

牛若芸, 张志刚, 金荣花. 2010 年我国南方两次持续性强降水的环流特征. 应用气象学报, 2012, 23(4): 385-394.

# 2010 年我国南方两次持续性强降水的环流特征

牛若芸<sup>1)\*</sup> 张志刚<sup>2)</sup> 金荣花<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(国家气象中心, 北京 100081) <sup>2)</sup>(中国气象局预报网络司, 北京 100081)

## 摘 要

通过对 2010 年夏季我国南方两次持续性强降水期间对流层高、中、低多个大尺度关键影响系统的时空演变特征及其影响机制的分析和比较, 讨论了我国南方持续性强降水的大气环流特征。结果表明: 这两次持续性强降水均出现了东亚西风带沿海低槽不断快速重建或加深, 且中纬度锋区位置稳定维持, 低空西南急流反复加强, 且其轴线左侧的南风经向强梯度带位置相对稳定, 副热带高空西风急流和南亚高压脊线及西太平洋副热带高压的纬度带位置相对稳定; 相应地, 在强降水带上空反复出现强烈的低层水汽辐合抬升、高层辐散抽吸及垂直上升运动发展, 进而形成持续性强降水。西西伯利亚低槽的不断快速重建与加深(东移)、马斯克林高压西侧高压及马斯克林高压的不断加强东移、副热带高空西风急流的建立和维持对南方持续性强降水具有超前指示意义。强降水带位于东亚低空西南急流轴左侧南风经向强梯度辐合带、高空西风急流南侧至南亚高压脊线北侧之间的强辐散区及中层垂直上升速度大值带中。

**关键词:** 我国南方地区; 持续性强降水; 大气环流特征

## 引 言

我国是季风气候盛行国家, 随着夏季风的推进, 东部雨带位置呈明显的三段式向北推进, 即华南前汛期、江淮梅雨和华北雨季<sup>[1-3]</sup>。进入雨季最显著的特征就是持续出现的大范围强降水及其引发的洪涝灾害, 这在华南前汛期、江淮梅雨期表现得尤为突出。

持续性强降水的形成与夏季风的来临和撤退时间早晚、强度大小及维持时间长短密切相关, 与西太平洋副热带高压的进退、维持和强度变化之间的密切联系也早已得到共识<sup>[4-7]</sup>。朱玲等<sup>[8]</sup>还指出, 当南亚高压面积偏大、位置偏南时, 长江中下游降水量偏多。陶诗言等<sup>[9]</sup>和李崇银等<sup>[10]</sup>认为副热带西风急流对东亚大气环流的季节转换、亚洲夏季风的爆发、我国东部雨带由南向北推进都有重要影响。薛峰等<sup>[11]</sup>总结了马斯克林高压和澳大利亚高压与我国南方地区降雨分布特点及多寡的关系。姚秀萍等<sup>[12]</sup>讨论了干冷空气在暴雨加强和发展中所起的重要作用。王亚非等<sup>[13]</sup>指出阻塞高压通过上下游

效应、能量传输等机制可以长时间维持稳定的降水天气型。张顺利等<sup>[14]</sup>概括出在太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度地区冷空气和青藏高原中尺度对流系统的最佳组配条件下, 容易造成长江流域的大范围、长时间降水。

前人的研究为我国南方夏季持续性强降水的预报奠定了科学基础, 也充分说明我国南方持续性强降水形成的复杂性, 目前南方持续性强降水的起止时间、强降水带位置、降水强度等关键点的定量、精细化预报准确率还需进一步提高。本文通过对 2010 年 6—7 月我国南方两次持续性强降水期间对流层高、中、低多个大尺度关键影响系统的时空演变特征及其影响机制的分析和比较, 讨论了南方持续性强降水大气环流特征, 以期为进一步提高南方持续性强降水的定量、精细化预报能力提供参考。

## 1 资料和研究方法

### 1.1 资 料

本文所用资料包括: 2010 年国家气象中心实时

2011-12-21 收到, 2012-06-05 收到再改稿。

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(2012CB417204), 国家科技支撑计划课题(2009BAC51B05), 中国气象局气象关键技术集成与应用(CMAGJ2011M61)

\* E-mail: niury@cma.gov.cn

预报业务数据库逐日 08:00(北京时,下同)24 h 降水量加密观测资料,全国共计 2287 站;2010 年 NCEP/NCAR 标准等压面逐日平均再分析资料,水平分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

## 1.2 研究方法

①持续性强降水指标定义:某区域内强降水过程(区域性中到大雨及以上等级)频发并超过 3 次以上;相邻两次强降水过程之间的降水连续间断日数(区域平均日降水量  $< 6$  mm 日数)小于 3 d。

②大尺度关键影响系统特征指数计算:参照《中国夏季旱涝及环境场》<sup>[15]</sup>,其中南方西南急流面积指数为  $20^{\circ} \sim 32.5^{\circ} \text{N}$ ,  $100^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$  范围内、850 hPa 西南风速不低于  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  网格点数。

## 2 南方持续性强降水特征

2010 年夏季,我国南方地区降水具有明显的阶段性停滞和季节性北移特征,主要出现了两次持续性强降水(图 1a)。

第 1 次持续性强降水出现在 6 月 13—28 日,强

降水带位于  $25.3^{\circ} \sim 28.7^{\circ} \text{N}$  之间的江南中南部,降水量超过 200 mm(图 1b),强降水中心位于江西中南部、福建中北部、浙江西南部,降水量为 300 ~ 600 mm,福建武夷山达 814 mm;期间接连出现了 5 次强降水过程(表 1),其中以 6 月 19—22 日的暴雨到大暴雨过程强度最强,监测到的大暴雨站点数多达 70 个,特大暴雨为 8 个站。

第 2 次持续性强降水期为 7 月 3—16 日,强降水带位于  $29^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$  之间的长江中下游地区,降水量多在 150 mm 以上(图 1c),强降水中心位于湖北东南部、安徽南部、江西东北部,降水量为 300 ~ 500 mm,安徽安庆达 718 mm;期间相继出现了 4 次强降水过程,其中以 7 月 10—14 日的大到暴雨过程强度最强,出现大暴雨为 21 个站,但分布较为零散。

两次持续性强降水相比较而言,6 月 13—28 日持续性强降水期间的强水带位置偏南、降水强度偏强。为表述简明,下文称第 1 次强降水为 6 月江南持续性强降水,第 2 次强降水为 7 月长江中下游持续性强降水。此外,还对持续性强降水期间的强降水过程进行编号(表 1)。

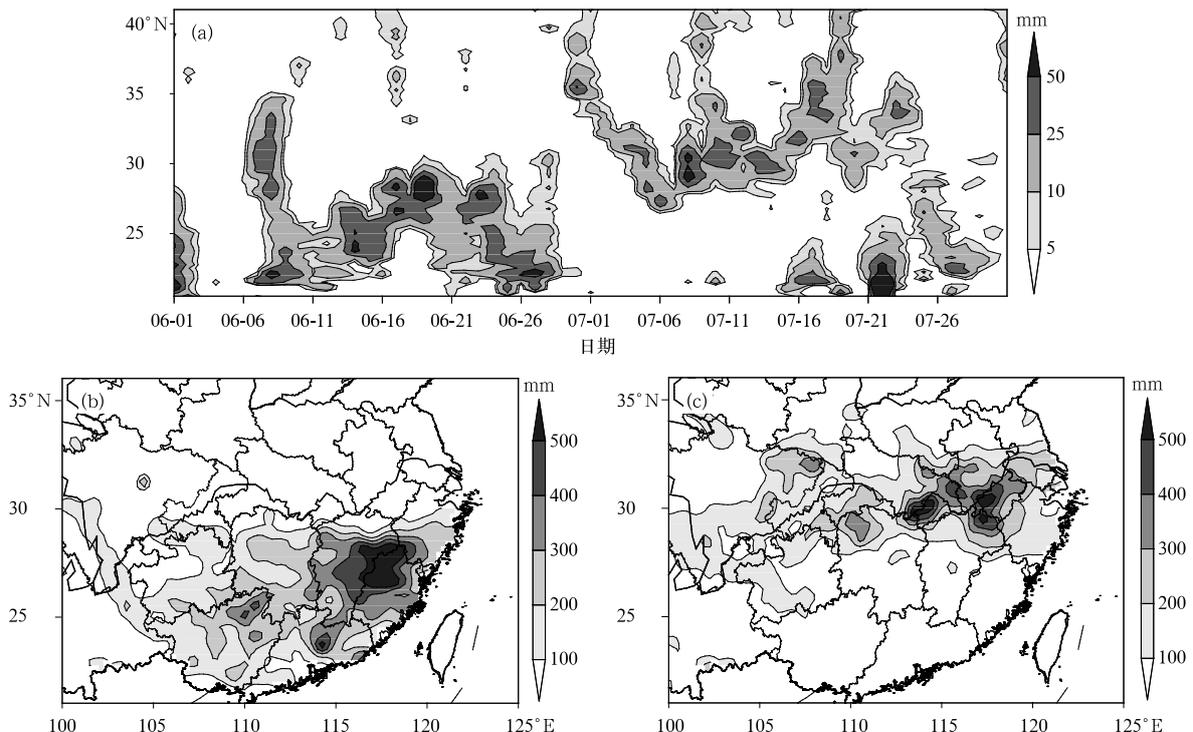


图 1 2010 年夏季我国南方持续性强降水时空分布 (a)6—7 月沿  $110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$  平均的逐日降水量时间-纬度剖面图, (b)6 月 13—28 日累积降水量, (c)7 月 3—16 日累积降水量

Fig. 1 Spatial and temporal distribution of the persistent heavy rainfalls over Southern China in the summer of 2010 (a) altitude-time cross section of daily precipitation averaged over  $110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$  from June to July, (b) accumulated precipitation from 13 June to 28 June, (c) accumulated precipitation from 3 July to 16 July

表 1 2010 年夏季我国南方持续性强降水期间的强降水过程

Table 1 The strong rain processes during the persistent heavy rainfalls over Southern China in the summer of 2010

强降水期	过程编号	过程起止日期	过程强度	范围
06-13—28	A1	13—15	大到暴雨	闽、赣南、粤中东、湘南、桂、黔东南
	A2	16—18	大到暴雨	浙中南、赣、闽、粤东、湘南、桂北、黔、渝西南
	A3	19—22	暴雨到大暴雨	浙中南、赣、闽中北、湘北和东南、桂、粤东北
	A4	23—25	大到暴雨	浙中南、赣中南、闽、湘中、粤、桂南、黔、川南
	A5	27—28	中到大雨	浙北、赣北、皖南、闽西、湘中南、粤、桂、黔
07-03—16	B1	03—07	大到暴雨	苏南、浙、皖中南、赣中北、闽西北、鄂南、湘中北、渝、川东
	B2	08—09	大到暴雨	浙中南、皖南、赣北、鄂、湘北、渝、川东、黔北
	B3	10—14	大到暴雨	苏、浙北、皖、赣北、鄂南、湘北、渝东北、川东、黔
	B4	15—16	大到暴雨	苏南、浙北、皖中南、赣北、鄂中、豫南、川东、陕南

### 3 南方持续性强降水大气环流特征

#### 3.1 东亚西风带沿海低槽

冷空气是持续性强降水形成的重要动力和热力因素,它不仅能促成产生强降水所必需的低层辐合抬升,还可增强对流性不稳定性<sup>[12]</sup>,分析中高纬度地区环流形势及西风带低槽演变特征是追踪冷空气活动的常用有效途径。纵观 2010 年 6—7 月对流层中高层沿 120°E 位势高度时间-纬度剖面可见(图 2),

我国南方两次持续性强降水期间,东亚西风带低槽以 2~4 d 的频率东移南下并移过亚洲东部沿海地区,且东亚中纬度锋区位置基本稳定;与之相应,冷空气频繁南下与北上暖湿气流交汇并形成对峙之势,进而产生了持续性强降水,强降水带位于中纬度锋区南侧。在 2010 年我国南方两次持续性强降水期对流层中、高层平均位势高度图(图 3)也清楚地显示,东亚沿海附近为平均低槽区,强降水带北界与东亚沿海低槽槽线附近的中纬度锋区南缘基本吻合。

图 3 还显示,在东亚西风带沿海低槽上游地区

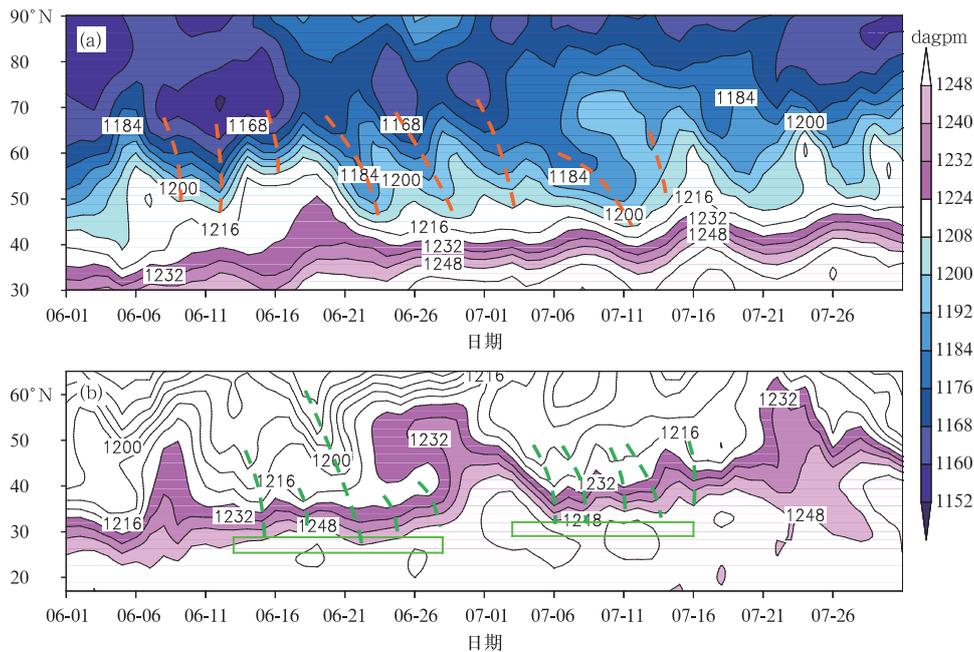


图 2 2010 年 6—7 月沿 70°~80°E 平均(a)和沿 120°E(b)的 200 hPa 位势高度时间-纬度剖面(虚线为槽线;两个方框:25.3°~28.7°N 为 6 月江南持续性强降水期的强降水带,29°~32°N 为 7 月长江中下游持续性强降水期的强降水带)

Fig. 2 Altitude-time cross sections of geopotential heights at 200 hPa from June to July in 2010 averaged over 70°—80°E(a) and 120°E(b)(dashed lines show the trough lines; two rectangles: 25.3°—28.7°N shows the heavy rainfall belt of the persistent heavy rainfall over the south Yangtze valley in June, 29°—32°N shows the heavy rainfall belt of the persistent heavy rainfall over the middle and lower reaches of the Yangtze)

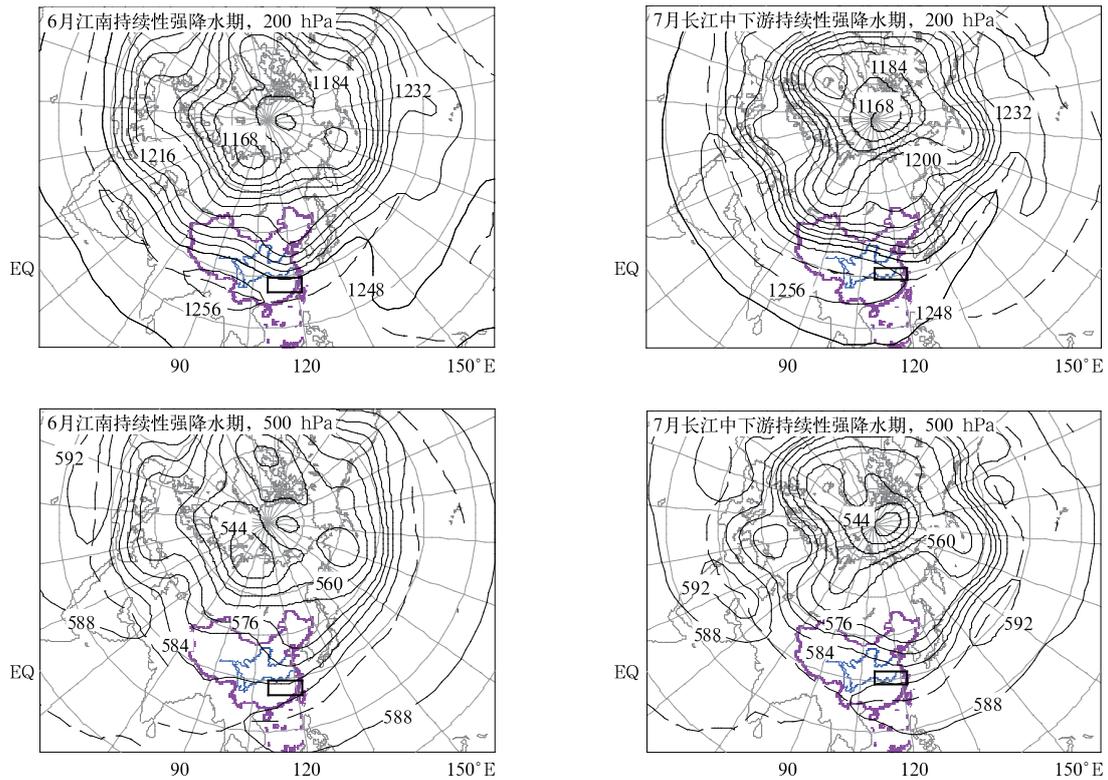


图 3 2010 年夏季南方持续性强降雨期 200 hPa 和 500 hPa 平均位势高度

(单位: dagpm; 虚线为高压脊线; 方框指示强降雨带)

Fig. 3 Averaged geopotential heights at 200 hPa and 500 hPa during the persistent heavy rainfalls over Southern China in the summer of 2010

(unit: dagpm; dashed line shows the ridge of high; rectangle shows the heavy rainfall belt)

的西西伯利亚也为平均低槽区,分析逐日中高纬度环流形势演变后发现(图略),西西伯利亚低槽通过两种方式影响着东亚沿海低槽的不断快速重建或维持:一是西西伯利亚低槽加深后随即分裂出短波槽,短波槽沿贝加尔湖高压脊前西北气流东移下滑并不断加深,经 4~6 d 移过亚洲东部沿海地区,A1,A2,A5 以及 B1,B4 强降雨过程即出现在这种方式下;二是原西西伯利亚低槽在高纬度地区沿极锋锋区向东移动,经 4~5 d 到达中西伯利亚东部。之后,西西伯利亚再次转受低槽控制并向南明显加深,位于其下游的贝加尔湖高压脊显著向北加强伸展、移至中西伯利亚东部的低槽迅速向亚洲东部沿海地区加深,后期还往往有华北冷涡或东北冷涡生成、雅库茨克地区受高压脊控制甚至有阻塞高压建立;在此期间,亚洲东部沿海附近地区持续受低槽控制,冷空气则沿偏北或偏东路径分股南下不断引发强降雨过程,如 A3 和 A4,B2 和 B3 强降雨过程。从图 2 也可以看到,在上游地区西西伯利亚低槽的不断重建和加深(东移)影响下,东亚西风带沿海低槽出现了不断快速重建或加深。

综上所述,在对流层中高层西西伯利亚低槽的不断快速重建和加深(东移)影响下,东亚西风带沿海低槽出现不断快速重建或加深,且东亚对流层中高层中纬度锋区纬度带位置相对稳定是 2010 年夏季南方持续性强降雨大气环流的重要特征,东亚西风带沿海低槽槽线附近的中纬度锋区南缘与强降雨带北界吻合良好。

### 3.2 低空西南急流

南方低空西南急流面积指数和西南风速最大值逐日变化显示(图 4a),2010 年夏季持续性强降雨期间我国南方低空西南急流非常活跃,并且随着西南急流的一次次加强,其轴线左侧的南风经向强梯度带也相应一次次的向北涌动(图 4b),两次持续性强降雨均出现在南风经向强梯度带位置相对稳定、南北摆动幅度较小的时段中,强降雨带基本位于南风水速在  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  至其南侧大值中心之间的经向强梯度带中。究其成因不仅在于西南急流将来自阿拉伯海、孟加拉湾及南海的富含水汽和高能热量的暖湿气流输送到南方地区,为强降雨的形成提供必要的水汽条件和不稳定能量储备,而且西南急流轴左

侧的南风经向强梯度带还促成了低层水汽的辐合、不稳定能量的释放及强烈上升运动的发展,为强降水的形成提供了必需的动力条件;西南急流的一次

次加强及其轴线左侧的南风经向强梯度带位置相对稳定,致使该地带低层水汽输送一次次加强、辐合上升运动反复发展从而形成持续性强降水(图 4c)。

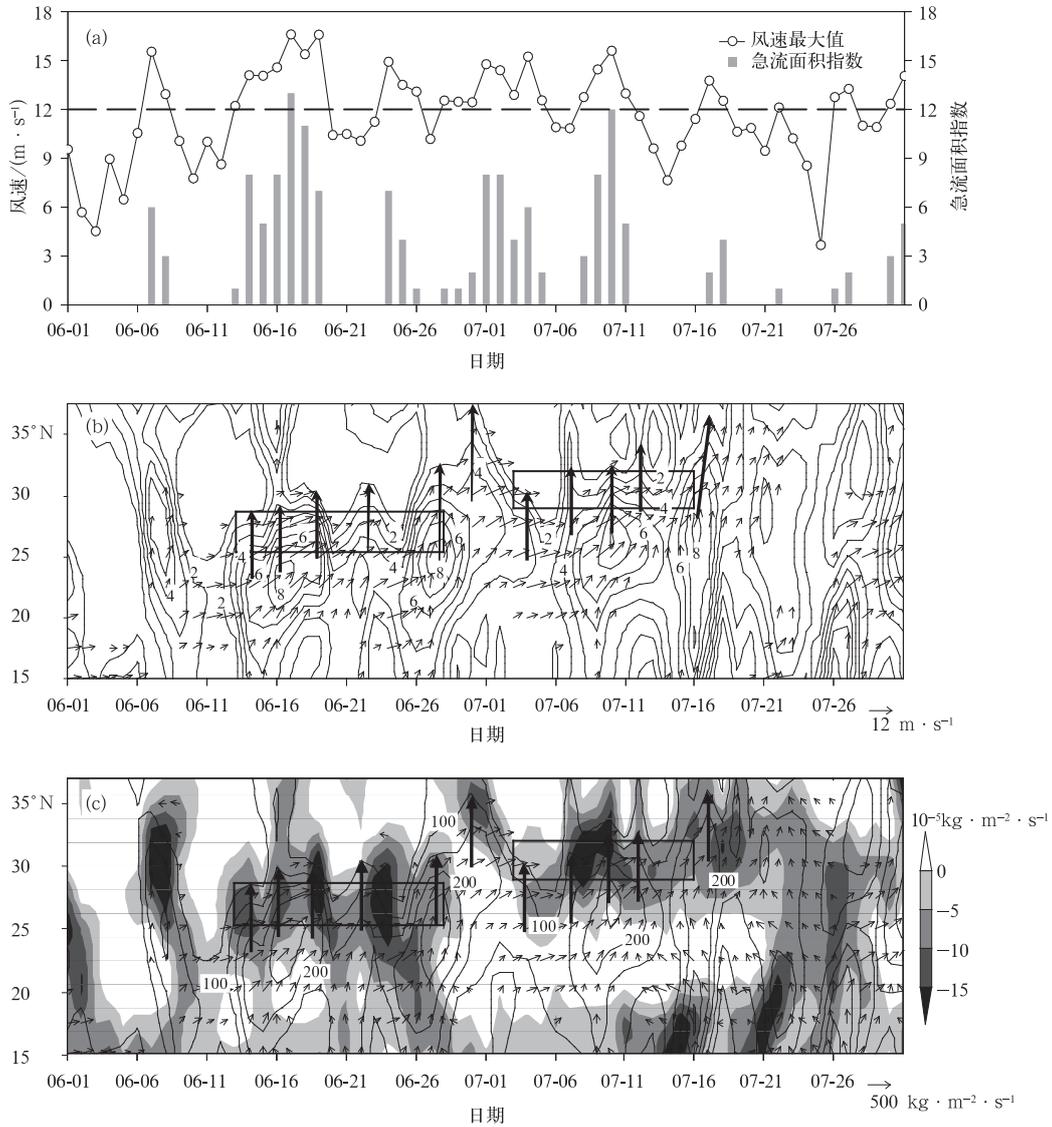


图 4 2010 年 6—7 月南方西南急流面积指数及相同区域内 850 hPa 西南风速最大值逐日演变(a), 沿 110°~122.5°E 平均的西南风矢(≥4 m·s⁻¹)和经向风(≥1 m·s⁻¹)(b) 及地表到 700 hPa 垂直积分的水汽通量(矢量和等值线,单位:kg·m⁻¹·s⁻¹)和 水汽通量散度(阴影)时间-纬度剖面(c)(方框同图 2)

Fig. 4 Daily variations of southwest jet area index over Southern China and the maximum of southwest wind at 850 hPa(a), time-altitude cross section of southwest wind vector above 4 m·s⁻¹ with meridional wind above 1 m·s⁻¹ (b) and vertically integrated water vapor transport flux from surface to 700 hPa(vectors and contours, unit: kg·m⁻¹·s⁻¹) averaged over 110°—122.5°E and its divergence(shaded) from June to July in 2010(c)(rectangle is same as in Fig. 2)

图 5a 及 850 hPa 南半球逐日环流形势(图略)显示,格林威治(本初)子午线以西的南半球高压或以单体形式向东移动、或以东伸高压脊形式向东扩展,穿越子午线后常常在南非东部及其以东海域发

展加强为新生马斯克林高压、或与原马斯克林高压合并加强;之后,马斯克林高压继续加强东移或以东伸高压脊形式向东扩展,促使我国南方西南急流建立和加强。2010 年夏季,伴随着马斯克林高压的一

次次加强东移(马斯克林高压中心强度达 158~162 dagpm),我国南方西南急流出现了一次次的建立和加强,甚至在同一次马斯克林高压加强东移过程中还会出现南方西南急流反复建立或加强的现象。滞后相关系数<sup>[16]</sup>计算结果显示(图 5b),南方西南急流面积指数变化较 45°~90°E 马斯克林高压中

心强度变化滞后 4~1 d(自西向东),且为正相关关系,相关系数通过了 0.10 水平的显著性检验,这表明 45°~90°E 马斯克林高压的加强(减弱)较南方西南急流的加强(减弱)超前 4~1 d;同理马斯克林高压西侧(0°~40°E)高压的加强(减弱)较南方西南急流的加强(减弱)超前 10~7 d。

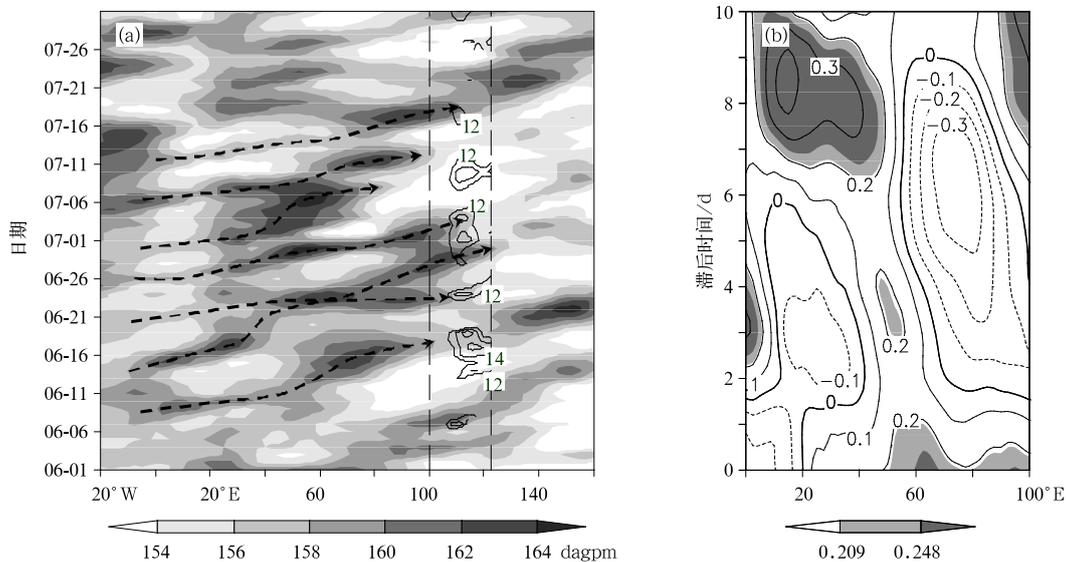


图 5 2010 年 6—7 月 850 hPa 10°~50°S 之间位势高度最大值(阴影)和 100°~122.5°E 范围内 20°~32.5°N 之间西南风速最大值(等值线,单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )时间-经度剖面(a),南方西南急流面积指数滞后 10°~50°S 之间位势高度最大值的相关系数(b)(浅色和深色阴影分别表示通过 0.10 和 0.05 水平的显著性检验)

Fig. 5 Longitude-time cross section of the maximum of geopotential heights(shaded) between 10°—50°S and the maximum of southwest wind(contours, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) between 20°—32.5°N in 100°—122.5°E, and the lag correlation coefficient of southwest jet area index over Southern China against the maximum of geopotential heights between 10°—50°S at 850 hPa from June to July in 2010 (light and deep shaded areas show passing the test of 0.10 and 0.05 levels, respectively)

以上分析表明,东亚低空西南急流反复加强,及其轴线左侧的南风经向强梯度辐合带位置相对稳定是 2010 年夏季南方持续性强降水大气环流的另一重要特征;强降水带基本位于南风风速超过  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的经向强梯度辐合带中。南半球马斯克林高压(1~4 d)及其西侧高压(7~10 d)的加强对我国南方西南急流的建立和加强具有超前指示意义。

### 3.3 副热带高空西风急流和南亚高压

由图 6 可见,2010 年夏季南方两次持续性强降水期间,东亚副热带高空西风急流(纬向风为  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和南亚高压均经历了几次南北摆动,但摆动幅度不大,位置相对稳定。6 月江南(7 月长江中下游)持续性强降水期,110°~122.5°E 平均的高空西风急流轴基本位于 32°~34°N(37°~40°N)之间,南亚高压脊

线多在 22°N(28°N)附近。在稳定维持的高空西风急流和南亚高压东北象限反气旋环流的共同影响下,高空西风急流南侧至南亚高压脊线北侧之间的纬度带持续出现了高空强辐散,有利于促进中低层垂直上升运动的发展,为持续性强降水的形成提供了必要的动力条件,强降水带相应地位于高空西风急流带南侧至南亚高压脊线北侧之间的强辐散区中,并且强辐散中心与强降水过程也有很好的对应关系。

从图 6 还可以看出,在南方两次持续性强降水开始前 3 天(6 月 10 日和 6 月 30 日),高空西风急流就已经在强降水带北侧建立并维持,直至持续性强降水期结束前 4 天(6 月 24 日和 7 月 12 日)才减弱消失。

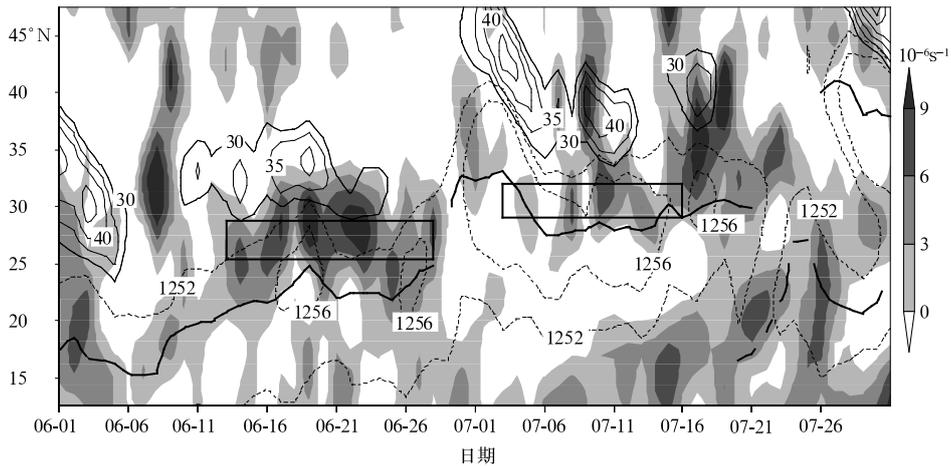


图 6 2010 年 6—7 月沿 110°~122.5°E 平均的 200 hPa 纬向风速(细实线,单位: $m \cdot s^{-1}$ )、位势高度(点线,单位: dagpm)和水平散度(阴影)时间-纬度剖面(粗实线为南亚高压脊线,方框同图 2)

Fig. 6 Altitude-time cross section of zonal wind(thin solid line, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ), geopotential heights(dotted lines, unit: dagpm) and horizontal divergence(shaded, unit:  $10^{-6}s^{-1}$ ) averaged over 110°—122.5°E at 200 hPa from June to July in 2010 (thick solid line is the South Asia high ridge; rectangle is same as in Fig. 2)

由上述分析可知,高空西风急流和南亚高压脊线位置相对稳定也是 2010 年夏季南方持续性强降水大气环流重要特征之一;强降水带位于高空西风急流南侧至南亚高压脊线北侧之间的强辐散区中;东亚高空西风急流的建立和维持对南方持续性强降水形成与维持具有超前(3~4 d)指示意义。

### 3.4 西太平洋副热带高压

西太平洋副热带高压(简称副高)与我国夏季降水存在相互作用的关系<sup>[17-18]</sup>,并且联系紧密。由图 7 可见,6 月江南持续性强降水期间,500 hPa 副高

北界位置变化相对平稳,多在 23°~26°N 之间摆动,尽管副高强度和脊线位置变化较为明显,先后经历了加强北抬、快速减弱南压及再次加强北抬的过程,仍然出现了强降水过程在其北侧频发、强降水带维持的现象。7 月长江中下游持续性强降水期,副高强度和位置的变化均相对平稳,总体呈先南压、后北抬的趋势,副高北界多在 27°~31°N 之间摆动,强降水带亦位于其北侧区域。

可见,东亚地区 500 hPa 副高所处纬度带位置相对稳定是 2010 年夏季南方持续性强降水大气环流

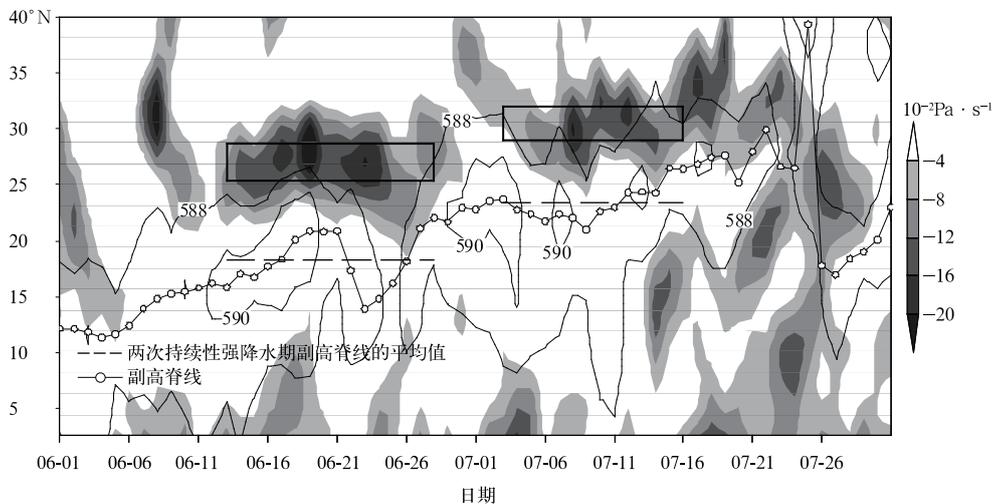


图 7 2010 年 6—7 月沿 110°~122.5°E 平均的 500 hPa 位势高度(实线,单位: dagpm)和垂直速度(阴影)时间-纬度剖面(方框同图 2)

Fig. 7 Altitude-time cross section of geopotential heights(solid line, unit: dagpm) and vertical speed(shaded) averaged over 110°—122.5°E at 500 hPa from June to July in 2010(rectangle is same as in Fig. 2)

又一重要特征,强降水带位于副高北侧区域。

### 3.5 垂直环流

如前所述,2010年夏季南方两次持续性强降水期间,出现了东亚西风带沿海低槽的不断快速重建或维持、低空西南急流的一次次加强,东亚中纬度锋区和低空西南急流轴线左侧南风经向强梯度区的位置相对稳定,同期还兼有高空西风急流、南亚高压脊线及副高的相对稳定维持。在上述对流层高、中、低层大尺度关键影响系统的最佳组配和稳定维持下,

冷、暖气流出现了长时间的交汇和对峙,强降水带上空反复出现了低层水汽辐合抬升、高层辐散抽吸及垂直上升运动的发展和加强(图7),从而形成了持续性强降水,并且发展最为强烈的5次上升运动(500 hPa垂直速度低于 $-16 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的中心)依次对应着持续性强降水期最强的5次强降水过程,即A2,A3,A4,B2,B3强降水过程。

由图8可见,南方两次持续性强降水期均出现了强烈的垂直上升运动,大值中心位于对流层中层

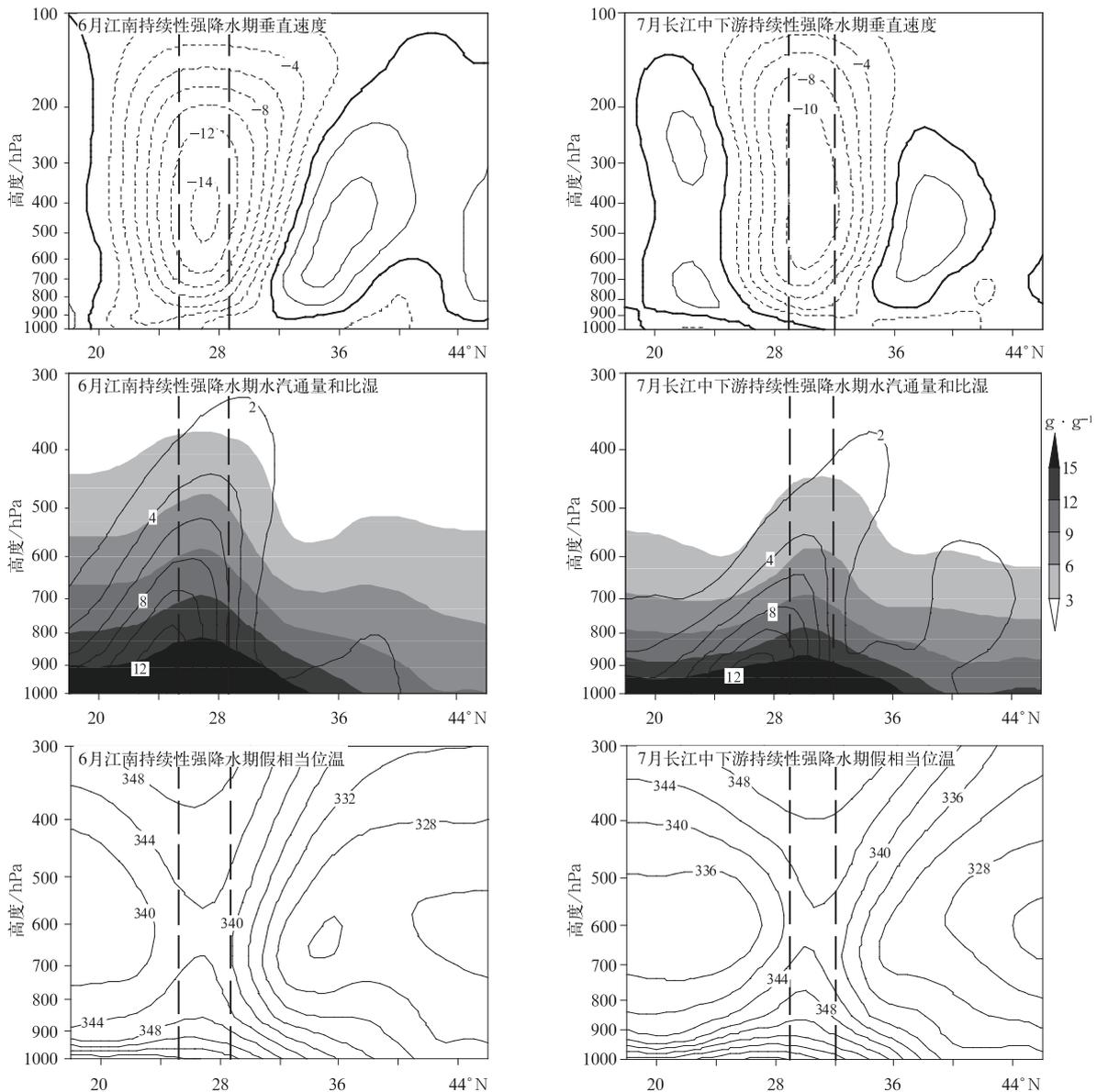


图8 2010年南方持续性强降水期沿 $110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$ 平均的垂直速度(单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ )、水汽通量(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ )和比湿(阴影)及假相当位温(单位:K)纬度-高度剖面(虚线指示强降水带)

Fig. 8 Latitude-altitude cross sections of vertical speed(unit:  $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ), water vapor transport flux (unit:  $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ) and specific humidity(shaded) and  $\theta_{se}$ (unit: K) averaged over  $110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$  in the persistent heavy rainfalls over Southern China in 2010 (dashed lines show the area of the heavy rainfall belt)

400~500 hPa,中心值分别达 $-14 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-11 \times 10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ;强烈的上升运动将低层高温、高湿空气向上输送,在强降水区上空形成了凸起的高比湿舌;近地层至600 hPa储备的对流性不稳定能量( $\partial \theta_{se} / \partial p > 0$ )更是有利于加剧上升运动的发展;强降水区恰位于垂直上升速度大值带及高比湿舌的正下方。

可见,东亚对流层中层强垂直上升运动带的稳定维持也是2010年夏季南方持续性强降水大气环流的重要特征,强降水带位于对流层中层垂直上升速度大值带中。

#### 4 小 结

本文通过对2010年6—7月南方两次持续性强降水期间对流层高、中、低多个大尺度关键影响系统的时空演变特征及其影响机制的分析和比较,得到以下主要结论:

1) 南方两次持续性强降水期均出现了东亚西风带沿海低槽的不断快速重建或加深,且中纬度锋区位置稳定维持,低空西南急流反复加强且其轴线左侧的南风经向强梯度带位置相对稳定,副热带西风急流和南亚高压脊线及西太平洋副热带高压的纬度带位置相对稳定。在上述大尺度关键影响系统共同影响下,冷、暖气流出现了长时间交汇和对峙,强降水带上空反复出现强烈的低层水汽辐合抬升、高层辐散抽吸及垂直上升运动发展,从而导致形成了持续性强降水。

2) 西西伯利亚低槽的加深或东移较我国东部沿海低槽的重建或加深超前4~6 d,南半球马斯克林高压西侧高压及马斯克林高压的不断加强东移分别较我国南方西南急流的加强超前7~10 d和1~4 d,东亚高空西风急流的建立和维持较南方持续性强降水期超前3~4 d;以上大尺度关键影响系统活动特征对南方持续性强降水的形成和维持具有超前指示意义。

3) 强降水带位于东亚低空西南急流轴左侧南风风速超过 $1 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的经向强梯度辐合带、高空西

风急流南侧至南亚高压脊线北侧之间的强辐散区、中层垂直上升速度大值带以及东亚西风带沿海低槽槽线附近的中纬度锋区南缘至副高北侧区域。

#### 参 考 文 献

- [1] 竺可桢. 东南季风与中国之雨量. 地理学报, 1934, 1(1): 1-27.
- [2] 涂长望, 黄土松. 中国夏季风之进退. 气象学报, 1944, 18(1): 1220.
- [3] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980.
- [4] 庄世宇, 赵声蓉, 姚明明. 1998年夏季西太平洋副热带高压的变异分析. 应用气象学报, 2005, 15(2): 181-192.
- [5] 孙颖, 丁一汇. 1997年东亚夏季风异常活动在汛期降水中的作用. 应用气象学报, 2002, 13(3): 277-287.
- [6] 徐海明, 何金海, 周兵. 江淮入梅前后大气环流的演变特征和西太平洋副高北跳西伸的可能机制. 应用气象学报, 2001, 12(2): 150-158.
- [7] 李春晖, 梁建茵, 郑彬, 等. 南海夏季风北推时间及相关环流变化特征. 应用气象学报, 2007, 18(2): 202-210.
- [8] 朱玲, 左洪超, 李强, 等. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国东部降水的影响. 高原气象, 2010, 29(2): 671-679.
- [9] 陶诗言, 赵煜佳, 陈晓敏. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系. 气象学报, 1958, 29(2): 119-134.
- [10] 李崇银, 王作台, 林士哲, 等. 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. 大气科学, 2004, 28(5): 641-658.
- [11] 薛峰, 王会军, 何金海. 马斯克林高压与澳大利亚高压的年内变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 2003, 48(3): 287-291.
- [12] 姚秀萍, 于玉斌. 2003年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用. 大气科学, 2005, 29(6): 973-985.
- [13] 王亚非, 宋永加. 1991年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析. 气象学报, 1998, 58(2): 212-223.
- [14] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件. 科学通报, 2002, 47(6): 467-473.
- [15] 赵振国, 王永光, 陈桂英, 等. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999: 10-11.
- [16] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 科学出版社, 2004: 17.
- [17] 刘还珠, 姚明明. 降水与副热带高压位置和强度变化的数值模拟. 应用气象学报, 2000, 11(4): 385-391.
- [18] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压研究进展及展望. 大气科学, 2003, 27(4): 503-517.

## The Atmospheric Circulation Features of Two Persistent Heavy Rainfalls over Southern China in the Summer of 2010

Niu Ruoyun<sup>1)</sup> Zhang Zhigang<sup>2)</sup> Jin Ronghua<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (National Meteorological Center, Beijing 100081)

<sup>2)</sup> (Department of Forecasting and Information System, CMA, Beijing 100081)

### Abstract

The large scale rainstorm flooding induced by the persistent heavy rainfall in summer is the main meteorological disaster in China. Still more efforts are needed to improve the quantitative and refined forecast ability on the characteristic quantity of the persistent heavy rainfall, such as starting and ending time, drop location and the intensity of precipitation. By using daily intensive observed precipitation data and NCEP/NCAR reanalysis data, two persistent heavy rainfalls in Southern China is analyzed and compared to investigate the spatial-temporal evolving features and the influencing mechanism of the large scale key influence systems, and atmospheric circulation features of the two processes are summarized as below.

During the periods of persistent heavy rainfalls over Southern China in the summer of 2010, the westerly trough over coastland reformed and strengthened frequently and the mid-latitude frontal zone maintained steadily, the low level southwest jet strengthened repeatedly and the strong gradient belt of meridional wind on the left side of the low level southwest jet axis are relatively stable. Meanwhile the latitude location of the subtropical westerly jet, the ridge of South Asia high and the west Pacific subtropical high are also relatively stable in East Asia. Under the joint influences of the large scale key influence systems mentioned above, vapor convergence in the low layer and divergence in the upper layer occurs repeatedly, and the vertical ascending motion strengthens over the heavy rainfall belt, which leads to the formation of the persistent heavy rainfall over Southern China.

Before the persistent heavy rainfall in Southern China, the trough in western Siberian keeps reforming and strengthening, shifting to east of Mascarene high and its western high. The subtropical upper westerly jet is also established and maintains in East Asian.

The heavy rainfall belt of the persistent heavy rainfall lies in these areas: The strong gradient convergence belt of meridional wind on the left side of the low level southwest jet axis, the strong divergence zone between the south boundary of subtropical upper westerly jet and the ridge axis of South Asia high, the belt of high updraft vertical velocity in the middle layer in East Asian, the south margin of the middle-latitude frontal zone in the middle-upper troposphere, and the north boundary of the west Pacific subtropical high.

**Key words:** Southern China; persistent heavy rainfall; atmospheric circulation features