

赤道印度洋—太平洋地区海气系统 的齿轮式耦合和 ENSO 事件

I. 资料分析*

吴国雄 孟文

(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, 北京 100080)

摘要 利用历史观测数据, 研究了印度洋海表温度 (SST) 的季节变化特征, 证实赤道印度洋和东太平洋 SST 年际变化有显著的正相关, 指出这种正相关是由于沿赤道印度洋上空纬向季风环流和太平洋上空 Walker 环流之间显著的耦合造成的。这两个异常的纬向环流圈之间的耦合形式看起来很像是存在于赤道印度洋和太平洋上空的一对齿轮 (简称为 GIP), 当一个作顺时针向变化时, 另一个则作反时针向变化。文中还证明 ENSO 事件与 GIP 的年际异常存在很好的对应关系, 暖事件时 GIP 为反向运转; 冷事件时 GIP 为正向运转; 异常的 GIP 的啮合点位于印尼群岛附近。对 80 年代以来的 ENSO 事件的分析表明, 每次事件前期异常的 GIP 的啮合点首先出现在印度洋上空, 然后逐渐传入太平洋, 引起 GIP 东侧的大气纬向风 u 和 SST 同时发生异常变化。当这种风场和 SST 的异常变化发展东传到达赤道中东太平洋时, 导致 ENSO 事件最终出现。本文由此指出印度洋上空纬向环流的异常可以通过印度洋和太平洋上空大气系统的齿轮式耦合去影响赤道中东太平洋的海-气相互作用并触发 ENSO 事件发生。

关键词 异常 Walker 环流 异常纬向季风环流 齿轮式耦合

1 引言

自 Bjerkness^[1]提出 ENSO 的概念以来, 人们对发生在热带太平洋的海气系统中的这一强讯号进行了广泛研究。Rasmusson 和 Carpenter^[2]对 80 年代以前 ENSO 的总体统计行为进行分析, 概括了其发生、发展、维持和消弱等生命史各阶段的特征。Philander^[3]对太平洋范围大气和海洋系统的气候特点和海气相互联系作了全面的总结。巢纪平^[4]则从大气和海洋的热力和动力过程, 以及海洋和大气的耦合波等角度去研究与 ENSO 相关的动力学。McCreary 和 Anderson^[5]、Neelin^[6]等还用简单概念模式、中等简化模式和耦合 GCM 去研究 ENSO。这些模式的模拟结果都表明, 海气耦合会激发出不稳定的低频耦合模态, 并用这种不稳定慢波去解释热带海气系统中的年际变化。然而模式中的年际变化并不等于 ENSO 循环。ENSO 事件的发生存在显著的时空非均匀性 (2~9 年周期)。西传的 El Niño 与赤道中东太平洋海温的季节变化有锁相联系, 而

1997-08-11 收到

* 国家自然科学基金项目 49575265 支持

东传的 El Niño 夏季首先在西太平洋出现正的 SST 异常, 然后向东传播。迄今的耦合模式都未能成功地模拟这些个例特征。如果把全球海气系统当成一个整体, 那么 El Niño 的发生除了热带太平洋的海气相互作用外, 看来还应该有来自热带太平洋以外的激发源。

与 ENSO 事件紧密联系的一个系统是亚洲季风系统。其实早在 30 年代 Walker 等^[7]就发现南方涛动与印度的季风降水关系密切。这一结论也为文献[2]的资料分析所证实。许多作者^[8,9]建立了印度季风和 ENSO 之间风场和海平面气压场相关联的模型。Webster 和 Yang^[10]提出了亚洲季风和 ENSO 之间存在“选择性相互作用”的概念, Yasunari^[11]以及 Ju 和 Slingo^[12]则发现两者之间能相互调节。Villwock 和 Latif^[13]以及 Tourre 和 White^[14,15]分别分析了印度洋和西太平洋地区的 SST、海洋表层 400 m 中的热贮量以及纬向和经向表面风应力的变化, 证明它们主要表现为 ENSO 的特征, 其变化的主要形式与 ENSO 同相。吴国雄等^[16]在分析赤道中部印度洋和赤道东部太平洋在 1979~1988 年期间的月平均 SST 变化时发现, 两者之间的正相关竟高达+0.76, 远高于 99% 的信度水准 (0.24)。如此显著的同时性遥相关是不可能用海洋内部的过程去解释的, 而必须借助于大气环流的特征及海气相互作用予以解释。本文的目的之一就是揭示上述遥相关的机制, 通过分析亚洲季风纬向环流和 Walker 环流的耦合效应, 揭示印度洋地区季风环流的异常导致 ENSO 事件发生的事实。第 2 节分析赤道印度洋地区 SST 变化的基本特征; 第 3 节分析印度洋和太平洋沿赤道地带纬向变化的相关特征, 证明两者之间以“齿轮组合方式”紧密地耦合在一起; 第 4 节分析 ENSO 事件与上述“印太齿轮式耦合 (GIP)”的联系; 第 5 节证明 80 年代以来的 ENSO 事件均可追溯到印度洋上空的激发作用。若干结论和讨论在第 6 节给出。

本文所用资料为“国际大气模式比较计划 (AMIP)”所提供的 1979 年 1 月至 1992 年 12 月的 SST 资料, 分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$, 欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 所提供的同期 850 hPa 和 200 hPa 的风场格点资料, 以及 NCAR 提供的同期向外长波辐射 (OLR) 格点资料。

2 印度洋—太平洋赤道地区 SST 的变化特征

图 1 给出印度洋沿赤道地区 ($6^\circ\text{S} \sim 6^\circ\text{N}$) 多年平均的 SST 的季节变化。3 条曲线分别代表西部 ($45^\circ \sim 70^\circ\text{E}$), 中部 ($70^\circ \sim 85^\circ\text{E}$), 和东部 ($85^\circ \sim 100^\circ\text{E}$) 区域的演变状况。最高 SST 在各区域均出现在 4 月份; 西部区域在 11 月份出现次高值。最低 SST 在中、西部出现在 8 月份; 在东部出现在 11 月份。SST 的年较差在西部最强, 达 2.5°C ; 在中部次之, 为 1.3°C ; 在东部最弱, 只有 1.0°C 。一般东部 SST 比西部暖和。最大的东西海温差出现在 8 月和 1 月, 各为 1.5 和 0.9°C 。另一个重要特征是西部存在显著的半年波, 其讯号在中部仍可观测到, 在东部已消失。看来, 太阳高度角在赤道上空的半年周期至少不应是 SST 半年波的主要原因。注意到 SST 半年波的最高 (4 月) 和最低 (8 月) 分别对应于与索马里急流相联系的印度洋赤道强西风的建立前期和最盛时期。从 5 月份开始, 70°E 以西的赤道印度洋地区表面向上的潜热通量和感热通量均可达 150 甚至 200 W m^{-2} 以上^[17]。由此推测, 沿赤道西风急流上巨大的感热通量和潜

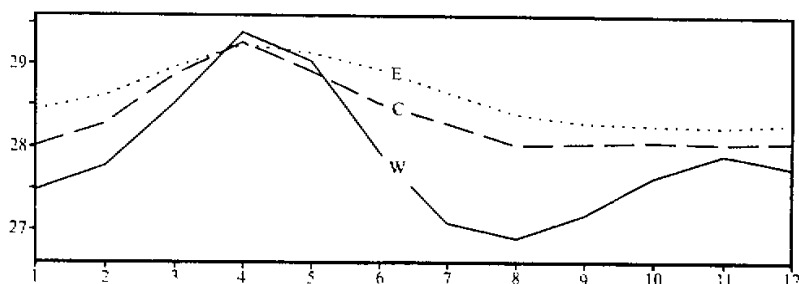


图1 沿赤道(6°S~6°N)印度洋不同区域上, 1980~1992年平均的 SST 的季节变化
单位: °C; W: 西部区域(45~70°E), C: 中部区域(70~85°E), E: 东部区域(85~100°E)

热通量损失是印度洋西部 SST 在 4~8 月急速下降的主要原因。

注意到在图 1 中, 印度洋东西海区中心相距仅有 35°, 而 1 月和 8 月的 SST 差别竟达 1~1.5°C。这一东西向海温梯度虽略低于赤道东太平洋的, 但却比赤道西太平洋的高约一倍。这表明至少在北半球的隆冬和盛夏, 赤道印度洋的纬向平流过程对 SST 的局地变化也是非常重要的。图中各海区从 1 月到 4 月的升温对应着东风应力; 而从 4 月到 8 月的降温对应着西风应力, 正说明了纬向平流过程在印度洋 SST 年际变化中的重要作用。

把每一格点上 12 个月的月均 SST 与其年均值比较可计算该点对该年 SST 的方差; 由多年该方差的平均可计算气候平均年变率 F_A 。由每一格点上的月均 SST 与该月对多年平均 SST 比较可计算该点在该月多年平均的方差; 对 12 个月的方差求平均可计算气候平均年际变率 F_I 。通过分析 $F = F_I / F_A$ 的空间分布, 可以了解 SST 的年际变化和季节变化的相对强弱。其结果由图 2 表示。由图可见, 全球 F 值大于 0.4 的海区基本位于 20°S~20°N 之间的近赤道带。也就是说, 年际讯号较强的区域位于近赤道海区。在厄瓜多尔和哥伦比亚沿岸以及赤道中太平洋 160°E~130°W 区域, $F > 1$, 年际变化讯号超过季节变化。在印度洋季风区, 季节变化占优, 尤其在索马里沿岸和阿拉伯海, 季节变化讯号远超过年际变化。因此, 为集中研究年际变化规律, 在下面的分析中, 季节变化的讯号均予扣除。

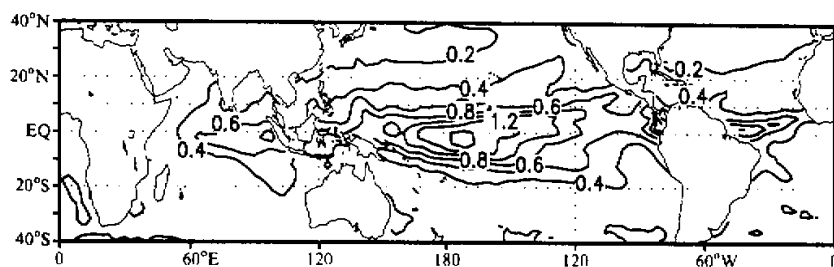


图2 1980~1992年观测到的平均的 SST 的年际变率与季节变率之比

3 赤道印度洋—太平洋的海气系统中的齿轮式组合

图 3 为 1979 年 1 月~1992 年 12 月共 168 个月中赤道东太平洋 ($150^{\circ}\text{W}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 和赤道中印度洋 ($60^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) SST 的年际变化。两海区的 SST 变化出现异常高的正相关, 其相关系数竟高达 +0.52, 远远高于 99% 的信度水准 (+0.20)。由于该两海区之间受马来半岛和印度尼西亚等岛屿所隔, 且海洋中的过程为慢过程, 它们间 SST 异常如此高的同时正相关是不能用海洋内部过程去解释的。一种可能的假设是两海区海温之间的变化通过大气风应力场的密切相关被联接起来。本文的工作就是利用观测资料去检验这一假设。

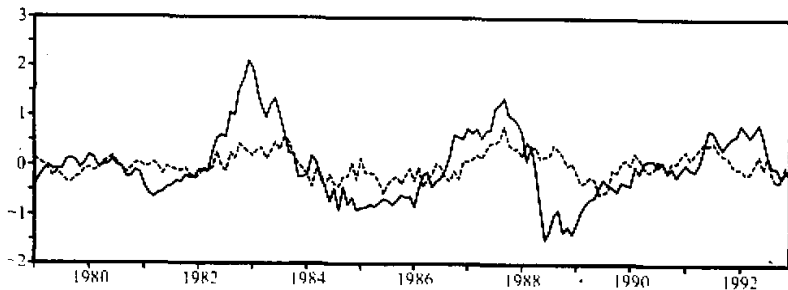


图 3 1979 年 1 月至 1992 年 12 月共 168 个月中赤道东太平洋海区 (实线: $150^{\circ}\text{W}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 和赤道中部印度洋海区 (虚线: $60^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) SST 对气候月平均偏差 (SSTA) 的时间演变。单位为 $^{\circ}\text{C}$

沿赤道的对称环流在太平洋地区以 Walker 环流为主要特征, 在印度洋地区以季风纬向环流为主要特征。Yang 和 Webster^[18]的研究表明, 200 和 850 hPa 高度上的纬向风分量 u 的相对强弱是该两环流的很好的表征。图 4 示出了印度洋地区及中东太平洋地区上空纬向风分量的年际变化。由图可见, 无论是在 200 hPa 还是在 850 hPa, 两地区 u 的年际异常基本都是反号, 负相关系数在上层为 -0.24, 在低层为 -0.44, 均超过了

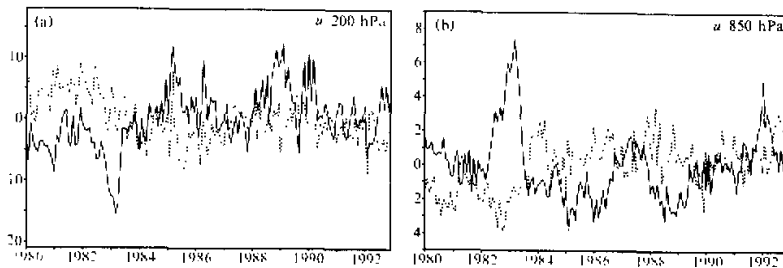


图 4 1980~1992 年沿赤道带 ($2.5^{\circ}\text{S}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$)、印度洋 ($40^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$, 虚线) 及中东太平洋 ($180^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, 实线) 上空 200 hPa (a) 和 850 hPa (b) 高度处, 逐月平均纬向风对该时段相应月份平均纬向风的偏差的时间演变。单位为 m s^{-1}

99%的置信水准 (0.20)。这一结果表明, 当印度洋上季风环流偏弱时, 太平洋上的 Walker 环流偏弱, 反之亦然。据此, 我们可以把 Walker 环流和季风纬向环流想象为啮合在一起的一对“齿轮”; 当一个齿轮作顺时针向转动时, 另一个齿轮则作反时针向转动, 将其简称为“印-太齿轮 (Gearing between the Indian and Pacific Ocean, GIP)”。也就是说, 季风纬向环流的异常可导致 Walker 环流的异常, 而 Walker 环流的异常也可导致季风纬向环流的异常。还由于 Walker 环流的变化与 ENSO 现象紧密相连, 那么, 可以推测, 季风纬向环流的异常与 ENSO 应当是互为因果的。在下面章节中将对此作进一步分析。

4 GIP 与 ENSO 型 SSTA 的联系

对 1979 年 1 月至 1992 年 12 月的月均 SST 资料滤去季节变化, 并进行标准化, 然后进行 EOF 分析, 其第一分量的方差贡献达 28.1%, 其空间型和时间特征向量如图 5 所示。它是一显著的 ENSO 型: 1982~1983、1986~1987 以及 1991~1992 年 3 次 El Niño 事件及 1984~1985 和 1988~1989 年的 La Niña 事件都表现得很清楚。

把图 5b 所示的 ENSO 特征向量与 200 和 850 hPa 上同期的流函数场 ψ 、速度势 χ 以及纬向风 u 求线性回归分析, 可得到与 ENSO 型相关的各物理量场, 其结果由图 6 表示。 χ 和 u 场具有以赤道为准对称的特征, 而 ψ 场则有以赤道为反对称的特征。在赤道中东太平洋的暖 SST 上空, 850 hPa 的一对气旋式环流和 200 hPa 的反气旋式环流横

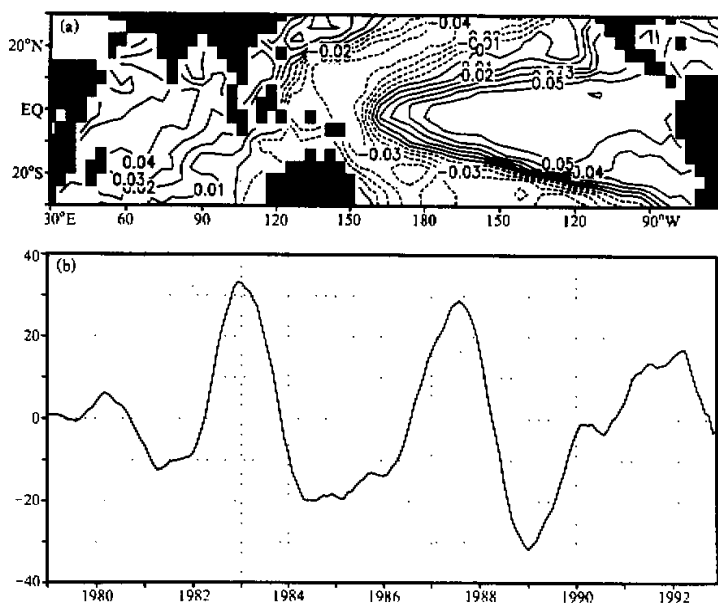


图 5 利用 1979 年 1 月至 1992 年 12 月的月均标准化 SST 资料进行 EOF 分析得到的第一特征向量
(a) 空间型; (b) 时间特征向量

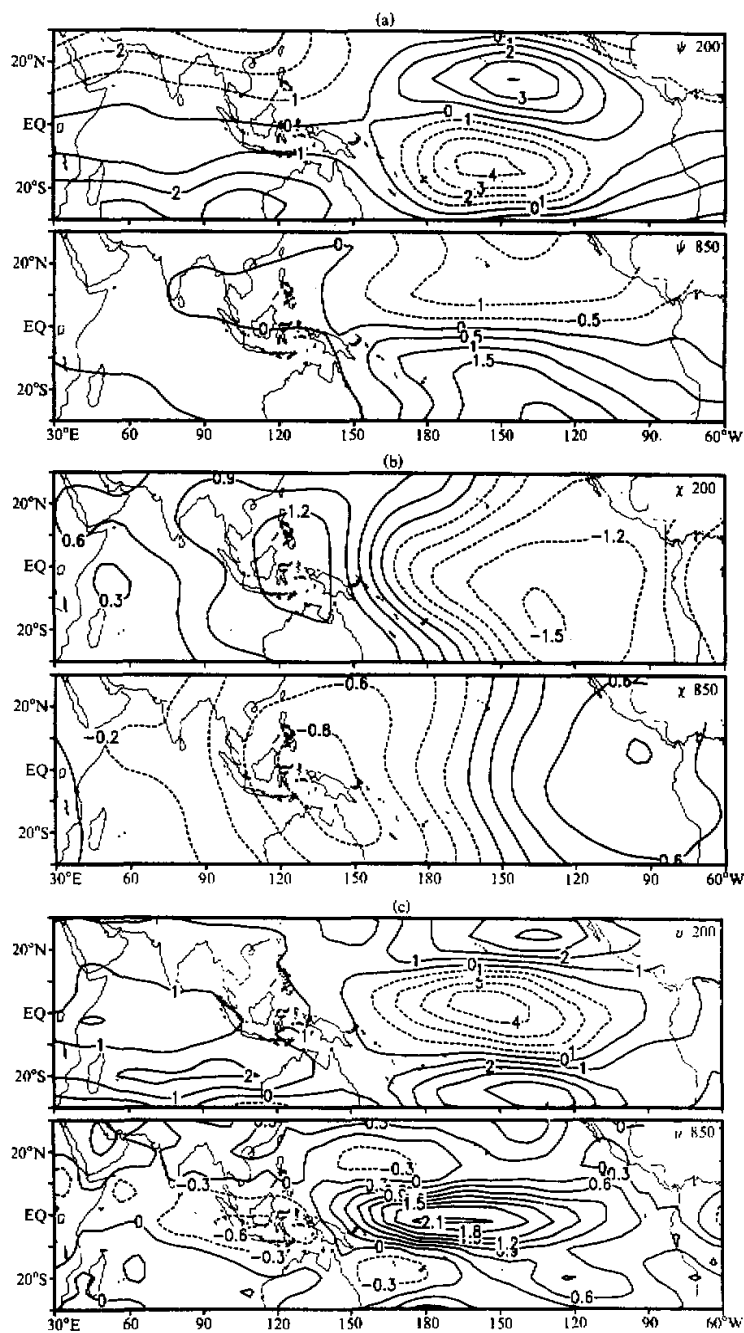


图 6 图 5b 中表征 ENSO 事件的时间特征向量与 200 hPa (上图) 和 850 hPa (下图) 气象要素的回归场分布
(a) 流函数场 ψ , 单位为 $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; (b) 速度位势场 χ , 单位为 $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; (c) 纬向风速 u , 单位为 m s^{-1}

跨赤道两侧(图 6a), 在西太平洋及印度洋(850 hPa 上为印度洋东部)环流性质正相反。在速度势 χ 场上(图 6b), 850 hPa 的低位势中心和 200 hPa 上的高位势中心均位于印尼群岛附近。因此, 在高低空沿赤道的旋转风分量和无旋风分量具有相似的分布。在其共同作用下, 赤道中东太平洋低空为西风异常, 高空为东风异常; 而印度洋和西太平洋低空为东风异常, 高空为西风异常(图 6c)。换言之, 印-太齿轮组转动方向与 ENSO 密切相关。如果我们定义 Walker 环流和季风纬向环流加强的方向为齿轮组的正方向, 则上述的分析表明: El Niño 期间, 齿轮组反向转动; La Niña 期间, 齿轮组正向转动。

图 7 为向外长波辐射的相应的回归场分布。它表明, 在 El Niño 期间, 印尼群岛附近的对流显著减弱(OLR 增加 9 W m^{-2} 以上); 赤道中东太平洋对流加强, 尤其在 170°W 附近对流增加明显(OLR 降低达 15 W m^{-2} 以上); 印度洋地区的对流也有所加强。因此可确定, 齿轮组的啮合点位于印尼群岛附近。

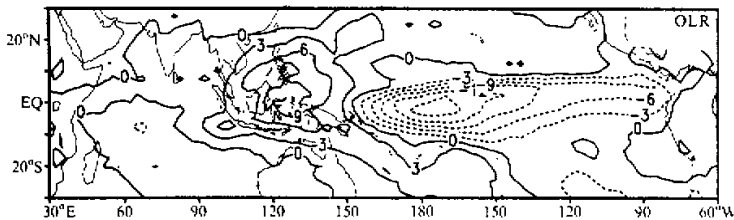


图 7 图 5b 中表征 ENSO 事件的时间特征向量与向外长波辐射 OLR 的回归场的分布
单位为 W m^{-2}

5 来自印度洋的 ENSO 触发机制

图 8 中给出了沿赤道带 ($2.2^\circ\text{S} \sim 2.2^\circ\text{N}$) SST、850 hPa 和 200 hPa 纬向风、以及向外长波辐射等异常量在 1980~1992 年期间的演变。从 SST 的演变(图 8a)可以清楚地看到 1982~1983、1986~1987、以及 1991~1992 年的 3 次 El Niño 事件和 1984~1985 以及 1988~1989 年的两次 La Niña 事件。它们与图 5 的结果完全吻合。从图 8a 也可以看出赤道中东太平洋的 SST 异常与印度洋的基本同号。此外, 尽管早期征兆可追溯到西太平洋, 但 ENSO 事件基本上是中东太平洋中的现象。由于中印半岛及印尼群岛的阻隔, 没有发现 SST 异常从印度洋向太平洋传播而激发 ENSO 的迹象。

然而, 沿赤道的高低空异常纬向风的情况则与 SST 的状况不同。从图 8b 和图 8c 可以看到图 6、7 所揭示的在 ENSO 事件期间的 GIP 现象, 即 Walker 环流和季风环流同时增强或减弱。除此以外, 还可清楚地看出:

(1) 在 1980~1992 年, 与每次 ENSO 事件相伴随的中东太平洋低空纬向风的异常均可追溯到印度洋的源地。即高低空反号的纬向风异常首先出现在印度洋, 然后向东传播进入太平洋, 强度增大, 并伴有 SST 异常发生。

(2) 由于 0 风速线表征着 GIP 的啮合点, 图 8b 和图 8c 表明, 每次 ENSO 事件

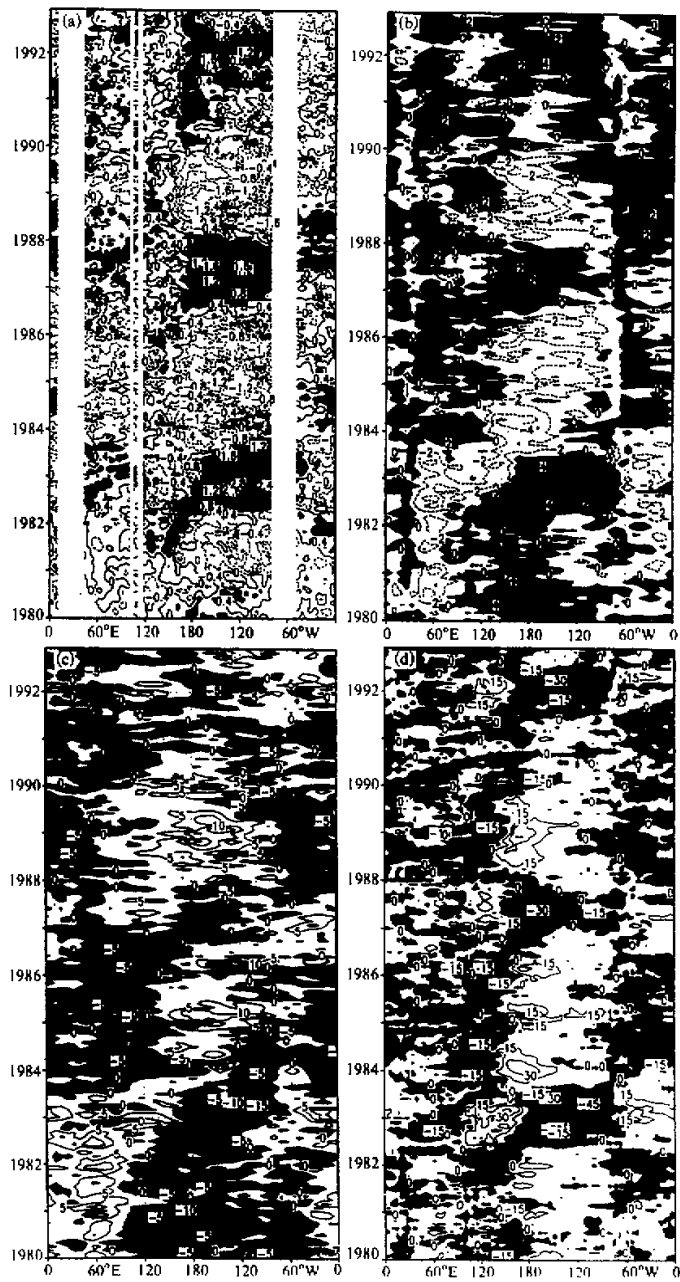


图 8 1980~1992 年期间沿赤道 ($2.2^{\circ}\text{S}\sim 2.2^{\circ}\text{N}$) 要素场年际异常随时间的演变
 (a) SST ($^{\circ}\text{C}$); (b) 850 hPa 纬向风 (m s^{-1}); (c) 200 hPa 纬向风 (m s^{-1});
 (d) 向外长波辐射 OLR (W m^{-2})

中 GIP 的啮合首先出现在印度洋, 然后向东传播。在此期间, 季风环流圈扩大, Walker 环流圈缩小。

(3) 与此期间 3 次 El Niño 事件相伴随, OLR 的负异常也首先出现在印度洋上空, 然后向东传播 (图 8d)。其中心一般位于 GIP 的啮合和 SSTa 之间: 其西部为反向 GIP 的啮合点, 东部为正的 SSTa。换言之, 对流的加强出现在 850 hPa 异常西风区中。

以 1982~1983 年的 El Niño 事件为例 (图 9)。1981 年冬天, 在印度上空出现弱小的反向齿轮组 (图 9a), 其东部低空的西风和 OLR 异常已进入西部太平洋, 在那里出现小范围的弱的正 SST 异常。到 1982 年初 (图 9b), 异常季风环流圈已扩展到整个印度洋, 啮合点位于 120°E 附近; 正 SST 异常也东扩到日期变更线附近。到 1982 年夏天 (图 9c), 异常季风环流圈继续东扩, GIP 的啮合点已位于西太平洋; 整个赤道东太平洋已出现很强的正 SST, El Niño 已进入强盛阶段。由此看来, ENSO 事件的起始扰动可以是源于印度洋上空的纬向风异常。

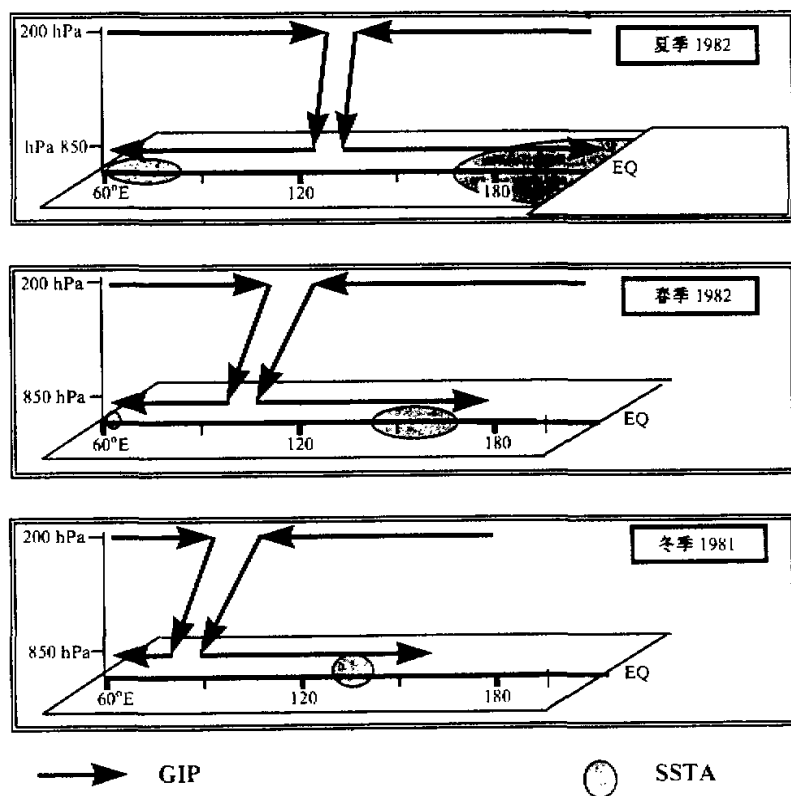


图 9 1982~1983 年 El Niño 期间及其前期异常风“齿轮啮合现象”从印度洋向太平洋传播及与 SST 异常配置的示意图

6 讨论和结论

通过对观测资料的分析发现, 赤道印度洋 SST 在西南季风强盛期(4~8月)的下降, 在东北季风强盛期(12~4月)的上升, 以及中西部 SST 半年波的存在与沿赤道东西向 SST 差异较大、风应力作用较强有关。证明赤道中东太平洋和赤道中部印度洋的 SST 之间显著的正相关是由于在太平洋上空的 Walker 环流和印度洋上空的季风环流存在齿轮式的强耦合造成的。当这种太平洋-印度洋齿轮耦合为正向时, Walker 环流和季风纬向环流场均加强, 东太平洋和印度洋 SST 为负异常。反之, 当 GIP 为反向时, Walker 环流和季风环流均减弱, 东太平洋和印度洋 SST 为正异常。

通过对 ENSO 型 SST 的时间特征向量与高低空流场、速度势场、纬向风场以及 OLR 同时相关特征进行分析, 我们发现 ENSO 与 GIP 有很紧密的联系: El Niño 对应着反向的 GIP, 而 La Niña 对应着正向的 GIP, GIP 的啮合点位于印尼群岛附近。

通过对 1980~1992 年沿赤道 SST 及 850 hPa 和 200 hPa 纬向风时间演变的分析表明, 尽管与 ENSO 相联系的 SST 异常主要是太平洋现象, 但与之相联系的沿赤道异常大气环流却显著的源于印度洋地区。GIP 的啮合点首先出现在印度洋, 然后逐渐向东传入太平洋。与之对应这时赤道太平洋 SST 出现异常, 并随着 GIP 的东传, SST 异常也向东扩展并发展成 ENSO 事件。换言之, 从大气环流的角度来说, 印度洋地区季风环流的异常可能是 ENSO 事件形成的一种触发机制。在本研究的第 II 部分, 我们将通过使用耦合气候模式对这一结论进行检验。

参 考 文 献

- 1 Bjerkness, J., 1969, Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163~172.
- 2 Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, 1982, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation / El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354~384.
- 3 Philander, S. G. H., 1990, *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*, Academic, San Diego, Calif., 287pp.
- 4 巢纪平, 1993, 厄尔尼诺和南方涛动动力学, 北京: 气象出版社, 309pp.
- 5 McCreary, J. P. and D. L. T. Anderson, 1991, An overview of coupled ocean-atmosphere models of El Niño and the Southern Oscillation, *J. Geophys. Res.*, **96**, supplement, 3125~3150.
- 6 Neelin, J. D. et al., 1992, Tropical air-sea interaction in general circulation models, *Climate Dynamics*, **7**, 73~104.
- 7 Walker, G. T. and E. W. Bliss, 1932, World Weather, V, *Mem. R. Meteor. Soc.*, **4**, 53~84.
- 8 Barnett, T. P., 1983, Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales. Part I: the equatorial zone, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 756~773.
- 9 Meehl, G. A., 1987, The annual cycle and interannual variability in the tropical Indian and Pacific Ocean regions, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 27~50.
- 10 Webster, P. T. and S. Yang, 1992, Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **118**, 877~926.
- 11 Yasunari, T., 1990, Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere / ocean system in the tropical Pacific, *Meteor. Atmos. Phys.*, **44**, 29~41.
- 12 Ju, J. and J. M. Slingo, 1995, The Asian summer monsoon and ENSO, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **121**, 1133~1168.

- 13 Villwock, A. and M. Latif, 1994, Indian Ocean response to ENSO, International Conf. on Monsoon Variability and Prediction. Vol. II, WCRP-84. Geneva, Switzerland. 530~537.
- 14 Tourre, Y. M. and W. B. White, 1995, ENSO signals in global upper-ocean temperature, *J. Phys. Oceanogr.*, **25**, 1317~1332.
- 15 Tourre, Y. M. and W. B. White, 1997, Evolution of the ENSO signal over the Indo-Pacific domain, *J. Phys. Oceanogr.*, **27**, 683~696.
- 16 吴国雄、孙凤英、王晓春, 1995, 降水对热带海表温度异常的邻域响应, II. 资料分析, *大气科学*, **19**(6), 663~676.
- 17 Wu Guoxiong and Zhang Yongsheng, 1998, Tibetan Plateau forcing and the Asian monsoon onset over south Asia and Southern China Sea, *Mon. Wea. Rev.*, **126**(4), 913~927.
- 18 Webster P. J. and Yang Song, 1992, Monsoon and ENSO, *Selectively interactive systems*, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **118**, 877~926.

Gearing between the Indo-monsoon Circulation and the Pacific-Walker Circulation and the ENSO. Part I: Data Analyses

Wu Guoxiong and Meng Wen

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Observation data were employed to study the seasonal variation of the sea surface temperature (SST) of the Indian Ocean. It is shown that there exists significant positive correlation in SST anomalies between the equatorial Indian Ocean and the eastern equatorial Pacific Ocean; and such significant correlation is associated with the strong coupling between the monsoonal zonal circulation over the equatorial Indian Ocean and the Walker circulation over the Pacific Ocean. The coupling of these two circulation cells works in a way much like a pair of gear operating over the equatorial Indian and Pacific, which is denoted as "GIP". ENSO events are shown to be closely linked to this GIP: a "positive" rotating of the GIP corresponds to a cold ENSO event; whereas its reversed rotating corresponds to warm ENSO events; and the "gearing point" of the two cells is located by the Indonesia archipelagoes. The evolutions of the ENSO events after 1980 are analyzed. It is shown that for each of these events the "gearing point" of the GIP appears firstly over the equatorial Indian Ocean. It then propagates eastward into the western Pacific, resulting in the appearance of the anomalies in the equatorial zonal wind and SST to the east of the gearing point. When the gearing point propagates further eastward, and the associated anomalous SST and u at 850 hPa approaches the dateline, ENSO event over the equatorial eastern Pacific occurs. It is therefore concluded that the anomalies in the monsoonal zonal flow over the Indian Ocean can affect the air-sea interaction over the central and eastern equatorial Pacific by the virtue of the GIP and may trigger off the occurrence of ENSO events.

Key words anomalous Walker circulation anomalous zonal monsoon circulation gearing of circulation