

东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息^{*}

II. 模拟资料分析

穆明权 李崇银

(中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 系统分析了观测海温强迫 9 层大气环流模式的模拟资料, 结果表明该大气环流模式能够对与 El Niño、La Niña 事件爆发有关的赤道太平洋异常纬向风和对流活动有很好的模拟; 模拟中的东亚冬季风具有明显的年际变化特征, 这种变化与观测结果有很好的一致性, 而且进一步分析发现这种年际变化具有显著的 2~7 年的周期, 即东亚冬季风异常与 ENSO 密切相关。

关键词 厄尔尼诺和南方涛动 东亚冬季风 年际变化 大气遥响应

1 引言

亚洲季风与 ENSO 关系的研究一直受到人们的关注, 在国际“气候变化及可预报性研究计划”(CLIVAR) 中, 它也是未来 10~15 年要进行研究的课题^[1]。李崇银^[2]早于 1987 年就已指出东亚冬季风的强异常是 El Niño 爆发的一种重要机制, 并且实际观测结果表明 ENSO 对东亚冬季风也有明显的影响^[2~4], 即 El Niño 的爆发将使得东亚极锋锋区北抬, 东亚冬季风偏弱, 而 La Niña 的发生则使得东亚极锋锋区南压, 东亚冬季风偏强。

用实际海温强迫大气环流模式 (AGCM) 来模拟研究大气环流的年际变化, 已有不少工作^[5~7]。这些研究主要讨论的是在外强迫 (海温) 影响下, 热带大气环流的变化, 然而对中、高纬度地区, 尤其是对东亚冬季风这样的气候系统, 研究相对较少。本文主要研究在实际海温强迫下, 东亚季风区大气环流的演变, 并主要讨论东亚冬季风的年际变化特征, 以便进一步揭露东亚冬季风活动与 ENSO 的相互关系。

本文所用的大气环流模式是大气物理所发展的 9 层气候模式, 该模式是在原 2 层大气环流模式的基础上发展起来的, 且具有自己的一些特色^[8]。该模式能够对大气环流的平均状态以及大气环流的季节转换有较好的模拟^[9], 因已有一些专文介绍该模式, 这里就不再重复。

9 层大气环流模式模拟资料是毕训强等人为参加国际模式相互比较计划 (AMIP) 用 1979~1991 年的观测月平均海温强迫该大气环流模式得到的^[10]。我们所分析的物理量包括 500 hPa 位势高度、海平面气压、地面气温、总降水量以及 850 hPa 经、纬向风

1998-03-03 收到, 1998-04-17 收到修改稿

^{*} 本研究得到国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的机理和预测理论研究”和国家自然科学基金 (No.49635180) 的共同资助

的月平均结果。为了将模拟结果与实测做比较, 我们选用了 COADS 资料中 1979~1989 年的月平均地面纬向风及总云量, 并做了距平处理。

2 模拟的东亚冬季风的年际变化特征

图 1a 为东亚地区 ($30^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 平均的 500 hPa 位势高度距平随时间的变化。该图清楚地反映出东亚 500 hPa 位势高度具有明显的年际变化特征。1982、1986 El Niño 爆发之前, 该地区为负距平, 东亚大槽偏强; 事件爆发后, 该地区 500 hPa 位势高度逐渐升高, 并转为正距平控制; 与 El Niño 形成鲜明的对比, 1985、1988 年的冷事件爆发之前, 东亚地区 500 hPa 位势高度为正距平, 东亚大槽偏弱; 然而事件爆发后, 尤其是 1988 年的 La Niña, 该地区位势高度并没有马上转为负距平, 这可能反映出中高纬大气对赤道东太平洋增暖过程更敏感。上述模式结果与观测资料分析相一致^[11], 但模拟的正负距平均比观测略弱 (图略)。

图 1b 为东亚海平面气压距平随时间的变化曲线, 其年际变化特征尽管没有像 500 hPa 位势高度那样清楚, 但已有所反映; 两次 El Niño 事件爆发前东亚海平面气压为正距平, 爆发后 (1983、1987 年) 则转为负距平控制; 而对于 1985、1988 年的冷事件, 其前期东亚地区海平面气压基本上为负距平, 爆发后则转为正距平控制。这些结果也与观测资料的分析相一致。

东亚地区地面气温也有清楚的年际变化特征 (图 1c), 尤其是 1982~1983、1986~1987 年 El Niño 爆发前期, 东亚地面气温的下降和 1988 年 La Niña 爆发前地面气温的上升十分明显。同 500 hPa 位势高度一样, El Niño 爆发后, 东亚地面气温上升, 而 La Niña 爆发后, 东亚地面气温下降亦十分清楚。这反映了东亚冬季风在 El Niño 和 La Niña 爆发前后的变化特征, 即由强变弱和由弱变强。有趣的是, 图中还反映了另外一个特征, 不论是东亚地区 500 hPa 位势高度、海平面气压, 还是地面气温, 1982~1983 年 El Niño 的前后变化总比 1986~1987 年的前后变化要大, 同实测结果非常一致, 这说明了该模式对实际过程有很好的模拟能力。

如图 1d 所示, 东亚地区 850 hPa 经向风的年际变化也非常清楚, 风场的变化更直接地反映了东亚冬季风的演变。两次 El Niño (1982~1983、1986~1987 年) 爆发之前, 东亚低纬度地区偏北风加大 (负距平指北风偏强, 正距平指南风偏强), 而 La Niña 爆发前该地区南风偏强; 事件爆发后, 对于 El Niño, 该地区的偏南风加大, 而 La Niña 则使得北风加大。

为了进一步揭示东亚冬季风异常与 ENSO 的关系, 对东亚地区海平面气压、地面气温和 850 hPa 经向风做了功率谱分析, 结果如图 2 所示。不论是海平面气压和地面气温 ($30^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$), 还是 850 hPa 经向风 ($18^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$), 都具有明显的 2~7 年的变化周期, 且超过了 95% 的信度。我们知道 ENSO 的周期一般是 2~7 年, 本文模式结果也反映出东亚冬季风变化也有 2~7 年的平均周期; 而且, 东亚冬季风的强弱变化与 ENSO (El Niño 和 La Niña) 循环有非常密切的关系。因此, 大气环流模式的数值模拟结果也表明东亚冬季风年际异常中包含有显著的 ENSO 信号。

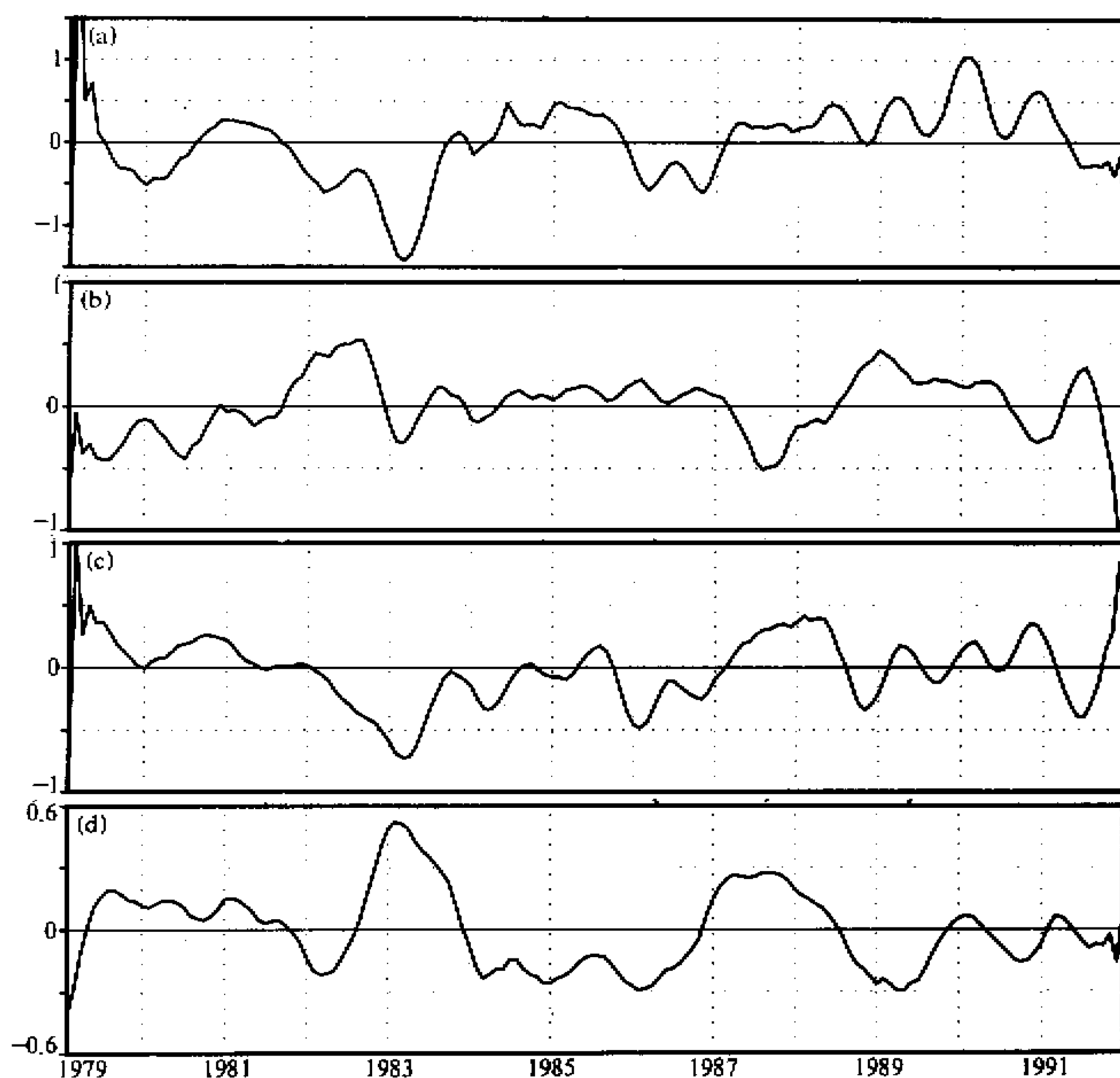


图 1 模拟的异常东亚冬季风随时间的演变

(a) 500 hPa 位势高度(30~46°N, 100~150°E; 单位: gpm); (b) 海平面气压
(30~46°N, 80~130°E; 单位: hPa); (c) 地面气温(30~46°N, 80~130°E;
单位: °C); (d) 850 hPa 经向风(18~26°N, 110~150°E; 单位: m/s)

3 赤道太平洋地区纬向风及降水的异常演变特征

图 3a、b 分别为赤道地区 (6°S~6°N) 模拟的 850 hPa 和观测的地面异常纬向风时间—经度剖面图, 可以清楚地看到, 对应于 1982~1983、1986~1987 年两次赤道东太平洋暖事件, 赤道太平洋地区纬向风均有明显的正异常, 即异常西风加强; 对应于 1985 年 (弱的 La Niña)、1988 年 (强的 La Niña) 的冷事件, 则有明显的异常东风发展。而且, 不论是与 El Niño 相对应的异常西风还是与 La Niña 相对应的异常东风都是明显东传的 (图 3a)。这种相对 ENSO 不同位相时期的赤道纬向风异常与观测结果 (图 3b) 十分一致。虽然图 3a 是 850 hPa 上纬向风的模拟结果, 无法在细节上与地面观测 (图 3b) 相比较, 但总的演变趋势还是非常一致的。

下面讨论模拟的赤道太平洋地区 (6°S~6°N) 对流活动 (降水) 的演变特征, 并

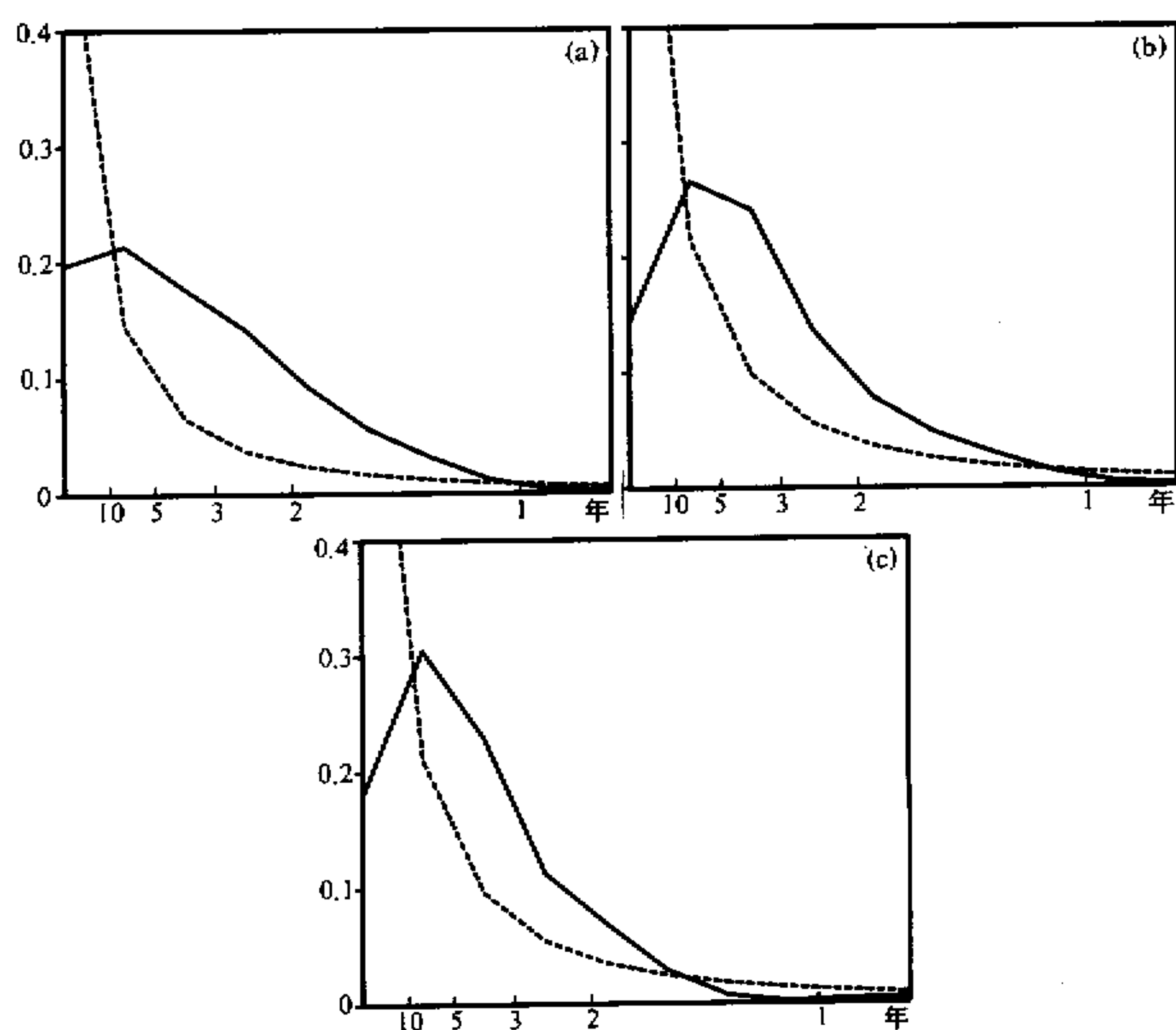


图2 东亚地区海平面气压 (a)、地面气温 (b) 和 850 hPa 经向风 (c) 的功率谱

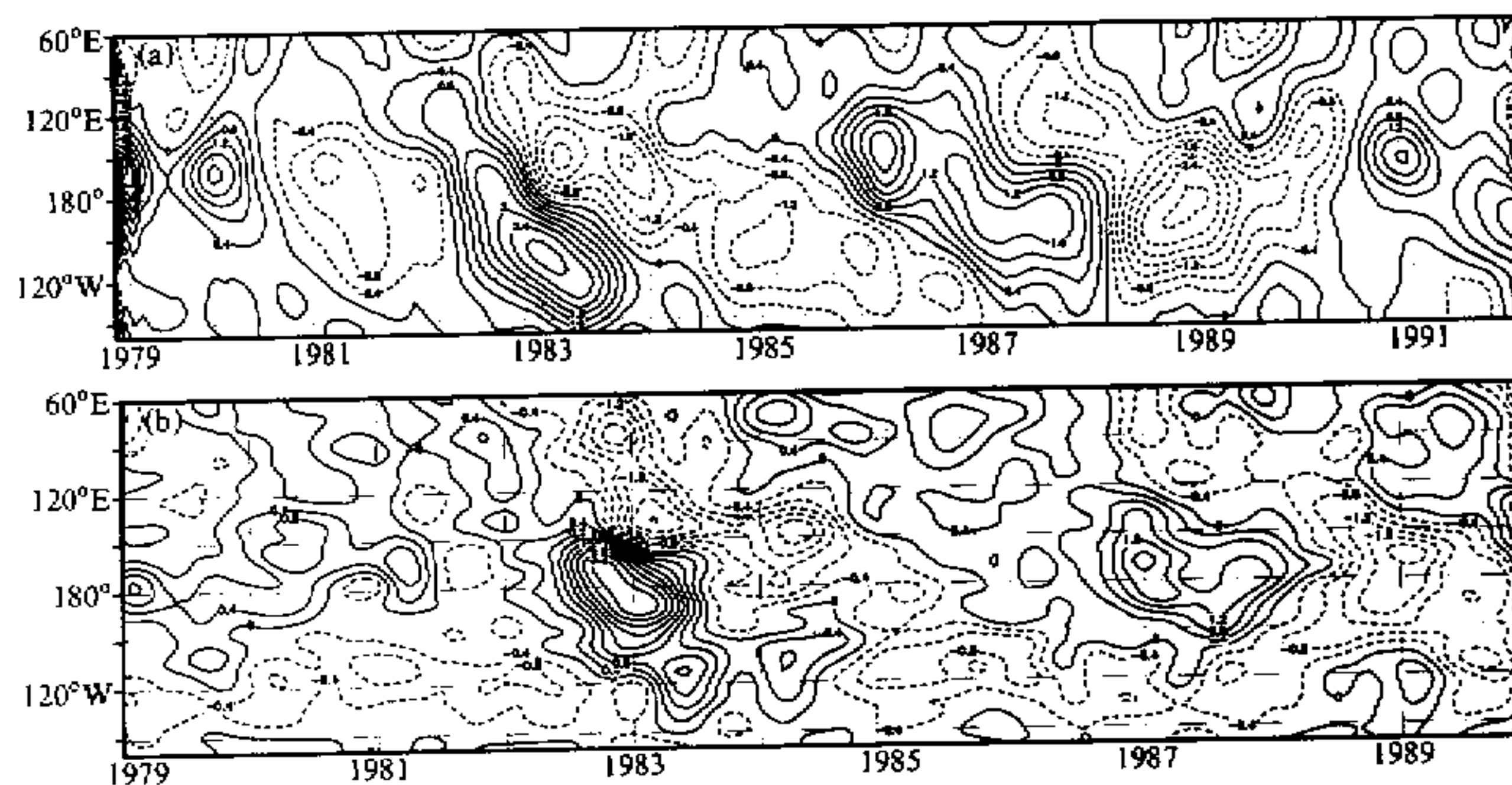


图3 赤道地区异常纬向风时间-经度剖面图

(a) 850 hPa 模拟结果; (b) 地面观测结果. 单位: m/s , 等值线间隔: 0.4 m/s

与实测结果做比较。虽然缺少实测降水资料, 但热带地区降水主要是对流性降水, 而云主要是对流云, 赤道地区总云量的变化也就反映了降水或对流活动的变化。图 4a、b 分别是赤道太平洋地区模式降水及实测总云量距平的时间-经度剖面。模拟结果清楚地

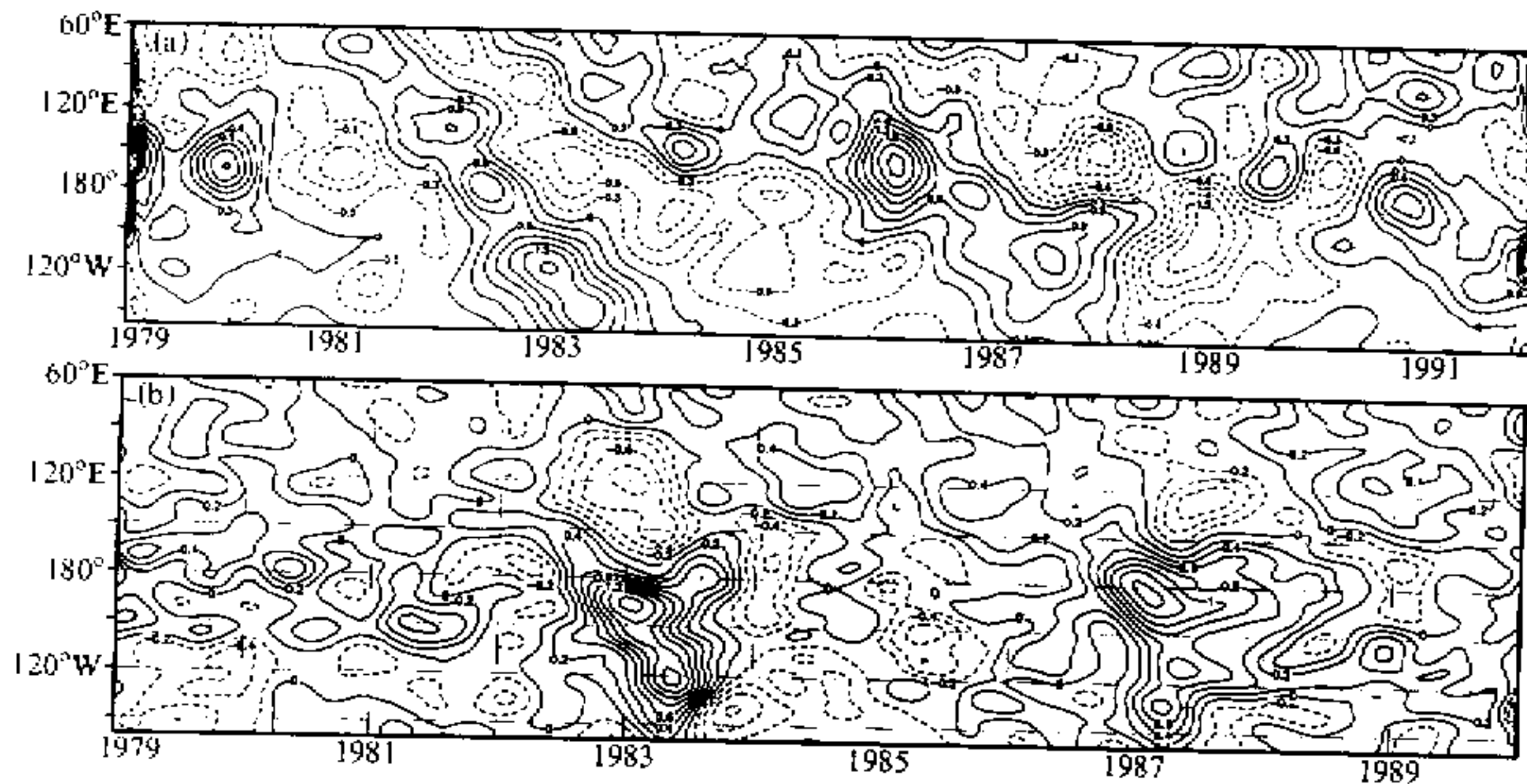


图4 赤道地区异常对流活动时间-经度剖面图

(a) 模拟的异常降水, 等值线间隔: 0.3 mm; (b) 观测的总云量, 等值线间隔: 2/10

反映了赤道太平洋地区降水及对流活动具有明显的年际变化特征 (图 4a), 在赤道中西太平洋地区, El Niño 发生前已有明显的异常对流活动加强, 这种强对流区逐渐东移, 在 El Niño 盛期, 强对流区已位于赤道东太平洋; 而在 La Niña 发生之前, 赤道中西太平洋地区对流活动明显偏弱, 这种对流活动的减弱也是东传的。从峰值的大小来看, 1986 年比 1982 年的强, 但是, 1986 年的异常强对流活动中心位于日界线附近, 而 1982 年的中心则位于赤道东太平洋地区; 1988 年的异常对流活动减弱要比 1985 年大得多。上述模拟结果与实测总云量的变化相当一致 (图 4b)。

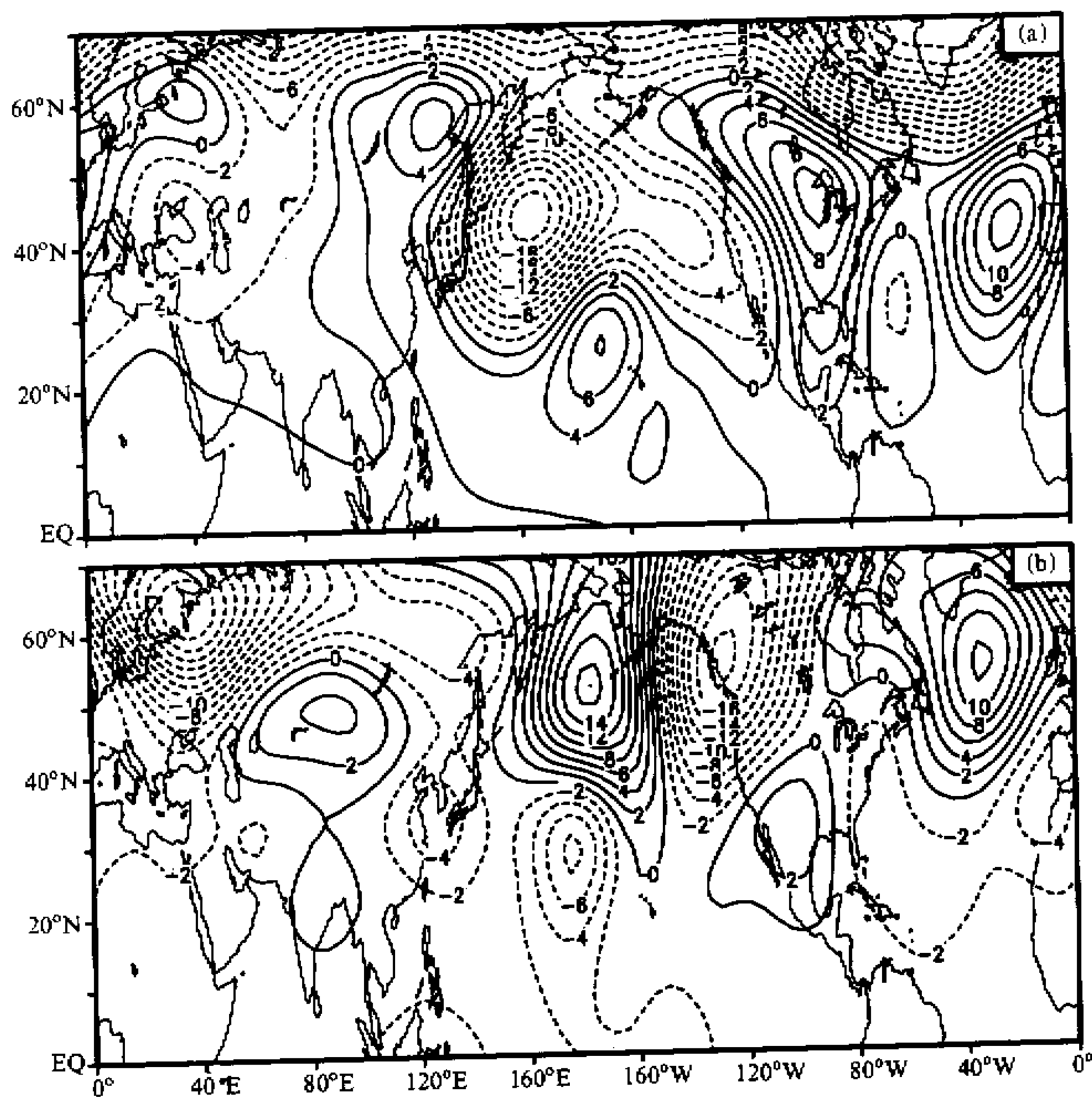
很显然, 上述模式结果很好地再现了 ENSO 爆发前期赤道太平洋地区纬向风及对流活动的异常特征, 与实际比较, 模式能很好地反映出赤道太平洋地区纬向风及对流活动的演变过程。此外, 模拟结果及实际观测还表明, 赤道异常纬向风与对流活动变化的一致性说明了两者的相互依赖关系, 也就是说, 赤道纬向风的异常必然伴有对流活动相应的加强或减弱, 反过来也一样。而且, 正如我们已有研究指出的^[12], 赤道西太平洋纬向风和对流活动的异常直接与东亚冬季风的异常活动有关。上述模拟结果从一个侧面也反映了东亚冬季风的年际变化及其与 ENSO 的关系。

4 ENSO 对东亚冬季大气环流的影响

为了揭示 El Niño、La Niña 事件对北半球冬季大气环流的总体影响, 分别将 1982、1986 年的 El Niño 以及 1985、1988 年的 La Niña 的冬季 (12~2 月) 500 hPa 位势高度、海平面气压和 850 hPa 风场进行了合成。图 5a 为合成的 El Niño 冬季北半球 500 hPa 位势高度的水平分布, 反映了 El Niño 的爆发对北半球冬季 500 hPa 大气环流的影响。El Niño 的爆发通过大气遥响应使得北半球大气环流产生明显异常。北半球副热带及热带太平洋地区为正距平, 北太平洋中高纬度地区为负距平控制, 加拿大南部及美国大陆为正距平, 加拿大北部地区为负距平, 大西洋北部为负距平, 其南部为正距

平。从东亚地区 500 hPa 位势高度异常的正负距平区的位置, 大致可知此时东亚地区高空槽活动偏少, 东亚极锋锋区位置偏北, 东亚冬季风偏弱。1985 和 1988 年的 La Niña 爆发对北半球 500 hPa 位势高度的影响, 也做了类似的分析, 结果如图 5b 所示。模式基本上再现了实际观测的特征, 反映了 La Niña 影响下的冬季北半球大气环流将产生与 El Niño 冬季相反的异常形势; 在 120°E 附近东亚大槽偏深, 将导致冬季风偏强。

El Niño 和 La Niña 爆发的冬季, 北半球海平面气压也发生了明显的变化, 如图 6 所示。El Niño 年冬季 (图 6a), 东亚海平面气压为负距平, 亚洲大陆北部为正距平, 北太平洋北部为异常负距平, 其南部为正距平; 另外, 北美及大西洋地区主要被一相对强的正距平控制, 异常中心位于北大西洋, 此时的东太平洋为气压负距平。图 6b 为 La Niña 年冬季海平面气压距平水平分布, 此时地面形势基本上与 El Niño 同期的相反, 东亚以致于整个亚洲大陆为气压正距平控制, 从阿留申一直伸展到西北太平洋副热带地区为负距平区, 北美大陆及北大西洋地区为强的负距平, 东北太平洋为正距平。上述海



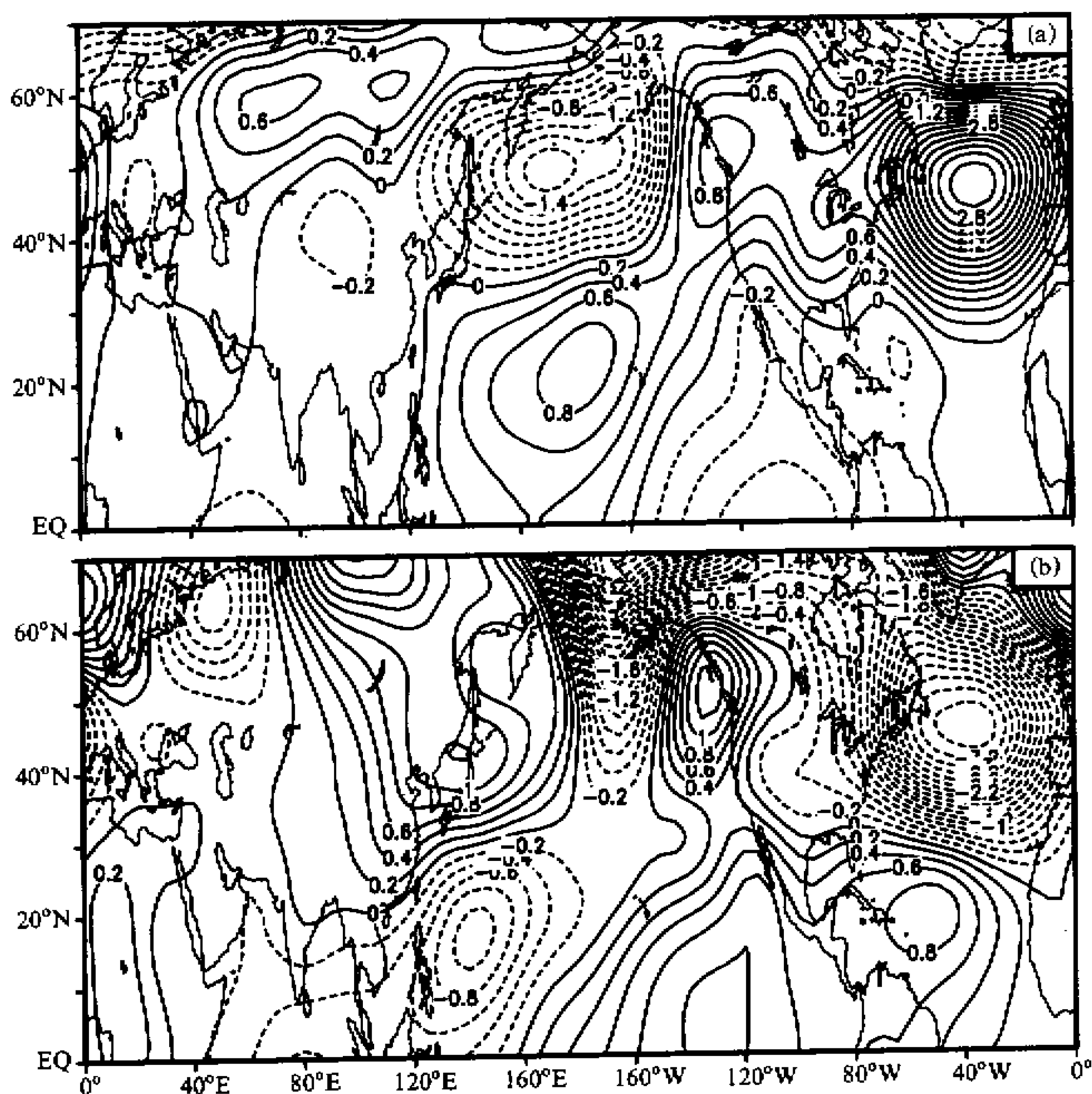


图6 合成的冬季北半球海平面气压距平的水平分布
(a) El Niño 年; (b) La Niña 年, 单位: hPa

平面气压距平场的分布也表明, 东亚地区在 El Niño 年冬季风偏弱, 而在 La Niña 年冬季风偏强。

850 hPa 风场更能直接地反映出 El Niño 及 La Niña 对东亚冬季风的影响。图 7a 为 80 年代 2 次 El Niño 事件合成的冬季异常 850 hPa 风场的水平分布, 东亚沿海地区为一片异常西南风, 此时的东亚冬季风偏弱。然而, 沿着 38°N 纬度以北的东亚及其沿海地区却是异常偏北风, 这与 500 hPa 大气环流形势的异常是一致的, 即东亚极锋锋区位置北抬。与 El Niño 年冬季形成鲜明的对比, La Niña 年冬季 (图 7b), 东亚沿海为明显的异常西北气流, 即东亚冬季风偏强。

5 结论

整个数值模拟结果都极为清楚地表明东亚冬季风的异常与 ENSO 有着极为密切的关系, 功率谱分析进一步表明东亚冬季风的年际变化中包含有十分显著的 ENSO 信

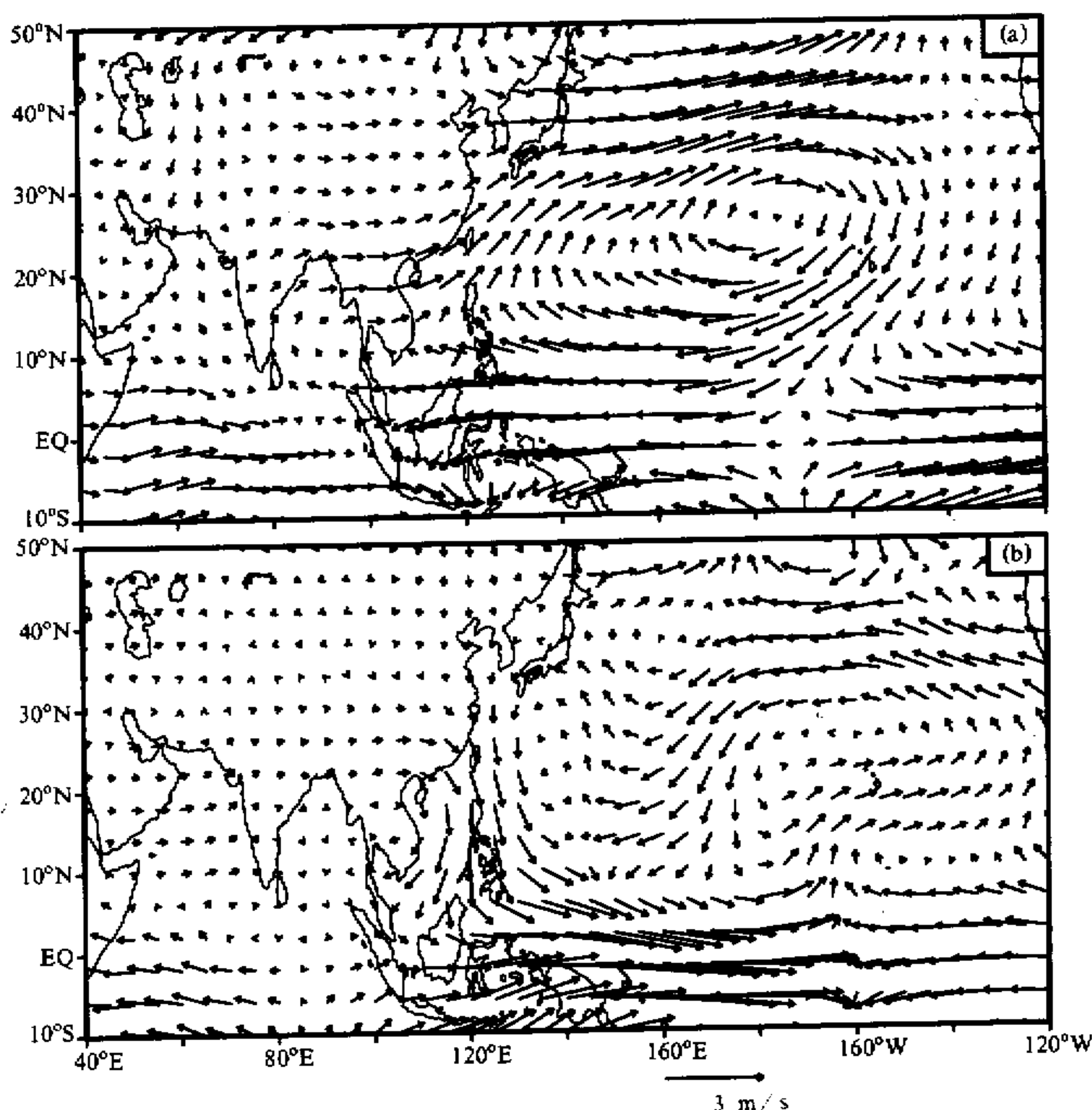


图7 合成的冬季北半球 850 hPa 异常风场的水平分布
(a) El Niño 年; (b) La Niña 年

息。数值模拟结果与已有的资料分析结果非常一致。

大气环流模式很好地再现了 ENSO (El Niño、La Niña) 爆发前及其间赤道太平洋地区纬向风及对流活动的演变特征, El Niño 发生前赤道中西太平洋有异常西风发展并东传, 同时该地区的对流活动出现正距平并东移; La Niña 发生前则有异常东风发展, 且对流活动减弱。

El Niño (La Niña) 的爆发通过大气遥响应使得冬季北半球大气环流产生明显的异常。El Niño 年冬季东亚冬季风偏弱, 东亚极锋锋区位置偏北; La Niña 年冬季则相反。

通过对大气环流模式模拟资料的分析, 还发现东亚冬季风的年际变化与 ENSO (El Niño、La Niña) 事件的发生有内在的联系, 它们之间是相互作用和相互影响的: El Niño 事件爆发前, 东亚冬季风偏强, 爆发后偏弱; 相反, La Niña 事件爆发前, 东亚冬季风偏弱, 爆发后偏强。

致谢 特别感谢大气科学与地球流体力学国家重点实验室毕训强博士为本研究提供的 9 层大气环流模式模拟资料。

参 考 文 献

- 1 ICSU, WMO, UNESCO, 1995, CLIVAR—A study of climate variability and predictability, WCRP-89, WMO / TD No.690.
- 2 李崇银、胡季, 1987, 东亚大气环流与厄尔尼诺相互影响的一个分析研究, 大气科学, 11, 359~364.
- 3 李崇银, 1988, 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺, 科学通报, 3, 282~286.
- 4 Li Chongyin, 1990, Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events, *Adv. Atmos. Sci.*, 7, 36~46.
- 5 Lau, Ngar-Cheung, 1985, Modeling the seasonal dependence of the atmospheric response to observed El Niño in 1962-1976, *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1970~1996.
- 6 Kitoh, Akio, 1991, Interannual variations in an atmospheric GCM forced by the 1970-1989 SST, Part I: Response of the tropical atmosphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 251~270.
- 7 Stephenson, David B. and J-F. Royer, 1995, GCM simulation of the southern oscillation from 1979~1988, *Climate Dynamics*, 11, 115~128.
- 8 曾庆存、袁重光、张学洪、梁信忠、张荣华、毕训强、包宁, 1995, IAP 气候模式及其应用, 自然科学进展, 5(2), 130~138.
- 9 毕训强、曾庆存, 1996, IAP 九层大气环流模式的初步结果, 灾害性气候的模拟和预测, 北京: 气象出版社, 118~127.
- 10 Sperber, K. R. and T. N. Palmer, 1995, Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulation associated with the atmospheric model intercomparison project, *PCMDI Report*, No.28, UCRL-ID-121725.
- 11 穆明权、李崇银, 1999, 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I. 观测资料分析, 大气科学, 23(3), 276~285.
- 12 李崇银, 1995, 气候动力学引论, 北京: 气象出版社, 253~263.

ENSO Signals in Interannual Variability of East-Asian Winter Monsoon Part II. Simulated Data Analyses

Mu Mingquan and Li Chongyin

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

Abstract The simulated output of the 9-level global atmospheric circulation model (IAP-AGCM) is systematically and thoroughly analyzed. The results saliently show that this model has good abilities to simulate the anomalies of the equatorial zonal wind and the convection activity having a close association with the outbreak of El Nino and La Nina episodes. The simulated East Asian winter monsoon exhibits an striking interannual variability which agrees well with the observation. Through further analysis, this variation has an obvious cycle of 2~7 years. In other words, the interannual anomaly of the winter monsoon has a close relationship with the occurrence of ENSO.

Key words El Nino and Southern Oscillation winter monsoon interannual variability atmospheric remote response