

宣守丽, 张庆云, 孙淑清, 等. 2013. 夏季逐月东亚高空急流异常对我国降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 18 (6): 781–792, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12193. Xuan Shouli, Zhang Qingyun, Sun Shuqing, et al. 2013. Influence of the monthly variation of the East Asia westerly jet on summer rainfall in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (6): 781–792.

夏季逐月东亚高空急流异常对我国降水的影响

宣守丽^{1, 2, 3} 张庆云³ 孙淑清³ 石春林¹

1 江苏省农业科学院/农业部长江下游平原农业环境重点实验室, 南京 210014

2 中国气象局河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450000

3 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘要 根据 1981~2010 年 NCEP/DOE 再分析资料与中国 160 站降水资料, 利用统计学、物理量诊断等方法, 探讨夏季东亚季风环流系统重要成员——东亚高空西风急流位置、强度逐月变化与我国降水的关系。分析表明: 6~8 月东亚高空西风急流比各自气候态位置偏南(北)时, 易造成 6 月华南、江南地区降水、7 月江淮流域降水以及 8 月长江中上游地区降水偏多(少)。本文重点分析 2010 年 6 月、2007 年 7 月及 2006 年 8 月东亚高空西风急流位置异常时东亚高、低纬度环流特征及其对我国降水影响的物理成因。研究发现: 2010 年 6 月东亚高空西风急流稳定在 35°N 以南。急流轴南侧(北侧)为强辐散(辐合)距平, 相应低层辐合(辐散), 造成江南、华南地区从低层至高层的强上升运动, 配合整层偏西水汽通量距平, 为该地区持续性降水提供了有利的动力和水汽条件; 2007 年 7 月东亚高空急流位置偏南、强度偏弱, 急流月内尺度扰动偏强, 使得东亚中高纬度冷空气活动频繁, 造成淮河流域出现持续性暴雨; 2006 年 8 月东亚高空西风急流位置持续偏北、强度偏强, 有利西太平洋副高西伸、北抬, 我国四川—重庆地区受副高控制, 出现了极端高温干旱天气。

关键词 西风急流 降水 月际变化 扰动

文章编号 1006-9585 (2013) 06-0781-12

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12193

Influence of the Monthly Variation of the East Asia Westerly Jet on Summer Rainfall in China

XUAN Shouli^{1, 2, 3}, ZHANG Qingyun³, SUN Shuqing³, and SHI Chunlin¹

1 Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agricultural Environment in Lower Valley of the Yangtze River of Chinese Agriculture Ministry, Nanjing 210014

2 Henan Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, China Meteorological Administration, Zhengzhou 450000

3 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The East Asian westerly jet (EAJ) is one of the most important circulation systems in East Asia, linking the high and low latitude circulations of East Asia. Based on NCEP/DOE reanalysis data and monthly rainfall data at 160 meteorological stations in China during 1981–2010, the monthly relationship between the position and intensity variation

收稿日期 2012-11-16 收到, 2013-05-27 收到修定稿

资助项目 江苏省农业科技自主创新资金项目 CX (12) 5059, 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放研究基金课题 AMF201201, 公益性行业(农业)科研专项 201203032, 公益性行业(气象)科研专项 GYHY201306035, 江苏省科技支撑计划—农业部分 BE2012391

作者简介 宣守丽, 女, 1984 年出生, 博士, 主要从事气候动力学研究。E-mail: shirleyxuan2008@hotmail.com

通讯作者 张庆云, E-mail: zqy@mail.iap.ac.cn

of the EAWJ and summer rainfall in China was analyzed by using the statistical diagnosis method. It was found that a southward-moving EAWJ favors Jiangnan–Huanan rainfall in June, the Yangtze River–Huaihe River valley rainfall in July, and rainfall in the middle-upper reaches of the Yangtze River valley in August. Analyses of the high-low latitude circulation characteristics associated with the abnormal EAWJ of June 2010, July 2007, and August 2006 as well as the physical process of the influences of the EAWJ on rainfall were emphasized in this study. The results showed that in June 2010, the EAWJ moved southward to 35°N where an anomalous upper-level divergence (convergence) and a low-level convergence (divergence) occurred south (north) of the EAWJ, and which induced significant ascending (descending) motion. The anomalous vertical motion together with west vertically integrated water vapor transportation offered favorable dynamic and vapor conditions for persistent precipitation over the Jiangnan–Huanan region. During July 2007, the EAWJ was weaker and located south of its mean climatic position. In addition, the perturbation of the EAWJ was stronger than normal. In this case, the stationary rainy band over the Huaihe River valley was mainly caused by the strong cold air activities in the middle-high latitudes of East Asia which were due to the strong perturbation of the EAWJ. However, during August 2006 the EAWJ was stronger and located abnormally northward, favoring the westward and northward motions of the western Pacific subtropical high. In this case, weather conditions in the Sichuan–Chongqing region of southwestern China were controlled by subtropical high pressure, resulting in severe drought and heat waves.

Keywords Westerly jet, Rainfall, Monthly variation, Perturbation

1 引言

我国夏季降水受东亚季风环流的影响，旱涝频发，对国民经济有至关重要的影响，一直是气象工作者研究的重点。在东亚季风系统各成员中，有关西太平洋副高与夏季旱涝关系的研究最多（Yang and Sun, 2003；陶诗言和卫捷，2006）。近年来，越来越多的研究表明，中国夏季降水异常不仅与热带、副热带系统密切相关，而且受中纬度西风带活动的显著影响（张庆云和陶诗言，1998；潘婕等，2008）。早在20世纪中叶，叶笃正等（1958）已指出亚洲地区气候的季节变化与副热带西风急流的北跃或南移紧密联系。近年来，一些学者进一步对夏季东亚高空急流北跳的动力过程、急流季节内活动与降水异常的关系进行了深入研究（李崇银等，2004；林中达，2011；金荣花等，2012）。在年际时间尺度上，Liang and Wang（1998）的研究发现，东亚高空急流位置偏南（偏北）将使得我国江南（华北）地区夏季降水偏多。Lu（2004）和Lin and Lu（2005）的研究进一步表明，夏季东亚高空急流位置偏南（偏北）将使得东亚夏季风偏弱（偏强）。此外，许多学者对东亚高空急流的形成和变化机理进行了一系列研究（董敏等，1999；廖清海等，2004；Zhang et al., 2006；杨莲梅和张庆云，2007）。

综上可见，东亚高空西风急流作为东亚夏季风环流系统的重要成员，其强度、位置变化对我国夏

季降水异常有十分重要的影响。然而，以往关于急流和降水关系的研究大多以季节平均作为时间尺度，对于夏季东亚高空急流月际异常对雨带位置、强度的影响并不十分清楚。因此，本文以6~8月东亚高空急流位置的南北异常为出发点，研究夏季东亚高空西风急流月际变化与我国降水异常的关系，并针对几个西风急流活动异常的特殊个例（2010年6月、2007年7月和2006年8月），具体分析急流影响降水的物理成因。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所用资料包括：1) 1981~2010年NCEP/DOE（NCEP2）再分析资料的月平均位势高度场、水平风场、垂直速度场及逐日200 hPa纬向风场，资料水平分辨率为 2.5° （纬度） $\times 2.5^{\circ}$ （经度）；2) 国家气候中心提供的1981~2010年全国160站月降水量资料；文中气候平均为1981~2010年平均。

2.2 东亚高空急流位置指数定义

关于东亚高空西风急流位置的南北移动，许多学者定义了不同的指数加以表征（Lu, 2004；况雪源和张耀存，2006）。本文根据多年平均6~8月东亚高空急流中心活动范围[图略，参见宣守丽（2011）]，把夏季东亚高空急流中心（90°E附近）至我国东部沿海上空90°E~130°E定义为东亚高空西风急流活动的经度范围。计算200 hPa上90°E~

130°E 平均的中纬度最大西风所在纬度, 发现东亚高空急流轴位置波动主要集中在其气候平均位置的南北 5 个纬度范围内。因此, 定义夏季逐月东亚高空急流位置指数(记为 I_{EAWJP})为急流轴南、北各 5 个纬度的 90°E~130°E 范围平均的 200 hPa 纬向风(记为 U_{200})之差(南减北)。指数为正(负)代表急流位置偏南(偏北)。由于 6~8 月东亚高空急流轴分别平均位于 37.5°N、40°N、42.5°N, 具体计算如下:

6 月: $I_{\text{EAWJP}} = U_{200}(32.5^{\circ}\text{N} \sim 37.5^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}) - U_{200}(37.5^{\circ}\text{N} \sim 42.5^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E})$,

7 月: $I_{\text{EAWJP}} = U_{200}(35.0^{\circ}\text{N} \sim 40.0^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}) - U_{200}(40.0^{\circ}\text{N} \sim 45.0^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E})$,

$-U_{200}(40.0^{\circ}\text{N} \sim 45.0^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E})$,

8 月: $I_{\text{EAWJP}} = U_{200}(37.5^{\circ}\text{N} \sim 42.5^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}) - U_{200}(42.5^{\circ}\text{N} \sim 47.5^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E})$.

3 夏季东亚高空急流月际异常与我国降水的关系

根据上述定义计算 1981~2010 年夏季逐月东亚高空急流位置指数的标准化时间序列(图 1a、1c、1e)。相关分析可见, 6 月(图 1b)急流位置指数与降水的显著相关区位于我国江南、华南附近(相关系数达 0.5), 7 月(图 1d)位于江淮流域(相关

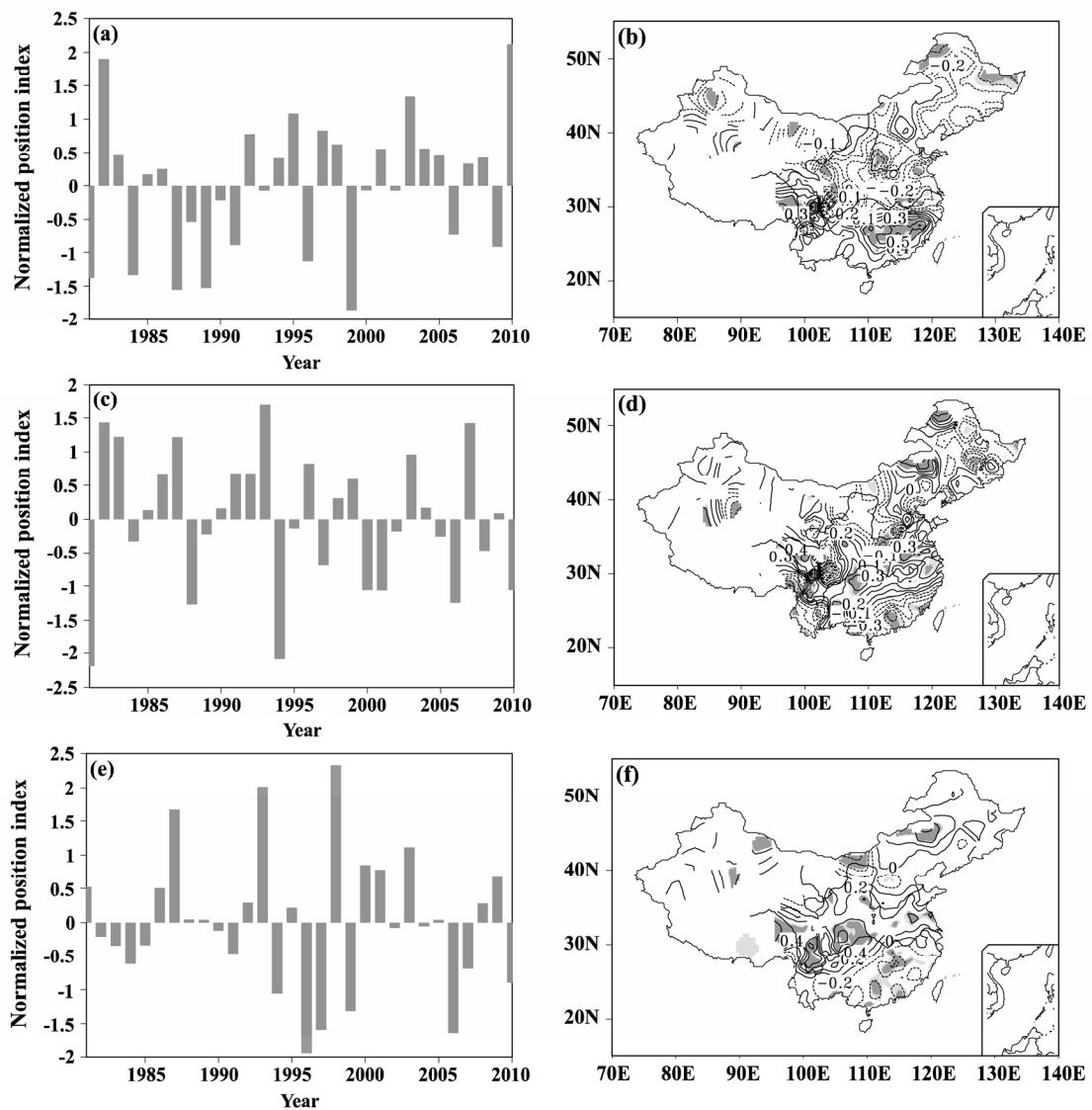


图 1 1981~2010 年 (a, b) 6 月、(c, d) 7 月、(e, f) 8 月东亚高空急流位置指数标准化时间序列(左列, 浅色和深色阴影分别表示相关系数通过 95% 和 99% 信度检验)

Fig. 1 Normalized time series of the East Asia westerly jet position index (left panel) and their correlation efficiencies with rainfall in China (right panel) in (a, b) Jun, (c, d) Jul, and (e, f) Aug from 1981 to 2010 (light and dark shadings are above 95% and 99% confidence levels, respectively)

系数达 0.4), 8 月(图 1f) 在长江中上游地区(相关系数达 0.6), 均通过 99% 信度检验。上述分析表明, 6 月东亚高空急流位置偏南有利于我国江南、华南地区降水偏多; 7 月急流偏南时, 雨带主要位于我国江淮流域, 而华南地区降水偏少; 8 月急流偏南时, 我国长江中上游地区尤其是四川—重庆附近降水异常偏多。

将东亚高空急流位置指数大于 0.8 和小于 -0.8 定义为急流位置正、负异常年。6 月急流偏南年: 1982 年、1995 年、1997 年、2003 年、2010 年; 偏北年: 1981 年、1984 年、1987 年、1989 年、1991 年、1996 年、1999 年、2009 年。7 月急流偏南年: 1982 年、1983 年、1987 年、1993 年、1996 年、2003 年、2007 年; 偏北年: 1981 年、1988 年、1994 年、2000 年、2001 年、2006 年、2010 年。8 月急流偏

南年: 1987 年、1993 年、1998 年、2000 年、2003 年; 偏北年: 1994 年、1996 年、1997 年、1999 年、2006 年、2010 年。合成分析结果表明, 6 月急流偏南年, 雨带主要位于我国江南、华南地区(图 2a), 而偏北年江南、华南降水偏少(图 2b)。7 月(图 2c 和 2d) 急流偏南(偏北) 年, 我国江淮流域降水偏多(偏少)。8 月(图 2e 和 2f) 急流偏南(偏北) 有利于长江流域降水偏多(偏少), 且降水差异最显著地区位于长江中上游附近。上述分析与相关分析结果一致。

以上分析可见, 夏季逐月东亚高空急流位置与降水异常的关系确实存在显著差异。因此, 逐月讨论急流异常对降水的影响是合理且必要的。实际上, 以往的研究已指出, 西风急流的南侧和副热带高压的北缘即为夏季中国大陆雨带之所在。夏季中

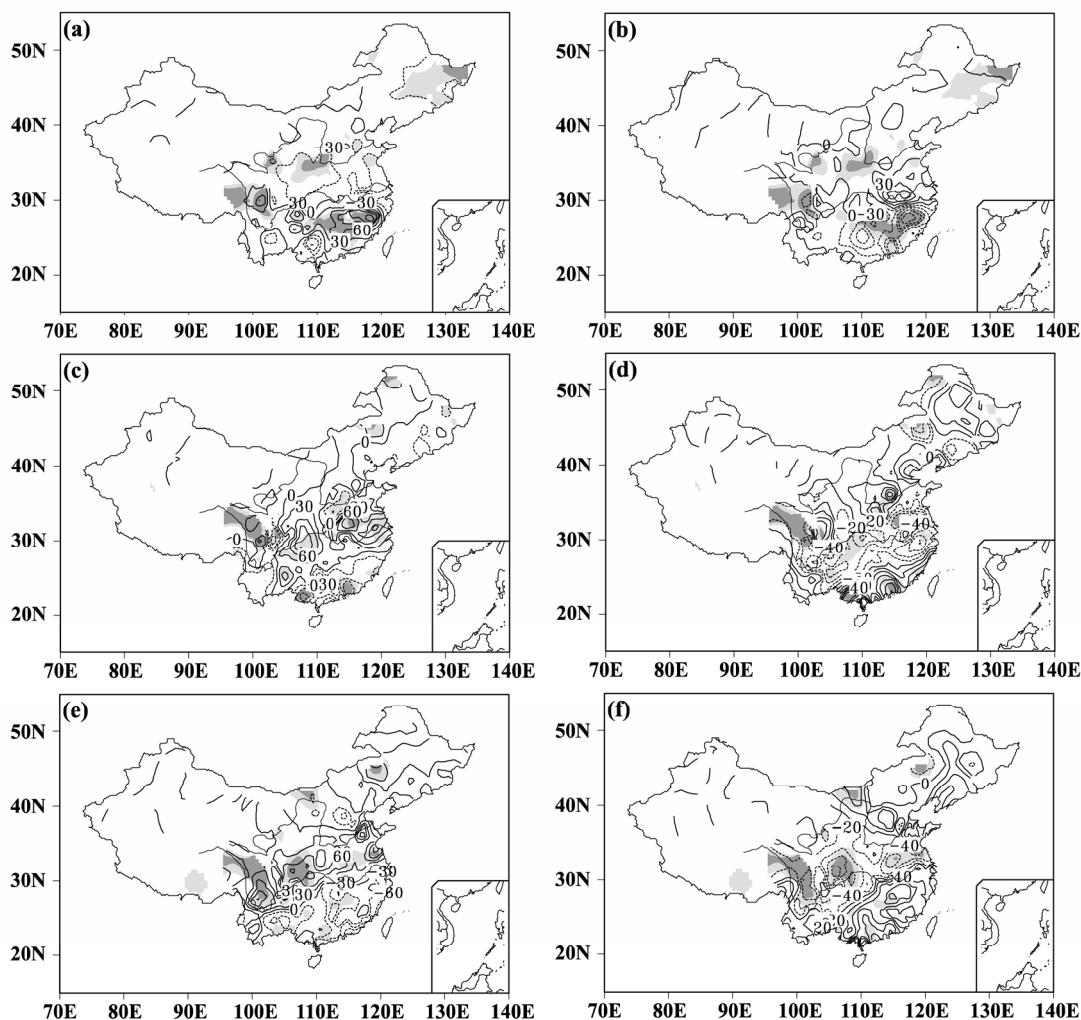


图 2 (a, b) 6 月、(c, d) 7 月、(e, f) 8 月东亚高空急流偏南年(左列)及偏北年(右列)我国降水距平合成(单位: mm, 浅色和深色阴影分别代表降水量差异通过 95% 和 99% 信度检验)

Fig. 2 Composition of the rainfall anomaly in China in anomalous southward (left panel) and northward (right panel) years of the East Asia westerly jet in (a, b) Jun, (c, d) Jul, and (e, f) Aug (units: mm, light and dark shadings indicate the differences of rainfall are above 95% and 99% confidence levels, respectively)

国雨带随季风的季节性推进而从南向北相继出现, 从气候平均情况来看, 6月长江流域正进入梅雨季节。这时当西风带位置南压, 就会使雨带位置偏南, 从而造成我国江淮流域降水偏少而江南、华南降水偏多。同样, 当7月急流偏南, 雨带在7月中旬不能正常北移至华北和东北地区, 使得雨带维持在江淮流域。因此, 造成了急流在各月的异常对降水影响的巨大差异。

关于夏季东亚高空急流位置异常年东亚大气环流、降水异常特征, 已有一些学者利用典型年合成等方法进行了研究(况雪源和张耀存, 2006), 这部分工作主要集中在季节平均时间尺度上。然而, 在实际情况中, 同样是急流位置偏南(或偏北)的情况, 急流影响降水异常的物理过程可能并不相同。因此, 我们分别针对2010年6月、2007年7月和2006年8月这几个急流活动异常的特殊个例来具体分析夏季逐月东亚高空急流对环流和降水影响的物理成因。

4 2010年6月东亚高空急流异常对降水的影响

首先分析2010年的个例, 这是一次急流偏南的情况。

4.1 我国降水异常特征

由图3可见, 2010年6月我国降水分布的特点是雨带主要位于长江中下游及其以南地区, 而东北、华北地区降水偏少。其中, 长江中下游以南大部分地区月降水量达200 mm以上。与常年同期相比, 江南、华南等地月降水量偏多3~8成, 而长江中下游及其以北地区降水偏少, 没有出现持

续性、东西走向的稳定在江淮流域的梅雨锋降水。

4.2 东亚高空急流异常对降水的影响

图4a给出了2010年6月200 hPa纬向风分布及风场距平。可见, 该月东亚高空急流风速极大值中心位于120°E~130°E附近的35°N以南地区, 较常年位置偏南。与急流偏南相对应, 急流轴气候平均位置(37.5°N)南侧西风加强、北侧西风减弱, 东亚东部沿海从低纬至高纬呈反气旋—气旋—反气旋性距平环流分布。这时, 南亚高压表现为强度偏强, 位置偏东、偏南。通常, 南亚高压和西太平洋副高存在“相向而行”和“相背而去”的关系(陶诗言和朱福康, 1964)。由图4b可见, 该月500 hPa上90°E以东的低纬度地区为大范围正位势高度距平区, 西太平洋副高明显偏西, 脊线较常年位置偏南(15°N附近)。这时, 低层风场的异常辐合带位于25°N附近(图4c), 有利于水汽向江南、华南地区输送。

为进一步探讨高空急流活动异常对该月降水的影响, 图4d给出了2010年6月110°E~120°E平均的200 hPa纬向风距平逐日变化。可见, 我国东部上空200 hPa纬向风在35°N以南(以北)呈持续正(负)异常, 急流在南北方向稳定少动。200 hPa纬向风在35°N~50°N维持负距平, 表明我国东部中高纬地区经向环流偏强, 冷空气活跃。200 hPa纬向风在20°N~30°N呈持续正异常, 表明该处高空锋区较强。根据热成风原理, 上层风为低层风与热成风之和。35°N以南西风偏强说明有较强的西风热成风, 对应南高北低的温度梯度。因此, 2010年6月我国降水异常受低纬度暖空气和中高纬度冷空气活动的影响较强。

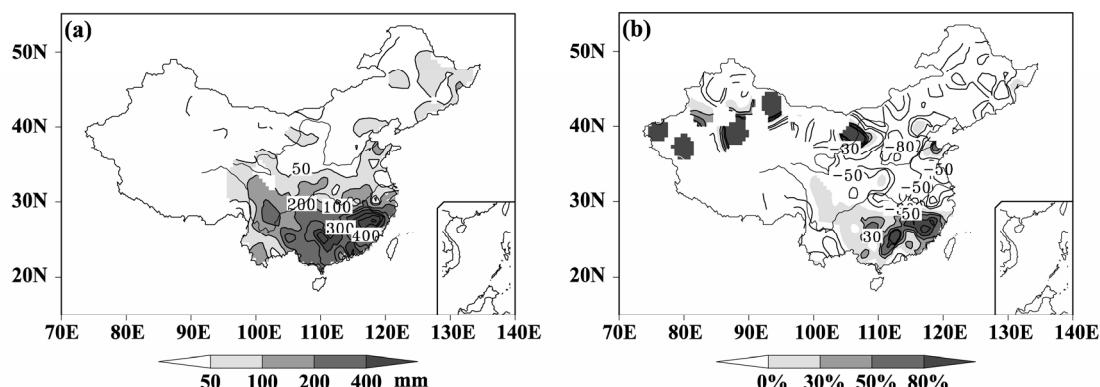


图3 2010年6月(a)全国降水量及(b)距平百分率

Fig. 3 (a) Rainfall and (b) rainfall anomaly percentage in China in Jun 2010

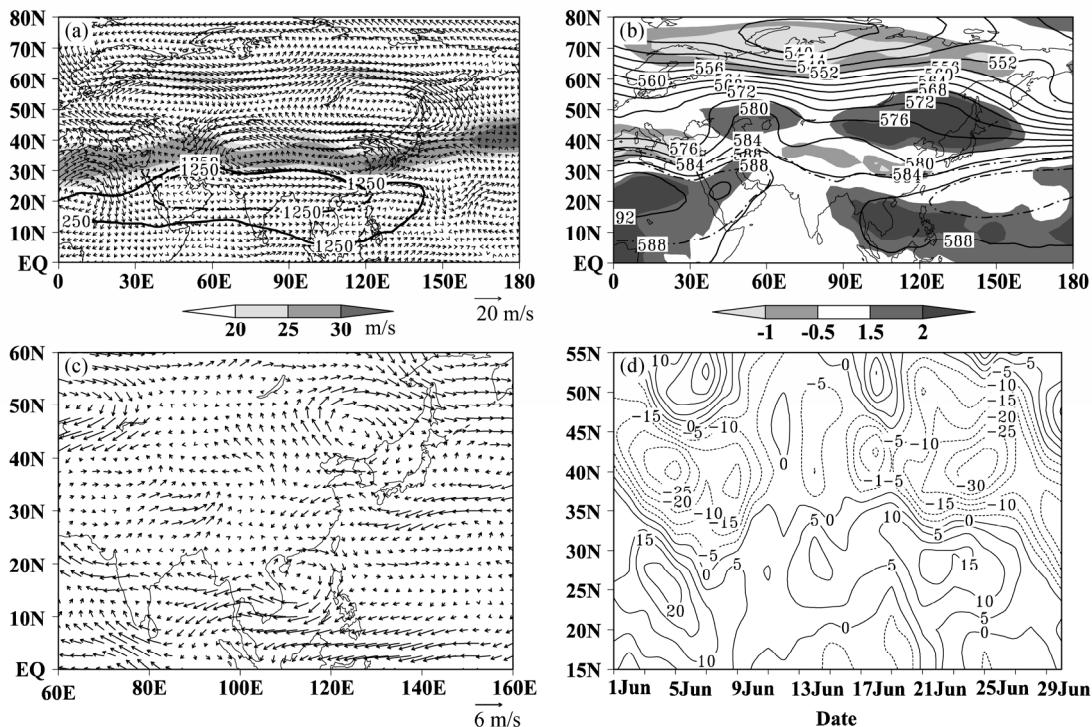


图 4 2010 年 6 月 (a) 200 hPa 纬向风分布 (阴影) 及风场距平 (箭头, 1250 dagpm 线为多年平均)、(b) 500 hPa 位势高度场 (单位: dagpm, 阴影: 位势高度距平标准差, 588 和 584 dagpm 线为多年平均)、(c) 850 hPa 风场距平、(d) 110°E~120°E 平均的 200 hPa 纬向风距平逐日变化 (单位: m/s)

Fig. 4 (a) 200-hPa zonal wind (shadings) and wind anomaly (arrows, 1250 dagpm is for multi-year mean), (b) 500-hPa geopotential height (units: dagpm, shadings: normalized geopotential height anomaly, 588 and 584 dagpm are for multi-year mean), (c) 850-hPa wind anomaly, and (d) daily variation of the 200-hPa zonal wind anomaly (units: m/s) averaged over 110°E–120°E in Jun 2010

高空急流能够通过其次级环流改变环境场的辐合辐散和垂直运动, 从而影响大范围天气。高空急流产生的次级环流与温度场相对于急流最大值的配置有关。通常, 在急流入口区南侧(北侧)产生高空辐散(辐合), 进而南侧(北侧)出现上升(下沉)运动。图 5a 给出了 2010 年 6 月沿 110°E~120°E 纬向风及其距平的经向剖面。可见, 该月我国东部上空 200 hPa 风速极大值中心位于 32.5°N 附近, 较常年 (37.5°N) 偏南约 5 个纬度。从 200 hPa 散度距平场 (图 5b) 来看, 急流轴南侧、北侧分别为散度正、负距平中心, 正、负距平中心分别位于 (115°E, 27°N) 和 (115°E, 37°N) 附近。我国东部上空 (110°E~120°E) 急流轴南侧 (22.5°N~30°N) 高层辐散、低层辐合, 形成贯穿对流层低层至高层的上升运动距平区 (图 5c), 构成了有利于我国江南、华南地区降水偏多的动力环境。在偏南、稳定的高空急流与低层风场的耦合作用下, 我国江南、华南地区形成一支向东输送的水汽通量距平 (图 5d), 配合强上升运动, 为该地区持续性降水

提供了充足的水汽条件。

5 2007 年 7 月东亚高空急流异常对降水的影响

2007 年 7 月仍是急流偏南的情况, 首先看该月我国的异常天气。

5.1 我国降水异常特征

2007 年 6 月下旬至 7 月下旬淮河流域出现了致洪暴雨, 造成了严重的洪涝灾害(赵琳娜等, 2007)。图 6a 和 6b 分别给出了暴雨集中的 7 月我国降水及距平百分率分布。可见, 该月江淮流域降水普遍达 200 mm 以上, 偏多 3 成至 2 倍, 而华南地区降水异常偏少。关于 2007 年 7 月淮河流域致洪暴雨的中尺度系统特征已有学者进行了分析(赵思雄等, 2007)。下面, 本文从东亚高空急流活动异常的角度对其进行探讨。

5.2 东亚高空急流异常对降水的影响

由 2007 年 7 月 200 hPa 纬向风分布 (图 7a)

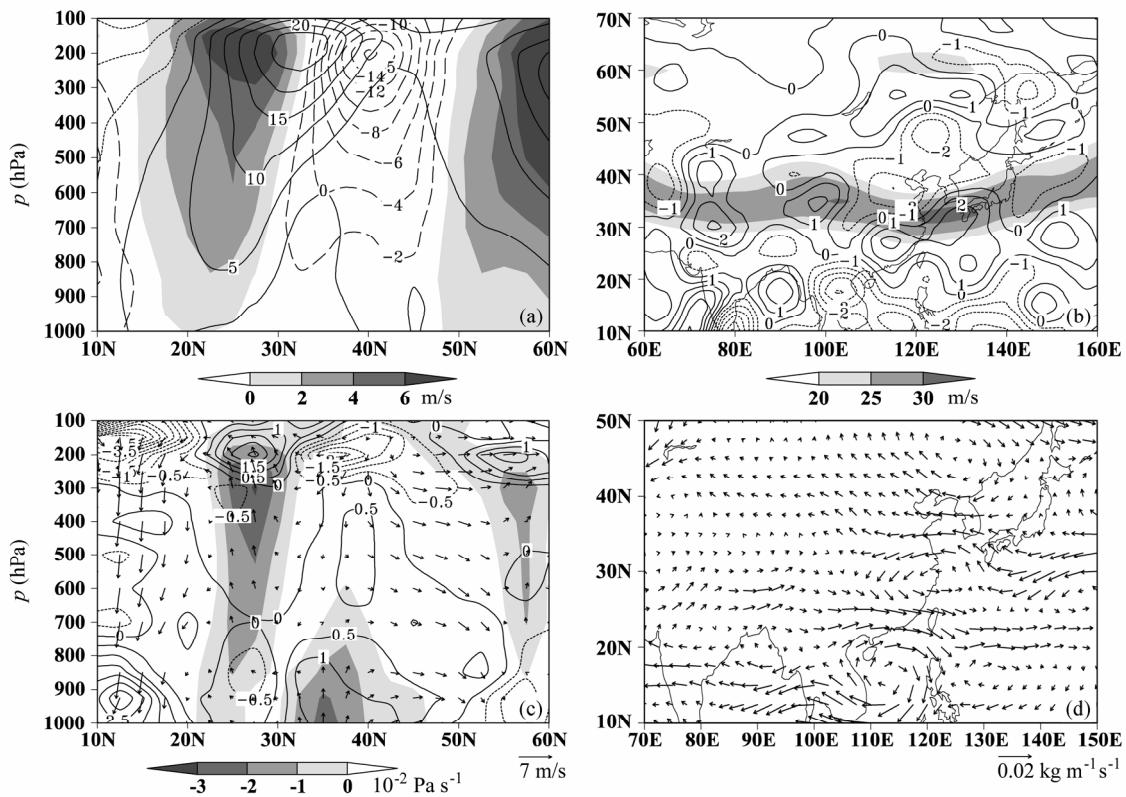


图5 2010年6月(a) $110^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$ 平均的纬向风(等值线)及其距平(阴影)、(b) 200 hPa 纬向风分布(阴影)及散度距平(等值线, 单位: 10^{-6} s^{-1})、(c) $110^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$ 平均的垂直速度距平(阴影)、垂直环流距平(箭头, 垂直速度扩大100倍)和散度距平(等值线, 单位: 10^{-6} s^{-1})、(d) 整层(地面至300 hPa)水汽输送距平

Fig. 5 (a) zonal wind (contours) and its anomaly (shadings) averaged along $110^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$, (b) 200-hPa zonal wind (shadings) and anomalous divergence (contours, units: 10^{-6} s^{-1}), (c) anomalous vertical motion (shadings), vertical circulation (arrows, the vertical motion was amplified 100 times), and anomalous divergence (contours) averaged along $110^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$, and (d) anomalous vertical integrated water vapor transportation (surface to 300 hPa) in Jun 2010

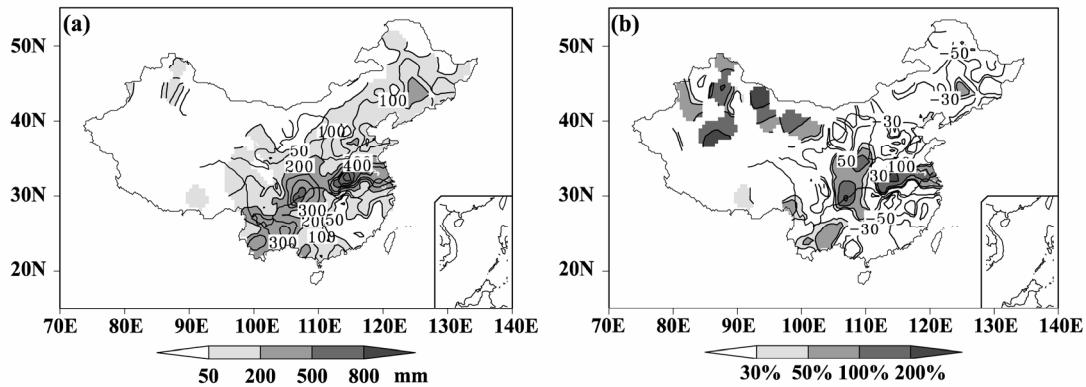


图6 同图3, 但为2007年7月

Fig. 6 Same as Fig. 3, but for Jul 2007

可见, 该月急流最大风速中心位于 150°E 附近, 较常年 (90°E) 异常偏东。东亚大陆上空 ($90^{\circ}\text{E}\sim130^{\circ}\text{E}$) 急流轴约位于 37°N , 较常年位置偏南、强度偏弱。与急流中心偏东相对应, 中纬度西风异常最显著地区位于东亚东部洋面上, 150°E 附近的 $20^{\circ}\text{N}\sim30^{\circ}\text{N}$ 地区呈反气旋性距平环流。这时,

南亚高压位置明显偏东(东缘较常年偏东约20个经度), 西太平洋副高位置偏西(西伸脊点达 120°E 以西, 图 7b)。长江中下游以南地区为副高控制, 对于淮河雨带的形成和维持十分有利。在低层 850 hPa (图 7c), 来自南海和孟加拉湾的偏南暖湿气流偏强, 偏南风距平一直抵达淮河流域, 为该地

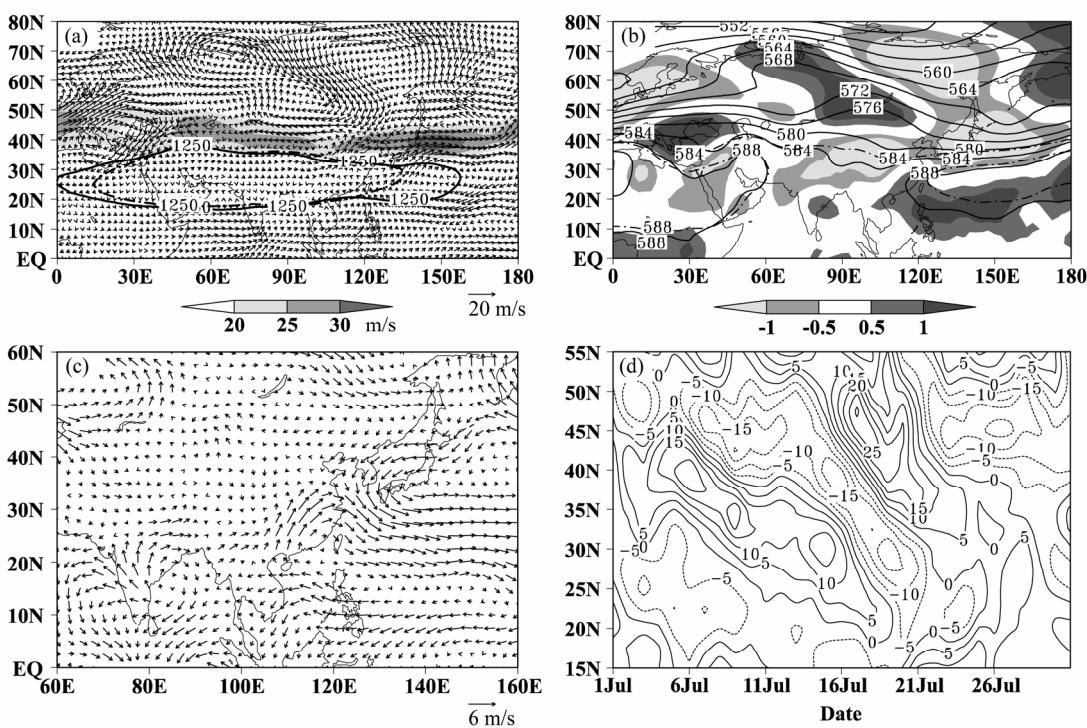


图 7 同图 4, 但为 2007 年 7 月

Fig. 7 Same as Fig. 4, but for Jul 2007

区持续性降水提供了充足的水汽条件。由 2007 年 7 月 $110^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的 200 hPa 纬向风距平逐日变化 (图 7d) 可见, 月内 200 hPa 纬向风异常存在几次从高纬向低纬传播的过程, 说明该月东亚高空急流南北向扰动偏强, 中高纬度冷空气活动频繁。该月急流扰动偏强、冷空气活跃可能与急流中心东移 (位于 150°E 附近), 东亚大陆上空 ($90^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$ 附近) 急流强度异常偏弱有关。

由图 8a 可见, 该月我国东部上空 200 hPa 急流中心位于 37.5°N 附近, 中心风速约 24 m/s, 较常年位置偏南、强度偏弱。由图 8b 可见, 与东亚高空急流中心东移, $110^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 上空急流偏南、偏弱的异常风场相对应, 我国东部上空急流轴附近为显著的辐散距平 (中心位于 $110^{\circ}\text{E}, 37.5^{\circ}\text{N}$), 其下方 ($30^{\circ}\text{N} \sim 42^{\circ}\text{N}$ 附近) 的对流层中高层地区为一致的上升运动距平。受低层风场辐合、辐散的影响, 强上升运动距平在对流层中低层位置偏南, 位于 $30^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$ 附近, 有利于江淮流域降水偏多 (图 8c)。整层水汽输送距平场可见 (图 8d), 我国东部 35°N 以南地区受强西南水汽通量距平控制, 西南水汽通量距平将源自孟加拉湾和南海的充足水汽不断输送至江淮流域, 为该地区持续性降水提供了充足的水汽条件。

6 2006 年 8 月东亚高空急流异常对降水的影响

以上讨论的是东亚高空急流偏南的情况, 下面再引入一个相反情况的个例, 即 2006 年 8 月东亚高空急流偏北的情况。

6.1 我国降水异常特征

2006 年夏季, 重庆遭遇百年一遇、四川遭受 1951 年以来最严重的伏旱, 并出现持续高温酷暑天气 (彭京备等, 2007; 卫捷等, 2007)。由 2006 年 8 月我国降水量及距平百分率分布 (图 9a 和 9b) 可见, 该月沿 30°N 出现南北跨度约 8 个纬距的少雨带, 四川—重庆地区为降水负距平最显著区域。

6.2 东亚高空急流异常对降水的影响

图 10a 为 2006 年 8 月 200 hPa 纬向风分布及风场距平。可见, 该月急流最大风速中心位于 ($45^{\circ}\text{N}, 95^{\circ}\text{E}$) 附近, 最大风速达 35 m/s 以上, 较多年平均位置偏北、强度偏强。中纬度西风带北缩有利于热带系统偏强、活跃。由 500 hPa 环流场可见 (图 10b), 该月西太平洋副高脊线位于 32°N 附近, 西伸脊点达 120°E 以西, 较常年偏西约 20 个经度。四川—重庆地区处于高压控制之下, 形成

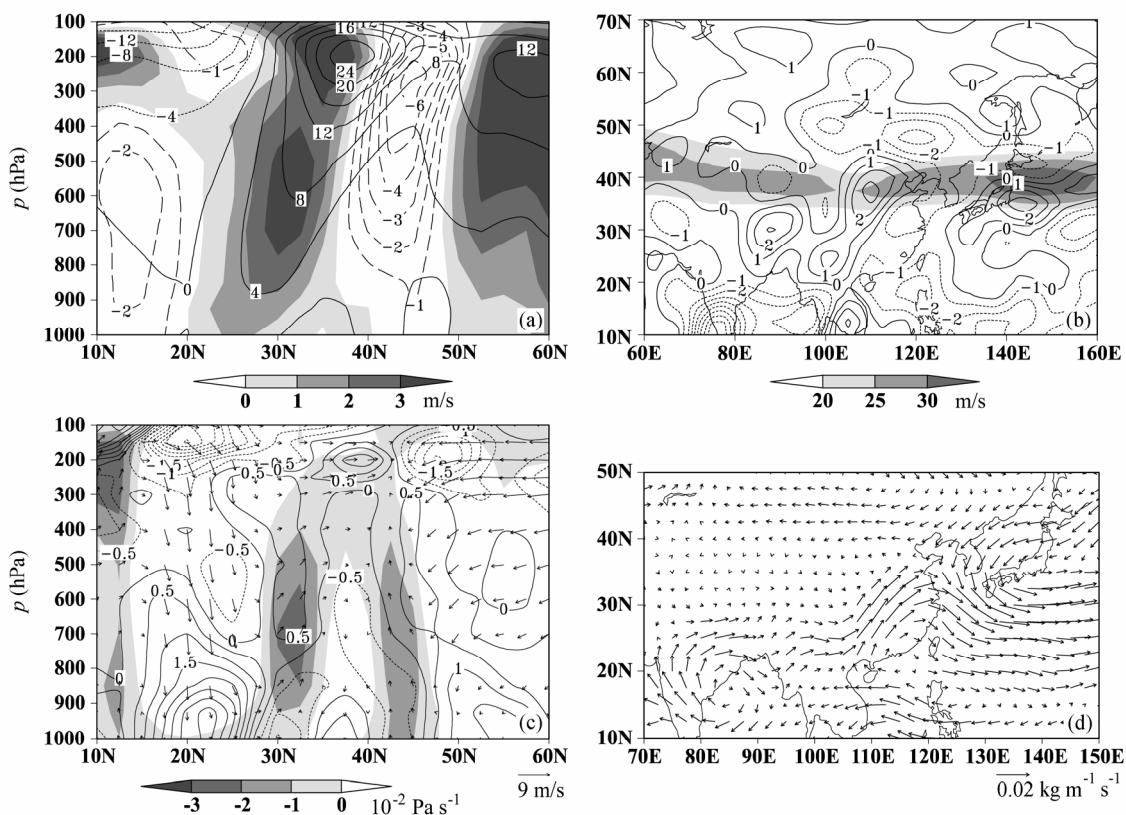


图 8 同图 5, 但为 2007 年 7 月

Fig. 8 Same as Fig. 5, but for Jul 2007

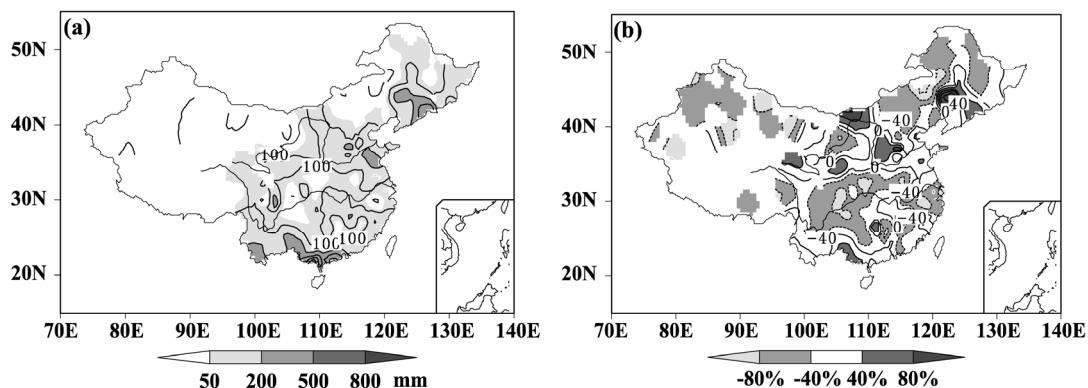


图 9 同图 3, 但为 2006 年 8 月

Fig. 9 Same as Fig. 3, but for Aug 2006

高温干旱天气。在低层 850 hPa (图 10c), 由于副高西伸北抬, 我国 20°N~25°N 为偏东风距平控制。来自西太平洋和孟加拉湾的西南气流偏弱, 水汽供应不足, 也是四川—重庆地区高温干旱天气的重要原因。在月内尺度上 (图 10d), 该月东亚 200 hPa 纬向风在 40°N 以南呈持续负异常, 以北呈持续正异常。急流月内尺度扰动偏弱有利于副高稳定在我国东部地区, 从而造成四川—重庆地区高温干旱天气。

由图 11a 可见, 该月长江中上游地区上空 200

hPa 急流中心位于 45°N 附近, 较常年位置偏北。与急流偏北相对应, 东亚大陆上空急流轴多年平均位置 (42.5°N) 北侧西风加强、南侧西风减弱, 在 35°N 以南地区形成气旋性距平环流 (图 10a)。与之相联系, 我国东部上空 35°N 以南地区为大范围的辐合距平区 (图 11b)。由 100°E~110°E 平均的垂直环流及散度距平可见 (图 11c), 急流轴南侧 (25°N~33°N) 高层辐合、低层辐散, 为强下沉运动距平控制, 不利于四川—重庆地区降水。整层水汽输送距

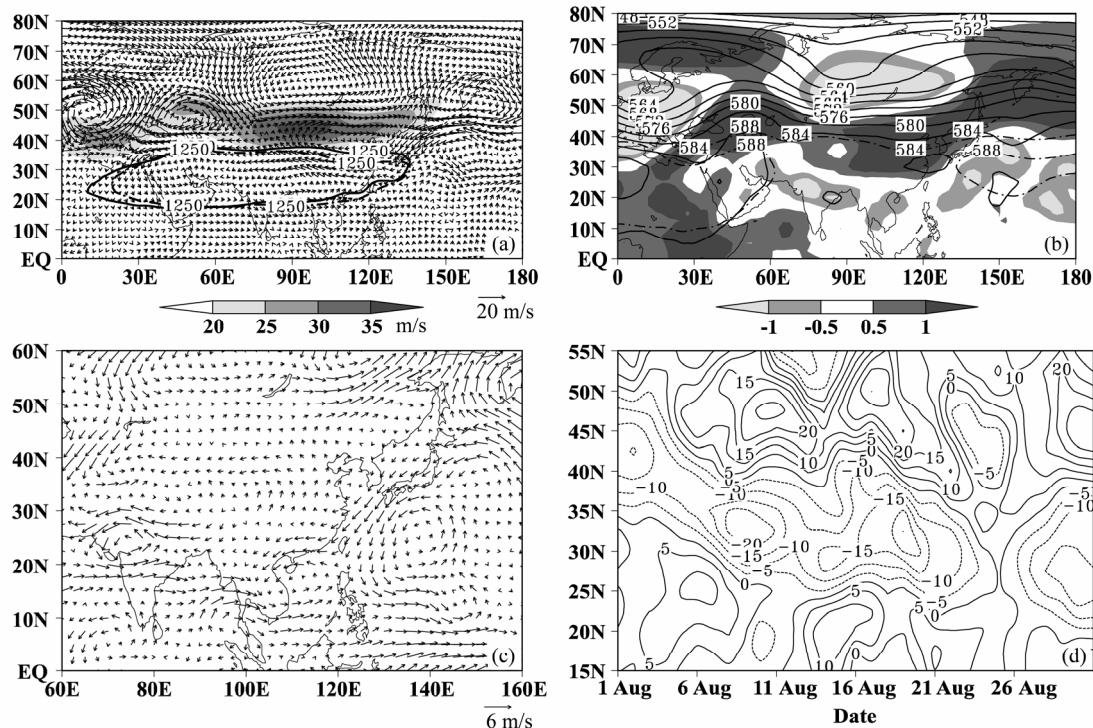


图 10 同图 4, 但为 2006 年 8 月, 200 hPa 纬向风距平逐日变化为 $100^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 平均

Fig. 10 Same as Fig. 4, but for Aug 2006 and daily variation of the 200-hPa zonal wind anomaly averaged along $100^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{E}$

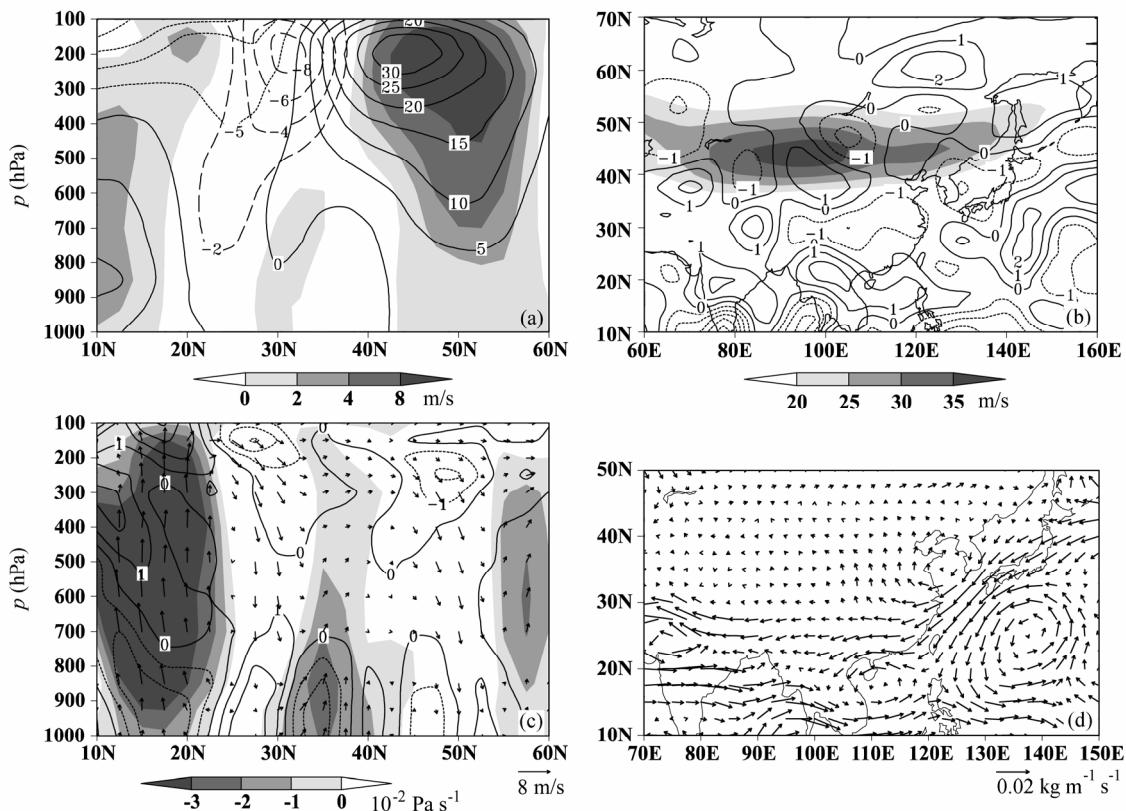


图 11 同图 5, 但为 2006 年 8 月, 经向剖面为 $100^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 平均

Fig. 11 Same as Fig. 5, but for Aug 2006 and the vertical sections averaged along $100^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{E}$

平场(图11d)显示,该月江淮流域以南地区为一致的东北水汽通量距平。综上可见,2006年8月动力和水汽输送条件均不利于长江流域尤其是长江中上游地区降水发生。

7 结论与讨论

本文重点分析了夏季逐月东亚高空急流异常与我国降水的关系,并通过两次急流偏南(2010年6月、2007年7月)和一次偏北(2006年8月)的个例,具体分析夏季逐月急流位置、强度及其扰动异常对我国降水的影响。分析表明:6~8月东亚高空西风急流位置比各自气候态位置偏南(北)时,易造成6月华南、江南地区降水、7月江淮流域降水以及8月长江中上游地区降水偏多(少)。个例分析结果表明,2010年6月东亚高空急流持续偏南,急流轴南侧高层辐散、低层辐合,造成江南、华南地区垂直上升运动偏强,从而有利该地区持续降水。2007年7月急流位置偏南,强度偏弱。该月急流扰动偏强、冷空气活动频繁是淮河流域持续暴雨形成的重要原因。2006年8月急流偏北、偏强,致使冷空气活动偏北,副高西伸北抬且稳定在我国东部地区,是该月四川—重庆地区高温干旱天气的主要原因。上述分析表明,同样是急流位置偏南(或偏北),急流影响降水异常的物理成因可能存在很大差异。因此,在探讨急流异常对我国降水的影响时,要考虑急流位置、强度及扰动等的协同影响。当然,本文对于急流自身变化的物理成因还没有作细致的分析,有待进一步探讨。

参考文献 (References)

- 董敏,余建锐,高守亭. 1999. 东亚西风急流变化与热带对流加热关系的研究 [J]. 大气科学, 23 (1): 62–70. Dong Min, Yu Jianrui, Gao Shouting. 1999. A study on the variations of the westerly jet over East Asia and its relation with the tropical convective heating [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 23 (1): 62–70.
- 金荣花,李维京,张博,等. 2012. 东亚副热带西风急流活动与长江中下游梅雨异常关系的研究 [J]. 大气科学, 36 (4): 722–732. Jin Ronghua, Li Weijing, Zhang Bo, et al. 2012. A study of the relationship between East Asia subtropical westerly jet and abnormal Meiyu in the middle-lower reaches of the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (4): 722–732.
- 况雪源,张耀存. 2006. 东亚副热带西风急流位置异常对长江中下游夏季降水的影响 [J]. 高原气象, 25 (3): 382–389. Kuang Xueyuan, Zhang Yaocun. 2006. Impact of the position abnormalities of East Asian subtropical westerly jet on summer precipitation in middle-lower reaches of Yangtze River [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (3): 382–389.
- 李崇银,王作台,林士哲,等. 2004. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究 [J]. 大气科学, 28 (5): 641–658. Li Chongyin, Wang Joughtai, Lin Shizhe, et al. 2004. The relationship between East Asian summer monsoon activity and northward jump of the upper westerly jet location [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 28 (5): 641–658.
- Liang X Z, Wang W C. 1998. Associations between China monsoon rainfall and tropospheric jets [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 124 (552): 2597–2624.
- 廖清海,高守亭,王会军,等. 2004. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响 [J]. 地球物理学报, 47 (1): 10–18. Liao Qinghai, Gao Shouting, Wang Huijun, et al. 2004. Anomalies of the extratropical westerly jet in the North Hemisphere and their impacts on East Asian summer monsoon climate anomalies [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 47 (1): 10–18.
- 林中达. 2011. 盛夏两类东亚高空西风急流北跳的动力过程 [J]. 大气科学, 35 (4): 631–644. Lin Zhongda. 2011. Dynamical processes of two categories of northward jumps of the East Asian upper-tropospheric jet stream in mid summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (4): 631–644.
- Lin Z D, Lu R Y. 2005. Interannual meridional displacement of the East Asian upper-tropospheric jet stream in summer [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 22 (2): 199–211.
- Lu R Y. 2004. Associations among the components of the East Asian summer monsoon system in the meridional direction [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 82 (1): 155–165.
- 潘婕,布和朝鲁,纪立人,等. 2008. 夏季欧亚中高纬环流持续异常事件的Rossby波传播特征 [J]. 大气科学, 32 (3): 615–628. Pan Jie, Bueh Cholaw, Ji Liren, et al. 2008. Characteristics of rossby wave propagation associated with the summertime persistent anomaly events of mid- and high-latitude Eurasia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (3): 615–628.
- 彭京备,张庆云,布和朝鲁. 2007. 2006年川渝地区高温干旱特征及其成因分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (3): 464–474. Peng Jingbei, Zhang Qingyun, Bueh Cholaw. 2007. On the characteristics and possible causes of a severe drought and heat wave in the Sichuan–Chongqing region in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (3): 464–474.
- 陶诗言,卫捷. 2006. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳 [J]. 应用气象学报, 17 (5): 513–525. Tao Shiyan, Wei Jie. 2006. The westward, northward advance of the subtropical high over the West Pacific in summer [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 17 (5): 513–525.
- 陶诗言,朱福康. 1964. 夏季亚洲南部100毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系 [J]. 气象学报, 34 (4): 385–396. Tao Shiyan, Zhu Fukang. 1964. The 100-mb flow patterns in southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the West-Pacific subtropical anticyclone over the Far East [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 34 (4): 385–396.

- 卫捷, 陈红, 孙建华, 等. 2007. 2006 年夏季中国的异常气候——中国科学院大气物理研究所短期气候预测检验 [J]. 气候与环境研究, 12 (1): 1–7. Wei Jie, Chen Hong, Sun Jianhua, et al. 2007. The analysis of anomalous climate in eastern China in summer 2006—Verification of seasonal climate predictions of the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (1): 1–7.
- 宣守丽. 2011. 东亚高空西风急流多时间尺度变化机理及其对我国夏季降水的影响 [D]. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 109pp.
- Xuan Shouli. 2011. Multi-Time Scale Variation of the East Asia Westerly Jet and Its Influence on Summer Rainfall in China [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 109pp.
- Yang H, Sun S Q. 2003. Longitudinal displacement of the subtropical high in the western Pacific in summer and its influence [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20 (6): 921–933.
- 杨莲梅, 张庆云. 2007. 夏季东亚西风急流 Rossby 波扰动异常与中国降水 [J]. 大气科学, 31 (4): 587–595. Yang Lianmei, Zhang Qingyun. 2007. Anomalous perturbation kinetic energy of rossby wave along East Asian westerly jet and its association with summer rainfall in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (4): 587–595.
- 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 1958. 在六月和十月大气环流的突变现象 [J]. 气象学报, 29 (4): 249–263. Ye Duzheng, Tao Shiyan, Li Maicun. 1958. The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 29 (4): 249–263.
- 张庆云, 陶诗言. 1998. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响 [J]. 气象学报, 56 (2): 199–211. Zhang Qingyun, Tao Shiyan. 1998. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 56 (2): 199–211.
- Zhang Y C, Kuang X Y, Guo W D, et al. 2006. Seasonal evolution of the upper-tropospheric westerly jet core over East Asia [J]. Geophys. Res. Lett., 33, L11708, doi: 10.1029/2006GL026377.
- 赵琳娜, 杨晓丹, 齐丹, 等. 2007. 2007 年汛期淮河流域致洪暴雨的雨情和水情特征分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 728–737. Zhao Linna, Yang Xiaodan, Qi Dan, et al. 2007. The analysis of precipitation and flooding features in the Huaihe River basin during the summer of 2007 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 728–737.
- 赵思雄, 张立生, 孙建华. 2007. 2007 年淮河流域致洪暴雨及其中尺度系统特征的分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 713–727. Zhao Sixiong, Zhang Lisheng, Sun Jianhua. 2007. Study of heavy rainfall and related mesoscale systems causing severe flood in Huaihe River basin during the summer of 2007 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 713–727.