

于毅,孟祥凤,周艺,等.热带西太平洋季内震荡相关的赤道开尔文波对厄尔尼诺事件影响的初步探索[J].海洋气象学报, 2018,38(3):92-100.

Yu Yi, Meng Xiangfeng, Zhou Yi, et al. Influence of MJO-related equatorial Kelvin waves on El Niño events in the western tropical Pacific [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(3): 92-100. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.03.011. (in Chinese)

热带西太平洋季内震荡相关的赤道开尔文波对厄尔尼诺事件影响的初步探索

于毅¹, 孟祥凤², 周艺¹, 孙树壮¹

(1.威海市气象局, 山东 威海 264200; 2.中国海洋大学, 山东 青岛 266100)

摘要:从海洋 Kelvin 波的角度研究了热带西太平洋季节内振荡 (Madden-Julian Oscillation, MJO) 对厄尔尼诺 (El Niño) 事件的影响。通过资料处理确定了热带西太平洋 MJO 相关的风应力强迫产生的海洋 Kelvin 波指数 K , 该指数代表了 Kelvin 波的强度。通过对比指数 K 与温跃层深度的变化, 分析指出当 El Niño 事件发展过程中出现强 MJO 相关的海洋 Kelvin 波, 并且该东传波动传递的是温跃层异常下沉信号时, 会增大 El Niño 事件的振幅, 对 El Niño 事件的发展起到重要的促进作用 (1997/1998 年 El Niño 事件); 当 MJO 相关的海洋 Kelvin 波较弱时对 El Niño 事件影响不大, 而且当传递的是温跃层异常上升信号时反而会对 El Niño 事件的发生与发展起到阻碍作用。总之, 热带西太平洋 MJO 事件对 El Niño 事件在特定的情况下有重要影响, 但不能决定 El Niño 事件的发生或终结。

关键词: 季内振荡; 开尔文波; 厄尔尼诺

中图分类号: P732 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)03-0092-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.03.011

Influence of MJO-related equatorial Kelvin waves on El Niño events in the western tropical Pacific

YU Yi¹, MENG Xiangfeng², ZHOU Yi¹, SUN Shuzhuang¹

(1. Weihai Meteorological Bureau, Weihai 264200, China; 2. Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract The influence of MJO on El Niño events in the western tropical Pacific is explored from the perspective of Kelvin waves. A Kelvin waves index (K) by wind stress associated with MJO is derived from surface wind data. The index represents the intensity of Kelvin waves. By comparing the changes of the index K and the depth of main thermocline, it is denoted that when strong MJO-related Kelvin waves appear in the development of El Niño and the eastward waves convey anomalous downwelling signals of the thermocline, the SSTA amplitudes will be enhanced, which significantly promotes the development of El Niño, such as 1997/1998 El Niño; weak MJO-related Kelvin waves have little influence on El Niño events and such waves with anomalous upwelling signals will even hinder the occurrence and development of El Niño events. In general, MJO events in the western tropical Pacific have significant influence on El Niño events in some special cases, but they are not the key factors in the occurrence or termination of El Niño events.

收稿日期: 2016-11-12; 修订日期: 2018-04-11

基金项目: 中国科学院战略先导科技专项 (XDA11010204)

作者简介: 于毅, 男, 硕士, 工程师, 主要从事海气相互作用研究, yy1819@126.com。

通信作者: 孟祥凤, 女, 博士, 副教授, 主要从事大洋环流研究, mengxf@ouc.edu.cn。

Niño events.

Key words Madden-Julian Oscillation; Kelvin wave; El Niño

引言

季节内振荡信号是在 20 世纪 70 年代初,由 Madden and Julian^[1-2]最先发现的,他们在研究热带大气时发现风场和气压场存在 40~50 d 周期性的大尺度振荡现象,因此学术界也称此振荡现象为季内振荡(Madden-Julian Oscillation, MJO)。MJO 是热带地区大气最强的振荡信号,它的活动及异常变化对热带气候有着重要的影响。

MJO 和厄尔尼诺(El Niño)是两种不同时间尺度的变化,与这两种不同时间尺度现象相关的异常对流活动和环流在空间分布上有很大的相似性,Lau and Chan^[3]在 1986 年提出一种推测,即 MJO 通过海气耦合作用而减频增幅,可能成为 El Niño 的激发因素。李崇银^[4],李崇银和廖清海^[5]从动力学理论分析和数值模拟方面研究指出:一方面,El Niño 事件发生之前热带大气(尤其是赤道西太平洋地区)季节内振荡异常增强,显示了热带大气季节内振荡对 El Niño 的激发作用;另一方面,El Niño 对 MJO 的强度有削弱作用,在 El Niño 期间热带大气季节内振荡偏弱。在 El Niño 之前热带大气季节内振荡比较强,而在 El Niño 期间热带大气季节内振荡比较弱,似乎表明伴随 El Niño 的发生,热带大气季节内振荡的动能有向准定常系统(包括 ENSO 循环)转送的特征。

与 MJO 相关的海表强迫在上层海洋的响应包括局地响应和遥响应^[6]。前者表现为由于海表的动量通量引起的动力响应和湍流混合,以及由于热量通量、淡水通量引起的非绝热过程的响应;后者表现为赤道 Kelvin 波可将西太平洋 MJO 的影响向东传播,越过日界线直至东太平洋,主要变化信号为海表高度的异常^[7]。1997/1998 年 El Niño 事件被认为是与印度洋、西太平洋 MJO 活动有密切关系的典型个例^[8],1997 年 2 月生成于印度洋的 MJO,东传经过西太平洋后,低层的西风产生海洋 Kelvin 波,最终激发了 El Niño。

以往的研究试图揭示 MJO 与 El Niño 的关系,可是产生了相互矛盾的结果^[9-24]。一部分观点认为,MJO 会触发 El Niño 事件,主要依据是 MJO 活动会影响西太平洋和中太平洋海表面温度(SST),西太平洋强对流活动主要通过 3 个途径使 SST 降低^[6,9-10]:对流中伴随强风的蒸发冷却效应加强;云

量的增多使表面短波辐射吸收减少;加强海洋上层混合导致温跃层海水变冷,从而为中东太平洋 El Niño 发展前期提供条件。MJO 活动在西太平洋激发沿赤道太平洋的下沉 Kelvin 波^[11-12],这种波动削减了沿冷舌的上升冷水,并且输送西太平洋暖水向东流,升高了东太平洋 SST。如果西太平洋变冷与中太平洋变暖同时很强从而促使对流活动向东移动,那么伴随而来的中太平洋西风异常发展将促使 SST 增暖向东发展^[11,13],中东太平洋 SST 的增加使得纬向 SST 梯度减小,信风减弱,信风减弱则会引起更多的暖水东移,使得信风进一步减弱,这种正反馈可以启动 El Niño 事件。

与以上观点相反的另一一些研究指出 MJO 在 ENSO 中不起作用。Syu and Neelin 研究^[14]表明,具有较短时间尺度的噪音信号与模式中的 ENSO 无明显的关系。Kessler and Kleeman^[15]认为 MJO 在 El Niño 的启动阶段可来放大发展中的暖事件,然而 MJO 自身并非是 El Niño 的原因。Slingo et al.^[16]基于由全球风场和对流定义的 MJO 指数,指出 MJO 可能不是 El Niño 形成的本质因子,但应是决定其成长速度和振幅的关键因素。Bergman et al.^[17]对比分析了 3 次代表性 El Niño 事件和与之对应的 MJO 活动,得出结论:MJO 可能与 El Niño 发生的时间和初始发展有关,而不是造成 El Niño 的原因。近来观测结果还表明,MJO 并不能促使 ENSO 冷暖事件的发生,但可以调整 ENSO 事件发生的一些特征。

总结前人的研究可以发现,MJO 与 El Niño 之间的关系还有很多问题没有解决,目前的一些研究结果甚至相互矛盾,从背景海洋角度来研究两者的关系还不多见。MJO 事件爆发后,对背景海洋的直接影响是产生海面风应力,从而强迫海洋形成赤道 Kelvin 波,此赤道 Kelvin 波可以将热带西太平洋的各种扰动影响传到东太平洋,使热带东太平洋海洋状态发生改变,例如在表面风应力作用下,赤道 Kelvin 波常伴随一些异常现象,如中西太平洋的风应力正异常(向东)激发温跃层异常加深,并以赤道 Kelvin 波的形式向东传播,从而引发东太平洋温跃层异常,所以说,赤道 Kelvin 波在 MJO 影响 El Niño 事件过程中起到了非常重要的作用。本文将从热带太平洋温跃层深度异常演化入手,利用 MJO 相关的海洋 Kelvin 波指数研究热带西太平洋 MJO 对

El Niño事件的影响。

1 资料与方法

1) NCEP/NCAR 逐日再分析资料。该资料由美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作,采用了最先进的全球资料同化系统和完善的数据库,对各种来源的观测资料进行质量控制和同化处理,获得了一套完整的再分析资料集,它不仅包含的要素多,范围广,而且延伸的时段长,是一个综合的数据集。本文采用 NCEP/NCAR 逐日再分析资料中的 10 m 风场资料,资料范围 $0^{\circ} \sim 357.5^{\circ}E, 90^{\circ}N \sim 90^{\circ}S$, 分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 经、纬向上的格点数分别为 73 和 144, 起止时间: 1980 年 1 月 1 日—2008 年 12 月 31 日。

2) SODA 海洋数据。该资料由全球简单海洋资料同化分析系统(Simple Ocean Data Assimilation)产生,该系统是美国马里兰大学(University of Maryland)于 20 世纪 90 年代初开始开发的分析系统,其目的是为气候研究提供一套与大气再分析资料相匹配的海洋再分析资料,包含的变量分别为温度(*temp*)、盐度(*salt*)、纬向海流速度(*u*)、经向海流速度(*v*)、纬向海表风应力(*tanx*)、经向海表风应力

(*tany*)和海平面高度(*ssh*)共 7 个,资料为月平均数据,水平方向范围 $0.25^{\circ}E \sim 359.75^{\circ}E, 89.25^{\circ}N \sim 75.25^{\circ}S$, 水平方向上的分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 经、纬向上的格点数分别为 300 和 720; 垂直方向上的分辨率为不等间距,共 40 层,深度(单位:m)分别为 5 374, 5 124, 4 874, 4 624, 4 374, 4 124, 3 874, 3 624, 3 374, 3 124, 2 874, 2 624, 2 375, 2 125, 1 875, 1 625, 1 378, 1 139, 918, 729, 579, 465, 381, 317, 268, 229, 197, 171, 148, 129, 112, 96, 82, 70, 57, 46, 35, 25, 15, 5。本文采用 SODA(2.0.2)月平均温度、盐度资料,起止时间: 1980 年 1 月—2005 年 12 月。

3) 从 1980—2008 年 Nino3.4 区海表面温度异常(SSTA)的演化(图略)及热带西太平洋 MJO 能量的演化(图略)中可知,强 El Niño 事件和强 MJO 事件按强度由强到弱排列如表 1 所示。从时间对应上来看,每次强 El Niño 事件发生之前热带西太平洋都会出现强 MJO 事件。但在这几次 El Niño 事件发生发展过程中,热带西太平洋强 MJO 事件起到的作用不同,影响程度也有差异,以下将利用 MJO 相关的 Kelvin 波指数对四次强 MJO 事件影响 El Niño 事件的过程进行具体分析。

表 1 1980—2008 年强 El Niño 和强 MJO 事件

Table 1 Strong El Niño events and strong MJO events from 1980 to 2008

事件	时间			
强 El Niño 事件	1997 年 5 月—1998 年 5 月 (成熟期:1998 年 1 月)	1982 年 5 月—1983 年 7 月 (成熟期:1983 年 1 月)	1986 年 9 月—1988 年 1 月 (成熟期:1987 年 9 月)	1991 年 5 月—1992 年 6 月 (成熟期:1992 年 1 月)
强 MJO 事件	1991 年 4 月	1997 年 4 月	1985 年 2 月	1981 年 4 月

2 热带西太平洋 MJO 相关的 Kelvin 波指数的确定

由于 MJO 相关的赤道 Kelvin 波是通过风应力直接强迫产生,所以 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数可以根据季节内风应力数据来计算,具体过程如下。

首先确定并分离赤道纬向风应力中的 MJO 成分,采用 NCEP/NCAR 逐日表面(10 m)风场资料(1980 年 1 月 1 日—2008 年 12 月 31 日)计算赤道纬向风应力,赤道纬向风应力 τ_x 可以表达为 $\tau_x = u\sqrt{u^2+v^2}$, 其中 *u*、*v* 分别为表面风场资料中的纬向风和经向风分量,经度范围取 $120^{\circ}E \sim 100^{\circ}W$, 并进行 $2.5^{\circ}S \sim 2.5^{\circ}N$ 的经向平均。将得到的赤道纬向风应力 τ_x 进行二维傅立叶变换,计算其功率谱(图

1), 图 1 中横坐标表示纬向波数,纵坐标表示波动频率,正频率表示向东传播,负频率表示向西传播。由图 1 可以看出,除频率低于 0.005(周期在 200 d 以上)的风应力信号非常显著外,频率在 0.016 ~ 0.025(周期为 40~60 d)之间的风应力信号也非常显著,即向东传播的周期在季节内、纬向波数为 0.3~2 波的信号。此信号无论传播方向、频率或者纬向波数都与 MJO 非常吻合,这足以证明,风应力 τ_x 中包含着 MJO 信号。对风应力 MJO 进行 20~100 d 滤波,即可得到 MJO 风应力信号 τ_{MJO} 。

根据公式^[18]: $K(x_0, y_0) = \int_0^{x_0} \tau_x(x, t_0 - \frac{x_0 - x}{c}) dx = K(\tau_x)$, 可以通过纬向风应力数据计算

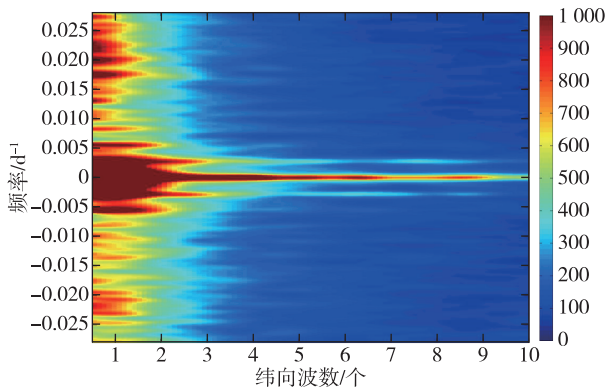


图1 赤道纬向风应力功率谱
Fig.1 Power spectrum of the equatorial zonal wind stress

得出指数 $K(x_0, y_0)$, 该指数可以用来衡量风应力强迫产生的赤道 Kelvin 波的强度。公式中的 x_0 和 y_0 分别表示经度和纬度, t_0 表示时间, $x=0$ 时表示海洋西边界经度, $c=2.4 \text{ m/s}$ 表示赤道 Kelvin 波的相速度。当用 τ_{MJO} 代入 $K(x_0, y_0)$ 时, 计算所得出的 $K(x_0, y_0)$ 可以看作与 MJO 相关的赤道 Kelvin 波的强度。

根据指数 $K(x_0, y_0)$ 可以确定 MJO 爆发时海洋的反应情况, 即 MJO 相关的赤道 Kelvin 波可以将赤道西太平洋的温跃层异常信号以波动的形式向东太平洋传播, 进而对东太平洋海表面温度造成影响。该指数的大小代表了 MJO 相关的赤道 Kelvin 波的强度, 指数越大说明 MJO 强迫产生的赤道 Kelvin 波越强, 越能更好地将赤道西太平洋温跃层异常信号东传, 对东太平洋海表面温度产生更大影响。

利用该指数对 El Niño 事件发生过程中温跃层深度异常进行研究, 从温跃层角度分析 MJO 相关的

海洋 Kelvin 波对 El Niño 事件的影响。在热带海洋, 温跃层核心的深度可以近似用 $1025.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 等密度面深度来表示^[25-27], 而不采用 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 等温线来表示, 因为与 ENSO 相关的波动信号主要是沿着密度跃层传播, 所以用等密度面来表示更加准确。本文中用到的 $1025.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 等密度面深度是用 SODA 月平均数据中的 40 层温度和盐度资料计算所得。

3 MJO 对 El Niño 事件影响的个例分析

3.1 1997/1998 年 El Niño 事件

在多次 El Niño 事件中, 1997/1998 年 El Niño 事件是被认为与热带西太平洋 MJO 活动关系最密切的一次, 所以首先对 1997/1998 年 El Niño 事件的发生过程进行分析, 考察热带西太平洋 MJO 事件对该次 El Niño 事件的影响。

在此次 El Niño 事件中, 由赤道处温跃层深度异常(图 2a)及 MJO 相关的赤道 Kelvin 波能量(图 2b)演化过程对比来看, 热带西太平洋强 MJO 事件与该次 El Niño 事件基本上是同时发生的, MJO 事件的爆发时刻处于 El Niño 事件成熟期之前 8~9 个月。由 Kelvin 波指数演化(图 2b)可知, 在 El Niño 事件发生之前, MJO 相关的 Kelvin 波强度不强, 赤道西太平洋的暖信号很少部分是因为 MJO 相关的赤道 Kelvin 波而向东传, 由此可见其对 El Niño 事件的发生无明显影响。从 1997 年 1—10 月热带太平洋温跃层深度异常变化(图 3)来看, 在 El Niño 事件发生之前北太平洋有温跃层异常上升信号沿西边界传向西太平洋, 当热带西太平洋 MJO 事件发生时, 热带西太平洋温跃层已经变浅, 并且热带西太平洋暖

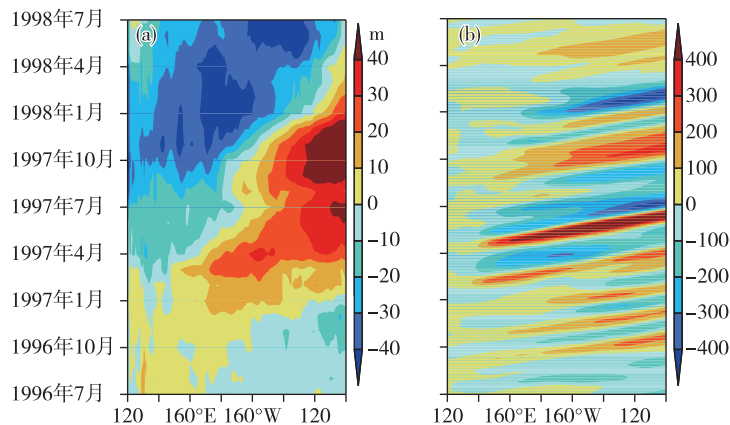


图2 1997/1998 年 El Niño 事件赤道处温跃层深度异常(a; 单位: m)及 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数(b)演化过程
Fig.2 Evolution of the depth anomaly of the equatorial thermocline (a, units: m) and MJO-related Kelvin wave index (b) during 1997/1998 El Niño event

池已经开始向中太平洋扩展,随着强 MJO 事件的爆发,1997 年 4 月和 9 月出现两次很强的东传 MJO 相关的赤道 Kelvin 波,此 Kelvin 波使中西太平洋温跃层下沉信号持续向东太平洋传播,最终使东太平洋海表面温度持续增高,对 El Niño 事件起到推动作用,增大了 El Niño 事件的振幅。

综上,热带西太平洋 MJO 事件在 1997/1998 年 El Niño 事件过程中,并没有起到诱发 El Niño 事件的决定性作用,但是,当 El Niño 事件开始发展后, MJO 相关的赤道 Kelvin 波异常强大,对 El Niño 事件起到了重要的促进作用,使 El Niño 事件的强度显著加强。

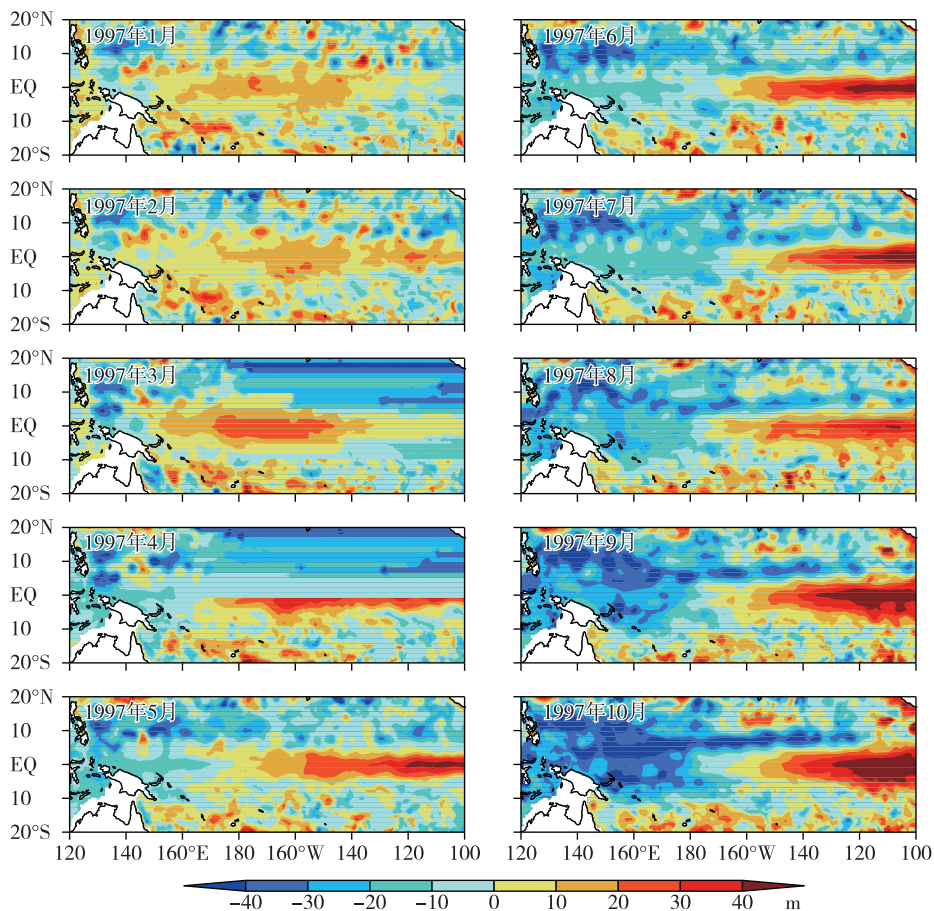


图3 1997年1—10月热带太平洋温跃层深度异常演化

Fig.3 Evolution of the thermocline depth anomaly in the tropical Pacific from January to October 1997

3.2 1982/1983 年 El Niño 事件

1982/1983 年 El Niño 事件的强度仅次于 1997/1998 年 El Niño 事件。从图 4a 中可看出,1981 年 10 月 El Niño 事件尚未开始发生,但此月份出现的 MJO 相关 Kelvin 波强度较强(图 4b),从图 5 中可知,在该时间段 Kelvin 波东传的赤道温跃层信号是温跃层异常上升信号,使赤道东太平洋温跃层深度异常变浅,表明东太平洋海表面温度异常变冷,不利于 El Niño 事件的发生。而在 El Niño 事件发生过程中,1982 年 12 月出现一次强度比较弱的 MJO 相关 Kelvin 波,故对 El Niño 事件的影响并不是太大。

从 1982 年 4 月开始赤道西太平洋出现温跃层异常升高现象,并且赤道中东太平洋出现大面积温

跃层异常下沉现象,东太平洋海表面温度持续升高,El Niño 事件开始发生。而 1982 年 4 月热带西太平洋 MJO 强度非常弱,激发的 MJO 相关 Kelvin 波强度更弱,对温跃层信号传播产生的影响非常小,温跃层下沉信号的持续东传可以认为是其他因素的影响。1982 年是赤道印度洋地区西风加强偏早的年份,在 4 月下旬赤道印度洋地区西风就已经持续加强并向东扩展,所以很可能是因为 4 月份的西风爆发迫使中西太平洋温跃层异常下沉信号持续东传,为 El Niño 事件的发生做了准备。在 1982/1983 年 El Niño 事件发展的过程中,热带西太平洋 MJO 强度很弱,相关的海洋 Kelvin 波强度同样很弱,对 El Niño 事件的发展并没有太多的影响。

综上所述,虽然在 1982/1983 年 El Niño 事件发生前热带太平洋出现了强度比较强的 MJO 相关海洋 Kelvin 波,但是此波动东传的信号为温跃层深度异常上升信号,使赤道东太平洋温跃层深度异常变浅,不利于 El Niño 事件的发生。后来 El Niño 事件

的发生与热带西太平洋 MJO 事件没有必然联系,而且在 El Niño 事件发展过程中,热带西太平洋 MJO 强度很弱,相关的海洋 Kelvin 波强度同样很弱,说明此次 El Niño 事件的发生发展与热带西太平洋 MJO 事件关系不大。

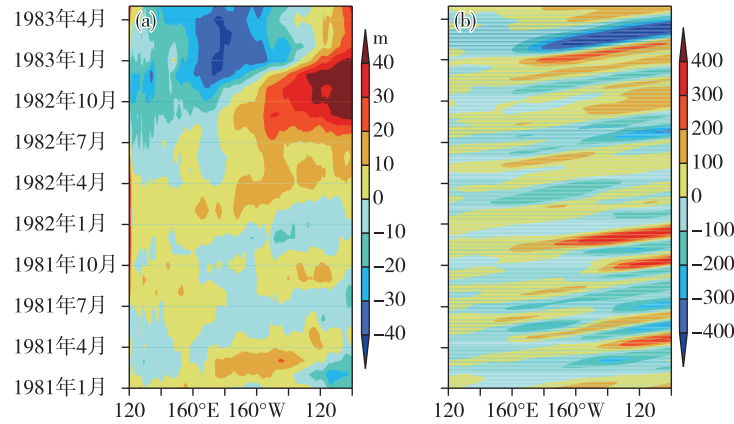


图4 1982/1983 年 El Niño 事件赤道处温跃层深度异常 (a;单位:m) 及 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数(b) 演化过程
Fig.4 Evolution of the depth anomaly of the equatorial thermocline (a, units: m) and MJO-related Kelvin wave index (b) during 1982/1983 El Niño event

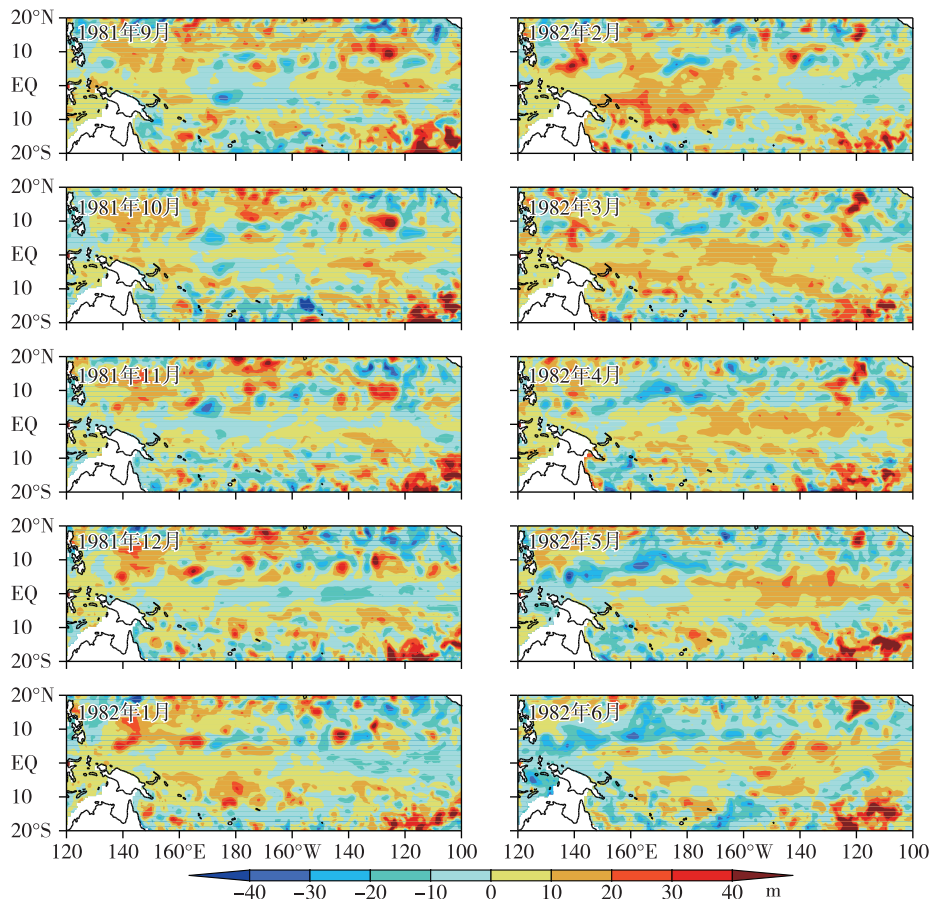


图5 1981 年 9 月—1982 年 6 月热带太平洋温跃层深度异常演化
Fig.5 Evolution of the thermocline depth anomaly in the tropical Pacific from September 1981 to June 1982

3.3 1986/1987年 El Niño 事件

1986/1987年 El Niño 事件强度较大(图 6a), 但 1985—1986年期间热带西太平洋只发生过一次强 MJO 事件, 并且发生的时间在 1985年2月, 距 El Niño 事件的发生相差一年半以上, 可以说该次 MJO 事件对 1986/1987年 El Niño 事件基本上毫无影响。由图 6b 来看, 在 1986/1987年 El Niño 事件过程中

MJO 相关的 Kelvin 波强度非常弱, 基本上对温跃层信号的传播毫无贡献, 所以说在此次事件中, MJO 对 El Niño 事件的发生与发展几乎没有影响, 也说明在 El Niño 事件发生与发展过程中, 不能单纯地考虑由 MJO 相关的海洋 Kelvin 波带来的影响, 海洋状态及其他因素影响非常重要。

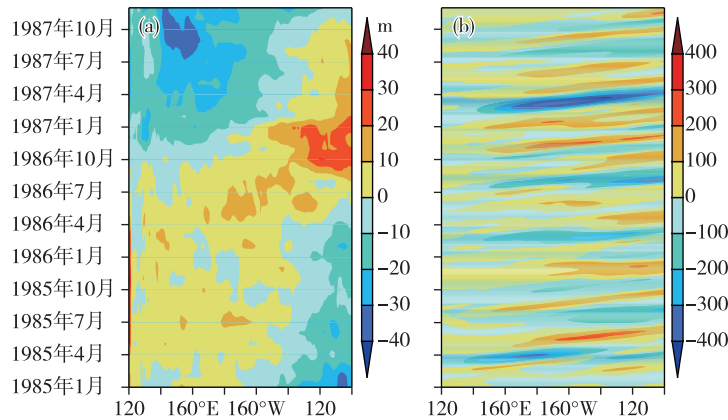


图 6 1986/1987年 El Niño 事件赤道处温跃层深度异常(a;单位:m)及 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数(b)演化过程
Fig.6 Evolution of the equatorial thermocline depth anomaly (a, units: m) and MJO-related Kelvin wave index (b) during 1986/1987 El Niño event

3.4 1991/1992年 El Niño 事件

1991/1992年 El Niño 事件强度与 1986/1987年 El Niño 事件强度相差不大(图 7a), 只是持续时间相对较短。1991年4月热带西太平洋发生了一次 1980—2008年间强度最强的 MJO 事件, 但这次强 MJO 事件却没有推动该次 El Niño 事件强度达到 1997/1998年 El Niño 事件的强度, 所以从海洋 Kelvin 波方面进行分析, 找出原因。

7b)中可以看出, 1991年1月和4月出现两次强度较强的 MJO 相关的海洋 Kelvin 波, 一方面, 此 Kelvin 波强度远不如 1997/1998年间出现的 MJO 相关海洋 Kelvin 波的强度强, 所以对温跃层异常信号传播的贡献远小于 1997/1998年间 MJO 相关的 Kelvin 波; 另一方面更重要的是, 从图 8 太平洋温跃层深度异常演化来看, 这两次 MJO 相关的海洋 Kelvin 波传播的温跃层深度异常信号同样是温跃层异常上升信号, 此信号的东传使东太平洋温跃层深

从 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数演化过程(图

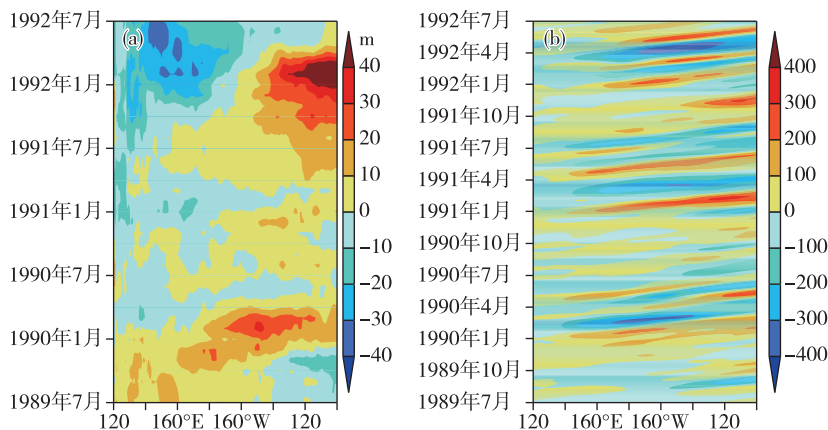


图 7 1991/1992年 El Niño 事件赤道处温跃层深度异常(a;单位:m)及 MJO 相关的赤道 Kelvin 波指数(b)演化过程
Fig.7 Evolution of the equatorial thermocline depth anomaly (a, units: m) and MJO-related Kelvin wave index (b) during 1991/1992 El Niño event

度异常变浅,阻碍了 El Niño 事件的发展。

在此次 El Niño 事件发生的过程中,出现了几次 MJO 相关的 Kelvin 波,虽然它们是将西太平洋温跃层异常下沉信号东传,促使东太平洋海温增高,但是由于它们的强度很弱,所以对 El Niño 事件的影响明显不如 1997/1998 年间 MJO 相关的海洋 Kelvin 波对 El Niño 事件的影响。

综合上述理由,热带西太平洋 MJO 事件在 1991/1992 年 El Niño 事件过程中,同样没有起到诱发 El Niño 事件的作用,相反甚至在最初的时候起到了阻碍作用,而当 El Niño 事件开始发生时,热带西太平洋发生的强 MJO 事件只激发了强度不强的赤道 Kelvin 波,并参与到 El Niño 事件发展的过程中,为 El Niño 事件的发展起到一定的推动作用。

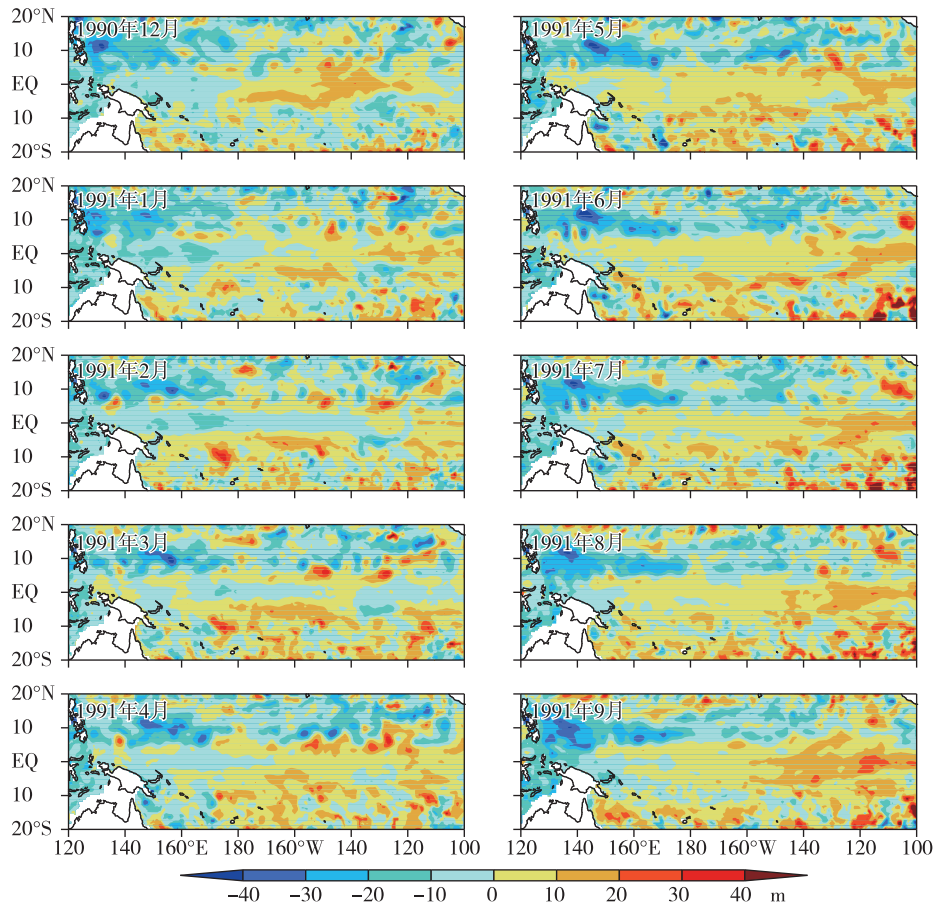


图8 1990年12月—1991年9月热带太平洋温跃层深度异常演化

Fig.8 Evolution of the thermocline depth anomaly in the tropical Pacific from December 1990 to September 1991

4 结论与讨论

通过 SODA 温盐数据和 NCEP/NCAR 风场数据计算得到 MJO 相关的海洋 Kelvin 波指数,通过对该指数的研究讨论了 MJO 事件对 El Niño 事件的影响。分析 4 次 El Niño 事件发生发展过程中 MJO 相关的海洋 Kelvin 波起到的不同作用。

MJO 相关的 Kelvin 波强度越强,对温跃层信号传播的贡献越大,Kelvin 波强度较弱时产生的影响很不明显;当 El Niño 事件发展过程中出现强 MJO 相关的海洋 Kelvin 波信号,并且该东传波动传递的是温跃层异常下沉信号时,会增大 El Niño 事件的振

幅,对 El Niño 事件的发展起到重要的促进作用(1997/1998 年 El Niño 事件)。除此之外,当 MJO 相关的海洋 Kelvin 波较弱时,对 El Niño 事件影响不大;当传递的是温跃层异常上升信号时反而会对 El Niño 事件的发生与发展起到阻碍作用。

总而言之,热带西太平洋 MJO 事件对 El Niño 事件的发生并无明显关联,在特定的情况下其对 El Niño 事件有重要影响,但并不能决定 El Niño 事件的发生或终结。

本文旨在研究 MJO 相关的海洋 Kelvin 波对 El Niño 事件的影响,在研究过程中发现有很多需要进一步深入的问题,如:MJO 的爆发会伴随西风异常

的出现,从而会形成下沉的 Kelvin 波,那么研究中出现 MJO 相关的上升 Kelvin 波是怎样形成的? 另外, Kelvin 波在 El Niño 事件过程中起到关键作用, MJO 相关 Kelvin 波在总 Kelvin 波中的贡献多大,从定量角度进一步分析说明热带西太平洋 MJO 通过 Kelvin 波形式对于 El Niño 事件的影响是今后工作中将继续进行详细深入研究的问题。

参考文献:

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. *J Atmos Sci*, 1971, 28(5):702-708.
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period [J]. *J Atmos Sci*, 1972, 29(6):1109-1123.
- [3] Lau K M, Chan P H. The 40-50 day oscillation and the El Niño/Southern Oscillation: A new perspective[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1986, 67(5):533-534.
- [4] 李崇银. El Niño 对热带大气季节内振荡的影响[J]. *自然科学进展*, 1996, 6(1):27-33.
- [5] 李崇银, 廖清海. 热带大气季节内振荡激发 El Niño 的机制[J]. *热带气象学报*, 1998, 14(2):97-105.
- [6] Hendon H H, Glick J. Intraseasonal air-sea interaction in the tropical Indian Ocean and Pacific Ocean [J]. *J Climate*, 1997, 10(4):647-661.
- [7] Enfield D B. The intraseasonal oscillation in Eastern Pacific sea levels: How is forced? [J]. *J Phys Oceanogr*, 1987, 17(11):1860-1876.
- [8] Nakazawa T. MJO-A key component in the atmosphere for triggering ENSO [C]. Colorado, USA, WMO, 1999, 940:165-166.
- [9] Cronin M F, McPhaden M J. The upper ocean heat balance in the western equatorial Pacific warm pool during September-December 1992[J]. *J Geophys Res*, 1997, 102(C4):8533-8553.
- [10] Jones C, Waliser D E, Gautier C. The influence of the Madden-Julian Oscillation on ocean surface heat fluxes and sea surface temperature[J]. *J Climate*, 1998, 11(5):1057-1072.
- [11] Kessler W S, McPhaden M J, Weickmann K M. Forcing of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific [J]. *J Geophys Res*, 1995, 100(C6):10613-10632.
- [12] Hendon H H, Liebmann B, Glick J D. Oceanic Kelvin waves and the Madden-Julian oscillation[J]. *J Atmos Sci*, 1998, 55(1):88-101.
- [13] Seiki A. A statistical analysis of westerly wind bursts in the equatorial tropics and their interrelationship with ENSO and intraseasonal variations[D]. Tokyo: University of Tokyo, 2003.
- [14] Syu H H, Neelin J D. ENSO in a hybrid coupled model. Part II: Prediction with piggyback data assimilation[J]. *Climate Dyn*, 2000, 16(1):35-48.
- [15] Kessler W S, Kleeman R. Rectification of the Madden-Julian Oscillation into the ENSO cycle [J]. *J Climate*, 2000, 13(20):3560-3575.
- [16] Slingo J M, Rowell D P, Sperber K R, et al. On the predictability of the interannual behavior of the Madden-Julian Oscillation and its relationship with El Niño [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1999, 125(554):583-609.
- [17] Bergman J W, Hendon H H, Weickmann K M. Intraseasonal air-sea interactions at the onset of El Niño [J]. *J Climate*, 2001, 14(8):1702-1719.
- [18] Zhang C, Gottschalck J. SST anomalies of ENSO and the Madden-Julian oscillation in the equatorial Pacific [J]. *J Climate*, 2002, 15(17):2429-2445.
- [19] Batstone C, Hendon H H. Characteristics of stochastic variability associated with ENSO and the role of the MJO [J]. *J Climate*, 2005, 18(11):1773-1789.
- [20] Shinoda T, Hendon H H. Upper-ocean heat budget in response to the Madden-Julian Oscillation in the western equatorial Pacific [J]. *J Climate*, 2001, 14(21):4147-4165.
- [21] Hendon H H, Zhang C, Glick J D. Interannual variation of the Madden-Julian Oscillation during Austral summer [J]. *J Climate*, 1999, 12(8):2538-2550.
- [22] Salby M L, Hendon H H. Intraseasonal behavior of clouds, temperature, and motion in the tropics [J]. *J Atmos Sci*, 1994, 51(15):2207-2224.
- [23] Zhang C, Dong M. Seasonality in the Madden-Julian Oscillation [J]. *J Climate*, 2004, 17(16):3169-3180.
- [24] Fedorov A V. The response of the coupled tropical ocean-atmosphere to westerly wind bursts [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 2002, 128(579):1-23.
- [25] 孟祥凤, 吴德星, 林霄沛. ENSO 循环相关的海洋异常信号传播特征及其机制 [J]. *热带海洋学报*, 2004, 23(6):22-29.
- [26] Meng X, Wu D, Lin X, et al. A further investigation of the decadal variation of ENSO characteristics with instability analysis [J]. *Adv Atmos Sci*, 2006, 23(1):156-164.
- [27] Capotondi A, Alexander M A. Rossby waves in the tropical North Pacific and their role in decadal thermocline variability [J]. *J Phys Oceanogr*, 2001, 31(12):3496-3515.