



# 2014—2016 年超强 El Niño 事件的发生发展过程与机理分析

丁一汇

中国气象局 国家气候中心,北京 100081

\* 联系人, E-mail: dingyh@cma.gov.cn

2016-10-28 收稿, 2016-11-04 接受

**摘要** 本文主要分析了 2014—2016 年超强 El Niño 事件的发生发展过程与机理。结果表明,整个 El Niño 生命期长达 2 a 左右(2014 年 4 月—2016 年 5 月),其演变过程可划分为 4 个阶段:1)早期的西风连续爆发(2013 年 12 月—2014 年 4 月)。连续三次西风爆发不但改变了热带中东太平洋长期盛行的偏东信风,同时也开始改变了中东太平洋长达 12 a 的平均冷水状态,使海表温度开始增暖,在 2014 年初春超过  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,标志着一次新的 El Niño 事件可能在赤道中太平洋发生。2)交替的减弱与增强期(2014 年 6 月—2015 年 8 月)。赤道西太平洋继续发生了 6 次西风爆发,不但维持和增强了赤道中东太平洋的增温,而且通过了两次(2014 年 5—8 月与 2015 年 1—3 月)海洋增暖的减缓期或障碍期,使初生的 El Niño 事件不但未夭折,而且明显的增强为一次强 El Niño 事件。Niño3.4 区海温指数在 2015 年 8 月达到  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相应,赤道太平洋次表层中也观测到有 6 次暖 Kelvin 波东传,其正的热含量距平不但维持了赤道中东太平洋的连续增暖,也使 El Niño 的类型由中部型向东部型过渡。3)发展的鼎盛期(2015 年 9 月—2016 年 2 月)。西风出现 2 次更强的爆发,相应中东赤道太平洋对流活动异常强盛, Niño3.4 区快速增温,在 2015 年 11 月达到  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,增强到其超强阶段。4)快速衰减阶段(2016 年 3—5 月)。El Niño 迅速从 Niño3.4 区的  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  减少到  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。以后很快开始向冷海温过渡。2016 年 7—8 月, Niño3.4 区海温已接近  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种快速转换是延迟振子理论的一种体现。

通过本文分析,可以得到,这次 El Niño 发生发展与冷暖位相转换的观测事实与目前的理论结果(如充电振荡与延迟振子理论)是一致的。正因为如此,基于这些理论的 El Niño 预报也是相当成功的。这清楚地表明 El Niño 理论研究的成果对于相关业务预报发展具有明显的科学支撑力。

## 关键词

超强 El Niño  
发生发展  
演变机理  
西风爆发  
开尔文波

2014—2016 年发生的超级 El Niño 引起了国际和国内各方面的广泛关注。其主要原因有三个方面:1)为什么这次 El Niño 能发展成近 60 a 最强的 El Niño 事件? 2)它对全球与中国的天气气候与经济影响如何? 会不会造成严重的灾害和全球性农业减产与经济重大损失? 3)长达 15 a 的气候变暖趋缓或停顿是否会终止? 而又转为全球快速的气候变

暖阶段?

根据美国国家航天局(NASA)和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的最新数据,2016 年上半年地球的气温创下了史无前例的极值,比 20 世纪的气温高近  $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同时,极地海冰面积的平均值已跌破历史最低值(引自 2016 年 7 月 19 日美国全国公共广播电台网站)。

引用格式:丁一汇,2016.2014—2016 年超强 El Niño 事件的发生发展过程与机理分析[J].大气科学学报,39(6):722-734.

Ding Y H, 2016. Analysis of the process and mechanisms of genesis and development for 2014—2016 mega El Niño event[J]. Trans Atmos Sci, 39(6): 722-734. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20161028003. (in Chinese).

根据最近发表的一些相关研究,国内主要关注前两个问题(任宏利等,2016;邵懿和周兵,2016;袁媛等,2016;翟盘茂等,2016),并得到了十分有意义的初步成果,概括起来有下列几个方面:1)2014—2016年 El Niño 事件是自1951年以来1982—1983年和1997—1998年 El Niño 事件之后的第三次强 El Niño 事件,但持续时间、峰值强度、累计海温距平连续超过 $2^{\circ}\text{C}$ 的时间等指标均强于前两次 El Niño 事件。2)赤道中西太平洋的多次西风爆发过程驱动了次表层异常海温东传,使 El Niño 维持和发展。3)2014—2016年 El Niño 事件给全球、亚洲和中国的天气气候与环境带来了明显影响,尤其在2015—2016年冬季给华南造成了破历史记录的降水。2016年6—7月给长江中下游造成了严重的洪涝灾害。4)与全球气温一致,给2015年中国地面气温带来了创有观测记录以来的最高纪录。5)评估了国际和中国业务对这次 El Niño 预测的水平,指出绝大部分预测结果对其持续发展过程,峰值出现时间强度与类型的转换基本是成功的。目前国内科学家正进一步深入研究这次 El Niño 形成的过程和机理以及对全球、亚洲和中国的影响,尤其是对2016年夏季长江和华北极端洪涝的影响。另一方面,也正在评估国际和中国对这次 El Niño 预测的能力。

本文研究的重点是2014—2016年 El Niño 的发生发展问题,主要根据目前的 El Niño 形成理论分析这次 El Niño 形成的关键条件与演变过程,并试图从大气强迫条件和海洋的响应过程说明为什么这次 El Niño 能够发展成为超强 El Niño 事件。

## 1 资料与方法

本文研究所依据的资料有3种来源:1)中国气象局国家气候中心发布的监测和诊断资料;2)美国 NOAA 发布的2014年1月—2016年5月最优插值逐月海温数据(OI-SSTV2,分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ )与 NCEP/NCAR 逐月、逐日再分析资料(水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ );3)日本气象厅出版的“Monthly Highlights on the Climate System”公报(<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/index.html>)。

本文的研究方法是基于现代 El Niño 形成理论对发生发展关键条件进行观测和机理分析。在过去40 a左右,El Niño 理论形成的发展有3个阶段:1)首先提出了赤道中东太平洋两种极端冷暖海温

位相是两种海气耦合态,指出它们分别与东西风密切相关(Bjerknes,1969),但当时并没有提出两种状态的过渡机制。2)“充电振荡”理论的观测事实和发展。Wyrki(1975,1985)的观测研究结果是“充电振荡”理论的前身。根据东风、海平面上升、温跃层与 Kelvin 和 Rossby 波说明了冷暖态过渡的观测现象。Wyrki 的这个机制可与 Bjerknes 的反馈机制一起产生 ENSO 循环。同时 Cane and Zebiak(1985)用中等程度复杂模式也得到了类似结果。虽然他们都强调了东风的减弱或西风爆发与所引起的海洋波动产生的关键作用,但它们皆没有说明太平洋“充电”是如何实现的机理,因而并不是完整的理论,直到后来,延迟振子理论完成。3)延迟振子理论(Battisti,1988;Schopf and Suarez,1988;Battisti and Hirst,1989)。根据这个理论,一般东风盛行时,中东赤道太平洋 SST 是冷的。以后,El Niño 事件的发生,东风扰动或风场的变化是关键。如果有西风扰动,赤道太平洋西部的海温是暖的,造成深厚的温跃层。这又强迫海洋中的 Kelvin 波信号进一步降低其东侧的温跃层,增强正温跃层状态。此后上述这种海洋响应不断向东传播,造成赤道太平洋的增暖,同时通过西风应力向东,顺暖池 SST 梯度平流暖水也增强中东太平洋暖水区,两种作用共同形成 ENSO 的暖位相阶段。另一方面,在西风强迫区,同时也产生了西传赤道 Rossby 波信号。当它传播到西边界时,被反射作为冷的赤道 Kelvin 波向东传播到中东太平洋,以降低原西风区引起的海洋增温,同时向东传播的 Kelvin 波在东边界也被反射以 Rossby 波向西传播,通过这两种反射的波动在中东太平洋赤道海盆区相互作用可促使 ENSO 循环由暖位相向冷位相转换。因而,通过上述热带大气的海—气相互作用驱动了海洋状态过渡与冷暖趋势不停的突然转折,其行为非常类似于物理学中的一种延迟振子,即前一种状态的形成也为后一种状态的产生准备了条件。

由上可见,ENSO 理论的基本问题是能解释两种冷暖状态的转换。其中暖态的 El Niño 发生的关键条件是:1)持续东风盛行之后的西风爆发;2)西部温跃层的加深与 Kelvin 波产生并东传;3)秘鲁沿岸与大气环流年变化相关的离岸风(东南气流)产生的冷水上翻区的向北向西扩展受到明显抑制。本文以下将根据上述原则和关键条件分析2014—2016年超强 El Niño 的发生发展过程与相关机理。

## 2 连续的西风爆发与海洋升温

图1是2014—2016年El Niño事件的演变过程。整个事件的生命期(2014年4月—2016年5月)长达2 a左右。在这个时期至少观测到14次西风爆发。按El Niño强度(由Niño3.4海温距平表

示)的演变过程可分为四个阶段:

1)早期的西风连续爆发与El Niño事件的初生(2013年12月—2014年4月)

从2013年—2014年冬末到2014年春季,已观测到至少3次西风爆发过程(图2)。西风爆发不但

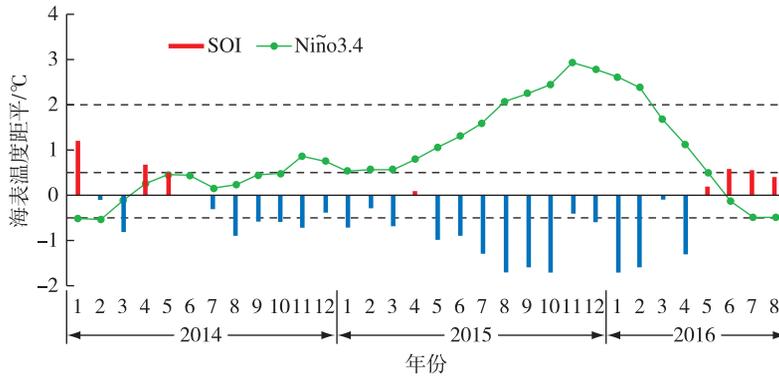


图1 2014—2016年El Niño事件的演变过程(单位:℃;红实线为Niño3.4区海温指数;蓝线为南方涛动指数)

Fig.1 Evolution process of El Niño events in 2014—2016(units:℃;The red solid line indicates the SST index in the Niño3.4 area;The blue line indicates the Southern Oscillation index)

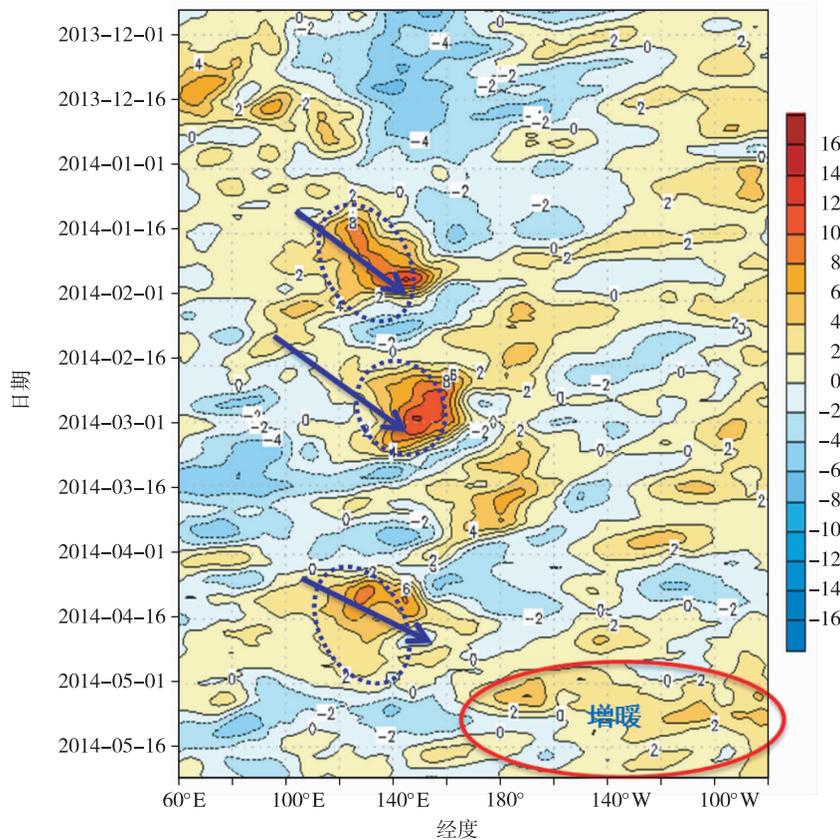


图2 2013—2014年太平洋赤道地区(5°N~5°S)850 hPa平均纬向风距平演变(单位:m·s<sup>-1</sup>;蓝色为东风区距平,红色区为西风距平)

Fig.2 850 hPa mean zonal wind anomaly evolution of Pacific Equatorial regions(5°N—5°S) in 2013—2014(units:m·s<sup>-1</sup>;The blue area indicates the anomaly in the easterly region, and the red area indicates the anomaly in the westerly region)

改变了热带中东太平洋长期盛行的偏东信风,同时也开始改变了中东太平洋长达 12 a 的平均冷水状态。实况监测(图 3a)显示,2014 年赤道太平洋海温上升首先从太平洋中部(日界线附近)开始,春末赤道太平洋东部海温也开始明显增暖,海温距平中心超过  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。中国气象局国家气候中心 ENSO 监测指标(Z 指数)表明在 5 月达到 El Niño 事件开始的标准( $>0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。暖海温在 2014 年春季迅速发展,由图 4 可以看到,由于西太平洋西风爆发后使表层海洋热含量迅速增长,西太平洋次表层暖海水东传,首先表现赤道为中太平洋明显增暖。春末赤道东太平洋(1+2 海区)也开始明显增暖,海温距平超过  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这时期国内外多家数值模式预测 2015 年末发生 El Niño 事件的概率达 50%~60%,并认为达到强 El Niño 事件的可能性较大。国家气候中心 4 月发布预测意见:赤道中东太平洋海温在 2014 年 5—6 月进入 El Niño 状态的可能性较大,并由此可能形成一次较强的 El Niño 事件。实际上,太平洋海温距平分布表明,在 2014 年 3—5 月在赤道太平洋中东部已形成了弱的 El Niño 事件,主要中心位于太平洋中部(图 5)。

2) 交替的减弱与发展 and 增强期(2014 年 6 月—2015 年 8 月)

在这期间,赤道太平洋连续发生了约 6 次持续

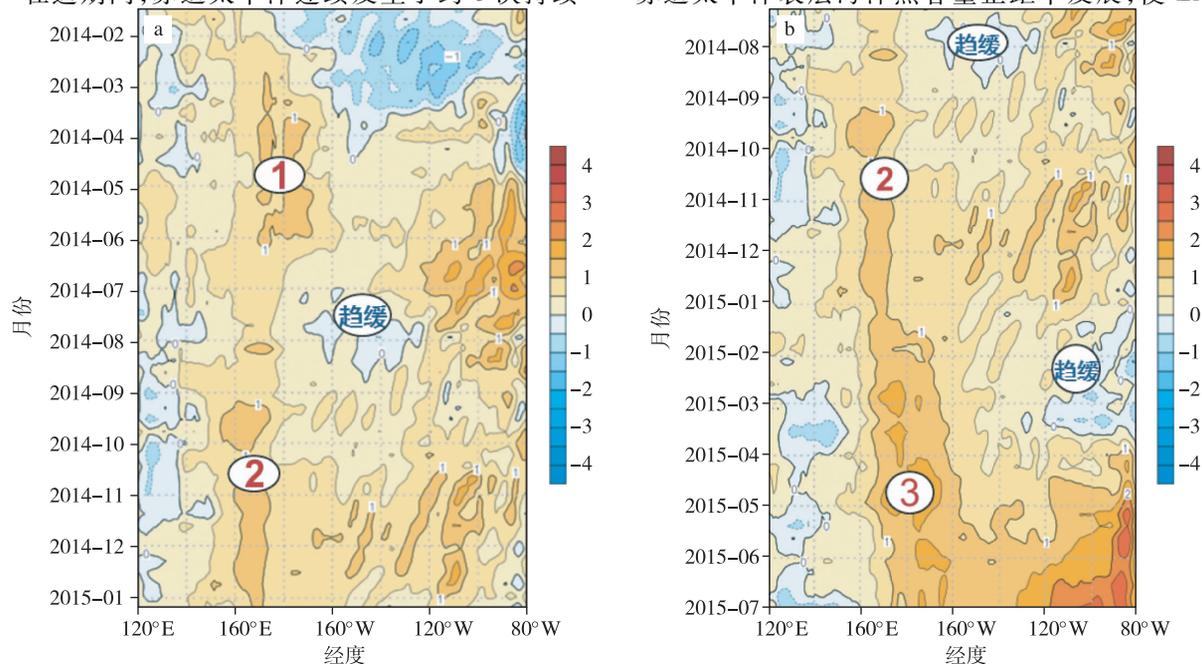


图 3 2014 年 1—12 月(a)、2014 年 8 月—2015 年 6 月(b)赤道太平洋地区( $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ )海温距平时间—纬度剖面(单位: $^{\circ}\text{C}$ ;红(蓝)色为暖(冷)海温距平;数字 1—3 表示增暖期)

Fig.3 Time-latitude profile of Equatorial Pacific( $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ ) SST anomaly:(a) January—December 2014;(b) August 2014—June 2015.The red(blue) part is the warm(cold) SST anomaly(units: $^{\circ}\text{C}$ ).Numbers 1—3 indicate the heating period

的西风爆发,不但继续和增强了赤道中东太平洋的增温,而且通过了两次(2014 年 5—8 月与 2014 年 10 月—2015 年 3 月)增温的减弱期或障碍期,使初生的 El Niño 事件不但未夭折,并明显增强为一次强 El Niño 事件。Niño3.4 区平均海表温度距平在 2015 年 8 月达到  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于 Kelvin 波的连续东传,El Niño 型也由中部型向东部型过渡。图 6 为这个期间西风爆发(图 6a、6b)与赤道太平洋热容量距平(图 6c、6d)的时间—纬度剖面。可以清楚地看到多次西风连续爆发的情况与两次海洋增暖的减缓期(图 3 与图 6c、6d),这两次减缓期形成的原因并不相同。2015 年 5—8 月的减缓期期间(所谓春季或夏季预报障碍),几乎观测不到较强的西风爆发持续东传,8 月甚至出现明显的东风距平。西太平洋次表层冷水发展,同时赤道东太平洋冷水也发展,但主要位于赤道以南地区,而赤道中太平洋仍为弱的暖水区。中东太平洋次表层热容量出现负距平(图 7a、7b、7c),ENSO 监测指标也呈现明显下降的特征,海温距平在 7—9 月增温停滞,基本维持在  $0.5\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。注意南方涛动指数(SOI)仍为明显负值,表明大气对海洋增暖的响应并没有变(图 7d)。

到 2014 年秋与前冬赤道西太平洋暖水距平再次发展并东传,这促使减弱的 El Niño 又开始加强。赤道太平洋表层海洋热容量正距平发展,使 ENSO

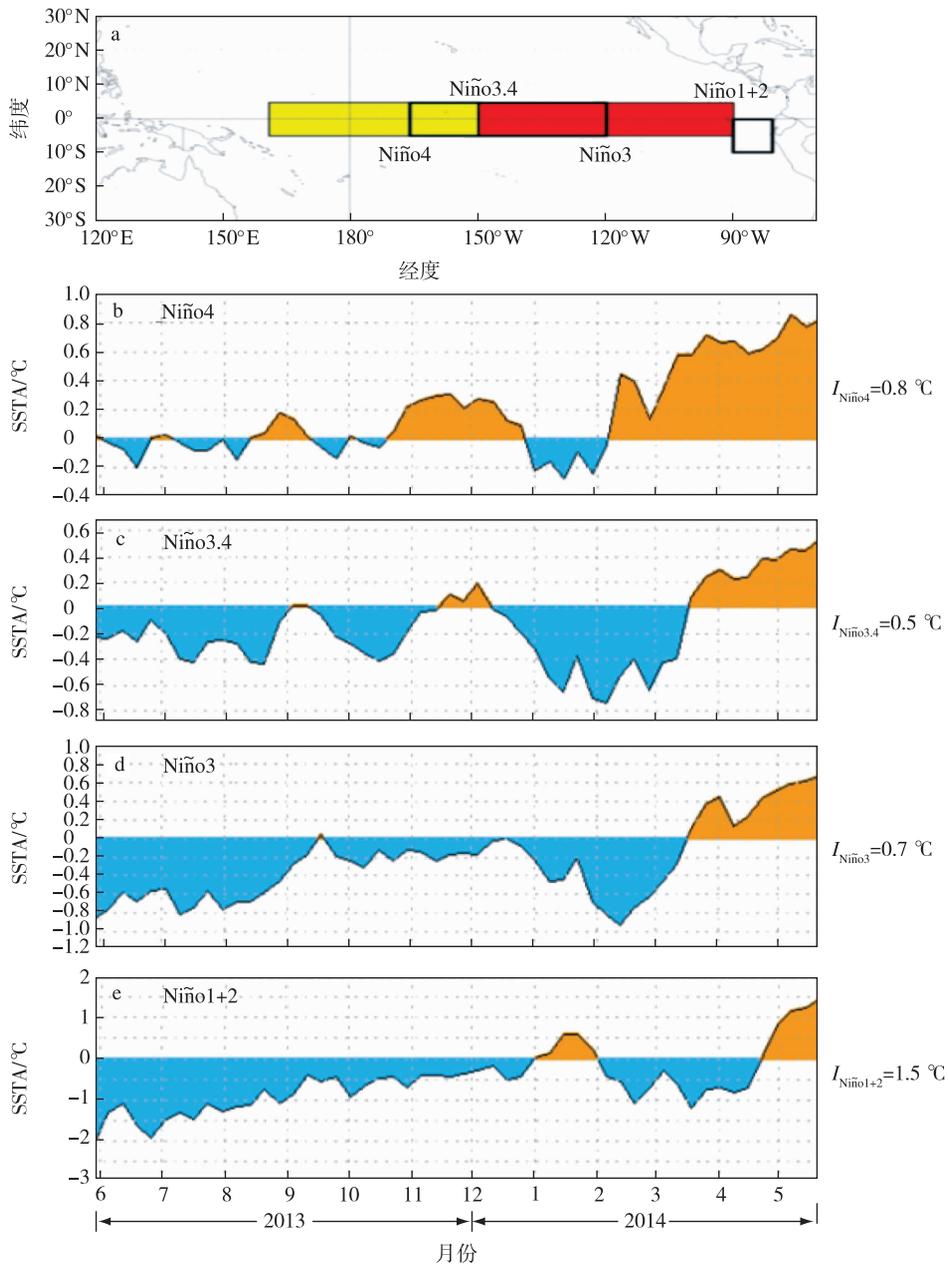


图4 赤道太平洋的 ENSO 监测区划分 (a) 及 2013—2014 年赤道中东太平洋不同海区平均 SSTA 的时间变化 (b—e; 单位:  $^{\circ}\text{C}$ ; 黄色(蓝色)为正(负)距平)

Fig.4 (a) shows the division of ENSO monitoring areas in the Equatorial Pacific area. (b—e) Time-variation of average SSTA in different sea areas of the Equator Middle East Pacific in 2013—2014 (units:  $^{\circ}\text{C}$ ). The red (blue) area indicates the positive (negative) anomaly

监测指标缓慢上升,并于11月达到 El Niño 的第一次峰值(Z指数为  $0.9^{\circ}\text{C}$ )。这种弱的 El Niño 特征一直维持到2014年底。到2015年1—3月,恢复后的 El Niño 又经历第二次增暖的减弱期,但这次海表温度迅速下降是发生在赤道东太平洋地区。这主要是由于东南太平洋副热带高压东南侧( $0^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{W}$ )的东南风季节性加强的结果。这种离岸风使南美沿海冷水上翻,并向北向西扩展,由图8可以清楚地看到这种冷水向赤道扩展的现象,但值得注

意的是,这时海表暖中心仍集中在日界线附近,依然表现出显著的中部型 El Niño 特征。因此,这次增暖减弱期主要影响赤道以南东太平洋东半部地区。由于暖的 Kelvin 波继续由中西赤道太平洋在次层把暖水向东输送,抑制了季节冷水层的向北向西扩展,并没有使 El Niño 事件消亡。

2015年春季以后,至少又观测到3次强西风爆发(图6b)。赤道西太平洋暖水层又再次发展加强,并向东传,El Niño 进入快速发展期。尤其是初夏连

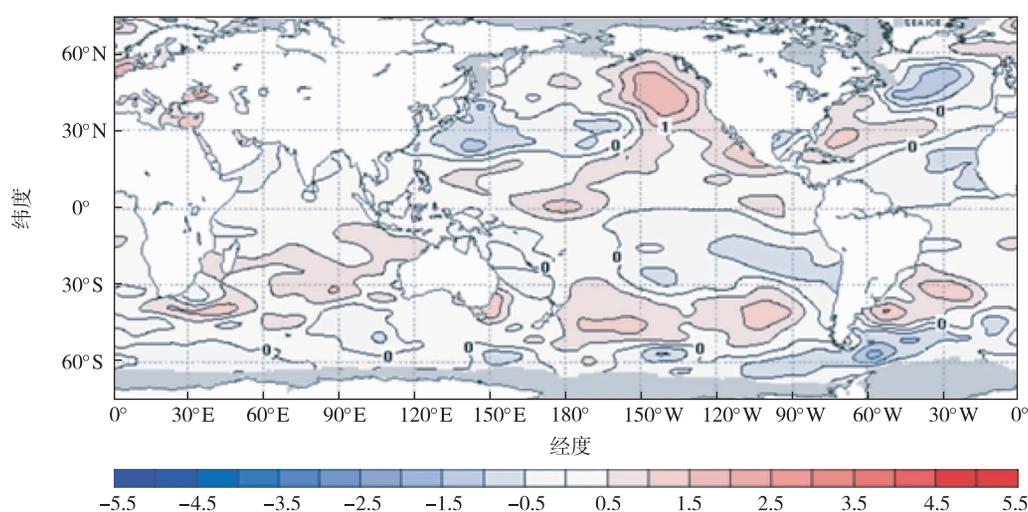


图5 2014年3—5月平均海面温度距平(等值线间隔0.5℃;距平相对于1981—2006平均值;取自JMA,2014)

Fig.5 Average sea surface temperature anomaly (SSTA) in March—May 2014. The contour interval is 0.5 °C. The anomaly is relative to the average of 1981—2006 (sourced from JMA, 2014)

续两次较强的太平洋次表层暖性海洋波动东传,有力地促进了太平洋海表海温的再次发展加强(图6d)。ENSO监测指标也表明,海温呈现快速上升趋势,2015年6月Niño3.4区达到了1.5℃以上。图7d清楚地显示了赤道太平洋上层热容量与海表温度距平的两次减弱与三次增暖过程。

由此可见,这次El Niño的发展是复杂的(图7d),经历了3次发展和2次趋势减缓或停顿的过程。其所以未被夭折,连续的西风爆发(至少12次)起着关键作用。另外,由图8也可清楚地看到El Niño型由前期的中部型转为典型的东部型过程。即使在一次El Niño演变过程中也可呈现多种状态及其转换(Capotondi et al., 2015)。

3) 超级El Niño的形成(2015年9月—2016年2月)

由于西风出现两次更强的持续性爆发(图9),相应中东赤道太平洋对流异常强盛(翟盘茂等, 2016)由此激发的海洋Kelvin波把次表层暖水更有效的向东传播,同时中东赤道太平洋对流活动异常强盛导致El Niño条件下耦合的海气相互作用明显加强,两者共同导致了El Niño事件进一步快速增强到超强阶段。表1给出了鼎盛期连续5周(10月26日—11月29日)不同海区海表温度的变化,可以看到,从11月第二周在Niño3.4与Niño3区皆达到了3℃的增温,到11月第三周Niño3.4区达到3.1℃增温。这是2014—2016年超强El Niño达到的最高海温值,并表现为东部型的El Niño(主要增温在

150°W以东)(图10)。

表1 2015年10月26日—11月29日ENSO监测指数变化(引自气候监测公报,2015)

Table 1 ENSO monitoring index changes from October 26 to November 29 2015 (Cited from Climate Monitoring Bulletin, 2015) °C

10—11月	NiñoZ	Niño4	Niño3.4	Niño3	Niño1+2
10月第五周 (10月26日—11月1日)	2.2	1.4	2.7	2.8	2.3
11月第一周 (11月2—8日)	2.3	1.7	2.8	2.8	2.1
11月第二周 (11月9—15日)	2.4	1.7	3.0	3.0	2.0
11月第三周 (11月16—22日)	2.4	1.8	3.1	3.0	2.1
11月第四周 (11月23—29日)	2.5	1.8	3.0	3.0	2.4

4) 快速衰减阶段(2016年3—5月)

在这个时期,西风爆发虽然存在,但强度明显减弱并主要限太平洋西部,中东太平洋偏东信风开始发展和盛行(图11),El Niño在Niño3.4区的海温距平迅速从2℃减少到0.5℃,以后开始向冷海温过渡(表1),到2016年8月,赤道中东太平洋已出现一条狭窄的冷水带(图12),这标志着长达2a左右的一次超强El Niño事件的结束。

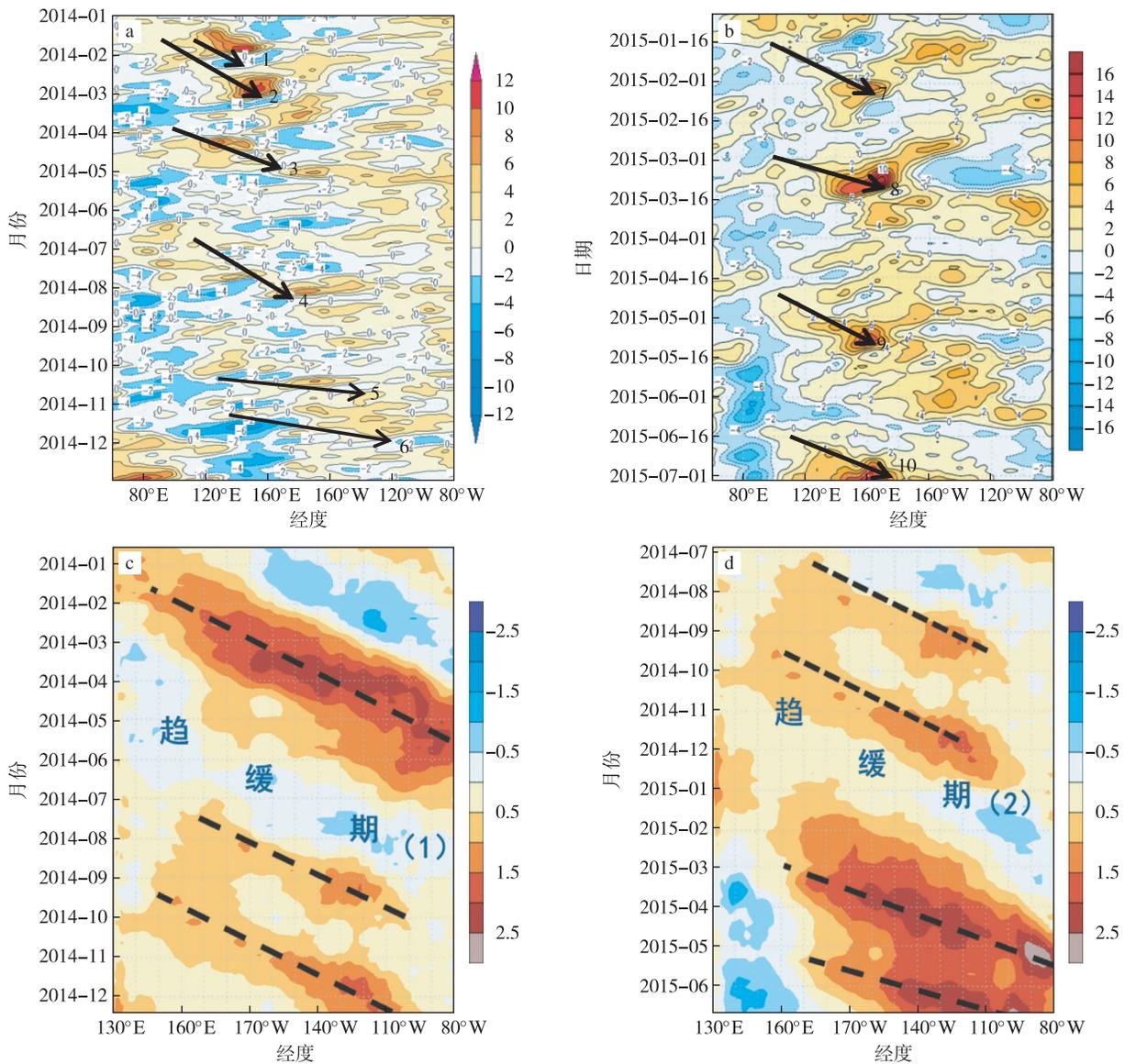


图6 2014年(a)、2015年(b)850 hPa赤道太平洋低层纬向风距平的时间—纬度演变(黑箭头表示西风爆发过程;红(蓝)色为西(东)风距平区),以及2014年1—12月(c)、2014年7月—2015年6月(d)赤道太平洋次表层热容量距平时间—纬度剖面(黑色虚线表示赤道太平洋次表层暖性波动的传播过程;红(蓝)区代表正(负)热容量区)

Fig.6 Time-latitude evolution of the Equator Pacific lower zonal wind anomaly (850 hPa) (a.2014;b.2015).The black arrows indicate a westerly eruption process, and the red (blue) part indicates the westerly (easterly) anomaly area. Time-latitude profile of the Equator Pacific subsurface thermal mass anomaly (c. January—December 2014; d. July 2014—June 2015). The black dotted line indicates the propagation process of the Equatorial Pacific subsurface warm fluctuation. The red (blue) part indicates the positive (negative) heat capacity area

### 3 海洋 Kelvin 波的形成与向东传播

引起海洋增暖发生的一个关键因子是信风东风分量的减弱。在 El Niño 发生前,加强的东风使西部海平面上升,维持了海洋上层由纬向温度梯度产生的向东的压力。这时西部海洋的响应主要是温跃层加深,其上的暖水层积累。这种混合层暖水在西风区以东的所有地区都增厚,斜温层厚度也增加。

同时赤道东太平洋(尤其是秘鲁沿岸)海水上翻,表层海温降低。这种形势即为所谓充电振荡理论的充电阶段。但是,一旦当东风减弱或西风爆发时,西高东低的海水压力不平衡将不能维持,结果西部海面下降,温跃层上抬,而东部沿海发生相反变化。作为海洋的明显响应,将使原在充电期不断储存的暖水层的热含量释放出来(放电阶段),由此产生向东移动的 Kelvin 波使暖水向东移动(同时产生向西的

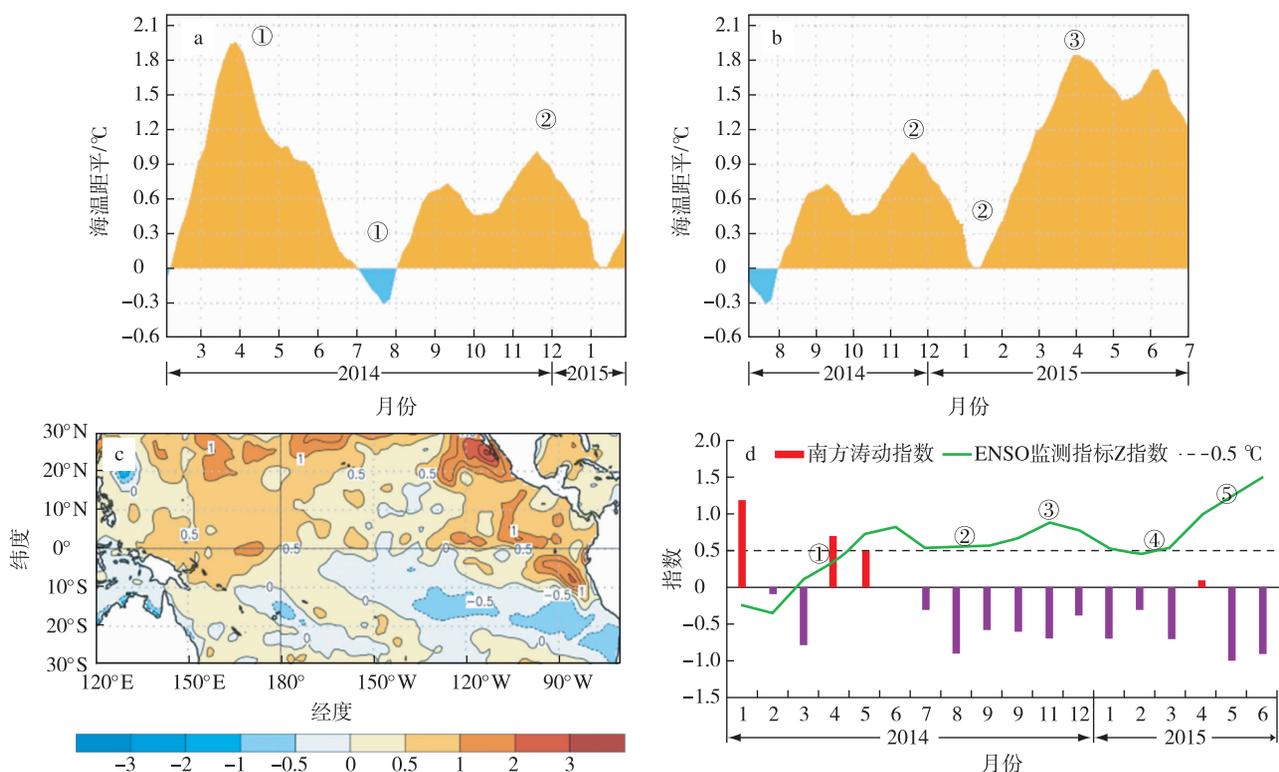


图7 2014年2月—2015年1月(a)、2014年8月—2015年6月(b)赤道中东太平洋次表层上层海洋热容量距平的时间变化(黄(绿)色圆圈的数字代表增暖期(减缓期));2014年8月热带太平洋海表温度偏差(c);以及2014年1月—2015年6月 ENSO 监测指标 Z 指数(单位:°C)和南方涛动指数(SOI)的时间变化曲线(d)

Fig.7 Time-variation of the upper ocean heat capacity anomaly in the Equator Middle East Pacific subsurface (a. February 2014—January 2015; b. August 2014—June 2015). The yellow (green) circle number represents the heating period (slowing period). (c) Tropical Pacific sea surface temperature deviation for August 2014. (d) Time-variation of ENSO monitoring index (Z index, units: °C) and Southern Oscillation index (SOI) in January 2014—June 2015

Rossby 波),从西太平洋扰动区传播到东太平洋,大约需要 60 d 时间。Kelvin 波的能量来自西太平洋在东风盛行时期积累的暖水。只有当东风减弱或西风爆发才能启动 Kelvin 波将暖水东传。当 Kelvin 波到达南美沿岸,发生下翻(downwelling),暖水在沿岸地区积累,南赤道流的强度减弱,这使秘鲁海流的冷平流减弱。在 Kelvin 波与信风减弱的共同作用下,赤道上翻减弱,因而赤道表层迅速增暖,表现为 1+2 区海温增温,这就是经典的东部型 El Niño 事件的发生。中部型增暖只是在全球气候变暖后(1980—1990 年)被逐步认识的(Ashok et al., 2007; Kao and Yu, 2009)。应该指出,ENSO 期间海表温度的变化关键是信风的减弱,但信风减弱的原因很多,西风爆发只是其中表现之一,并且常常是随机的。另一方面,信风的减弱其本身又是大气对异常高海温响应的一部分。因而,与海气相互作用有关的这两种原因增加了预报 ENSO 爆发的复杂性,使 ENSO 预报十分困难。

2014—2016 年 El Niño 发生期间 Kelvin 波产生

与东传是十分明显的(邵颢和周兵,2016)。邵颢和周兵(2016)的结果表明,2014 年 2—6 月第一次增暖期对应于一次暖的 Kelvin 波东传过程,2014 年 8 月与 2015 年 1 月和 2 月分别对应于两次增暖的减缓期(该文中图 13 中 2 月与 5 月小图)。可以看到冷水期控制着东太平洋地区。Kelvin 波的向东传播主要被限制在赤道中太平洋地区。由他们的图还可以看到,到 2015 年 9 月以后,一次很强的暖 Kelvin 波缓慢东移,使 El Niño 快速发展到超强阶段。

我们这里给出三次关键时期 Kelvin 波传播(图 13 和 14),据此可更清楚地看出 Kelvin 波在赤道东太平洋东传受来自秘鲁沿岸冷水区阻挡的情况。尤其是发生在 2015 年 1—2 月的冷水区面积与厚度远比第一次(2014 年 8 月)要广,要深。但无论如何,来自西太平洋的暖 Kelvin 波不断在西风爆发驱动下东传。这是使这次 El Niño 不致夭折的主要原因。2015 年 4 月与 5 月,可以看到强烈的次表层暖海水向东传播的过程(图 15)。东太平洋与南美沿岸的冷海水已完全消失,这种由 2 次强西风爆发

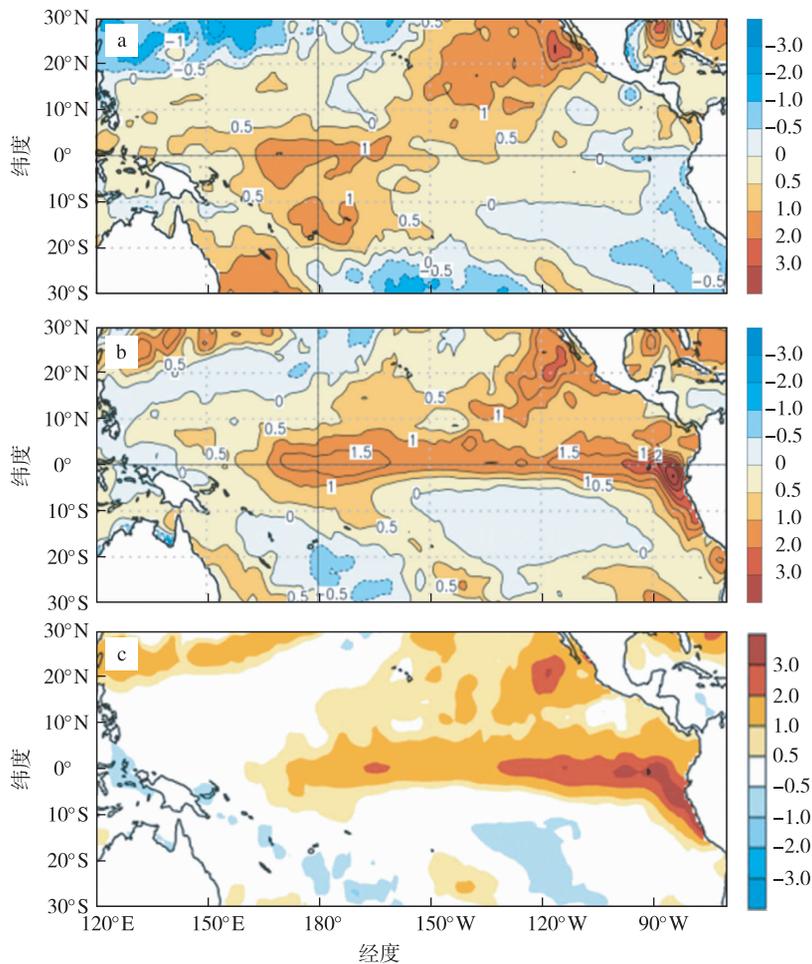


图8 热带太平洋海表温度偏差(SSTA)分布 a.2015年1月11日—2月7日;b.2015年4月26—5月23日;c.2015年6月22—28日

Fig.8 Tropical Pacific sea surface temperature anomaly (SSTA) distribution a. January 11—February 7 2015;b. April 26—May 23 2015;c. June 22—28 2015

启动 Kelvin 波对暖海水缓慢的东传使 El Niño 发展达到了盛期,成为近 60 a 来最强的一次 El Niño 事件。这次超强 El Niño 之后,迅速转换为冷位相。过去的观测表明,绝大部分 La Niña 是紧接 El Niño 事件之后发生,这符合延迟振子理论。

#### 4 结语

本文通过 2014—2016 年超强 El Niño 期间观测得到的大气风场、海表温度和次表层热含量资料分析了这次 El Niño 的一波三折的发展过程与增强到超强 El Niño 条件和机理。结果表明:

1) 2014—2016 年超强 El Niño 是近 60 a 最强的一次 El Niño 事件,其在 Niño3.4 区平均最大增温达到了 3.1 °C,整个事件持续时间在 2 a 左右。其生命期可分为早期的爆发,波动式发生发展和增强,超强事件的形成与快速减弱 4 个阶段。

2) 早期的连续西风爆发不但改变了赤道太平洋长期持续的偏东信风,而且也改变了赤道中东太平洋长达 12 a 之久的冷水状态,使海洋进入 El Niño 事件的初生阶段。

3) 在 El Niño 的发展期经历了三次加强与二次衰减或停顿的复杂演变过程。2014 年夏季与 2015 年冬季的衰减期主要由来自南半球秘鲁沿岸由季节性离岸风(东南风)造成的冷水上翻和向北向西扩展造成。但由于 6 次连续的西风爆发和海洋对大气响应产生的 Kelvin 波对暖海水的不断东传,不但维持和增强了赤道中东太平洋的增温,而且抑制了这两次冷水事件向赤道中东太平洋的扩张,使初生的 El Niño 事件不但未夭折,而且明显地增强为一次强 El Niño 事件。

4) 在 El Niño 发展的鼎盛时期,2 次强西风爆发

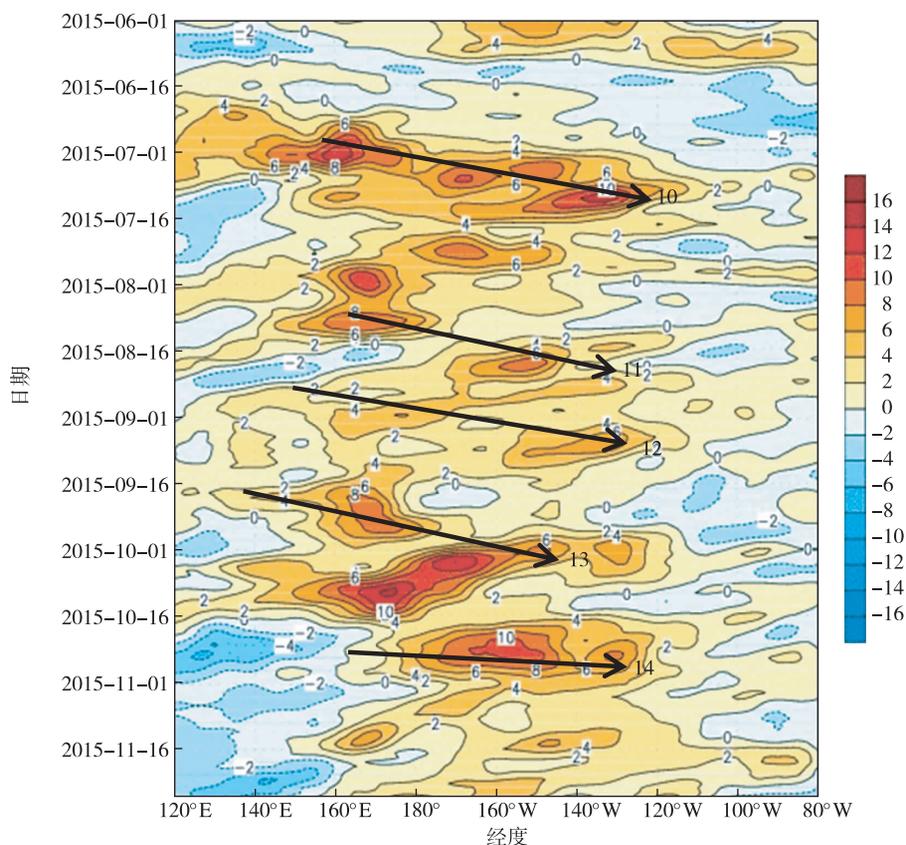


图 9 850 hPa 赤道地区(5°N~5°S)纬向风距平时间—经度剖面(红色(蓝色)代表西风(东风)异常;单位:m/s;取自 NOAA,2016)

Fig.9 Time-longitude profile of 850 hPa Equator (5°N—5°S) zonal wind anomaly. The red (blue) part indicates the westerly(easterly) anomaly (units:  $m \cdot s^{-1}$ ) (Cited from NOAA, 2016)

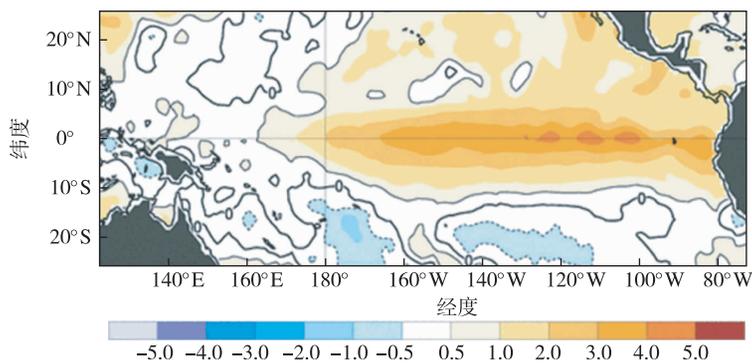


图 10 2015 年 11 月第 4 周(11 月 23—29 日)热带太平洋海表温度距平分布(取自中国气象局国家气候中心气候监测快报,2016)

Fig.10 Tropical Pacific sea surface temperature anomaly distribution in the fourth week of November 2015(November 23—29) (Cited from the Climate Monitoring Bulletin of National Climate Center, China Meteorological Administration, 2016)

及其产生的强海洋 Kelvin 波在整个赤道太平洋地区使深厚暖水层东传以及冷水的消失上起着关键作

用。以后由于西风爆发的减弱与消失,El Niño 事件快速衰减并很快向冷海水过渡。

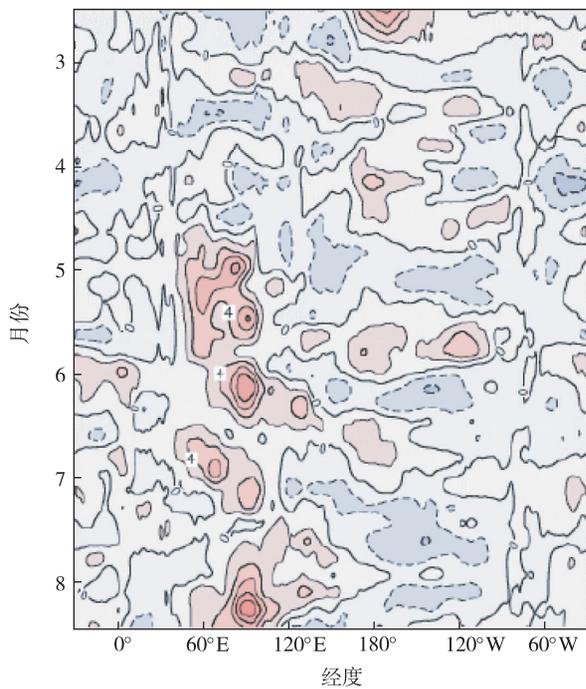


图 11 2016 年 3—8 月 850 hPa 纬向风距平时间—经度剖面(单位  $m/s$ ; 红色(蓝色)代表西风(东风); 取自 JMA, 2016)

Fig.11 Time-longitude profile of 850 hPa zonal wind anomaly in March—August 2016 (units:  $m \cdot s^{-1}$ ). The red (blue) part indicates the westerly (easterly) (Cited from JMA, 2016)

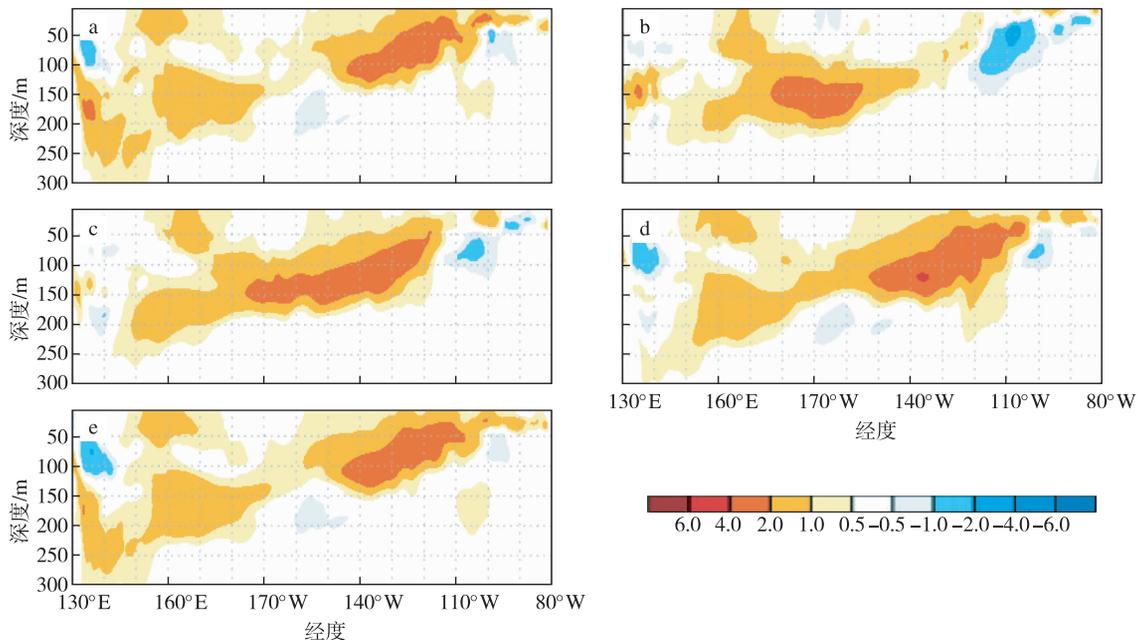


图 13 2014 年 8—9 月赤道太平洋次表层海温距平的东传过程(单位:  $^{\circ}C$ ) a.2014 年 9 月 28—10 月 2 日; b.2014 年 8 月 9—13 日; c.2014 年 8 月 24—30 日; d.2014 年 9 月 8—12 日; e.2014 年 9 月 25 日

Fig.13 Eastward propagation process of the Equatorial Pacific subsurface SST anomaly in August—September 2014((a) is the average of a five-day period, and (b—e) are the average profiles of three five-day periods; units:  $^{\circ}C$ )

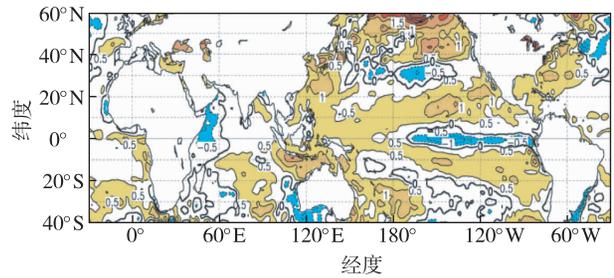


图 12 2016 年 6—8 月月平均海表温度距平分布(等值线间隔:  $0.5^{\circ}C$ ; 距平值是相对于 1981—2016 年的平均值; 引自国家气候中心(NCC), 2016)

Fig. 12 Three-month average sea surface temperature anomaly distribution in June—August 2016. Contour interval:  $0.5^{\circ}C$ . The anomaly value is the mean relative to 1981—2016 (Cited from NCC, 2016)

5) 整个事件的过程, 大气对这次超强 El Niño 事件响应十分明显 (Horel and Wallace, 1981)。南方涛动指数 (SOI) 在全过程维持明显的负位相, 在超强阶段, 达到近二十年的最低值 (引自 JMA, 2016)。因而通过海气相互作用, 这次 El Niño 事件对全球、亚洲和中国的天气气候异常都产生了重大影响 (Ding and Liu, 2016; 袁媛等 2016; 翟盘茂等, 2016)。

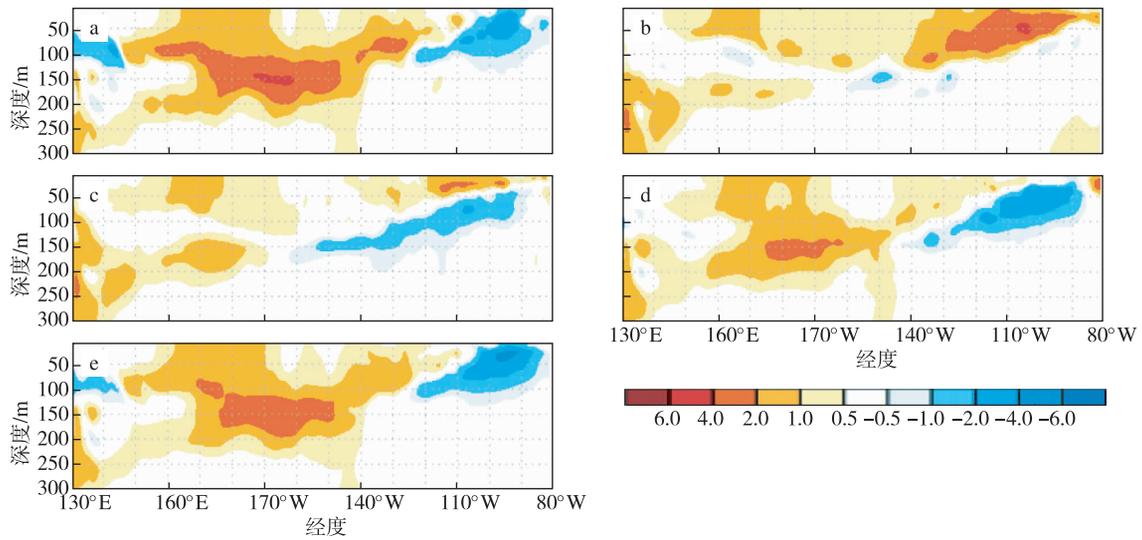


图 14 2015 年 1—2 月月赤道太平洋次表层海温距平的东传过程(单位:°C) a.2015 年 2 月 12 日;b.2014 年 12 月 22—26 日;c.2014 年 1 月 6—10 日;d.2015 年 1 月 21—25 日;e.2015 年 2 月 5—9 日

Fig.14 The same as in Fig.13, but for the situation of January—February 2015

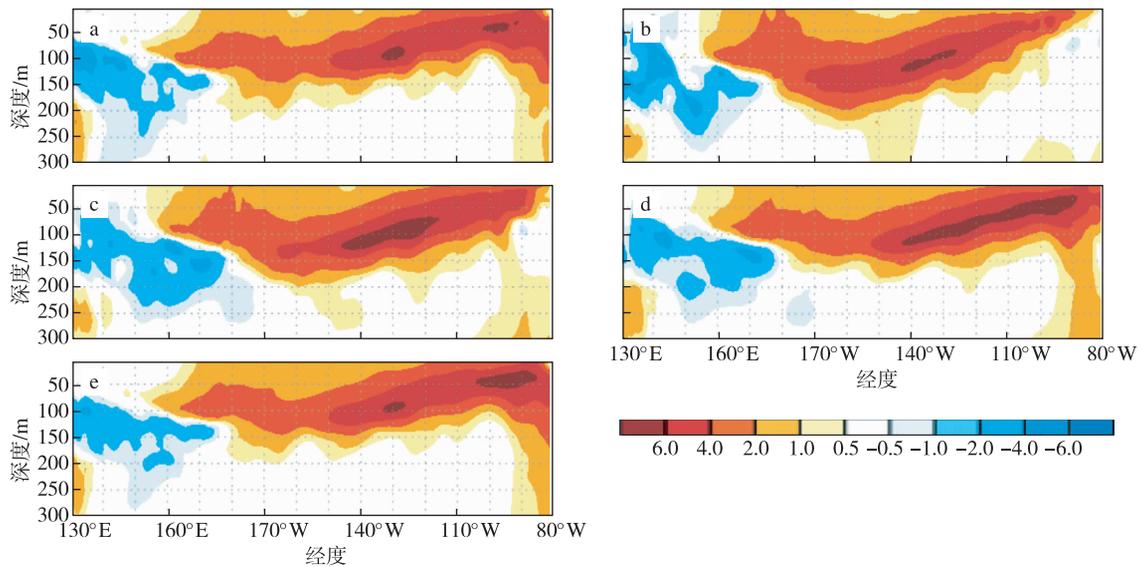


图 15 2015 年 3—5 月赤道太平洋次表层海温距平的东传过程(单位:°C) a.2015 年 5 月 18—20 日;b.2015 年 3 月 27—31 日;c.2015 年 4 月 11—15 日;d.2015 年 4 月 26—30 日;e.2015 年 5 月 11—15 日

Fig.15 The same as in Fig.13, but for the situation of March—May 2015

致谢:作者引用了 NOAA 和 JMA 发布的有关海洋和大气资料,在研究中,柳艳菊、袁媛、王遵娅提供了不少帮助,并协助制作了部分图表,在此一并致谢。

## 参考文献 (References)

- Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al., 2007. El Niño modoki and its possible teleconnections [J]. *J Geophys Res*, 112, C11007. doi: 1029/2006JC 003798.
- Battisti D S, 1988. Dynamic and thermodynamics of warming event in a coupled tropical atmosphere-ocean model [J]. *J Atmos Sci*, 45: 2889-2919.
- Battisti D S, Hirst A C, 1989. Interannual variability in a tropical atmosphere-ocean model: Influence of basic state, ocean geometry and nonlinearity [J]. *J Atmos Sci*, 46(12): 1687-1712.
- Bjerknes J, 1969. Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific [J]. *Mon Wea Rev*, 97: 163-172.
- Cane M A, Zebiak S E, 1985. A theory for El Niño and the Southern Oscillation [J]. *Science*, 228(4703): 1085-1087.
- Capotondi A, Wittenberg A T, Newman M, et al., 2015. Understanding ENSO diversity [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 96(6): 921-938.

- Ding Y H, Liu Y J, 2016. Anomalous summer impacts of 2015—2016 El Niño to precipitation in the Asian monsoon region [J]. WMO-WWRP Newsletter. (in Press).
- Horel J D, Wallace J M, 1981. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation [J]. Mon Wea Rev, 109: 813-829.
- Kao H Y, Yu J, 2009. Contrasting eastern Pacific and central Pacific types of ENSO [J]. J Climate, 22: 615-632.
- 任宏利, 刘颖, 左金清, 等, 2016. 国家气候中心新一代 ENSO 预测系统及其对 2014/2016 年超强厄尔尼诺事件的预测 [J]. 气象, 42(5): 521-531.
- Ren H L, Liu Y, Zuo J Q, et al., 2016. The new generation of ENSO prediction system in Beijing climate centre and its predictions for the 2014/2016 super El Niño event [J]. Meteor Mon, 42(5): 521-531. (in Chinese).
- Schopf P S, Suarez M J, 1988. Vacillation in a coupled ocean-atmosphere model [J]. J Atmos Sci, 45: 549-566.
- 邵颢, 周兵, 2016. 2015/2016 年超强厄尔尼诺事件气候监测及诊断分析 [J]. 气象, 42(5): 540-547. Shao X, Zhou B, 2016. Monitoring and diagnosis of the 2015/2016 super El Niño Event [J]. Meteor Mon, 42(5): 540-547. (in Chinese).
- Wyrtki K, 1975. The dynamic response of the ocean to atmospheric forcing [J]. J Phys Oceanogr, 5: 572-584.
- Wyrtki K, 1985. Water displacement in the Pacific and genesis of El Niño cycles [J]. J Geophys Res, 90: 7129-7132.
- 袁媛, 高辉, 贾小龙, 等, 2016. 2014/2016 年超强厄尔尼诺事件的影响 [J]. 气象, 42(5): 532-539. Yuan Y, Gao H, Jia X L, et al., 2016. Influences of the 2014—2016 super El Niño event on climate [J]. Meteor Mon, 42(5): 532-539. (in Chinese).
- 翟盘茂, 余荣, 郭艳君, 等, 2016. 2015/2016 年强厄尔尼诺过程及其对全球和中国气候的主要影响 [J]. 气象学报, 74(3): 309-321. Zhai P M, Yu R, Guo Y J, et al., 2016. The strong El Niño in 2015/2016 and its dominant impacts on global and China's climate [J]. Acta Meteorologica Sinica, 74(3): 309-321. (in Chinese).

## Analysis of the process and mechanisms of genesis and development for 2014—2016 mega El Niño event

DING Yihui

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

The present paper has mainly analysed the process and mechanisms of genesis and development of the 2014—2016 mega El Niño event. It is shown that the entire lifecycle of the event is about 2 years (from April 2014 to May 2016), with four stages identified for its evolutive process: (1) Early and continuous westerly wind bursts (December 2013 to April 2014). The continuous three westerly wind bursts not only changed the state of the easterly trade wind prevailing tropical central and easterly in the Pacific for long period of time, but also changed the cold water state in this region for the most recent 12 years, thus leading to SST rise and warming. Until early spring 2014, the SSTA exceeded  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , marking the possible occurrence of a new El Niño event. (2) Alternative weakening period (June 2014 to August 2015). Six westerly wind bursts continued to occur, thus maintaining and enhancing the warming of the equatorial central and eastern Pacific, while at the same time overcoming two periods of SST warming decrease or barrier, so that the initial development of El Niño was not aborted, and even changed into the stage of strong El Niño. Correspondingly, in the sub layer of the equatorial central and eastern Pacific, six warm Kelvin waves were observed to propagate eastward. The heat contents of these oceanic waves not only maintained the continuous warming in the equatorial central and eastern Pacific, but also caused El Niño to change from CP to EP type. (3) Peak period of development (September 2015 to February 2016). Two stronger westerly wind bursts were observed, which corresponded to very vigorous convective activity on the equatorial central and eastern Pacific. Rapid warming occurred in the Niño3.4 region, with  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  observed in November 2015, classified as the mega-El Niño event. (4) Accelerating weakening stage (March to May 2016). The intensity of the El Niño rapidly weakened from 2 to  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the Niño3.4 region, then accelerated the transition to the cold water phase. In July to August 2016, the SSTA in the Niño3.4 region already approached  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . This rapid phase shift is a manifestation of the theory of delayed oscillation.

From the above results, it is concluded that the development and shift of warm and cold phases is observationally consistent with the mechanism derived from the paradigm of the current theory of recharge oscillation and/or delayed oscillation theory. This clearly demonstrates that the results of the El Niño theory effectively underpin the development of related operational prediction.

**mega El Niño event; occurrence and development; evolution mechanism; westerly wind burst; Kelvin wave**

doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20161028003

(责任编辑:张福颖)