

# 热带大气季节内振荡的进一步分析\*

李崇银 李桂龙

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

**摘要** 利用 ECMWF 的格点资料对热带大气季节内振荡作了进一步分析研究, 表明热带大气季节内振荡既有 Kelvin 波型扰动, 也有 Rossby 波型扰动; 影响热带大气季节内振荡移动的主要因素有扰动波型和积云对流活动的异常; 伴随 El Niño 事件的发生, 热带大气季节内振荡的动能急剧减小, 而准定常扰动动能急剧增大, 既反映了热带大气季节内振荡对 El Niño 的激发作用, 也说明了在 El Niño 期间热带大气季节内振荡偏弱的原因。

**关键词** 热带大气季节内振荡 Kelvin 波型 Rossby 波型 扰动

## 1 引言

热带大气季节内振荡自从被发现以来, 已受到广泛的注意, 从不同角度进行的分析和数值模拟已有不少<sup>[1~4]</sup>。大多数研究, 尤其是国外的研究把热带大气季节内振荡的性质主要归结为这样几点: (1) 热带大气季节内振荡表现为缓慢的向东移动, 并且是由积云对流加热所激发的东传 Kelvin 波所驱动的; (2) 热带大气季节内振荡的垂直结构表现为对流层低层与高层反相的“斜压”特征; (3) 热带大气季节内振荡的纬向尺度主要是波数 1 的扰动。但是, 我们的一些研究表明, 用上述结果来说明或描写热带大气季节内振荡的结构或活动特征并不全面<sup>[5,6]</sup>, 也就是说, 对于热带大气季节内振荡还有进一步深入研究的必要。

本文将主要通过资料分析, 进一步揭露热带大气季节内振荡的形势特征; 影响其纬向移动的主要因素; 以及 El Niño 事件对热带季节内振荡的影响。

## 2 热带大气低频扰动的特征分析

一些研究尤其是国外的研究不仅将缓慢东移视为热带大气季节内振荡的最基本特征, 而且认为它是由于 Kelvin 型波动所驱动的。作者通过动力学研究已经指出<sup>[7]</sup>, 积云对流加热反馈不仅可以激发产生 CISK-Kelvin 波, 也可以激发产生 CISK-Rossby 波, 而且它们都驱动热带大气季节内振荡的活动; 在离赤道一定距离的热带大气中 CISK-Rossby 波更为重要, 使得在那里季节内振荡主要为向西移动。这里, 我们将基于欧洲中期数值预报中心 (ECMWF) 的格点资料分析研究热带大气低频 (30~60 天) 扰动的一些特征。

1997-10-21 收到

\* 本文得到国家“九五”攀登项目“南海季风试验”及中国科学院 KZ951-B1-408-01 课题共同资助

热带大气中的 Kelvin 波没有经向风分量, 其流场对赤道呈对称分布, 沿赤道有最强纬向风; 热带大气中的 Rossby 型波 (往往以 Rossby-重力混合波出现) 的流场是对赤道呈对称的涡旋, 沿赤道有最强经向风切变。虽然实际大气中难于看到完全如上述那么典型的 Kelvin 波型扰动或 Rossby 波型扰动, 但只要存在这两类波动, 总会有大致类似的扰动流场。

对每日的风场 ( $u$  和  $v$  分量) 进行 30~60 天带通滤波处理, 可得到大气季节内振荡的扰动流场。分析这些季节内振荡流场及其演变, 不仅可以看到热带大气季节内振荡有 Kelvin 波型扰动, 也有 Rossby 波型扰动; 而且它们有其不同的活动特征。作为一个例子, 在图 1 中给出了 1982 年 4 月 29 日、5 月 4 日和 5 月 14 日的大气季节内振荡的流场形势, 在太平洋赤道地区有一强纬向风带存在, 显示出 Kelvin 波型扰动的特征。4 月 29 日这个扰动位于  $160^{\circ}\text{E}$  附近, 5 天之后 (5 月 4 日) 扰动位于  $170^{\circ}\text{E}$  附近, 再过 10 天 (5 月 14 日) 扰动已移到  $100^{\circ}\text{W}$  附近。这里不仅看到了 Kelvin 波型扰动的东移特征, 而且扰动在赤道西太平洋地区东移较慢, 在中东太平洋地区东移较快, 这与有关热带季节内振荡的已有研究结果相一致。

类似地, 我们也可以发现热带大气季节内振荡中 Rossby 波型扰动的活动, 在图 2 所示的大气季节内振荡流场形势图上, 1982 年 4 月 19 日在赤道  $110^{\circ}\text{E}$  附近有一明显的 Rossby 波型扰动流场, 其环流基本上对赤道呈对称。在该日前 5 天 (4 月 14 日) 与其对应的 Rossby 波型扰动位于赤道  $140^{\circ}\text{E}$  附近; 而在其后 5 日 (4 月 24 日) 扰动已移到赤道  $100^{\circ}\text{E}$  附近。也就是说, Rossby 波型扰动具有西传的特征。除了在赤道地区之外, 在纬度较高的热带大气中也存在一些低频涡旋的活动, 根据动力学分析它们应属于 Rossby 波型扰动。在 1981~1982 年冬季大气季节内振荡的合成图上 (图 3), 同样可以看到它们的活动。第 1 位相时刻有一个低频涡旋扰动位于 ( $28^{\circ}\text{N}$ ,  $175^{\circ}\text{W}$ ) 附近, 第 3 位相时刻这个扰动西移到 ( $28^{\circ}\text{N}$ ,  $170^{\circ}\text{E}$ ) 附近, 到第 4 位相时刻该涡旋扰动已西移到 ( $29^{\circ}\text{N}$ ,  $135^{\circ}\text{E}$ ) 附近。也就是说在赤道以外的北半球热带大气中, 也有 Rossby 波型低频 (30~60 天) 扰动存在, 而且它们表现为西移的活动特征。同样, 在赤道以外的南半球热带大气中也有类似的低频涡旋的活动 (如图 3 中黑点所示), 但与在北半球热带不同, 它表现出东传的特征。

### 3 影响热带大气季节内振荡纬向移动的因素

已有的一些研究认为热带大气季节内振荡以其缓慢东移为基本特征, 但实际上也有沿赤道西移的情况, 就是在强调东移的文章里也有西移的现象<sup>[8]</sup>。图 4 给出的是 1985 年  $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$  纬带平均的 850 hPa 纬向风的 30~60 天带通滤波值的时间-经度剖面。很明显, 西移的特征是十分清楚的, 尤其是在夏半年。因此, 热带大气季节内振荡就是在赤道附近地区虽以东移居多, 而西移也时常可见。下面我们将就影响热带大气季节内振荡纬向移动的因素作初步的分析。

上节的分析表明, 热带大气季节内振荡的扰动流场既有 Kelvin 波型扰动, 也有 Rossby 波型扰动, 其与我们的动力学分析结果完全一致<sup>[7]</sup>。Kelvin 波型扰动主要表现为东移, 而 Rossby 波型扰动主要表现为西传, 因此, 热带大气季节内振荡的纬向移动

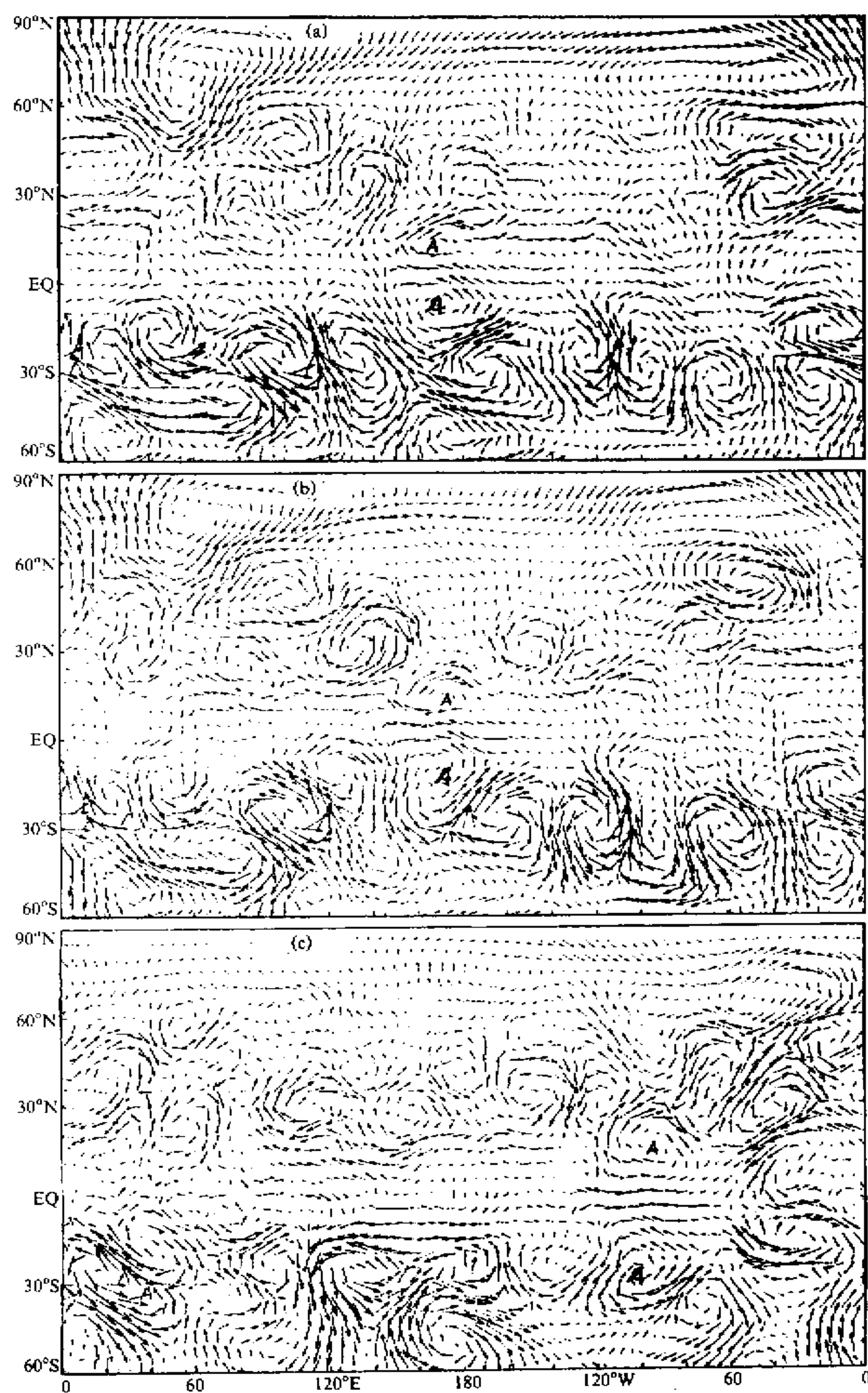


图1 200 hPa 大气季节内振荡的流场形势。

(a) 1982 年 4 月 29 日；(b) 1982 年 5 月 4 日；(c) 1982 年 5 月 14 日

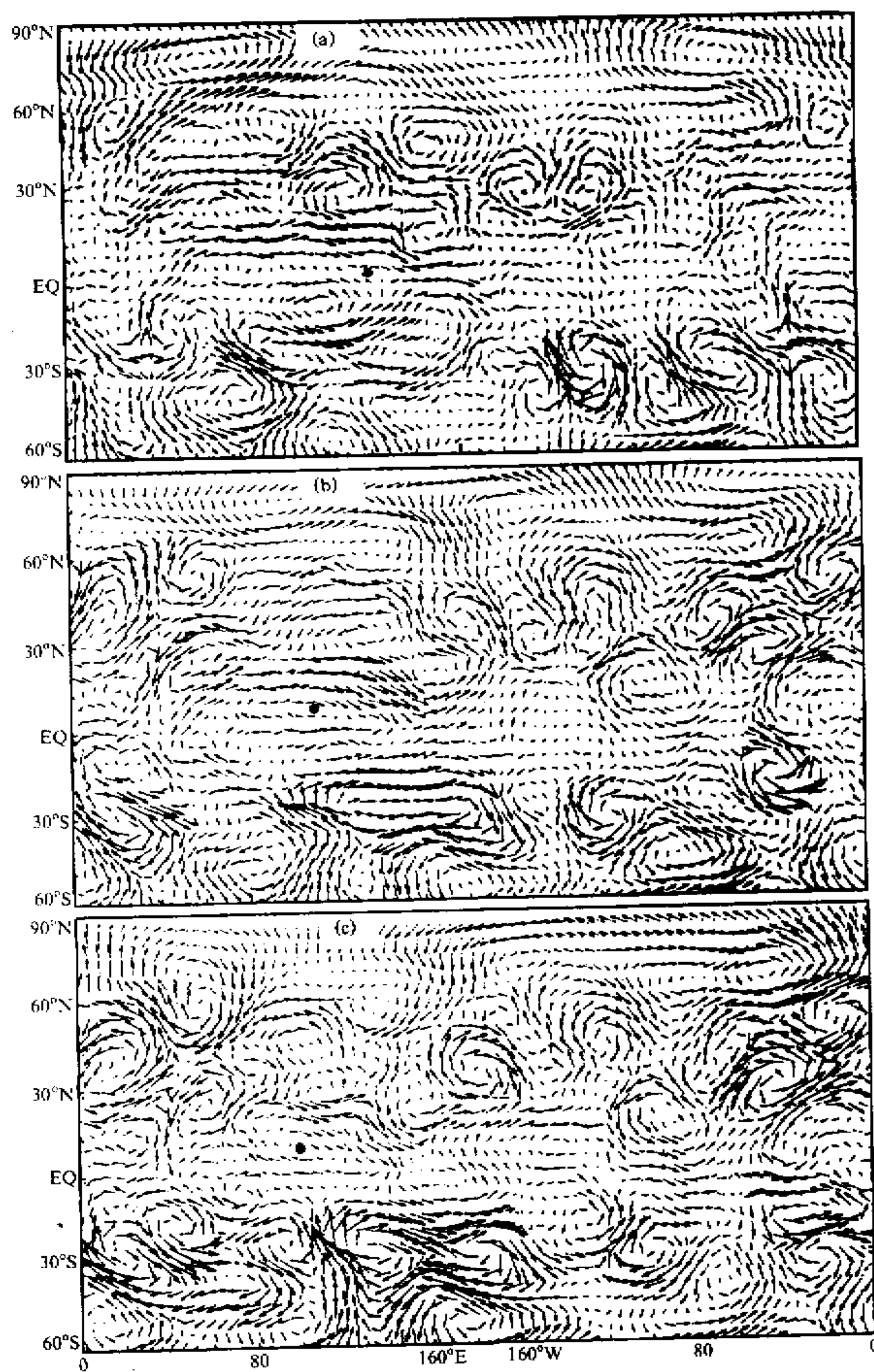


图2 200 hPa 大气季节内振荡的流场形势。  
(a) 1982 年 4 月 14 日; (b) 1982 年 4 月 19 日; (c) 1982 年 4 月 24 日

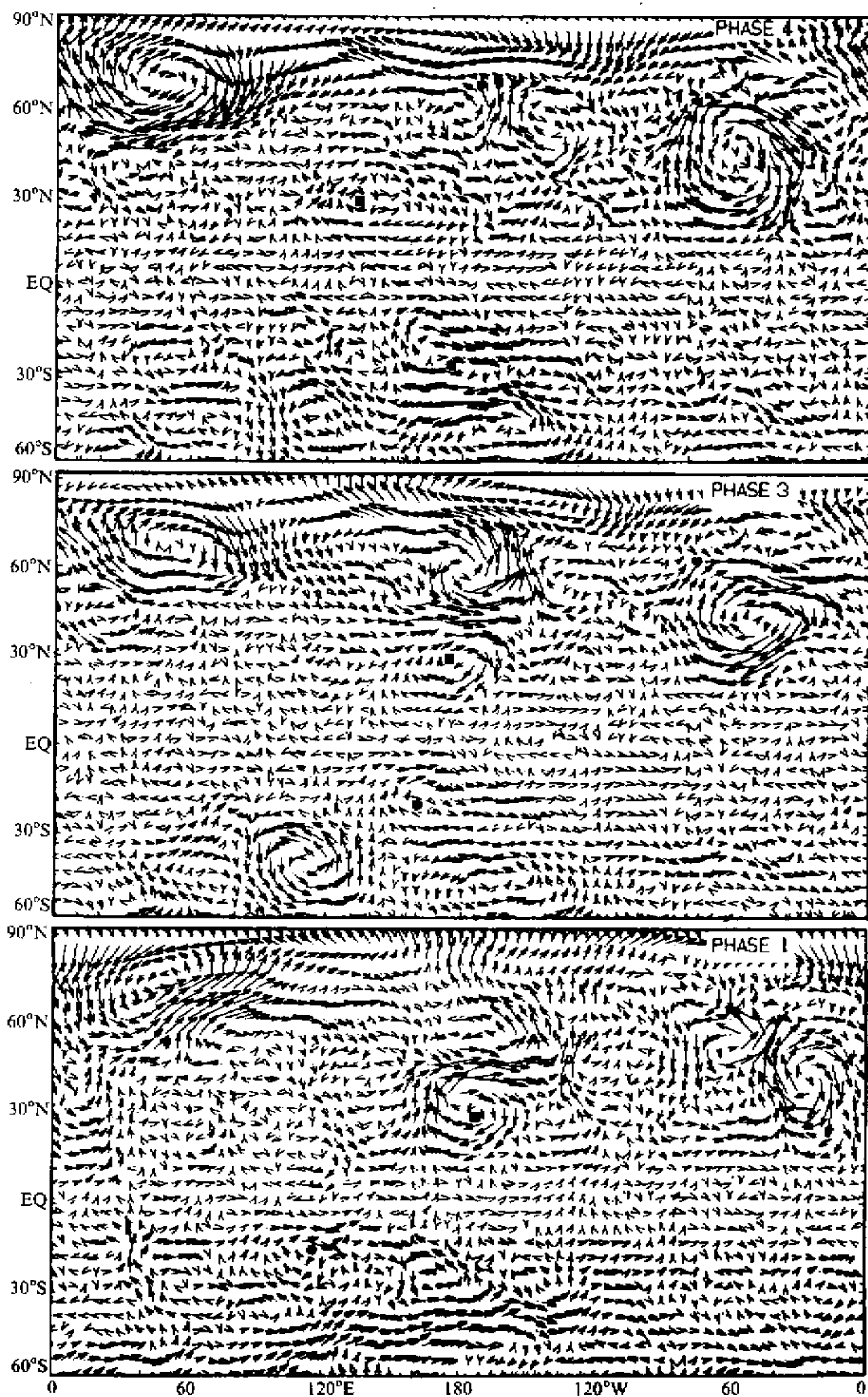


图3 1981~1982年冬季200 hPa大气季节内振荡合成流场在第1、3和4位相时刻的形势

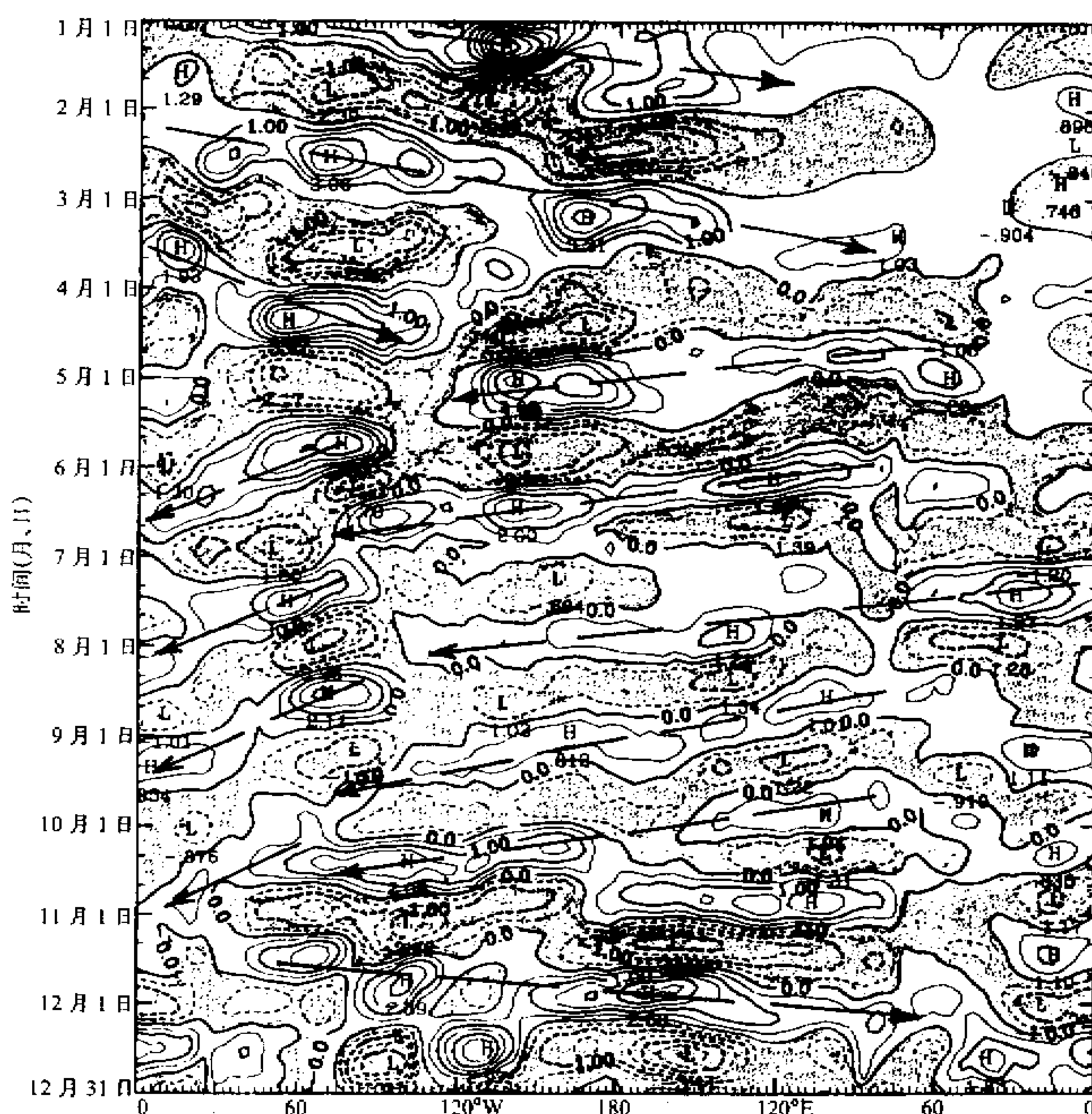


图4 1985年热带(5°S~5°N) 850 hPa上30~60天振荡的纬向风的时间-经度剖面。  
等值线间隔为0.5 m/s, 阴影区表示东风

将受到扰动类型的影响。当扰动主要为 Kelvin 波型时, 将驱动大气季节内振荡向东移动; 当扰动主要为 Rossby 波型时, 将驱动大气季节内振荡向西移动。

积云对流加热反馈 (CISK) 是激发产生热带大气季节内振荡的重要机制, 积云对流活动的异常也必然对热带大气季节内振荡的移动造成一定的影响。在一个大气环流模式数值模拟实验中<sup>[9]</sup>, 我们很好地模拟出了热带大气季节内振荡, 而且其垂直结构和纬向移动都与观测大体相一致。实验中的降水量分布也与实际大气情况接近, 最大降水区 (最强对流活动区) 位于赤道西太平洋地区。但是, 如果热带强对流活动区发生显著变化, 例如强对流区不在赤道西太平洋而是在热带东太平洋 (像图 5a 的最强降水区所示), 那么模拟实验所得到的热带大气季节内振荡将表现出西移的特征 (图 5b)。这个数值模拟结果说明, 热带积云对流活动的分布对热带大气季节内振荡的纬向移动有明显影响。

为了进一步肯定积云对流活动的异常分布对热带大气季节内振荡的纬向移动的影响

响, 这里再给出一个资料分析结果。图 6 分别给出了 1987 年 1 月和 1988 年 12 月赤道地区 ( $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ ) 射出长波辐射 (OLR) 异常值的经度分布, 较大的负异常 (距平) 表示有较强的积云对流活动异常。因此, 1987 年 1 月在赤道中东太平洋地区 ( $170^{\circ}\text{E}\sim$

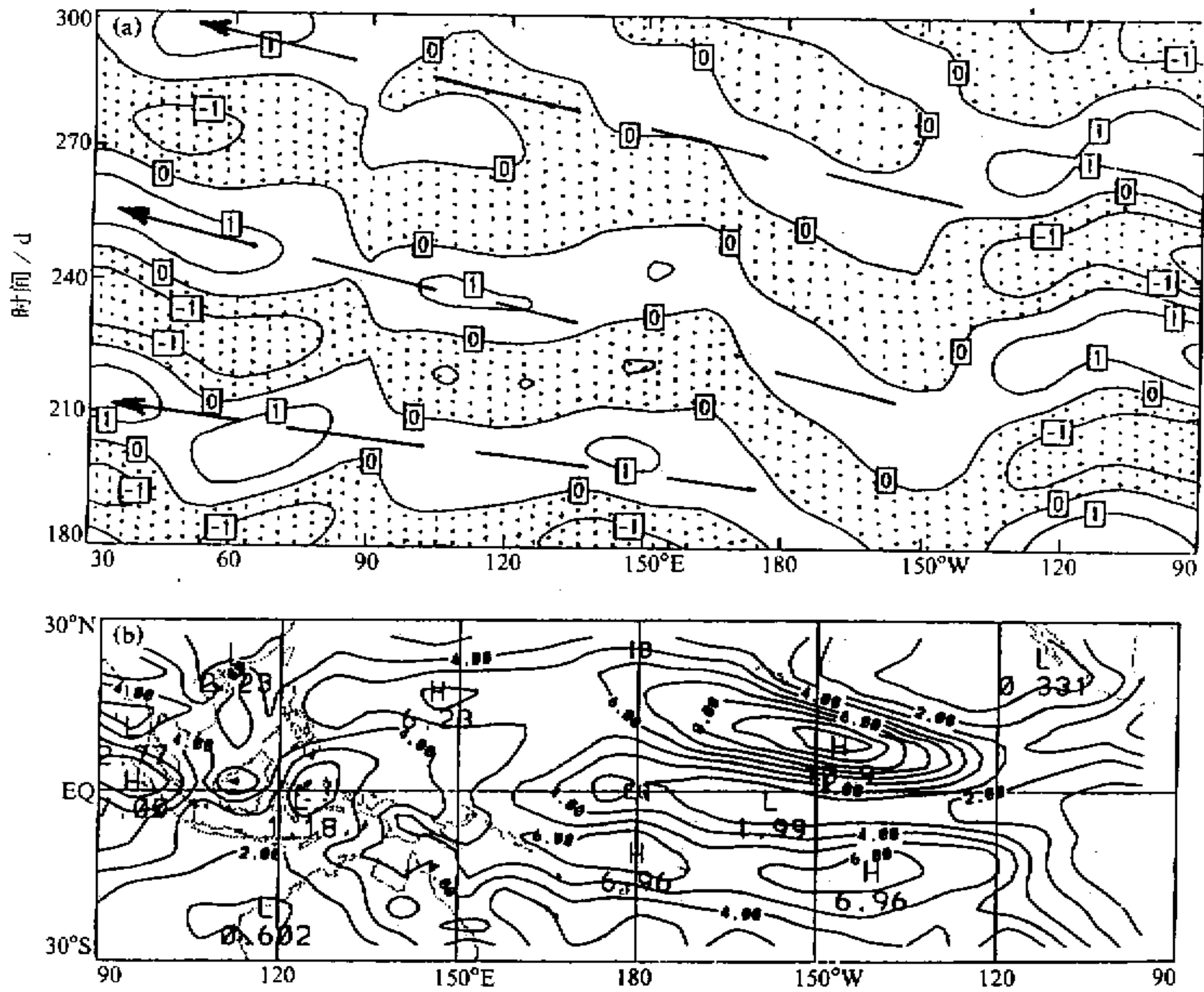


图 5 热带降水量 ( $\text{mm/d}$ ) 分布 (b) 和模拟得到的热带大气季节内振荡的纬向风 (对流层高层) 的时间-经度剖面 (a)

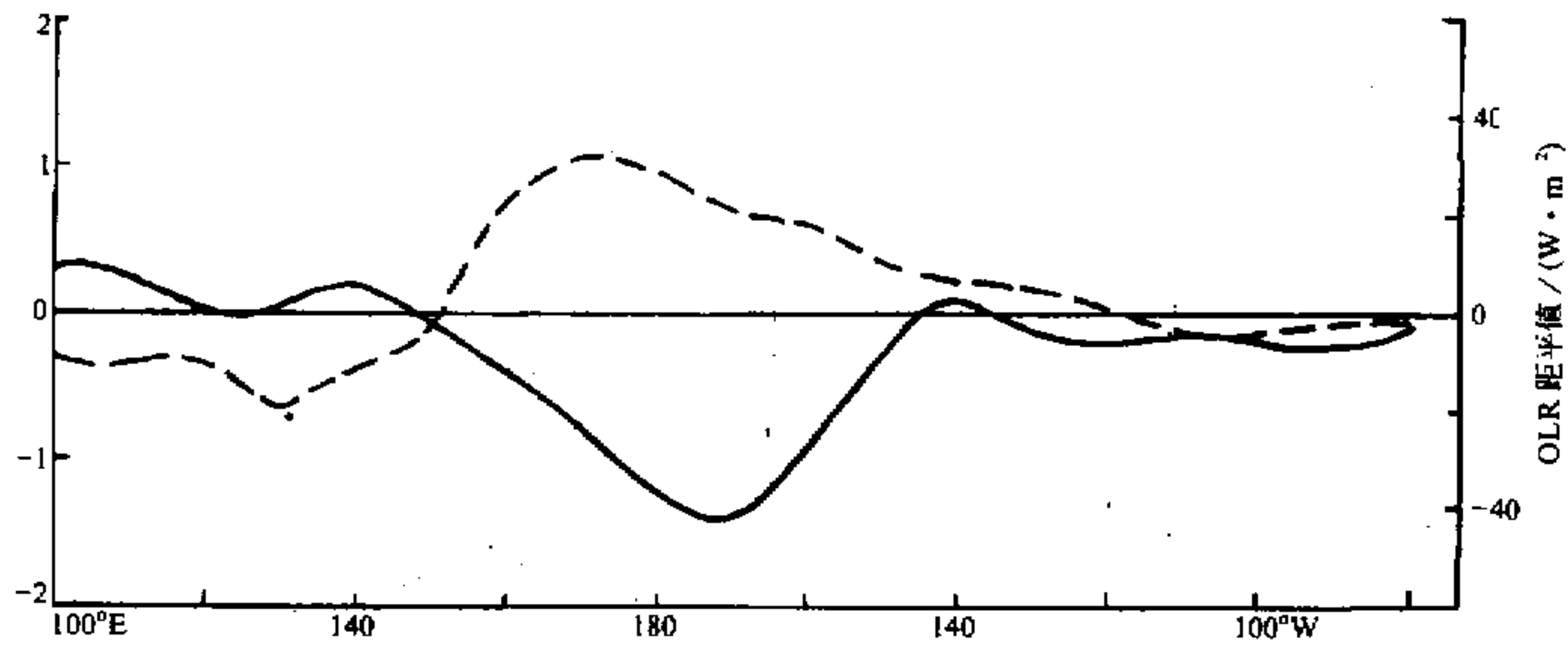


图 6 1987 年 1 月 (实线) 和 1988 年 12 月 (虚线)  $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$  纬带 OLR 距平值的经度分布。单位:  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

155°W) 有异常强的积云对流活动, 而在 1988 年 12 月却在赤道西太平洋 (130°E) 地区有较强的积云对流异常。对于上述两种不同积云对流活动情况, 热带大气季节内振荡的纬向移动是否有差异呢? 图 7 分别给出了 1987 年 1 月和 1988 年 12 月 850 hPa 和

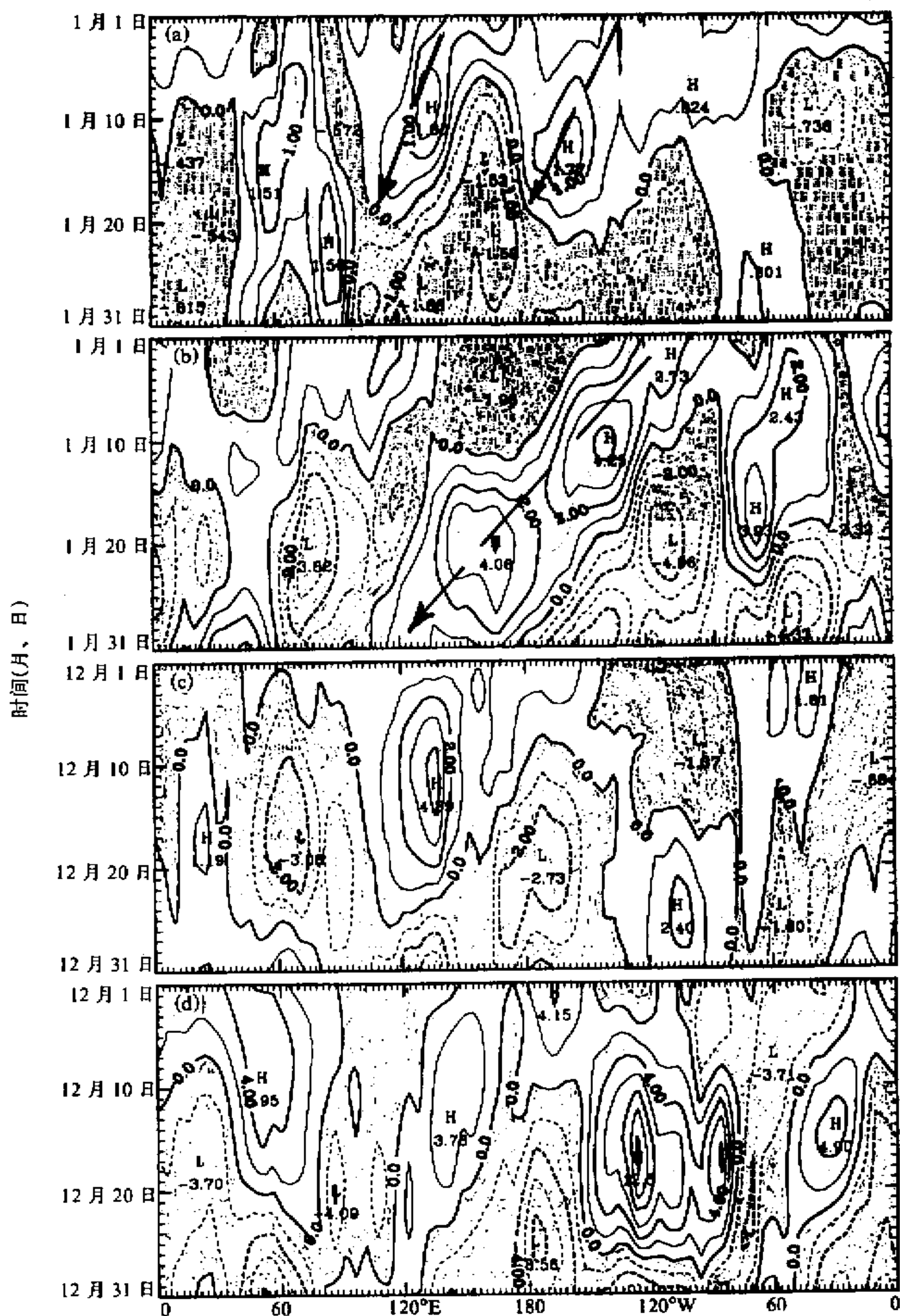


图 7 1987 年 1 月 850 hPa (a) 和 200 hPa (b) 以及 1988 年 12 月 850 hPa (c) 和 200 hPa (d) 5°S~5°N 平均的 30~60 天振荡的纬向风的时间-经度剖面

200 hPa 上 30~60 天振荡的纬向风的时间-经度剖面。我们主要注意太平洋上空的情况, 比较图 7a、7b 与图 7c、7d 可以看到, 1987 年 1 月无论在 850 hPa 还是在 200 hPa 都有更明显的西移特征。也就是说, 观测资料的分析也表明, 积云对流活动的异常对热带大气季节内振荡的纬向移动有影响, 赤道东太平洋地区有强对流活动时, 有利于西移现象的出现。观测资料的分析得到了同数值模拟相一致的结果。

#### 4 El Niño 对热带大气季节内振荡的影响

通过资料分析和大气环流模式数值模拟, 我们已经指出 El Niño 和热带大气季节内振荡之间存在着明显的相互作用<sup>[10]</sup>。热带大气(尤其是在赤道中西太平洋地区)季节内振荡的异常加强对 El Niño 事件的发生有激发作用, 而赤道中西太平洋地区春季季节内振荡的异常加强又与冬半年东亚冬季风的异常活跃有关。El Niño 事件发生后对热带季节内振荡不仅有抑制作用, 使其偏弱, 而且还导致其垂直结构趋向正压。

考虑到更重要的是问题涉及不同时间尺度气候系统间的相互作用, 我们仍将进一步讨论一下 El Niño 对热带大气季节内振荡的影响。针对 1982~1983 年和 1986~1987 年两次 El Niño 事件, 我们分析了事件发生前后热带大气季节内(30~60 天)振荡以及准定常(周期大于 90 天)扰动的动能演变情况。结果十分清楚地表明, 在 El Niño 事件发生的时期, 热带大气季节内振荡的动能有急剧的减小, 而准定常扰动动能有急剧的增大。图 8 给出了伴随 1986~1987 年 El Niño 事件的发生, 在 1986 年 6~7 月份热带大气季节内振荡动能的减小和准定常扰动动能的增大都出现了明显突变现象。热带大气准定常扰动主要的当然包括 ENSO 这种甚低频振荡, 因此图 8 所示的动能演变特征, 在一定意义上可以认为给 El Niño 影响热带大气季节内振荡提供了一种能量学解释, 即由于某种机制, 热带大气季节内振荡的动能急速大量地转送给了 El Niño, 热带大气季节内振荡被明显削弱, 而准定常扰动动能急剧增大, 出现 El Niño 事件。也就是说, 伴随 El Niño 事件发生, 热带大气季节内振荡动能和准定常扰动动能的演变特征既反映了热带大气季节内振荡对 El Niño 的激发作用, 也说明了 El Niño 对热带大气季节内振荡的抑制影响。

热带大气季节内振荡的垂直结构一般表现为对流层上下层反相的“斜压”特征, 而在 El Niño 情况下其结构会趋向正压一些(图略), 其原因可作这样的分析: 对于大气运动来讲, SST 的异常可视为一种外强迫, 而有关大气运动对外源强迫响应的研究已经指出, 外源强迫比较有利于在大气中激发产生正压不稳定模<sup>[11]</sup>。El Niño 情况下的 SST 异常在大气中激发产生的正压不稳定模同热带大气中已有的季节内振荡相结合, 可能正是在 El Niño 情况下热带大气季节内振荡的结构趋向正压性的重要原因。

#### 5 结语

大气季节内振荡是大气科学的一个重要研究课题, 它既是大气运动的重要特征, 又同短期气候变化直接有关。虽然有关热带大气季节内振荡的研究已比较多, 但仍有不少科学问题有待深入研究。通过本文的分析, 以下几点是值得提出的新结果:

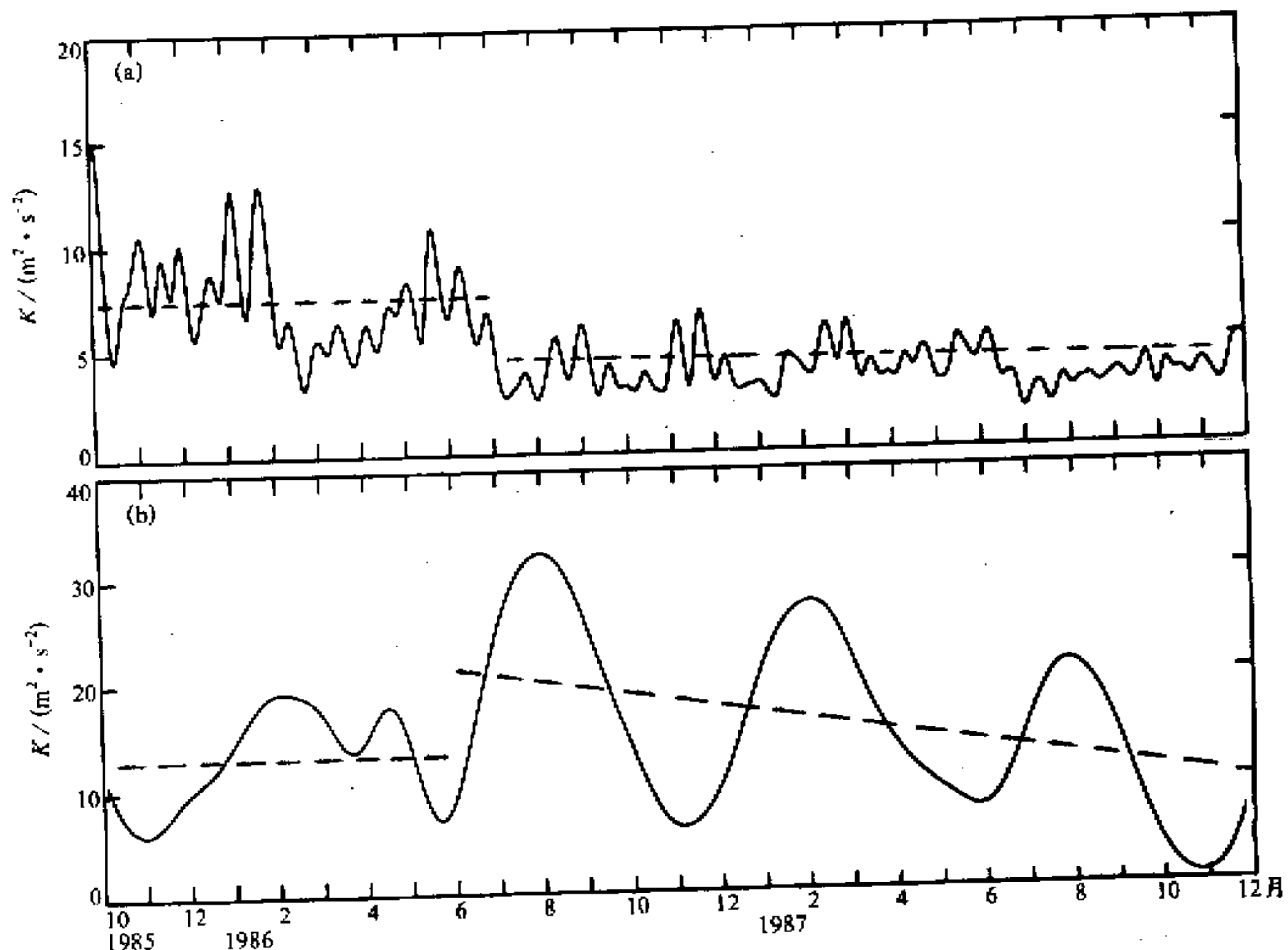


图8 热带(10°S~10°N)大气季节内振荡(a)和准定常扰动系统(b)  
在200 hPa上的纬向平均动能 $K$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ )的时间演变(对于1986~1987年 El Niño 情况)

(1) 热带大气季节内振荡既有 Kelvin 波型扰动, 也存在 Rossby 波型扰动。在赤道地区以外的热带大气中季节内振荡主要显示 Rossby 波型扰动。

(2) 热带大气季节内振荡虽然多表现出向东移动的特征, 但即使在赤道地区也时常可见向西移动的情况。在赤道地区以外的热带大气中, 季节内振荡更以西传为主。驱动热带大气季节内振荡纬向移动的主要因素有两个, 其一是扰动类型, 在赤道地区 Kelvin 波型扰动一般使其东移, Rossby 波型扰动一般使其西移。在北半球赤道地区以外的热带大气中, Rossby 波型扰动使其西移。另一个因素是积云对流活动异常, 赤道东太平洋地区若有较强的积云对流活动异常, 有利于大气季节内振荡出现西移情况。

(3) El Niño 事件对热带大气季节内振荡有明显影响, 既使得季节内振荡强度减弱, 又使得其垂直结构趋向正压性。

(4) 伴随 El Niño 事件的爆发, 热带大气季节内振荡动能有突变性减小, 而准定常扰动动能有突变性增大。这从能量学观点说明了大气季节内振荡对 El Niño 的激发作用, 也说明了在 El Niño 期间热带大气季节内振荡偏弱的原因。

还需要指出, 影响热带大气季节内振荡纬向移动的动力学机制, 季节内振荡与 El Niño 相互作用的过程及其动力学等问题, 都还有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 Murakami, T., Nakazawa, T. and He, J., 1984, On the 40–50 day oscillations during the 1979 northern hemisphere summer, Part I: Phase propagation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 440–468.
- 2 Lau, K. M. and Chan, P. H., Aspects of the 40–50 day oscillation during the northern winter as inferred from outgoing longwave radiation, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1889–1909.
- 3 Lau, N. C. and Lau, K. M., 1986, The structure and propagation of intraseasonal oscillations appearing in a GFDL general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 2023–2047.
- 4 Park, C. K., et al., 1990, An evolution of the structure of tropical intraseasonal oscillations in three general circulation models, *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 403–417.
- 5 Li Chongyin and Wu Peili, 1990, A further inquiry on 30–60 day oscillation in the tropical atmosphere, *Acta Meteor. Sinica*, **4**, 525–535.
- 6 李崇银, 1991, 大气低频振荡, 北京: 气象出版社.
- 7 Knutson, T. R. and Weickmann, K. M., 1987, 30–60 day oscillations: Composite life cycles of convection and circulation anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1407–1436.
- 8 Li Chongyin, 1993, A further inquiry on the mechanism of 30–60 day oscillation in the tropical atmosphere, *Adv. Atmos. Sci.*, **10**, 41–53.
- 9 Li Chongyin and I. Smith, 1995, Numerical simulation of the tropical intraseasonal oscillation and the effect of warm SSTs, *Acta Meteor. Sinica*, **9**(1), 1–12.
- 10 李崇银、周亚萍, 1994, 热带大气季节内振荡和 ENSO 的相互关系, 地球物理学报, **37**, 17–26.
- 11 Simmons, A. J., Wallace, J. M. and Branstator, G. W., 1983, Barotropic wave propagation and instability, and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363–1392.

## A Further Analysis on Intraseasonal Oscillation in the Tropical Atmosphere

Li Chongyin and Li Guiling

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** Some analyses on intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere are completed by using the ECMWF data. The results show that there are two kinds of the disturbance pattern, Kelvin wave like and Rossby wave like, in tropical intraseasonal oscillation. The disturbance pattern and the anomaly of the cumulus convection are fundamental factors to affect zonal propagation of tropical intraseasonal oscillation. Accompanying the occurrence of El Niño event, the kinetic energy of intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere decreases rapidly and the kinetic energy of the quasistationary disturbance increases rapidly, this means the exciting effect of tropical intraseasonal oscillation to El Niño event and represents a cause for weaker intraseasonal oscillation during El Niño event.

**Key words** intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere    Kelvin wave pattern    Rossby wave pattern    disturbance