

热带低层大气 30~60 天低频动能的 年际变化与 ENSO 循环*

龙振夏 李崇银

(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 100029)

摘要 利用 NCEP 再分析资料, 通过统计相关及合成分析研究了热带大气季节内振荡 (ISO) 的年际变化与 ENSO 循环之间的关系。结果表明, 热带大气季节内振荡 (也称 30~60 天低频振荡) 的年际变化在热带中西太平洋地区最强。在 El Niño 成熟之前的春夏季, 热带西太平洋的 30~60 天振荡异常活跃, 其动能明显增加且逐渐东移; 在 El Niño 成熟以后, 热带西太平洋大气 30~60 天低频振荡迅速减弱。与这种加强的 30~60 天振荡相伴, 在赤道北侧为异常的气旋式环流, 赤道地区出现偏西风异常。相反, 在 La Niña 成熟之前的春夏季, 热带西太平洋大气 30~60 天振荡偏弱。进一步的分析还发现, 东亚冬季风的年际变化是引起热带大气 30~60 天振荡的年际变化的主要机制: 强东亚冬季风导致热带西太平洋积云对流加强, 从而引起热带西太平洋大气 30~60 天振荡加强; 相反, 对应于弱的东亚冬季风, 热带西太平洋地区积云对流偏弱, 大气 30~60 天振荡偏弱。作者的资料分析证实, 热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化, 作为一种外强迫, 对 El Niño 的形成起着十分重要的作用。

关键词: 30~60天低频振荡; 东亚季风; ENSO; 西风异常

1 引言

热带大气季节内振荡 (ISO, 也称 30~60 天低频振荡) 是热带大气在季节内时间尺度上的主要变化特征。自从 20 世纪 70 年代初 Madden 和 Julian 利用坎顿岛的纬向风资料首先发现了这种季节内时间尺度的振荡以来^[1], 科学家们对 ISO 的时空结构进行了大量的观测研究。已有的观测研究表明, 赤道地区大气 ISO 主要表现为向东传播的一波特征, 在垂直方向呈现斜压结构特点, 其水平传播速度在东半球大约为 6 m s^{-1} , 在西半球则超过 12 m s^{-1} ^[2]。

热带大气 30~60 天低频振荡的形成机制已有几种不同的解释, 比较著名的理论是 Wave-CISK 机制: 积云对流加热反馈使得热带大气中的 Kelvin 波减速而成为低频波 (CISK-Kelvin 波)^[3~6]。其后, 李崇银还提出了 CISK-Rossby 理论来解释热带大气 30~60 天低频振荡的西传^[7]。同时, 也有人提出大气 ISO 的蒸发-风反馈机制, 认为在偏东风盛行的地区, 积云对流在其东侧低层诱导偏东风异常, 在西侧低层则为偏西风异常。因此, 积云对流的东侧风速加强, 西侧风速减弱, 这样积云对流东侧表面潜热通量

2000-06-12 收到, 2000-10-17 收到再改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040903-2, 国家攀登计划 A“南海季风试验研究”及中国科学院大气物理研究所创新面上基金 8-1303 共同资助

增加, 从而导致垂直速度增加, 诱导出不稳定东传的波动^[8,9]。但是, 进一步的研究表明, 单独的蒸发-风反馈不能激发热带大气 ISO, 必须与积云对流加热反馈相结合^[10]。从上面的讨论可以看出, ISO 的形成与热带地区的积云对流有着十分密切的关系。

热带大气 ISO 对全球其他地区的大气环流与气候有着重要的影响^[11-13], 其对 El Niño 的影响也有了初步的研究^[14]。虽然 ENSO 循环和热带大气 30~60 天低频振荡在时间尺度上具有很大的差异, 前者为年际时间尺度的变化, 而后者则属于季节内时间尺度的范围, 但是, 一些研究表明, 与这两种时间尺度相联系的异常对流活动和环流在空间分布上有很大的相似性^[15,16], 因此, 人们猜测热带大气 30~60 天低频振荡可能与 El Niño 存在某种内在的联系^[17,18]。同时, 观测资料的分析还表明, 在 El Niño 发生之前热带大气的 ISO 异常活跃, 而在 El Niño 期间, ISO 则相对偏弱, 热带大气 ISO 的这种年际变化, 作为一种外部强迫, 可能是 ENSO 循环的非周期性的重要原因^[19]。ISO 与 ENSO 循环之间的关系目前还是一个很有争议的问题, 还需要做进一步的深入讨论。例如, 有的海气耦合模式在改善了 ISO 模拟以后, ENSO 的模拟也得到了很大的改进, 但也有一些海气模式在引入了 ISO 以后, ENSO 的模拟则没有改进, 因此大气 ISO 与 ENSO 循环之间的关系还存在着不确定性。有关 ISO 与 ENSO 循环之间关系的机制, 除了上述观点以外, 也有研究认为, 由于 ISO 与环流场在大尺度上的相互作用^[20-23], 激发出海洋的 Kelvin 波, 从而导致了 ENSO 的发生^[24]。本文将从资料分析出发, 进一步讨论热带大气 ISO 的年际变化与 ENSO 循环之间的关系, 以加深我们对两者关系的进一步了解。

本文在讨论热带大气 30~60 天低频振荡时主要利用 NCEP 的 40 年 (1958~1997 年) 再分析逐日 850 hPa 风场资料 (水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$), 另外, 在分析时我们还利用了英国 Hadley 中心的月平均 SST (水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 及美国月平均 OLR 资料。

2 热带大气低频动能的年际变化

本文同我们已有的研究相一致, 利用低频动能来描述热带大气低频振荡的活动。首先我们将逐日 850 hPa 风场 (u, v) 进行 30~60 天带通滤波, 得到 30~60 天低频风场 (u_b, v_b), 然后计算低频动能 $K = (u_b^2 + v_b^2) / 2$ 。本文中我们将主要对 K 进行统计分析, 研究热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化与 ENSO 循环之间的关系。

在低频动能的气候平均图上, 在热带印度洋为一纬向带状大值中心, 从冬到夏由南印度洋向北印度洋移动, 且其位置与气候的纬向偏西风的位置相一致 (图略)。但是, 热带大气的低频动能的年际变化最强的区域则主要集中在热带太平洋地区。图 1 给出了热带大气标准化低频动能的标准差 (近似代表热带大气低频动能的年际变化) 的分布, 其中阴影部分代表标准差大于 0.9 的区域, 从图中可以看出, 尽管在印度洋地区有零星的大于 0.9 的区域, 但大于 0.9 的区域则主要位于赤道中西太平洋, 这与热带大气的低频动能的气候分布有着明显的不同。因此, 热带中西太平洋地区可能在热带大气低频振荡的年际变化中起着十分重要的作用。

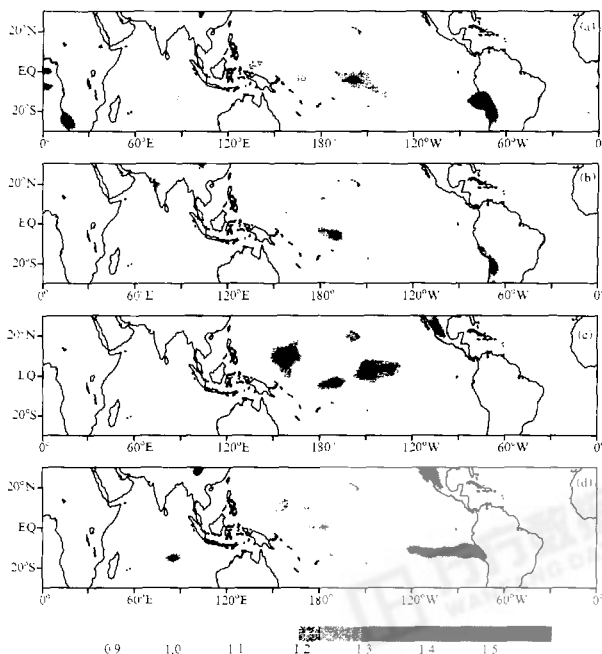


图1 热带大气标准化低频动能的标准差的分布 (阴影: 标准差大于0.9的区域)
(a) 12~2月; (b) 3~5月; (c) 6~8月; (d) 9~11月

3 热带大气低频动能的年际变化与 ENSO 循环的关系

我们选择 Niño 3.4 区域的 SSTA 来描述 ENSO 循环。因为 El Niño 的最强时间在 11 月左右, 因此我们首先计算 10~12 月平均的 Niño 3.4 区域的 SSTA。这样就得到具有 40 个样本的 SSTA 时间序列, 然后以此时序与全球低频动能计算相关; 图 2 中的阴影部分给出相关性系数显著性超过 99% 的区域。同时, 为了更清楚地显示低频动能与 El Niño 之间的关系, 我们选择 1965~1966, 1972~1973, 1982~1983, 1986~1987, 1997~1998 年 5 个 El Niño 事件, 对低频动能进行了合成分析 (本文的合成图均取这几个 El Niño 事件), 如图 2 中的等值线所示。从图 2 可以看出, 在 El Niño 成熟之前的冬季 (12~2 月), 在印度尼西亚至菲律宾以东的热带西太平洋地区存在低频动能正距平区 (图 2a); 到了春季 (3~5 月), 正距平中心加强东移 (图 2b), 夏季 (6

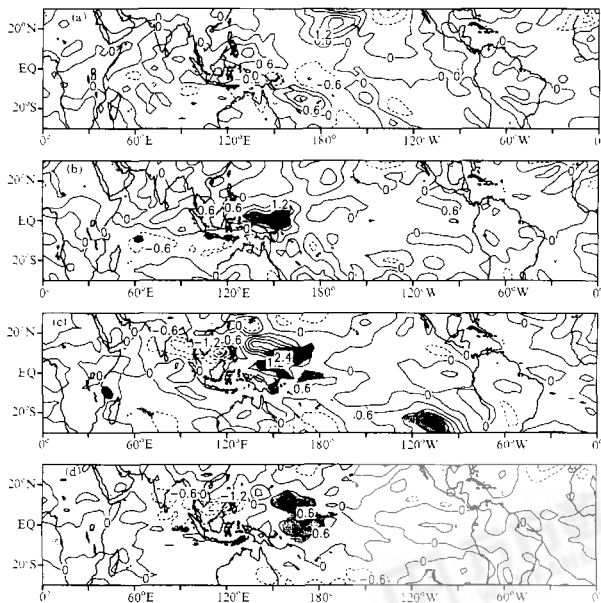


图2 低频动能及相关系数的分布

等值线: El Niño 低频动能合成距平, 间距: $0.6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$;

阴影: 低频动能与其后10~12月份Niño 3.4区域SSTA的相关系数显著性超过99%的区域

(a) 12~2月; (b) 3~5月; (c) 6~8月; (d) 9~11月

~8月)进一步加强东移(图2c), 当到了秋季(9~11月), El Niño已基本形成, 此时尽管正距平中心继续东移, 但其强度已明显减弱(图2d); 而El Niño成熟以后, 热带西太平洋地区表现为弱的负距平(图略)。

从相关系数的分布可以看出, 在El Niño成熟之前的冬季, 低频动能与SSTA的相关显著性较差, 而在El Niño成熟之前春夏季相关较为明显, 且相关区随低频动能的正距平中心逐渐东移, 当El Niño成熟之后, 相关明显减弱。这些结果显示, 春夏季热带西太平洋30~60天低频振荡可能在El Niño的形成中起着重要的作用。图3a给出了Niño 3.4区域10~12月平均SSTA与其前期5~9月份低频动能的相关系数的分布, 其中阴影区域为显著性超过99%的区域, 从图中相关系数的分布可以看出, 在El Niño成熟之前赤道西太平洋地区的低频动能明显偏强, 反之, 在La Niña成熟之前, 赤道西太平洋地区的低频动能明显偏弱。图3b给出了Niño 3.4区域10~12月份SSTA与其前期5~9月份赤道西太平洋地区低频动能随时间的演变。Niño 3.4区域10~12月份

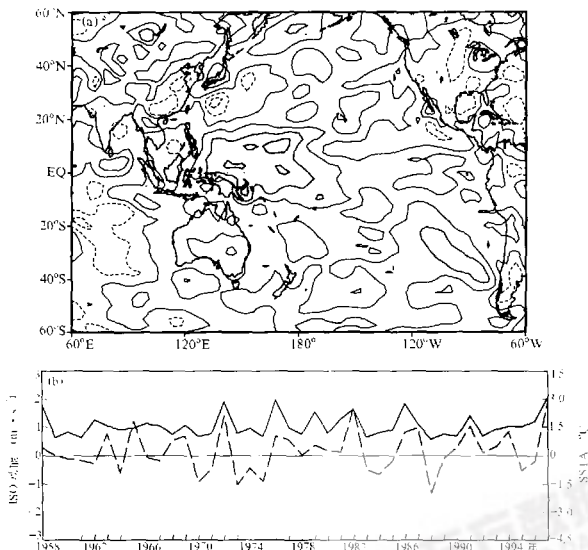


图3 (a) Niño 3.4 区域 10~12 月平均 SSTA 与其前期 5~9 月份大气低频动能的相关系数的分布 (阴影: 显著性超过 99% 的区域, 间距: 0.2); (b) Niño 3.4 区域 10~12 月平均 SSTA (虚线) 与其前期 5~9 月份赤道西太平洋地区 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 低频动能 (实线) 随时间的演变

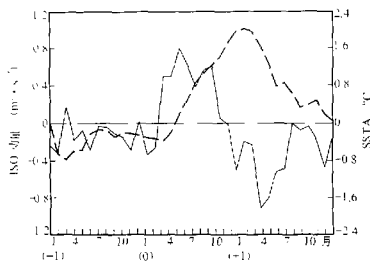


图4 Niño 3.4 区域 SSTA (虚线) 与赤道西太平洋 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 30~60 天低频动能 (实线) 的合成演变

SSTA 与其前期 5~9 月份赤道西太平洋地区低频动能表现出明显的正相关关系, 其相关系数为 0.959, 表明 ENSO 循环与前期赤道西太平洋地区的低频动能有明显的正相关关系。

为了更进一步说明赤道西太平洋大气 30~60 天低频动能与 El Niño 的关系, 图 4 给出了 Niño 3.4 区域 SSTA 与赤道西太平洋大气 30~60 天低频动能的合成演变图, 其中横坐标的 (-1)、(0) 和 (+1) 分别表示 El Niño 爆发的前一年、当年和后一年; 图中虚线所示的 Niño 3.4 区域 SSTA 清楚地反映了 El Niño 的过程; 而与图中实线所示赤道西太平洋大气

ISO 动能的演变相比较可以清楚地看出, 在 El Niño 成熟之前的春夏季, 赤道中西太平洋地区低频动能出现明显正异常, 当 El Niño 成熟以后, 低频动能明显减弱。李崇银曾经利用欧洲中心的资料分析了 20 世纪 80 年代 El Niño 与热带大气 30~60 天低频振荡之间的关系, 也得出了与本文相似的结论^[14]。因此, 我们确信, 热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化与 ENSO 循环之间确实存在着显著的相关关系。

4 东亚冬季风异常与热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化

李崇银的研究表明, 东亚冬季风是激发产生 El Niño 的重要机制^[23], 其中一个重要的物理过程就是所激发的强大气 ISO 的活动。从前面的讨论也可以看出, ENSO 循环与春夏季热带西太平洋大气 30~60 天低频振荡有比较好的相关关系, 因此, 东亚冬季风的年际变化可能与其后的热带西太平洋大气 30~60 天低频振荡有一定的联系, 本节我们将对此进行讨论。

已有的研究表明, 如果冬季东亚地区的冷空气活动偏强, 赤道西太平洋地区的积云对流也将加强^[24,25]。从热带大气 30~60 天低频振荡的产生机制可以推测, 这种加强的积云对流会激发强的大气 30~60 天低频振荡。图 5a 给出了冬季风指数[定义为 11~4

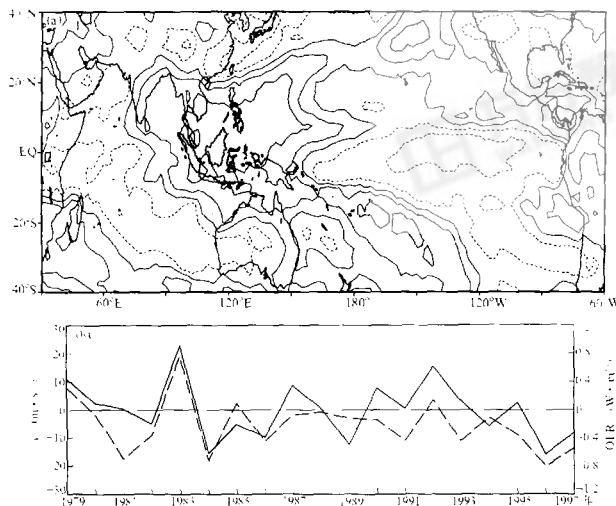


图 5 (a) 异常冬季风指数与同期 OLR 的相关系数的分布 (阴影: 显著性超过 99% 的区域, 间距: 0.3);
(b) 异常冬季风指数 (虚线) 与同期西太平洋地区 (10°S~15°N, 100~140°E) OLR 距平 (实线) 的时间演变

月份 850 hPa 经向风在 (120~150°E, 20~35°N) 地区的平均]与同期 OLR 的相关系数的分布, 其中阴影部分为显著性超过 99% 的区域。从图中可以看出, 如果冬季风偏强, 赤道西太平洋地区积云对流也偏强, 反之, 如果冬季风偏弱, 则赤道西太平洋积云对流也偏弱。图 5b 给出了冬季风指数与同期西太平洋地区 OLR 距平的时间演变, 可以看出, 冬季风指数与赤道西太平洋 OLR 距平存在较好的正相关 (相关系数超过 0.9), 从而进一步证实了东亚冬季风对赤道西太平洋积云对流的激发作用。

为了进一步证实东亚冬季风的年际变化对赤道中西太平洋低频动能的年际变化的影响, 图 6 给出了冬季风指数与赤道西太平洋地区大气 30~60 天低频动能距平的时间演变。从图中可以清楚地看出, 冬季风指数与西太平洋地区大气 30~60 天低频动能距平为负相关, 而后者略滞后于前者, 如果冬季风偏强, 其后赤道中西太平洋大气 30~60 天低频振荡偏强, 反之亦然。

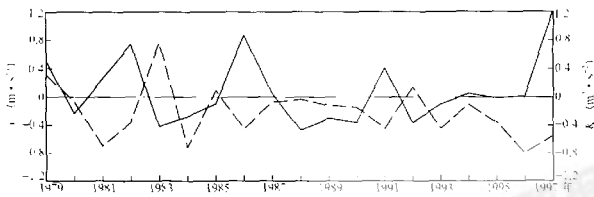


图 6 异常冬季风指数 (虚线) 与同期西太平洋地区 (10°S~10°N, 130~180°E) 低频动能距平 (实线) 的时间演变

因此, 从这一节的讨论可以看出, 东亚冬季风通过热带西太平洋积云对流活动而激发大气 30~60 天低频振荡, 并通过大气 30~60 天低频振荡与环境场的相互作用, 使其影响可以持续相当长的时间, 这一点也与已有的资料分析结果基本一致^[26]。

5 热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化影响 El Niño 机制的初步探讨

ENSO 是热带海-气耦合相互作用的产物, 研究 ENSO 循环机制的关键是要解释它的非周期性。为了从动力学上解释这种非周期性, 李崇银利用简单海气耦合模式研究了外强迫的年际变化对 ENSO 循环的影响, 结果表明, 在没有外强迫情况下, 海-气耦合模表现为严格的周期变化, 如果引入了年际变化外强迫, 则海-气耦合模表现为类似 ENSO 循环的准周期变化^[19]。从前面的讨论可以看出, 赤道西太平洋大气 30~60 天低频振荡的强度具有较明显的年际变化, 且这种年际变化与 ENSO 循环有较明显的相关关系: 在 El Niño 发生之前的春夏季, 赤道中西太平洋大气的 30~60 天低频振荡异常偏强, 当 El Niño 成熟以后, 赤道中西太平洋大气的 30~60 天低频振荡明显减弱, 相反, 在 La Niña 成熟之前, 赤道中西太平洋大气的 30~60 天低频振荡明显偏弱。因

此, 我们认为大气 30~60 天低频振荡的年际变化可能对 ENSO 循环起着十分重要的作用。

另一方面, 从热带大气 30~60 天低频振荡的产生机制可以看出, 积云对流(湿过程)与热带大气 30~60 天低频振荡是相互作用的。如果积云对流偏强, 热带大气 30~60 天低频振荡偏强, 这种异常 30~60 天低频振荡对周围的大气环流有正反馈作用, 从而导致积云对流的进一步加强。这种强的积云对流会引起赤道西风异常, 同时, 伴随低

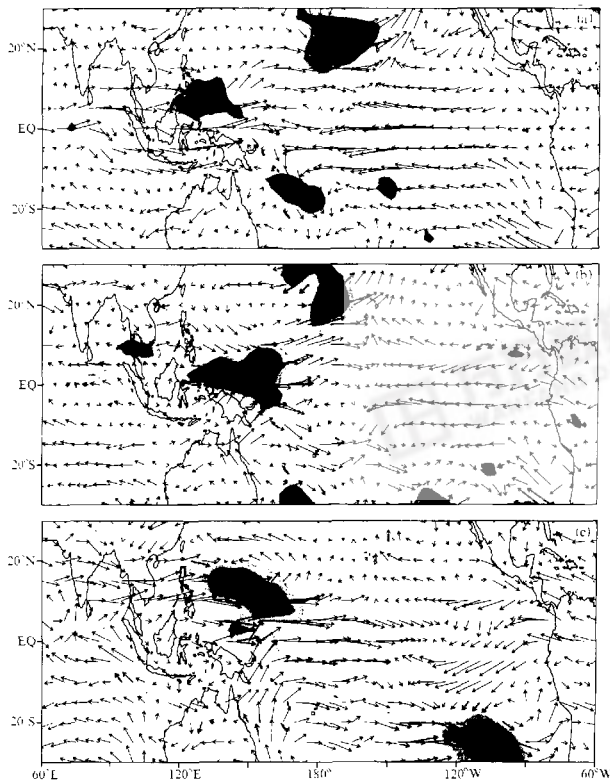


图 7 El Niño 期间 850 hPa 纬向风异常与同期低频动能距平的合成图
(阴影: 同期低频动能距平大于 $0.6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 的区域, 间距: $0.3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$)
(a) 12~2 月; (b) 3~5 月; (c) 6~8 月

频动能正距平中心的东移, 西太平洋积云对流中心也会东移, 从而导致了 Walker 环流的减弱, 加速了 El Niño 的形成。为了证明这一点, 图 7 给出了 850 hPa 纬向风异常与低频动能距平的合成图。其中阴影部分为低频动能距平大于 $0.6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 的区域。从图中可以看出, 较大的低频动能正距平在冬季首先出现在热带西太平洋地区, 随后逐渐加强并缓慢沿赤道东移; 与赤道西太平洋低频动能距平中心相对应, 在赤道北侧出现了异常的气旋式环流, 赤道地区有西风异常。随着低频动能正距平中心的加强和东移, 异常的气旋环流逐渐加强东移, 赤道西风异常也进一步加强并向东扩展。

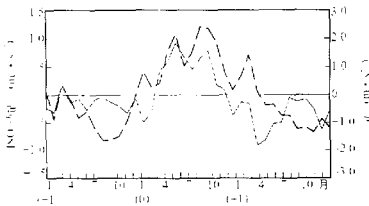


图 8 赤道西太平洋地区 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130\sim 180^{\circ}\text{E}$) 异常纬向风 (虚线) 与低频动能距平 (实线) 随时间演变的合成图

图 8 给出了赤道西太平洋地区纬向风及低频动能距平随时间演变的合成图, 其中横坐标的 (-1)、(0) 和 (+1) 分别表示 El Niño 爆发的前一年, 当年和后一年; 实线和虚线分别是大气 ISO 动能和纬向风距平。从图中可以清楚地看出, 在 El Niño 成熟之前的春夏季, 赤道西太平洋大气低频动能增加, 赤道地区有西风异常, 当赤道西太平洋大气低频动能减弱时, 西风异常也随之减弱。因此, 热带大气 30~60

天低频振荡通过与周围环境场的相互作用, 尤其是纬向风异常, 可能对 El Niño 的形成起着一定的作用。

基于上面的讨论, 我们初步认为, 热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化作为一种外强迫, 可能在 El Niño 的形成过程中起着十分重要的作用; 热带大气 30~60 天低频振荡与周围环境的相互作用使赤道西太平洋地区的西风异常得以维持, 加强并向东扩展, 从而对 El Niño 的形成有重要作用。

6 结论

我们通过资料分析研究了热带大气 30~60 天低频振荡与 ENSO 之间的关系, 结果表明:

(1) 赤道西太平洋大气 30~60 天低频振荡与 ENSO 循环有较好的相关关系。在 El Niño 成熟之前, 赤道西太平洋出现大气低频动能正距平, 大气 ISO 异常强, 且缓慢东移; 反之, 在 La Niña 成熟之前, 赤道西太平洋大气 30~60 天低频振荡偏弱。

(2) 东亚冬季风年际变化是造成赤道西太平洋大气 30~60 天低频振荡年际变化的重要原因。强东亚冬季风导致赤道西太平洋积云对流加强, 从而激发强大气 30~60 天低频振荡; 反之, 如果东亚冬季风偏弱, 则赤道西太平洋积云对流和大气 30~60 天低频振荡偏弱。

(3) 对应于赤道西太平洋强的 30~60 天低频振荡, 在该地区赤道以北出现异常的气旋式环流, 赤道地区有西风异常, 随着大气低频动能正距平中心的加强东移, 赤道西太平洋的西风异常也加强并向东扩展。

(4) 由于赤道西太平洋大气 30~60 天低频振荡与周围环境场的循环作用, 东亚冬季风对热带大气环流的影响可以持续较长的时间。

(5) 从讨论中还可以看出热带大气 30~60 天低频振荡的年际变化在 El Niño 的形成中可能起着十分重要的作用, 除了已有结果之外, 东亚冬季风异常导致热带大气 30~60 天低频振荡的异常, 而异常的大气 30~60 天低频振荡通过与环境(尤其是纬向风)的相互作用也对 El Niño 的形成有重要作用。

本文给出的只是资料分析的结果, 还需要从动力学上深入研究, 才能得到完满的认识。

参 考 文 献

- 1 Madden, R. A. and P. R. Julian, Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28**, 702~708.
- 2 Madden, R. A. and P. R. Julian, Observations of the 40~50-day tropical oscillation: A review, *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **112**, 814~837.
- 3 李崇银, 南亚季风槽和热带气旋活动与移动性CISK波, *中国科学*, 1985, **13**, 668~675.
- 4 Lau, K.-M. and L. Peng, Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere. Part I: Basic theory, *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**, 950~972.
- 5 Chang, C. P. and H. Lim, Kelvin wave-CISK: A possible mechanism for the 30~50 day oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 1709~1720.
- 6 Hendon, H. H., A simple model of the 40~50 day oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 569~584.
- 7 李崇银, 大气低频振荡(修订本), 北京: 气象出版社, 1993.
- 8 Emanuel, K. A., An air-sea interaction mode of intraseasonal oscillation in the Tropics, *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**, 2324~2340.
- 9 Neelin, J. D., I. M. Held and K. H. Cook, Evaporation-wind feedback and low-frequency variability in the tropical atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**, 2341~2348.
- 10 李崇银, 蒸发-反馈机制的进一步研究, *热带气象学报*, 1996, **12**, 193~199.
- 11 Lau, K.-M. and T. J. Phillips, Coherent fluctuations of extratropical geopotential height and tropical convection in intraseasonal time scales, *J. Atmos. Sci.*, 1986, **43**, 1164~1181.
- 12 Ferranti, L., T. N. Palmer et al., Tropical-extratropical interaction associated with the 30-60 day oscillation and its impact on medium and extended range prediction, *J. Atmos. Sci.*, 1990, **47**, 2177~2199.
- 13 Li Chongyin and Li Gulong, Evolution of intraseasonal oscillation over the tropical western Pacific South China Sea and its effect to the summer precipitation in Southern China, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**, 246~254.
- 14 李崇银, 周亚萍, 热带大气季节内振荡与ENSO的相互关系, *地球物理学报*, 1994, **37**, 17~26.
- 15 Weickmann, K. M., Intraseasonal circulation and outgoing longwave radiation modes during northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**, 1838~1858.
- 16 Lau, K. M. and P. H. Chan, Short-term climate variability and atmospheric teleconnection as inferred from satellite-derived outgoing longwave radiation, Part I: Simultaneous relationships, *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**, 2735~2750.
- 17 Lau, K. M. and P. H. Chan, The 40~50 day oscillation and the El Niño / Southern Oscillation: A new perspective, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1986, **67**, 533~534.
- 18 Lau, K. M. and P. H. Chan, Intraseasonal and interannual variations of tropical convective: a possible link between the 40~50 day oscillation and ENSO? *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 506~521.
- 19 李崇银, 廖清海, 热带大气季节内振荡激发El Niño的机制, *热带气象学报*, 1998, **14**, 97~105.
- 20 Nakazawa, T., Tropical super clusters within intraseasonal variations over the western Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1988, **66**, 823~839.
- 21 Kiladis, G. N., G. A. Meehl and K. M. Weickmann, The large scale circulation associated with westerly wind

- bursts and deep convection over the western equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**, 18527–18544.
- 22 Kindle, J. C. and Phoebus, P. A., The ocean response to operational westerly wind bursts, *J. Geophys. Res.*, 1995, **100**, 4893–4920.
- 23 李崇银, 陈于湘, 袁重光, El Niño事件发生的一个重要原因——东亚寒潮的频繁活动, *大气科学(特刊)*, 1988, 125–141.
- 24 Li Chongyin, Interaction between an anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events, *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7**, 36–46.
- 25 孙柏民, 李崇银, 冬季东亚大槽的扰动与热带对流活动的关系, *科学通报*, 1997, **42**, 500–503.
- 26 Ji Luren and Sun Shuqing, Observational and model study on interseasonal connection of atmospheric circulation, *From Atmospheric Circulation to Global Change*, edited by The Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, China Meteorological Press, 1996, 365–376.

Interannual Variability of 30~60 Day Low-Frequency Kinetic Energy in the Lower Tropical Atmosphere

Long Zhenxia and Li Chongyin

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Based on the NCEP reanalysis data, the relationship between the interannual variability of tropical atmospheric intraseasonal oscillation (ISO) and ENSO cycle has been studied through statistical and composite analyses. The results suggest that the interannual variability of the tropical atmospheric ISO (30~60 day low-frequency oscillation) is most obvious in the central and western Pacific. During the spring and summer prior to the mature El Niño, the 30~60 day oscillation in the western Pacific is very active, its kinetic energy is clearly increased and the anomalous center of kinetic energy gradually propagates eastward. Along with the strengthened 30~60 day oscillation, there is an anomalous cyclone to the north of the equator and the westerly prevails in the equator. On the contrary, during the spring and summer prior to the mature La Niña, the atmospheric 30~60 low-frequency oscillation in the western Pacific is weak. Further analyses also suggest that the interannual variability of the winter monsoon over East Asia is responsible for the interannual variability of tropical atmospheric 30~60 day oscillation: corresponding to the strong (weak) winter monsoon over East Asia, the cumulus convection in the tropical western Pacific is strengthened (weakened), therefore the atmospheric 30~60 day oscillation is active (weak). The data analyses further prove that as an external forcing, the interannual variability of tropical atmospheric 30~60 day oscillation plays an important role in the formation of El Niño.

Key words: 30~60 day low-frequency oscillation; East Asian monsoon; ENSO; westerly anomaly