

混合海气耦合模式中与 ENSO 相关的大气年际变化性*

吴爱明** 倪允琪***

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘 要 利用混合海气耦合模式 45 年模拟积分的结果, 对模式大气年际变化性进行了分析。结果表明, 在这样的海气耦合系统中, 大气分量表现出显著的年际变化, 冬、夏季异常环流型的分布与观测资料的分析结果基本相符。因此, 该模式不仅能较好地再现热带太平洋的 ENSO 变化性, 而且能较好地再现 ENSO 引起的全球大气环流的年际变化性。

关键词 混合海气耦合模式 ENSO 全球大气环流 年际变化性

1 引言

ENSO 是年际尺度最显著的气候信号, 是引起全球气候异常的主要因子之一, ENSO 的研究和预测受到极为广泛的重视。

用数值模式对 ENSO 循环进行较为真实的模拟是认识 ENSO 本质的关键一步。到目前为止, 已有不少模式能很好地模拟出类似于 ENSO 时间尺度和空间结构的年际变化性。对动力模式而言, 包括简单的海气耦合模式和完善的海洋环流模式 (CGCM) 两类。前一类模式^[1~4]的特点是动力学过程简单, 模式范围一般仅限于热带太平洋, 多采用距平量为模式变量, 计算量小, 物理概念明确, 且不必考虑“气候漂移”问题, 其缺点是无法直接模拟或预报热带海温异常引起的全球范围的气候异常; 后一类模式^[5~7]一般由完善的大气环流模式 (AGCM) 和海洋环流模式 (OGCM) 耦合, 包含较复杂的物理过程, 可直接进行热带外的气候异常模拟或预报, 但最大的问题是存在“气候漂移”, 且计算量大。为了消除和减轻“气候漂移”, 不少模式中都引入了通量订正^[8,9], 但此方法的弊端是可能破坏模式系统的动力学性质^[10]。

鉴于上述两类模式的缺陷, 倪允琪等^[11]和吴爱明等^[12]分别用 COLA 的 L18R15 AGCMs 和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 (LASG) 改进的 L9R15 AGCMs 与 ZC 海洋模式^[1]进行了耦合, 称为混合海气耦合模式。由于大气分量为全球范围的环流模式, 海洋分量为热带太平洋距平模式, 因此从理论上讲, 此类模式不仅可以有效地避免“气候漂移”, 而且可以直接预报热带海温异常引起的全球大气环流异常, 计算量也远远小于完善的海洋环流模式。显然, 此类模式的

1998-05-22 收到, 1998-08-12 收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49475256

** 现在工作单位: 中国科学院海洋研究所环境海气室 (山东省青岛市南海路 7 号, 266071)

*** 现在工作单位: 中国气象科学研究院 (北京白石桥路 100081)

研制是 ENSO 模式模拟和预报研究的一种重要的尝试和补充。

作者用混合海气耦合模式进行了连续 45 年的模拟积分,并分析了在这样的海气系统中热带太平洋 ENSO 循环的基本特征及其形成机制^[12]。本文将继续利用这 45 年的模拟结果,讨论模式大气的年际变化性(全球范围),并与观测进行比较。第二部分是模式简介及资料说明,第三部分讨论与 ENSO 相关的模式大气年际变化的基本特征,第四部分是总结与讨论。

2 模式及资料说明

2.1 模式简介

模式的具体说明可见文献[12],这里仅作简要介绍。

大气模式为一个全球范围的、垂直方向具有 9 层 σ 面,水平方向菱形截断波数为 15 的大气环流谱模式(L9R15 AGCMs)。从原始方程组出发,包含较完整的物理过程,吴国雄等引入层结参考大气^[13]。在实测 SST 强迫下,AGCM 不仅能成功地模拟全球大气环流的平均态(如季风、信风等),而且能较好地模拟热带太平洋风场年际变化^[14]。观测 SST 强迫下 AGCM 多年模拟结果的平均将作为大气模式自身的气候态。

海洋模式是一个简单的两层距平模式^[15](SST 气候态由观测提供,海流气候态由气候风应力驱动下长期积分的结果产生),模式范围仅限于热带太平洋,以线性约化重力模态为动力学基础。表层海温距平倾向方程中包括三维的温度平流,由给定的平均流和计算出的异常流共同确定,时间步长为一旬。在观测风应力距平的驱动下,该海洋模式能较成功地模拟 SSTA、斜温层深度等的变化。

大气模式通过风应力异常影响海洋,海洋模式通过海温异常影响大气加热场,将两者进行同步耦合。值得指出的是,参与耦合的风应力距平是扣除大气模式自身气候态之后的结果,因此两者实际上是通过距平量进行耦合,这样就有效地避免了“气候漂移”。在不使用任何异常外强迫的情况下,将该模式进行了连续 45 年的积分。

2.2 观测资料

(1) ECMRWF 1980 年 1 月~1995 年 5 月全球月平均 300 hPa、850 hPa 风场,国家气候中心提供($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)。

(2) 1962 年 1 月~1995 年 4 月全球月平均 SSTA ($5^\circ \times 5^\circ$),国家气候中心提供。

3 模式中 with ENSO 相关的大气变化性

3.1 南方涛动(SO)

伴随热带太平洋海温变化的是其东、西部海平面气压(SLP)呈“翘翘板”式的振荡, Walker 等称之为南方涛动(SO)。图 1a 给出模拟结果中达尔文(Darwin)站和塔希提(Tahiti)站(用与这两个站最近的格点表示)海平面气压距平的时间变化曲线,图中曲线已进行标准化处理并经过了 5 个月滑动平均。可见,达尔文站(实线)与塔希提站(虚线)的气压变化基本上呈反位相关系,它们的相关系数为-0.45(超过 99%的显著水平);图 1b 给出南方涛动指数(SOI,即塔希提与达尔文站 SLP 之差,虚线)与

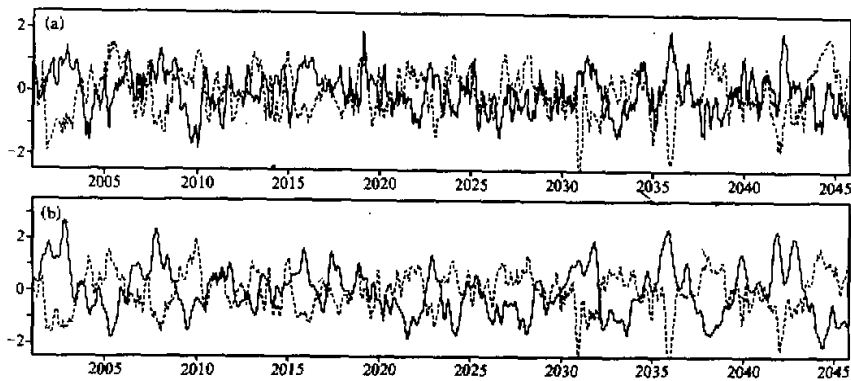


图1 45年模拟结果中, 达尔文和塔希提站 (a) SLP 变化 (两者相关系数为-0.45); (b) SOI 和 Niño 3 指数变化 (两者相关系数为-0.78) 经过了标准化和 5 个月滑动平均
横坐标单位: 模式年

Niño 3 指数 ($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$ 内 SSTA 的平均, 实线) 的时间演变, 同样进行了标准化及 5 个月滑动平均处理。可以看到, SOI 与 Niño 3 指数变化的反位相关系更为明显, 它们的相关系数高达-0.78。因此, 耦合模式清楚地再现了与赤道太平洋海表温度变化相联系的太平洋东、西部海平面气压的反相振荡现象, 即当热带中东太平洋 SST 异常增暖时, 东太平洋地区 SLP 降低, 西太平洋地区 SLP 升高, 使东高西低分布的气压梯度减弱, 信风减弱 (西风增强); 当热带中东太平洋 SST 异常偏冷时, 情况刚好与之相反。

作者的分析^[12]表明, 上述 SOI 和 Niño 3 指数具有 4~5 年的主周期振荡 (方差贡献占 50% 左右), 另在准两年振荡和年循环上亦有显著的变化性。

3.2 与 ENSO 相联系的全球大气环流异常

这里采用奇异值分解 (SVD) 方法。SVD 在气象场分析上有广泛的应用, 该方法在对两个 (或两个以上) 气象场提取两者耦合的优势信号方面有很大的优越性, 并具有普适性^[16], 适合大尺度的遥相关研究。有关 SVD 的具体原理这里不再作详细介绍。

3.2.1 冬季

以赤道中东太平洋 SSTA ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$) 为右场, 全球大气环流 (或气温) 为左场。取每年 12 月、次年 1、2 月 (DJF) 为冬季月, 海温场取前一年 7 月、10 月及本年 1 月 (即超前 6 个月、3 个月、同期), 对模拟结果而言, 共有 44 个样本。对大气场和不同超前时间下海温场分别进行 SVD。

图 2a 给出冬季 300 hPa 模拟风场与同期海温异常 SVD 后第一模态的时间序列, 实线为左场 (风场), 带圈虚线为右场 (SSTA)。左右场第一模态的总体相关系数, 即图中两条曲线的相关系数为 0.88, 第一模态的方差贡献为 94%。风场与前 6 个月、3 个月海温异常 SVD 第一模态的相关分别为 0.81 和 0.84, 方差贡献分别为 84% 和 91% (图略), 由此可以判断, 对冬季环流异常影响较大的是同期海温, 前期海温的影响相对小一些。图 2b 给出第一模态奇异相关矢量 (左场, 即风场) 的分布, 这是由右场第

一模式的时间序列与左场求相关而得, 阴影区表示相关矢量的大小超过 0.05 的显著水平。不难理解, 相关矢量的分布与流场异常在型类(pattern)上的分布是等价的,

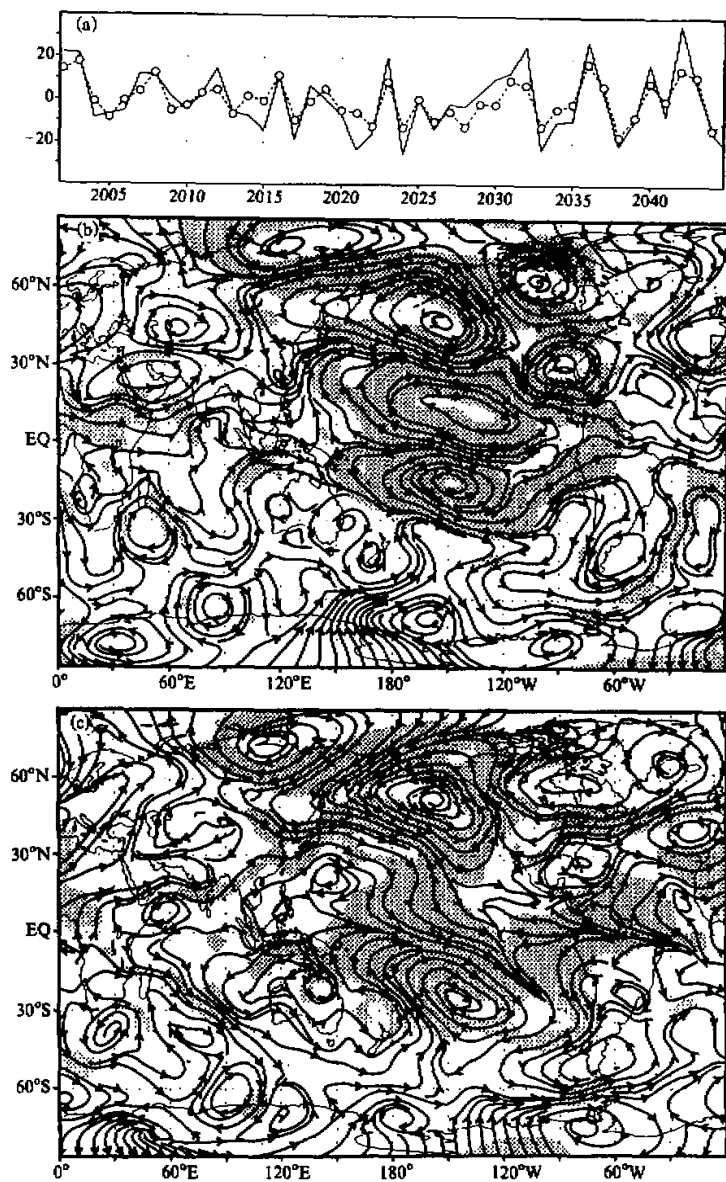


图2 (a) 300 hPa 模拟风场与同期海温 SVD 第一模式时间序列 (实线表示风场, 虚线表示 SSTA, 横坐标单位: 模式年; (b) 左奇异相关场的第一根分布 (300 hPa 情形); (c) 同 (b), 但为 850 hPa 情形。阴影区为超过 95% 显著相关区

反映了海温变化主模对环流变化的影响, 同样这里仅给出风场与同期海温 SVD 的结果。在太平洋美洲地区, 热带中、东太平洋赤道两侧为对称的反气旋性环流, 夹在两者之间的为赤道东风异常; 在北半球, 其北部是气旋性环流, 加拿大上空是反气旋性环流, 美国东南部为气旋性环流, 这种交替分布的异常环流型构成了典型的 PNA 遥相关, 其几个活动中心也全部通过了统计检验。东亚为一槽, 亚洲大陆西北部为一反气旋性环流, 南亚为西风异常。海温超前 6 个月、3 个月情形的环流型分布与此基本一致, 只是通过显著性检验的区域稍小一些 (图略)。

图 2c 给出 850 hPa 模拟风场与同期海温异常 SVD 的结果。时间序列与图 2a 类似 (图略), SSTA 超前 6 个月、3 个月及同期情况下第一模态的方差贡献依次为 84%、91%、94%。左右场的相关系数均在 0.8 以上。图 2c 显示, 西太平洋副热带地区是反气旋性环流, 北太平洋、加拿大及美国东南部依次为气旋性环流、反气旋性环流及气旋性环流, 与高层 (图 2b) 的 PNA 遥相关型对应, 只是热带太平洋的反气旋中心移到了西太平洋地区, 其他几个活动中心的位置与高层完全吻合, 显示出相当正压结构特征, 且上述环流异常通过了统计检验。热带太平洋的东南部为强大的气旋性环流, 其北侧为赤道西风异常。在东亚, 影响中国东南部及东部的为西南风距平, 华北及东北为西北风距平, 因此东亚的北部冬季风较强, 南部较弱。海温超前 6 个月、3 个月情形环流型的分布与此基本类似, 同样只是通过显著性检验的范围稍小 (图略)。

我们还分析了地表气温与海温异常 SVD 的结果 (图 3)。在第一模态的左奇异相关场上 (与同期 SSTA), 热带中东太平洋地区为正相关, 热带西太平洋及北太平洋地区为负相关, 加拿大及北美大陆北部为正相关, 美国东南部为负相关。这里正 (负) 相关实际上反映了该地区气温的升高 (降低), 相关系数绝对值越大, 表示受海温影响越大。另外, 东亚大陆的东南部及中国东部地区落在正相关区内, 而华北及东北落在负相

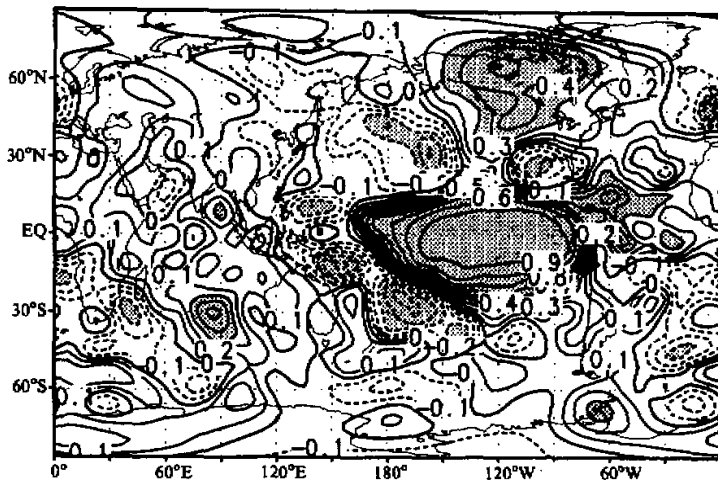


图 3 冬季模拟气温与同期海温 SVD 第一模态的左奇异相关场分布

关区内,说明东亚南部气温偏高、冬季风偏弱,北部气温偏低、冬季风偏强。显然,气温变化与环流变化完全对应。

为了比较,我们给出观测风场与观测海温的 SVD 结果,做法完全类似,只是样本长度为 15。结果表明,海温超前 6 个月、3 个月及同期三种情况下,与 300 hPa 风场进行 SVD 后,第一模态的方差贡献分别为 59%、76%及 84% (850 hPa 风场的情形分别为 59%、73%及 81%), 低于相应的模拟结果。这是合理的,因为观测中引起环流变化的外部因子不只是 SSTa,而模拟中大气外强迫源只有海温异常。另外,也再次证明同期海温对冬季环流影响较大,与模拟结果一致。图 4a 给出 300 hPa 情形第一模态的时间序列(实线为风场,带圈虚线为 SSTa), 850 hPa 情形结果与此基本相同(图略)。图 4b、c 分别给出观测 300 hPa、850 hPa 风场与观测 SST 进行 SVD 后,左奇异相关矢量第一模的分布。高层,太平洋北美地区为清楚的 PNA 波列,成员中心位置与模拟基本一致;东亚为气旋性环流异常控制,其西北部为反气旋性环流。低层,仍可清楚地看到源于热带太平洋的 PNA 遥相关型的存在,赤道中东太平洋上为西风异常;在东亚,30°N 以南为西南风距平,以北为偏北风距平。显然,上述异常环流型的分布与图 2b、c 非常一致,表明耦合模式有能力再现亚洲及太平洋北美地区 ENSO 引起的冬季大气环流异常。

3.2.2 夏季

以每年 6、7、8 月 (JJA) 为夏季月,以同样的讨论方法,将全球风场与热带中东太平洋 SSTa 进行 SVD,样本长度为 45。海温异常取前冬(本年 1 月)、本年春季(4 月)及同期(7 月)三个时间。

300 hPa 模拟风场与海温异常 SVD 的结果表明,海温超前 6 个月、3 个月及同期三种情况下第一模态的方差贡献分别为 91%、89%、86%,说明夏季风受前冬 SSTa 的影响更大一些。图 5a 给出第一模态左右场时间序列变化曲线(海温超前 6 个月,带圈虚线),两者的滞后相关系数为 0.80。左奇异相关矢量场第一模态的分布如图 5b 所示,西太平洋赤道南侧为一气旋性环流异常,中心位于澳大利亚,其北部是赤道西风异常;中东太平洋赤道两侧对称地各有一个反气旋性环流异常(中心在 140°W),两者之间为赤道东风异常。另外,以青藏高原为中心为一明显的气旋性环流(通过了 95%显著性检验),对应于南亚高压的减弱,它的存在使南亚(印度半岛、孟加拉湾、中南半岛等地)上空西风加大(东风减弱)。中国东部为一反气旋性环流。在大洋洲北美地区存在明显的波列分布,热带西太平洋是其一个源(北半球西太平洋副热带地区的反气旋环流与东部的反气旋环流连通)。向东北经日本、北太平洋,在北美大陆折向东南再向低纬传播,类似于 Nitta 的结果^[17],但波列成员位置略偏北。海温超前 3 个月及同期情形的环流异常与图 5b 类似,不再赘述。

模拟 850 hPa 风场与海温异常 SVD 的结果也显示,海温超前 6 个月时对夏季环流的影响较大,第一模态的方差贡献为 89%,时间序列与图 5a 相近(图略)。图 5c 给出奇异相关矢量第一模态的分布。可见,西太平洋副热带地区是一反气旋性环流,向西伸向中国的东部(统计上达到显著),显示副高的加强;其北部是气旋性环流,中心位于朝鲜半岛以北,这样东亚大陆主要受西南风距平的影响,并与北部的偏北风距平在长江流域形成明显的气流辐合;另外,青藏高原南部为明显的反气旋辐散,孟加拉湾、印度

半岛及阿拉伯海等地都是东北风或东风距平, 索马里越赤道气流减弱 (图中环流异常是自北半球流向南半球), 因此该图显示出东亚夏季风偏强, 印度夏季风偏弱的结果。由

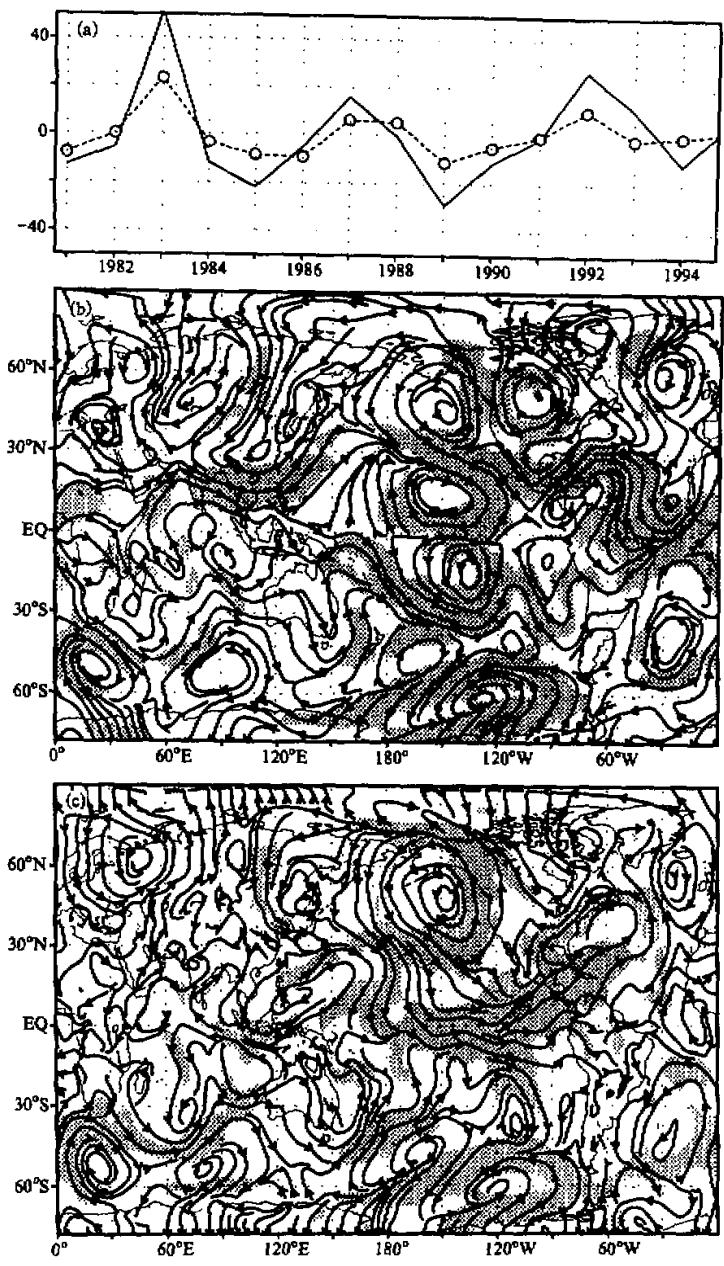


图 4 同图 2, 但为观测资料的分析结果

此图也可以看到与图 5b 完全对应的源于热带西太平洋, 向东北经日本、北太平洋, 在北美大陆折向东南的波列的存在; 热带中东太平洋地区是显著的西风异常。

图 6 给出模拟的夏季降水与海温异常 SVD 的结果, 这里仅给出海温超前 6 个月情形的第一模态奇异相关场。可以看到, 热带中东太平洋为正相关, 西太平洋为负相关

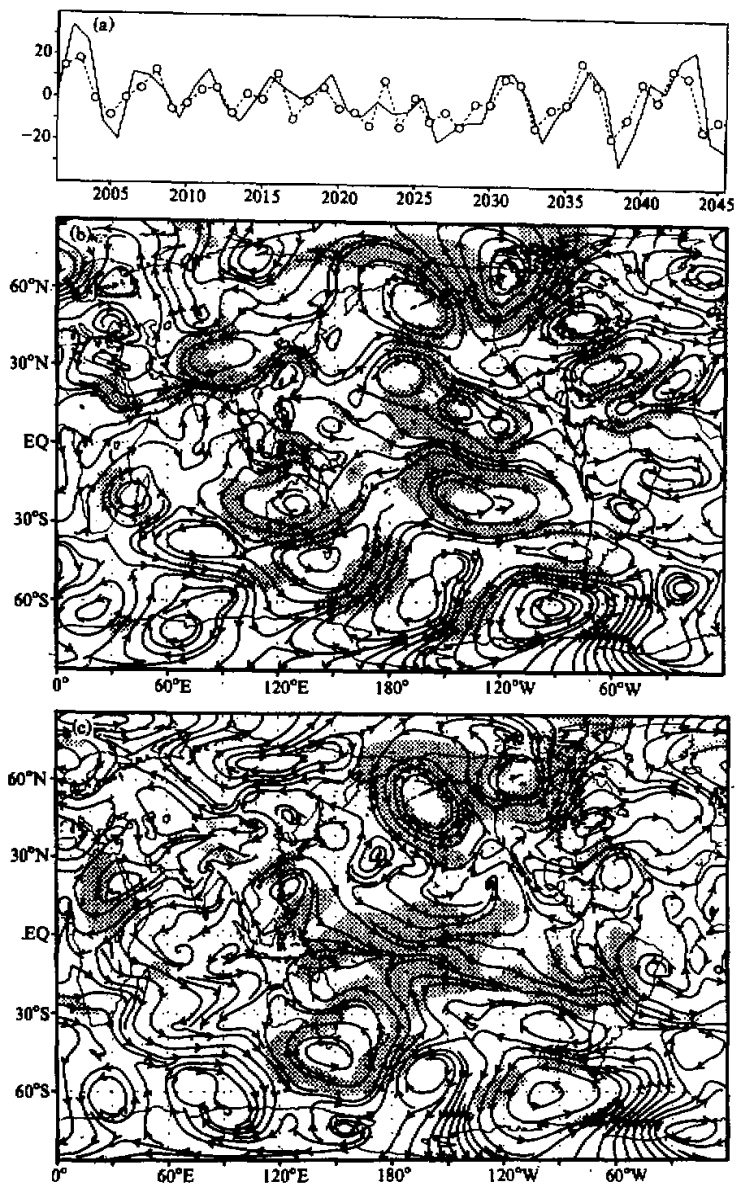


图 5 同图 2, 但为夏季情形 (夏季环流与前期海温)

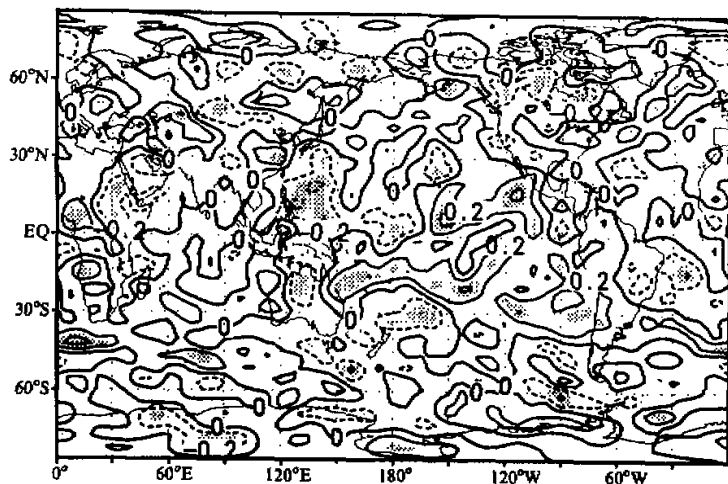


图 6 夏季模拟降水与前期海温 SVD 第一模态的左奇异相关场分布

(即东太平洋地区降水增多, 西太平洋地区降水减少), 而且, 随着 SST 超前时间的缩短, 中东太平洋地区的正相关越来越大, 表明该地区的降水受同期海温影响更大(图略), 这是很显然的结果, 上述降水变化可以通过 95% 显著性检验(阴影区)。在亚洲大陆, 降水异常的分布具有一定的区域差异性。在中国东部(长江流域)及东北降水偏多, 其他地区偏少。印度半岛、阿拉伯海及非洲的东部降水也偏少, 这与邹力^[18]由观测资料的分析结果一致。

我们给出观测风场与观测海温 SVD 的结果: 在海温超前 6 个月、3 个月及同期三种情况下, 与 300 hPa 风场进行 SVD 后, 第一模态的方差贡献分别为 80%、68% 及 59% (850 hPa 风场的情形分别为 76%、70% 及 63%), 均低于相应的模拟结果(原因同前), 同时也再次证实了模拟结果中前冬海温对夏季环流影响较大的结论。图 7a 给出 300 hPa 情形第一模态的时间序列(实线为风场, 带圈虚线为 SSTA, 海温超前风场 6 个月), 850 hPa 情形结果与此基本相同, 由图可以看到 1982/1983、1986/1987 及 1991~1993 年 El Niño 期间的正 SSTA。图 7b、c 分别给出观测 300 hPa、850 hPa 风场与观测 SST 进行 SVD 后, 左奇异相关矢量第一模态的分布, 高层, 太平洋北美地区为清楚的 Nitta 波列, 其分布与模拟基本一致, 仅成员中心位置略有不同; 青藏高原上空为气旋性环流(南亚高压减弱), 澳大利亚附近为气旋性环流, 低层, 最明显的环流特征是西太平洋副热带地区的反气旋性环流(统计上达到显著)及其北部的气旋性环流, 以及由此产生的东亚大陆上的西南风距平, 日本、朝鲜附近的偏北风距平以及它们之间明显的气流辐合; 孟加拉湾北部为明显的反气旋环流, 印度半岛及阿拉伯海等地为东风距平, 索马里越赤道气流减弱, 因此东亚夏季风偏强, 印度夏季风偏弱, 与模拟结果一致。同时可以看到与高层对应的 Nitta 波列, 其前三个成员中心位置与模拟(图

7b 非常相近, 仅北美地区位置上有一定差别。总之, 耦合模式成功地模拟出了 ENSO 引起的夏季大气环流异常。

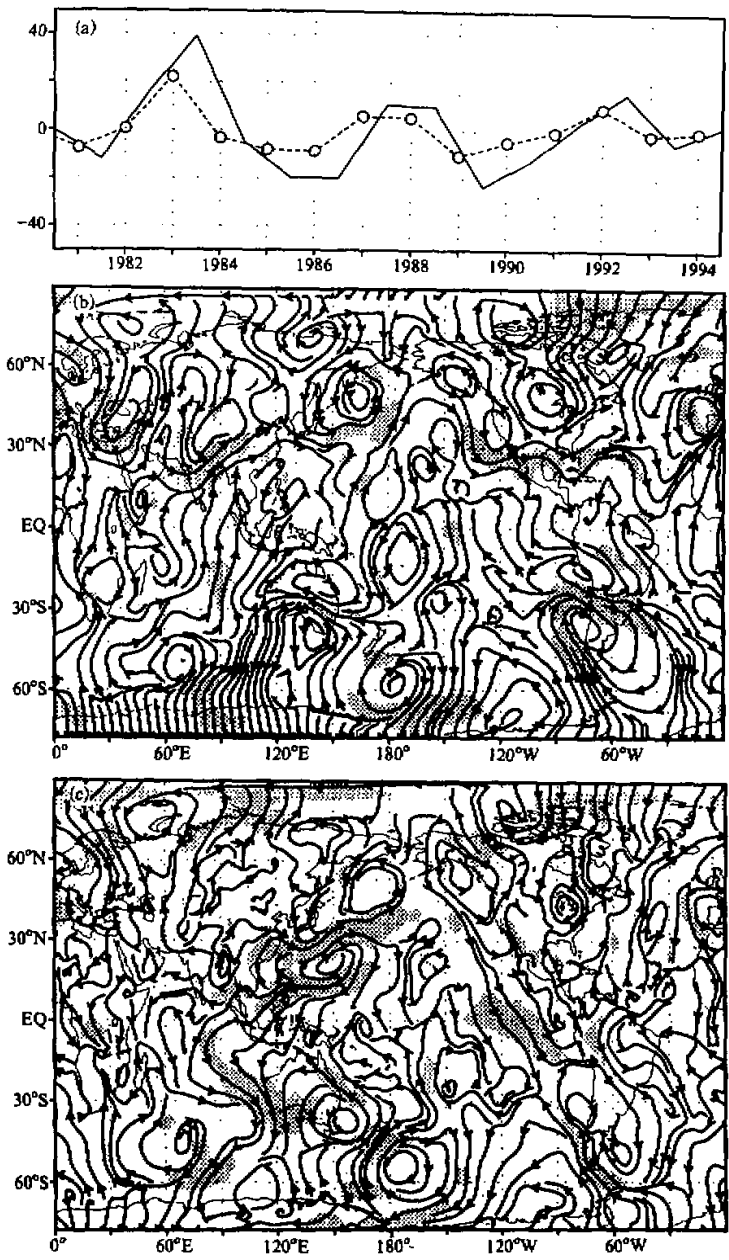


图 7 同图 5, 但为观测资料的分析结果

4 总结与讨论

利用混合海气耦合模式 45 年模拟积分的结果, 用 SVD 方法分析了模式大气中与 ENSO 相关的年际变化性, 并与观测资料的分析结果进行了比较, 得到以下主要结论:

(1) 在这样的海气耦合系统中, 模式大气具有显著的年际变化性。在热带, 该模式能成功地模拟与 El Niño (La Niña) 相伴随的赤道太平洋低层的西 (东) 风异常, 高层的东 (西) 风异常, 以及东、西部海平面气压的反相振荡 (南方涛动) 现象。

(2) 模式可以成功地模拟 ENSO 引起的热带外的冬、夏季大气环流异常。在冬季, 如 El Niño 期间太平洋美洲地区的 PNA 遥相关型; 东亚地区南 (北) 部的弱 (强) 冬季风等; 在夏季, El Niño 期间弱的印度季风, 强的东亚季风, 以及与此伴随的高层南亚高压减弱, 西太副高加强, 索马里越赤道急流减弱等; 还能模拟出 Nitta 波列的存在。

(3) 模拟结果还显示了其他与观测一致的结论, 如冬季大气环流异常受同期海温影响更大, 夏季大气环流异常受前冬海温影响较大等。

用全球范围的大气环流模式与热带太平洋简单海洋模式, 通过距平量进行耦合, 构成了一类混合海气耦合模式。从 ENSO 模拟上看, 它比简单的海气模式多引入了热带外大气过程, 这对真实再现 ENSO 变化过程是十分重要的。和完善的海气耦合模式相比, 又可有效地避免“气候漂移”, 无须任何订正处理; 从预报上看, 在预报热带海温的同时, 可直接预报热带外的气候异常, 无须“两步法”^[19], 计算量远远小于完善的海气耦合模式。当然, 我们不能说此类模式的模拟和预报结果就一定比其他两类好, 尤其是预报, 涉及的问题很多。事实上, 在计算机资源和更多、更新、更好的观测资料的保证下, 对 90 年代以来 El Niño 预报较为成功的还是完善的海气耦合模式^[20], 但毫无疑问, 混合海气耦合模式将是 ENSO 模式模拟和预报研究的重要尝试和有益补充, 我们用此模式也做了 ENSO 的预报试验, 将另文讨论。

参 考 文 献

- 1 Zebiak, S. E. and M. A. Cane, 1987, A model El Niño–Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2262~2279.
- 2 Schopf, P. S. and M. J. Suarez, 1988, Vacillations in a coupled ocean–atmosphere model, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 549~566.
- 3 Battisti, D. S. and A. C. Hirst, 1989, Interannual variability in a tropical atmosphere–ocean model: Influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1687~1712.
- 4 杨修群, 1993, ENSO 动力学过程的数值研究, 南京大学博士学位论文.
- 5 Philander, S. G., R. C. Pacanowski, N. C. Lau and M. J. Nath, 1992, Simulation of ENSO with a global atmospheric GCM coupled to a high-resolution tropical Pacific ocean GCM, *J. Clim.*, **5**, 308~329.
- 6 Lau, N. C., S. G. Philander and M. J. Nath, 1992, Simulation of ENSO phenomena with a low-resolution coupled GCM of the global ocean and atmosphere, *J. Clim.*, **5**, 284~307.
- 7 Ji, M., Kumar, A. and Leetmaa, A., 1994, An experimental coupled forecast system at the NMC: Some early results, *Tellus*, **46A**, 392~418.
- 8 Latif, M. et al., 1988, The response of a coupled ocean–atmosphere general circulation model to wind bursts, *J.*

- Atmos. Sci.*, **45**, 964~979.
- 9 Manabe, S. and Stouffer, R. J., 1988, Two stable equilibria of a coupled ocean-atmosphere model, *J. Clim.*, **1**, 841~866.
 - 10 Neelin, J. D. and Dijkstra, H. A., 1995, Ocean-atmosphere interaction and the tropical climatology. Part I: the dangers of flux-correction, *J. Clim.*, **8**, 1325~1342.
 - 11 倪允琪等, 1998, 混合海气耦合模式的研制与El Niño预告试验, *大气科学*, **22**, 265~273.
 - 12 Wu Aiming and Ni Yunqi, 1999, A hybrid coupled ocean-atmosphere model and ENSO prediction study, *Adv. Atmos. Sci.*, **16**(3), 406~418.
 - 13 Wu Guoxiong and Liu Hui, 1996, A nine-layer atmosphere general circulation model and its performance, *Adv. Atmos. Sci.*, **13**, 1~18.
 - 14 Wu Aiming and Ni Yunqi, 1997, The influence of Tibetan Plateau on the interannual variability of atmospheric circulation over Tropical Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, **14**(1), 69~80.
 - 15 Zebiak, S. E., 1984, Tropical atmosphere-ocean interaction and El Niño / Southern Oscillation phenomenon, Ph. D thesis, MIT, 261pp.
 - 16 丁裕国、江志红, 1996, SVD方法在气象场诊断中的普适性, *气象学报*, **54**(3), 365~371.
 - 17 Nitta, T. S., 1986, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 373~390.
 - 18 邹力、倪允琪, 1997, ENSO对亚洲夏季风异常和我国夏季降水的影响, *热带气象学报*, **13**(4), 306~314.
 - 19 Bengtsson, L., Barnett, T. P., Graham, N., Latif, M., Roecker, E. and Schlese, U., 1993, A two-tiered approach to long range climate forecasting, *Science*, **261**, 1026~1029.
 - 20 Barnston, T., Ji, M., Kumar, A. and Leetmaa, A., 1998, Forecasts of tropical Pacific SST using a comprehensive coupled ocean-atmosphere dynamical model, *Experimental Long-Lead Forecast Bulletin*, **7**(1), 7~10.

Atmospheric Interannual Variability Related to ENSO in a Hybrid Coupled Ocean-Atmosphere Model

Wu Aiming and Ni Yunqi

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract By using the 45-year simulation of a hybrid coupled ocean-atmosphere model, the interannual variability of the model atmosphere was analyzed. It is found that the atmospheric component of this coupled system exhibits conspicuous interannual variations, with patterns of both the summer and the winter anomalous circulation consistent with observation very well. Therefore, not only can this model simulate the ENSO variability over tropical Pacific, but also reproduce the ENSO related interannual variability of global atmosphere.

Key words hybrid coupled ocean-atmosphere model ENSO global atmospheric circulation interannual variability