

亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应*

陶诗言 张庆云

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 根据 NCEP/NCAR 1980~1995 年的再分析资料, 分析了 1980 年以来 5 个 El Niño 和 La Niña 年冬、春和夏季 200、500 和 850 hPa 合成高度场、风场、流函数场及温度场。发现在冬季 El Niño (La Niña) 年亚洲上空的环流型不利 (有利) 于寒潮向南爆发, 导致亚洲冬季风和大洋洲夏季风弱 (强)。在 El Niño (La Niña) 年冬季华南和青藏高原降水或降雪量为正 (负) 距平, 这使得在晚春和初夏南亚的加热慢 (快), 导致夏季海陆的热力对比小 (大), 因而出现弱 (强) 夏季风。我们还发现强 El Niño 年冬季, 在印度洋-亚洲上空出现类似于东太平洋-北美上空的 PNA 遥相关, 我们称之为印度洋-亚洲遥相关型 (IA), 引起亚洲冬夏季风年际变化的物理过程都是由 IA 遥相关型引起的。

关键词 亚洲季风 ENSO 循环 西风异常 印度洋-亚洲遥相关型

1 引言

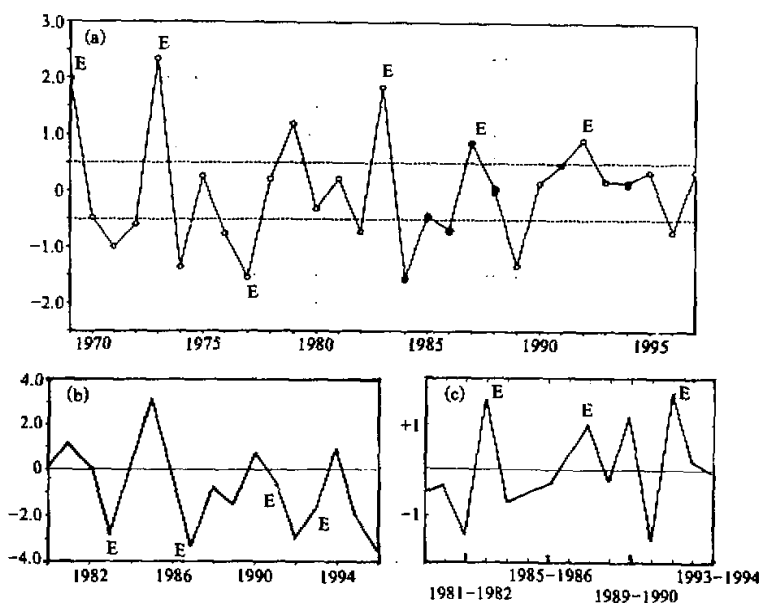
季风是全球气候系统中的一个重要成员, 季风特别是亚洲季风对全球热带大气环流的季节和年际变化起着重要作用, 在亚洲夏季风强或弱的年份, 全球热带大气环流表现有很大的差异。El Niño 现象是全球热带气候变化的一个强信号, El Niño 事件虽然只出现在赤道东太平洋上, 但其影响远远超出这个范围。在 80 年代初, 人们对 El Niño 事件与亚洲夏季风的关系作过大量研究, 发现在 El Niño 年份印度夏季干旱, 而 La Niña 年份则多雨, 这表明两者有同时的相互联系; 研究还表明, ENSO 事件发生后, 亚洲季风常常出现异常现象, 80 年代末期人们开始注意季风活动对 El Niño 的影响问题, 因此 ENSO 与季风关系值得深入研究。

亚洲的冬、夏季风及大洋洲的夏季风强度都有明显的年际变化, 这种年际变化与 ENSO 现象有很好的联系。图 1 分别给出亚洲冬、夏季风和大洋洲夏季风指数的年际变化, 图 1a 为东亚冬季风指数^[1], 图 1b 为亚洲夏季风指数, 是根据 Webster 和杨菰^[2]所定义的指数计算得到, 图 1c 为大洋洲夏季风指数^[3]。从图 1 中亚洲冬、夏季风和大洋洲夏季风指数的年际变化可见, 在 ENSO 的暖 (冷) 期, 亚洲的冬、夏季风及大洋洲的夏季风偏弱 (强)。

根据 NCEP/NCAR 1980~1995 年的再分析资料, 我们取 1980 年以来的 5 个 El Niño 年 (1982、1983、1987、1991、1993) 以及 5 个 La Niña 年 (1984、1985、1986、1988、1994), 分析冬季 (12~2 月)、春季 (3~5 月) 和夏季 (6~8 月) 200、

1998-06-01 收到

* 国家自然科学基金重点项目“关于季风与 ENSO 循环相互作用研究”和国家“九五”重中之重点项目“我国短期气候预测系统的研究” (96-908-04-04-1) 共同资助

图1 亚洲冬、夏季风和大洋洲夏季风指数^[1~3]

图中E代表El Niño年

500 和 850 hPa 高度场、风场、流函数场及温度场的特征, 探讨 ENSO 暖期和冷期亚洲冬、夏季风是怎样响应 ENSO 现象的, 即通过怎样的过程使得 ENSO 与亚洲冬、夏季风年际变化联系起来。

2 东亚冬季风对 El Niño 和 La Niña 的响应

从图 1a 和 1c 中可以看出: 东亚冬季风以及大洋洲夏季风偏弱(强)年多数都出现在 ENSO 的暖(冷)期, 本节着重分析东亚冬季风与 ENSO 的关系, 我们作出 5 个 El Niño 年(1982、1983、1987、1991、1993)和 5 个 La Niña 年(1984、1985、1986、1988、1994)的冬季和春季 200、500 和 850 hPa 的高度、温度及风场距平成图。

图 2a 给出的是 5 个 El Niño 年, 图 2b 是 5 个 La Niña 年冬季 500 hPa 高度距平成图。可以看出, 在 ENSO 的暖期和冷期冬季亚洲上空 500 hPa 高度距平是相反的。正常的冬季年份, 500 hPa 高度场在中高纬度 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{E}$ 为高压脊, $140^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 为低压槽。在 El Niño 年, 60°E 为负距平区, 东亚大陆及西太平洋为正距平区, 这种距平分布反映冬季东亚上空的东亚大槽强度比常年偏弱, 不利于寒潮爆发, 这说明为什么在 El Niño 年冬季东亚地区的寒潮偏弱。La Niña 年情形相反, 60°E 为正距平区, 而东亚大陆及西太平洋为负距平区, 这种距平分布反映冬季东亚上空高空槽强度比常年偏强, 有利于寒潮活动, 这就解释了为什么在 La Niña 年东亚地区冬季寒潮偏强。李崇银^[4]也曾指出, La Niña 年东亚冬季寒潮偏强, El Niño 年东亚冬季寒潮偏弱。此外在 El Niño

年(见图 2a)冬季 500 hPa 高度距平场上,在亚洲 30°N 以南地区为负距平,这种高度距平场的分布,表示在 El Niño 年冬季高原南侧的西风带低压扰动活跃,降水也多,La Niña 年相反(见图 2b)。

在 El Niño 年和 La Niña 年的冬季,除了 500 hPa 高度场的响应不同外,其温度场的响应也是不同的。图 3a 给出的是 5 个 El Niño 年,图 3b 是 5 个 La Niña 年冬季 500 hPa 温度距平合成图。El Niño 年冬季,在 500 hPa 的温度场上,东亚中高纬度为温度正距平地区(见图 3a),说明 El Niño 年冬季东亚寒潮偏弱,东亚地区温度相对偏高。La Niña 年的情况相反,东亚中高纬度为温度为负距平地区(见图 3b),这说明 La Niña 年的冬季东亚寒潮偏强,东亚地区温度相对偏低。

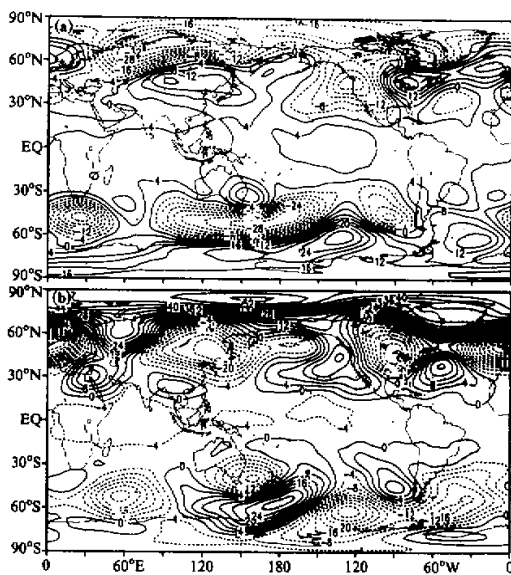


图 2 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b) 冬季 500 hPa 高度距平合成图

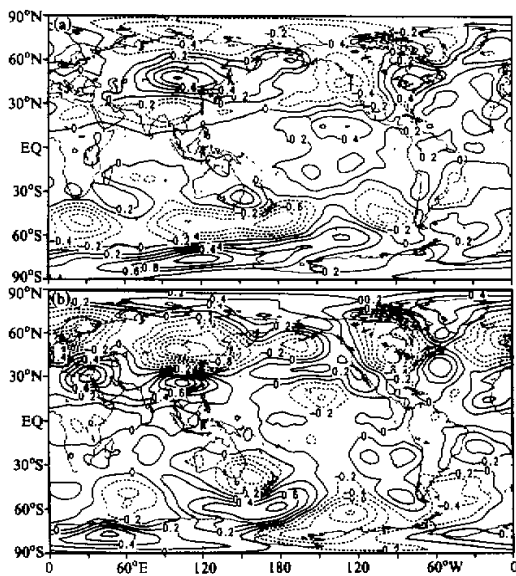


图 3 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b) 冬季 500 hPa 温度距平合成图

在 El Niño 年和 La Niña 年的冬季,除了 500 hPa 高度场和温度场的响应不同外,高、低空风场的响应也是不同的,图 4 给出 El Niño 年和 La Niña 年冬季 850 hPa 风的距平变化。从图中可见,El Niño 年的冬季,从欧亚大陆到东亚沿海地区出现偏南风距平(见图 4a),这表明冬季东亚地区北风偏弱,东亚寒潮活动较少,东亚冬季风偏弱。La Niña 年的情形完全相反,在 La Niña 年的冬季,欧亚大陆到东亚沿海地区出现偏北风距平(见图 4b),这说明东亚地区北风偏强,东亚寒潮活动较多,东亚冬季风偏强。

综上所述不难发现,亚洲地区冬季平均大气环流(包括高度场、温度场和风场)对 El Niño 和

La Niña 的响应是完全不同的, 这表明亚洲冬季风的年际变化受到 ENSO 暖期和冷期过程的影响。

3 南亚夏季风对 El Niño 和 La Niña 的响应

80 年代末和 90 年代初, Krishnamurti^[5,6]以及 Webster 和 杨崧^[2]曾指出: 弱南亚夏季风的前冬和春季, 在南亚副热带 15~30°N 地区对流层上部 200 hPa 出现强西风 (风场距平表现为西风); 强南亚夏季风的前冬和春季, 在南亚副热带 15~30°N 地区对流层上部 200 hPa 出现弱西风 (风场距平表现为东风距平)。杨崧等^[7]以及 Krishnan 和 Mujumdar^[8]进一步强调: 冬春季对流层上部风场距平的这种变化是夏季南亚季风强、弱变化的强前兆信号, 关于其中物理机理, 杨崧

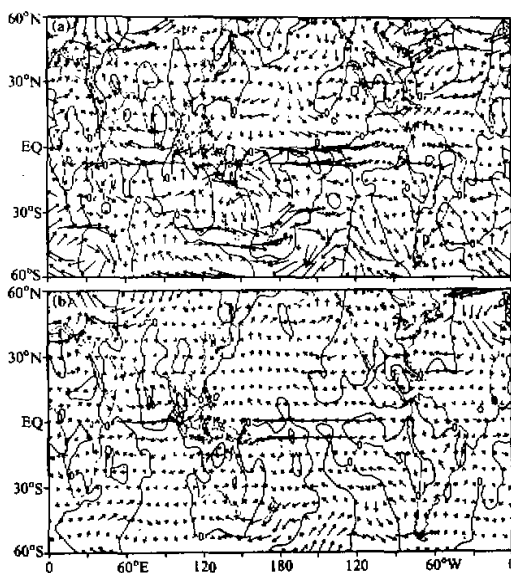


图 4 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b)
冬季 850 hPa 风的距平合成图

等并未完全阐明, 认为可能与冬春季高原积雪、南亚大陆的土壤水分以及 ENSO 事件有关系。

本节着重分析 ENSO 暖期和冷期过程与南亚夏季风关系, 从图 1b 清楚可见, 南亚弱 (强) 夏季风年多数都出现在 ENSO 的暖 (冷) 期。图 5a 是 5 个 El Niño 年、图 5b 是 5 个 La Niña 年冬季 200 hPa 矢量风的距平合成图。从图 5a 中可见, El Niño 年冬季青藏高原南侧的南支西风比常年偏强, 出现了西风距平, 这表明 El Niño 年南支西风扰动强并且比较活跃; La Niña 年冬季青藏高原南侧的南支西风比常年偏弱, 出现了东风距平 (图 5b), 说明 La Niña 年南支西风扰动偏少。

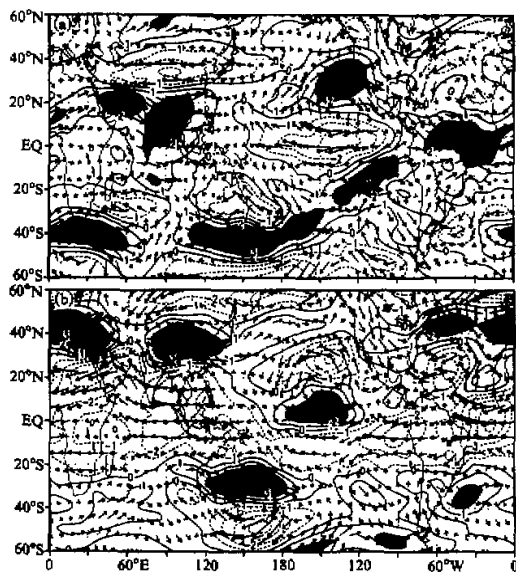


图 5 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b)
冬季 200 hPa 矢量风距平合成图

陶诗言^[9]指出：华南冬季的持续性降雨（雪）天气大多数是由印度和缅甸移来的扰动所引起。从图 5 可知，El Niño 年南支西风扰动活跃，La Niña 年冬季南支西风扰动少。图 6a 和 6b 给出 5 个 El Niño 年和 5 个 La Niña 年冬季中国降水距平的分布。图 6a 清楚表明，El Niño 年冬季青藏高原以及华南多雨雪，降水距平百分率为正。图 6b 说明 La Niña 年冬季中国大陆降水比常年要少，降水距平百分率为负。

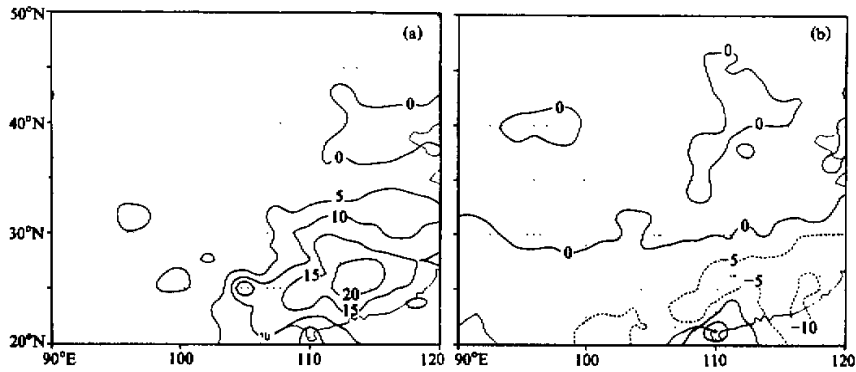


图 6 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b) 冬季降水距平百分率

El Niño 年冬季，由于南支西风很强，并且扰动活跃，这些扰动引起高原上大量积雪以及华南地区降水偏多（见图 6a），这使得位于副热带的南亚地区土壤水分出现正距平，虽然陆地的土壤热容量没有海洋那样，但对土壤水分情况就不一样。叶笃正等^[10]指出，陆地大范围灌溉能引起对短期气候变化的反馈作用，这种大范围灌溉所引起的气候效应至少可持续几个月。大面积的持续性降水其效果与大范围灌溉相同。ENSO 暖（冷）期，由于南亚土壤水分为正（负）距平，这使得春末夏初大陆增暖变慢（快），这是因为有部分的加热消耗在融雪和蒸发上，这可以从春季和夏季 500 hPa 平均气温距平图上（图 7a）看出，在 El Niño 年冬季后期的春、夏季南亚上空为负距平，在 La Niña 年则为正距平（图 7b）。同时也看出在大陆南面的海洋上温度没有多大变化，这样就造成在夏季南亚大陆与其南面海洋之

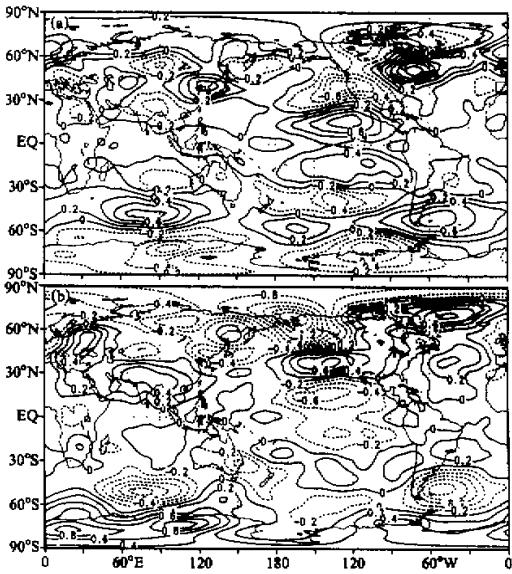


图 7 5 个 El Niño 年 (a) 和 5 个 La Niña 年 (b)
春季 500 hPa 平均气温距平图

间温度对比小(大), 因而造成南亚弱(强)夏季风。

根据以上分析, 我们认为 ENSO 事件影响南亚夏季风强弱变化的成因机制如下:

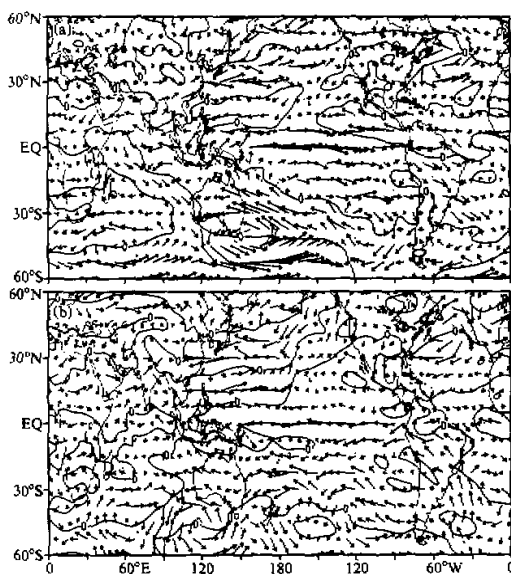
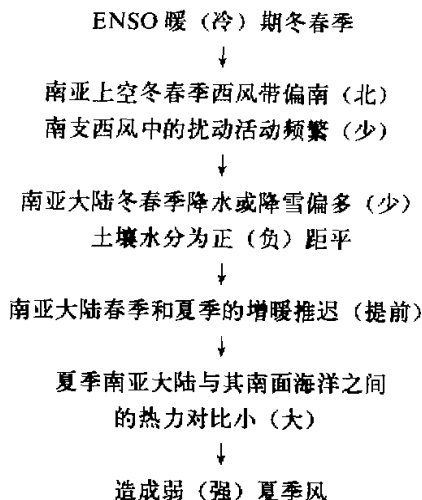


图8 El Niño年(a)和La Niña年(b)
夏季(6~8月)850 hPa平均距平风场

图8给出El Niño年和La Niña年夏季(6~8月)850 hPa平均距平风场。可以看出, El Niño年在南亚季风区高空(图略)、低空都出现东风距平(图8a)。La Niña年在南亚季风区高空(图略)、低空都出现西风距平(图8b), 说明El Niño年(La Niña年)南亚夏季风弱(强)。

从图8还可看出: 在东亚副热带季风区(中国大陆和日本), 在El Niño(La Niña)年对流低空850 hPa出现西风(东风)距平。在夏季中国大陆低空盛行东南风, 表示副热带高压势力强, 伸入大陆, 这是主旱^[11], 夏季中国副热带大陆低空出现西风距平时, 副热带高压势力弱, 位置偏南, 夏季梅雨锋活跃, 降水偏多。

4 夏季南亚季风变化前兆信号的物理机制

冬春季对流层上部南亚上空风场距平的变化是夏季南亚季风强、弱变化的强前兆信

号。问题是为什么在 El Niño 年冬春季南亚上空会有强西风出现。近年来观测事实指出, El Niño 年除了在赤道东太平洋出现暖 SST 区(强对流区)外,在赤道印度洋地区同样也有一个暖的 SST 区,赤道印度洋 SST 的年际变化是赤道东太平洋 SST 年际异常的响应, ENSO 盛期赤道印度洋的 SST 出现与赤道太平洋 SST 同号的异常,强度约为赤道东太平洋 SST 的 $1/3$, 虽然赤道印度洋地区这个强对流区的强度仅为赤道东太平洋强度的 $1/3$, 但其纬向热力对比与太平洋具有相同的量级。赤道太平洋 SST 的异常是强迫亚洲冬季中纬度环流变化的间接因子, 直接的强迫因子来自赤道印度洋。在热带洋面 SST 正异常与强对流活动相联系, 对流活动所引起的非绝热加热必须通过绝热上升的冷却达到平衡。对流区中的上升运动需要在低空有水平辐合, 在对流层上部出现水平辐散, 高空辐散引起负涡度距平, 这种由 SST 异常所产生的涡度异常形成了类似于 PNA 常定的 Rossby 波列。赤道东太平洋区的 SST 为暖水时, 有利于一个 PNA 型(太平洋-北美遥相关型)的产生, 类似地, 在赤道印度洋区 SST 为暖水时(强对流区), 大气加热, 有上升运动, 200 hPa 涡源也会产生一个类似于 PNA 的遥相关, 使得在中亚南部、青藏高原以及华南地区对流层中上部出现了沿着大圆的遥相关型, 我们称之为印度洋-亚洲遥相关型(IA)。

作为一个典型的例子, 1998 年 2 月在赤道印度洋暖 SST 距平区域出现上升运动(图 9a)^[11], 在 200 hPa 的流函数距平图上(图 9b)^[12]除了在东太平洋和北美出现典型的 PNA 遥相关型, 在印度洋到亚洲上空也出现类似 PNA 型的遥相关型即 IA 型。

图 10 给出在 IA 遥相关型中 500 hPa 东亚上空高压脊(图 10a)和 60°E 低压槽(图 10b)的持续性程度, 两者均达到 90%, 这表示在 IA 遥相关型中的这两个系统

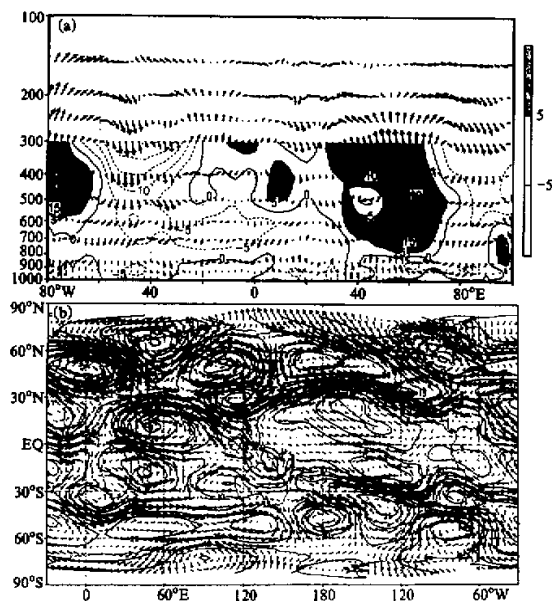


图 9 1998 年 2 月垂直速度图 (a) 和 200 hPa 流函数距平图 (b)

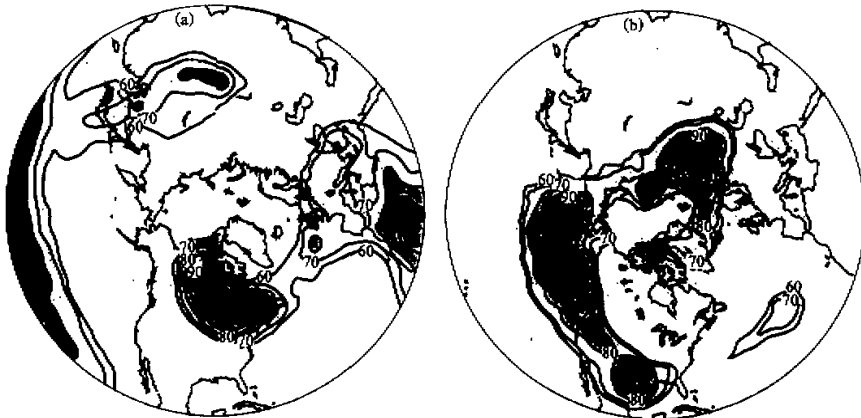


图 10 1998 年 2 月 500 hPa 高度距平大于 15 m (a) 和小于 -15 m (b) 的天数的百分率 (引自文献[13])

非常稳定。

根据前述 5 个 El Niño 年和 5 个 La Niña 年分别作出 500 hPa 流函数的距平合成图, 在 El Niño 年同样看出有 PNA 和 IA 遥相关型 (图略), La Niña 年的遥相关型与 El Niño 年相反。因此, 由于冬季 ENSO 所引起的赤道印度洋 SST 异常能产生印度洋-亚洲遥相关型 (IA), 并使得亚洲冬季出现稳定的环流形势, 引起东亚冬季风和大洋洲夏季风以及南亚夏季风的年际变化。这种遥相关型对亚洲冬季和夏季短期气候预测有指示意义。

参 考 文 献

- 1 Chen Wen and Hans. F. Graf, 1998, The Interannual Variability of East Asian Winter Monsoon and Its Relationship to Global Circulation, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 250.
- 2 Webster, P. J. and Song Yang, 1992, Monsoon and ENSO, selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 118, 877~926.
- 3 Harry Hendon, 1997, Interannual Variability of the Australian Summer Monsoon and Its Relationship to Intraseasonal Activity, WMO Tropical Meteorology Research Programme (TMRP) Commission for Atmospheric Sciences (CAS), 69~71.
- 4 李崇银, 1988, 频繁强东亚大槽活动与 El Niño 的发生, *中国科学 (B)*, 677~674.
- 5 Krishnamurti, 1989, The Summer monsoon of 1987, *J. Climate*, 2, 321~340.
- 6 Krishnamurti, 1990, The Summer monsoon of 1988, *Met. Atmos. Phys.*, 42, 19~37.
- 7 Song Yang, K.-M. Lau and M. Sankar Rao, 1996, Precursory Signals Associated with the interannual variability of the Asian Summer Monsoon, *J. Climate*, 9, 949~964.
- 8 Krishnan and M. Mujumdar, 1997, Remotely and regionally forced precursory signals of the Indian summer monsoon, Abstract of the Papers for the First WMO International Workshop on Monsoon Studies, 24~28 Feb., 1997, 123~127.
- 9 陶诗言, 1952, 冬季从印缅移过来的高空低槽, *气象学报*, 23(3), 172~192.
- 10 Yeh, T. C., R. T. Wetherald and S. Manabe, 1984, The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change—a numerical experiment, *Mon. Wea. Rev.*, 112(3), 474~490.
- 11 竺可桢, 1934, 东南季风与中国之雨量, *地理学报*, 创刊号, 1~27.

- 12 NOAA / NWS / NCEP, U.S. Department of Commerce, 1998, Near Real-Time Analyses Ocean / Atmosphere, Climate Diagnostics Bulletin, No.2, 36.
- 13 中国气象局国家气候中心, 1998, 月气候监测公报, No.2, 30.
- 14 NOAA / NWS / NCEP, U.S. Department of Commerce, 1998, Near Real-Time Analyses Ocean / Atmosphere, Climate Diagnostics Bulletin, No.2, 70.

Response of the Asian Winter and Summer Monsoon to ENSO Events

Tao Shiyan and Zhang Qingyun

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

Abstract Based on the monthly mean geopotential height, temperature and wind data at 200, 500 and 850 hPa level from the NCEP / NCAR reanalyze data sets for 1980~1995, the response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events is studied. By composing seasonal mean anomalies patterns for five El Niño(La Niña) years, it is found that during winter in El Niño(La Niña) years the follow pattern in East Asia is not favorable (favorable) for the outbreaks of cold air southward leading to weak (strong) winter monsoons; and that during winter in El Niño(La Niña) years there is above normal (below normal) precipitation in South China (including the Tibetan Plateau) leading to above normal (below normal) soil moisture content in there areas which could delay (quicken) and weaken (strengthen) the spring and summer heating of the land masses those results in weak (strong) summer monsoons. We also found that during winter in strong El Niño years there is a teleconnection pattern in Indian Ocean and Asia called IA pattern which is Similar to PNA pattern in Eastern Pacific and North America. The IA pattern is responsible for the processes bring about interannual variability of Asian winter and summer monsoons.

Key words Asian monsoon ENSO events westerly anomaly Indian Ocean-Asian teleconnection