

大气季节内振荡的活动与 El Nino^①

李桂龙 李崇银

(LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

提 要

对三次 El Nino 发生前后的 ECMWF 资料用滤波方法(带通, 低通)进行分析, 得到的结果清楚地表明, 在 El Nino 发生前热带季节内振荡较强, 而伴随 El Nino 发生, 季节内振荡明显减弱, 这种能量变化最明显的地区是赤道东太平洋地区; 对于周期在 90 天以上的热带准定常波, 伴随 El Nino 的发生其能量明显增加, 这种增加反映最显著的区域是从大西洋往西一直到西太平洋。对中纬度(25–35 N)及中高纬度(40–50 N)地区的准定常波能量分析表明, 中纬度地区的准定常波能量比低纬大, 准定常波能量变化在中纬度(25–35 N)表现出与低纬能量变化一致的情形, 即伴随着 El Nino 的发生, 准定常波能量增加; 中高纬度(40–50 N)只在亚洲大陆(100–170 E)表现出与热带一致的能量变化。结果还显示, 热带季节内振荡在低层的东传对赤道西风异常及对 El Nino 的发生、发展起着很重要的作用。

关键词 厄尔尼诺 季节内振荡 准定常波

分类号 P434

1 引 言

近年来, 尤其是 90 年代以来, 气候变化及其异常越来越引起人们的广泛重视, 一系列的研究已清楚地表明, El Nino 事件既是年际气候变化的重要信号, 同时又会在全球大范围地区造成严重气候灾害, 例如印度和澳大利亚东部的干旱和南美北部的洪涝等。另一方面, 月季气候变化已被认为同大气低频振荡的活动有关, 因此大气季节内振荡也是另一很需要研究的课题。

ENSO 循环和大气季节内振荡可看成两种不同的时间尺度(年际时间尺度和月季时间尺度)的气候变化, 它们之间的关系也是气候研究的重要问题, 而且通过研究它们的关系还能了解它们的特性及其动力学机制。基于一些分析研究, Lau 首先提出了一种推测^[1], 认为热带大气季节内振荡通过海气耦合作用而增幅减频可激发出 El Nino 事件, 从而将 El Nino 和大气季节内振荡两类不同的时间尺度系统联系起来。李崇银和周亚萍的资料分析结果不仅证实了 El Nino 事件发生前热带大气(尤其是赤道西太平洋地区)季节内振荡有异常增强, 显示了热带大气季节内振荡对 El Nino 的激发作用; 还进一步指出在 El Nino 期间, 热带大气季节内振荡明显偏弱, 显示了 El Nino 同热带大气季节内振荡存在相互作用^[2]。一个 GCM 数值模拟研究既表明 El Nino 不仅对热带大气季节内振荡的强

① 1996-09-26 收到初稿, 1997-01-28 收到修改稿。本研究得到国家自然科学基金和 KZ951-B1-408 项目资助。

度有抑制作用, 而且还会影响热带大气季节内振荡的垂直结构, 使其趋向正压^[3]。

在 El Nino 之前热带大气季节内振荡比较强, 而在 El Nino 期间热带大气季节内振荡比较弱, 似乎表明伴随 El Nino 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。为了揭示这种大气系统能量转送的特征, 用 ECMWF (1981 - 1991 年) 的资料对大气低频系统在 El Nino 事件爆发前后的动能及其变化进行系统分析, 同时讨论了低层风场扰动的活动特征对 El Nino 事件的影响。

2 El Nino 发生发展过程热带大气低频系统能量的变化

用 ECMWF 资料对低频系统 (季节内振荡) 和准定常 (90 天以上) 系统进行滤波分析 (季节内振荡用带通, 90 天以上用低通), 其结果可以看出, 在 3 次 El Nino 的发生、发展过程中存在着较一致的变化规律, 即伴随 El Nino 事件的发生, 大气中低频系统的动能有急骤的改变。图 1 给出了 1982 和 1986 年夏季同 El Nino 发生相联系的 200hPa 上纬向平均的热带大气季节内振荡动能及准定常扰动动能的演变。从图中可清楚地看到, 热带大气季节内振荡的扰动动能在 El Nino 发生前很强, 而在 El Nino 发生时突然减小; 准定常扰动的动能在 El Nino 发生时突然增强。这种能量的一消一长, 说明伴随着 El Nino 的发生可能存在大气季节内振荡向准定常大气运动的能量转送。对 1991 年的 El Nino 事件, 与前两次事件既有类似之处又有某些差异。这一点可从图 2 中看出。作为对比, 在图 2 中给出了 1986 年 El Nino 事件与 1991 年 El Nino 事件发生前后 200hPa 上 10 S - 10 N 平均能量的时间-经度剖面, 从图中可以清楚地看到, 1986 年夏季 (7 月份) 开始大气季节内振荡已减弱, 且一直持续到 1987 年; 而对于 1991 年 El Nino 事件, 在 1990 年

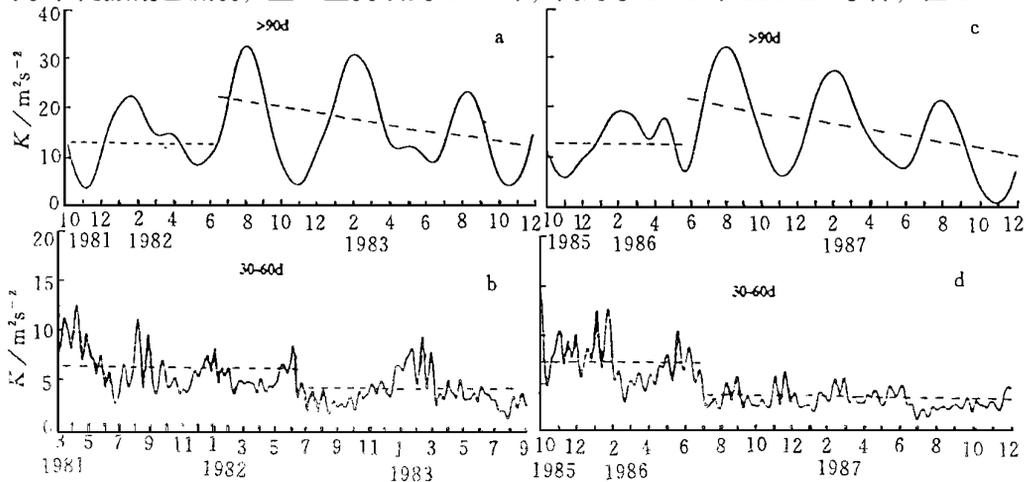


图 1 同 1982 年、1986 年 El Nino 发生相联系的 200hPa 低频扰动动能和准定常扰动动能在热带 (10 S - 10 N) 随时间的演变 (单位 m^2/s^2)

Fig. 1 Evolutions with time of low-frequency perturbation and quasi-stationary kinetic energy at 200hPa associated with El Nino events in 1982 and 1986 within the tropical zone of 10 S - 10 N (Unit: m^2/s^2).

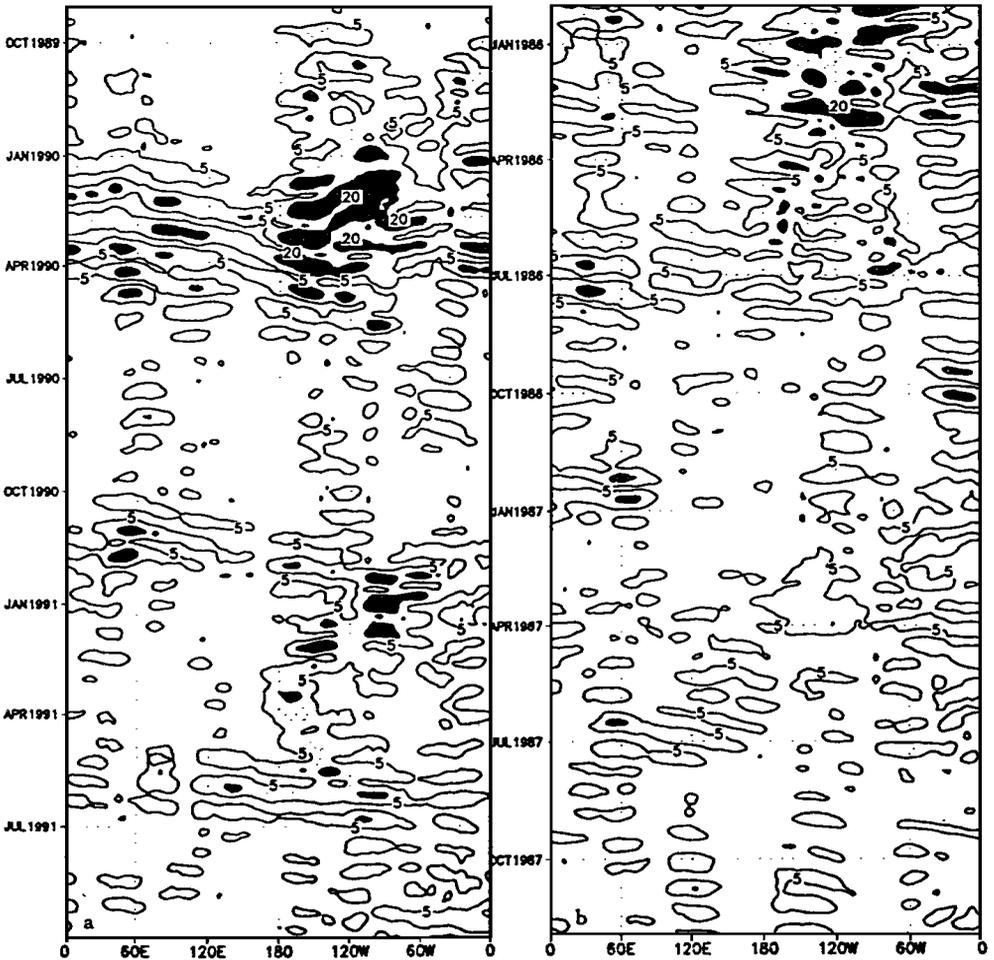


图 2 1986、1991 年 El Nino 发生前后热带 (10 S-10 N) 200hPa 上低频扰动动能随时间的变化 (单位 m^2/s^2)

Fig. 2 Evolutions with time of low frequency perturbation kinetic energy at 200hPa before and after the El Nino events in 1986 and 1991 (Unit: m^2/s^2).

6 月开始出现季节内振荡的减弱, 但相对来讲减弱不及 1986 年, 因 1990 年冬虽比 1989 年冬弱, 但强于 1986 年冬。有意思的是, 赤道东太平洋 SST 在 1990 年虽已出现正距平, 但 El Nino 直到 1991 年才真正爆发。这同热带大气季节内振荡扰动动能的变化相当一致。

进一步的分析表明, 在 El Nino 发生时赤道地区大气季节内振荡动能的减弱还存在一定的区域性特征, 其动能变化最大的区域是在赤道东太平洋, 且该区域的扰动动能变化趋势与全球扰动动能变化趋势一致 (图略)。李崇银曾指出全球热带大气季节内振荡能量的分布存在三个高值区, 其中以赤道东太平洋的扰动动能最大^[4]。因此赤道东太平洋季节内振荡扰动动能的变化与全球赤道地区扰动动能变化的一致性值得引起重视。在对准

定常波的分析中发现, 准定常波能量的变化在赤道不同地区也存在一定的差异, 从大西洋往西一直到赤道西太平洋存在着与全球大气扰动动能相一致的变化(即动能增大)。在 El Nino 发展的最强时期准定常波扰动动能在大西洋达到最大。

3 与 El Nino 相伴的中纬度大气低频系统能量变化

已有研究表明, El Nino 发生前, 大气季节内振荡在东亚和西太平洋地区的动能比赤道中西太平洋地区的扰动动能先增强, 这反映出中纬度季节内振荡对低纬季节内振荡的影响^[5]。全球纬向平均的季节内振荡动能的变化情况怎样呢? 图 3 给出了 25–35°N 纬带全球平均的大气季节内振荡动能的时间演变, 虽然这种纬向平均动能的变化难于看出超前的现象, 但是伴随 El Nino 事件的发生季节内振荡动能的减小还是清楚的。在中高纬地区, 大气季节内振荡一般是冬季强于夏季, 从图 3 中冬半年(11–4月)平均的能量来看,

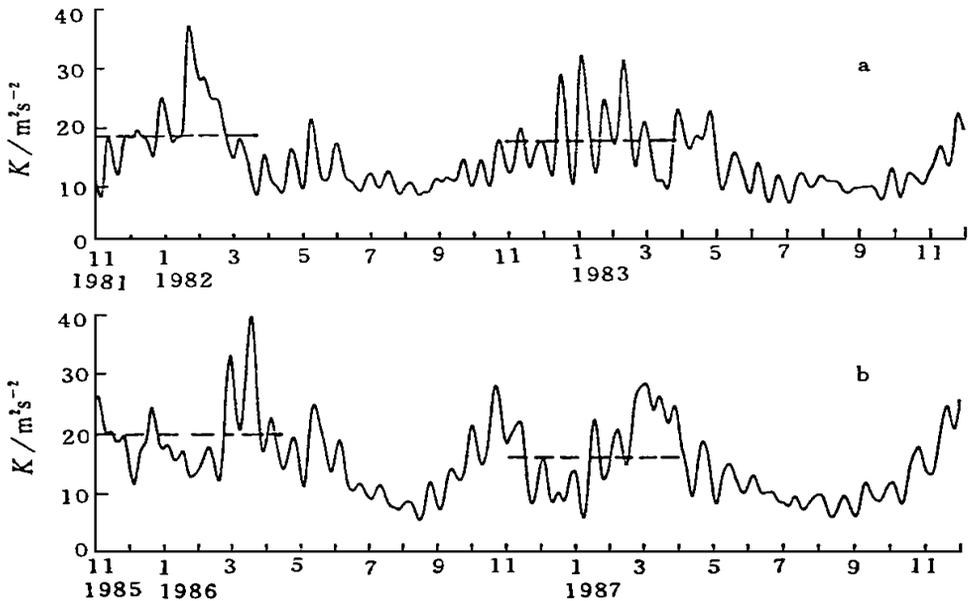


图 3 中纬度 (25–35°N) 200hPa 季节内扰动动能随时间的演变 (单位 m^2/s^2)

Fig. 3 Temporal evolutions of intraseasonal perturbation kinetic energy at 200hPa over mid latitudes (25–35°N) in unit of m^2/s^2 .

显然是 1982–1983 年冬季较 1981–1982 年冬季以及 1986–1987 年冬季较 1985–1986 年冬季季节内振荡的平均动能有明显的减小。对于 1991 年 El Nino, 因缺乏 1992 年资料故未作比较分析。可以初步认为, 伴随 El Nino 的发生, 中纬度 (25–35°N) 季节内振荡扰动动能与低纬季节内振荡动能有类似的能量减弱现象, 虽然这种减弱没有低纬那么强烈。准定常波能量变化也反映出一定的规律性。对中纬度来讲, El Nino 的发生使准定常波能量突增 (1982–1983 年, 1986–1987 年), 虽然 1990 年 El Nino 事件并没有发展起来, 但其准定常波能量还是出现了增长的现象 (图 4)。一个有意思的现象是中纬度准定常扰动动能的增长区域主要在 100–170°E, 这意味着对于 El Nino 事件的发生, 中纬

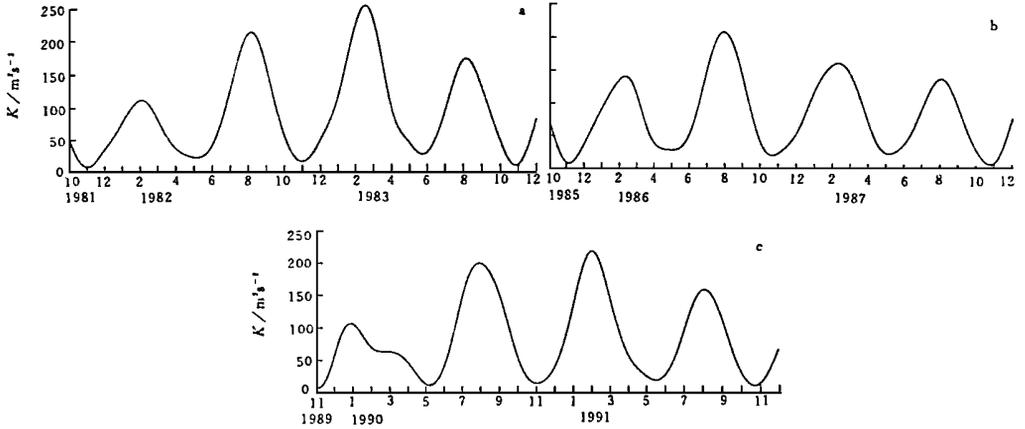


图4 中纬度 (25- 35 N) 准定常扰动动能随时间的演变 (单位 m^2/s^2)

Fig.4 Same as Fig.3 but for quasi-stationary perturbation kinetic energy.

度亚洲及西太平洋地区准定常扰动的异常可能是十分重要的。

对中高纬度准定常波的分析表明, 中高纬度也在亚洲及西太平洋地区 (100- 170 E) 出现了与低纬一致的能量增长现象(图5)。这种动能增长在 1982- 1983 年和 1986- 1987 年出现持续的峰值; 而对 1991 年 El Nino 却表现出略为不同的特征, 1990 年 8 月虽然出现了能量的增长, 但 1990- 1991 年冬季准定常波能量并没有维持很高的峰值, 这从另一方面 (准定常波动能) 再次表明 El Nino 难以在 1990 年发展起来。

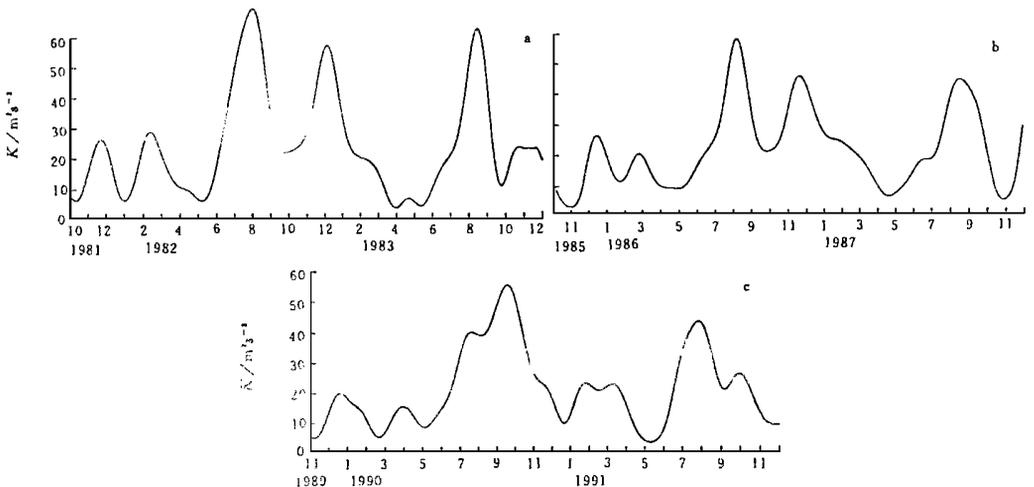


图5 中高纬度东亚及西太平洋地区 (40- 50 N, 100- 170 E) 准定常波扰动动能随时间的演变 (单位 m^2/s^2)

Fig.5 Same as Fig.4 but for East Asia in mid and high latitudes and West Pacific.

4 热带大气低频波的传播与 El Nino 的发生

赤道太平洋地区平均来讲为东北信风和东南信风控制, 从而导致了赤道太平洋海面

的西高东低特征, 并对赤道西太平洋平均 SST 偏高起到重要作用。但在 El Nino 情况下却有另外的情况, 出现信风异常。因此, 信风异常一直被人们视为是 El Nino 发生的重要条件。近年来的研究更进一步指出, 赤道西太平洋地区的西风爆发和向东扩展直接与 El Nino 的发生有关。利用 1982、1986、1990、1991 年 ECMWF 资料, 分析 850hPa 上从 60°E-120°W 纬向风随时间的变化 (图 6) 可以清楚看出, 1982 年 6 月中旬出现西风突然爆发并向东扩展现象, 该西风向东扩展非常强, 在 6 月中旬即到达了日界线附近; 1986 年也有西风爆发和东扩现象, 但 8 月份才到达 140°E, 从 8 月中旬至 9 月底有几次西风东伸到 160°E。1990 年 2 月、3 月曾出现两次持续的西风场且西风越过了日界线, 但其后西风一直在 150°E 以西地区, 由于年变化关系 1990-1991 年冬赤道西风虽也比较强, 可 1991 年春西风仍然比较弱, 直到 1991 年 6 月份以后才出现明显的西风东移现象, 到 8 月中旬

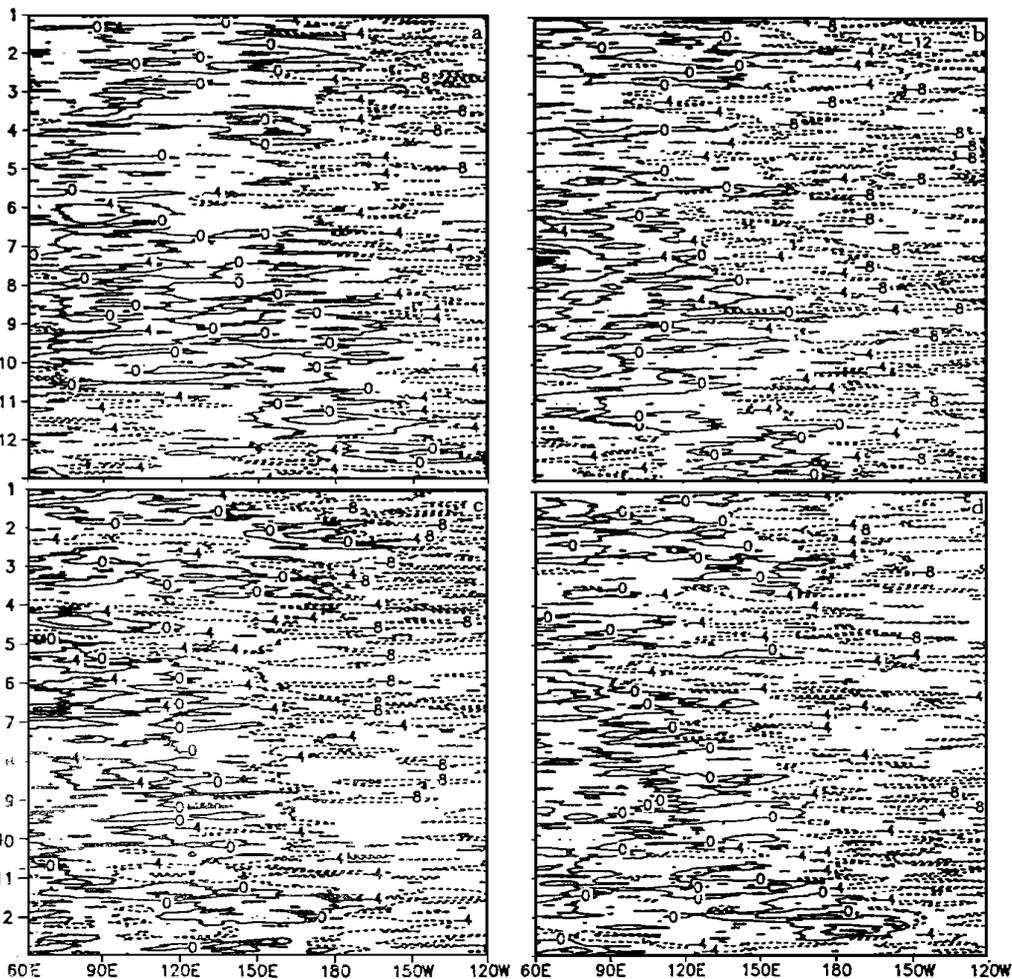


图 6 热带 (10°S-10°N) 850hPa 上纬向风场随时间的演变 (单位 m/s)

a. 1982 年; b. 1986 年; c. 1990 年; d. 1991 年。

Fig. 6 Temporal evolutions of zonal wind field at 850hPa in tropical zone (10°S-10°N) in unit of m/s in (a) 1982, (b) 1986, (c) 1990 and (d) 1991.

西风到达 160°E 且一直维持, 到 11 月份出现有组织的西风东传现象且越过日界线到达东太平洋。

在一个关于 OLR 季节内振荡 (1974–1982 年) 的分析研究中^[6], 通过比较不难发现, 在暖水事件 (1976、1980 和 1982 年) 发生前到发生期间 (尤其是夏季), 30–60 天振荡有较明显的东移特征。根据 ECMWF 资料的分析, 图 7 给出了季节内振荡纬向风的时间-经度剖面, 它也清楚地显示了上述特征。很显然 1982 年从 3 月份出现季节内振荡的有组织东传, 此东传现象一直持续到 10 月下旬; 1986 年季节内振荡的东传更为明显, 出现几

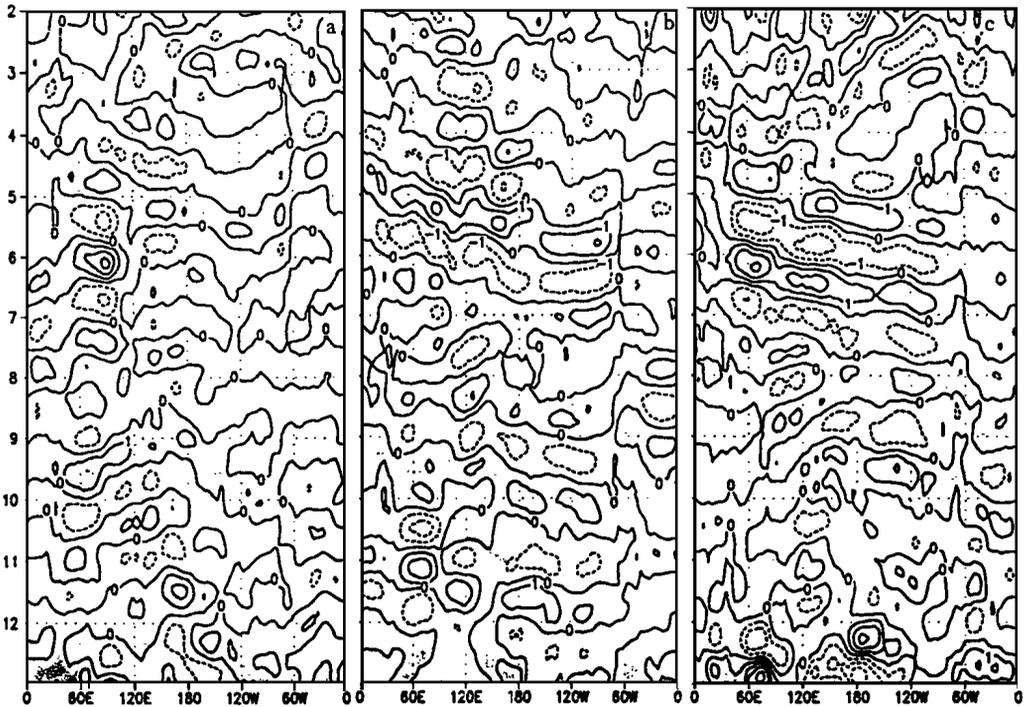


图 7 热带 (10 S–10 N) 850hPa 上季节内振荡纬向风随时间的演变 (单位 m/s)
a. 1982 年; b. 1986 年; c. 1991 年。

Fig. 7 Same as Fig. 6 but for intraseasonal oscillating zonal winds
in (a) 1982, (b) 1986 and (c) 1991.

乎全年的季节内振荡的东传; 1991 年从 4 月份到 9 月初也有明显的三次越过日界线的季节内振荡东传现象。十分有意思的是这种季节内振荡的向东传播与 1982、1986 和 1991 年 6、7 月份的西风东扩现象十分吻合。对于 1988 年发生的 La Nina 事件, 广大赤道太平洋地区出现明显的东风异常 (图略); 与之相对应, 热带大气季节内振荡在 1988 年夏秋季表现为明显的西传特征 (图 8a)。前面的分析已经指出, 1990 年虽然赤道东太平洋曾出现 SST 正距平, 但 El Nino 事件并没有发展起来; 而且还指出这与赤道太平洋没有持续的西风异常有关。热带大气季节内振荡传播情况的分析则表明 (图 8b), 在 1990 年夏季 (6–9 月), 赤道太平洋大气季节内振荡东传不明显, 甚至有西传特征。

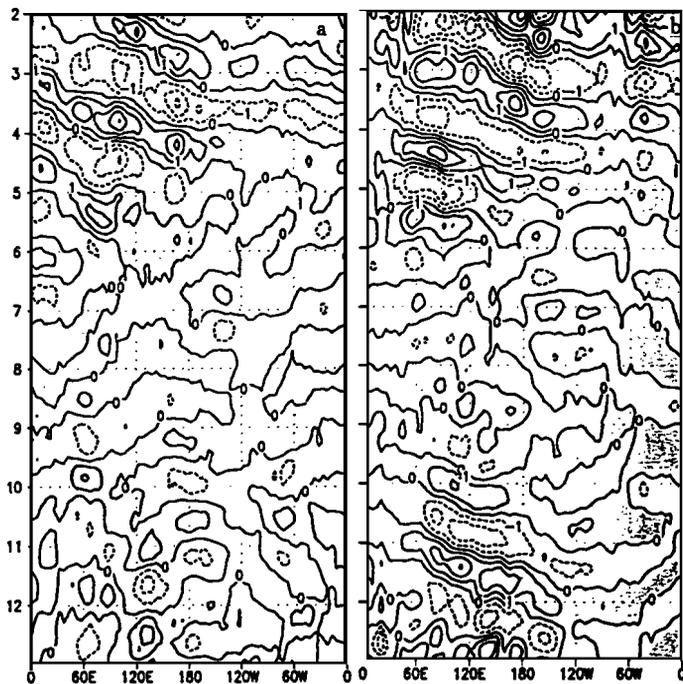


图 8 同图 7 a. 1988 年; b. 1990 年。

Fig. 8 Same as Fig. 7 but in (a) 1988 and (b) 1990.

上述分析已清楚表明, 热带大气季节内振荡的传播特征同赤道太平洋地区的西风异常的出现和向东扩展有关, 进而同 El Nino 的发生有密切的关系。或者可以初步认为, 热带大气季节内振荡的持续东传 (尤其是在夏季), 有利于赤道中西太平洋地区西风异常的出现和向东扩展, 最终有利于激发产生 El Nino。

5 结 论

(1) 同 El Nino 事件的爆发相伴随, 热带和副热带大气季节内振荡动能都出现极为清楚的急骤减小; 而准定常系统 (周期大于 90 天) 的动能有急速的增大。因此, El Nino 事件的发生同热带、副热带大气低频系统能量的转送有关, 特别是热带大气季节内振荡对 El Nino 事件的激发作用。当然, 这一资料分析结果还得有动力学机制的深入研究进一步证明。

(2) El Nino 事件的爆发同中高纬度某些地区 (东亚及西北太平洋地区) 大气系统的能量转送关系更密切。因此, 从中高纬度大气运动对热带大气异常的影响角度来研究 El Nino 事件的发生, 要特别注意中高纬东亚及西北太平洋地区大气系统的活动及异常。

(3) 赤道西风异常已被视为是 El Nino 事件产生的重要原因, 但机理一直不清楚。本文的研究表明, 西风异常的出现和向东扩展直接同热带大气季节内振荡的传播有关。热带大气季节内振荡的持续东传 (尤其是在北半球夏季), 有利于引起赤道西风异常和向东扩展, 从而有利于 El Nino 事件的发生; 相反, 季节内振荡的西传则不利于出现西风异常,

甚至还会出现东风异常, 对 El Nino 的发生不利, 而对 La Nina 的发生有利。虽然本文仅分析了三次由西向东发展的暖事件, 但因 El Nino 事件的发生和发展均出现西太平洋西风异常及其向东扩展, 故热带大气季节内振荡的系统性东传对 El Nino 事件发生的重要影响具有一定的普遍性。

参 考 文 献

- 1 Lau KM, Chan PH. The 40- 50 day oscillation and El Nino/ Southern Oscillation: A new perspective. *Bulletin. Amer. Meteor. Soc.*, 1986, **67**: 533- 535.
- 2 李崇银, 周亚萍. 热带大气季节内振荡与 ENSO 的相互关系. *地球物理学报*, 1994, **37**: 17- 26.
- 3 Li Chongyin, Smith I. Numerical Simulation of the tropical intraseasonal Oscillation and the effect of warm SSTs. *Acta. Meteor. Sinica*, 1995, **9**: 1- 12.
- 4 李崇银. 大气中的季节内振荡. *大气科学*, 1990, **14**: 32- 45.
- 5 李崇银. 大气低频振荡 (修订本). 北京: 气象出版社, 1993, 130.
- 6 Knutson T R. Global-Scale intraseasonal oscillations of outgoing longwave radiation and 250 mb zonal wind during northern hemisphere summer. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 605- 623.

ACTIVITY OF ATMOSPHERIC INTRASEASONAL OSCILLATION AND EL NINO

Li Guilong Li Chongyin

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, 100080)

Abstract

Three El Nino events are analyzed based on filter method (band pass, low pass) by using ECMWF data. It is clearly shown that tropical intraseasonal oscillation is strong prior to El Nino; corresponding to the occurrence of El Nino event, intraseasonal oscillations obviously weaken and the most obvious variation zone is in the tropical eastern Pacific. For quasi-stationary wave (with period greater than 90 days), corresponding to the occurrence of El Nino event, its kinetic energy increases obviously and the most obvious variation zone is from Atlantic westward to the tropical western Pacific. The quasi-stationary wave kinetic energy is greater in middle (25- 35°N) and middle-high (40- 50°N) latitude than in the tropics. The quasi-stationary wave kinetic energy in middle latitude show consistent variation with tropical quasi-stationary wave energy variation, that is, corresponding to the occurrence of El Nino event, quasi-stationary wave kinetic energy increases in middle latitude. In middle-high latitude (40- 50°N), quasi-stationary wave shows consistent variation with the tropics in Asia continent (100- 170°E). We also point out the eastward propagation of tropical intraseasonal oscillation plays an important role to tropical westerly anomaly and occurrence of El Nino.

Key words El Nino Intraseasonal oscillation Quasi-stationary wave