

异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风异常的影响

普业¹ 裴顺强¹ 李崇银¹ 陈月娟²

1 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

2 中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026

摘 要 ENSO 由于经常带来大范围的气候异常而倍受关注, 赤道西太平洋的纬向风异常对 ENSO 的发生起着重要作用。首先对赤道西太平洋纬向风异常的发生进行研究, 其结果清楚地表明它同东亚冬季风的异常有密切关系。异常强(弱)的东亚冬季风不仅能激发产生赤道西太平洋的西(东)风异常, 而且还将在菲律宾以东的西太平洋上导致一个气旋性(反气旋性)环流的形成。研究还表明, 上述异常流型产生的物理过程是异常东亚冬季风所造成的气压形势的动力影响, 因为在强(弱)东亚冬季风影响下, 赤道西太平洋地区会形成向西(东)的气压梯度, 即 $\partial p/\partial x < 0$ ($\partial p/\partial x > 0$) 的异常气压形势。通过赤道太平洋的海-气相互作用, 赤道西太平洋的持续西(东)风异常则将进一步导致 El Niño (La Niña) 事件的发生。

关键词 异常东亚冬季风 动力作用 赤道太平洋 纬向风

文章编号 1006-9895(2006)01-0069-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

Influence of Anomalous East Asian Winter Monsoon on Zonal Wind Anomalies over the Equatorial Western Pacific

PU Ye¹, PEI Shun-Qiang¹, LI Chong-Yin¹, and CHEN Yue-Juan²

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

2 Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

Abstract Zonal wind anomaly over the equatorial western Pacific plays an important role in the occurrence of ENSO. The results of data analysis and theoretical studies show that the strong East Asian winter monsoon (the strong East Asian upper trough activity) will stimulate the anomalous west wind and the strong convective activity (strong intra-seasonal oscillation) over the equatorial western Pacific, and will further stimulate El Niño by air-sea interaction.

Based on the NCEP/NCAR reanalysis data ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) for 1958-1998 and NOAA OLR data, this paper analyzes the dynamic impact of East Asian winter monsoon on the formation of zonal western (eastern) wind anomalies over the equatorial western Pacific and a cyclonic (an anticyclonic) circulation over the east of Philippines. The physical process that East Asian winter monsoon stimulates zonal wind anomalies over the equatorial western Pacific and ENSO are further discussed.

The paper reveals the relationship between zonal western (eastern) wind anomalies over the equator and a cyclonic (an anticyclonic) circulation over the east of Philippines and anomalous strong (weak) the East Asian winter monsoon, especially the formation mechanism of this relationship. The main results are as follows:

(1) Both zonal western (eastern) wind anomalies over the equatorial western Pacific and a cyclonic (an anticy-

clonic) circulation over the east of Philippines, which are closely related to the occurrence of El Niño (La Niña), are related to strong (weak) East Asian winter monsoon anomalies in the earlier period. Before the occurrence of El Niño (La Niña) event, west (east) wind anomalies occur over the equatorial western Pacific, while a cyclonic (an anticyclonic) circulation occurs over the east of Philippines. However, before these anomalies occur, north (south) wind anomalies, i. e. anomalous strong (weak) East Asian winter monsoon, have already occurred over the north-western Pacific and the East Asian coastal area.

(2) There is the opposite anomalous pressure situation over the western Pacific and Southeast Asia, in accordance with strong (weak) East Asian winter monsoon. Continuous strong (weak) East Asian winter monsoon dynamic impact is favorable for forming anomalous west (east) wind over the equatorial western Pacific and a cyclonic (an anticyclonic) circulation over the east of Philippines.

(3) Strong or weak East Asian winter monsoon has the important dynamic impact on different pressure gradient and meridional wind anomalies over the northwestern Pacific and East Asian coast. It causes the formation of anomalous west (east) wind over the equatorial western Pacific and a cyclonic (an anticyclonic) circulation over the east of Philippines.

Key words anomalous East Asian winter monsoon, dynamical impact, zonal wind, the equatorial western Pacific

1 引言

早在 20 世纪 60 年代末, Bjerknes^[1] 就指出 El Niño 事件是热带太平洋海-气相互作用的产物。之后的一系列研究^[2~6] 表明, El Niño 的发生与赤道太平洋信风减弱(出现异常西风)有非常紧密的关系。一些研究^[7~9] 还发现, 同 El Niño 事件相联系的赤道西风异常基本上先出现在赤道西太平洋, 然后逐渐向东扩展。一些动力学研究^[10, 11] 也表明, 赤道西太平洋的纬向风异常对 El Niño 的发生有重要作用。

那么, 是什么样的物理过程或原因导致了赤道西太平洋的西风异常? 通过资料分析和理论研究, 李崇银^[6, 12, 13] 指出强东亚冬季风(强东亚高空槽的活动)可以在赤道西太平洋激发出西风异常和强对流活动(强大气季节内振荡), 并将进一步通过海-气相互作用而激发产生 El Niño。一些研究^[14~17] 已表明, 随着赤道西太平洋异常西风的向东传播, 赤道东太平洋将出现海表温度(SST)的正异常。还有研究指出, 赤道西太平洋的西风异常主要是由北半球中纬度传来, 有时也可以由南半球传来^[18]; 一旦赤道太平洋地区由西风应力转变成东风应力, El Niño 事件也就走向衰亡^[19]。

还有研究^[20] 表明, 在 El Niño 的形成和发展阶段, 不仅在赤道西太平洋有西风异常, 而且在菲律宾以东有异常的气旋性环流; 但在 La Niña 的形成和发展阶段, 不仅在赤道西太平洋有东风异常, 而

且在菲律宾以东有反气旋性环流。但是, 上述异常流型之所以形成的动力学机制还未搞清楚。

本文的目的在于讨论异常东亚冬季风对形成赤道西太平洋异常西(东)风和在菲律宾以东地区形成气旋性(反气旋性)环流的动力作用, 进而了解异常东亚冬季风激发赤道西太平洋纬向风异常和 ENSO 的物理过程。

本文分析主要用到 NCAR/NCEP 再分析资料(1958~1998 年, 2.5°×2.5°分辨率)和美国 NOAA 的 OLR(射出长波辐射)资料。

2 ENSO 发生与 850 hPa 风场的异常形势

由于 El Niño(La Niña)事件的发生根本来自热带太平洋的海-气相互作用, 在 El Niño(La Niña)发生之前, 赤道太平洋应该有一定的异常大气环流形势存在, 已是不争的事实。为了进一步指明与 ENSO 发生相伴的大气环流异常特征, 我们分别对 1958~1998 年间的 El Niño 和 La Niña 事件进行 850 hPa 异常风场的合成分析。因篇幅有限, 这里仅给出 ENSO 发生之前的 3 月份平均形势(图 1)。虽然 El Niño(La Niña)尚未发生, 但可以清楚看到在 El Niño(La Niña)发生之前, 赤道西太平洋已有西(东)风异常出现, 而在菲律宾以东有一个气旋(反气旋)性环流。这意味着在 El Niño(La Niña)发生之前, 热带西太平洋的大气环流已先期发生了明显异常, 上述大气环流的异常还存在相互促进的正

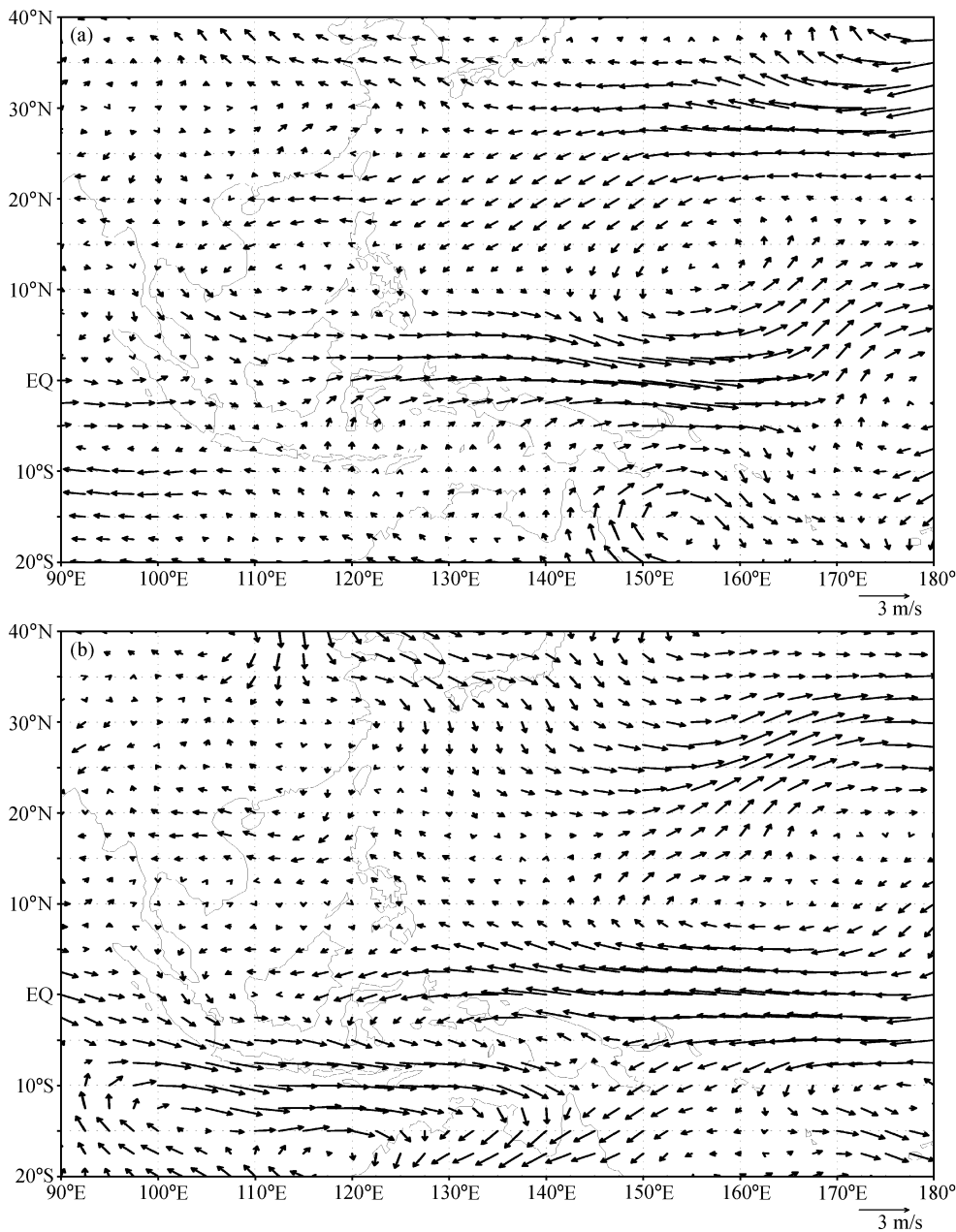


图1 El Niño (a)和 La Niña (b)发生之前的3月份850 hPa异常风场的合成形势

Fig.1 The composited situation of anomalous wind field at 850 hPa in Mar before El Niño (a) and La Niña (b) occur

反馈,即赤道西太平洋的西(东)风异常有利于菲律宾以东气旋(反气旋)性环流的形成,而菲律宾以东的气旋(反气旋)性环流又有利于赤道西太平洋西(东)风异常的持续存在。

图2是对应半个世纪以来的6个较强El Niño事件(1972、1976、1982、1986、1991和1997年)和5个典型La Niña(1965、1967、1973、1984和1988年)的合成分析结果,它显示赤道西太平洋地区(5°S~5°N, 120°E~160°E)纬向风异常 u_a (图2a、

c)和Niño3区海温异常SSTA(图2b、d)的时间演变。图2中,El Niño和La Niña的模式表现得十分清楚,它们都在当年的11~12月份达到最强。而对应El Niño(La Niña)事件,在其发生之前,赤道西太平洋地区已先期出现了西风(东风)异常。这种纬向风异常持续的时间很长,在当年的秋天达到最大;随着异常纬向风的减弱,El Niño(La Niña)也就跟着减弱消失。

上述分析表明,ENSO的发生与赤道太平洋地

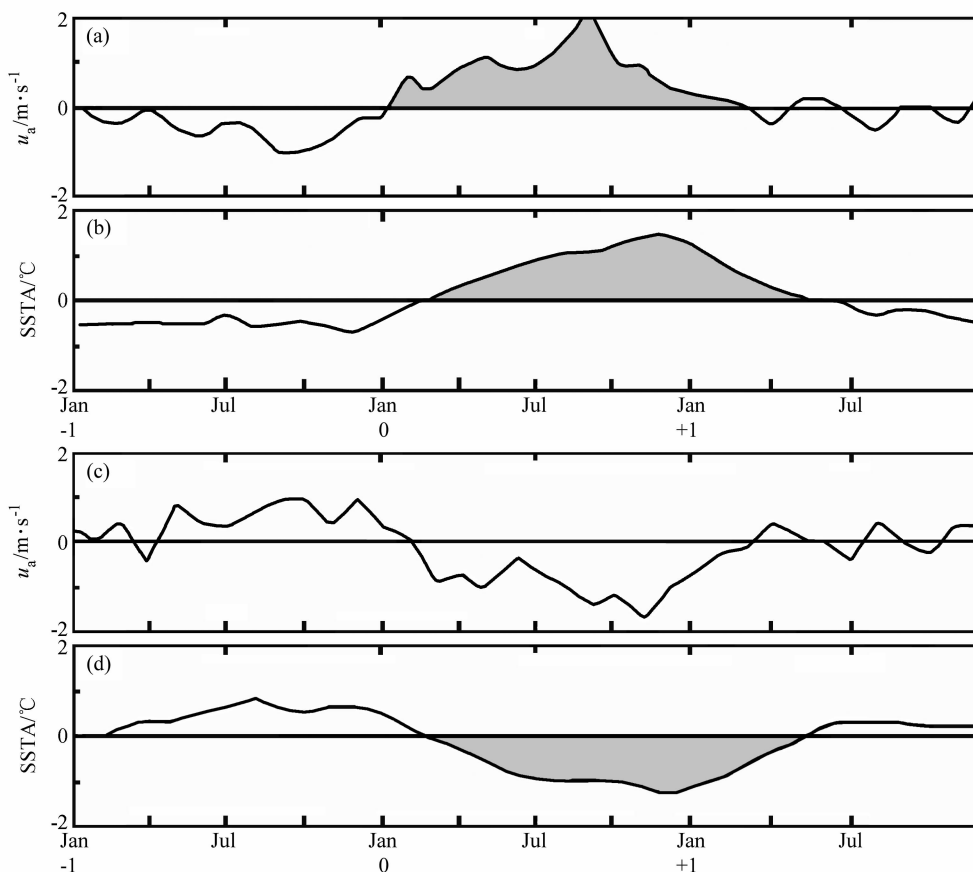


图 2 对应 El Niño (a, b) 和 La Niña (c, d) 情况赤道西太平洋地区合成的异常纬向风(a, c)及 Niño3 区合成的 SSTA (b, d)的时间演变。横坐标表示时间; -1、0 和 +1 分别指 ENSO 发生的前一年、当年和后一年

Fig. 2 Synthetic anomalous zonal wind u_a (a, c) over the western equatorial Pacific and temporal variation of composite sea surface temperature anomaly (SSTA) (b, d) over the Niño 3 region corresponding to El Niño (a, b) and La Niña (c, d). Abscissa stands for time; -1, 0 and +1 stand for the year before ENSO occurs, the year that ENSO occurs and the year after ENSO occurs

区纬向风异常有非常密切的关系,尤其是赤道西太平洋地区的纬向风异常对 ENSO 的发生起重要作用。过去有关 ENSO 与东亚冬季风相互关系的研究已清楚表明在 El Niño(La Niña)发生之前的冬季,东亚冬季风一般偏强(弱),在西北太平洋和东亚沿海地区有异常北(南)风出现。但东亚冬季风异常如何引发赤道西太平洋的纬向风异常的机理并未搞得很清楚,下面我们将给予分析讨论。

3 赤道太平洋纬向风异常与东亚冬季风关系的进一步分析

用欧洲中期预报中心(ECMWF)资料和 NCEP 再分析资料所做的合成分析,表明在 El Niño(La Niña)发生之前,赤道西太平洋都有西(东)风异常出现;而在其之前分别已有强(弱)东亚冬季风异常

的发生,也就是说在($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$)区域有异常北(南)风出现^[16, 21, 22]。

为了进一步揭示赤道西太平洋纬向风异常与东亚冬季风的关系,给出对应半个世纪以来的较强 El Niño事件, ($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$)地区的合成经向风异常以及赤道西太平洋($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$)地区的合成纬向风异常的时间变化(图 3)。由图 3 可以清楚地看到,在赤道西太平洋西风异常发生之前,西北太平洋和东亚沿海地区已先期有北风异常出现。这在一定意义上表明,异常的强东亚冬季风(强北风)对赤道西太平洋西风异常的发生有重要的作用。

在图 4 中给出了冬半年赤道西太平洋地区平均的 850 hPa 纬向风与全球各格点经向风同时相关的相关系数分布,可以看到在西北太平洋和东亚沿海

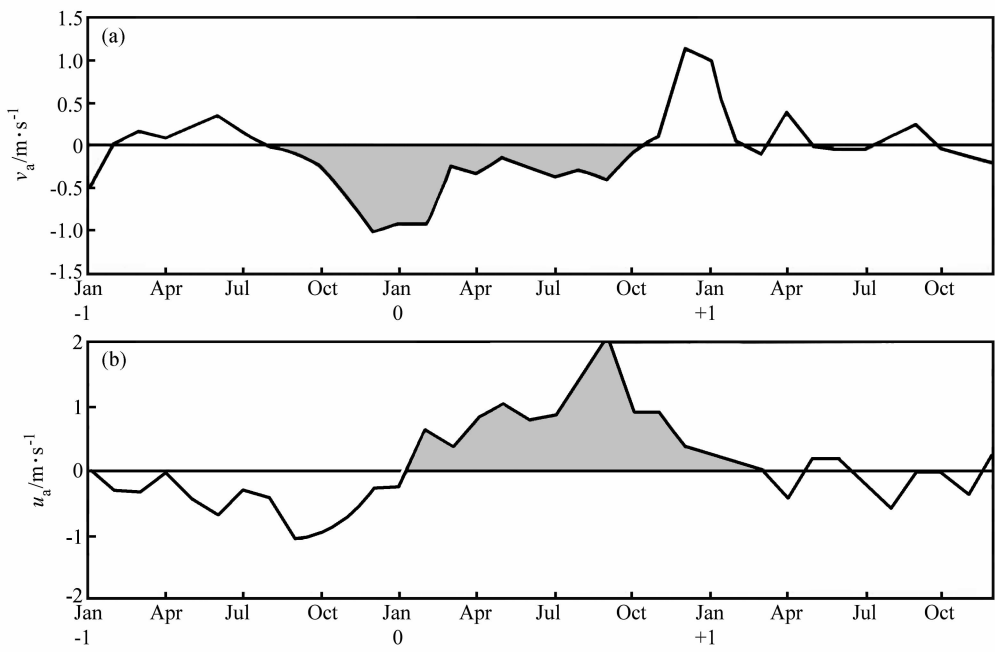


图 3 对应 El Niño 情况在西北太平洋和东亚沿海地区的合成经向风异常 v_a (a) 及赤道西太平洋上空纬向风异常 (b) 的时间变化
Fig. 3 The temporal variation of composit anomalous meridional wind v_a over the northwestern Pacific and East Asia coastal area (a) and zonal wind over the western equatorial Pacific (b) corresponding to El Niño

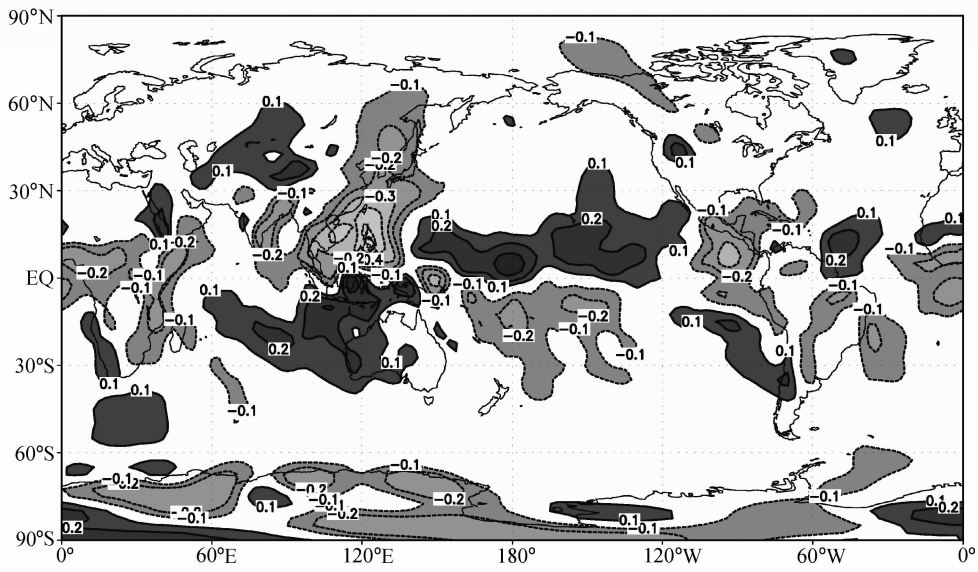


图 4 冬半年赤道西太平洋 850 hPa 纬向风与全球格点 850 hPa 经向风之间的相关系数分布(阴影区表示超过 95% 的信度)
Fig. 4 The distribution of correlation coefficient between 850 hPa zonal wind over the western equatorial Pacific and 850-hPa global meridional wind in winter. Shadow shows that significance is over 95%

地区有一个最大的负相关区。这从另一个角度也表明,赤道西太平洋的纬向风异常与东亚冬季风异常有密切的关系,与强的北风(南风)异常相对应的强(弱)东亚冬季风有利于导致赤道西太平洋异常西风(东风)的发生。

图 5 给出了冬半年西北太平洋和东亚沿海地区 850 hPa 平均经向风与赤道印度洋-中西太平洋地区纬向风的滞后相关系数的分布,以及它们随时间的演变。可以看到,赤道东印度洋及赤道西太平洋地区的纬向风与西北太平洋和东亚沿海地区的 850

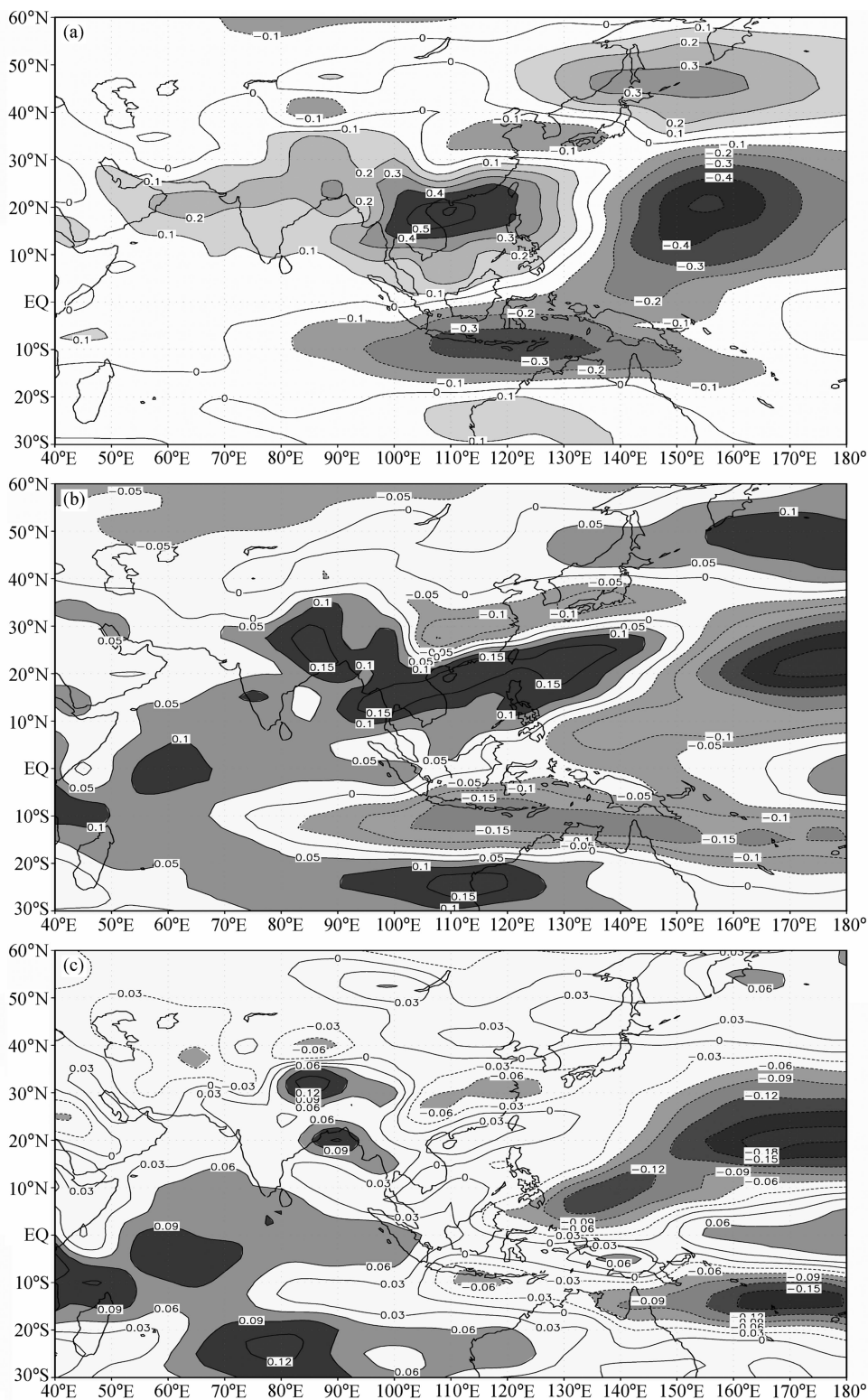


图 5 冬半年赤道印度洋-中西太平洋 850 hPa 纬向风与西北太平洋和东亚沿海地区 850 hPa 平均经向风之间的滞后相关系数的分布(阴影区表示超过 95% 的信度): (a) 同时相关的相关系数分布; (b) 纬向风滞后平均经向风 5 天的相关; (c) 纬向风滞后平均经向风 10 天的相关
Fig. 5 The distribution of correlation coefficient between 850 hPa zonal wind over the Indian the middle western Pacific and average 850 hPa meridional wind over the northwestern Pacific and East Asian coastal area: (a) Simultaneous correlation; (b) the zonal wind lags the meridional wind for 5 days; (c) the zonal wind lags the meridional wind for 10 days. Shadow shows that significance is over 95%

hPa 平均经向风先期有很好负相关, 而随时间的演变其负相关区沿赤道明显东传, 其后主要在赤道中-西太平洋地区形成负相关区。也就是说, 异常的强东亚冬季风(异常北风)将会在赤道东印度洋和赤道中西太平洋地区激发产生异常西风; 异常的弱东亚冬季风(异常南风)将会在赤道东印度洋和赤道中西太平洋地区激发产生异常东风。而异常东亚冬季风所激发的异常纬向风有沿赤道东传的明显特征。

4 异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风的动力作用

一些研究指出, 强东亚冬季风会导致赤道西太平洋地区积云对流的加强^[12, 23], 并激发出强热带大气季节内振荡; 而通过该地区季节内振荡与环境

场的相互作用可在赤道西太平洋引起持续的西风异常^[24]。由西北太平洋和东亚沿海地区 850 hPa 经向风与冬半年热带地区 OLR 之间的相关系数分布(图 6a), 可以看到北风异常(强冬季风)对应着赤道西太平洋的强对流(OLR 低值), 而南风异常(弱冬季风)联系着赤道西太平洋的弱对流(高值 OLR)。这充分显示了东亚冬季风对赤道西太平洋地区对流活动的影响。图 6b 给出赤道西太平洋地区合成的纬向风异常及大气季节内振荡动能异常的时间变化, 两者大致相近的时间变化特征, 也清楚表明了赤道西太平洋纬向风异常与大气季节内振荡有密切关系, 即西风(东风)异常对应着强(弱)大气季节内振荡的活动。也可以说, 通过激发异常的对流活动和热带大气季节内振荡的异常, 异常东亚冬季风也

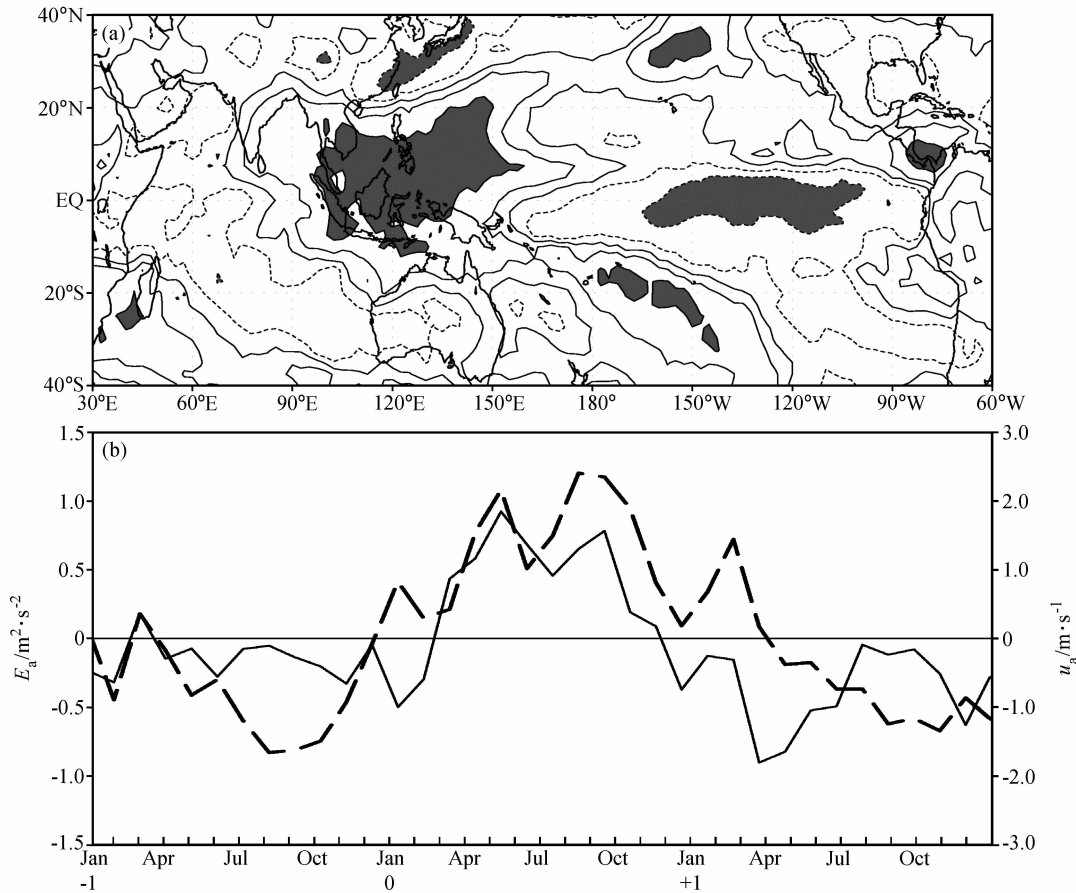


图 6 (a) 东亚冬季风指数(西北太平洋和东亚沿海地区的平均经向风)和热带 OLR 在冬半年的相关系数的分布, 阴影区表 99% 的信度; (b) 赤道西太平洋合成的纬向风异常(虚线, 单位: m/s)和大气季节内振荡动能异常 E_a (实线, 单位: m^2/s^2) 的时间变化

Fig. 6 (a) Correlation coefficient between the East Asian winter monsoon index (average meridional wind over the northwestern Pacific and the East Asian coastal area) and the tropical outgoing longwave radiation (OLR) in winter (shadow shows that significance is over 99%); (b) temporal variation of composite zonal wind anomalies over the western equatorial Pacific (dashed line, units: m/s) and kinetic energy anomalies of tropical intra-seasonal oscillation (E_a , solid line, units: m^2/s^2)

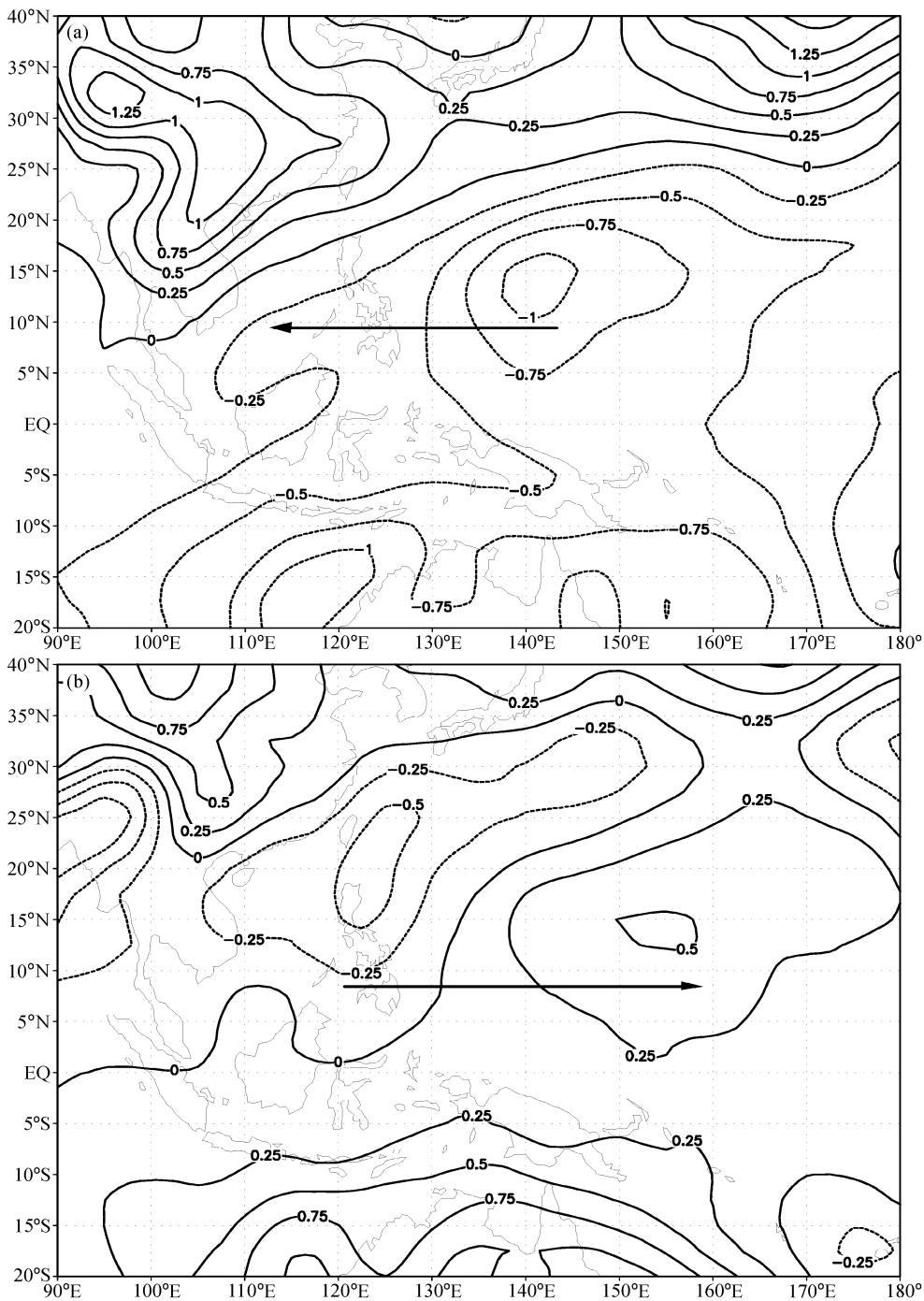


图 7 对应强(a)和弱(b)东亚冬季风,在热带西太平洋地区的 12 月海平面气压异常场的分布
Fig. 7 The distribution of anomalous atmospheric pressure field in the tropical western Pacific in Dec corresponding to strong (weak) East Asian winter monsoon.

可以导致赤道西太平洋的纬向风异常。

上面讨论异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风的一种间接影响,下面我们将进一步讨论异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风的一种直接影响。我们已在引言中指出, El Niño(La Niña)的发生与

赤道西太平洋的异常西风(东风)以及热带西太平洋(菲律宾以东)的异常气旋性(反气旋性)环流有密切关系,而赤道西太平洋的纬向风异常又与东亚冬季风的异常有关。为了进一步揭示异常东亚冬季风对激发赤道西太平洋纬向风异常和热带西太平洋大气

环流异常的重要作用, 下面进行简单动力学讨论。

在热带大气中, 纬向风(无基本流)的扰动(浅水)方程可写成:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \beta y v = -\frac{\partial p}{\partial x} - D_m u, \quad (1)$$

其中, u 和 v 分别为纬向和经向风分量, p 为气压, D_m 为大气动量阻尼系数。在赤道附近地区, $y \rightarrow 0$, 可得到方程(1)的平衡形式如下:

$$D_m u = -\frac{\partial p}{\partial x}. \quad (2)$$

显然, 如果 $\partial p / \partial x < 0$, 那么有 $u > 0$, 在赤道附近地区会有西风的产生或加强; 如果 $\partial p / \partial x > 0$, 那么将有 $u < 0$, 在赤道附近地区将有东风的产生或西风的减弱。这意味着近赤道地区的纬向风直接依赖于

纬向气压梯度, 如果 $\partial p / \partial x < 0$, 那么将在赤道地区导致异常西风的产生或加强; 如果 $\partial p / \partial x > 0$, 那么将在赤道地区有利于形成异常东风。

由于东亚冬季风异常可以在赤道西太平洋引起不同的纬向气压梯度, 从而对赤道西太平洋纬向风的异常起着重要作用。对应强和弱东亚冬季风, 热带西太平洋地区海平面气压异常场的特征形势如图 7 所示, 虽然这里仅给出了 12 月的平均形势, 而在冬季其他月份也有类似的特征。在图 7 中可以看到, 对应强冬季风的情况, 在 150°E 附近地区有一个异常低气压中心, 赤道西太平洋有 $\partial p / \partial x < 0$ 特征; 而对应弱东亚冬季风情况, 赤道西太平洋地区有 $\partial p / \partial x > 0$ 。另一方面, El Niño 和 La Niña 事件发生当年 3 月的异常海平面气压合成场分别在图 8

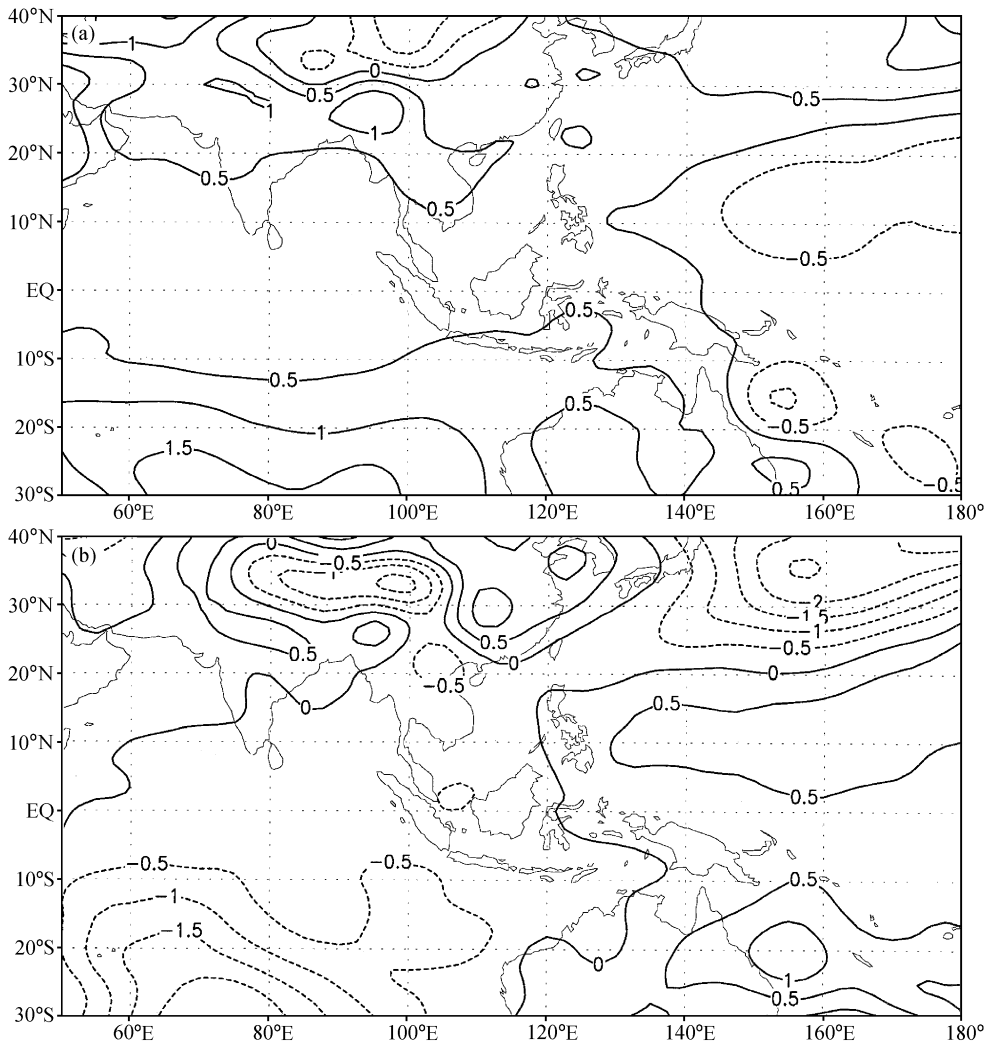


图 8 3 月份对应 El Niño (a) 和 La Niña (b) 情况合成的异常海平面气压形势

Fig. 8 The anomalous atmospheric pressure field in Mar corresponding to El Niño (a) and La Niña (b)

中给出,其海平面气压场的异常形势与图 7 十分相似,甚至特征更突出,尤其是在 El Niño(La Niña)年纬向气压梯度在赤道西太平洋都是负值(正值)。正如前面所分析的,El Niño(La Niña)事件的发生一般都是与前冬的强(弱)东亚冬季风相联系的。

上述分析表明,对应着 El Niño(La Niña)爆发前的强(弱)东亚冬季风,在西太平洋近赤道地区形成不同的气压场形势,由于气压梯度力的动力作用,将在赤道西太平洋激发产生异常西风(东风)。另一方面,如果东亚冬季风偏强,在西北太平洋和东亚沿海地区有异常北风出现;如果东亚冬季风偏弱,在西北太平洋和东亚沿海地区有异常南风出现。这样,西北太平洋和东亚沿海地区的异常北风(南风)与赤道西太平洋地区的异常西风(东风)相结合,就会在菲律宾以东地区形成气旋性(反气旋性)异常环流。进而这种异常环流更有利于赤道西太平洋异常西风(东风)的维持。

因此,可以认为,强(弱)东亚冬季风不仅会导致赤道西太平洋地区异常西风(东风)的形成,而且可以有利于异常气旋性(反气旋性)环流在菲律宾以东地区的形成。换句话说,赤道西太平洋的异常西风(东风)和菲律宾以东地区异常气旋性(反气旋性)环流的形成都直接与强(弱)东亚冬季风有关。

5 结论

上述分析和讨论进一步揭示了赤道西太平洋的西风(东风)异常及菲律宾以东的气旋性(反气旋性)环流异常与异常强(弱)东亚冬季风的关系,以及它们的形成机制。主要结果归纳如下:

(1) 同 El Niño(La Niña)的发生有密切联系的赤道西太平洋西风(东风)异常和菲律宾以东的异常气旋(反气旋)性环流都同其前期东亚冬季风的强(弱)异常有关。一般,在 El Niño(La Niña)事件发生之前,赤道西太平洋会有西风(东风)异常出现,而在菲律宾以东有异常气旋(反气旋)环流。但在这些环流异常出现前,在西北太平洋和东亚沿海地区已出现北风(南风)异常,即东亚冬季风已偏强(弱)。

(2) 对应强和弱的东亚冬季风,在西太平洋和东南亚地区会较长时间存在特殊的近乎相反的异常气压场形势。持续的强(弱)东亚冬季风的动力作用将分别有利于形成赤道西太平洋的异常西风(东

风),以及在菲律宾以东形成异常气旋(反气旋)性环流。

(3) 强或弱东亚冬季风所造成的赤道西太平洋地区的不同气压梯度以及西北太平洋和东亚沿海地区的经向风异常起着重要的动力作用,使其在赤道西太平洋形成异常西风(东风),在菲律宾以东造成异常气旋(反气旋)性环流。

参考文献 (References)

- [1] Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 1969, **97**: 163~172
- [2] Rasmusson E M, Carpenter T H. Variation in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**: 354~384
- [3] Rasmusson E M, Wallace J M. Meteorological aspects of El Niño/Southern Oscillation. *Science*, 1983, **222**: 1195~1202
- [4] Cane M A, Zebiak S E. A theory for El Niño and Southern Oscillation. *Science*, 1985, **228**: 1085~1087
- [5] Gihl M, Childress S. *Topics in Geophysical Fluid Dynamics: Atmospheric Dynamics, Dynamo Theory and Climate Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 1987
- [6] 李崇银. 频繁的东亚大槽活动与 El Niño 的发生. *中国科学*, 1988, (6): 667~674
Li Chongyin. Frequent activities of stronger aerotroughs in East Asia in wintertime and the occurrence of the El Niño event. *Science in China (B)*, 1989, **32**: 976~985
- [7] O'Brien J J, Busalacchi A J. The Pacific Ocean response to El Niño condition. *WCRP Publication Series*, 1983, (1): 111~122
- [8] Battisti D S. Dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere-ocean model. *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**: 2889~2919
- [9] Li Chongyin, Chen Yuxiang, Yuan Zhongguang. Important factor cause of El Niño event—the frequent activities of stronger cold waves in East Asia. *Frontiers in Atmospheric Sciences*. New York: Allenton Press INC., 1989, 156~165
- [10] Huang Ronghui, Zhang Renhe, Yan Bangliang. Dynamical effect of the zonal wind anomalies over the tropical western Pacific on ENSO cycles. *Science in China (D)*, 2001, **44**: 1089~1098
- [11] 巢纪平, 巢清尘. 热带西太平洋对风应力响应的动力学. *大气科学*, 2002, **26**: 145~160
Cao Jiping, Cao Qingchen. The dynamics of the response of tropical western Pacific to wind stress. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2002, **26**: 145~160
- [12] Li Chongyin. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events. *Adv. Atmos. Sci.*, 1990,

- 7: 36~46
- [13] Li Chongyin. Westerly anomalies over the equatorial western Pacific and Asian winter monsoon. Proceeding of International Scientific Conference on the TOGA Programme, WCRP-91-WMO/TP, No. 717, 1995, 557~561
- [14] Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR Reanalysis. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 2605~2619
- [15] Yu L, Rienecker M M. Evidence of an extratropical atmospheric influence during the onset of the 1997 - 98 El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**: 3537~3540
- [16] 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
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1999, **23**: 276~286
- [17] Xu J, Chan J C L. The role of the Asian/Australian monsoon system in the onset time of El Niño events. *J. Climate*, 2001, **14**: 418~433
- [18] 黄荣辉, 傅云飞, 臧晓云. 东亚季风与 ENSO 循环的相互作用. 气候与环境研究, 1996, **1**: 38~54
Huang Ronghui, Fu Yunfei, Zang Xiaoyun. Asian monsoon and ENSO cycle interaction. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1996, **1**: 38~54
- [19] 张人禾, 黄荣辉. El Niño 事件发生和消亡中热带太平洋纬向风应力的动力作用 I. 资料诊断和理论分析. 大气科学, 1998, **22**: 587~599
Zhang Renhe, Huang Ronghui. Dynamical roles of zonal wind stresses over the tropical Pacific on the occurring and vanishing of El Niño. Part I: Diagnostic and theoretical analyses. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1998, **22**: 587~599
- [20] Zhang Renhe, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon, A diagnostic study of the 86 / 87 and 91 / 92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**: 49~62
- [21] 李崇银. 气候动力学引论. 北京: 气象出版社, 1995. 246pp
Li Chongyin. *Introduction of Climate Dynamics* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1995. 246pp
- [22] Li Chongyin. A further study on interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño. *Acta Meteor. Sin.*, 1996, **10**: 309~320
- [23] 孙柏明, 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
Sun Boming, Li Chongyin. Relationship between the disturbance of East Asian trough and tropical convection. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1997, **42**: 500~503
- [24] 龙振夏, 李崇银. 热带低层大气 30~60 天低频动能的年际变化与 ENSO 循环. 大气科学, 2001, **25**: 798~808
Long Zhenxia, Li Chongyin. Interannual variability of 30 - 60 day low-frequency kinetic energy in the lower tropical atmosphere. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2001, **25**: 798~808