

东亚冬季风异常与 ENSO 循环关系的进一步研究*

穆明权

(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 通过对 1955~1989 年 35 年的观测资料的合成分析, 进一步指出东亚冬季风与 El Niño、La Niña 事件存在着明显的相互作用、相互影响的循环关系。这种循环关系一方面表现在异常强(弱)东亚冬季风通过激发赤道中西太平洋地区的异常西(东)风以及强(弱)对流活动, 而最终使得 El Niño (La Niña) 事件爆发; 另一方面, El Niño (La Niña) 的爆发将通过大气遥响应, 使得东亚冬季风偏弱(强)。功率谱分析也表明, 东亚冬季风与 ENSO 循环相互作用主要表现在 3~5 年的周期上, 同时准 2 年周期也很明显。

关键词: 东亚冬季风; ENSO; 遥响应; Kelvin 波; 振荡

1 引言

El Niño、La Niña 以其对全球广大地区带来严重旱涝等灾害而受到全世界人们的关注。一系列的研究表明, 它是热带大尺度海—气相互作用的产物。20 世纪 70 年代, Wyrski^[1]提出了 El Niño 发生的信风张弛理论, 20 世纪 80 年代 McCreary 等^[2,3]又提出了 El Niño 的海气不稳定理论, 但是都未能很好地解释 El Niño 发生的物理机制, 尤其是对海—气相互作用系统中大气环流异常的作用考虑还不够。早在 1988 年, 李崇银根据资料诊断和理论分析已指出 El Niño 事件发生的前期征兆在赤道西太平洋地区, 并提出了东亚冬季风的持续强异常是激发 El Niño 的重要物理机制^[4]; 其后, 又进一步指出 El Niño 与异常东亚冬季风的相互作用及其过程, 特别指出强东亚冬季风所造成的赤道西太平洋地区西风和积云对流活动的持续强异常将分别引起海洋 Kelvin 波和大气季节内振荡的异常, 通过海—气相互作用, 最终导致 El Niño 的发生^[5]。几年前, 李崇银又将 ENSO 循环和东亚冬季风强弱异常的循环联系起来进行了初步研究^[6]。本文将以更一般的全球观测资料, 用合成分析的方法系统地研究东亚冬季风在 El Niño、La Niña 事件爆发前后的特征。利用实际观测及中国科学院大气物理研究所 9 层大气环流模式的模拟资料, 我们已经得到了 El Niño、La Niña 事件爆发对东亚冬季风产生明显的影响^[7,8]。本文将重点研究合成事件爆发前一年冬季东亚大气环流的异常特征。

本文从大气环流的角度来描写东亚冬季风的强弱, 因而所指的强东亚冬季风是指东亚地区 500 hPa 高空槽活动频繁(位势高度负距平)、海平面气压值偏高, 西北太平洋地区偏北风异常加强; 弱东亚冬季风则是 500 hPa 高度场出现正距平、海平面气压偏

1999-05-24 收到, 2000-02-03 收到修改稿

* “国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分和中国科学院 KZCX2-203 项目共同资助

低, 西北太平洋地区异常南风发展。

1955~1989 年间共发生了 8 次 El Niño (1957、1963、1965、1968/1969、1972、1976、1982/1983、1986/1987 年) 和 6 次 La Niña (1964、1967、1970、1973、1975、1988 年) 事件。为了反映东亚冬季风异常的整体特征, 本文将主要讨论合成的 El Niño 和 La Niña 爆发前后冬季 (12~2 月) 的平均形势。

关于事件的爆发年, 我们是这样理解的: 一般情况下, El Niño 和 La Niña 事件在春季发生, 夏末秋初开始爆发, 年末 (Niño3 区) 异常海表温度达到最大值, 由此推断事件的爆发年也是发生年, 亦即事件的当年。需要说明的是, 本文主要讨论事件爆发的前一年及当年整个冬季大气环流的异常特征, 并不涉及更精确的时间, 文中引用事件的爆发年也是为了讨论的方便。

本文所用的 500 hPa 位势高度和海平面气压资料取自美国国家气象中心 (NMC)、地面风、总云量及表层海温为综合大气-海洋数据库 (COADS) 资料。

2 El Niño 爆发前后东亚地区大气环流的异常特征

首先, 看一看图 1a 所示的 500 hPa 位势高度的异常特征 (t 检验, 即 8 次 El Niño 的平均值与 1955~1989 年的气候平均值相比较, 阴影区超过 95% 的信度, 下同)。可以看到, El Niño 爆发前的冬季, 阿留申地区 (多年平均脊的位置) 为高度正距平, 东亚沿海 (即原 500 hPa 东亚大槽的位置) 以及北太平洋低纬地区为负距平, 亚洲大陆高纬度地区为正距平。这种特征表明 500 hPa 东亚大槽偏深且南压, 东亚极锋锋区位置偏南。正好使得位于槽底的东亚地区 500 hPa 高空槽活动频繁且强。北美大陆的异常形势特征与亚洲大陆几乎相反, 北美大陆大部分地区为 500 hPa 位势高度负距平, 北大西洋高纬地区为正距平, 低纬地区为负距平。

在 El Niño 事件爆发前冬季海平面气压距平图 (图 1b) 上, 整个东亚地区为正距平控制, 北太平洋南部为强负距平中心。这种特征表明 El Niño 爆发前的冬季东亚地区地面高压偏强, 阿留申低压位置偏南, 即地面冷空气活动频繁。

500 hPa 位势高度、海平面气压的异常特征表明, El Niño 爆发前冬季, 东亚极锋锋区位置南压, 这种环流形势特征已经表明此时东亚冬季风偏强。利用 1955~1989 年的 COADS 地面风场资料, 可以更直接地反映出东亚冬季风的异常加强特征 (如图 1c 所示), 西北太平洋地区有大片异常偏北风, 这正是强东亚冬季风的明显反映, 而且这支异常气流可以直接伸展到 10°N 及以南地区。

时间-经度剖面图不仅能清楚地反映出 El Niño 爆发前东亚冬季风的强异常特征, 而且还能反映出异常东亚冬季风在事件爆发前后的演变过程。如图 2 所示, El Niño 爆发前一年的 9 月至爆发当年的 10 月, 整整 1 年多的时间内, 500 hPa 位势高度在 (30~40°N, 100~180°E) 地区为持续负距平 (图 2a), 但从 10 月以后很快又转为强的正距平。在 El Niño 爆发前的 12 个月内, 西北太平洋副热带地区 (20~30°N, 120~180°E) 地面经向风北风异常一直偏强 (图 2b); 而 El Niño 爆发后的冬季, 在 135°E 附近有一正距平中心 (南风异常), 即冬季风偏弱。也就是说, El Niño 爆发前的冬半年里, 500 hPa 东亚大槽偏深, 地面冷空气偏强, 强的冷空气 (寒潮) 伴随偏北风不断向

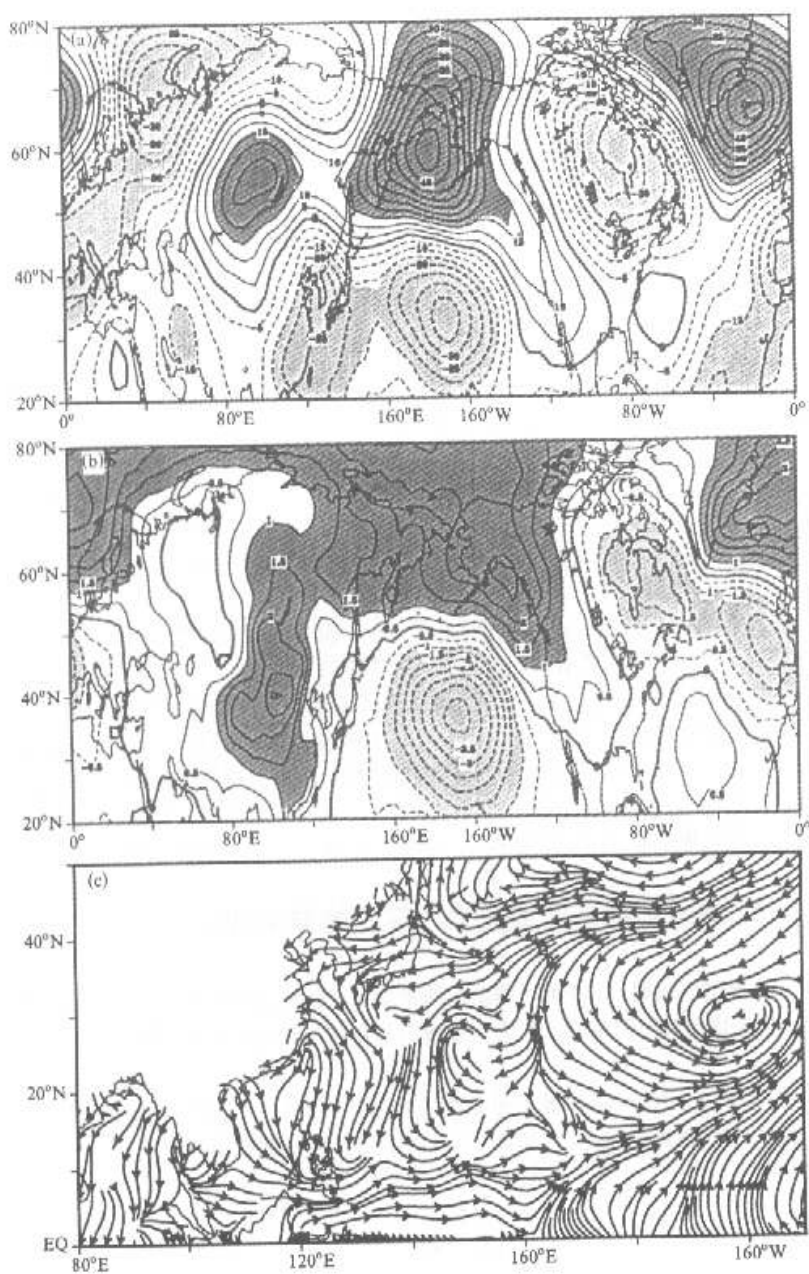


图1 1955~1989年8次El Niño事件爆发前冬季500 hPa位势高度距平(a, 单位: gpm)、海平面气压距平(b, 单位: hPa)和地面流场距平的水平分布(c)的合成形势

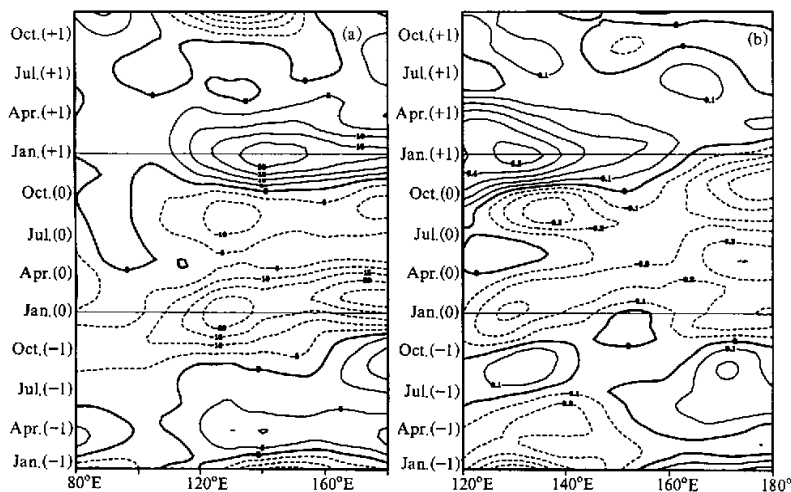


图2 1955~1989年8次El Niño事件爆发前后500 hPa位势高度距平(a, 单位: gpm), 地面经向风距平(b, 单位: m s^{-1})的时间-经度剖面合成形势

南爆发, 显然冬季风也偏强; El Niño 爆发后, 一方面 500 hPa 高空槽减弱, 地面冷空气势力也减弱, 另一方面东亚沿海广大地区有异常强的偏南气流(部分原因是赤道西太平洋 SST 往往为负距平, 从而导致热带西北太平洋地面有反气旋环流维持), 这种流场形势也不利于中高纬度地区冷空气的向南爆发, 因而东亚冬季风偏弱。另外, 从图2中还可以看到, 强东亚冬季风对 El Niño 的作用是个较长时间的过程, 需要大气异常持续对海洋发生作用。同时, 不论是 500 hPa 位势高度, 还是地面经向风的异常, 总是在冬季出现最大, 这说明了 El Niño 爆发前后, 冬季风或冬季大气环流的变化最显著。

3 La Niña 爆发前后东亚地区大气环流的异常特征

前一节分析结果表明, El Niño 爆发前的冬季东亚极锋锋区南压, 东亚冬季风持续偏强。La Niña 爆发前后的冬季东亚大气环流的异常特征如何呢? 本节将主要讨论这个问题。

图3a是6次La Niña事件爆发前冬季北半球异常500 hPa大气环流的平均形势, 阴影区为超过95%信度的地区(t检验)。从图上可以明显地看出, 阿留申广大地区为位势高度负距平, 40°N 以南的北太平洋地区为正距平, 东亚地区也为正距平控制, 这种南正北负的距平分布形势表明东亚大槽位置偏北, 即东亚极锋锋区位置北抬, 东亚冬季风偏弱; 另外, 北美地区几乎全为负距平控制。

对海平面气压, 我们也作了类似的分析。在La Niña爆发前的冬季, 蒙古地面高压偏弱(负距平), 阿留申低压位置北移。这两个地面半永久性系统的减弱表明东亚冬季风也偏弱(图3b所示)。图3c更直接地反映了这种冬季风偏弱的特征, 西北太平洋

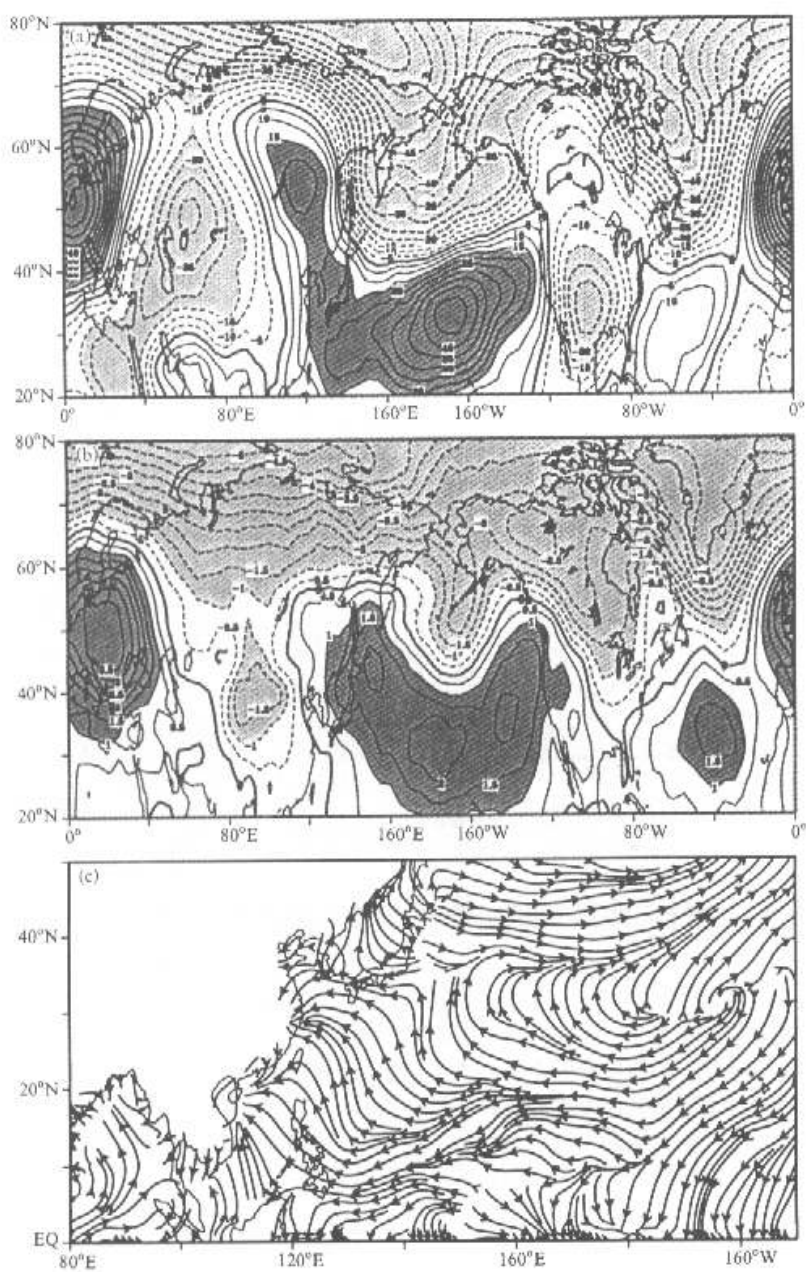


图3 1955~1989年6次La Niña事件爆发前冬季500 hPa位势高度距平(a, 单位: gpm), 海平面气压距平(b, 单位: hPa)和地面流场距平的水平分布(c)的合成形势

地区有异常偏南风发生, 然而 30°N 以南的东北太平洋地区, 东北风是加强的, 这可能与那里反气旋的发展有关。

图 4 极清楚地反映了合成的 La Niña 爆发前后东亚地区异常大气环流的演变特征。 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 平均的 500 hPa 高度距平场 (图 4a) 表明, 从 La Niña 爆发前一年的 11 月至当年 10 月在 $100^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 为持续的正距平, 爆发后转为负距平; 同时, $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 地面流场出现异常偏南气流 (图 4b)。也就是说, 在 La Niña 爆发前的冬半年冬季风明显偏弱, 而在 La Niña 爆发后, 地面形势发生了相反的变化, 强的负异常中心位于 130°E 附近, 表明地面冷空气活动偏强, 东亚冬季风偏强。

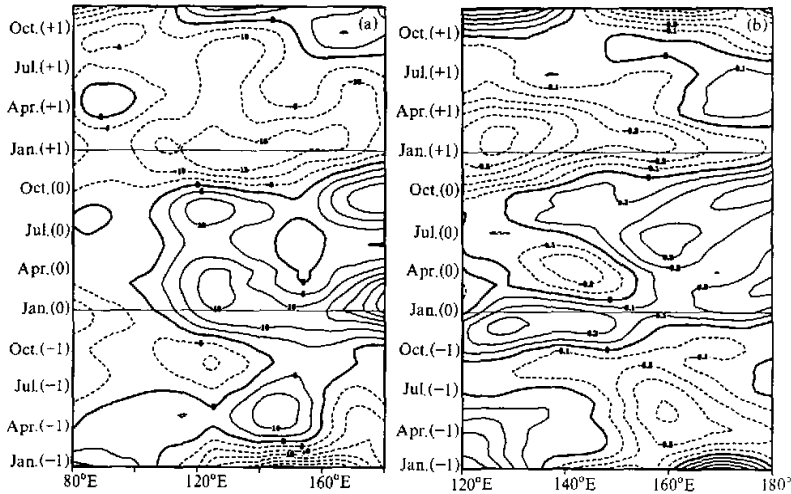


图 4 1955~1989 年 6 次 La Niña 事件爆发前后 500 hPa 位势高度距平 (a, 单位: gpm), 地面经向风距平 (b, 单位: m s^{-1}) 的时间-经度剖面合成形势

4 赤道异常纬向风及对流活动在 ENSO 前后的演变

已有研究表明, 东亚冬季风的异常必然引起赤道太平洋 (尤其是赤道西太平洋) 地区大气环流的异常变化。图 5 为赤道中太平洋地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 异常总云量及地面纬向风随时间的变化。从图上可以明显地看到, 对于 8 次 El Niño 事件, 赤道中太平洋地区都有总云量的增加, 其中 1957、1965、1972、1982、1986 年较强的暖事件对应的总云量正距平也大; 相反, 对 6 次 La Niña 事件, 该地区总云量都是减少的。对于正常年份, 总云量的变化相对较小。

因为热带地区尤其是赤道地区积云占有很大比重, 总云量的变化大小也就表明积云对流活动的强弱。图 5a 反映了每次 El Niño 事件的爆发都有赤道中太平洋地区对流活动的加强, 而 La Niña 事件却对应着该地区对流活动的减弱。

对于赤道地区地面异常纬向风的演变 (图 5b), 8 次 El Niño 事件赤道中太平洋地区都有信风减弱, 即异常西风加强; 而 6 次 La Niña 事件该地区的信风偏强, 异常东

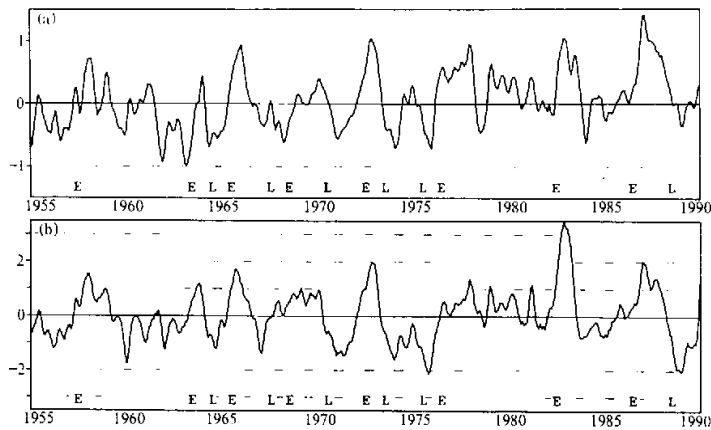


图5 赤道中太平洋地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 总云量 (a, 单位: $1/10$) 及地面纬向风 (b, 单位: m s^{-1}) 距平随时间的变化
字母 E 和 L 分别表示 El Niño 和 La Niña 的当年

风发展。其中 1957、1965、1972、1982、1986 年异常西风都很强, 而 1970、1975、1988 年有较强的异常东风, 它们分别对应的 El Niño 和 La Niña 事件也强。另外, 赤道中太平洋地区异常对流活动与异常信风的发生、发展也密切相关, 两者的同时相关系数可达 0.75 以上。

以下就 8 次 El Niño 及 6 次 La Niña 事件的地面纬向风及总云量距平进行合成, 分析它们的传播及发展特征。图 6 为 8 次 El Niño 合成的赤道地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$) 异常地面纬向风及总云量的时间-经度剖面。赤道地区的异常西风虽然最早可在事件爆发前一年 4 月份的印度洋地区 (80°E 附近) 发现, 但它与中西太平洋地区的异常西风似乎是两个系统; 印度洋上的异常西风在事件爆发前一年的 12 月份已大大减弱, 但西太平洋异常西风于 1 月份才开始明显发展, 并不断加强且东移。异常总云量 (对流活动) 的演变特征基本上与异常纬向风类似。在印度洋上, El Niño 发生前对流活动虽也有加强, 却相当的弱, 并且显然同赤道中西太平洋地区的主要对流异常活动区是分离的。

赤道异常西风及对流活动的加强并非是其自身的结果, 其发生、发展与中高纬大气环流的异常是分不开的。图 1b 可以很好地说明这一点, 在 El Niño 爆发前的冬季, 甚至冬半年 (11~4 月), 西北太平洋地区有明显的偏北气流存在, 并可直接伸展到 10°N 及其以南地区, 在其影响下, 赤道中西太平洋地区异常西风发展, 并使得印尼附近的对流活动中心东移到了日界线附近。此外, 因为西北太平洋地区南伸的气流中, 西风分量很小, 可以推知从东亚中高纬度向赤道地区直接输送异常西风是相当弱的。

图 7 为 6 次 La Niña 的合成结果。可以清楚地看到, 在 La Niña 爆发前赤道中西太平洋地区对流活动偏弱; 同时, 赤道中西太平洋地区有异常东风发展, 异常东风的发生大约开始于事件爆发当年的 1 月份。从图 7 我们还可以看到, 尽管在赤道印度洋上事件爆发的 20 个月之前 (前一年 4 月份) 已有明显的异常东风及总云量负距平存在, 然而这些变化更多表明其与中西太平洋上的变化是两个不同的系统, 在强度上, 后者远比

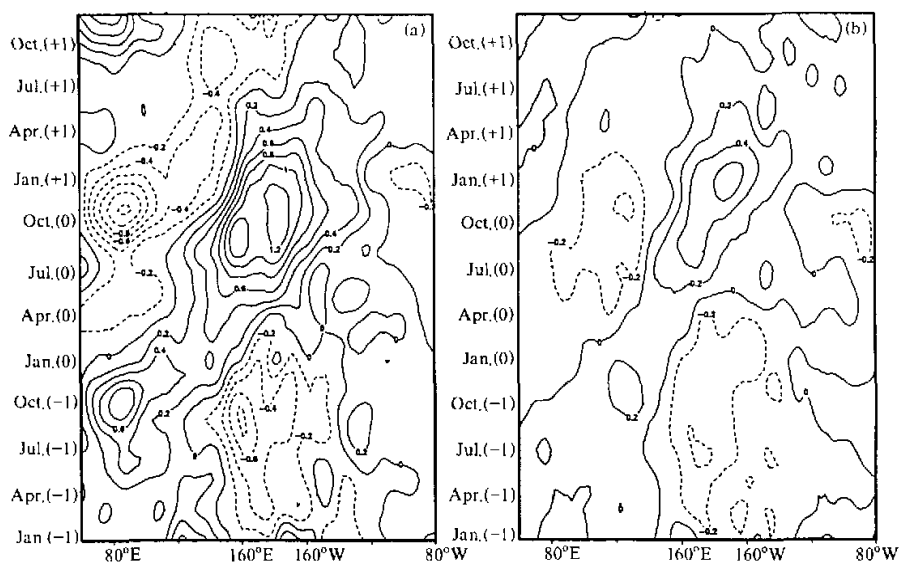


图 6 1955~1989 年 8 次 El Niño 事件爆发前后合成的赤道地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$) 纬向风 (a, 单位: m s^{-1}) 及总云量 (b, 单位: $1/10$) 距平的时间-经度剖面图

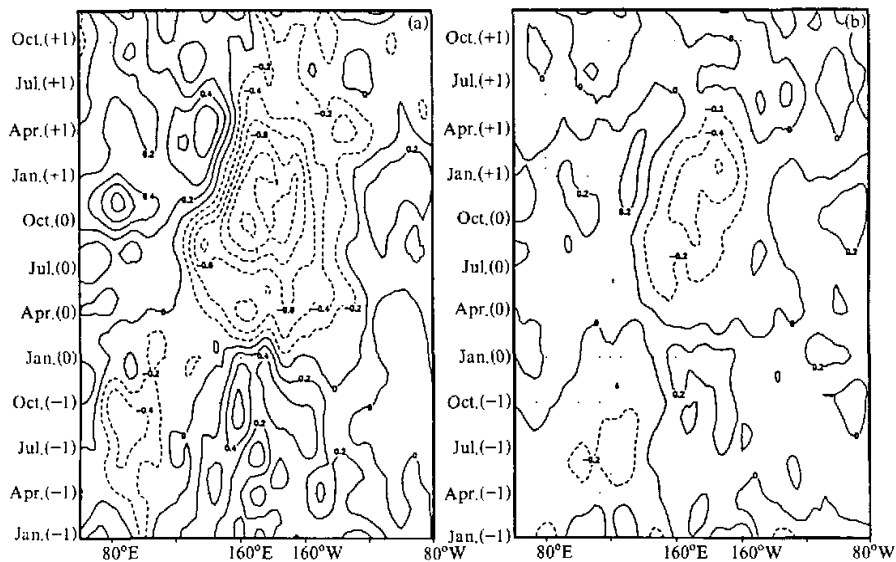


图 7 1955~1989 年 6 次 La Niña 事件爆发前后合成的赤道地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$) 纬向风 (a, 单位: m s^{-1}) 及总云量 (b, 单位: $1/10$) 距平的时间-经度剖面图

前者强, 从总云量的变化上可以更清楚地看到二者是不连续的、相互独立的。

为了更直接地说明赤道中太平洋地区异常对流活动和纬向风的发生、发展与东亚冬季风异常的密切关系, 我们计算了二者的时滞相关系数 (图 8)。所用的异常东亚冬季风指数为西北太平洋地区 ($20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 的地面经向风距平。图 8 明显反映出, 不论是异常纬向风, 还是异常对流活动, 与东亚冬季风异常都有密切关系。在异常东亚冬季风超前两者 7 个月之前, 负相关就已超过 99% 的信度, 最大负相关系数可分别达到 -0.34 (异常纬向风滞后 12 个月) 和 -0.32 (异常总云量滞后 10 个月)。

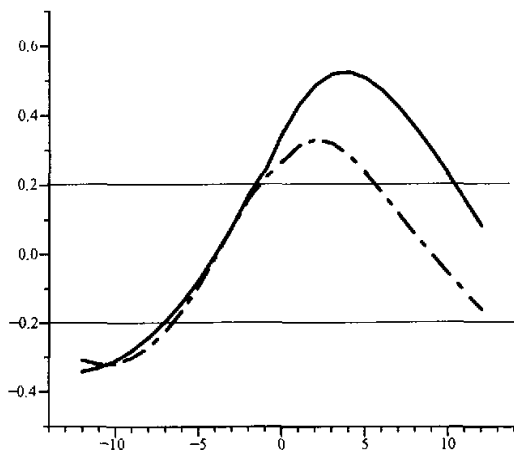


图 8 东亚冬季风与赤道中太平洋地区 ($6^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 总云量 (点虚线) 及地面纬向风 (实线) 时滞相关系数随时间的演变
正负 0.2 线为 99% 信度界线; 横轴为滞后时间 (负值表示冬季风超前, 单位: 月), 纵轴为相关系数

5 东亚冬季风与 ENSO 的相互作用关系分析

以上分析表明, El Niño 爆发前冬季东亚冬季风偏强; 伴随着异常强东亚冬季风的向南推进, 赤道中西太平洋异常西风及对流活动不断加强; 对于 La Niña, 基本上与 El Niño 的情况相反, 即爆发前的冬季为弱东亚冬季风, 伴随着弱东亚冬季风, 赤道中西太平洋异常东风不断加强, 对流活动不断减弱。

同时, 在 El Niño 发生之后, 冬季北半球大气环流的异常使得东亚冬季风偏弱; 而在 La Niña 冬季, 北半球大气环流的异常却使得东亚冬季风偏强。图 9 可以更清楚地反映这种特征。500 hPa 位势高度、海平面气压的异常特征表明, El Niño 爆发后冬季, 东亚极锋锋区位置北抬, 这种环流形势特征已经表明此时东亚冬季风偏弱。异常地面风场更直接地反映出此时东亚冬季风的异常减弱特征。La Niña 爆发后冬季东亚地区大气环流的异常特征基本上与 El Niño 的相反 (图 10), 东亚极锋锋区位置南压。异常地面风场形势特征表明, 西北太平洋地区有大片异常偏北风, 这正是强东亚冬季风的明显反映。

将 La Niña 年与 El Niño 年对比, 不难发现事件爆发前后各种要素变化的符号都是相反的; 另外, 相同物理量在 El Niño、La Niña 事件爆发前后的变化也是反相的。这说明东亚冬季风的年际异常是个循环, 而这个循环又与 ENSO (El Niño、La Niña) 循环是相互作用、相互影响的。

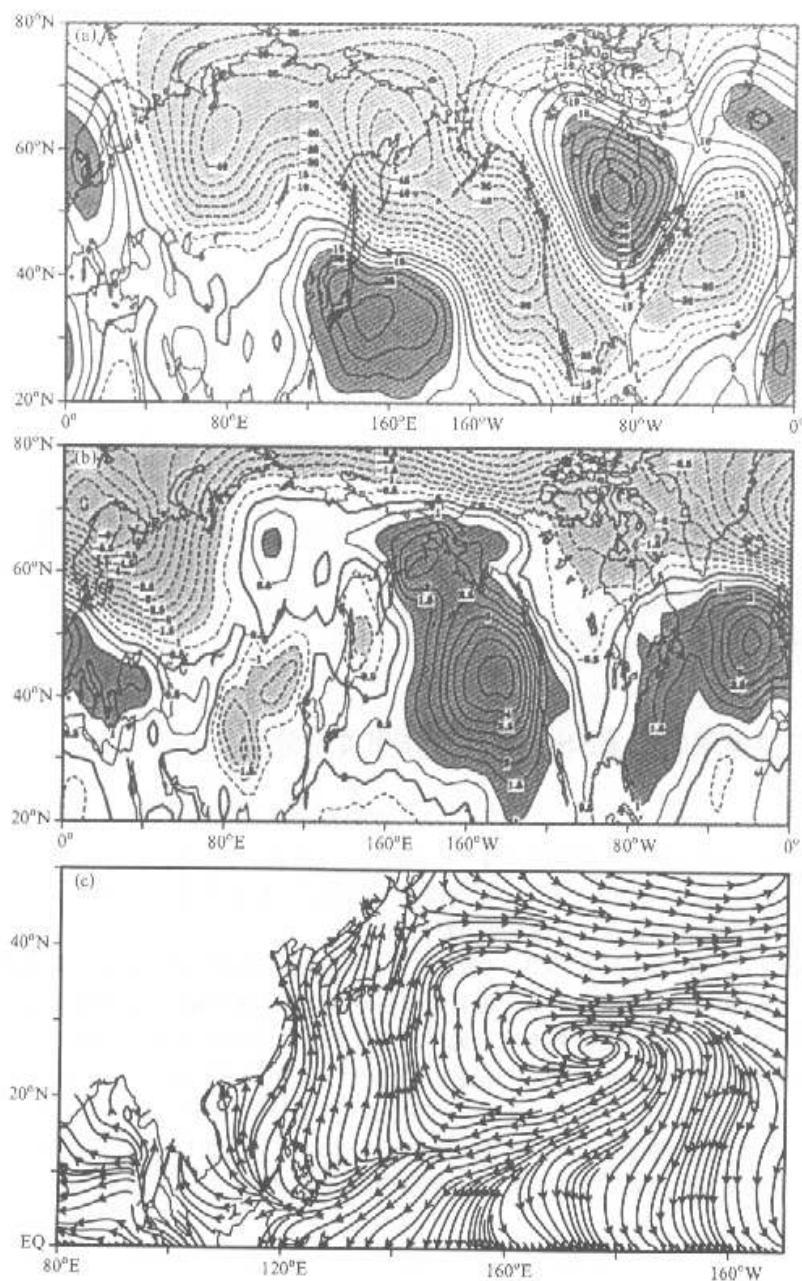


图9 1955~1989年8次El Niño事件爆发后冬季500 hPa位势高度距平(a, 单位: gpm), 海平面气压距平(b, 单位: hPa)和地面流场距平(c)的水平分布的合成形势
阴影区超过95%的信度

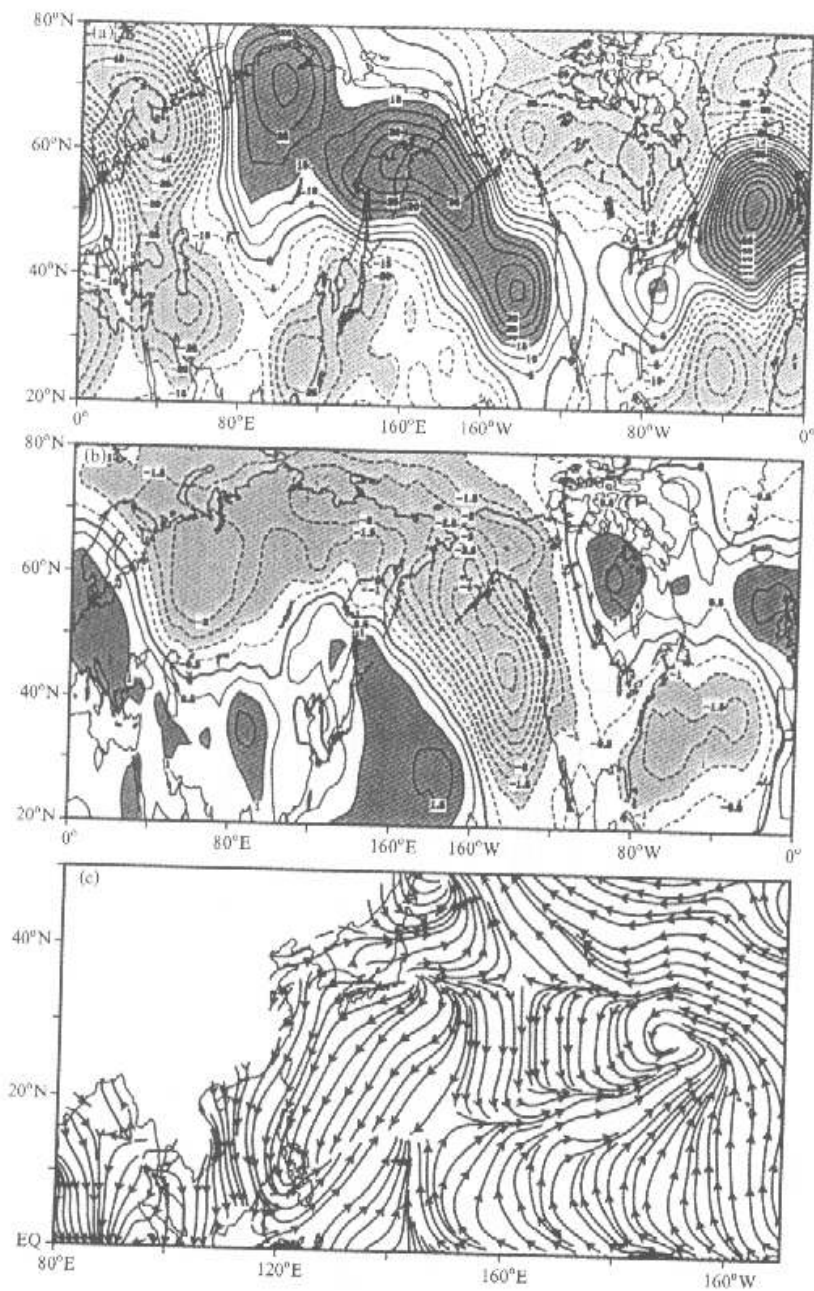


图 10 1955~1989 年 6 次 La Niña 事件爆发后冬季 500 hPa 位势高度距平 (a, 单位: gpm), 海平面气压距平 (b, 单位: hPa) 和地面流场距平 (c) 的水平分布的合成形势
阴影区超过 95% 的信度

在东亚冬季风与 ENSO 这两个循环中, 强 (弱) 东亚冬季风是怎样激发 El Niño (La Niña) 事件爆发的呢? 从以上分析不难看出, 强 (弱) 东亚冬季风激发的赤道中西太平洋的异常西 (东) 风以及强 (弱) 对流活动对 ENSO 的发生有着重要作用。因为已有研究表明异常西风 (东风) 将激发赤道暖 (冷) 性 Kelvin 波的异常活动^[9,10]; 而对流活动的加强 (减弱) 则有助于强 (弱) 的赤道大气季节内 (30~60 天) 振荡的发生^[10,11], 两者对激发 El Niño (La Niña) 事件十分重要。

图 11 为 Niño3 区海温、东亚地区地面气温和地面经向风的功率谱。可以看到它们都有两个谱峰 (3~5 年和准 2 年), 且都达到了 95% 的信度。不论在 3~5 年上, 还是在准 2 年上, 两者都有很好的对应关系。这从另一个角度再次表明东亚冬季风异常与 ENSO 循环的密切关系。

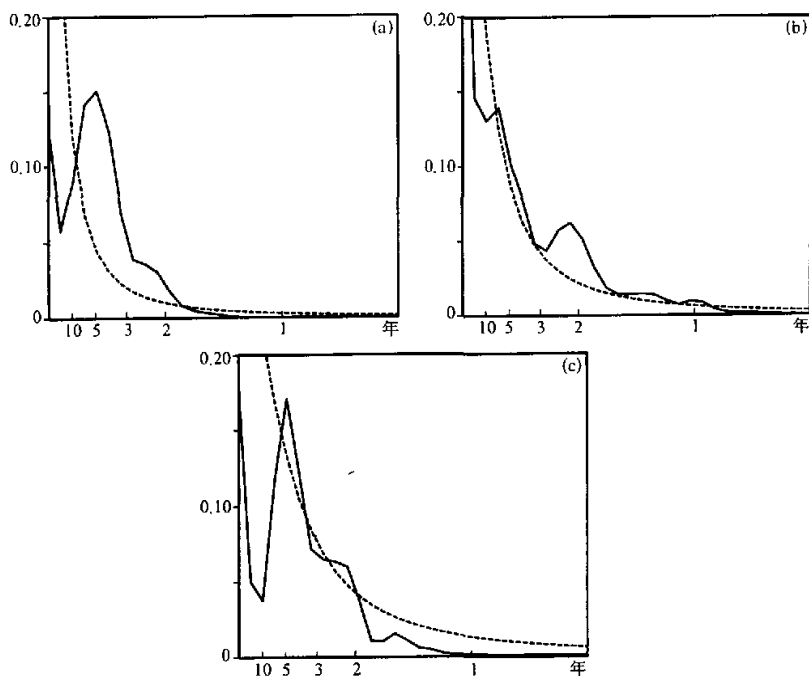


图 11 Niño3 区海温 (a)、东亚地区地面气温 (b)、西北太平洋地区 (20~30°N, 120~150°E) 地面经向风 (c) 的功率谱

6 结论

El Niño (La Niña) 事件爆发前的冬季, 东亚大气环流异常特征表明 500 hPa 东亚大槽位置偏南 (北), 东亚极锋锋区南压 (北抬), 东亚冬季风偏强 (弱)。事件爆发后, 东亚大气环流异常形势向其爆发前相反的方向转变, 结果是东亚大槽位置北 (南) 移, 东亚极锋锋区北抬 (南压), 东亚冬季风偏弱 (强)。

El Niño (La Niña) 爆发前赤道中西太平洋都有异常西 (东) 风及强 (弱) 对流活

动的发生, 它们在激发 El Niño (La Niña) 事件中起着极为重要的作用。同时它们也可被认为是联系东亚冬季风活动与 ENSO 的重要物理场量。

合成及功率谱分析表明东亚冬季风与 ENSO 是相互影响、相互作用的, 它们的循环关系主要表现在 3~5 年的时间尺度上, 准 2 年的周期也明显。

参 考 文 献

- 1 Wyrki, K., El Niño—the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, 1975, **5**, 572~584.
- 2 McCreary, J. P. and D. L. T. Anderson, A simple model of El Niño and the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**, 934~946.
- 3 Schopf, P. S. and M. J. Suarez, Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model, *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 549~567.
- 4 李崇银, 频繁强东亚大槽活动与 El Niño 的发生, 中国科学(B 辑), 1988, **18**(6), 667~674.
- 5 Li Chongyin, Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events, *Adv. in Atmos. Sci.*, 1990, **7**, 36~46.
- 6 Li Chongyin, ENSO cycle and anomalies of winter monsoon in East Asia, SMR / 930-18, Interannual Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy, 1996.
- 7 穆明权、李崇银, 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I. 观测资料分析, 大气科学, 1999, **23**, 276~285.
- 8 穆明权、李崇银, 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 II. 模拟资料分析, 气候与环境研究, 1999, **4**(2), 176~184.
- 9 黄荣辉、傅云飞、臧晓云, 1996, 亚洲季风与 ENSO 循环的相互作用, 气候与环境研究, 1996, **1**(1), 38~52.
- 10 李崇银、穆明权, 异常东亚冬季风激发 ENSO 的数值模拟研究, 大气科学, 1998, **22**, 481~490.
- 11 李崇银、李桂龙, 同 El Niño 发生相互联系的热带大气系统动能的变化, 科学通报, 1995, **40**, 1866~1869.

A Further Research on the Cyclic Relationship between Anomalous East-Asian Winter Monsoon and ENSO

Mu Mingquan

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

Abstract Through composite analyses about the observed global monthly data from 1955 to 1989, we further point out there is apparent interactive cycle relationship between East Asian winter monsoon and ENSO (El Niño and La Niña). On the one hand, stronger (weaker) East Asian winter monsoon excite happening of El Niño (La Niña) through forced anomalous westerly (easterly) wind and stronger (weaker) convective activity over the tropical Pacific Ocean, caused by anomalous winter monsoon; on the other hand, the occurrence of El Niño (La Niña) weakens (enhances) East Asian winter monsoon through the atmospheric teleconnection in the northern hemisphere. The results of power spectral analyses show that this cycle mainly manifests in the 3~5 years; in the meantime, quasi-biannual cycle is also clear.

Key words: East Asian winter monsoon; ENSO; teleconnection; Kelvin wave; oscillation.