

岳彩军, 陆维松. 1997/1998 年 El Niño 事件发生、发展可能机制的进一步研究 [J]. 大气科学学报, 2009, 32 (4): 513-521.

1997/1998 年 El Niño 事件发生、发展可能机制的进一步研究

岳彩军^{1,2}, 陆维松³

(1. 中国气象局 上海台风研究所, 上海 200030; 2. 中国气象局 台风预报技术重点开放实验室, 上海 200030;

3. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 基于美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观测台 LDEO (Lamont-Doherty Earth Observatory) 海表温度资料和 NCEP/NCAR 再分析风场资料, 分析了 1997/1998 年 El Niño 期间西太平洋暖池海表温度和西风距平的时间演变特征, 同时也分析了东太平洋暖池海表温度和北风距平的时间演变特征。结果表明, 1997/1998 年 El Niño 事件期间, 西太平洋暖池海表温度变化及异常西风和东太平洋暖池海表温度变化及异常北风都与 Niño3 指数变化密切相关。将东、西太平洋暖池及异常北风、西风一并结合起来考虑, 进一步研究了 1997/1998 年 El Niño 事件发生、发展的可能机制: 异常西风驱动西太平洋暖池东端暖水向东伸展直接有利于赤道东太平洋海表温度增加; 异常西风激发东传的暖 Kelvin 波对东太平洋的冷上升流有抑制作用, 从而有利于赤道东太平洋海表温度增加; 东传的异常西风可以通过埃克曼漂流效应将赤道两侧的海表暖水向赤道辐合从而加强了赤道附近的下沉流, 也有利于赤道东太平洋赤道附近海表温度增加。几乎与此同时, 北风距平通过产生北风吹流将东太平洋暖池暖水由北向南输送至赤道附近直接导致 Niño3 区海表温度增加。上述增温因素的叠加作用共同导致了 1997/1998 年 El Niño 事件迅速发生、异常强大。

关键词: 1997/1998 年 El Niño; 西太平洋暖池; 西风距平; 东太平洋暖池; 北风距平
中图分类号: P433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097 (2009) 04-0513-09

Further Study on Possible Mechanism for Genesis and Development of 1997/1998 El Niño Event

YUE Cai-jun^{1,2}, LU Wei-song³

(1. Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030, China;

2. Laboratory of Typhoon Forecast Technique, CMA, Shanghai 200030, China;

3. School of Atmospheric Sciences, NU IST, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) sea surface temperature (SST) and the NCEP/NCAR reanalysis wind, the evolutional features of SST over the eastern Pacific warm pool (EPWP) and north wind anomaly as well as SST over the western Pacific warm pool (WPWP) and west wind anomaly during the 1997/1998 El Niño event are analyzed. The results show that the WPWP SST variation and abnormal west wind, and the EPWP SST variation and abnormal north wind are associated closely with the Niño3 index change during the 1997/1998 El Niño. On the basis of the EPWP and WPWP SST in conjunction with the abnormal north and west wind, the possible mechanism for genesis and development of the 1997/1998 El Niño is studied further. To be specific, abnormal west wind can make the warm water of the east edge of the WPWP extend eastward, which is conducive directly to equatorial eastern Pacific SST increase; the warm Kelvin wave propagating eastward excited by the abnormal west

收稿日期: 2008-09-15; 改回日期: 2009-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40875025; 40275016); 上海市自然科学基金资助项目 (08ZR1422900)

作者简介: 岳彩军 (1972—), 男, 安徽蚌埠人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为海气相互作用、中尺度动力学, yuecaijun2000@163.com

wind can suppress the cold upwelling flow in the equatorial eastern Pacific, which, in turn, is favorable to equatorial eastern Pacific SST increase; the abnormal west wind propagating eastward can also make the sea surface warm water near two equatorial laterals converge to the equator by Ekman drifting, which, in turn, strengthens the downwelling flow near the equator, then leading to equatorial eastern Pacific SST increase. Almost at the same time, the north wind anomaly brings the EPWP warm water to the equatorial vicinity by producing north oceanic flow, which causes directly Niño3 SST increase. As a result, such factors favoring to SST increase give rise to the quick occurrence and abnormal strength of the 1997/1998 El Niño.

Key words: 1997/1998 El Niño event; western Pacific warm pool; west wind anomaly; eastern Pacific warm pool; north wind anomaly

0 引言

ENSO事件不仅对热带大气产生直接影响,而且能导致全球大气环流的异常。对此许多学者开展了相关研究。朱伟军等^[1]研究了 ENSO事件对冬季北半球太平洋风暴轴维持的影响。李琳等^[2]分析了 ENSO年冬季北半球平流层大气环流异常特征。倪东鸿等^[3]探讨了 ENSO循环在夏季的不同位相相对东亚夏季风的影响。夏冬冬等^[4]分析了 1948—2000年期间 ENSO事件与全球陆地降水量的关系,结果表明,暖事件年全球陆地年降水量大范围减少。王国荣等^[5]统计分析了我西北地区 3—9月降水量与 ENSO的联系。赵亮等^[6]开展了与 ENSO有关和无关年江、淮旱涝可能成因研究,结果发现, ENSO年淮河和长江中下游地区夏季降水的年际变化是 ENSO和夏季风共同作用的结果。上述研究成果在一定程度上也反映出开展 ENSO事件形成机理研究具有重要科学意义和实际应用价值。1997/1998年 El Niño事件为 20世纪最强大的一次暖事件。关于 1997/1998年 El Niño事件的科学研究很多,对其产生的可能机制出现了多种解释。迄今为止,多数研究主要关注于赤道中西太平洋西风距平的爆发、西太平洋暖池东伸以及赤道暖 Kelvin波的东传在 1997/1998年 El Niño事件发生、发展过程中的作用。Yu等^[7]研究指出, 1997/1998年 El Niño事件主要是由 1996年后期及 1997年早期爆发的一系列西风激发所致,随后产生的下沉海洋 Kelvin波快速东传且穿过整个赤道太平洋,引起东太平洋海温显著变暖。Picaut等^[8]也研究指出, 1996年 12月—1997年 6月期间爆发的一系列西风为强 El Niño事件的发生奠定了基础,西风爆发不仅激发产生赤道下沉 Kelvin波,同时促使西太平洋暖池的东边界向东延伸,从而引起赤道中东太平洋海温明显变暖。黄荣辉等^[9]利用一个简单的热带海洋动力模式,讨论了 1997/1998年 ENSO循环过程中赤

道海洋波动对实际海表风应力距平的响应,结果表明,热带西太平洋海表附近的纬向风异常,通过激发 Kelvin波与 Rossby波对 El Niño事件的发展与衰减起到重要的动力作用。严邦良等^[10]以 1997/1998年的 El Niño事件为例,分析了一个中等复杂海气耦合模式结果中热带西太平洋地区风应力异常对 El Niño事件形成影响的动力学和热力学作用,结果表明,热带西太平洋地区的风应力异常对 ENSO循环有很重要的作用。也有不少研究指出,次表层海温对 1997/1998年 El Niño事件发生、发展有重要影响。李崇银等^[11]研究认为, 1997年 El Niño时间的发生与西太平洋暖池次表层海温异常有密切关系。西太平洋暖池次表层海温正异常的出现及其向东太平洋的扩展对这次 El Niño事件的发生有十分重要的作用。巢纪平等^[12]研究发现, 1997/1998年 El Niño产生时,在热带西太平洋暖池次表层(160 m附近)的温度正距平,是从 1994/1995年 El Niño在 Niño3区的最大正距平信号传播或演变过来的。最近,岳彩军等^[13]还对 1997/1998年 El Niño事件进行了热力学诊断分析研究。众所周知,在太平洋中除有著名的赤道西太平洋暖池(130°E~180°,10°S~10°N且 SST > 29 °C)^[14]常年位于太平洋的西部外,在东北太平洋也有一个小范围暖水区常年存在,被称之为东太平洋暖池^[15]。Kessler^[15]将东太平洋暖池粗略地定义为 120°W以东、赤道以北且 SST > 27.5 °C 的太平洋地区,其南界与赤道冷舌相邻、北界与加利福尼亚洋流的冷水相邻。东太平洋暖池被认为是一个起源于西太平洋暖池且向东穿越洋盆的高 SST暖水带的最东段,其南北跨度大于中太平洋暖水带,温度也较中太平洋海表温度高出 0.5~1 °C,最暖的海表温度位于中美洲沿海地区。最近,为了研究需要,岳彩军等^[16]将东太平洋暖池具体定义为 0~29°N、120~80°W之间且 SST > 27.5 °C 的东北太平洋地区,并探讨了东太平洋暖池及经向风异常对 ENSO事件发生、发展作用。但

目前基于对西太平洋暖池和东太平洋暖池海、气状况一并分析,来具体探讨 ENSO 事件可能成因的研究工作还并不多见。本文则结合 1997/1998 年 El Niño 事件期间 Niño3 指数演变特征,在全面分析研究西太平洋暖池 SST 及中西太平洋西风距平时间演变特征的同时,并具体研究东太平洋暖池 SST 及东北太平洋北风距平时间演变特征,目的是进一步研究 1997/1998 年 El Niño 事件发生、发展的可能机制。根据 Wang 等^[17]的工作,将 1997/1998 年 El Niño 事件划分为前兆 (antecedent) (1996 年 8—10 月)、爆发 (onset) (1996 年 11 月—1997 年 1 月)、发展 (development) (1997 年 3—5 月)、跃变 (transition) (1997 年 7—9 月)、成熟 (mature) (1997 年 11 月—1998 年 1 月) 及衰亡 (decay) (1998 年 2—4 月) 6 个阶段,整个事件过程的时间跨度为 1996 年 8 月至 1998 年 4 月。研究所用的海表温度资料为美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观象台 (Lamont-Doherty Earth Observatory, LDEO) 的海表温度资料,风场资料为 925 hPa NCEP/NCAR 再分析风场资料。对于逐月海表温度距平 (SSTA) 来讲,通过逐月平均海表温度减去其所在月的气候平均 (本文将 1982 年 1 月—1999 年 12 月作为气候背景时段) 海表温度值而得。风场距平计算方案则参照文献 [18]。

1 Niño3 指数的时间演变特征

图 1 为 1997/1998 年 El Niño 事件期间 (1996 年 8 月—1998 年 4 月) Niño3 指数时间演变特征。Niño3 指数在 1996 年 8 月—1997 年 1 月期间呈递减趋势,且在 1997 年 1 月达到最小值 -1.2。1997 年 1—12 月期间呈明显递增趋势: 1997 年 4 月 Niño3 指数首次由负值转为正值, 5 月增加至 0.65, 6 月上升到 1.55, 6—9 月 Niño3 指数以 0.5 月左右的增幅继续递增,随后以 0.2 月左右的增幅持续递增,且在 1997 年 12 月达到最大正值 3.4。之后, Niño3 指数以 0.7 月左右减幅递减,到 1998 年 4 月降为 1.1。可见, 1997/1998 年 El Niño 事件具有快速发生、急剧发展、迅速衰亡的特点,且强度异常强大。

2 太平洋暖池 SST 演变特征

2.1 西太平洋暖池 SST 演变特征

用 29 海表温度等温线来表征西太平洋暖池的暖水范围。1996 年 8 月 (图 2a)、9 月 (图略) 及 10 月 (图略) 期间,西太平洋暖池的东边界基本位于

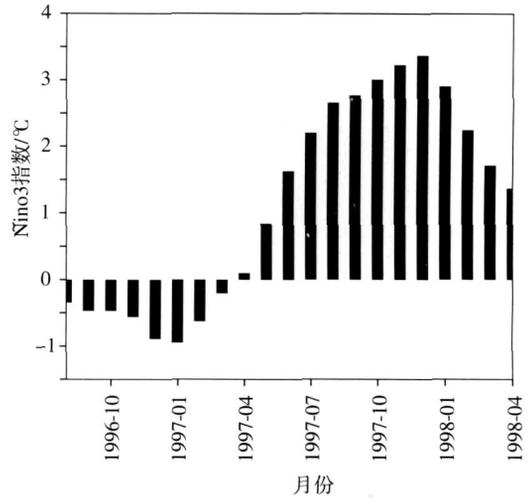


图 1 1996 年 8 月—1998 年 4 月期间观测的 Niño3 指数 (单位:)
Fig 1 Temporal evolution (August 1996—April 1998) of observed Niño3 index (units:)

160 W 以西, 1996 年 11 月 (图略)、12 月 (图 2b) 及 1997 年 1 月 (图略) 期间,东边界向东伸至 155 W 附近, 1997 年 2 月 (图略) 东边界略有西退,位于 160 W 附近。1997 年 3 月 (图略),西太平洋暖池一分为二,形成东西两块暖水区,且东块暖水区的东边界向东伸至 145 W 附近。1997 年 4 月 (图 2c),东西两块暖水区合并为狭长暖水带,且东边界位于 140 W 附近。1997 年 5—7 月 (图略),暖水带西段北抬,且在 1997 年 7 月再次分裂为东西两块暖水区,东块暖水区的东边界仍位于 140 W 附近。1997 年 8 月 (图 2d),东块暖水区的东边界明显向东伸展,伸至 120 W 附近,几乎与赤道东北太平洋的暖水区连为一体。1997 年 9—10 月 (图略),东块暖水区分布特点相似,东边界位于 125 W 附近。1997 年 11 月 (图略),东、西两块暖水区再次合并为一狭长暖水带,且东边界仍位于 125 W 附近。1997 年 12 月 (图 2e) 及 1998 年 1—2 月 (图略),暖水带东边界仍在 125 W 附近,并呈现出明显的向南平移特点,且在 1998 年 1 月整个暖水区平移到赤道以南。1998 年 3 月 (图略)、4 月 (图 2f),赤道西太平洋暖水区仍位于赤道以南,并与赤道东北太平洋的暖水区连为一个整体,贯穿整个太平洋。上述分析表明,西太平洋暖池在 1997/1998 年 El Niño 事件期间呈明显的阶段变化特点。

2.2 东太平洋暖池 SST 演变特征

对于东太平洋暖池来讲,用 27.5 海表温度等

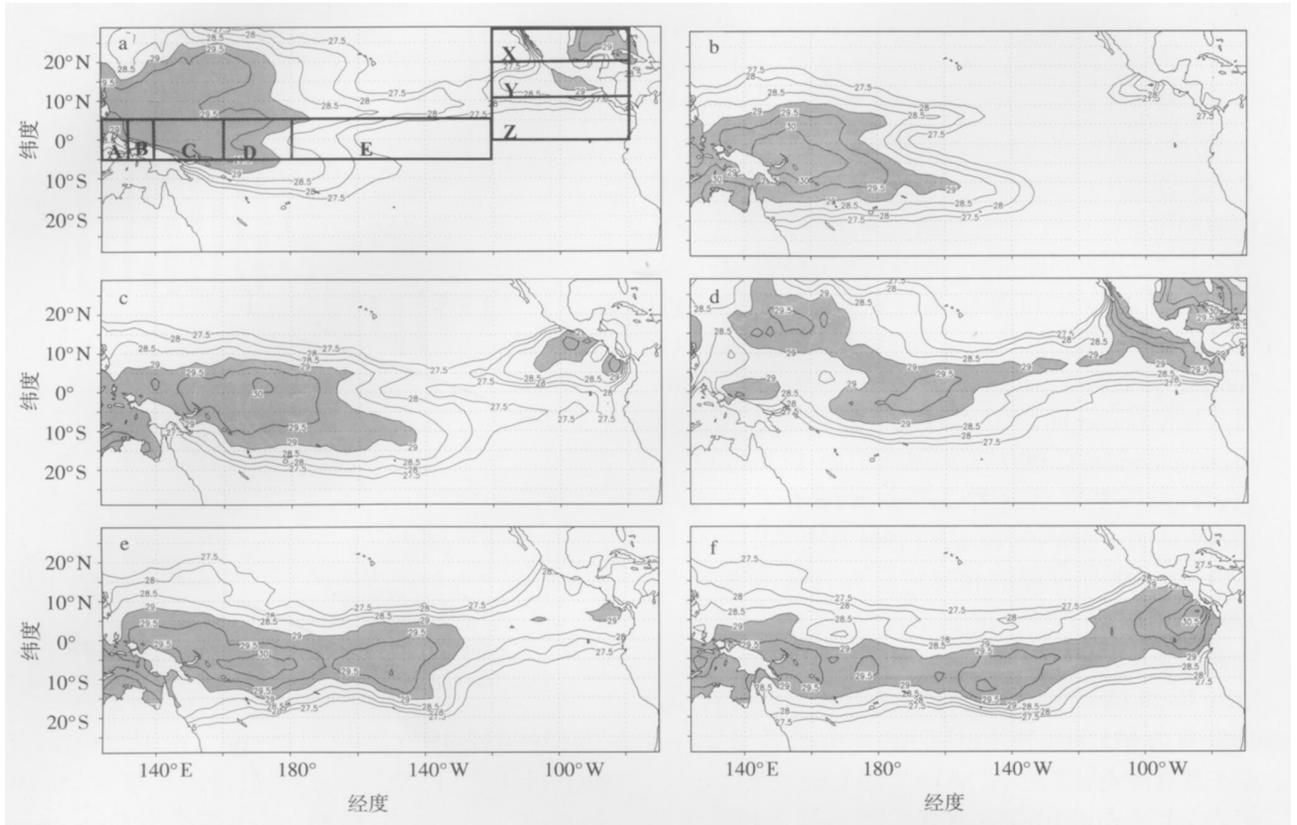


图 2 1997/1998 年 El Niño 事件期间逐月平均海表温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$; a—f 分别为 1996 年 8 月、12 月、1997 年 4 月、8 月、12 月及 1998 年 4 月;等值线间隔 0.5 $^{\circ}\text{C}$, 阴影表示海表温度 $\geq 29^{\circ}\text{C}$)

Fig 2 Monthly average sea surface temperature (SST; $^{\circ}\text{C}$) during the 1997/1998 El Niño event (a) — (f) denote August 1996, December 1996, April 1997, August 1997, December 1997 and April 1998, respectively, the contour interval is 0.5 $^{\circ}\text{C}$, and the shaded area represents that the SST is larger than and equal to 29 $^{\circ}\text{C}$

温线表征暖水范围,用 29°C 海表温度等温线来表征其强度。1996 年 8 月(图 2a)、9 月(图略)东太平洋暖池拥有较多的暖水,且强度也较强。1996 年 10—11 月(图略)、12 月(图 2b)及 1997 年 1 月(图略)期间,东太平洋暖池暖水量及强度分别迅速减少、减弱,并在 1997 年 1 月分别减到最少、最弱状态。1997 年 2—3 月(图略)、4 月(图 2c)及 5 月(图略)期间,东太平洋暖池暖水量及强度分别迅速增加、增强。1997 年 6—7 月(图略)、8 月(图 2d)及 9 月(图略)期间,为东太平洋暖池强盛阶段,尤其是 8 月为其强盛时期的核心阶段,暖水最为丰富、强度最强。1997 年 10 月(图略),东太平洋暖池暖水量没有减少,但强度迅速衰减。1997 年 11 月(图略)、12 月(图 2e)及 1998 年 1 月(图略)期间,东太平洋暖池的暖水量逐月递减,且强度也处于较弱状态。1998 年 2—3 月(图略)及 4 月(图 2f)期间,东太平洋暖池暖水量、强度基本分别维持在较少、较弱状态。可见,东太平洋暖池在 1997/1998 年 El Niño 事件期间

也存在明显的阶段变化特点。

综上所述,1997/1998 年 El Niño 事件期间,西太平洋暖池与东太平洋暖池都存在明显的阶段变化特征,再与图 1 相结合分析发现,二者水平分布及强度的变化特征与 1997/1998 年 El Niño 事件的发生、发展过程存在许多相似之处。另外,进一步比较 1982 年 1 月—1999 年 12 月期间 Niño3 区 ($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}, 150^{\circ}\text{W} \sim 90^{\circ}\text{W}$) 与 ($5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{W} \sim 80^{\circ}\text{W}$) 区域平均的 SSTA (图 3) 可发现,二者大小及时间演变态势几乎一致,这也直观反映出东太平洋暖池与 Niño3 区海表温度之间可能存在紧密联系。

3 距平风场的时间演变特征

3.1 纬向距平风场

为方便起见,将赤道太平洋 ($100^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}, 5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$)、($120^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}, 5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$)、($140^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}, 5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$)、($160^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}, 5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$) 及 ($180^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{W}, 5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$) 区域分别称为 A、B、C、D 及 E 区

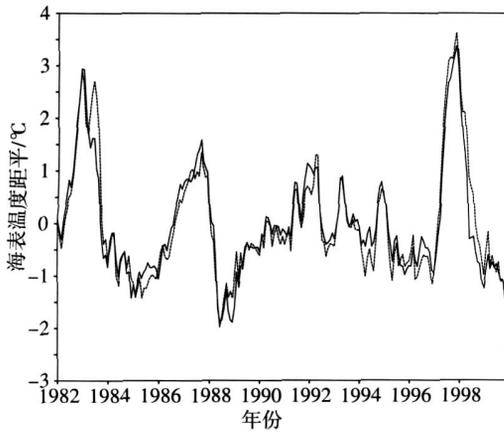


图 3 1982—1999年观测的区域平均海表温度距平(单位: °C;实线表示 150~90 W, 5 S~5 N范围,虚线表示 120~80 W, 5 S~5 N范围)

Fig 3 Temporal evolution (1982—1999) of observed area-averaged sea surface temperature anomaly (°C) over 5 S~5 N, 150~90 W (solid line), and 5 S~5 N, 120~80 W (dash line)

(具体位置如图 2a 所示),将各区的纬向距平风速分别加起来平均,所得平均值称为区域平均纬向风距平。分析图 4 可知,在 1997 年 4 月之前即 El Niño 事件出现之前, A、B、C 区都出现了持续的西风距平: A 区为 1996 年 8 月—1997 年 2 月共 7 个月, B 区为 1996 年 11 月—1997 年 3 月共 5 个月, C 区为 1996 年 12 月—1997 年 4 月共 5 个月,且 A、B 区分别在 1997 年 2 月、3 月爆发一次较强的西风距平, C 区在 1997 年 3 月爆发一次强劲的西风距平。在 1997 年 4 月以后即 El Niño 事件发生后, B、C 两区仍都出现了持续的西风距平: B 区西风距平持续时间跨度为 1997 年 6—10 月共 5 个月,且在 8 月再次爆发一次较强的西风距平; C 区持续西风距平的时间跨度为 1997 年 4—10 月共 7 个月。1997 年 3 月起, D、E 区都爆发持续西风距平: D 区的时间跨度为 1997 年 3—11 月共 9 个月,且在 1997 年 3 月爆发一次强劲的西风距平; E 区的时间跨度为 1997 年 3 月—1998 年 4 月,西风距平持续时间长达 14 个月。从 A 区到 E 区,西风距平呈现出明显的由西向东传的特点,且西风距平在东传过程中有局地增幅现象。

爆发的西风距平除具有促使西太平洋暖池东端暖水向东伸展作用^[19-21]外,还可直接激发出东传的暖 Kelvin 波,暖 Kelvin 波东传到赤道东太平洋,对冷上升流有抑制作用,从而促使赤道东太平洋海表温度增加,进而有利于 El Niño 事件的发生、发展^[22]。

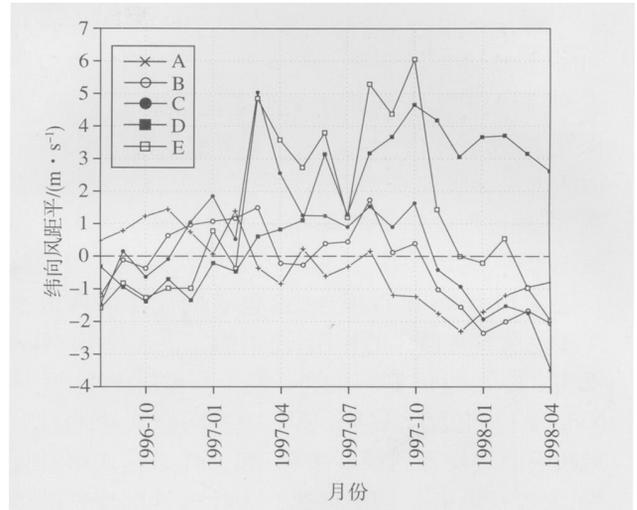


图 4 1996 年 8 月—1998 年 4 月逐月区域平均的纬向风距平(单位: m/s)

Fig 4 Temporal evolution (August 1996—April 1998) of monthly area-averaged zonal wind anomaly (units: m/s) for A, B, C, D, and E region

此外,有理论研究表明^[23],西风还可以通过埃克曼漂流效应,引起赤道两侧的海表暖水向赤道辐合,辐合的作用使赤道附近的表面暖水下沉,混合层厚度增加,海洋上层热含量增加。具体情况为,倘若离赤道的距离超过变形半径局地值

$$r = \frac{c}{f} \tag{1}$$

其中: c 为重力波速; f 为科氏参数。那么纬向风与其产生的海水运动的关系,也即埃克曼漂流表达式可以简化为

$$v = -\frac{x}{fH} \tag{2}$$

其中: v 为径向洋流流速; x 为纬向风应力; H 为上层海水平均深度。

由 (2) 式可知,埃克曼漂流在北半球漂向风的右方,南半球则漂向风的左方。假如是西风,在北半球形成向南的洋流,在南半球由于科氏参数是负值则形成向北的洋流,于是西风的爆发则引发的埃克曼漂流将向赤道辐合,并随着纬度减低而增幅,所以下沉流在赤道附近必定增强;若是东风情况恰相反。

因此,东传到赤道东太平洋的异常西风可以引发埃克曼漂流,将赤道两侧的海表暖水向赤道辐合,增强赤道附近的下沉流,从而有利于赤道东太平洋海表温度的增加,进而有利于 El Niño 事件的发生、发展。

综上所述,异常西风爆发是 1997/1998 年 El Niño 事件发生、发展的必要条件之一。同时也应注意到,西太平洋暖池是西风距平能够对 El Niño 事件发生、发展产生影响的一个不可忽缺的前提条件,而西太平洋暖池对赤道东太平洋海表温度变化的影响,则通过西风距平的爆发来实现。对于西太平洋暖池来讲,其始终存在,但并不是有西风距平爆发就一定有 El Niño 事件发生,这也表明仅考虑西太平洋暖池及异常西风的作用,还不能完全描述 El Niño 发生、发展的机制。此外,关于 1997/1998 年 El Niño 事件的发生、发展,还有一些问题无法通过西风距平的爆发得到很好解释,如为什么这次事件发生、发展及结束都异常迅速?为什么这次事件的强度异常强大,且最大强度为什么会出现在 12 月而不是其他月份?这些问题在现有的研究工作中也没有给予很好回答,而这也正是本文接下来将要进一步研究的。

3.2 东太平洋暖池经向距平风

西太平洋暖池常年存在,以爆发的西风距平作为“媒介”,跨越半个太平洋对赤道东太平洋海表温度变化产生影响。位于赤道以北、120°W 以东的东太平洋暖池基本上常年存在,且与 Niño3 区毗邻,二者甚至有部分区域重叠,如果有异常北风爆发,那将有利于东太平洋暖池对 Niño3 区海表温度变化产生影响。下面将分析研究 1996 年 8 月—1998 年 4 月期间,东太平洋暖池是否有北风距平出现,如果有的话,那么北风距平强度的时间演变特征又将如何?

首先由 120°~80°W 平均的经向距平风纬度—时间剖面(图 5)可知,1996 年 11—12 月,自 25°N 爆发一次北风距平且到达 10°S 以南, -0.5 m/s 以上的最大风速出现在 20°N 附近。1997 年 2 月,自 22.5°N 爆发北风距平,且 1997 年 2 月—1998 年 3 月期间,5°S~10°N 之间持续维持北风距平,同时 1997 年 4—12 月期间,0~10°N 之间的北风距平都在 -0.5 m/s 以上,尤其是 1997 年 7、8 月北风距平的强度最强,风速达到 -1.5 m/s 以上。此外,1997 年 2 月—1998 年 4 月期间,有 3 次明显的北风距平穿越 5°S 继续南行,分别发生在 1997 年 3—5 月、1997 年 7—8 月及 1997 年 12 月—1998 年 2 月,前两次北风距平较弱,都在 -0.5 m/s 以下,第三次北风距平风速较强,达到了 -0.5 m/s 以上。1997 年 5—7 月、9—11 月期间,北风距平向南都止步于 5°S。总的看来,1997 年 5—12 月期间,0~10°N 之间有明显的北风距平出现,而在 1998 年 1—4 月期间,赤

道北侧的北风距平强度较南侧小,尤其是 1998 年 1—2 月期间,5°S 以南的北风距平强度达到 -0.5 m/s。上述分析表明,在 1997/1998 年 El Niño 事件期间东太平洋暖池有明显、持续的北风距平爆发。

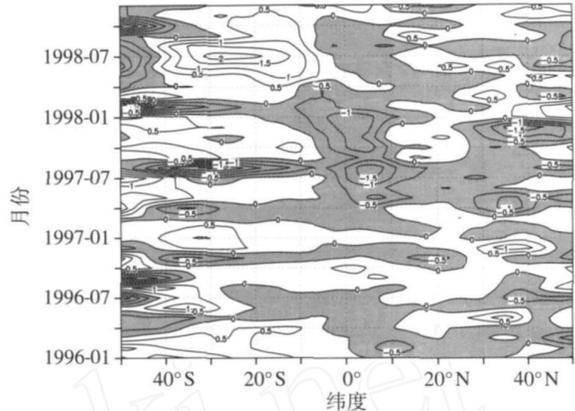


图 5 1996 年 1 月—1998 年 12 月 120°~80°W 平均经向距平风纬度—时间剖面(等值线间隔 0.5 m/s,阴影为平均的北风距平,单位: m/s)

Fig. 5 Latitude-time (January 1996—December 1998) cross section of the meridional wind anomaly (m/s) averaged over 120°–80°W (the contour interval is 0.5 m/s, and the shaded area denotes average north wind anomaly)

为了更进一步分析东太平洋暖池北风距平强度的演变过程,下面将分析研究(120°~80°W, 20°~30°N)、(120°~80°W, 10°~20°N)及(120°~80°W, 0°~10°N)区域平均的经向风距平随时间的演变特征(图 6),为便于分析,分别称之为 X、Y 及 Z 区(具体位置如图 2a 所示)。总体看来, X 区在 1997 年 5、7、8 月北风距平强度较大,风速都在 -0.3 m/s 以上,同时,1996 年 11 月—1997 年 7 月北风距平强度呈递增趋势,1997 年 7 月—1998 年 2 月北风距平强度呈递减趋势。对于 Y 区来讲,1996 年 11 月及 1997 年 5、7、8 月爆发的北风距平的强度是较强的,风速都在 -0.5 m/s 以上,同时,1996 年 11 月—1997 年 8 月北风距平强度呈递增趋势,而 1997 年 8 月—1998 年 4 月北风距平强度呈递减趋势。对于 Z 区来讲,1996 年 11 月—1997 年 8 月北风距平强度呈递增趋势,1997 年 8 月—1998 年 3 月北风距平的强度呈递减趋势。上述分析表明, X、Y、Z 区不仅有持续的北风距平爆发,且北风距平的强度在 1997 年 7 月或 8 月之前呈波动递增趋势,并在 1997 年 7 月或 8 月风速达到最大值,随后北风距平的强度呈现递减趋势。可见,东太平洋暖池区北风距平的强度演变特征与 1997/1998 年 El Niño 事件的发展过程

有密切关系。

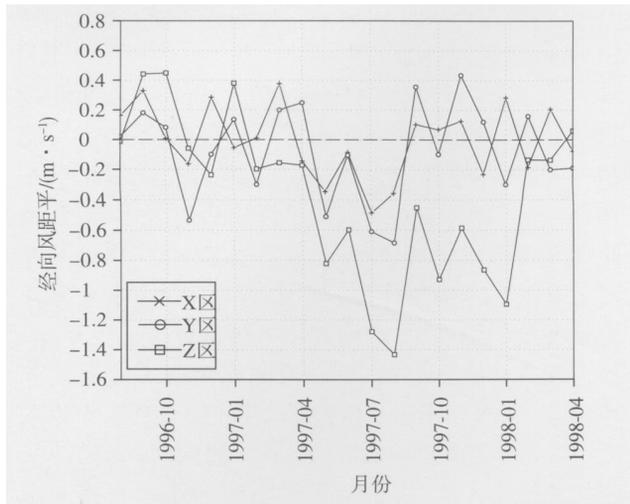


图 6 1996年 8月—1998年 4月逐月区域平均的经向风距平 (单位: m/s)

Fig 6 Monthly evolution (August 1996—April 1998) of monthly area-averaged meridional wind anomaly (m/s) for X, Y, Z region, respectively

上述分析表明,在 1997/1998E1N iño事件期间东太平洋暖池有持续的北风距平爆发。已有研究^[24-26]表明,北风应力可以驱使海水形成向南运动的风吹洋流。因此,本文认为北风距平通过其引发的向南运动的洋流可将东太平洋暖池暖水向南输送,从而可直接导致 N iño3区海表温度增加。这也与高士英等^[27]所持观点相似。至于北风距平能否激发出海洋波动作用,目前还不清楚,有待将来进一步研究。

4 1997/1998年 E1N iño事件发生、发展可能机制的进一步研究

由前文分析可知,在 1996年 11月, X、Y、Z区都爆发北风距平,尤其以 Y区最为显著,表明来自 X区的北风距平在 Y区局地增强,到达 Z后急剧减弱,这是 1997/1998年 E1N iño事件发生之前,北风距平首次较大规模地将东太平洋暖池暖水由北向南输送,并造成暖水在赤道附近堆积。1997年 2月, Y、Z区都再次爆发了北风距平,为 N iño3区再次输送暖水。1997年 3、4月, Z区有北风距平存在,仍将暖水向南推移。因此,在 1997年 4月 E1N iño事件出现之前,东太平洋暖池爆发不同强度的北风距平,将东太平洋暖池的暖水向南即向 N iño3区输送,这为 E1N iño事件的发生创造了一定的必要条件。同时,1997年 3月,西风距平的强劲爆发驱动西太

平洋暖池东边界明显向东伸展。由此可见,正是 1997年 4月之前东太平洋暖池爆发的北风距平及西太平洋暖池爆发的西风距平的共同作用下,才足以导致 E1N iño事件在 1997年 4月迅速发生,如果没有此间东太平洋暖池爆发的北风距平的作用,可能 1997/1998年 E1N iño事件的发生也难以达到这么迅速。

1997年 5—8月,由北到南 X、Y、Z区都持续爆发了北风距平,北风距平强度由 X区到 Y区有所增强,当到达 Z区时,北风距平的强度发生了局地跃变,不仅强度都在 - 0.5 m/s以上,而且最大风速达到 - 1.4 m/s,这种情况在 1997年 8月表现的尤为突出: X区的北风距平风速为 - 0.39 m/s,到达 Y区后,北风距平强度迅速局地增幅,风速达到 - 0.72 m/s,到达 Z区后,北风距平强度局地跃变,风速达到 - 1.4 m/s。与此同时,东太平洋暖池也达到其最强盛时期,尤其是在 1997年 8月达到最强。因此强盛的东太平洋暖池与强劲的北风距平的爆发,必将导致大量的暖水由北向南输送,从而使 E1N iño事件强度急剧增加成为了可能。在此期间也爆发了持续西风距平,同样是在 1997年 8月西风距平最为强劲,导致了西太平洋暖池的东暖水块的东边界发生了一次明显的向东伸展跃变,且东伸至 120°W附近。在此期间,有持续西风距平、北风距平爆发,西风距平、北风距平将丰富的暖水分别由西、由北向 N iño3区输送,共同导致了这个时期的 N iño3区海表温度急剧上升,这在 N iño3指数时间演变上(图 1)也清楚可见。1997/1998年 E1N iño事件之所以发展最快,强度最强,与“延滞振子”理论中暖 Kelvin波东传,以及东传到东太平洋的异常西风通过埃克曼漂流作用加强东太平洋赤道附近下沉流也密不可分。但相对来讲,西风距平、北风距平分别将西太平洋暖池东部、东太平洋暖池的暖水向 N iño3区输送,所起得增温作用可能更为直接。

1997年 8月之后至 E1N iño事件达到鼎盛期,即 1997年 9—12月期间, X区仅在 1997年 12月有北风距平出现,而对于 Y区来讲,仅在 1997年 10月有弱的北风距平出现, X区和 Y区在 1997年 9—12月期间,基本没有向 Z区“输送”北风距平。对于 Z区来讲,1997年 9—12月仍有 - 0.5 m/s以上的北风距平爆发,但强度较 1997年 5—8月有所减弱。与此同时,东太平洋暖池暖水强度呈递减趋势,且在 1997年 12月暖水强度降到最弱。上述原因将致使北风距平从东太平洋暖池向南输送的暖水量在逐渐

减小,并在 1997 年 12 月降到最少。另一方面,位于 5°S 以北的 -0.5 m/s 以上的北风距平在 1997 年 12 月首次穿越 5°S 到达 5°S 以南,这也意味着由 5°S 以北向 5°S 以南输送的暖水在增加,这也将导致 5°S 以北暖水流失。因此,可以认为 1997 年 9—12 月东太平洋暖池北风距平减弱或消失,以及东太平洋暖池暖水强度的减弱,共同造成由东太平洋暖池向 Niño3 区输送的暖水量在减少,从而使 Niño3 区海表温度增加减缓,特别是在 1997 年 12 月,东太平洋暖池的暖水强度降到最弱,可能导致由东太平洋暖池向 Niño3 区输送的暖水量可能降到最少,与此同时, -0.5 m/s 以上的北风距平首次穿越 5°S 向南爆发(图 5),这可能致使 Niño3 区暖水的流失量达到最大。因此,对于 Niño3 区来讲,在 1997 年 12 月,从东太平洋暖池获取的最少暖水量,可能与由 5°S 向南流失的最大暖水量达到平衡,这意味着,此刻东太平洋暖池对 Niño3 区的增温效果可能为 0,即对 Niño3 区不再具有增温作用。对于同时期的西风距平来讲,1997 年 12 月, 180° 以西赤道太平洋西风距平完全消失且有东风距平出现,这也可能导致此时西风距平对 Niño3 区增温的总贡献降为 0。因此,这两方面不利因素同时出现,可能是导致 Niño3 区海表温度不再继续增加的主要原因,结果使 Niño3 指数在 1997 年 12 月达到最大。

1997 年 12 月以后, X 区在 1998 年 2 月、4 月出现北风距平; Y 区在 1998 年 1 月、3 月、4 月都有北风距平爆发; Z 区在 1998 年 1 月有 -1.1 m/s 的北风距平爆发,而在 1998 年 2 月、3 月北风距平急剧减小,仅有弱的北风距平出现,1998 年 4 月已转为南风距平。可见,仅在 1998 年 1 月, Y、Z 区还有较强的北风距平爆发,而在 1998 年 2 月、3 月期间,两区北风距平强度都较弱,且 1998 年 1—3 月也是东太平洋暖池强度较弱时期,因此,北风距平自东太平洋暖池向 Niño3 区输送的暖水量迅速减少。更进一步分析发现,1998 年 1 月以后, 10°S 以南北风距平的强度大于赤道以北北风距平的强度,尤其在 1998 年 4 月赤道以北转为南风距平而赤道以南仍为北风距平,这可能会导致 Niño3 区经向方向的暖水“入不敷出”,从而导致 Niño3 区的海表温度继续下降。与此同时,1997 年 12 月之后, 180° 以西赤道西太平洋东风距平进一步盛行,一方面东风距平会将西太平洋暖池东界向西驱动,从而切断向东平流的暖水来源;另一方面,东风距平激发产生的冷 Kelvin 波东传到赤道东太平洋同样会导致 Niño3 区海表温度

下降。因此,可以认为正是上述因素直接导致 1997 年 12 月之后 Niño3 区海表温度急剧下降,进而促使 E1 Niño 事件迅速衰亡。

基于上述对 1997/1998 年 E1 Niño 事件演变过程的分析,进一步研究了该暖事件发生、发展的可能机制:西风距平驱动西太平洋暖池的东端暖水向东伸展,直接有利于赤道东太平洋海表温度上升;西风距平直接激发的暖 Kelvin 波东传到赤道东太平洋对上升流起到抑制作用,从而有利于赤道东太平洋海表温度的增加;异常西风东传到赤道东太平洋,通过埃克曼漂流,可引发赤道两侧的海表暖水向赤道辐合,从而加强赤道附近的下沉流,有利于赤道东太平洋海表温度的增加。几乎与此同时,北风距平引发北风吹洋流,将东太平洋暖池的暖水直接向南输送至赤道附近,从而有利于 Niño3 区海表温度的增加。正是西太平洋暖池及爆发的西风距平和东太平洋暖池及爆发的北风距平,对 Niño3 区海表温度变化的共同影响,导致了 Niño3 区海表温度的迅速增加、异常强大,最终导致了 1997/1998 年 E1 Niño 事件的迅速发生、急剧发展。

5 结论

(1) 在 1997/1998 年 E1 年 Niño 事件期间,东、西太平洋暖池海表温度都存在明显的阶段变化特点,且二者的水平分布特征及强度的时间演变特征与 1997/1998 年 E1 Niño 事件的发生、发展过程有许多相似之处。中西太平洋爆发的纬向风距平和东太平洋暖池爆发的经向风距平的性质及强度都与同期 Niño3 指数变化密切相关。

(2) 基于理论分析得知,东传的异常西风通过埃克曼效应将赤道两侧的海水向赤道辐合,辐合加强了赤道附近的下沉流,同时抑制了冷上升流,从而有利于东太平洋赤道附近海表温度的增加。

(3) 通过将西太平洋暖池、西风距平和东太平洋暖池、北风距平结合起来考虑,全面解释了 1997/1998 年 E1 Niño 事件迅速爆发、急剧发展以及迅速衰亡的特点,进一步研究了 1997/1998 年 E1 Niño 事件发生、发展的可能机制:西风距平驱动西太平洋暖池东界向东伸展和激发产生暖 Kelvin 波东传以及东传的异常西风引发埃克曼漂流效应共同导致赤道东太平洋海表温度增加,几乎与此同时,北风距平将东太平洋暖池的暖水向南输送直接导致赤道附近海表温度增加,上述增温因素的叠加作用导致 1997/1998 年 E1 Niño 事件迅速发生、急剧发展。

参考文献:

- [1] 朱伟军,孙照渤. ENSO 事件对冬季北半球太平洋风暴轴维持的影响 [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(2): 189-195.
- [2] 李琳,李崇银,谭言科. ENSO 年冬季北半球平流层大气环流异常特征分析 [J]. 气象科学, 2008, 28(4): 355-362.
- [3] 倪东鸿,孙照渤,赵玉春. ENSO 循环在夏季的不同位相对东亚夏季风的影响 [J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 48-54.
- [4] 夏冬冬,施能,陈绿文. 1948—2000 年 ENSO 事件与全球陆地年降水量的关系 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 432-438.
- [5] 王国荣,罗哲贤,赵东. 西北地区 3—9 月降水量与 ENSO 的联系 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(6): 849-856.
- [6] 赵亮,邹力,王恩华. 与 ENSO 有关和无关系年江、淮旱涝可能成因研究 [J]. 气象科学, 2007, 27(6): 618-625.
- [7] Yu L, Rienecker M M. Evidence of an extratropical atmospheric influence during the onset of the 1997-98 E1N iño [J]. Geophys Res Lett, 1998, 25(18): 3537-3540.
- [8] Picaut J, Hackert E, Busalacchi A J, et al Mechanisms of the 1997—1998 E1N iño-La Niña, as inferred from space-based observations [J]. J Geophys Res, 2002, 107(C5): 1-20.
- [9] 黄荣辉,张人禾,严邦良. 热带西太平洋纬向风异常对 ENSO 循环的动力作用 [J]. 中国科学 D 辑, 2001, 31(8): 697-704.
- [10] 严邦良,张人禾. 热带西太平洋风应力异常在 ENSO 循环中作用的数值试验 [J]. 大气科学, 2002, 26(3): 315-329.
- [11] 李崇银,穆明权. 厄尔尼诺的发生与赤道西太平洋暖池次表层海温异常 [J]. 大气科学, 1999, 23(5): 513-521.
- [12] 巢纪平,袁绍宇,巢清尘,等. 热带西太平洋暖池次表层暖水的起源—对 1997/1998 年 ENSO 事件的分析 [J]. 大气科学, 2003, 27(2): 145-151.
- [13] 岳彩军,陆维松,曾刚,等. 1997、1998 E1N iño 事件的热力学诊断分析 [J]. 气象科学, 2008, 28(5): 473-479.
- [14] 穆明权,李崇银. 西太平洋暖池次表层海温异常与 ENSO 循环的循环作用 [J]. 大气科学, 2000, 24(4): 447-460.
- [15] Kessler W S. Mean three-dimensional circulation in the northeast Tropical Pacific [J]. J Phys Oceanogr, 2002, 32(9): 2457-2471.
- [16] 岳彩军,陆维松. 东太平洋暖池及经向风异常在 ENSO 事件发生、发展过程中的作用 [J]. 大气科学, 2008, 32(5): 1051-1063.
- [17] Wang C Z, Weisberg R H. The 1997—98 E1N iño evolution relative to previous E1N iño events [J]. J Climate, 2000, 13(1): 488-501.
- [18] Zebiak S E. Tropical atmosphere-ocean interaction and the E1N iño/Southern Oscillation phenomenon [D]. Cambridge: Inst of Technol, 1984.
- [19] Picaut J, Ioualalen M, Menkes C, et al Mechanisms of the zonal displacement of the Pacific warm pool: Implications for ENSO [J]. Science, 1996, 274: 1486-1489.
- [20] 龙宝森,李伯成,邹娥梅. 热带西太平洋异常东伸与热带东太平洋海温 [J]. 海洋学报, 1998, 20(2): 35-42.
- [21] 张启龙,翁学传,侯一筠,等. 西太平洋暖池表层暖水的纬向迁移 [J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 33-39.
- [22] Suarez M J, Schopf P S. A delayed action oscillator for ENSO [J]. J Atmos Sci, 1988, 45: 3283-3287.
- [23] 余志豪,蒋全荣. 厄尔尼诺,反厄尔尼诺和南方涛动 [M]. 南京:南京大学出版社, 1994: 109-114.
- [24] 邢如楠. 一个简单热带海气耦合系统中短期气候振荡的数值试验 [J]. 气象学报, 1983, 41(2): 211-218.
- [25] 宁波海洋学校. 海洋学 [M]. 北京:海洋出版社, 1986: 158-167.
- [26] 赵其庚. 海洋环流及海气耦合系统的数值模拟 [M]. 北京:气象出版社, 1999: 18-27.
- [27] 高士英,吕竟夕,张林. 东北太平洋冬季风的异常与厄尔尼诺 [J]. 海洋学报, 1991, 13(4): 500-506.

(责任编辑:刘菲)