

热带西太平洋海温距平与 Rossby 波传播对 1993 和 1994 年东亚夏季风异常影响的差异

吕俊梅^{1, 2} 琚建华^{3*} 张庆云⁴ 陶诗言⁴

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 云南大学大气科学系, 昆明 650091

3 中国气象局培训中心, 北京 100081

4 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 利用 NCEP/NCAR 再分析资料、Hadley 中心海温资料与降水资料, 分析了 1993 和 1994 年东亚夏季风异常的天气气候特征以及大气环流的差异。分析结果表明: 1993 年东亚夏季风弱, 副热带西风急流和副热带高压位置偏南, 来自于孟加拉湾和南海的水汽仅输送到 35°N 以南地区。东亚地区出现低温凉夏天气。1994 年东亚夏季风强, 副热带西风急流和副热带高压位置偏北, 7~8 月副高持续偏强并控制日本, 水汽可以输送到 45°N 以北的较高纬度, 东亚发生破纪录的热浪干旱。对 1993 和 1994 年东亚夏季风异常物理过程差异的研究发现, 副热带西风急流中静止 Rossby 波的传播和热带西太平洋暖池海温距平激发出来的 PJ 型遥相关波列作用的叠加引起 1994 和 1993 年东亚夏季风异常差异。

关键词 东亚夏季风 温温距平 暖池 Rossby 波传播 物理过程

文章编号 1006-9895 (2006) 05-0977-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

Differences of Influences of Tropical Western Pacific SST Anomaly and Rossby Wave Propagation on East Asian Monsoon in the Summers of 1993 and 1994

LÜ Jun-Mei^{1, 2}, JU Jian-Hua³, ZHANG Qing-Yun⁴, and TAO Shi-Yan⁴

1 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing* 100081

2 *Department of Atmospheric Sciences, Yunnan University, Kunming* 650091

3 *China Meteorological Administration Training Centre, Beijing* 100081

4 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029

Abstract The differences of synoptic climatology and circulation anomalies associated with the East Asian summer monsoon anomalies between 1993 and 1994 are analyzed based on the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis dataset, Hadley center SST data and rainfall data. The results show that East Asian monsoon was weak in 1993. Meanwhile Asian subtropical westerly jet and subtropical high were located southward. The moisture coming from the Bay of Bengal and the South China Sea was transported northward to near 35°N. East Asian countries experienced low temperatures and a cool summer

收稿日期 2006-05-11, 2006-06-09 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40365001, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-221, 国家自然科学基金重点项目 40523001、40233033

作者简介 吕俊梅, 女, 1972 年出生, 博士, 讲师, 主要研究方向为气候变化、海气相互作用和季风。E-mail: wind-ljm@163.com

* 通讯作者 E-mail: jujh@cma.gov.cn

in 1993. On the other hand, East Asian monsoon was strong in 1994. Asian subtropical westerly jet and the subtropical high were located northward. Furthermore the subtropical high intensified and controlled Japan continuously during the July - August period. The moisture was transported northward up to 45°N. East Asian countries suffered record-breaking heat waves and drought during the summer monsoon season of 1994. The physical processes involved in the discrepancy of East Asian monsoon in 1993 and 1994 are investigated. It is found that the discrepancy of East Asian monsoon in 1993 and 1994 are induced by the overlapping roles played by the propagation of Rossby wave in Asian subtropical westerly jet and a wave train of the Pacific - Japan (PJ) teleconnection pattern that is generated by SST anomaly (SSTA) in the tropical western Pacific warm pool.

Key words East Asian summer monsoon, SSTA, warm pool, Rossby wave propagation, physical process

1 引言

东亚夏季风有非常明显的年际变化, 表现为强、弱夏季风年的交替出现。1994 年夏季东亚的许多国家, 包括中国的中东部、日本和韩国的南部, 出现了破纪录的热浪和干旱天气。Park 等^[1]研究 1994 年夏季东亚发生严重干旱的原因, 指出 1994 年 7 月东亚环流的异常类似于正常年 7~8 月的环流变化, 这表示 1994 年 7 月东亚大气环流的季节变化比常年提早了一个月。他们的研究表明, 不论是热带 SST 异常和中纬度 SST 异常对 1994 年东亚环流异常都起不到强迫作用, 相反主要的强迫是青藏高原的地形作用, 地形的作用使得东亚急流异常北移, 与此相联系的是副热带西风急流中出现异常持续的静止 Rossby 波, 最后导致东亚上空出现持续的反气旋环流。

1993 年夏季东亚的天气气候和大气环流异常与 1994 年有着明显的区别, 中国的江淮、黄淮和韩国、日本气温偏低, 出现了罕见的“低温”凉爽天气, 长江流域到日本降水偏多。事实上, 1993 年天气气候的异常并不是仅局限于东亚地区, 美国中西部夏季的特大洪水, 巴西东北部、澳大利亚东部严重干旱, 这些天气气候的异常表明, 1993 年是世界异常气候突出的年份。Trenberth 等^[2]研究 1993 年北美发生洪涝的物理过程时指出, 1993 年有较强的水汽输送穿越墨西哥湾进入美国中部和东部, 同时高空西风急流较宽广, 风暴路径活跃并且位置偏南, 这使得水汽可以输送到密西西比河流域上游地区, 并产生降水。对于大气环流的这种异常, 热带东太平洋 SST 的异常是一个值得注意的外源强迫因子。

Yoo 等^[3]利用大气模式和海-气耦合模式进行数值试验发现, 热带西太平洋 SST 的异常能够解释 1993 和 1994 年夏季东亚和东南亚地区气候变化

的许多特征, 认为 1994 和 1993 年东亚气候异常差异主要是由于热带西太平洋 SST 的强迫差异所引起的, 并强调热带西太平洋的 SST 以及温带太平洋的海-气耦合对于东亚和东南亚的气候异常有重要作用。对于热带西太平洋 SST 异常对东亚气候的影响可以用黄荣辉^[4, 5]和 Nita^[6]提出的 Rossby 波响应的物理机制来解释, 也就是说, 赤道西太平洋暖池附近的对流活动增强将会引起东南亚、南中国海和华南地区出现位势高度负距平, 而华北、韩国和日本及其邻近海域为正的位势高度距平, 并且从南亚经过东亚到北美地区形成一个类似 PNA 型的大气遥相关型, 称之为 PJ 遥相关型, 或者东亚太平洋 (EAP) 遥相关型。闵锦忠等^[7]指出, 与热带西太平洋对流异常对应的东亚地区呈经向分布的 Rossby 波列 (PJ 型遥相关波列) 的异常与长江中下游地区夏季降水的异常有密切关系。

从目前人们所得到的 1993 和 1994 年东亚夏季风发生年际变异的原因来看, 一种观点认为热带西太平洋 SST 的强迫差异以及由赤道西太平洋暖池增暖激发的 PJ 型遥相关对 1993 和 1994 年东亚气候异常起着重要作用, 另外的观点认为副热带西风急流中静止 Rossby 波的传播是导致东亚天气气候异常的主要原因。对于 1993 和 1994 年东亚季风异常的物理原因还需要从这两个方面出发作进一步的讨论, 从而给出东亚夏季风年际变化物理过程差异, 加深对东亚夏季风年际变异物理机制的理解。

2 资料和方法

本文使用的资料包括: 1979~1999 年的 CMAP 降水^[8]; 1949~2002 年的 NCEP/NCAR 再分析大气环流资料^[9]; Hadley 中心的 SST 资料^[10], 时间为 1949~2001 年。

静止 Rossby 波的能量传播强弱可以用准地转

静止 Rossby 波的波活动矢量水平分量^[1,11]来表示：

$$F_{\lambda} = \frac{p}{2000a^2 \cos\phi} \left[\left(\frac{\partial \Psi'}{\partial \lambda} \right)^2 - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \lambda^2} \right], \quad (1)$$

$$F_{\phi} = \frac{p}{2000a^2} \left(\frac{\partial \Psi'}{\partial \lambda} \frac{\partial \Psi'}{\partial \phi} - \Psi' \frac{\partial^2 \Psi'}{\partial \lambda \partial \phi} \right), \quad (2)$$

其中， Ψ' 为扰动流函数（对纬向平均流的偏差）， p 为气压， ϕ 为纬度， λ 为经度， a 为地球半径。水平波活动通量散度表示波活动的源和汇。

3 1993 和 1994 年夏季亚洲季风区天气气候的异常

Lau 等^[12]定义了两个区域性的季风环流指数

RM1 和 RM2，其中 RM1 为印度夏季风强度指数，RM2 为东亚夏季风强度指数。我们计算了 1949~2004 年的 RM1 和 RM2 指数，结果表明，1993 年印度夏季风和东亚夏季风均偏弱，而 1994 年两者均偏强。因此，将 1993 和 1994 年作为典型年来研究东亚夏季风的年际变化差异具有很好的代表性。

首先根据夏季降水和气温的变化，分析比较 1993 和 1994 年亚洲季风区天气气候的差异情况。由亚洲季风区气温距平（图 1a）和降水距平百分率（图 1b）的分布可知，1993 年夏季中亚，蒙古，我国的西北、东北、江淮、黄淮和韩国，日本气温明显偏低，气温偏低的地区从中亚、经新疆、蒙古至

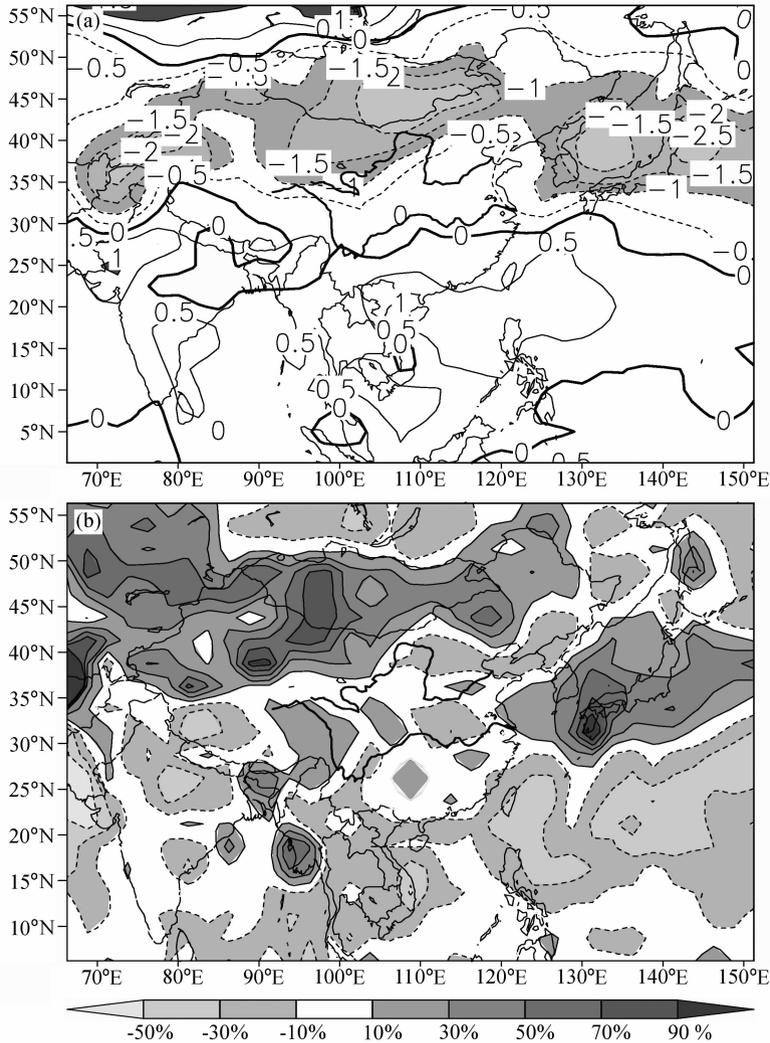


图 1 1993 年夏季亚洲季风区气温距平 (a) 和降水距平百分率 (b) 的分布。阴影区分别表示气温距平绝对值大于 1°C 以及降水距平百分率的绝对值大于 10%，实线表示正值，虚线表示负值

Fig. 1 The geographical distributions of temperature anomalies and precipitation anomaly percentage over Asian monsoon region in the summer of 1993. Shaded areas indicate the absolute value of temperature anomalies is greater than 1°C and that of precipitation anomaly percentage is greater than 10%, respectively. Solid line represents the positive value. Dashed line represents the negative value

东北地区降水偏多，此外日本和韩国，长江上游以及江南地区降水也偏多；与此相反，印度半岛、中南半岛至南海以及热带西太平洋地区气温稍高，对应着这些地区的少雨。1993年5~8月亚洲季风区降水距平百分率(图略)的逐月变化表明，7月和8月东亚地区降水表现为日本至长江流域降水偏多，华南、华北降水偏少，弱东亚夏季风降水分布型的特征较明显。

同样，由1994年亚洲季风区夏季气温距平(图2a)和降水距平百分率(图2b)分布图可以看出，1994年夏季印度北部，中国东北、华北、黄淮、江淮以及韩国和日本气温较高，气温距平高于1.5℃的地区有黑龙江北部、东北南部、华北东部、韩国和日本。印度次大陆中部到西北部地区气温相对偏低。降水分布是非常典型的强亚洲夏季风年的

分布型，印度半岛、中南半岛到华南降水偏多，此外在蒙古到河套、东北和华北地区也有一条多雨带。中亚、经南疆盆地、长江上游地区、江淮流域到韩国和日本降水明显偏少，尤其长江下游至韩国和日本降水偏少30%，日本南部降水偏少达到50%。1994年这些地区经历了破纪录的热浪和干旱天气。5~8月降水距平百分率(图略)的逐月变化表明，1994年夏季风爆发后6~8月亚洲季风区的降水分布均表现为南北降水偏多，中间降水偏少的强东亚夏季风降水分布型。

从1993和1994年亚洲季风区夏季降水的分布特征，我们发现印度中部的夏季风降水具有与华北降水同位相变化，而与日本的梅雨反位相变化的特征。Chen等^[13]曾经指出，只有华北降水和印度中部降水具有正相关关系。最近，Krishnan等^[14]分

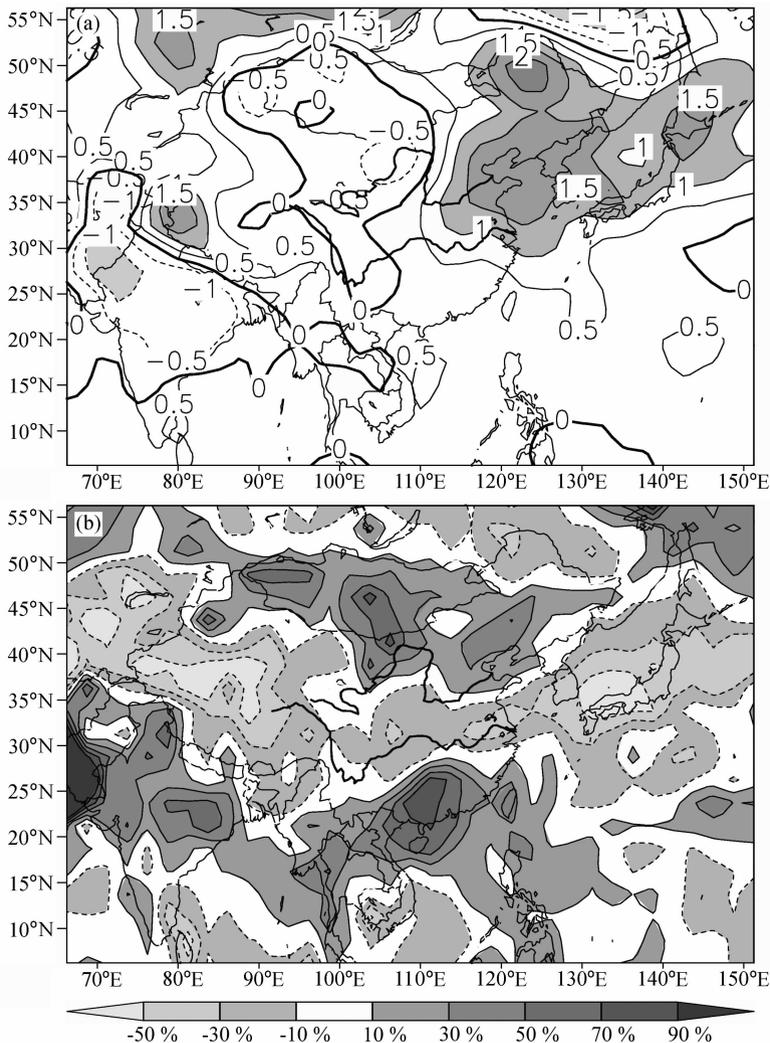


图2 同图1，但为1994年夏季

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for the summer of 1994

析了 100 a 时间长度的观测资料后发现, 初夏 (6 月和 7 月) 日本的梅雨和印度的降水有反向变化的遥相关关系。

4 1993 和 1994 年东亚夏季风环流的年际变化差异

下面讨论 1993 和 1994 年东亚夏季风环流的年际变化差异。1993 年 5~8 月 500 hPa 位势高度图 (图 3) 中, 虚线表示西太平洋副高的多年平均位置, 与之比较, 1993 年 5 月和 6 月副高位置正常, 脊线分别位于 15°N 和 20°N 附近。7 月份副高第二次北跳以后, 脊线的平均位置在 22°N 附近, 比平均位置偏南 3°, 但是副高强度较强, 5860 gpm 的等值线西伸控制华南地区。8 月份副高进一步西伸到 93°E 附近, 控制了长江以南的大部分地区, 副高脊线位于 27°N, 比正常值偏南。

1994 年 (图 4) 5 月副高位置偏北、强度偏强, 副高脊线位于 20°N 附近, 弱脊 (5860 gpm 等值线) 西伸到中南半岛。6 月副高脊线北移到 22°N, 副高主体范围 (5860 gpm 等值线) 大于多年气候平均值。7 月份副高北跳十分明显, 位置偏北, 强度较

强, 脊线位于 30°N, 比气候平均位置偏北 5°, 高压脊控制中国东部沿海地区、韩国和日本南部。8 月份副高进一步北抬至 32°N, 副高强度较强, 5880 gpm 的高压中心位于韩国、日本及其邻近海域, 表明 7 月至 8 月西太平洋副高较强, 位置偏北, 控制日本、韩国和中国东部地区。在日本附近, 当梅雨结束后, 7 月底至 8 月西太平洋副高 (小笠原高压) 控制日本, 并给日本带来干旱和酷热的晚夏天气^[15]。1994 年西太平洋副高在日本附近形成的时间较早, 强度较强且持续时间长, 使得日本、韩国、以及中国东北、华北、黄淮、江淮出现高温干旱天气。

随着季节的转换, 夏季亚洲副热带西风的位置发生北跃。分析 1993 年和 1994 年夏季 200 hPa 纬向风 20 m/s 和 25 m/s 等风速线位置, 可以得到这两年副热带西风急流位置的变化情况。图 5 中分别将 1993 和 1994 年的 6~8 月副热带西风急流的位置变动绘在同一幅图上, 这样可以很清楚地看出西风急流北跳的过程。1993 年 6 月, 西风急流轴的平均位置在 38°N, 7 月西风急流北跃到 40°N 附近, 其北跃不明显。8 月西风急流位置在 120°E 以西少动, 仍然位于 40°N; 而在 150°E 以东, 急流明显北

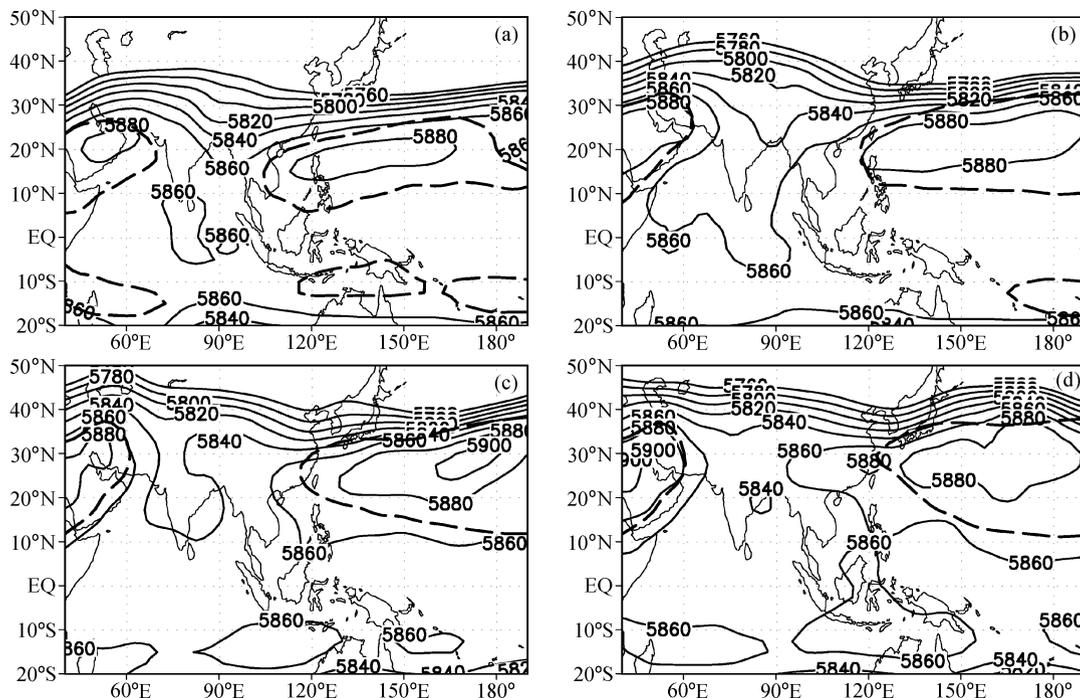


图 3 1993 年 5~8 月 500 hPa 位势高度 (单位: gpm): (a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月; (d) 8 月。虚线表示 1960~1990 年平均的 5860 gpm 等值线

Fig. 3 Geopotential height (gpm) at 500 hPa in May (a), Jun (b), Jul (c), and Aug (d) 1993. Dashed line presents the mean contour of 5860 gpm averaged for the period 1960 - 1990

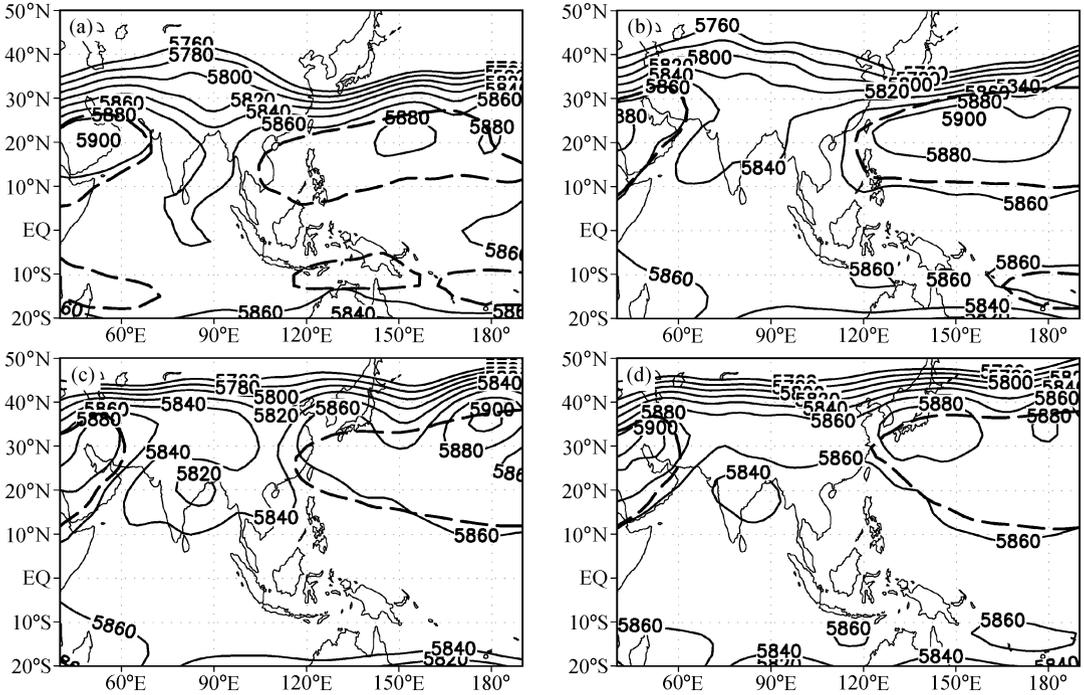


图4 同图3, 但为1994年
Fig. 4 Same as Fig. 3, but for 1994

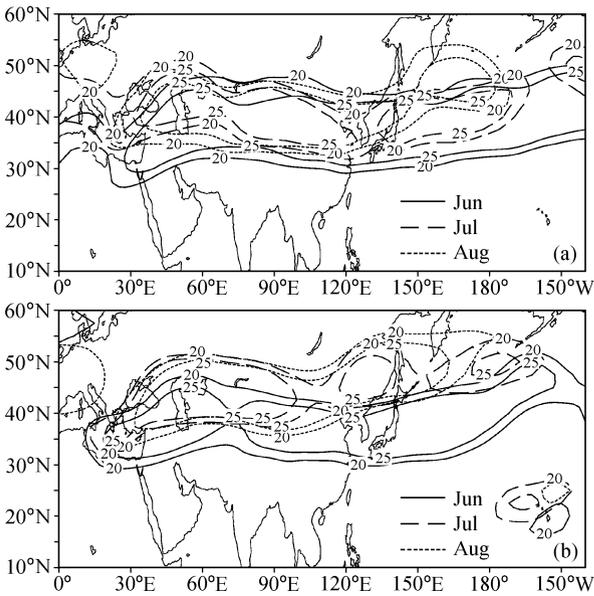


图5 1993年(a)和1994年(b)6~8月副热带西风急流位置
Fig. 5 The location of Asian subtropical westerly jet in 1993 (a) and 1994 (b)

跳到45°N。1994年6月亚洲西风急流平均位于38°N, 7月西风急流北跳非常明显, 110°E以西, 西风急流北移至42°N; 而120°E以东, 急流北跳到47°N。8月西风急流的位置在110°E以西基本未

变; 120°E以东, 急流进一步北移到49°N。在120°E以东地区, 8月西风急流的位置比6月高11°纬度。1994年7~8月西风急流的明显北跳与西太平洋副高位置的偏北有着密切关系。1993年西风急流的北跃没有1994年明显, 但是这两年中西风急流的明显北跳都发生在7月, 说明7月是副热带西风急流中静止 Rossby 波活动较活跃的时期。

图6给出1993和1994年7月海平面气压(等值线)、垂直积分的水汽通量(矢量)和水汽散度(阴影)。1993年7月海平面气压场中西太平洋副高脊线位于27°N, 副高西伸脊点位置偏东(132°E), 北部湾附近的低压较弱。在这种环流形势下, 水汽输送以西南气流为主并且较弱, 来自于孟加拉湾和南海的水汽仅输送到35°N以南地区, 日本到长江中下游地区为较强的水汽辐合带, 该地区的降水偏多。此外, 在南海和热带西太平洋也有水汽辐合带。华南沿海和华北东部分别有两条水汽辐散带, 这两个地区降水偏少。1994年7月西太平洋副高脊线在30°N附近, 副高脊点西伸到123°E, 北部湾附近的低压较强。因此, 1994年水汽输送较强, 水汽的输送以偏北气流为主, 可以输送到45°N以北的较高纬度。水汽辐合带位于北部湾至热带西太平

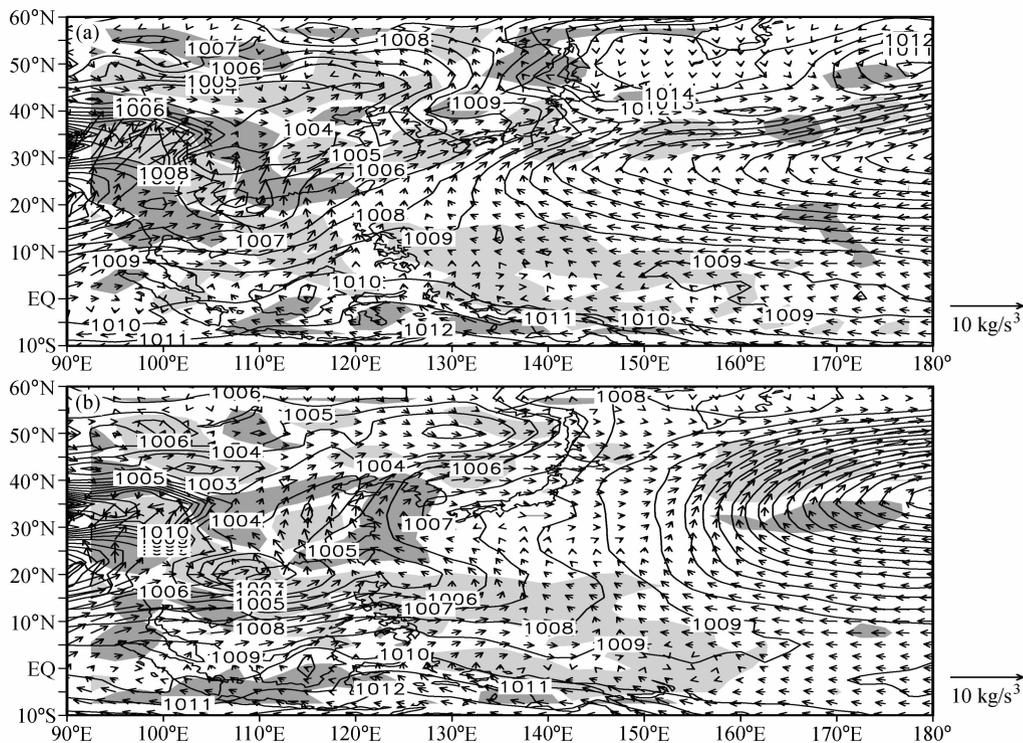


图 6 1993 年 (a) 和 1994 年 (b) 7 月海平面气压 (SLP, 单位: hPa)、垂直积分的水汽通量 (地面~300 hPa) 和水汽散度 (单位: mm/d)。等值线表示 SLP, 间隔为 1 hPa; 矢量代表垂直积分的水汽通量; 深阴影表示水汽散度 < -4 mm/d (辐合); 浅阴影表示水汽散度 > 2 mm/d (辐散)

Fig. 6 Sea level pressure (contour with interval of 1 hPa), vertically integrated moisture flux (vector), and moisture divergence (shading) in Jul 1993 (a) and Jul 1994 (b). Darker shading represents the values < -4 mm/d (convergence) and lighter shading represents the values > 2 mm/d (divergence)

洋、长江中游以及东北地区, 水汽辐散在我国东部沿海、韩国和华北地区, 这些地区降水偏少。

5 强迫因子和物理过程

对 1993 和 1994 年东亚夏季风环流年际变化的对比分析发现, 夏季亚洲副热带西风急流位置在这两年有着非常明显的差异。亚洲西风急流是北半球夏季静止 Rossby 波的波导^[16], 西风急流中静止 Rossby 波的活动和其能量传播对东亚的天气气候变化有着重要影响^[17~19]。Enomoto 等^[15, 20]发现地中海附近的局地下沉运动与亚洲西风急流入口区位置一致, 可以作为静止 Rossby 波的波源起作用, 并且认为静止 Rossby 波沿着亚洲急流的传播, 以及其在日本附近急流出口区的堆积是日本附近的西太平洋副热带高压 (日本气象学者称小笠原高压) 形成的机制。

根据公式 (1) 和 (2), 我们分别计算了 1993 和 1994 年 7 月 300 hPa 的水平波活动通量和散度

(图 7), 可以看出这两年 Rossby 波的活动有着明显差别。1993 年亚洲西风急流中的静止 Rossby 波起源于地中海和黑海附近, 其强度较弱, 仅向下游传播到 80°E 附近。此外, 在 100°E~120°E 附近有一对比较弱的波活动通量的辐散和辐合中心, 表明该地区的波流相互作用比较弱, 值得注意的是, 1993 年 Rossby 波没有继续传播到日本上空。1994 年强的 Rossby 波仍然起源于地中海和黑海附近, 并且波活动通量的辐散与辐合中心沿着西风急流一直向下游传播到日本以东的 150°E, 这表明 1994 年亚洲西风急流中 Rossby 波活跃, 波流相互作用较强, 并且这种作用向下游传播到日本以东地区。因此, 1994 年 7 月和 8 月日本至中国中东部地区异常强的副热带高压的存在, 是由于 7 月静止 Rossby 波的能量向日本及其以东地区的传播引起的。与此相反, 1993 年静止 Rossby 波向日本的传播不明显, 西太平洋副高未伸展到日本附近。这与 Enomoto 等^[15, 20]的研究结果一致。

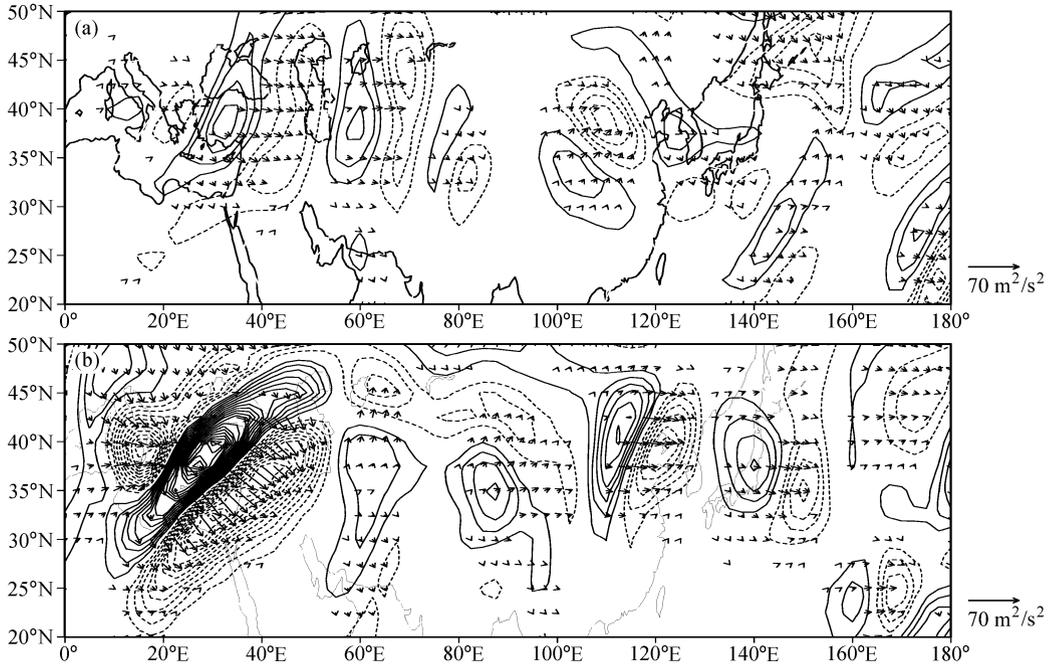


图 7 1993 年 (a) 和 1994 年 (b) 7 月 300 hPa 的水平波活动通量和散度。箭头表示波活动矢量, 等值线表示散度, 等值线间隔为 $40 \text{ m}^2/\text{s}^2$, 为清楚起见, 未画出小于 $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 的波活动矢量和零等值线

Fig. 7 The horizontal components of wave activity flux (vector) and its divergence (contour with interval of $40 \text{ m}^2/\text{s}^2$) at 300 hPa in Jul 1993 (a) and Jul 1994 (b). Vectors smaller than $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ and the zero contour are not drawn for clarity

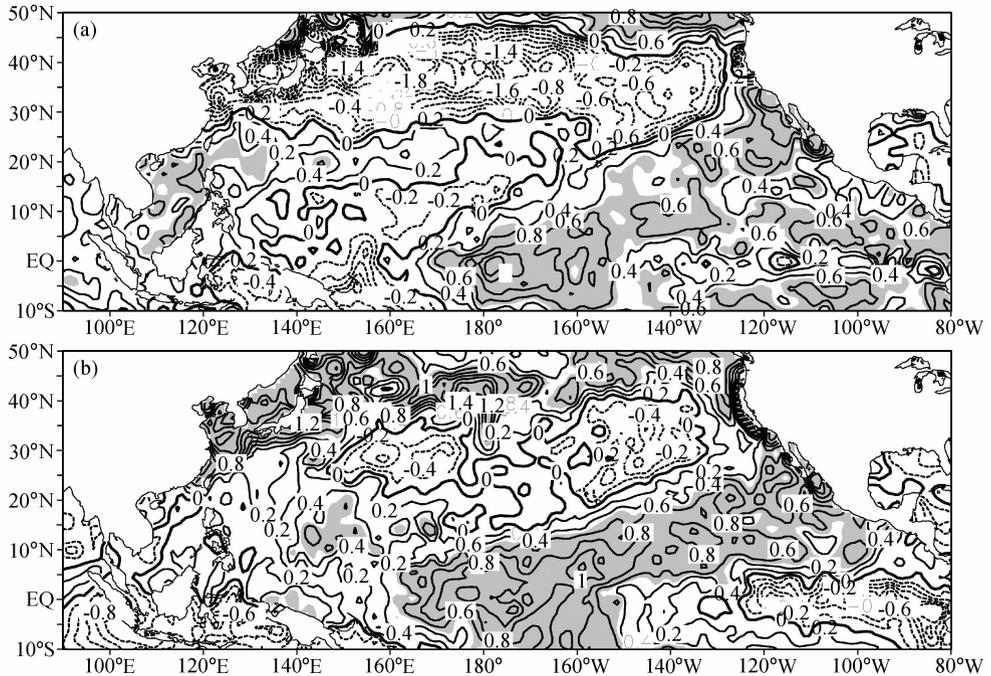


图 8 1993 年 (a) 和 1994 年 (b) 夏季海表温度距平 ($^{\circ}\text{C}$)。气候平均取 1960~1990 年平均值, 阴影表示 $\text{SSTA} > 0.5^{\circ}\text{C}$

Fig. 8 SST anomalies ($^{\circ}\text{C}$) in the summer (JJA) of 1993 (a) and 1994 (b) for climatology during the period 1960–1990. The values greater than 0.5°C are shaded

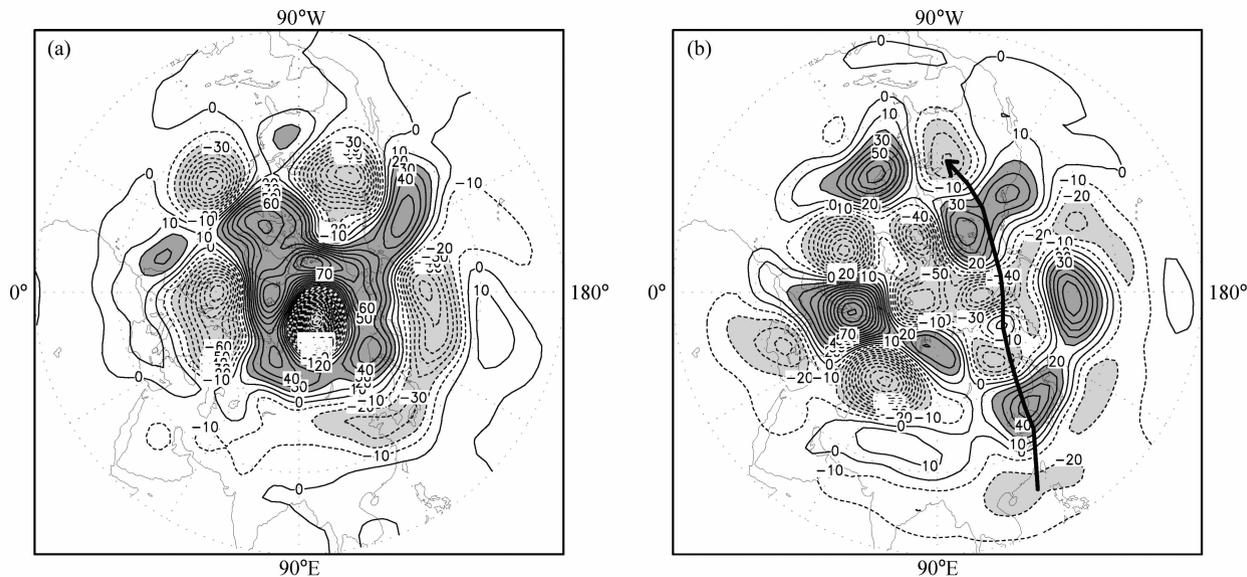


图 9 1993 年 (a) 和 1994 年 (b) 7 月 500 hPa 位势高度距平(单位: gpm)。等值线间隔为 10 gpm, 深、浅灰度表示正、负位势高度距平的绝对值大于 20 gpm, (b)中粗箭头线表示 PJ 波列的传播路径

Fig. 9 Geopotential height anomalies (gpm) at 500 hPa in Jul 1993 (a) and Jul 1994 (b). The contour interval is 10 gpm. Darker and lighter shadings represent the absolute values of positive and negative geopotential height anomalies larger than 20 gpm, respectively. The thick arrow line indicates the propagation path of the wave train of the PJ teleconnection pattern in (b)

1993 和 1994 年夏季环流的另一个显著差异是 1993 年西太平洋副高的位置偏南, 1994 年西太平洋副高的位置偏北。黄荣辉等^[21] 和 Nita^[22] 的研究表明, 当热带西太平洋暖池增暖, 菲律宾及其周围上空的对流活动增强后, 在东南亚经东亚到北美西岸将激发出 PJ 型遥相关。与此相对应, 副热带高压偏北, 我国江淮流域夏季降水偏少。为此, 我们将讨论热带西太平洋 SSTA 和 PJ 型遥相关对 1993 和 1994 年副热带高压位置变化的影响。

夏季太平洋 SST 距平 (SSTA) 分布见图 8, 1993 年为 El Niño 成熟期, 热带和赤道中、东太平洋为正的 SSTA, 南海至菲律宾东北部的热带西太平洋也存在正的 SSTA。然而, 西太平洋暖池 (10°S~10°N, 140°E~180°E) 和 30°N 以北的太平洋中纬度地区海水异常偏冷。1994 年一次新的 El Niño 事件形成, 热带中、东太平洋经西太平洋暖池至菲律宾附近、我国东部沿海至日本以及北太平洋中高纬地区 SST 异常偏高, 赤道东太平洋和北太平洋中纬度地区 (20°N~35°N, 150°W~130°W) 为负的 SSTA。

夏季海洋热力状况差异及其所造成的大气加热的异常变化对于 PJ 型遥相关的形成有不同的影响,

由 1993 年和 1994 年 7 月 500 hPa 位势高度距平的分佈 (图 9) 可以看出, 1993 年 7 月东南亚至北美西岸 PJ 型遥相关并不明显。1994 年 7 月从菲律宾附近、经日本和韩国、鄂霍次克海、白令海至北美西岸有“负正负正”的位势高度距平分佈, PJ 型遥相关较显著。图 9 中 PJ 波列的传播路径用粗箭头线表示。6 月和 8 月 500 hPa 位势高度距平分佈表明, 在这两个月中不存在 PJ 型遥相关 (图略)。

总之, 1994 年西太平洋暖池附近 SST 异常偏高, 这使得孟加拉湾至热带西太平洋地区的大气被异常加热, 菲律宾附近对流增强, 并激发出 PJ 波列, 使得副热带高压异常偏北。1993 年西太平洋暖池 SST 偏低, 菲律宾附近的对流不明显, PJ 型遥相关不明显, 副热带高压位置偏南。

6 结论与讨论

1993 年东亚夏季风较弱, 副热带高压比常年位置偏南, 并且西伸, 控制长江以南的大部分地区。副热带西风急流位置偏南, 7 月西风急流的北跃不是很明显, 西风急流轴平均位置在 40°N 以南。来自孟加拉湾和南海的水汽只输送到 35°N 以南地区, 日本到长江中下游为水汽辐合区, 这种环流形

势使得 1993 年我国江淮、黄淮和韩国、日本气温偏低,而且长江流域到日本降水偏多,出现罕见的“低温”凉夏天气。

1994 年东亚夏季风较强,副热带高压位置偏北,强度较强,7~8 月西太平洋副高控制日本、韩国和中国东部地区。副热带西风急流位置偏北,西风急流轴的平均位置在 45°N 以北。7 月和 8 月西风急流发生了两次北跃,尤其在 110°E 以东地区西风急流的两次北跳非常显著。1994 年水汽输送较强,到达 45°N 以北地区。我国东部沿海和韩国为水汽辐散区,降水偏少;长江中游以及东北地区为水汽辐合带。因此,1994 年中国中东部地区到日本、韩国出现了高温干旱天气。

1994 和 1993 年东亚夏季风的年际变异主要是由热带西太平洋 SST 的外源强迫作用和副热带西风急流中静止 Rossby 波活动的差异引起的。根据很多人的研究结果^[1, 15, 20],静止 Rossby 波沿亚洲急流传播,并且向下游传播到日本以东地区是西太平洋副高在日本上空形成和增强的主要原因。本文结果表明,1994 年 7 月副热带西风急流中有强的静止 Rossby 波向下游传播到日本以东地区,使得 7 月日本附近有较强的西太平洋副高生成。与此同时,西太平洋暖池附近 SST 异常偏高,激发出 PJ 波列,沿此波列也有 Rossby 波从南向北传播,其与副热带西风急流中 Rossby 波的位相叠加,导致 1994 年 7~8 月西太平洋副高的持续异常增强和位置偏北。Enomoto 等^[15]曾经指出, PJ 波列能够增强相当正压的结构,但是当西太平洋副高的相当正压结构增强时,并不总是出现 PJ 波列。由此看来,1994 年的情形属于,副热带西风急流中静止 Rossby 波的传播使得西太平洋副高的相当正压结构增强,与此同时有 PJ 波列出现,两者的作用使西太平洋副高在日本附近异常增强。1993 年副热带西风急流中没有静止 Rossby 波向日本的传播,日本附近并没有西太平洋副高的扩张。同时,热带的外源强迫作用较弱,没有激发出 PJ 波列。因此,热带西太平洋 SST 外源强迫和副热带西风急流中静止 Rossby 波的传播对于东亚夏季风的年际变化有着重要的作用,正是这两种物理过程的差异,导致了 1993 和 1994 年东亚夏季风的年际变化差异。

本文得到的结论仅仅基于对两个典型年的分析,下一步的工作还需要分析这种情况在其他年份

是否存在。同时,需要进一步证实副热带西风急流中 Rossby 波向东传播到日本,以及来自于热带的 PJ 波列中的 Rossby 波向北传播到日本,这两个波在日本附近位相叠加的过程和机制如何?

参考文献 (References)

- [1] Park C K, Schubert S D. On the nature of the 1994 East Asian summer drought. *J. Climate*, 1997, **10**: 1056~1070
- [2] Trenberth K E, Guillemot C J. Physical processes involved in the 1988 drought and 1993 floods in North America. *J. Climate*, 1996, **9**: 12881~1298
- [3] Yoo S H, Ho C H, Yang S. Influences of tropical western and extratropical Pacific SST on East and Southeast Asian climate in the summers of 1993-1994. *J. Climate*, 2004, **17**: 2673~2687
- [4] Huang R H. The characteristics of the forced planetary wave propagations in the summer Northern Hemisphere. *Adv. Atmos. Sci.*, 1984, **1**: 85~94
- [5] Huang R H. Numerical simulation of the three-dimensional teleconnections in the summer circulation over the Northern Hemisphere. *Adv. Atmos. Sci.*, 1985, **2**: 81~92
- [6] Nitta T. Convective activities in the tropical Western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **65**: 373~390
- [7] 闵锦忠, 李春, 吴凡. 夏季热带西太平洋对流与长江中下游降水关系的研究. *大气科学*, 2005, **29** (6): 947~954
Min Jinzhong, Li Chun, Wu Fan. A study of the relationship between summer tropical convection over the Western Pacific and the rainfall in the middle-lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (6): 947~954
- [8] Xie P, Arkin P A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 2539~2558
- [9] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [10] Rayner N A, Horton E B, Parker D E, et al. Version 2.2 of the Global sea-Ice and Sea Surface Temperature Data Set, 1903-1994. Climate Research Technical Note 74, unpublished document available from Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Meteorological Office, London Road, Bracknell, RS12 2SY, U. K., 1996
- [11] Plumb R A. On the three-dimensional propagation of stationary waves. *J. Atmos. Sci.*, 1985, **42**: 217~229
- [12] Lau K M, Kim K M, Yang S. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian sum-

- mer monsoon. *J. Climate*, 2000, **13**: 2461~2481
- [13] Chen L X, Dong M, Shao Y N. The characteristics of interannual variations of the East Asian monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70**: 397~421
- [14] Krishnan R, Sugi M. Baiu rainfall variability and associated monsoon teleconnections. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2001, **79** (3): 851~860
- [15] Enomoto T, Hoskins B J, Matsuda Y. The formation mechanism of the Bonin high in August. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2003, **129**: 157~178
- [16] Ambrizzi T, Hoskins B J, Hsu H H. Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the Austral winter. *J. Atmos. Sci.*, 1995, **52**: 3661~3672
- [17] 孙安健. 江淮流域旱涝年份准定常行星波分布与平均纬向风速的差异. 应用气象学报, 1994, **5** (1): 68~76
Sun Anjian. The differences of quasi-stationary planetary wave distribution and mean zonal wind speed between drought and flood years in summer in the Changjiang and Huaihe River basins. *Quart. J. Appl. Meteor.* (in Chinese), 1994, **5** (1): 68~76
- [18] Liang X Z, Wang W C. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1998, **124**: 2597~2623
- [19] Lu R Y, Oh J H, Kim B J. A teleconnection pattern in upper-level meridional wind over the North African and Eurasian continent in summer. *Tellus*, 2002, **54A**: 44~55
- [20] Enomoto T. Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian Jet. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2004, **82** (4): 1019~1033
- [21] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 1994, **18** (2): 141~151
Huang Ronghui, Sun Fengyin. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical Western Warm pool on the summer climate anomalies in East Asia. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica)* (in Chinese), 1994, **18** (2): 141~151
- [22] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **65**: 373~390

庆祝《大气科学》创刊三十周年