

全球热带简单海气耦合模式中的 ENSO 预报试验*

史 历** 殷永红**

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

倪允琪

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要 利用一个全球热带简单海气耦合模式 (GTSM 模式), 并选取热带三大洋较强的冷暖事件作为预报对象进行了若干预报试验, 分析结果发现: 在 GTSM 模式中由于热带三大洋海气耦合通过大气模式而相互作用和影响, 使得该模式对于东大西洋和中东印度洋较强冷暖事件的预报能力, 较单独大西洋或单独印度洋耦合模式均有明显提高, 预报和观测的 ATL3、IND3 指数的相关系数达到 0.5 以上的月份, 分别达到 9 个月和 6 个月左右; 而在东太平洋则和 ZC (LDEO1) 模式差不多, 预报和观测的 Niño 3 指数的相关系数达到 0.6 以上的月份可以达到 15 个月左右。

关键词: 海气耦合模式; ENSO; 预报试验

1 引言

ENSO 事件是热带海洋和大气强烈耦合的结果, 了解和预报 ENSO 事件一直是当前气象学界引人瞩目的工作, 各类复杂程度不一的海气耦合模式的建立使这方面的工作已取得了许多有意义的成果^[1,2]。Zebiak 和 Cane^[3]发展了一个物理过程非常理想化的太平洋区域的简单海气耦合模式 (即所谓 ZC 模式, 或 LDEO1), 它绕过了各种完全海气耦合模式较难克服的气候漂移问题, 且十分节省计算机资源, 由于该模式提前一年预报出了 1987 年的 ENSO 事件而受到广泛关注^[4]。但遗憾的是 ZC 模式没能包括印度洋和大西洋, 而大量的观测事实和数值试验表明^[5~7]: 在大西洋和印度洋中也存在类似太平洋的“ENSO 事件”, 只不过和太平洋相比显得弱得多, 而且三大洋的海气耦合是相互作用和影响的。为了弥补这一缺憾, Zebiak^[6]在原 ZC 模式基础上, 发展了一个大西洋区域的简单海气模式, 史历等^[7]将一个包含三大洋 (太平洋、印度洋、大西洋) 的全球热带海洋模式和细网格的 Gill^[8]耦合发展了一个全球热带简单海气耦合模式 (以下简称 GTSM 模式), 我们利用这一模式, 对 1981~1998 年间发生在热带三大洋上的主要“ENSO 事件” (主要冷暖事件) 进行了预报试验, 试验结果表明, GTSM 模式的预报能力要强于单独的大西洋或印度洋简单海气耦合模式。

1999-10-12 收到, 2000-09-30 收到第三次修改稿

* 国家“九五”攻关重中之重大项目 96-908-02-05 资助

** 现在中国气象科学研究院工作

2 模式简介

GTSM 模式的大气模式部分, 为 Gill^[8]的垂直方向仅为单一自由度的简单线性动力模式。该模式的经纬度网格分辨率为 $5.625^\circ \times 2^\circ$, 我们考虑到其对于印度洋, 尤其是大西洋沿纬圈方向的分辨率太粗糙, 所以将该模式经纬度网格分辨率调整为 $2.8125^\circ \times 2^\circ$, 同时保留了 Zebiak^[9]加入的辐合对流反馈过程, 这样得到了一个细网格的 Gill 的大气模式。

GTSM 模式的海洋模式部分为殷永红等^[10]发展的全球热带海洋模式。其中太平洋部分为 Cane^[11]的线性约化重力的二层海洋模式 ($29^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{S}$, $101.25 \sim 286.875^\circ\text{E}$, $5.625^\circ \times 2^\circ$), 大西洋部分 ($29^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{S}$, $90^\circ\text{W} \sim 20^\circ\text{E}$, $1^\circ \times 1^\circ$) 和印度洋部分 ($29^\circ\text{N} \sim 29^\circ\text{S}$, $30 \sim 132^\circ\text{E}$, $1^\circ \times 1^\circ$) 为在 Cane 的二层海洋模式的基础上, 考虑到实际印度洋和大西洋的物理、地理特性以后, 改变有关参数后得到。

在作者另文^[7]中已指出: 对单独大西洋区域简单海气耦合模式长期积分, 只要选取适当的参数和初始化方案, 就可以产生类似于 ZC 模式中的准周期自持振荡; 而在单独印度洋区域的简单海气耦合模式中却不能产生这种自持振荡。但在包含三大洋的 GTSM 模式长期积分结果中, 印度洋中亦产生了这种准周期的自持振荡; 而大西洋中的这种自持振荡, 无论位相、振幅和单独大西洋简单海气耦合模式结果相比, 均有明显改变; 这说明在 GTSM 模式中, 三大洋海气耦合通过一个覆盖全球的简单大气模式, 发生相互作用和相互影响。进一步分析还表明: 在这种相互作用中热带太平洋处于较“主动”的地位, 而热带大西洋和热带印度洋则处于相对较“被动”的地位。

耦合方案仍采取 ZC 模式^[3]的方案, 时间积分步长为 10 d。

3 数据资料说明

GTSM 模式在初始化过程中使用的观测海表面风应力距平为: NCEP/NCAR^[12] (1979 年 1 月~1998 年 12 月) 再分析月平均格点资料的 1000 hPa 风场减去该时段的气候平均值得距平风场, 再通过下面公式计算得到:

$$\bar{\tau} = \rho C_d \times v \times |v| \times 0.8,$$

其中, 拖曳系数 $\rho C_d = 0.003 \, 29 \, \text{kg m}^{-3}$ 。

GTSM 模式中使用的观测海温距平为: NCEP/NCAR (1979 年 1 月~1998 年 12 月) 再分析月平均格点资料提供的全球海温减去该时段的气候平均值得到。由于印度洋地处季风区, 观测海表风应力距平场和海温距平场的高频信号非常多, 为了滤掉这些对气候模拟来说属于高频“噪声”的信号, 对 GTSM 模式初始化过程中使用的印度洋区域的观测海表风应力距平场和海温距平, 均做了滤波处理 (滤掉其 13 个月以下信号)。

4 初始化方案

初始化方案的选择对简单海气耦合模式十分重要。经比较, GTSM 模式的初始化

方案选为: 用观测的风应力距平, 强迫包含三大洋的全球热带海洋模式至预先设定的预报开始时刻止 (至少强迫 2 年); 与此同时用观测海温距平 (SSTA), 强迫大气模式也至预先设定的预报开始时刻止 (至少强迫 2 年); 从预报开始时刻起, 大气模式和全球热带海洋模式开始进入耦合, 直到预先设定的预报结束时刻止。具体过程如图 1 所示。

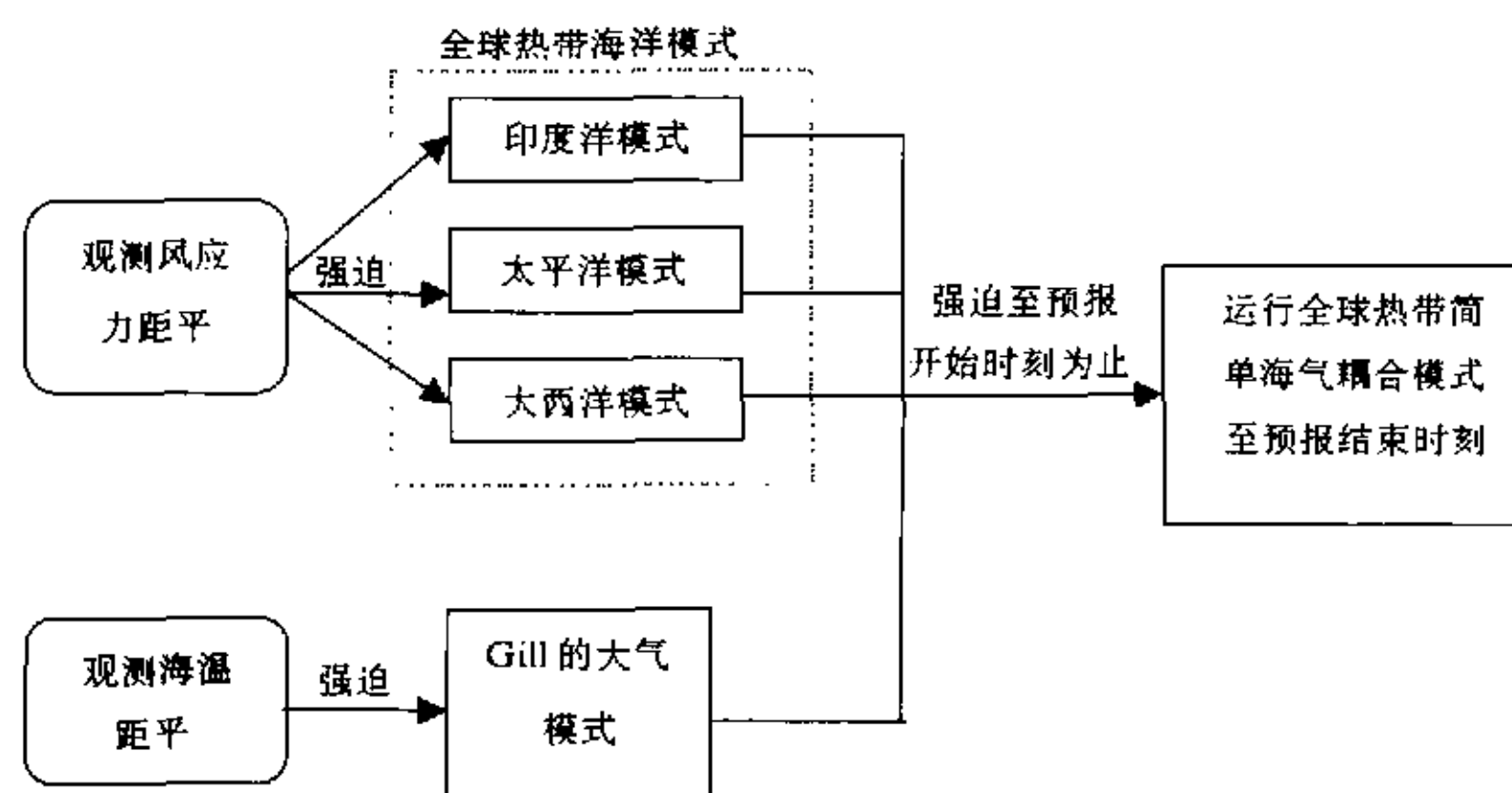


图 1 GTSM 模式中使用的初始化方案

GTSM 模式中设置了相应开关, 可以方便地选择运行全球热带海气耦合模式或单独运行某一个大洋的海气耦合模式。

5 简单海气耦合模式的预报试验结果分析

对于 GTSM 模式这样一个简单热带海气耦合模式来说, 我们将其预报试验的重点, 放在检验其能否将热带三大洋海气相互作用的强信号预报出来。分别选取三大洋的 Niño 3 指数、ATL3 指数、IND3 指数作为预报指标。具体定义如下: Niño 3 指数为 (150~90°W, 5°S~5°N) 区域平均海表温度距平; ATL3 指数为 (20°W~10°E, 5°S~5°N) 区域平均海表温度距平; IND3 指数为 (65~80°E, 3°S~3°N) 区域平均海表温度距平。在预报个例的选择上, 我们将 Niño 3 指数大于 1.0℃ 和小于 -1.0℃, ATL3 指数大于 0.6℃ 和小于 -0.6℃, IND3 指数大于 0.3℃ 和小于 -0.3℃, 作为区别三大洋是否为强 ENSO 事件的阈值。这样通过普查, 1981 年 1 月~1998 年 12 月在太平洋区域选取了 1982~1983、1986~1987、1991~1992、1997~1998 年的 El Niño 事件和 1984~1985、1988~1989、1994~1995 年的 La Niña 事件, 共 7 次较强的冷暖事件作为预报对象; 在大西洋区域则选了 1982、1983、1984、1987、1988、1989、1992、1993、1995、1996、1998 年共 11 次较强的冷暖事件作为预报对象; 在印度洋选了 1981、1983、1984、1987、1989、1991、1994、1998 年共 8 次较强的冷暖事件作为预报对象。对各预报试验起始时刻的确定分别采取: 对太平洋的个例来说一般从冷暖事件发展盛期前 15 个月左右开始预报, 一个月预报一次, 每个事件连续预报 6 个月 (即连续预报 6 次), 如 1982~1983 年这一次 El Niño 事件, Niño 3 指数的极大值出现在 1983 年 1 月, 则预报试验从 1981 年 9 月开始至 1982 年 2 月连续作 6 次预报, 这样对太平洋较

强冷暖事件的预报共得到 42 个预报样本; 对于大西洋和印度洋而言, 由于其冷暖事件较太平洋弱得多且持续时间也要短得多, 因此在采用和上面类似的方法时, 预报试验的起始时刻一般取从冷暖事件发展盛期前 9 个月左右开始, 一个月预报一次, 连续预报 4 次, 这样大西洋和印度洋分别得到了 44、32 个预报样本。

GTSM 模式的预报试验结果, 主要与采取了同样初始化方案的单独三大洋简单海气耦合模式的预报试验结果, 以及持续性预报结果相比较, 每一次预报都积分 2 年。

为了进一步说明这样选取预报对象的必要性, 先将 1981 年 1 月~1996 年 12 月, 每个月都作为 GTSM 和单独热带太平洋区域耦合模式 (即 ZC 模式或 LDEO1) 的预报起始时刻, 进行预报试验, 这样共得 192 个预报样本。然后分别计算两模式预报和观测 Niño 3 指数的超前相关系数 (图 2a), 该图表明 GTSM 模式的预报技巧迅速降低, 直到超前 6 个月以后才逐渐上升, 一直到超前 9 个月预报技巧都低于持续性预报, ZC 模式的结果和 GTSM 模式基本一致。虽然采用不同的风应力和初始化方案, 这根曲线会略有差异, 但总的结论是不变的 (图略)。由此可见如对预报对象不加选择, 则由于模式本身能力的局限性, 决定了不论 ZC 模式还是 GTSM 模式的总体预报技巧都是很低的。图 2b 为 GTSM 和 ZC 模式对太平洋较强冷暖事件的 Niño 3 指数的预报技巧, 由图可见, 虽然在预报的前 4 个月相关系数迅速降低至 0.3, 但其后又迅速上升, 至超前 9 个月已达到 0.8 左右, 且一直维持到超前 15 个月左右。在超前 6 个月以后预报结果的相关系数就大于持续性预报, 平均相关系数大于 0.5 的月份可以达到 15 个月左右 (相关系数大于 0.45 即在统计上是显著的, 其显著性水平为 0.01)。图 2c 为 GTSM 和单独大西洋简单海气耦合模式, 对大西洋区域较强冷暖事件的 ATL3 指数的预报技巧, 由图显见, 直到超前 12 个月, GTSM 模式的相关系数明显大于单独大西洋耦合模式和持续性预报结果, 平均相关系数大于 0.5 的超前月份可以达到 9 个月左右。图 2d

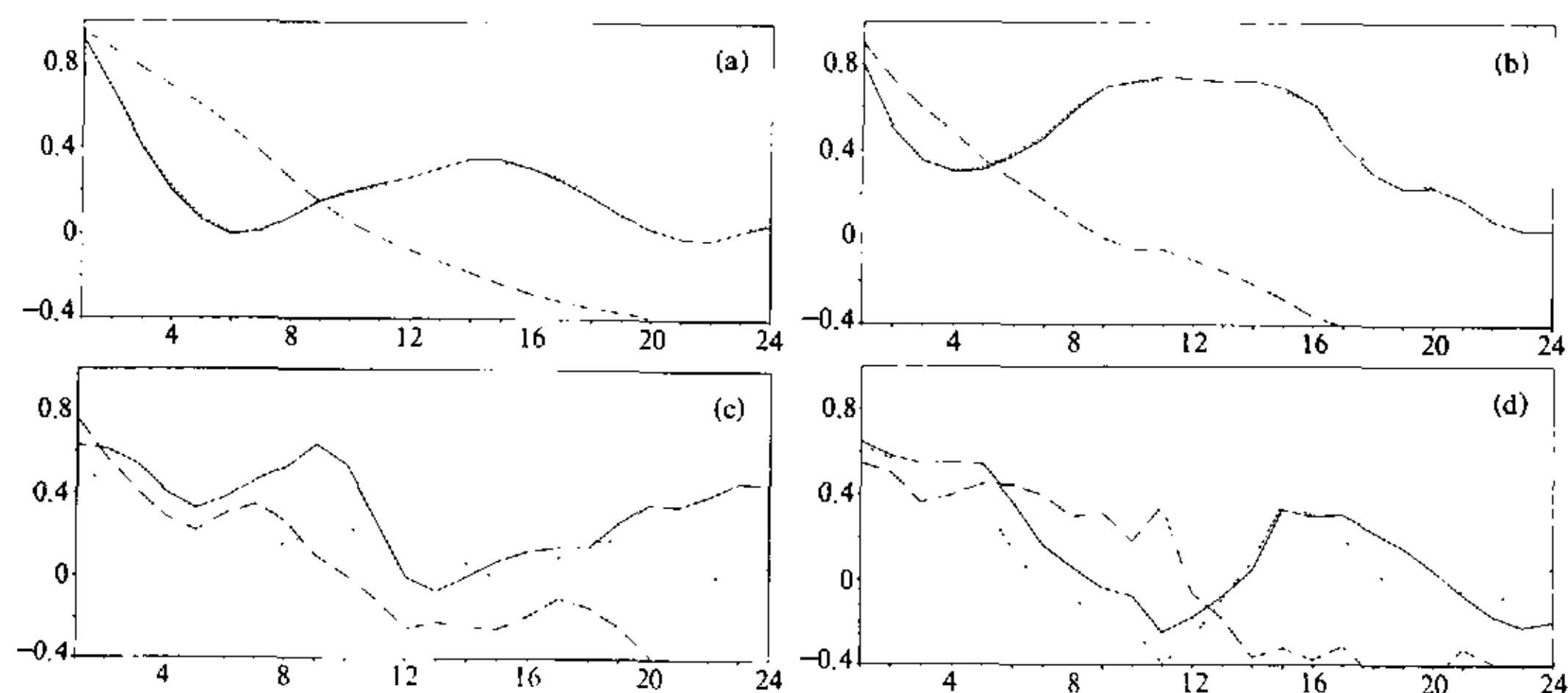


图 2 GTSM 模式 (实线), 单独三大洋模式 (点线), 持续性预报 (长虚线) 的预报技巧比较

横坐标为预报超前观测的月份, 纵坐标为相关系数

- (a) 对太平洋区域 Niño 3 指数 (1981 年 1 月~1996 年 12 月共 216 个个例) 的总体预报技巧;
- (b) 对太平洋区域较强冷暖事件的 Niño 3 指数 (共 42 个预报个例) 的预报技巧;
- (c) 对大西洋区域较强冷暖事件的 ATL3 指数 (共 44 个预报个例) 的预报技巧;
- (d) 对印度洋区域较强冷暖事件的 IND3 指数 (共 32 个预报个例) 的预报技巧

为 GTSM 和单独印度洋简单海气耦合模式, 对于印度洋较强冷暖事件的 IND3 指数的预报技巧, 从图中可见, 直到超前 13 个月, GTSM 模式的预报技巧总略大于单独印度洋耦合模式, 且相关系数大于 0.5 的超前月份可以达到 6 个月左右。下面将以对三大洋较强冷暖事件的预报为例来说明 GTSM 模式的性能。

为了进一步验证上述结论的可靠程度, 我们分别比较了 GTSM 模式、单独三大洋简单海气耦合模式各个例预报结果和观测的 Niño 3、ATL3、IND3 指数。图 3a 为预

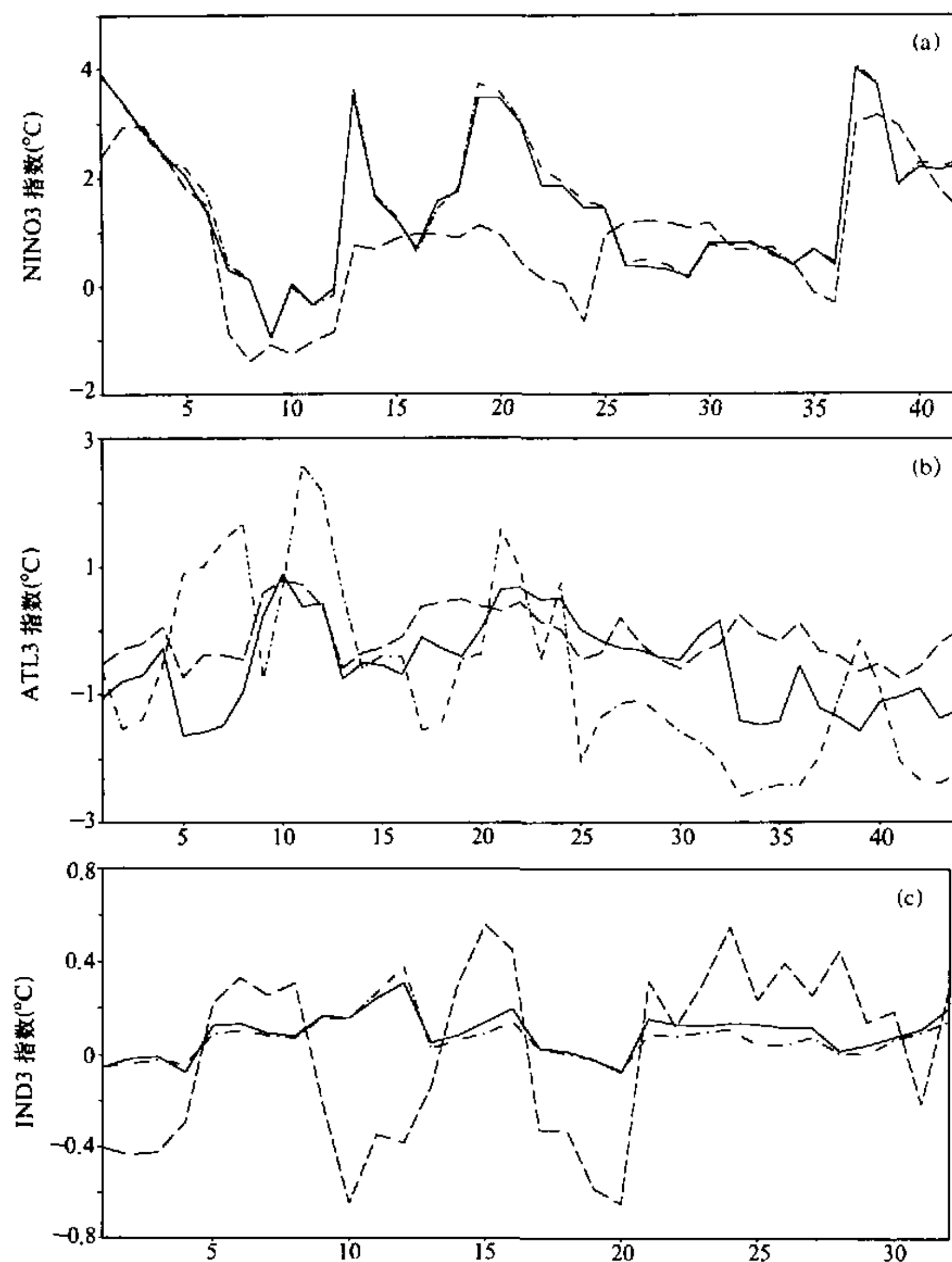


图 3 GTSM 模式、单独三大洋海气耦合模式预报的指数与观测的比较

虚线: 观测值, 实线: GTSM 模式预报结果, 点划线: 单独三大海气耦合模式预报结果
横坐标为预报个月数, 纵坐标为指数 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

(a) GTSM 模式、ZC 模式, 预报的 Niño 3 指数超前观测 15 个月结果;

(b) GTSM 模式、单独热带大西洋海气耦合模式, 预报的 ATL3 指数超前观测 9 个月结果;

(c) GTSM 模式、单独热带印洋海气耦合模式, 预报的 IND3 指数超前观测 6 个月结果

报的 Niño 3 指数超前观测 15 个月结果, 由图可见, GTSM 和 ZC 模式的结果非常接近, 且通常比观测值大, 但预报的 Niño 3 的位相变化和观测还是比较一致的。图 3b 给出了 GTSM 和单独大西洋简单海气耦合模式, 预报的 ATL3 指数 (图例同图 3a) 超前观测 9 个月的结果, 由图可见, GTSM 模式较之单独大西洋简单海气耦合模式的预报结果, 不论是位相还是振幅都明显更接近观测。图 3c 为 GTSM 和单独印度洋简单海气耦合模式, 预报的 IND3 指数 (图例同图 3a) 超前观测 6 个月的结果, 由图可见, 两模式的预报结果比较接近, 和观测相比则明显地显得振幅偏小。同图 3a、b 相比较可见, GTSM 模式在印度洋的预报能力是相对最差的, 综合图 3a、b、c 的结论和图 2 的结论相吻合。

为较好估计模式预报的误差增长情况, 下面分别计算了每一个超前月份的 GTSM 模式和单独三大洋简单海气耦合模式, 预报和观测的 Niño 3、ATL3、IND3 指数之间的均方根误差 (图 4a~c)。由图 4a、c 可见, 对于太平洋、印度洋区域而言, GTSM 模式的均方根差随超前时间的增加和 ZC 模式 (或单独印度洋耦合模式结果) 差别是比较小的; 但从图 4b 可见, 对于大西洋而言, GTSM 模式的均方根差随超前时间的增加要明显小于单独大西洋耦合模式结果。图 4 的描述表明, 采用 GTSM 模式后, 和原来单独三大洋简单海气耦合模式相比, 大西洋的预报能力改进最大。

为进一步反映 GTSM 模式对三大洋较强冷暖事件预报能力的空间分布状况, 下面计算了太平洋区域 GTSM 模式预报的 SSTA 超前观测 15 个月, 以及相应时段持续性预报和观测值之间的超前相关平面分布 (如图 5a 和 b)。从图 5a 可知, 至超前 15 个月时, GTSM 模式预报的 SSTA 和观测值相关大于 0.5 的区域, 包括 170°W 以东的整个热带东太平洋; 而对应的持续性预报结果 (如图 5b) 对东太平洋已完全丧失预报能力, 基本为负相关, 仅在日期变更线 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 附近的中太平洋仍有 0.5 的正相关。由上可见, GTSM 模式对 150°W 以东太平洋 SSTA 的预报能力至少可持续到超前 15 个月左右, 而对日期变更线以西的太平洋预报能力较差。

图 6a 为大西洋区域 GTSM 模式预报的 SSTA 超前观测 9 个月时相关系数分布。由图可见, GTSM 模式结果中沿赤道 $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 之间, 25°W 以东区域的相关系数均大于 0.5, 且表现为南北不对称性, 明显好于相同时段持续性预报 (图 6b) 的相应地区。这表明: GTSM 模式对东大西洋 (ATL3 区) SSTA 强信号的预报能力可持续到 9 个月左右, 这种分布具有南北不对称性。

图 7a 为 GTSM 模式在印度洋区域, 预报的 SSTA 超前观测 5 个月的相关系数分布。由图可见, 至超前 5 个月时, 在中东热带印度洋 IND3 区的相关系数仍在 0.5 以上, 要高于相同时段持续性预报的 SSTA 和观测的相关分布 (图 7b)。可见 GTSM 模式对印度洋 SSTA 较强信号的预报, 在 IND3 区和孟加拉湾东北部一小块区域可持续半年左右。

6 1997~1998 年异常暖事件的预报个例分析

1997~1998 年不仅在赤道中东太平洋发生了 20 世纪以来最强烈的 El Niño 事件, 而且几乎同时大西洋和印度洋也发生了较强暖事件, 说明这是一次全球范围内的热带海

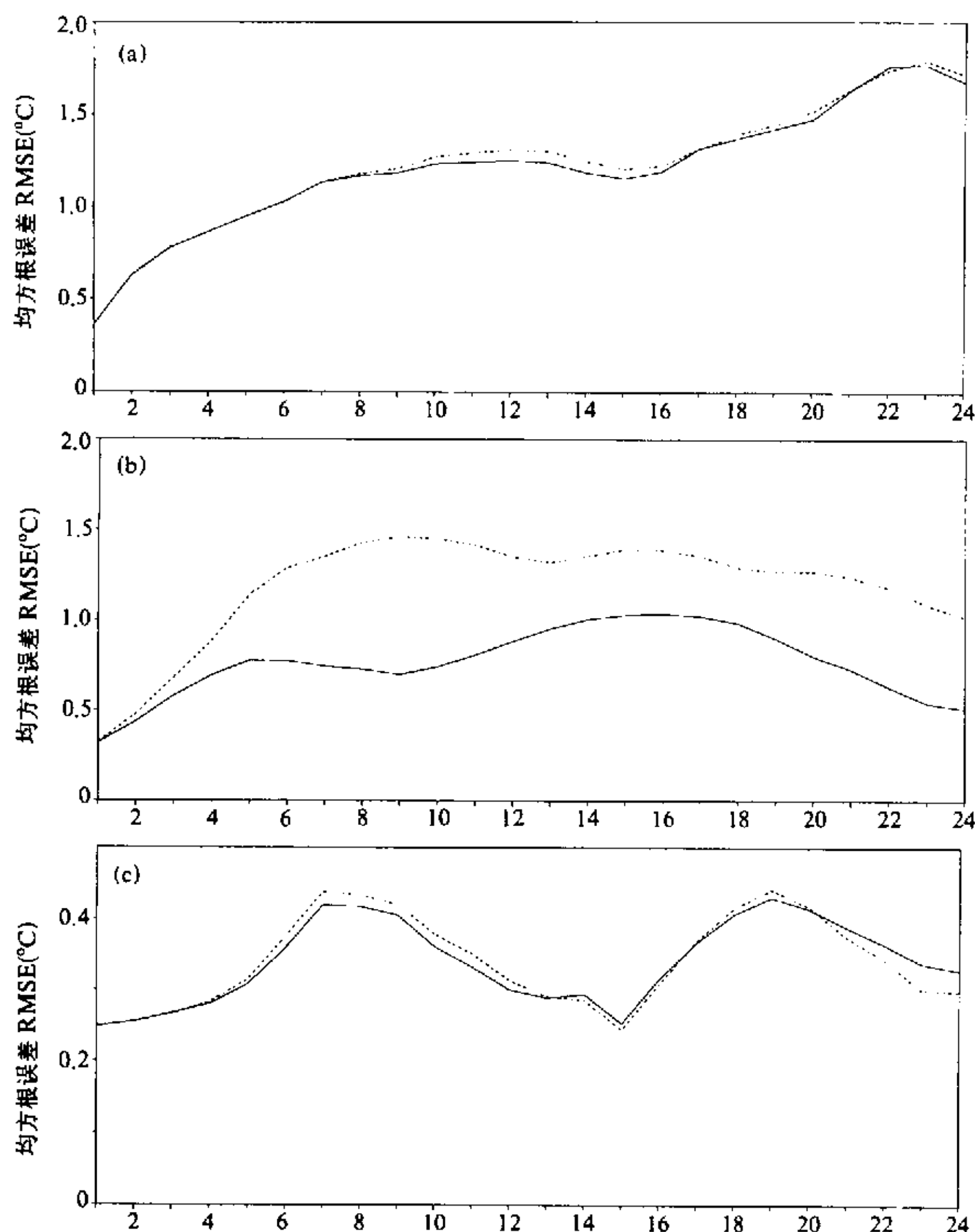


图4 GTSM模式和单独三大洋耦合模式预报指数与观测的均方根误差比较

实线: GTSM模式预报结果, 虚线: 相应的单独大洋耦合模式预报结果,

横坐标为预报超前观测的月份, 纵坐标为均方根误差(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(a) GTSM模式和单独太平洋模式预报的 Niño 3 指数和观测的均方根误差;

(b) GTSM模式和单独大西洋模式预报的 ATL3 指数和观测的均方根误差;

(c) GTSM模式和单独印度洋模式预报的 IND3 指数和观测的均方根误差

温异常增暖事件。ZC 模式(包括 LDEO1 和 LDEO2)对这次特强 El Niño 事件的预报是不成功的^[13], 这里我们取 1996 年 10、11、12 月和 1997 年 1 月为预报起始时间, 分别对 GTSM 模式和 ZC 模式(LDEO1), 使用不同的风应力和初始化方案做了预报试验(图 8、9), 每次预报都向后积分了两年, 并取这 4 次预报的平均值作为集合预报结果。图 8a 为 GTSM 模式对 Niño 3 指数的预报结果。对该图比较集合预报和观测值

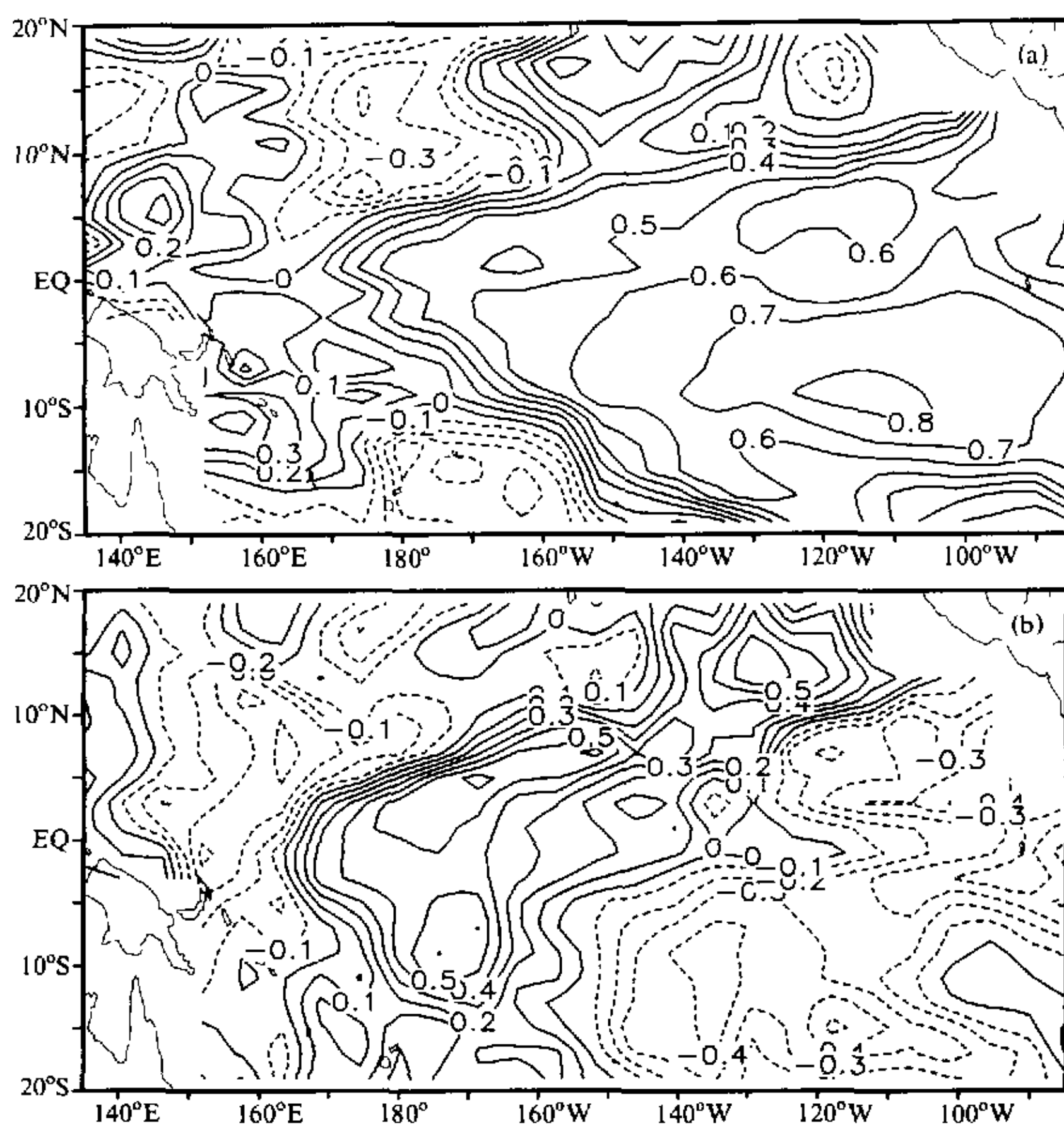


图 5 GTSM 模式 (a) 和持续性预报 (b) 在太平洋区域预报的 SSTA 超前观测 15 个月的相关平面图

可见: 模式几乎将两年的 Niño 3 指数变化完全预报出来。作为比较, 图 9 给出了同等条件下, 在 GTSM 模式初始化过程中使用 FSU^[14]假风应力时的集合预报结果, 以及在 ZC 模式 (LDEO1) 的典型初始化方案 (该方案流程如图 10 所示) 中, 分别使用 FSU 假风应力和本文中使用的风应力的集合预报结果。从图 9 不难发现, 如在初始化过程中使用的是 FSU 假风应力, 则虽然 GTSM 模式的结果要略好于 ZC 模式, 但总体来说两者都是失败的。如使用的是 NCEP/NCAR 1000 hPa 风场计算得来的风应力 (见前文资料说明), 则对 ZC 模式而言, 其结果要明显好于用 FSU 假风应力的结果。通过这一比较可知: 对于 GTSM 和 ZC 模式这类简单的海气耦合模式而言, 选择适当的初始场是非常重要的。

对于 ATL3 指数 (图 8b), GTSM 模式的集合预报结果从 1996 年 10 月~1997 年 6 月和观测比较接近, 但自 1997 年 7 月起观测值已逐渐转为一次暖事件, 集合预报却报为一次较强冷事件。从图 8c 可见, 对于 IND3 指数 GTSM 模式的集合预报结果, 从 1996 年 10 月~1997 年 7 月虽略大于观测值, 但两者的变化趋势是一致的, 但 1997

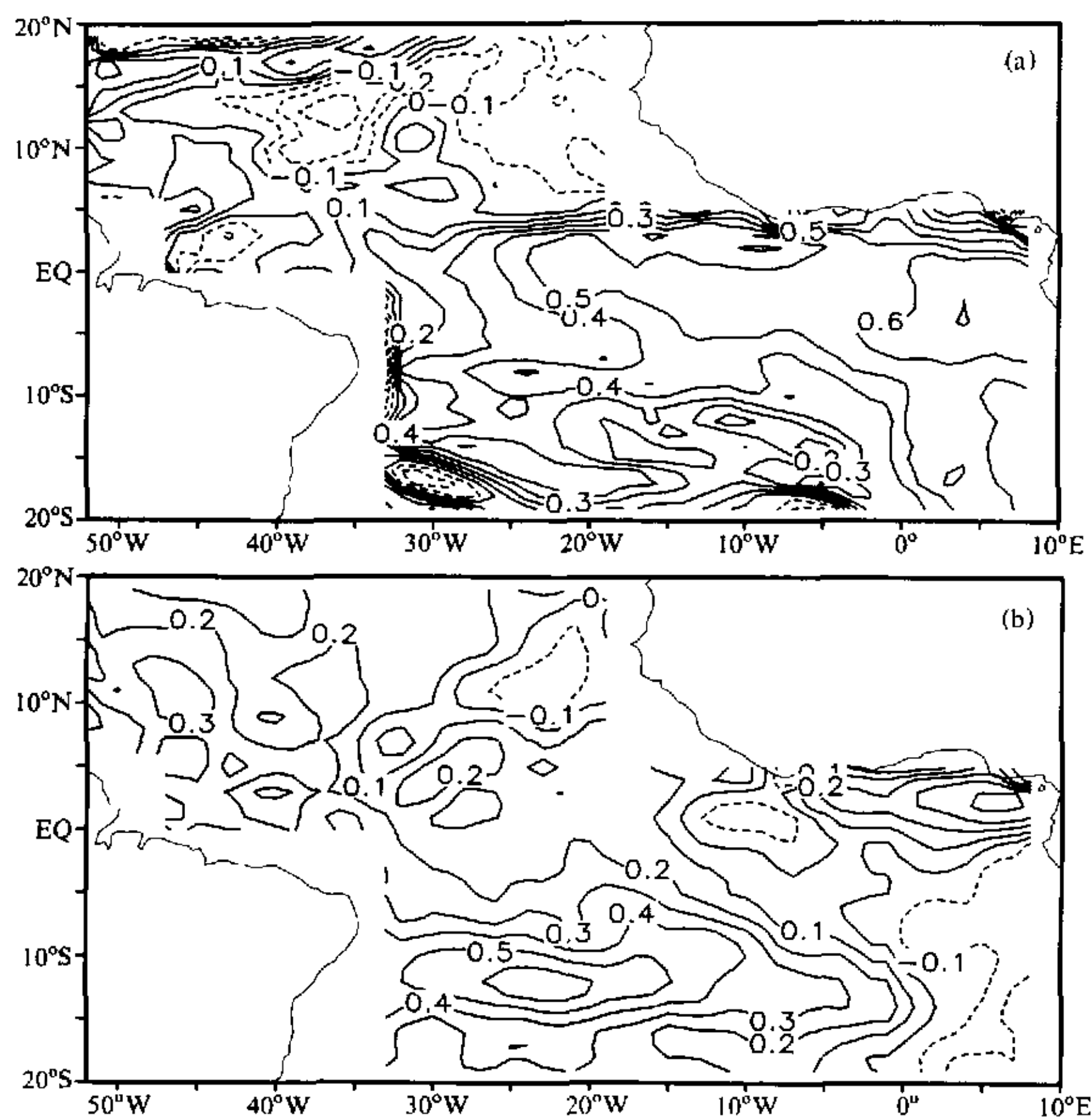


图6 GTSM 模式 (a) 和持续性预报 (b) 在大西洋区域预报的 SSTA 超前观测 9 个月的相关平面图

年 8 月以后集合预报结果的强度明显弱于观测值。

图 11a、b 分别为观测和 GTSM 模式集合预报的 1997/1998 年 El Niño 事件的 SSTA 沿赤道的时间—经度剖面图 (从左至右分别为印度洋、太平洋、大西洋)。对于太平洋来说预报和观测值的主要特征非常一致, 最大 SSTA 出现的时间和地点都较为吻合, 且预报和观测都显示这次暖事件在太平洋没有明显的东传或西传现象。对于印度洋来说, 虽然 GTSM 模式预报出了 1998 年的暖事件, 但无论强度、开始的时间和观测值都有明显差距, 且没有观测结果中表现出来的那种暖位相自西向东传播的过程。但中东印度洋 IND3 区 ($65^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{E}$), 1997 年 7 月以前预报和观测两者强度和位相都比较一致。对于大西洋来说 1997~1998 年这次暖事件则完全报反了, 仅在 1997 年 7 月以前东大西洋 ATL3 区的冷位相和观测比较一致。

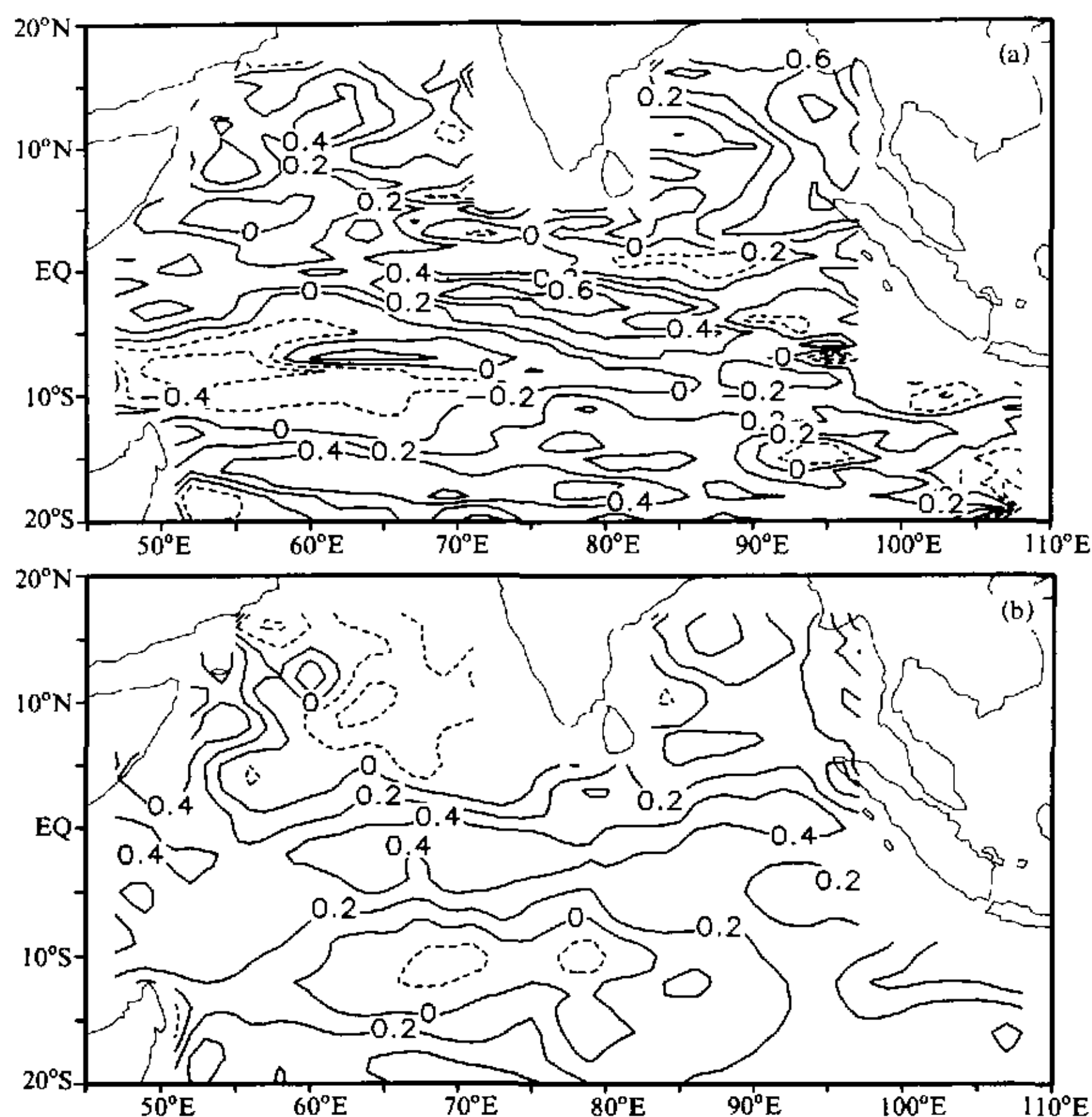


图7 GTSM 模式 (a) 和持续性预报 (b) 在印度洋区域预报的 SSTA 超前观测 5 个月的相关平面图

7 结语与讨论

利用一个全球热带简单海气耦合模式 (GTSM 模式), 选取热带三大洋较强的冷暖事件作为预报对象, 通过对太平洋 (共 42 个预报个例)、印度洋 (共 32 个预报个例)、大西洋 (共 44 个预报个例) 的试验性预报及误差分析发现: 在该模式中由于热带三大洋海气耦合通过大气模式发生相互作用和影响, 使得模式对于东大西洋和中东印度洋较强冷暖事件的预报能力, 较单独大西洋、印度洋简单海气耦合模式有明显提高, 预报结果和观测相关系数在 0.5 以上的月份分别达到 9 个月和 6 个月左右, 而在东太平洋则和 ZC 模式差不多, 达到 15 个月左右。预报和观测值的超前相关平面分布表明, 该模式在东太平洋区域的预报能力最强, 东大西洋次之, 且沿赤道南北不对称, 而中东印度洋 (IND3 区) 和孟加拉湾东北部一小块区域, 超前半年左右的相关系数大于 0.6。

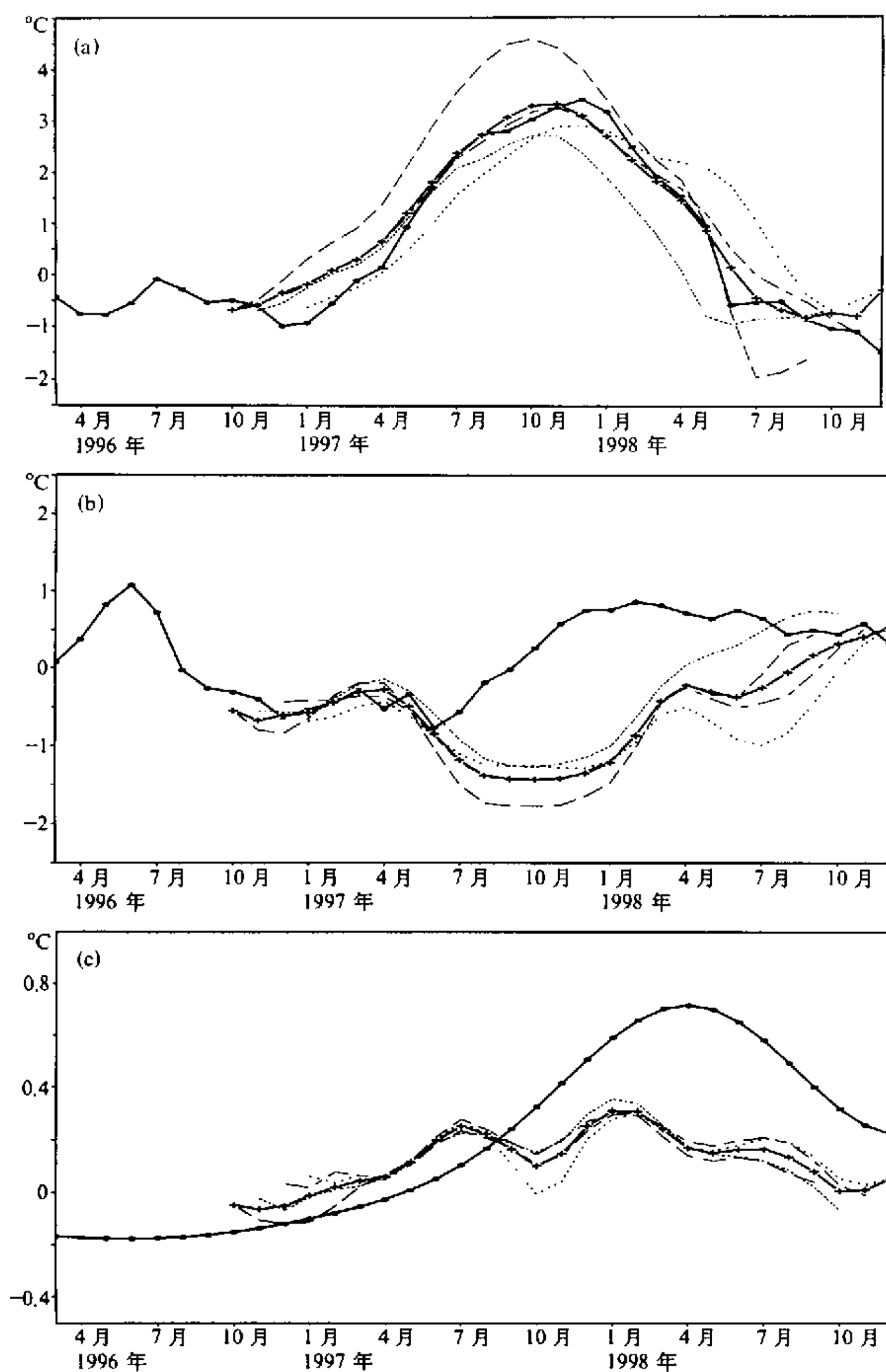


图 8 GTSM 模式对 1997~1998 年异常暖事件三大洋指数的预报实例

图中带点的粗实线为观测值, 带+号的粗虚线为连续四次预报的集合预报值, 长虚线、长短虚线、短虚线、点线分别为以 1996 年 10 月、11 月、12 月及 1997 年 1 月为预报超始时间的预报个例
(a) 对太平洋 Niño 3 指数的预报; (b) 对大西洋 ATL3 指数的预报; (c) 对印度洋 IND3 指数的预报

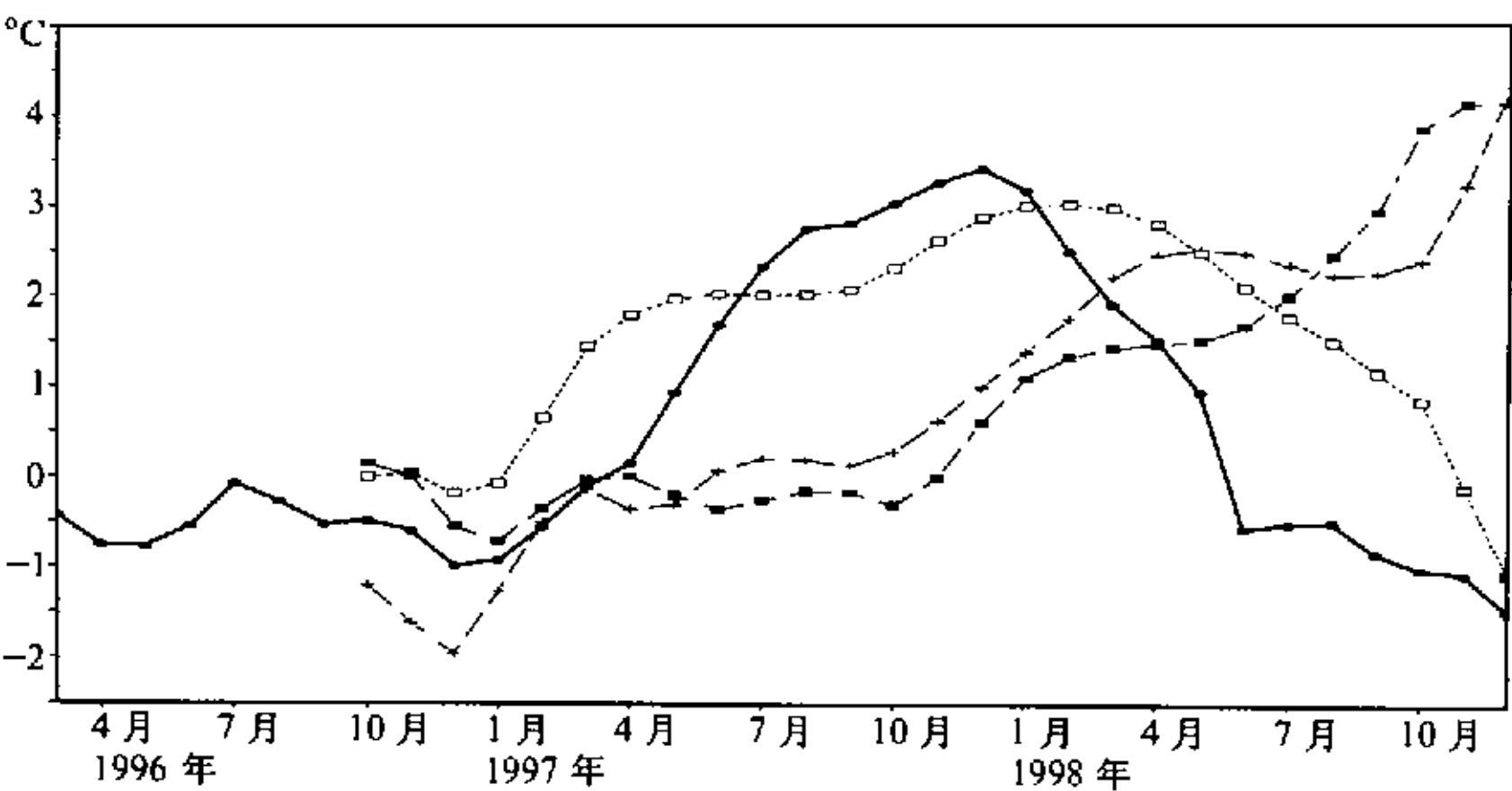


图9 不同的初始化方案及风应力对 1997~1998 年异常暖事件太平洋 Niño 3 指数的集合预报比较
图中带点的粗实线为观测值, 带+号的虚线为在 GTSM 模式中使用 FSU 假风应力集合预报结果,
带■号的虚线为在 LDEOI 中使用 FSU 假风应力集合预报结果, 带□号的虚线为在 LDEOI 中
使用 NCEP / NCAR 1 000 hPa 风场计算折风应力集合预报结果

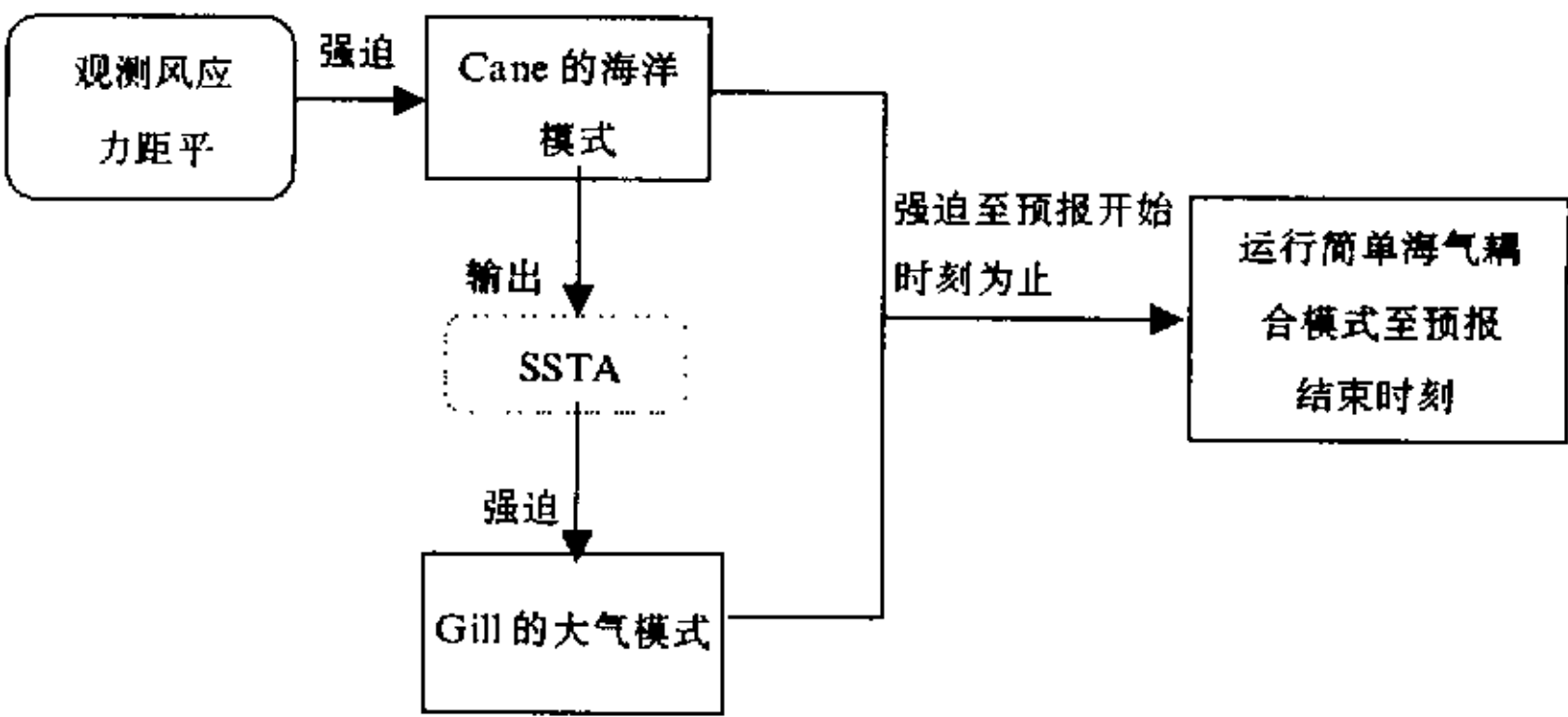


图 10 ZC 模式 LDEOI 典型初始化流程图

造成这种现象的原因可能与三大洋实际海气相互作用的强度有关。由于 GTSM 模式本身（特别是其大气模式分量）过于简单理想化，其对全球热带三大洋“ENSO”事件的预报试验表明：该模式仅对较强的冷暖事件有较好的预报能力，而对较弱的冷暖事件（接近正常的气候态）则预报能力相对较差。因此，在实际应用中对 GTSM 模式预报出的较强的气候变率，其可靠性与可用性相对较高，而预报的较弱事件其可靠性要相对弱一些。解决的方法之一，是用一个物理过程较为复杂的大气模式替代 GTSM 模式中的简单大气模式，从而构成一全球热带混合海气耦合模式。

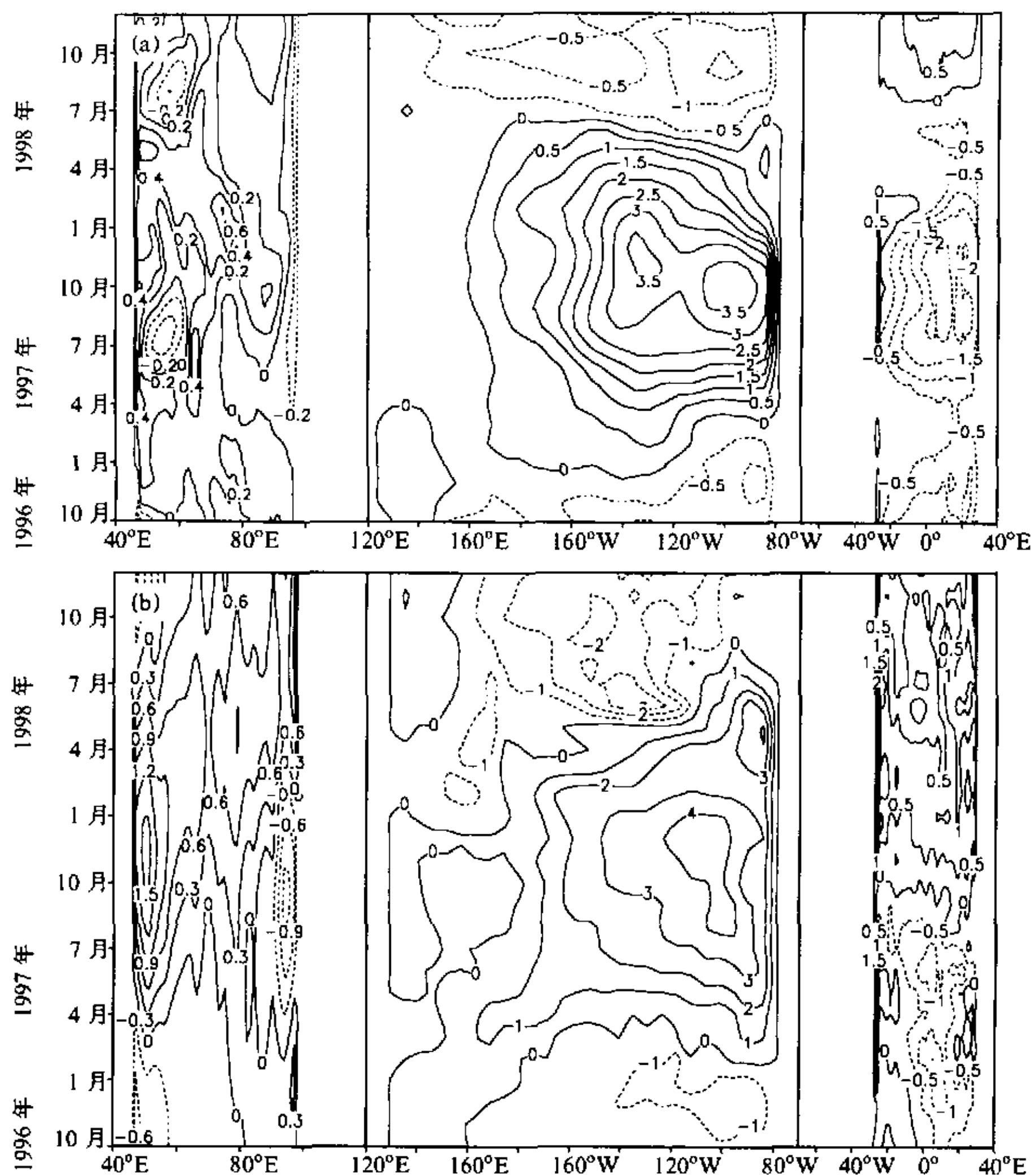


图 11 1997 / 1998 年暖事件沿赤道的 SSTA 时间-经度剖面图

从左至右, 分别为印度洋、太平洋、大西洋, 横坐标为经度, 纵坐标为时间 (单位: 月), 等值线单位: $^{\circ}\text{C}$

(a) GTSM 模式预报结果; (b) 观测结果

参 考 文 献

- 1 Latif, M. et al., A review of ENSO prediction studies, *Climate Dyn.*, 1994, **9**, 167~179.
- 2 Carson, D. J., Climate modelling: achievements and prospects, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1999, **125**, 1~27.
- 3 Zebiak, S. E. and M. A. Cane, A model El Niño-southern oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**, 2262~2278.
- 4 Cane, M. A., S. E. Zebiak and S. C. Dolan, Experimental forecasts of El Niño, *Nature*, 1986, **321**, 827~832.
- 5 Tourre, Y. M. and W. B. White, ENSO signals in global upper-ocean temperature, *J. Phys. Oceanogr.*, 1995, **25**, 1317~1332.
- 6 Zebiak, S. E., Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region, *J. Climate*, 1993, **6**, 1567~1586.

- 7 史历, 殷永红, 倪允琪, 全球热带海气耦合模式中的海气相互作用研究 II: 数值模拟, 短期气候预测业务动力模式的研制, 北京: 气象出版社, 2000, 370~378.
- 8 Gill, A. E., Some simple solutions for heat-induced tropical circulation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1980, **106**, 447~462.
- 9 Zebiak, S. E., Atmospheric convergence feedback in a simple model for El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**, 1263~1271.
- 10 殷永红, 史历, 倪允琪, CAMS/NJU全球热带海洋距平模式及其数值模拟, 气象学报, 2000, **58** (增刊), 778~789.
- 11 Cane, M. A. and R. J. Patton, A numerical model for low-frequency equatorial dynamics, *J. Phys. Oceanogr.*, 1984, **14**, 1853~1863.
- 12 Kalnay, E. et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**, 437~471.
- 13 Dake Chen et al., The impact of sea level data assimilation on the Lamont model prediction of the 1997/98 El Niño, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**, 2837~2840.
- 14 Legler, D. M. and J. J. O'Brien, Tropical Pacific wind stress analysis for TOGA, IOC Time series of ocean measurements, *IOC Technical Series 33*, 1988, **4**, UNESCO.

Experimental ENSO Predictions with a Simply Global Tropical Air-Sea Couple Model

Shi Li and Ying Yonghong

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

Ni Yunqi

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract A simply global tropical coupled air-sea model (GTSM) is used to predict the primary strong warm or cold events in the equatorial Pacific Ocean, the Atlantic Ocean, and the Indian Ocean. Predicted results indicate that the capability of predicted ATL3 and IND3 has been improved obviously compared with the Atlantic Coupled Model and the Indian Coupled Model. The leading correlation of predicted and observed ATL3, IND3 exceeds 0.5 to a 9-months lead-time and a 6-months lead-time, respectively. The capability of predicted Niño 3 of the GTSM akin to the ZC model. The leading correlation of predicted and observed Niño 3 exceeds 0.6 to a 15-months lead-time.

Key words: air-sea coupled model; ENSO; experimental forecast