

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*

II. 模式结果分析

严邦良 黄荣辉 张人禾

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 为了分析 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, 建立一个类似于 Zebiak 的简单热带海洋数值模式, 在观测到的风应力异常的强迫下, 模拟赤道太平洋地区 1971 年 1 月至 1998 年 8 月海表温度异常的变化。结果表明, 模式对观测的 Niño3 区海表温度异常 (SSTA) 有很好的模拟能力。模拟和观测 Niño3 区 SSTA 之间的相关系数可达 0.90。模式对 El Niño 事件期间赤道太平洋海表温度异常随时间变化也有较好的模拟能力。为了分析 El Niño 期间 SSTA 的空间分布及其随时间变化的动力学机制, 还对 1986~1989 年 ENSO 循环期间赤道太平洋地区观测的 SSTA 的传播特征及其形成机制进行了分析。模式较好地模拟出了观测到的赤道太平洋地区 SSTA 的传播特征, 即从 1986 年底至 1987 年 4 月, SSTA 具有向东传播的特征, 从 1987 年 6 月至 1988 年 2 月具有向西传播的特征。动力学分析的结果表明, 赤道中西太平洋地区的纬向风应力异常对 El Niño 事件的发生和消亡具有重要作用。赤道中西太平洋地区的西风异常可强迫出东传的 Kelvin 波, 这个东传的 Kelvin 波对正 SSTA 的东传起主要作用, 当这个东传的 Kelvin 波到达东边界, 由于东边界的反射作用, 在东边界产生西传的 Rossby 波, 这个西传的 Rossby 波对赤道中东太平洋地区正 SSTA 的西传起主要作用。东传 Kelvin 波和反射的 Rossby 波对 El Niño 期间赤道东太平洋正 SSTA 二次峰值的形成具有重要作用。

关键词: El Niño 事件; Rossby 波; Kelvin 波

1 引言

赤道太平洋地区的西风异常对 El Niño 事件的激发及维持起着很重要的作用。Wyrski^[1]从观测研究中得到, 赤道太平洋地区的西风异常会强迫出东传的下沉 Kelvin 波, 它使赤道中东太平洋的海水温度升高, 这对 El Niño 事件的形成起重要作用。Busalacchi^[2,3]利用简单的浅水方程模式模拟了海洋动力高度异常随时间的变化, 其结果表明, 赤道太平洋地区的风应力异常强迫可以使海洋产生东传的 Kelvin 波和西传的

1999-12-30 收到, 2000-02-15 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分和国家自然科学基金资助项目 49475254、49635180 共同资助

Rossby 波, 他还指出, 中东太平洋的风应力加强可能与海气相互作用强度有关。McCreary^[4]用理想风应力强迫一个简单的海洋动力学模式来研究赤道东太平洋对风场变化的响应。Cane^[5]用实际风应力强迫一个简单的海洋动力学模式来模拟海平面高度的变化, 指出只有赤道波导区的风应力对产生 El Niño 事件是重要的。Gill^[6]则运用简单海洋动力学模式研究平流对 1972 年 El Niño 事件形成的影响, 认为平流对 El Niño 事件的形成起很重要作用。黄荣辉等^[7]研究了形成 1982~1983 年 El Niño 事件的机制, 结果指出, 赤道太平洋地区风应力异常强迫出东传的海洋 Kelvin 波是形成 El Niño 事件的原因。

McCreary^[4]和 Hurlburt 等^[8]讨论了 Kelvin 波传播到东边界时, 水平和垂直运动场的变化, 张人禾、黄荣辉^[9]也用一个简单的海洋动力学模式研究东边界反射在 El Niño 事件形成中的作用。以上的研究只讨论了海洋波动过程, 方程中没有包含热力学方程, 从而无法讨论海洋温度的变化。Zebiak^[10]利用包括海洋热力学方程在内的简单海洋模式和 Gill^[11]的大气模式耦合, 构造了一个简单的海气耦合模式, 这个简单的海气耦合模式能产生 ENSO 型的振荡。Battisti^[12]利用与 Zebiak^[10]海气耦合模式类似的海气耦合模式详细分析了海洋热力学过程, 认为海洋波动过程是产生海气相互作用不稳定的根源。同时认为赤道太平洋西边界反射是消除不稳定的机制。

一些作者还利用观测的风应力异常强迫简单海洋模式, 试图模拟海表温度异常随时间的变化, 并研究引起海表温度异常变化的机制。Goswami^[13]用 Zebiak^[10]海洋模式对赤道太平洋地区的海温异常进行模拟, 他的模式结果和 1972/1973、1986/1987 年间观测的结果有较大不同。Perigaud^[14]、Dewitte^[15]也利用 Zebiak^[10]的海洋模式对赤道太平洋海温异常进行模拟, 其模拟和观测之间有一定差距。Seager^[16]利用类似于 Zebiak^[10]的海洋模式来模拟 1970~1987 年海表温度异常随时间的变化, 并研究了海表温度异常变化的机制, 他的模拟结果虽然抓住了某些 El Niño 事件的特点, 但是对 1982/1983、1986/1987 年模拟是不成功的, 他把模拟失败的原因归为观测风应力的误差和模式的物理过程相对简单。

从上面的模拟结果可以看出, 要提高 Zebiak^[10]海洋模式的模拟能力似乎是很难的。但是, Chen 等^[17]利用 Zebiak^[10]海气耦合模式来做 ENSO 循环的预报, 其观测和预报 Niño3 区 SSTA 之间的相关系数可达 0.8 (1986~1992 年, 超前 18 个月), 从结果可以看到, Zebiak 的海洋模式对海表温度异常的模拟具有一定潜力。为此, 本文利用 Zebiak^[10]海洋模式的框架建立一个简单热带海洋数值模式, 并利用 FSU 风应力异常来强迫这个简单热带海洋数值模式, 模拟 1971 年 1 月~1998 年 8 月赤道太平洋的 SSTA 随时间的变化。从上面的回顾可以看到, 由于简单海洋模式还没有成功地模拟 1986/1987 年 El Niño 事件; 因而形成 1986/1987 年 El Niño 事件的动力过程还没有被分析过。因此, 分析 1986/1987 年 El Niño 事件形成的动力过程是本文的另一任务。从上面的回顾还可以看到, 以往的研究强调了大洋西边界在 El Niño 事件中的作用, 在利用包括海洋热力学方程在内的简单海洋模式模拟中, 并没有对东边界的反射在 El Niño 事件形成中的作用进行分析。因此, 本文将以 1986/1987 年 El Niño 事件为例子来分析海洋东边界反射在 El Niño 事件形成中的作用。

2 模式与所用资料

2.1 模式

所用模式的理论框架和 Zebiak^[10]的海洋模式相同, 参数取法也相同, 方程和参数在文献[10,12]中有详细的论述, 这里不再重复。在本文中, 重新建立数值模式中的平均场是由本数值模式用平均气候风场强迫而得出。数值模式的空间分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, 时间步长为 30 min。

2.2 资料

所用风应力异常资料是美国佛罗里达州立大学热带太平洋地区月平均 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 格点资料 (FSU), 海面温度资料取自 NCAR (中国科学院大气物理研究所数据库)。

3 结果

海洋模式的初值取为零, 积分从 1961 年开始, 由于前 10 年海洋模式处于与风应力的调整期, 因此, 本文只分析自 1971 年以后的结果。

3.1 赤道太平洋地区 SSTA 经向剖面及 Niño3 区 SSTA 随时间变化

图 1 是 Niño3 区 SSTA 随时间的变化, 从图中可以看出, 模式很好地模拟出 1972/1973、1976/1977、1982/1983、1986/1987、1991/1992、1995、1997/1998 年 Niño3 区 SSTA 海温指数。模式与观测的 Niño3 区 SSTA 的相关系数可达 0.9。模式对自 1971 年以来几乎所有 El Niño 事件都能很好地模拟。模式对 Niño3 区海温指数的模拟不成功之处在于, 对一些较小的 SSTA 的波动描写得不好。

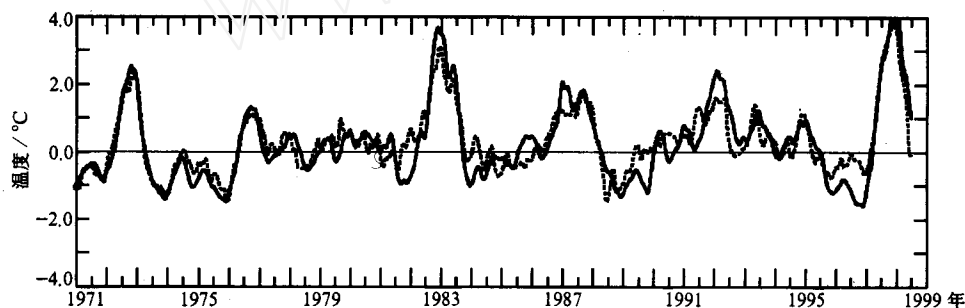


图 1 Niño3 区 ($5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$, $150 \sim 90^{\circ}\text{W}$) SSTA 随时间的变化

实线: 模式结果; 虚线: 观测结果

图 2 是模拟和观测海表温度异常的经度-时间剖面。从图中可以看出, 在几乎所有的 El Niño 事件期间, 赤道太平洋地区的海温异常被模拟得较好。其空间中心位置和随时间变化与观测的结果非常接近。

3.2 对 El Niño 事件期间热带太平洋海表温度异常的模拟

数值模式对 1971 年 1 月~1998 年 8 月期间的 El Niño 事件海表温度异常随时间的

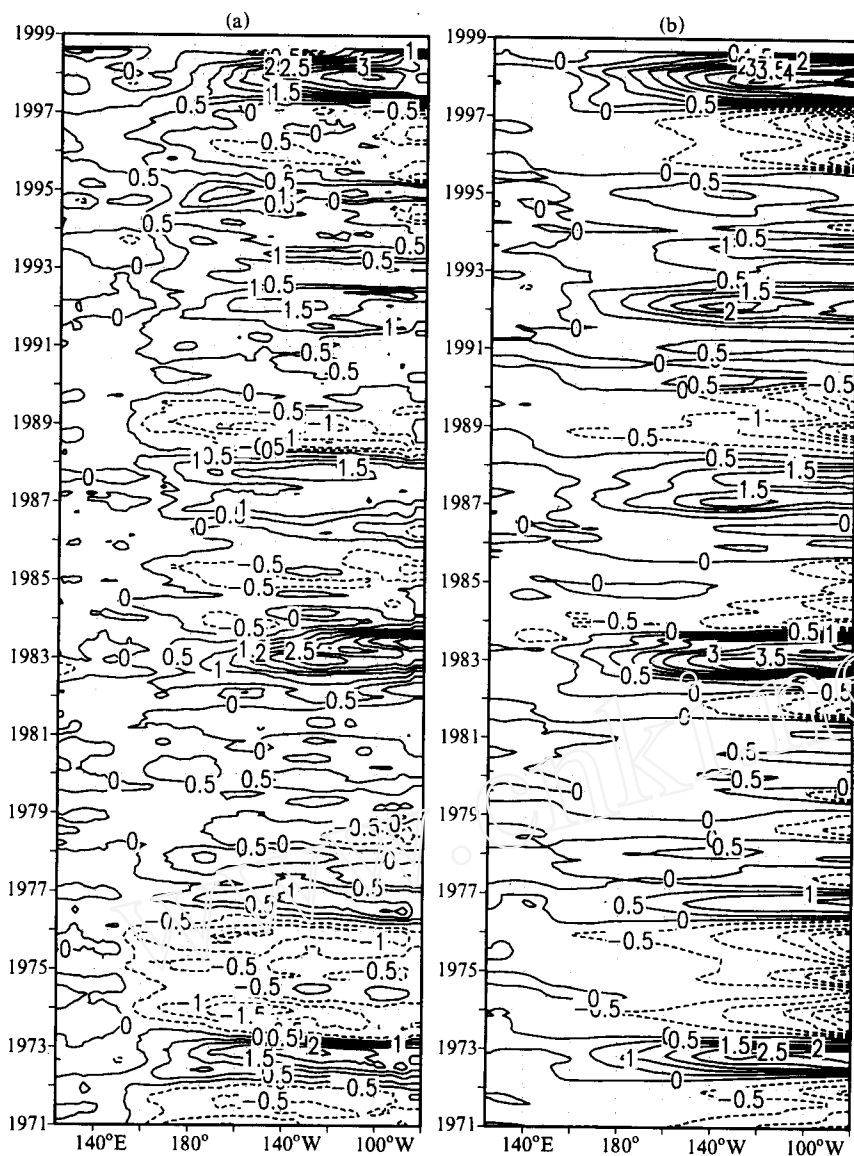


图2 观测 (a) 和模式模拟 (b) 的海温异常的经度-时间 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$) 剖面图

变化都有较好的模拟。我们选择 1986~1987 年 El Niño 事件的模拟结果作为例子来说明。图 3 是赤道太平洋地区 1986 年 10~12 月三个月平均海表温度异常的分布, 此时的 El Niño 事件正处于发展期。从图 3 可以看出, 模式模拟出观测场的结构, 其异常中心都在 140°W 附近, 模拟的正海温异常中心最大值略小于观测值。图 4 是 1987 年 4~6 月三个月平均海表温度异常的平面分布, 此时, El Niño 正处于成熟阶段。从图 4 可以看出, 模式的模拟和观测海平面温度异常的分布有相当的一致性, 其正值中心位于 $140\sim 120^{\circ}\text{W}$ 的赤道地区, 其中心最大值也很接近。在太平洋东边界附近的赤道以南, 都有一个正 SSTA 的出现。图 5 是 1988 年 1~3 月三个月平均赤道太平洋地区模拟及观测海表温度异常的分布, 此时, 这次 El Niño 事件正处在衰减阶段。从图 5 可以看到,

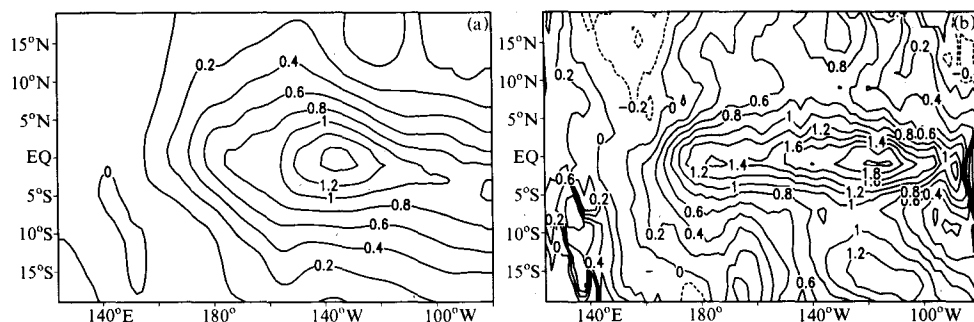


图3 1986年10~12月平均的SSTA的平面分布

(a) 模拟; (b) 观测

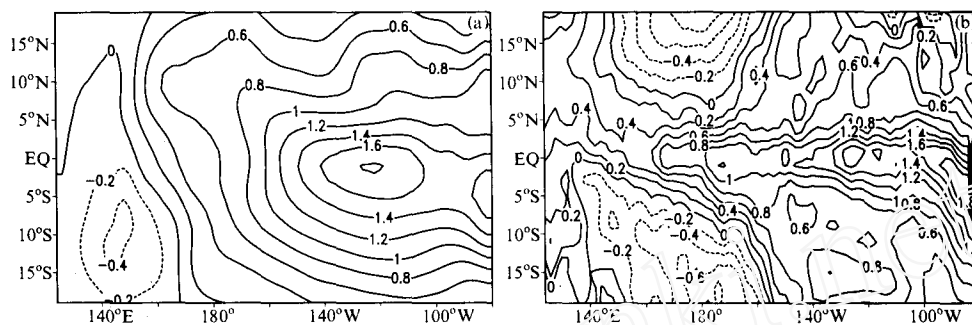


图4 同图3, 但为1987年4~6月平均

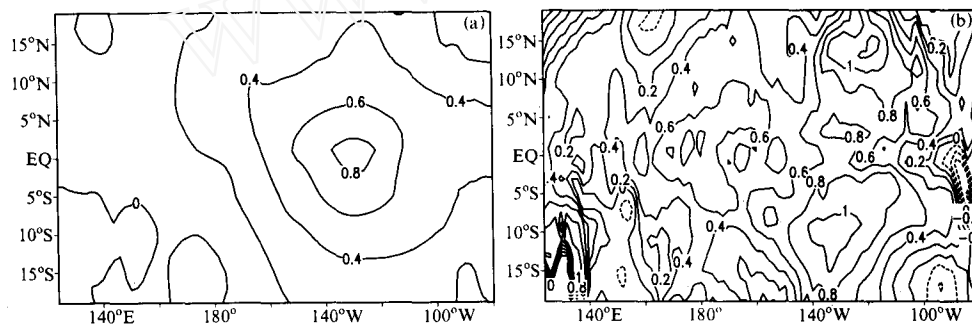


图5 同图3, 但为1988年1~3月平均

模式和观测的结果在结构上是相似的, 观测的分布包括了一些小尺度的变化特征, 而模式的结果反映出海表温度异常变化的大尺度特征。

4 海表温度异常变率产生的机制

ENSO 循环是海气相互作用的结果, Battisti^[12]曾给出海气耦合模式的理论分析结果, 但他的结果很难与实际比较。本节中, 我们将分析观测及模式的结果, 从中找出热

带太平洋海表温度的变率及其产生的机制。

4.1 1986~1989 年期间模拟和观测 SSTA 演变特征

在 1986~1989 年期间,赤道太平洋地区分别发生了一次 El Niño 事件和一次 La Niña 事件。图 6a、b 分别是观测和模拟的赤道太平洋地区的 SSTA 经度-时间 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$) 剖面图。从图 6a 可以看出,1986~1987 年的 El Niño 事件有明显的双峰结构。在 1986 年底观测的 SSTA 在 $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{W}$ 处出现第一个峰值,在这次峰值形成的过程中的正 SSTA 具有向东传播的特征。1987 年 8 月左右, SSTA 在 $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{W}$ 处出现第二次峰值,而与这次峰值相对应的正 SSTA 具有缓慢向西传播的特征。从 1988 年初到 1989 年中,赤道太平洋发生了 La Niña 事件,其 SSTA 的传播特征具有两个不同阶

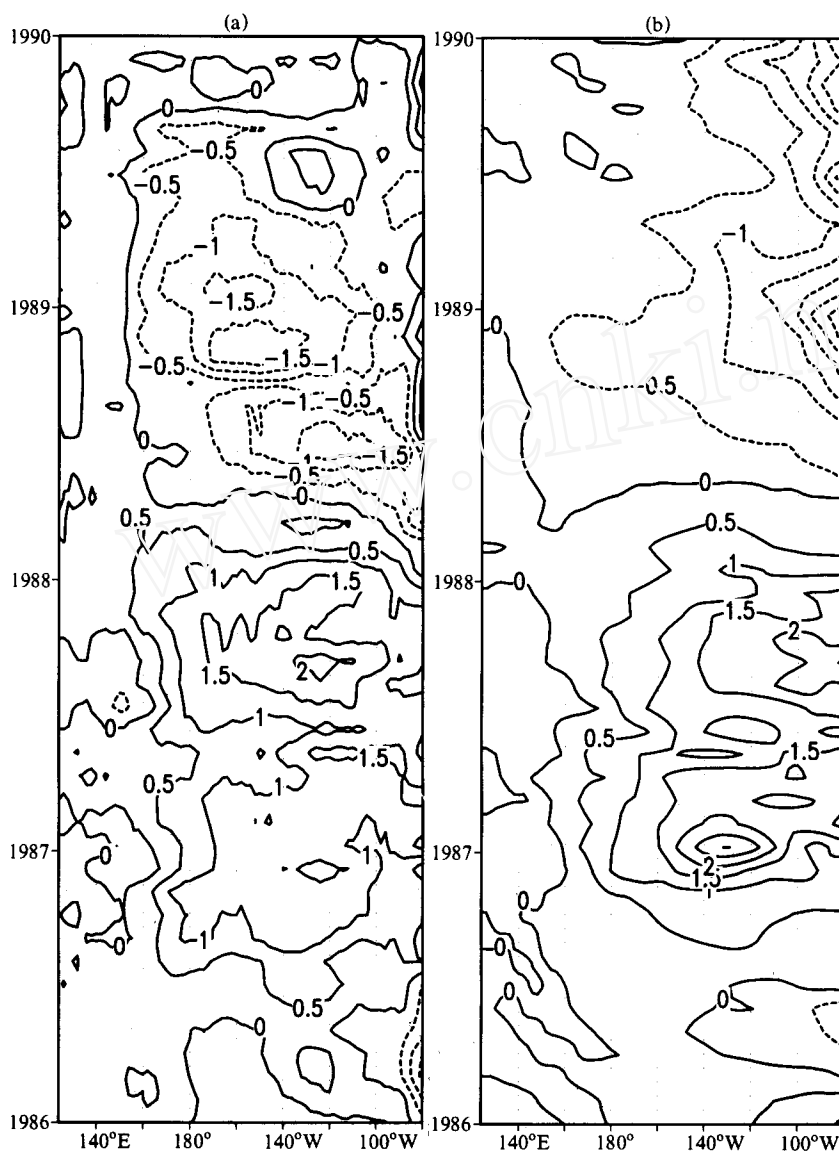


图 6 同图 2, 但为 1986~1989 年

段, 从 1988 年 2 月到 8 月, SSTA 具有向西传播的特征, 1988 年左右在 120°W 附近有一极值。从 1988 年 9 月到 1989 年 5 月, SSTA 的传播特征不明显, 负 SSTA 一直维持在赤道中东太平洋。图 6b 是模拟的结果, 从图中可以看出, 从 1986 年 4~5 月, 正 SSTA 在赤道西太平洋出现, 然后向东传播。从 1987 年 6 月左右到 1988 年 2~3 月, SSTA 从赤道太平洋东边界出发, 向西传播。在 1988 年 4 月左右, 赤道太平洋的东边界处 SSTA 变为负值。在此之后, 东太平洋地区一直维持负海温异常, 且负 SSTA 表现出西传的特征。

比较图 6a 和 b, 可以看到, 模式和观测结果在 El Niño 事件的发生、发展、成熟和衰减的时间位相上有一致性。但模式模拟和观测也有不一致的地方, 例如在图 6b 中, 在 1986 年末至 1987 年初的高值中心的最大值比图 6a 中的要高, 在 1987 年 6 月至 12 月 SSTA 的高值中心要比图 6a 中的 SSTA 高值中心偏东。模式模拟出了 1988~1989 年 La Niña 事件, 但负 SSTA 的空间分布模拟得不够好。是什么原因造成 El Niño 事件期间 SSTA 具有这样的传播特征呢? 下面我们将分析 SSTA 具有上述传播特征的机理。

4.2 纬向应力异常风异常在 El Niño 事件产生和消亡中的作用

图 7a 是 1986~1989 年期间, 模拟出的赤道太平洋地区无量纲动力高度经度-时间剖面图。从图 7a 可以看到, 从 1986 年 6 月至 1987 年 3 月, 在中东太平洋的动力高度异常具有向东传播特征, 而从 1987 年 9 月至 1989 年 6 月, 动力高度具有向西传播的特征。把图 7a 和图 6 作比较, 可以发现, 海洋动力高度的传播特征和观测及模拟的 SSTA 的传播特征一致, 且空间分布也有很好的一致性。

海洋动力高度扰动的这种传播特征是由海洋中 Kelvin 波与 Rossby 波的传播特征造成的。图 7b 是模式模拟的海洋 Kelvin 波振幅随时间的变化。从图 7b 可以看到, 从 1986 年 6 月到 1987 年 3 月 Kelvin 波具有较大值, 其最大值可达 0.8, 并具有明显的东传特征。这种大振幅东传的 Kelvin 波是造成动力高度异常并东传的主要原因。而从 1988 年 3 月至 1989 年底 Kelvin 波振幅是负的, 它同样也具有东传的特征, 但其中心值的绝对值数值较小, 只有 0.4 左右。Kelvin 波的激发及传播和振幅符号的变化是由该地区变化的纬向风应力异常的强迫产生的。图 8 是 1986~1989 年赤道太平洋地区西风异常经度-时间 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$) 剖面图。从图 8 可以看出, 从 1986 年初到 1988 年初, 在西太平洋, 西风异常控制着这个地区, 其中心位置在 $160^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ 之间, 其中心的最大值可达 4 m s^{-1} , 同时西风异常具有明显的东传特征。从 1988 年 5 月到 1989 年 9 月, 赤道西太平洋地区由东风异常控制, 其中心位置位于 160°E 左右, 其中心最大东风异常可达 3 m s^{-1} 左右, 但东风异常的东传特征不明显。比较图 7b 与图 8 可以看出, Kelvin 波振幅的中心位置位于西风异常中心的西面。显然 Kelvin 波的产生是纬向风应力异常强迫的结果^[9]。

4.3 东边界反射的影响

图 7c 是 Rossby 波 ($m=2$) 振幅随时间的变化, 从图中可以看到, 赤道东太平洋 Rossby 波的激发源地是在东边界。从图 7a、c 中看到赤道中东太平洋地区海洋动力高度异常西传的空间分布, 时段与 Rossby 波振幅西传的地区、时段有很好的 consistency。

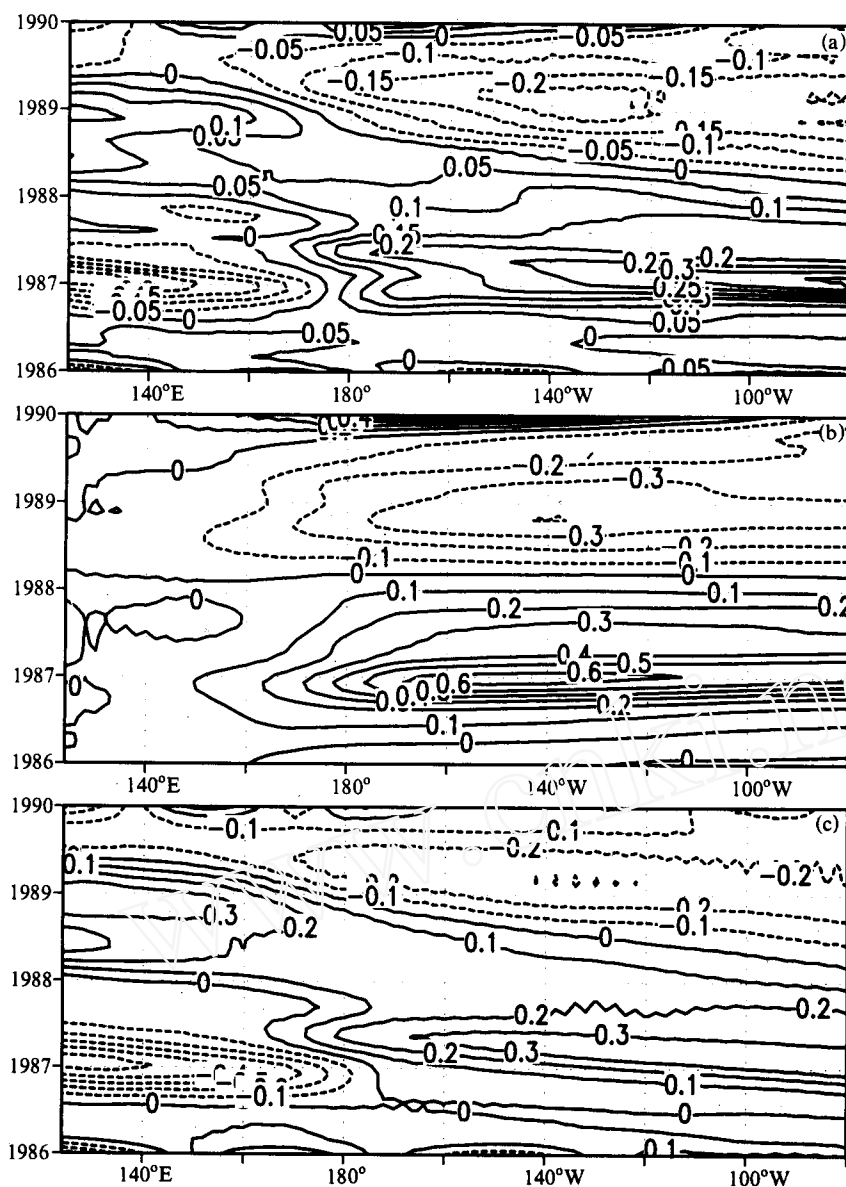


图 7 1986~1989 年期间的经度-时间剖面图 (模式模拟结果)

(a) 海洋无量纲动力高度 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$); (b) Kelvin 波振幅; (c) Rossby 波 ($m=2$) 振幅

Rossby 波的产生是由 Kelvin 波在东边界反射造成的。在模式中, 取消东边界反射的数值实验表明, 中东太平洋地区已无明显的 Rossby 波活动, 海洋动力高度异常及 SSTA 也无西传的特征, 如图 9 所示。除了赤道太平洋海表温度异常向西传播特征是由于海洋 Rossby 波向西传播造成的以外, Rossby 波对 El Niño 事件的加强作用也是明显的。从图 9c 可以看到, 1986 年底, 在 140°W 赤道附近的 SSTA 高值中心强度比图 6b 的高值中心低 1°C 左右。从 1987 年 2 月至 1987 年底, 图 9c 中的 SSTA 比图 6b 中的

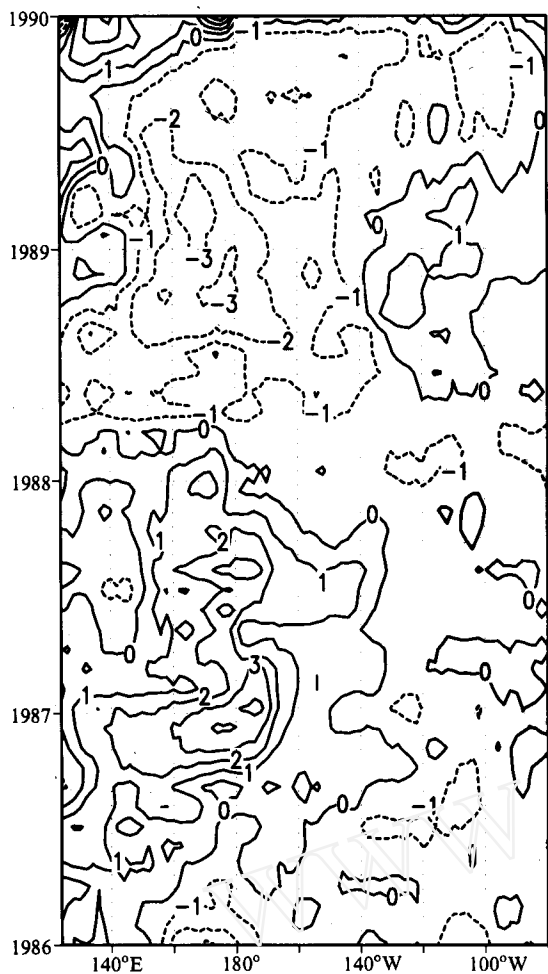


图8 观测的西风异常经度-时间(5°N~5°S)剖面图

和观测的比较中看得更清楚。图10是观测和模拟沿赤道附近SSTA随时间的变化(包括东边界反射),从图10可以看出,在1982年春季,西太平洋已产生正海表温度异常,然后向东传播。从1982年底到1983年秋季,在赤道东太平洋的SSTA一直表现为向西传播的特征。去掉东边界反射,模式模拟的结果已不再具有图10b中向西传播的特征(图略)。

从图6可以看出,在1987年8月左右,沿太平洋赤道SSTA在140~120°W处出现第二峰值,并具有向西传播特征。但这种传播在东边界附近出现不连续现象。在模式结果(图6b)中,这种传播不连续现象并没有出现。而在1982/1983年El Niño事件的观测和模拟结果中,沿太平洋赤道附近地区的SSTA在东边界附近地区的时空变化表现出强烈的东边界反射效应(图10)。在东边界附近地区SSTA时空分布在不同的El Niño事件中具有不同特征,说明影响大洋东边界附近SSTA时空分布的因子的多样性。而本文所建立的简单热带海洋模式不能反映这种多样性。

SSTA要弱1℃左右。这与张人禾和黄荣辉^[9]的理论结果是一致的。

从上面的结果可以看到,东边界对Kelvin波反射而产生的Rossby波对东太平洋SSTA的传播和加强都有较大影响。

比较图7c和图9b还可以看到,东边界反射不但对赤道东太平洋地区有重要影响,它的影响甚至可以到达赤道西太平洋地区。在图9b中,从1986年6月左右到1988年初,赤道西太平洋地区的Rossby波的振幅是负的,且有两个高值中心存在,这显然是由于赤道西太平洋地区的西风异常强迫引起的(见图8)。但在图7c中,Rossby波振幅的负值只存在1986年6月到1987年6月的这段时期,且其强度比图9b中的强度要小。显然,这是由于东边界反射正的Kelvin波而产生的正Rossby波向西传播至西太平洋地区和那里的负Rossby波叠加而形成的。

由于东太平洋的反射而产生的Rossby波西传引起赤道东太平洋附近SSTA西传的现象可以从1982/1983年El Niño事件的模拟

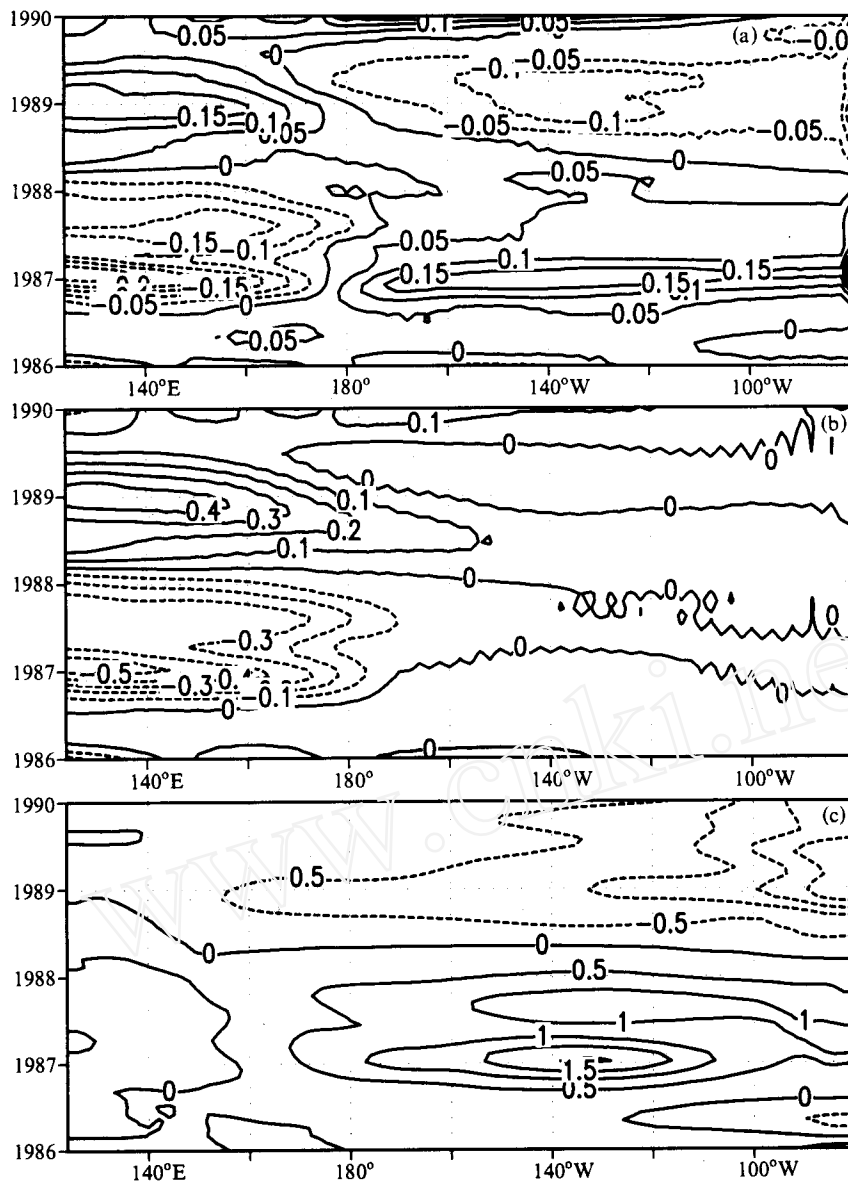


图9 同图7, 除了在模式中不包括东边界的反射

5 结论与讨论

本文利用 Zebiak^[10]海洋模式框架, 建立了一个简单的海洋数值模式。用 FSU 风应力异常强迫简单的海洋数值模式来模拟 1971 年 1 月至 1998 年 8 月赤道太平洋地区海表温度异常随空间及时间的变化。

模拟结果表明, 模式能较好地模拟观测的 SSTA 随时间及空间的分布, 特别是模

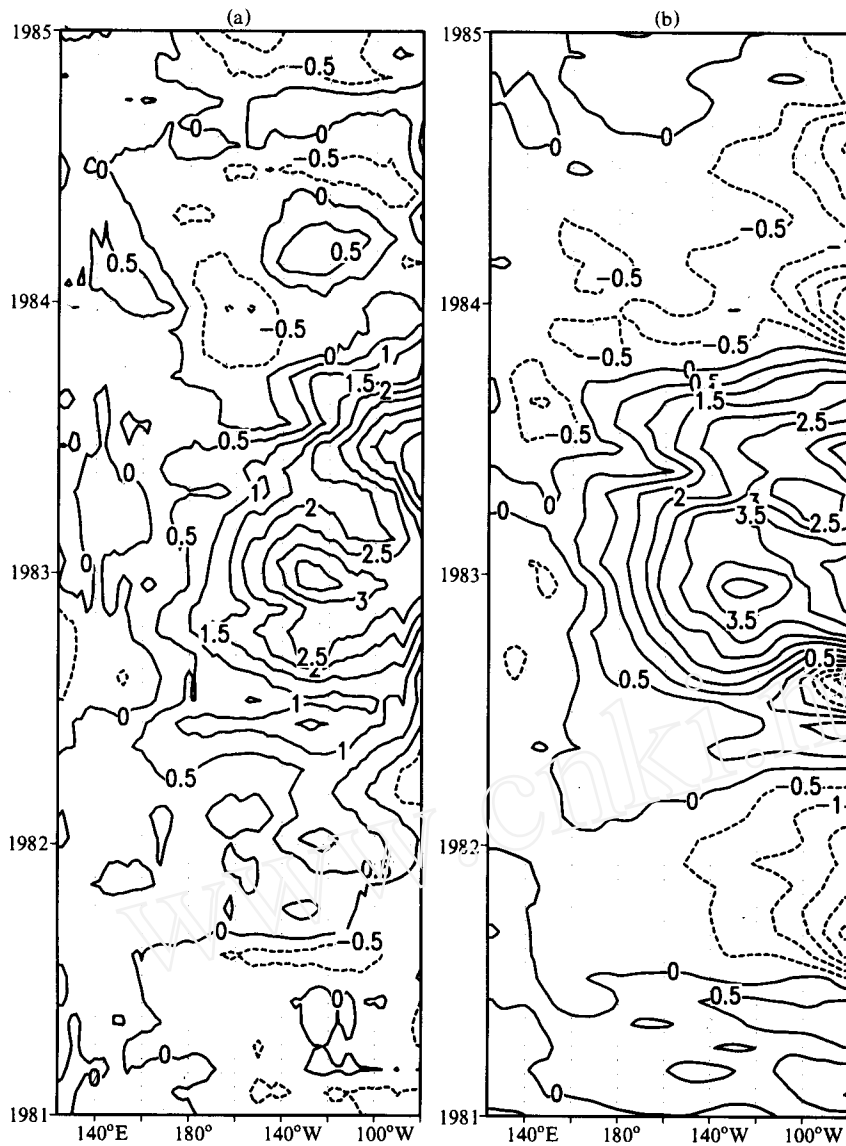


图 10 观测 (a) 和模式模拟 (b) 的海温异常的经度-时间 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$) 剖面图

式能模拟出 El Niño 事件的发生、发展及衰减过程。模式对观测 Niño3 区海温异常有很强的模拟能力, 观测和模拟之间的相关系数达到 0.90。本文还以 1986~1989 年的模拟和观测为例, 详细分析了赤道太平洋海表温度异常随时间的变化、空间传播特征以及产生这种变化和传播特征的动力机制。得出赤道太平洋海表温度异常随时间的变化及传播是由风应力强迫、东边界的反射及海洋波动过程所决定。具体地说, 西太平洋的西风异常爆发、东传、在东传的过程中加强并激发出东传的 Kelvin 波。在这段时间中, 赤道太平洋附近海洋的动力高度异常及 SSTA 向东传播。当 Kelvin 波传到东边界, 经东边界的反射, 产生向西传播的 Rossby 波。由于被反射的 Rossby 波有较大的振幅, 所

以, 海洋的动力高度的异常及 SSTA 得到加强并具有向西传播的特征。因此, SSTA 的传播方向是和 El Niño 事件的发展阶段和地区相联系的。一般来说, 在 El Niño 事件的发展阶段, 中西太平洋的 SSTA 表现出向东传播的特征。而在 El Niño 事件发展到一定阶段以后, 在中东太平洋地区, SSTA 表现出向西传播的特征。

El Niño 事件的消亡与中西太平洋地区的东风异常相联系, 它的动力过程和 El Niño 事件的激发过程正相反。

Seager^[12]认为简单的热带海洋模式的某些物理过程的不足导致了模式模拟的失败, 但是, 从本文的结果来看, 简单的热带海洋模式对海表温度异常的模拟似乎是成功的, 说明简单的热带海洋模式是可以抓住 El Niño 事件生命史的本质。

在简单热带海洋模式中, 所用基本场对数值模式模拟结果将产生很大影响。另外, 建立数值模式所采用的计算方法也会对模式模拟结果的精度产生影响。本文的模拟结果与前人结果的不同是否是由于上述原因造成的还需要进一步研究。

模式对 El Niño 事件有很好的模拟能力, 但对 La Niña 事件的模拟能力不是很好, 其原因也有待今后进一步分析。

参 考 文 献

- 1 Wyrki, K., El Niño—the dynamical response of the equatorial pacific Ocean to atmospheric forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, 1975, **5**, 572~584.
- 2 Busalacchi, A. J. and J. J. Q'Brien, Interannual variability of the equatorial pacific in the 1960S, *J. Geophys. Res.*, 1981, **86**, 10901~10907.
- 3 Busalacchi, A. J. and J. J. Q'Brien, Interannual variability of the equatorial pacific —revisited, *J. Geophys. Res.*, 1983, **88**, 7551~7562.
- 4 McCreary, J. P., Eastern tropical ocean response to changing wind systems, With application to El Niño, *J. Phys. Oceanogr.*, 1976, **6**, 632~645.
- 5 Cane, M. A., Modeling sea level during El Niño, *J. Phys. Oceanogr.*, 1984, **14**, 586~606.
- 6 Gill, A. E., An estimation of sea-level and sea-current anomalies during the 1972 El Niño and consequent thermal effects, *J. Phys. Oceanogr.*, 1983, **13**, 586~605.
- 7 Huang Ronghui, Zang Xiaoyun, Zhang Renhe and Chen Jilong, The westerly anomalies over the tropical Pacific and their dynamical effect on the ENSO cycle during 1980~1994, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, **15**(2), 135~151.
- 8 Hurlburt, H. E., J. C. Kindle and J. J. O'Brien, A numerical simulation of the onset of El Niño, *J. Phys. Oceanogr.*, 1976, **6**, 621~631.
- 9 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), 587~599.
- 10 Zebiak, S. E. and M. A. Cane, A model El Niño / Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**, 2262~2278.
- 11 Gill, A. E., Some simple solution for heat-induced tropical circulation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1980, **106**, 447~462.
- 12 Battisti, D. S., Dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere—Ocean model, *J. Atmos. Sci.*, 1989, **45**, 2889~2919.
- 13 Goswami, B. N. and J. Shukla, Predictability of a coupled ocean—atmosphere model, *J. Climate*, 1991, **4**, 3~22.
- 14 Perigaud, C. and Dewitte, B., El Niño—La Niña events simulated with cane and Zebiak's model and Observed with satellite or In Situ Data. Part I, Model data comparison, *J. Climate*, 1996, **9**, 66~85.
- 15 Dewitte, B. and Perigaud, C., El Niño—La Niña events simulated with cane Zebiak's model and observation with satellite or in situ data. Part II: Model forced with observation, *J. Climate*, 1996, **9**, 1188~1207.
- 16 Seager, R., Modeling tropical pacific sea surface temperature, 1970~87, *J. Phys. Oceanogr.*, 1989, **19**, 419~434.

- 17 Chen, D., S. Zebiak, A. J. Busafacchi and M. Cane, An improved procedure for El Niño forecasting implication for predictability, *Science*, 1995, **269**, 1699~1702.

Dynamical Role of Zonal Wind Stresses over the Tropical Pacific in the Occurring and Vanishing of El Niño Part II: Analyses of Modeling Results

Yang Bangliang, Huang Ronghui and Zhang Renhe

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract A simple tropical numerical ocean model similar to Zebiak's one is built in order to analyze the dynamical role of zonal wind stresses over the tropical Pacific in the occurring and vanishing of El Niño events. The model is used to simulate the SSTA variability with time from January of 1971 to August of 1998 by the observed wind stress (FSU) forcing. The results show that the model successfully simulates the variability of SSTA in Niño3 area with time. The correlation coefficient is 0.9 between observational and modeling SSTA over Niño3 area. The model can better simulate the horizontal SSTA variability with time during El Niño events. In order to better understand the mechanism of SSTA spatial distribution with time, as an example, we analyze the SSTA propagating characteristics and its causes in the modeling and observational results over the equatorial Pacific in the ENSO cycle between 1986 and 1989. The model better simulates the observational SSTA propagating characteristics over the equatorial Pacific. That is, the SSTA propagates eastward from the end of 1986 to April of 1987 and westward from June of 1987 to February of 1988. The model results show that the zonal wind stress anomaly over the western and middle equatorial Pacific is very important to the occurring and vanishing of El Niño events. The wind stress anomaly over the western and middle equatorial Pacific can initiate the eastward Kelvin wave. The eastward Kelvin wave is responsible for the SSTA propagating eastward. When the Kelvin wave reaches the east boundary, the westward propagating Rossby waves are initiated because of east boundary reflection. The westward propagating Rossby waves are responsible for SSTA propagating westward over the equatorial eastern Pacific. The propagating eastward Kelvin wave and the propagating westward Rossby waves from east boundary reflection are responsible for the second peak of SSTA in El Niño events over the east equatorial Pacific.

Key words: El Niño event; Rossby wave; Kelvin wave