENSO事件的持续时段也会影响到预

测的准确度。也就是说,同样是强 ENSO 事件引发的天气过程,如果在预测时段 ENSO 的信号强弱不同,也会导致气候预测水平存在较大差异。最后需要指出的是,要对天气尺度以及区域性范围的极端天气事件进行更为细致地气候预测,区域模式较大气环流模式具有明显的优势。因此,区域模式的发展和应用仍然是当前迫切需要解决的问题。

参考文献 (References)

- [1] 李崇银. 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺. 科学通报, 1989, **34** (2): 283~286
Li Chongyin. Warmer winter in eastern China and El Niño. *Chinese Science Bulletin*, 1989, **34** (2): 1801~1805
- [2] 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
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (3): 276~285
- [3] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学, 2002, **26** (5): 595~610
Chen Wen. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, **26** (5): 595~610
- [4] 郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 我国冬季气候可预测性的跨季度集合数值预测研究. 科学通报, 2003, **48** (15): 1700~1704
Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. Extraseasonal ensemble numerical predictions of winter climate over China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48** (19): 2121~2125
- [5] 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 extraseasonal prediction of rainfall anomaly in China for 1998. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 339~348
- [6] 林朝晖, 赵彦, 周广庆, 等. 1999 年中国夏季气候的预测和检验. 气候与环境研究, 2000, **5** (2): 97~108
Lin Zhaohui, Zhao Yan, Zhou Guangqing, et al. Prediction of summer climate anomaly over China for 1999 and its verification. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (2): 97~108
- [7] 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 Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (3): 289~303
- [8] 郎咸梅, 王会军, 周广庆, 等. 应用 IAP9L-AGCM 对 2002 年中国夏季气候的预测及效果检验. 南京气象学院学报, 2004, **27** (1): 29~35
Lang Xianmei, Wang Huijun, Zhou Guangqing, et al. Prediction of summer climate over China in 2002 with IAP9L-AGCM and its performance. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2004, **27** (1): 29~35
- [9] 王会军, 郎咸梅, 周广庆, 等. 我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告. 大气科学, 2003, **27** (1): 136~140
Wang Huijun, Lang Xianmei, Zhou Guangqing, et al. A preliminary report of the model prediction on the forthcoming winter and spring dust climate over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (1): 136~140
- [10] 赵彦, 李旭, 袁崇光, 等. IAP 短期气候距平预测系统的定量评估及订正技术的改进研究. 气候与环境研究, 1999, **4** (4): 353~364
Zhao Yan, Li Xu, Yuan Chongguang, et al. Quantitative Assessment and Improvement to Correction Technology on Prediction System of Short-Term Climate Anomaly. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 353~364
- [11] 李芳, 林中达, 左瑞亭, 等. 基于经验正交函数和奇异值分解对东亚季风区跨季度夏季降水距平的订正方法. 气候与环境研究, 2005, **10** (3): 658~668
Li Fang, Lin Zhongda, Zuo Ruitin, et al. The Methods for Correcting the Summer Precipitation Anomaly Predicted Extraseasonally over East Asian Monsoon Region Based on EOF and SVD. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (3): 658~668
- [12] Wang Hunjun, Zhou Guangqing, Zhao Yan. An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17** (2): 234~240
- [13] Kang I S, Lee J Y. Potential predictability of summer mean precipitation in a dynamical seasonal prediction system with systematic error correction. *J. Climate*, 2004, **17** (4): 834~843
- [14] Chen Hong, Lin Zhaohui. A correction method suitable for dynamical seasonal prediction. *Adv. Atmos. Sci.*, 2006, **23** (3): 425~430
- [15] 陈红, 郎咸梅, 林朝晖, 等. 2008 年 1 月中国气候异常的动力学预测及效果检验. 气候与环境研究, 2008, **13** (4):

- 531~538
Chen Hong, Lang Xianmei, Lin Zhaohui, et al. Prediction of climate anomalies over China in January 2008 with IAP climate models and its verification. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2008, **13** (4): 531~538
- [16] Brankovic C, Palmer T N, Ferranti L. Predictability of seasonal atmospheric variations. *J. Climate*, 1994, **7** (2): 217~237
- [17] 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 Qingcun, Yuan Chongguang, Wang Wanqiu, et al. Experiments in numerical extra-seasonal prediction of climatic anomalies. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1990, **14** (1): 10~25
- [18] 王会军. 试论短期气候预测的不确定性. 气候与环境研究, 1997, **2** (4): 333~338
Wang Huijun. A preliminary study on the uncertainty of short-term climate prediction. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1997, **2** (4): 333~338
- [19] 王会军. 来自大气内部的季节气候可预测性初探. 大气科学, 2005, **29** (1): 64~70
Wang Huijun. Preliminary research on the iner-atmosphere-originated seasonal climate predictability. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (1): 64~70
- [20] 郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 大气初始异常在跨季度短期气候预测中作用的研究. 大气科学, 2004, **28** (2): 231~240
Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. A study of the impact of atmospheric initial anomalies on extraseasonal short-term climate prediction. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2004, **28** (3): 249~259
- [21] 赵彦, 郭裕福. 短期气候数值预测中海温和初始场作用的敏感性试验. 应用气象学报, 2000, **11** (增刊): 21~30
Zhao Yan, Guo Yufu. Sensitivity experiments on the fields of SST and atmospheric initial conditions of the numerical short term climate prediction. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, **11** (Suppl.): 21~30
- [22] Wang Huijun. The instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relations. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (1): 1~11
- [23] 姜大膀, 王会军, Drange H, 等. 耦合模式长期积分中东亚夏季风与 ENSO 联系的不稳定性. 地球物理学报, 2004, **47** (6): 976~981
Jiang Dabang, Wang Huijun, Drange H, et al. Instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relationship in a coupled global atmosphere-ocean GCM. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, **47** (6): 1098~1103
- [24] 高辉, 王永光. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究. 气象学报, 2007, **65** (1): 131~137
Gao Hui, Wang Yongguang. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2007, **65** (1): 131~137
- [25] 张庆云, 王媛. 冬夏东亚季风环流对太平洋热状况的响应. 气候与环境研究, 2006, **11** (4): 487~497
Zhang Qingyun, Wang Yuan. The response of East Asian monsoon circulation between winter and summer to sea surface temperature over the Pacific Ocean. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (4): 487~497
- [26] Kumar A. Variability and predictability of 200-mb seasonal mean heights during summer and winter. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108** (D5), 4169, doi: 10.1029/2002JD002728