

利用 ARGO 资料改进 ENSO 和我国夏季降水气候预测*

张人禾¹⁾ 殷永红¹⁾ 李清泉²⁾ 刘益民²⁾ 牛涛¹⁾

¹⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

²⁾(国家气候中心,北京 100081)

摘 要

全球海洋 ARGO 资料的获取为气候预测的研究提供了前所未有的海洋资料。该文首先利用 ARGO 资料改进次表层参数化方案后的 Zebiak-Cane 海洋模式,与统计大气模式耦合,建立了热带动力海洋-统计大气耦合模式。通过比较应用和未应用 ARGO 资料改进的海洋模式,进行了耦合模式的长期回报试验。结果表明:ARGO 资料的应用极大地改善了耦合模式对热带太平洋海面温度异常的预测能力,提前 3 个月和 6 个月的回报结果都有很大的改进,基本上回报出了 Niño3.4 区海面温度异常的演变特征,对厄尔尼诺和拉尼娜都能够给出较准确的回报,回报结果与观测之间的相关性在整个热带太平洋区域明显提高。该文还利用国家气候中心(NCC)全球海气耦合模式,对我国夏季降水进行了个例和多年季度回报模拟试验,探讨了包含和不包含 ARGO 观测资料的同化资料作为初始场对我国夏季降水预测的影响,表明采用带有 ARGO 观测资料的海洋同化初始场,回报的我国夏季降水分布形式与观测更一致,回报结果与观测之间的正相关区域变大,对我国夏季降水的回报水平比采用没有 ARGO 观测资料的海洋同化初始场时有明显提高。

关键词:ARGO 资料; ENSO 预测; 我国夏季降水气候预测

引 言

气候预测是国际上的热点研究课题,是国际上目前正在实施的气候变异及其可预测性(CLIVAR)研究计划^[1]的重要研究内容。在过去的 20 多年中,热带海洋-全球大气实验(TOGA)、世界海洋环流实验(WOCE)及热带大气海洋观测网(TAO)的成功实施,揭示了海洋在海-气耦合系统中的重要作用,极大的促进了短期气候预测的研究。世界一些国家积极开展短期气候预测的研究工作,研制了一批可用于短期气候预测的数值模式并进行了预测试验,得到具有一定参考价值的预测产品^[2-6]。在短期数值气候预测中,虽然对 ENSO 的预测具有较高的预报技巧,但由于 ENSO 本身的复杂性,目前还没有一个模式能够非常全面地预报出与观测一致的 ENSO 演变过程,不同模式的预报技巧在空间分布上有较

大差异,同时也与预报个例有关^[7]。因此,提高包括 ENSO 在内的短期气候预测水平是一个仍需要深入研究的科学问题。

短期气候预测对海洋观测资料,尤其是全球海洋温、盐、流的立体剖面资料都有极大的依赖性。但是,由于受技术条件和资金限制,在 ARGO 计划^[8]实施以前,海洋资料的采集主要以抛弃式温探计 XBT 为主,辅以少量锚锭 ATLAS 浮标(如 TAO),采集的海洋资料无论是要素(XBT 仅能探测海温)、空间分辨率(受志愿船航线和锚锭分布密度限制)、精度等方面均远不能满足需求。气象和海洋学家获得的大多是海洋表面的一些要素资料,对海洋垂直剖面上温、盐、流的资料知之甚少。因此,在很大程度上限制了短期气候预测水平的提高。

由美国等国大气、海洋科学家于 1998 年提出的一个大型旨在快速、准确、大范围收集全球海洋上层 2000 m 的温、盐、流剖面资料的海洋观测计划——

* 国家自然科学基金项目(40231014,40575034)资助。

2006-07-03 收到,2006-08-28 收到修改稿。

ARGO(Array for Real-time Geostrophic Oceanography)全球海洋观测网⁹⁾,目前正在迅速发展。建设中的 ARGO 全球海洋观测网无论从观测浮标的数量、观测覆盖区域,还是观测资料的代表性和应用价值,均明显优于 TAO 观测网。这种全球范围、较高时空分辨率($3^{\circ} \times 3^{\circ}$; 10 d 一个剖面)海洋上层(2000 m 以上)的温、盐、流剖面资料的获取,为大气、海洋科学家进一步加深对海洋温、盐垂直结构、环流及能量、水平平衡过程的了解,改善模式初始场,从而为提高短期气候预测水平等方面提供前所未有的数据库¹⁰⁾。因此,ARGO 观测资料对于短期气候预测具有不可估量的科学价值。

目前,世界各国(尤其是沿大洋各国)对 ARGO 全球海洋观测网的建设均显示了极大热情,并投入大量人力、财力进行布设浮标以及开展与短期气候预测相关的研究¹¹⁻¹²⁾。美国、英国、日本、澳大利亚等国均成立了专门机构收集 ARGO 浮标资料,制定了详细计划和时间表进行 ARGO 浮标资料的同化方法研究;建设经数据同化后的高精度网格点数据库;并进一步利用同化后 ARGO 资料改进短期气候预测模式的预报能力。如美国的国家环境预报中心(NCEP)、日本气象厅(JMA)、英国 Hadley 气候预报中心、澳大利亚气象局(BOM)等均已将 ARGO 同化资料投入业务预报试运行¹⁾,并显示出良好的发展前景。

中国在 2002 年正式成为国际 ARGO 计划成员国,在西北太平洋海域布放了 19 个 ARGO 浮标²⁾,并成立了中国 ARGO 资料中心¹³⁾,对 ARGO 资料进行收集整理和分发。同时,也开展了 ARGO 资料的应用研究,利用 ARGO 资料进行了海洋资料同化和改进海洋模式的物理过程¹⁴⁾,并且在国家气候中心建立了具有同化 ARGO 资料能力的全球海洋资料同化业务系统¹⁵⁾。本文将在这些研究的基础上,研究利用 ARGO 资料改进的海洋模式用于 ENSO 预测在提高预测水平中的作用;根据同化了 ARGO 资料的全球海洋同化资料,探讨 ARGO 资料在改进我国汛期降水预测中的作用。

1 资料和方法

本文所用 ARGO 观测资料由中国 ARGO 资料中心提供,时间为 1998—2003 年;本文所用资料还包括世界海洋图集 WOA98 资料¹⁶⁾、NCEP OISST V2 海温分析资料¹⁷⁾、NCEP/NCAR 再分析资料¹⁸⁾和 Levitus94 上层海温资料¹⁹⁾。

研究中对 ARGO 观测资料进行了初步质量控制。从观测变量本身及其梯度两个方面去掉了明显不合理的 ARGO 剖面资料。进行的质量控制主要包括:①剔除 ARGO 观测资料值过大或过小的剖面,判断标准是温度不能高于 35°C 和小于 -5°C ,同时与历史观测资料(Levitus94)在相应格点差的绝对值不能大于事先给定的一个判据。此判据随深度的增加而减少(从 8°C 到 4°C);②剔除梯度不合理的剖面,最大能容忍的梯度是历史观测资料(Levitus94)在相应格点梯度的 2.5 倍。

2 ARGO 资料对 ENSO 预测的改进

由于 Zebiak-Cane 海洋模式²⁰⁾(以后简称为 ZC 模式)被大量用于热带海洋和热带海气相互作用的研究²¹⁾以及厄尔尼诺的预测²²⁾,Yin 等³⁾利用 ARGO 浮标资料和 WOA98 资料,对 ZC 模式次表层海温参数化方案进行了检验。发现原模式方案的结果在赤道东太平洋区域与实际观测拟合较好,而在赤道中西太平洋区域与实际观测差别较大,海洋表层和次表层的海温异常的振幅太小,并且显示不出与观测一致的年际变化状况,即原 ZC 模式几乎没有模拟赤道中西太平洋表层和次表层海温年际变化的能力。在对 ARGO 和 WOA98 资料分析的基础上,利用拟牛顿法求 ZC 模式的次表层参数化方案中若干关键参数的最优解,对原 ZC 模式中海洋次表层参数化方案进行了改进,提出了新的次表层海温参数化方案。用新次表层海温参数化方案替换 ZC 模式中的旧方案后,模拟结果表明:采用新方案的 ZC 模式

① http://www-argo.ucsd.edu/FrUse_by_Operational.html.

② <http://argo.jcommops.org/>.

③ Yin Yonghong, Zhang Renhe, Shi Li, et al. Evaluation and modification of a subsurface entrainment temperature parameterization in the Zebiak-Cane ocean model by using ARGO and TAO data. Submitted to *Adv Atmos Sci*.

对热带中西太平洋次表层温度距平和海面温度异常的模拟有明显的改进,克服了原 ZC 模式对赤道中西太平洋表层和次表层海温模拟的不足,在赤道中西太平洋不仅次表层海温的模拟得到了改善,对海面温度异常的模拟也有了较大的改进,模式结果显示与观测一致的年际变化特征,并且年际变化的振幅也与观测非常一致,大大地改进了 ZC 模式的模拟能力。

为了说明 ARGO 资料的应用在改进 ENSO 预测中的作用,根据观测的海面温度资料和风应力资料,在分析了二者的相关关系后,建立了由海面温度场确定大气风应力场的统计大气模式,并分别与未经改进和改进后的 ZC 海洋模式耦合,建立了动力海洋-统计大气耦合模式。为了检验利用 ARGO 资料改进 ZC 模式参数化方案后在提高耦合模式预测能力中的作用,对未经改进和改进后的 ZC 海洋模

式-统计大气耦合模式进行了长期回报试验,以下将对两种情况下的回报试验结果进行分析讨论。

图 1 给出了原 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 1a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 1b)提前 3 个月对 Niño3.4 区($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{W}$)的海面温度异常的回报结果。从图 1 可看出,改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报水平有了显著的提高。对于原 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 1a),虽然回报值与观测值之间具有较好的一致性,但可明显看出,对于发生在 1982/1983,1986/1987,1991/1992,1997/1998 和 2002/2003 年的 5 次厄尔尼诺事件,高海温期间的峰值回报温度都有所偏低;而对 1984/1985,1988/1989,1995/1996 和 1998/2000 年 4 次拉尼娜事件,低海温期间的负海面温度距平回报值明显偏高。利用 ARGO 资料对 ZC 模式参数化方案改进后,与统计大气模式耦合后的回报结果与观测

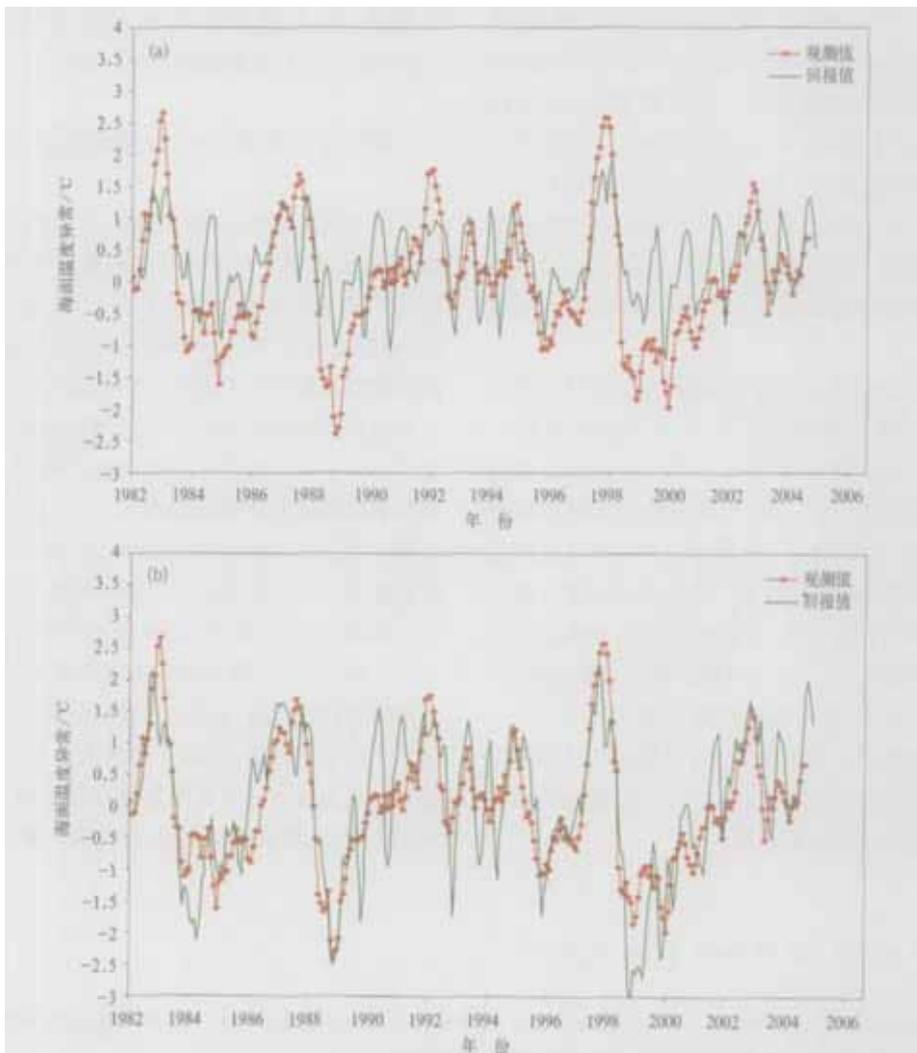


图 1 原 ZC 模式-统计大气耦合模式(a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(b)提前 3 个月 Niño3.4 区($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{W}$)海面温度异常的回报结果

结果有更好的一致性(图 1b)。厄尔尼诺期间的高海温峰值增大,拉尼娜期间的低海温变得更低,二者都比原 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果更接近观测值。

图 2 给出了原 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 2a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 2b)提前 6 个月对 Niño3.4 区的海面温度异常的回报结果。从图 2 可看出,原 ZC 模式-统计大气耦合模式提前 6 个月的回报结果(图 2a)比提前 3 个月的回报结果(图 1a)明显偏差,对 Niño3.4 区的海面温度演变

的回报与实际观测结果存在较大差异,海面温度年际变化的周期不明显,变化的振幅也明显偏小,特别是对海面温度负距平几乎没有回报能力。总体上看,原 ZC 模式-统计大气耦合模式提前 6 个月的回报结果基本上回报不出厄尔尼诺和拉尼娜的演变特征。从改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式提前 6 个月的回报结果来看(图 2b),回报结果与观测有非常好的一致性,具有与观测一致的年际变化周期和振幅,基本上回报出了 Niño3.4 区海面温度异常的演变特征,对厄尔尼诺和拉尼娜都能够给出准确的回报。

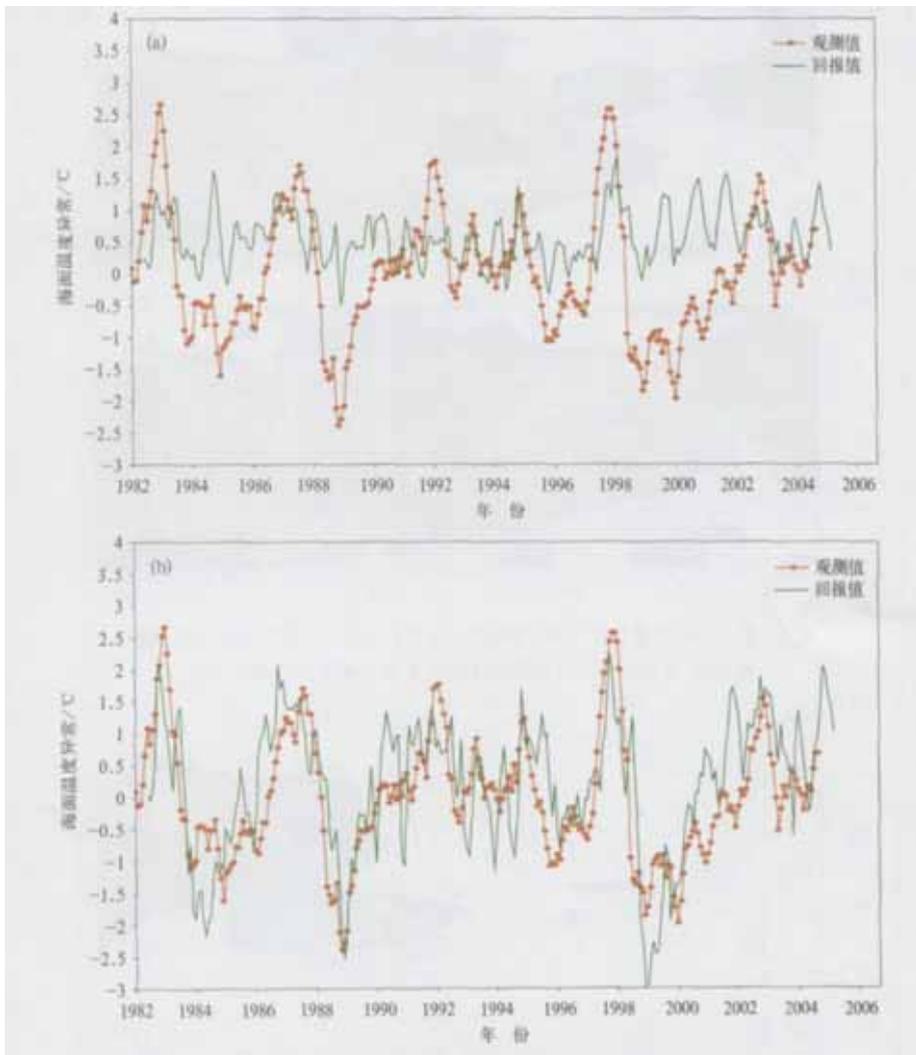


图 2 说明同图 1, 但为提前 6 个月的回报结果

图 3 给出了原 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 3a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 3b)提前 3 个月回报的热带太平洋海面温度异常与观测值的相关系数分布。可以看出,原 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果与观测值的高相关区域主要

出现在热带东太平洋,热带西太平洋的相关系数普遍偏小。改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果与观测值的相关性在整个热带太平洋区域普遍得到提高。热带东太平洋的高相关区域相关系数明显增大,出现了相关系数超过 0.8 的区域。在赤

道附近,原 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果与观测值相关系数超过 0.5 的区域的西界在 150° W 附近,改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果与观测值相关系数超过 0.5 的区域向西扩展了将近 20 经距,到达 170° W 附近。在热带西太平洋,改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式的回报结果明显变好,出现了相关系数大于 0.5 的大片区域。由此可看到,改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式比原 ZC 模式-统计大气耦合模式的预测能力得到明显

提高。

图 4 给出了原 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 4a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(图 4b)提前 6 个月回报的热带太平洋海面温度异常与观测值的相关分布。可以看出,对于提前 6 个月的回报,原 ZC 模式-统计大气耦合模式的相关系数(图 4a)比提前 3 个月的相关系数(图 3a)明显变小。相关系数超过 0.5 的区域只集中在热带东太平洋很小的区域内,热带西太平洋的相关系数很小并出现了大

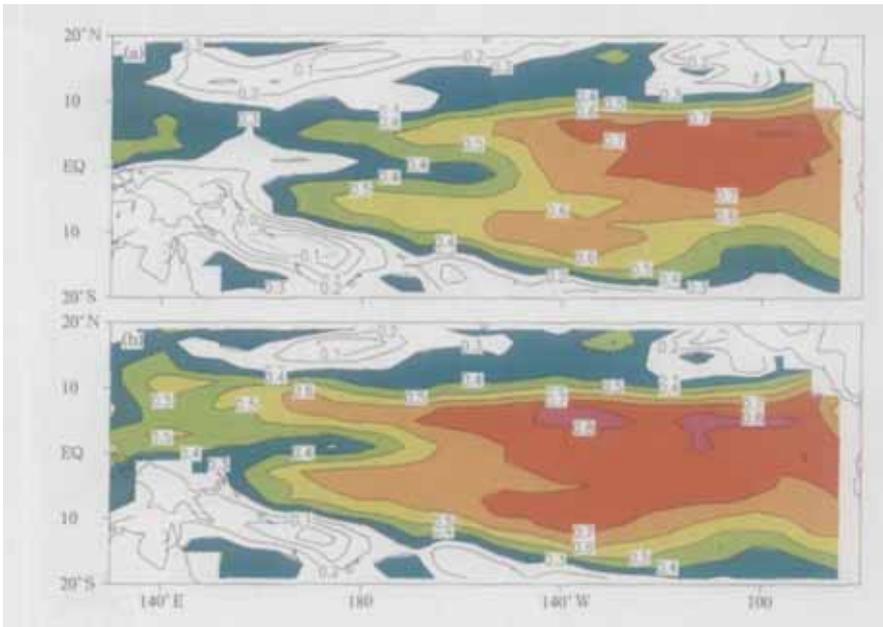


图 3 原 ZC 模式-统计大气耦合模式(a)与改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式(b)提前 3 个月回报的海面温度异常与观测值的相关分布

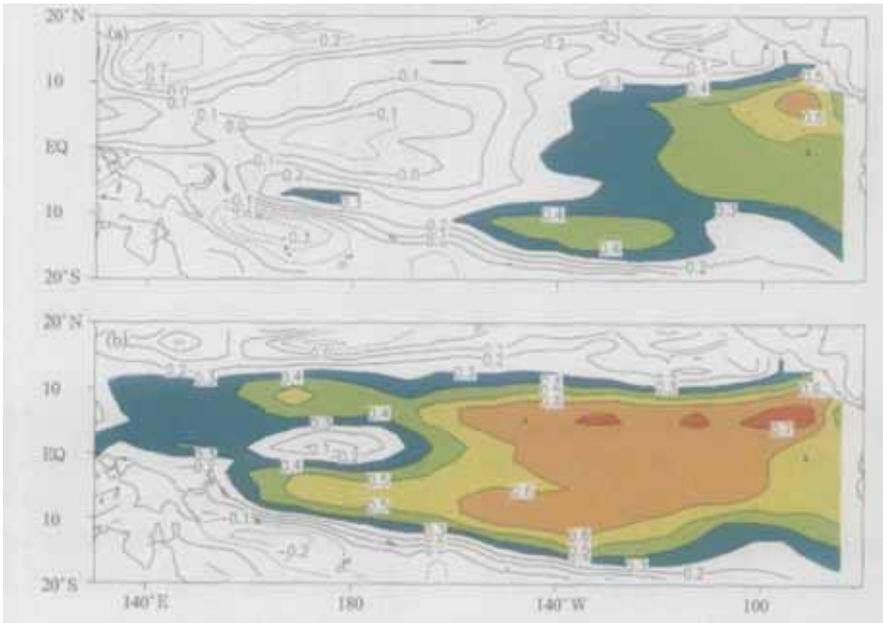


图 4 说明同图 3,但为提前 6 个月回报的海面温度异常与观测值的相关分布

范围的负相关。对于改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式,相关系数明显提高,在整个热带太平洋回报结果与观测的相关都为正值,除了在赤道中太平洋 180°附近的一小块区域外,大部分区域的相关系数都大于 0.3。相关系数大于 0.5 的区域出现在热带中东太平洋的大范围区域,特别是在原耦合模式几乎没有预测能力的热带西太平洋区域,预测能力得到明显的改善。

3 ARGO 资料对我国夏季降水季节预测的改进

Liu 等^[15]的研究结果表明,将 ARGO 资料引入

国家气候中心全球海洋资料同化系统(NCC-GODAS)大大改善了同化结果,其同化结果可为海-气耦合模式进行季节气候预测业务提供更加可信的海洋初始场资料。为了研究在形成初始场的海洋资料同化系统中引入 ARGO 资料是否能改进海气耦合模式的季节气候预测能力,利用 NCC 全球海气耦合模式^[23]对我国夏季(6—8 月)降水进行了季节回报试验。

图 5 给出了海洋初始场分别利用不包含 ARGO 观测资料的同化资料(图 5a)和包含 ARGO 观测资料的同化资料(图 5b)时,由 NCC 全球海气耦合模式对 2002 年我国夏季(6—8 月)降水距平百分率的回报试验结果。同时,在图 6 中给出了 2002 年我国

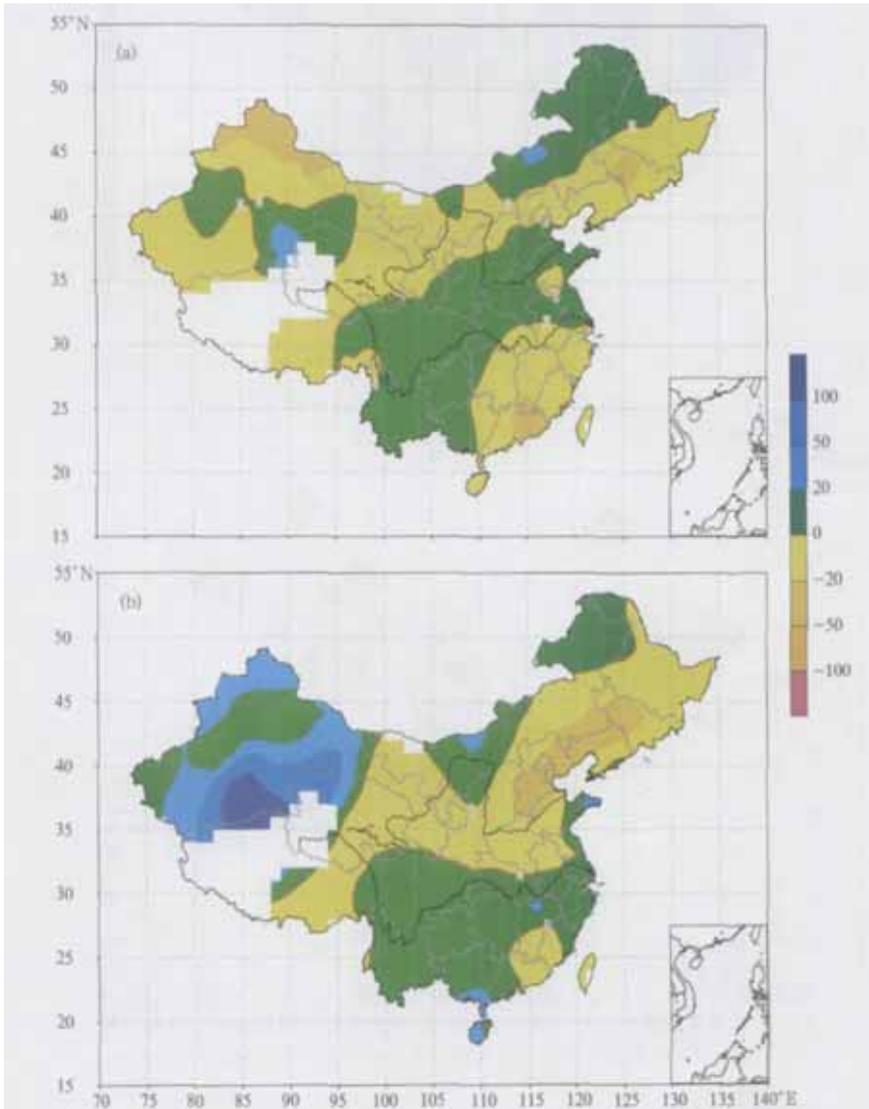


图 5 利用 NCC 全球海气耦合模式回报的 2002 年我国夏季降水距平百分率(单位: %)(a) 不包含 ARGO 观测资料的同化资料作为初始场, (b) 包含 ARGO 观测资料的同化资料作为初始场

夏季降水距平百分率的观测结果。比较图 5 和图 6 可看出,在初始场中引入 ARGO 资料对回报的我国东部降水分布形式有了明显的改进。当初始场中不包含 ARGO 资料时(图 5a),回报的夏季我国东部雨带出现在华北以及黄河和长江之间,而观测结果(图 6)表明雨带主要出现在长江以南,二者之间存在着明显的差异。当初始场中包含了 ARGO 资料时(图 5b),回报的夏季我国东部雨带出现在长江以南,与观测具有较好的一致性。同时也可看出,初始场中

包含了 ARGO 资料时,我国西北夏季降水的回报也有所改进,与观测结果更接近。

以上对 2002 年夏季的个例回报试验结果表明,初始场中包含 ARGO 资料时,NCC 全球海气耦合模式对我国夏季降水的预测能力有所提高。为了检验这种预测能力的提高是否具有代表性和普遍性,对 1998—2003 年进行了系统回报试验(参见李清泉等^④)。图 7 给出了海洋初始场分别利用不包含 ARGO 观测资料的同化资料(图 7a)和包含 ARGO 观

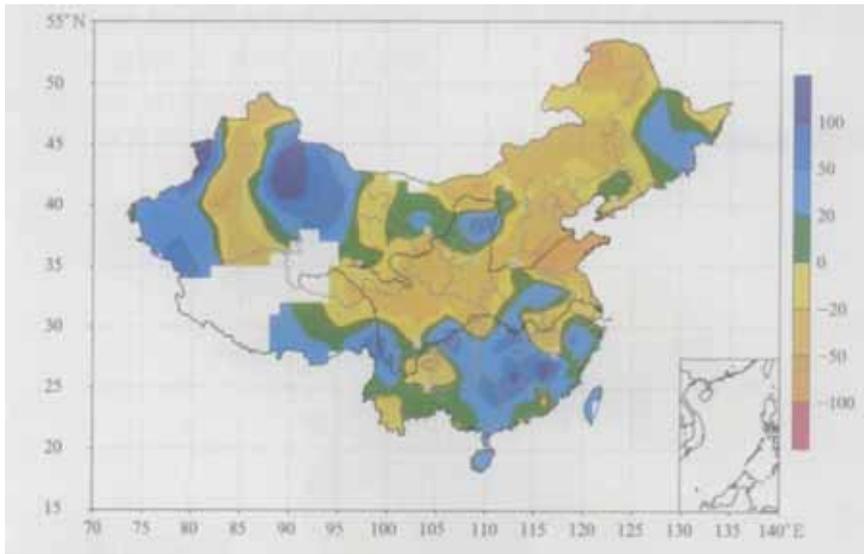


图 6 2002 年我国夏季降水实况距平百分率(单位:%)

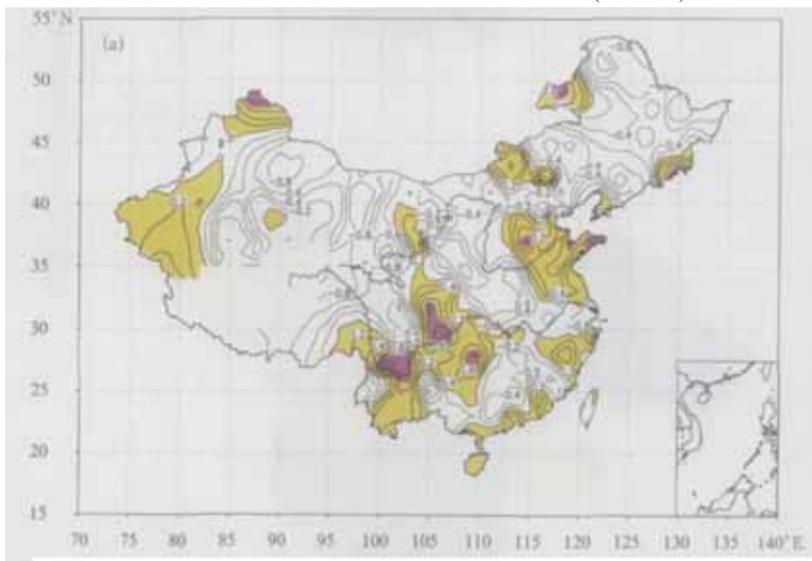
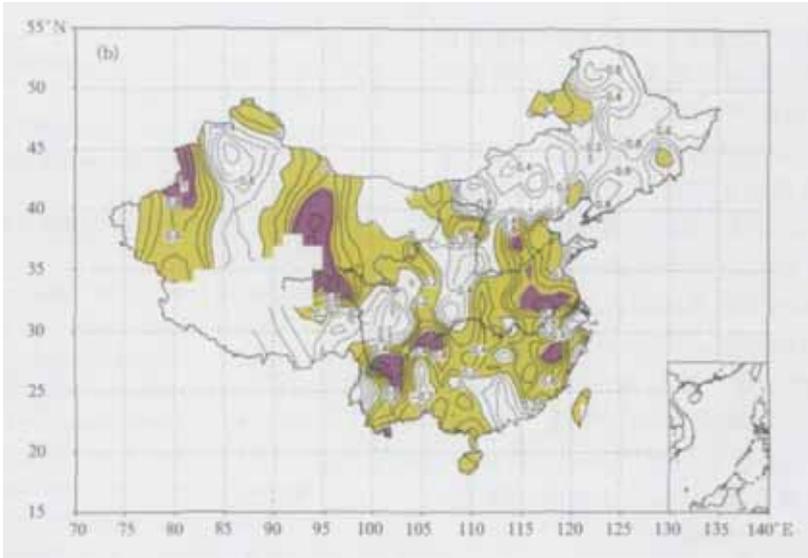


图 7 利用 NCC 全球海气耦合模式对 1998—2003 年回报与观测的我国夏季降水距平百分率相关分布(a)不包含 ARGO 观测资料的同化资料作为初始场,(b)包含 ARGO 观测资料的同化资料作为初始场(其中阴影区为正相关区域)

④ Li Qingquan, Zhang Renhe, Liu Yimin. Application of ARGO data in seasonal prediction with a Global coupled Ocean-atmospheric Model. Submitted to *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*.



续图 7

测资料的同化资料(图 7b)时,由 NCC 全球海气耦合模式对 1998—2003 年回报的我国夏季降水距平百分率与我国夏季降水实况距平百分率之间的相关分布。可以看出,当初始场中不包含 ARGO 资料时(图 7a),回报的我国夏季降水与观测值之间的正相关区域主要出现在我国东部黄河下游以北和 115°E 以东的黄河和长江下游之间、长江中游以南和以北地区以及西北偏西部等区域。当初始场中包含 ARGO 资料时(图 7b),回报的我国夏季降水与观测值之间的正相关区域明显扩大,除了初始场中不包含 ARGO 资料时的正相关区域外,在长江以南、黄河和长江下游之间以及西北的大范围地区出现了正相关区域。由此可见,在初始场中包含 ARGO 资料,可以提高 NCC 全球海气耦合模式对我国夏季降水的季节预报能力。

4 结论与讨论

本文利用观测的海面温度资料和风应力资料,根据二者的相关关系建立了统计大气模式,并分别与未利用 ARGO 资料改进和利用 ARGO 资料改进后的 ZC 海洋模式耦合,建立了动力海洋-统计大气耦合模式,并对热带太平洋的海面温度进行了长期回报试验。回报结果表明:当利用 ARGO 资料改进后的 ZC 海洋模式与统计大气模式耦合时,对热带太平洋的海面温度预测能力明显提高。提前 6 个月回报结果与观测有非常好的一致性,具有与观测一

致的年际变化周期和振幅,基本上回报出了 Niño3.4 区海面温度异常的演变特征,对厄尔尼诺和拉尼娜都能够给出准确的回报。对于改进后的 ZC 模式-统计大气耦合模式,提前 6 个月回报的海面温度在整个热带太平洋区域与观测的海面温度之间的相关系数明显提高,特别是在未改进 ZC 模式时的耦合模式几乎没有预测能力的热带西太平洋区域,预测能力得到明显的改善。

已有的研究表明,热带西太平洋的海气相互作用在 ENSO 循环中起着非常重要的作用^[24-27],ENSO 的发生与热带西太平洋次表层的海温异常有密切的联系,ENSO 信号可能最早出现在热带西太平洋海洋次表层^[27-28]。Yin 等^③研究指出,ZC 海洋模式在赤道东太平洋区域与实际观测拟合较好,而在赤道中西太平洋区域与实际观测差别较大,海洋表层和次表层的海温异常的振幅太小,并且显示不出与观测一致的年际变化状况,ZC 模式几乎没有模拟赤道中西太平洋表层和次表层海温年际变化的能力。用新发展的海洋次表层参数化方案替代原方案后,采用新方案的 ZC 模式对热带中西太平洋次表层温度距平和海面温度异常的模拟有明显的改进,克服了原 ZC 模式对赤道中西太平洋表层和次表层海温模拟的不足,在赤道中西太平洋不仅次表层海温的模拟得到了改善,对海面温度异常的模拟也有了较大的改进,模式结果显示出与观测一致的年际变化特征,年际变化的振幅也与观测非常一致。因此,改进的 ZC 模式对热带西太平洋模拟能力的提

高,使得该模式能够更好地反映出西太平洋海气相互作用与 ENSO 循环的密切联系,为提高该模式对 ENSO 的预测水平提供了良好基础。

本文还利用 NCC 全球海气耦合模式,通过在形成初始场的海洋资料同化系统中分别引入 ARGO 资料和不引入 ARGO 资料,对我国夏季降水进行了季节回报试验。对 2002 年的个例试验结果表明,在初始场中引入 ARGO 资料对回报的我国东部降水分布形式有了明显的改进。多年(1998—2003 年)回报试验表明,当初始场中包含 ARGO 资料时,回报的我国夏季降水与观测值之间的正相关区域明显扩大。由此可见,在初始场中包含 ARGO 资料,可以明显地改进预报效果,提高 NCC 全球海气耦合模式对我国夏季降水的季节预测能力。

利用全球动力海气耦合模式进行季节预测,实际上是将预测问题视为数学上的初边值问题,预测结果对初边值有直接的依赖性。因此,提高初边值的准确性对提高预测水平具有重要意义。Liu 等^[15]的研究表明,将 ARGO 资料引入 NCC-GODAS 全球海洋资料同化系统,大大改善了同化结果。与 NCEP/NCAR 再分析结果进行对比分析显示,在三大洋中同化后的海面温度不仅在温度数值的大小,而且在分布形势方面与观测都具有较好的一致性。同化场也很好地反映出海面温度的季节变化特征,对不同季节海面温度的分布形势有很好的描述。另外,对海温异常状况,特别是热带太平洋的年际异常,在同化场中可以较好地反映出实况特征。现有研究表明,我国的短期气候变异与太平洋、印度洋等一些区域的海面温度异常有密切联系^[29],因此,包含 ARGO 资料的同化结果为海-气耦合模式进行季节气候预测提供了更真实的海洋初始场资料,对预测水平的提高起到了重要作用。

参考文献

- [1] WCRP. CLIVAR Science Plan. WCRP Pub No. 89, WMO/TD No. 690, Geneva: WMO, 1995.
- [2] Ji M, Kumar A, Leetmaa A. A multi-seasonal climate forecast system at the National Meteorological Center. *Bull Amer Meteor Soc*, 1994, 75: 569-577.
- [3] Palmer T, Anderson D L T. The prospects for seasonal forecasting. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1994, 120: 755-793.
- [4] Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu, et al. Seasonal and extraseasonal prediction of the summer monsoon precipitation by GCMs. *Adv Atmos Sci*, 1997, 14: 163-176.
- [5] Carson D J. Seasonal forecasting. *Quart J Royal Meteor Soc*, 1998, 124: 1-26.
- [6] 张人禾,周广庆,巢纪平. ENSO 动力学与预测. *大气科学*, 2003, 27(4): 674-688.
- [7] 周广庆,曾庆存. IAP ENSO 预测系统 // 曾庆存,丑纪范. 气候系统的动力理论、模型和预测研究. 北京:气象出版社, 2003: 168-178.
- [8] 徐建平. 阿尔戈全球海洋观测大探秘. 北京:海洋出版社, 2002: 1-115.
- [9] Argo Science Team. On the Design and Implementation of Argo—an Initial Plan for a Global Array of Profiling Floats. International CLIVAR Project Office ICPO Report No. 21. GODAE Report No. 5. Melbourne: GODAE International Project Office, c/o Bureau of Meteorology, 1998: 1-32.
- [10] Roemmich D, Owens W B. The ARGO Project: global ocean observations for understanding and prediction of climate variability. *Oceanography*, 2000, 13(2): 45-50.
- [11] Vidard A, Anderson D L T, Balmaseda M. Impact of Ocean Observation Systems on Ocean Analysis and Seasonal Forecasts. ECMWF, Technical Memorandum, 2005, 460: 1-32.
- [12] Zhang S, Harrison M J, Wittenberg A T, et al. Initialization of an ENSO forecast system using a parallelized ensemble filter. *Mon Wea Rev*, 2005, 133(11): 3176-3201.
- [13] 林绍花,薛惠芬,陈继香. 中国 ARGO 资料中心网络服务系统. *海洋信息技术*, 2004, 2: 1-5.
- [14] 张人禾,刘益民,殷永红,等. 利用 ARGO 资料改进海洋资料同化和海洋模式中的物理过程. *气象学报*, 2004, 62(5): 613-622.
- [15] Liu Yimin, Zhang Renhe, Yin Yonghong, et al. The application of ARGO data to the global ocean data assimilation operational system of NCC. *Acta Meteor Sinica*, 2005, 19(3): 355-365.
- [16] Conkright M E, Locarnini R A, Garcia H E, et al. World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics, and Figures, CD-ROM Documentation. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 2002: 1-17.
- [17] Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J Climate*, 2002, 15: 1609-1625.
- [18] Kalnay E M, Kistler Kana mitsu, Collins W. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437-471.
- [19] Levitus S, Boyer T P, Antonov J. World Ocean Atlas, Vol 5: Interannual Variability of Upper Thermal Structure. NOAA Atlas NESDIS 5, U.S. Government Printing Office, Washington D C, 1994.
- [20] Zebiak S E, Cane M A. A model El Niño Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 2262-2278.
- [21] Neelin J D, Battisti D S, Hirst A C, et al. ENSO theory. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14262-14290.
- [22] Cane M A, Zebiak S E, Dolan S C. Experimental forecasts of El Niño. *Nature*, 1986, 321: 827-832.
- [23] 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.
- [24] 张人禾, 黄荣辉. El Niño 事件发生和消亡中热带太平洋纬向风应力的动力作用 I: 资料诊断和理论分析. 大气科学, 1998, 22(4): 597-609.
- [25] Wang C, Weisberg R H, Virmani J I. Western Pacific interannual variability associated with El Niño-Southern Oscillation. *J Geophys Res*, 1999, 104: 5131-5149.
- [26] 黄荣辉, 张人禾, 严邦良. 热带西太平洋纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用. 中国科学(D 辑), 2001, 31(8): 697-704.
- [27] 李崇银, 穆明权. 厄尔尼诺的发生与赤道西太平洋暖池次表层海温异常. 大气科学, 1999, 23(5): 513-521.
- [28] 巢清尘, 巢纪平. 热带西太平洋和东印度洋对 ENSO 发展的影响. 自然科学进展, 2001, 11(12): 1293-1300.
- [29] 张人禾, 李强. 热带海洋变异对东亚季风的影响. 气象, 2004, 30(12): 22-26.

Utilizing ARGO Data to Improve the Prediction of ENSO and Short-term Climate Prediction of Summer Rainfall in China

Zhang Renhe¹⁾ Yin Yonghong¹⁾ Li Qingquan²⁾ Liu Yimin²⁾ Niu Tao¹⁾

¹⁾ (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The acquirement of the global ARGO data provides unprecedented ocean data for researches on the climate prediction, a tropical dynamic ocean-atmospheric coupled model is set up. In the coupled model, the atmospheric part is a statistical atmospheric model constructed according to the correlation relationship between observed windstress and sea surface temperature in the tropical Pacific. The ocean part is Zebiak-Cane oceanic model in which the subsurface temperature parameterization scheme is improved based on the ARGO data. The long-term hindcasts are done using the coupled model. In order to understand the performance of the ARGO data in the improvement of the hindcasts, the results of the coupled model are compared using the unimproved and improved ocean models respectively. It is found that the application of the ARGO data in the oceanic model greatly raises the capability of the coupled model in hindcasting the sea surface temperature (SST) in the tropical Pacific. The hindcast of 6 months in advance gives the abnormal variations of the SST in the Niño3.4 region in good agreement with the observation. The El Niño and La Niña events in the hindcasting period are successfully hindcasted. The correlation of SSTs between the hindcasts and the observations is increased substantially in the whole tropical Pacific Ocean.

The improvement of the short-term climate prediction of summer rainfall in China is also investigated by using the global atmosphere-ocean coupled model of the China National Climate Center (NCC) using the ARGO data in the Global Ocean Data Assimilation System of NCC (NCC-GODAS). The results of seasonal hindcasts for the summer precipitation in China for the case of the summer of 2002 and also for the summers from 1998 to 2003 are showed respectively. It is found that when the ARGO data is included in the NCC-GODAS, the distribution of the hindcasted summer precipitation in China is closer to the observation. The area of the positive correlation between the hindcasted and the observed summer precipitations is enlarged. It demonstrates that hindcasts for the summer precipitation in China with ARGO data in the NCC-GODAS is much better than those without ARGO data.

Key words: ARGO data; ENSO prediction; short-term climate prediction of summer rainfall in China