

李慧<sup>1,2</sup> 周顺武<sup>1</sup> 王亚非<sup>2</sup> 陆尔<sup>3</sup> 于超<sup>4</sup> 王传辉<sup>5</sup>

## 2010年梅雨期间我国东部地区降水异常的成因

### 摘要

基于我国台站的逐日降水观测资料,根据2010年梅雨期间(6—7月)我国东部地区雨带的落区,将该年梅雨期间的降水划分为3个主要阶段:第一阶段为6月7—11日,雨带主要集中在长江中下游地区;第二阶段为6月18—22日,雨带中心南压至江南地区;第三阶段为7月7—17日,此时雨带北抬重回到长江中下游地区。结合NCEP/NCAR逐日的再分析资料,分析了上述3个阶段的环流特征,结果表明:1)雨带出现南北摆动的现象与强冷空气南下有关;2)在第一阶段和第三阶段,长江中下游地区分别处在暖式切变和弱的暖式切变的控制之下,是造成降水的主要原因;3)6—7月西太平洋副热带高压脊点位置明显偏西,脊线位置明显偏南,二者与长江中下游降水存在显著的负相关,3次强降水过程的发生时间都对应着西太平洋副热带高压位置偏西,降水发生的位置正好位于西太平洋副热带高压的北侧。

### 关键词

长江中下游地区;降水异常;西太平洋副热带高压

中图分类号 P434

文献标志码 A

收稿日期 2013-08-07

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYH Y20100609);国家重点基础研究发展计划(973计划)(2012CB955204)

### 作者简介

李慧,女,硕士生,主要从事气候变化的研究。lihui100.com@163.com

周顺武(通信作者),男,博士,教授,主要从事气候变化研究。zhou@nuist.edu.cn

### 0 引言

我国夏季旱涝灾害频繁发生,长江中下游地区梅雨期间降水的异常及其成因一直倍受关注。陶诗言等<sup>[1]</sup>提出梅雨的年际变化受欧亚大陆大气环流变化、菲律宾以东热带洋面强迫及冬季欧亚积雪的影响。徐海明等<sup>[2-3]</sup>研究了江淮入梅日的年际变化及其前期环流和海温的关系。由于梅雨期的降水受到多种因素影响,即使是同一年的梅雨期的降水的成因也各有不同。西太平洋副热带高压(简称副高)因其所在的特定地理位置,成为连接中高纬度和低纬地区环流系统的中间纽带,它的活动直接影响着中国的气候和天气变化,尤其对江淮流域梅雨的维持和发展产生极大影响<sup>[4]</sup>。陈汉耀<sup>[5]</sup>指出长江流域降水偏多时,副高脊线位置偏南。陶诗言等<sup>[6]</sup>也指出副高脊线偏北,副高稳定盘踞在长江流域是导致长江流域持久干旱的原因,而脊线稳定偏南,副高长期稳定在华南是导致长江流域出现大水的主要原因。张雁等<sup>[7]</sup>指出副高活动与中高纬度天气系统的活动密切相关,且也直接影响低空急流的水汽输送路径以及降水强度。毕慕莹<sup>[8]</sup>和喻世华等<sup>[9-10]</sup>系统研究了副高东西振荡和北跳的特征,发现降水异常尤其是区域性暴雨、特大暴雨大尺度环流背景普遍与副高短期变异有密切关系。此外,长江中下游降水不仅受到热带季风系统、副热等低纬度系统的影响,同时也受中高纬大气环流(如阻塞高压)以及相应的冷空气活动的影响<sup>[11]</sup>。

2010年强降雨出现的时间较往年提前,时空分布不均匀,部分地区降雨比常年同期偏多,受灾区域集中,局部地区重复受灾。2010年6月长江中下游出现暴雨,6月7—10日安徽南部、湖北东部及湖南南部,过程降水量最大为196 mm<sup>[12]</sup>,7月,长江流域有3次明显的集中强降雨阶段,发生了有历史记录以来仅次于1998年的大洪水,大部分地区降水比常年同期偏多5成以上<sup>[13]</sup>,7月7日20时—15日08时,湖北省84个国家气象观测站中,累计雨量有2站超过500 mm,5站为400~500 mm,5站为300~400 mm<sup>[14]</sup>。

每个强降雨事件个例都发生在特定的天气形势和大气环流背景下,因此有必要针对典型个例进行分析,从而对各种降水个例归纳分类。如1998年长江流域特大洪涝灾害的成因分析一直是学者们的研究热点<sup>[15-17]</sup>。对2010年长江中下游地区降水已经有一些研究,陶玫等<sup>[18]</sup>指出副高异常是2010年长江流域汛期洪涝的主要原因之一,且与降水期间高低空急流的演变具有较好的一致性<sup>[19]</sup>。但是2010年

1 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京,210044

2 中国气象科学研究院 灾害天气国家重点实验室,北京,100081

3 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

4 国家卫星气象中心 空间天气室,北京,100081

5 安徽省公共气象服务中心,合肥,230061

6—7月长江中下游受灾面积大,天气形势和大气环流都有其特殊性,那么2010年降水过程到底属于哪种原因?

本文在揭示2010年梅雨期间(6—7月)发生在我国长江中下游地区的降水异常分布特征的基础上,分析了降水异常的大尺度环流背景,同时分析了副高异常、冷空气以及水汽输送等对降水的影响,为进一步提高长江中下游持续性强降水的预报能力提供参考.

## 1 资料和方法

本文使用中国国家气象中心提供的1979—2010年756站逐日降水数据以及美国环境预测与大气研究中心(NCEP/NCAR)提供同时段的逐日再分析资料,包括位势高度、水平风场、温度场、比湿和地表面气压等资料.

本文主要对西太平洋副热带高压脊线、西伸脊点和2010年6—7月逐日降水距平的时间序列作相关分析,得出相关系数,研究该时段的两指数时间序列与降水的相关关系.

## 2 长江中下游地区降水过程概况

对长江中下游地区( $110^{\circ}\text{E}$ ~ $120^{\circ}\text{E}$ ,  $28^{\circ}\text{N}$ ~ $32^{\circ}\text{N}$ )的降水平均,并与1979—2010年该区域多年平均逐日降水进行比较,给出了该区域2010年6—7月逐日降水距平(图1a).由图1a可见,降水主要出现在3次降水时段,分别为6月7—11日,6月18—22日和7月7—17日.3次降水过程期间的降水距平空间分布分别如图1b—1d所示,可以看出,6月7—11日和7月7—17日雨带沿长江流域呈一个纬向分布,但雨带降水中心有一定差异,6月7—11日降水中心位于 $114^{\circ}\text{E}$ 附近,7月7—17日降水中心大致位于 $114^{\circ}\text{E}$ 和 $118^{\circ}\text{E}$ ,而6月18—22日雨带南压至江南地区,降水中心约位于 $118^{\circ}\text{E}$ .3次雨带分布存在明显南北摆动.

## 3 大尺度环流背景

造成强降水的原因有很多,其中大尺度环流形势是暴雨发生发展的背景<sup>[19]</sup>.环流形势变化会导致雨带位置和降水强度都发生变化.以下利用NCEP/NCAR逐日再分析资料,分析上述3次降水过程的大尺度环流背景.

1) 第一阶段(6月7—11日).从图2a可以看出:

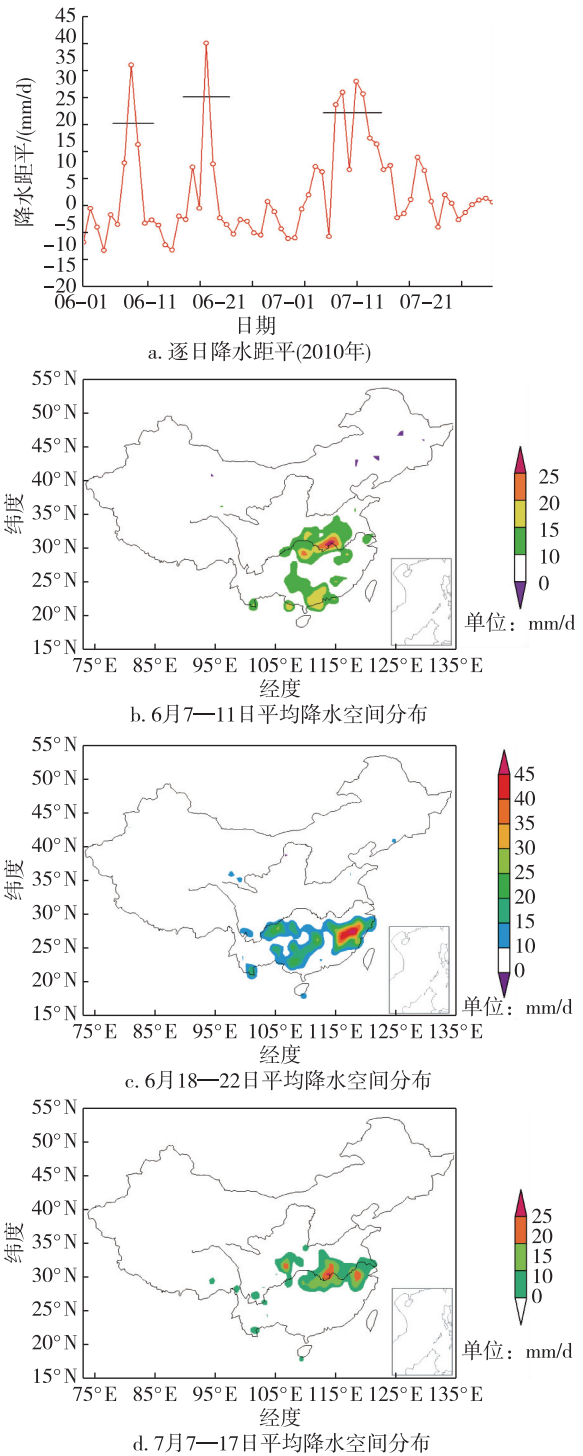


图1 2010年6—7月长江中下游地区逐日降水距平及其空间分布

Fig. 1 Daily precipitation anomaly (a) and spatial distribution of average precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River from June to July 2010, with (b), (c) and (d) for spatial distribution of average precipitation during June 7—11, June 18—22, and July 7—17, respectively

在东亚中高纬度地区(35~50°N)维持着两脊一槽的环流形势,两个脊分别位于75~95°E、115~140°E附近,而在95~115°E的蒙古国对应一低压槽,来自西伯利亚的干冷空气由槽后经新疆东部和内蒙古西部进入我国,干冷空气和南来的暖湿气流交汇于长江中下游;此时副高强度明显偏强,其脊线位于17°N,西伸脊点位于97°E左右,与常年相比,副高脊线明显偏南,西伸脊点明显偏西.从图2b可以看出:从孟加拉湾来的西风气流在中南半岛分裂成两支,一支受青藏高原地区大地的动力作用及其“转运站”功能的影响<sup>[20]</sup>转成西南气流沿青藏高原南缘进入我国,另一支伸展到我国南海与副高西南侧的东南气流相遇转而形成强西南风进入我国,有利于向长江中下游输送水汽.在长江流域以北的气流则表现为弱的东风气流,这样在长江流域形成了一个暖式切变线.

综上所述,长江中下游地区处于副热带高压边缘偏西气流中,冷暖空气在长江中下游地区交汇,在该地区形成降水,而且850 hPa有暖式切边存在,造成了此次强降水的产生.

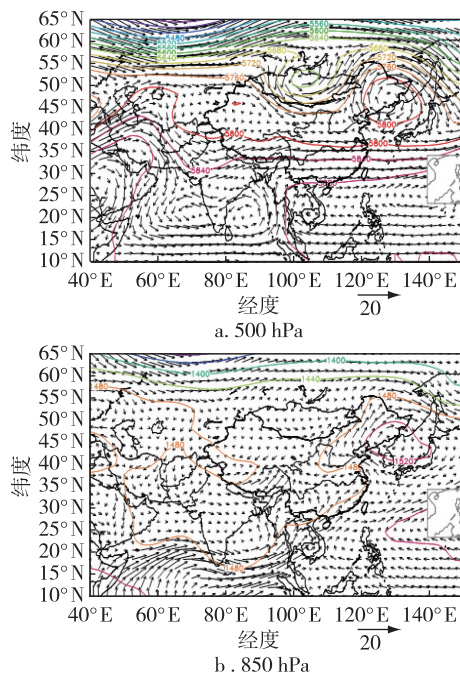


图2 2010年6月7—11日平均的大尺度环流(矢量:风场,单位为m/s;等值线:位势高度,单位为dagpm)  
Fig. 2 The averaged circulation during June 7—11 of 2010 at 500 hPa and 850 hPa (Note that vector indicates wind field with units in m/s, and contour indicates geopotential height with units in dagpm)

2)第二阶段(6月18—22日).与6月7—11日不同的是500 hPa副高脊线明显偏北,西伸脊点位于95°E,脊线位于23°N左右,西风气流控制整个长江中下游及以南地区(图3a),在中高纬度地区,在94°E附近存在一个明显的高压脊.850 hPa鄂霍次克海为强大的槽(图3b),700 hPa可以看出在巴尔喀什湖和鄂霍次克海附近为槽,贝加尔湖附近为脊,有利于强大的偏北气流和西南气流在长江中下游地区交汇(图略).从图3a和3b可以看出来自西伯利亚的干冷气流非常强,94°E附近的高压脊有利于冷空气南下到达长江中下游地区,这在历史上也是比较罕见的.由此可以得出该时段雨带偏南、降水偏多是冷空气较强造成的.

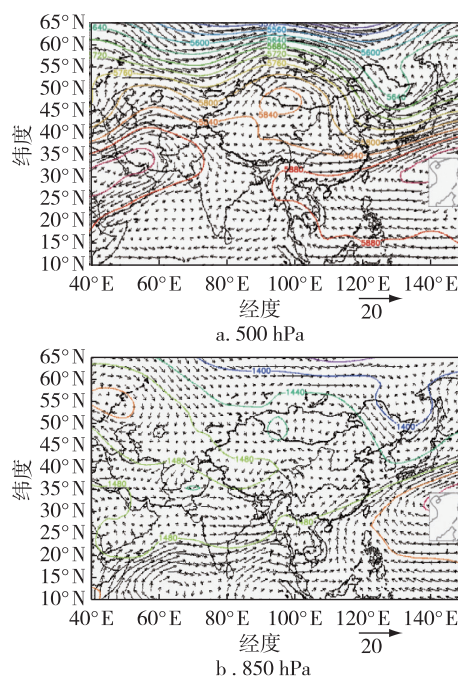


图3 2010年6月18—22日平均的大尺度环流(矢量:风场,单位为m/s;等值线:位势高度,单位为dagpm)  
Fig. 3 The averaged circulation during June 18—22 of 2010 at 500 hPa and 850 hPa (Note that vector indicates wind field with units in m/s, and contour indicates geopotential height with units in dagpm)

3)第三阶段(7月7—17日).从图4a可以看出:中高纬(45~65°N)环流形势为梅雨期典型的双阻形势,这样的形式有利于梅汛期的持续性降水<sup>[19]</sup>,西阻位于乌拉尔山附近,东阻高位于100~120°E之间,这种环流形势有利于冷空气从高纬度地区向南输送,到达长江中下游地区;中低纬度上多波动,从新疆到华北地区不断有小槽活动,而副热带高压强



度偏强,西伸脊点明显偏西,位于 $88^{\circ}\text{E}$ ,脊线明显偏北,位于 $25^{\circ}\text{N}$ .而从图4b可以看出:在850 hPa,淮河流域有弱的暖式切变线,孟加拉湾西风气流和副高的西南气流交汇形成偏南气流进入我国,到达长江中下游地区转为西南气流;长江中下游地区正好位于副热带高压边缘的西南气流中,冷空气东北方南下到达长江中下游地区,冷暖气流在该地区交汇,而且850 hPa有切变线存在,这种形式配置导致了该次降水的产生.

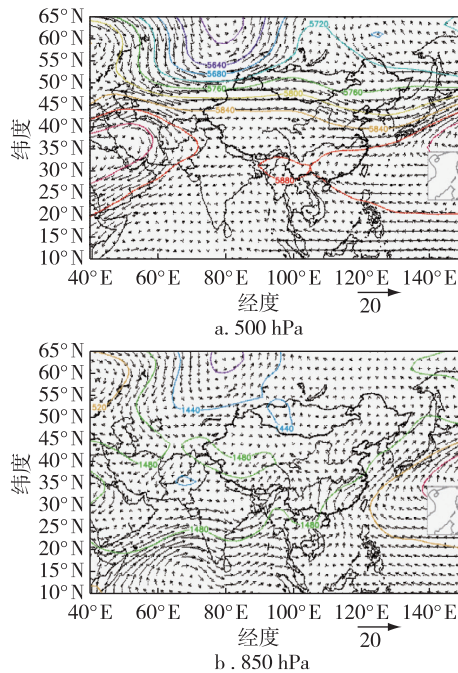


图4 2010年7月7—17日平均的大尺度环流(矢量;风场,单位为 $\text{m/s}$ ;等值线:位势高度,单位为 $\text{dagpm}$ )  
Fig. 4 The averaged circulation during July 7—17 of 2010 at 500 hPa and 850 hPa (Note that vector indicates wind field with units in  $\text{m/s}$ , and contour indicates geopotential height with units in  $\text{dagpm}$ )

#### 4 副高的活动特征与长江中下游地区降水的关系

副高与我国夏季降水有着密切的关系,其强度和位置变化对夏季降水都有着一定的制约作用.副高强度和西伸脊点与我国夏季大范围降水的多寡有关,而脊线位置则与夏季雨带位置有关<sup>[12]</sup>.2010年6月副高强度较常年强度偏强,脊点位于 $103^{\circ}\text{E}$ 附近,脊线位于 $15^{\circ}\text{N}$ 附近较常年( $124^{\circ}\text{E}, 20^{\circ}\text{N}$ )明显偏西偏南,7月强度也较常年偏强,脊点位于 $107^{\circ}\text{E}$ 附近,脊线位于 $25^{\circ}\text{N}$ 附近,较常年( $123^{\circ}\text{E}, 26^{\circ}\text{N}$ )明显

偏西偏南(图略).有研究指出,副高位置偏南,使冷暖空气交汇于长江及以南地区,常在长江流域形成洪涝<sup>[21]</sup>.从图5逐日的副高脊点、脊线位置可以看出6—7月副高以西伸和偏南居多,并且和降水距平成显著的负相关(均是 $-0.7$ ).尤其是在6月上中旬至7月上旬二者呈显著的负相关,以后呈正相关.从图5a和5b可以看出:6月7—11日降水期间,副高脊线位置明显较常年偏南,西伸脊点较常年明显偏西,降水和副高脊线位置、西伸脊点位置均为显著的负相关,7月9日,降水距平值超过 $300\text{mm}$ ,副高西伸脊点位置较常年偏西 $14^{\circ}$ 左右,副高脊线位置也较常年偏南 $10^{\circ}$ 左右,而当降水减弱时,副高也明显的发生了东退和北抬,例如,11日,降水明显较常年偏少 $50\text{mm/d}$ ,副高西伸脊点位置较常年偏东 $10^{\circ}$ 左右,脊线位置较常年偏北 $3^{\circ}$ 左右;18—22日副高脊线位置和降水呈显著的负相关,18日和20日降水均较常年偏多,而此时脊线位置也是较常年明显偏南 $30^{\circ}$ 和 $18^{\circ}$ 左右,当降水减弱时,副高脊线位置也明显的发生了北抬,而西伸脊点位置和降水的相关不是很好,副高西伸脊点位置较常年偏东居多,只有在21日时偏西,但此时的降水却是较常年偏少的;7—17日,副高脊线位置、西伸脊点位置和降水呈负相关,7月10前后,副高脊线位置较常年明显偏南,西伸脊点位置明显偏西,降水强度虽然没有达到峰值,但也是较常年偏多的,14日开始,副高明显东退,降水也开始减弱.

副高的活动与中国夏季的雨季变化、暴雨、旱涝分布的关系极为密切.副高的活动包括南北方向的移动和东西方向的进退.选取 $588\text{dagpm}$ 等高线表征副高的变化情况.从图6a发现,2010年6—7月副高基本上稳定在 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 之间的南北范围内活动,但是副高本身的强度、范围和北移南撤均有一定的变化.6月中上和7月中上副高强度均比较强.6月中上旬副高脊线到达 $25^{\circ}\text{N}$ 左右,长江中下游正好位于其北侧,这是造成较大降水区位于长江中下游的主要原因.7月7日开始 $588$ 北界线稳定位于 $25^{\circ}\text{N}$ 左右,强度较强,与7月7—17日降水过程相对应,强降水位于其北侧区域.从图6b可以看出副高在东西方向向上,存在2次明显的向西伸展,其中7月11—21日向西伸展超过了 $120^{\circ}\text{E}$ ,这在历史上是罕见的,此时降水强度也是比较强的.结合图2a、3a和4a也可以看出,3次降水过程期间副高位置明显偏西.

2010年夏季平均的副高面积与1998年并列为

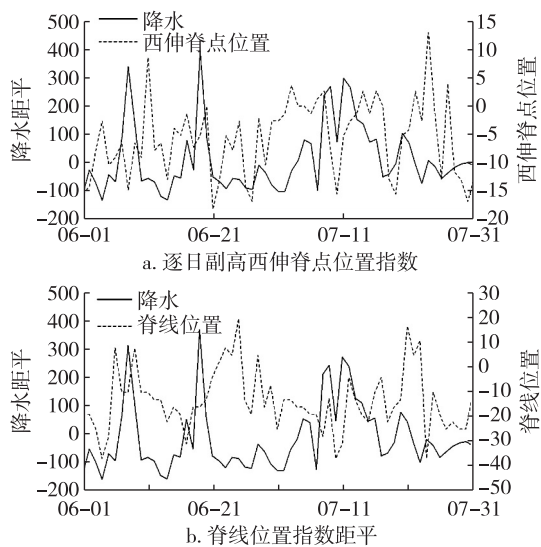


图5 2010年6—7月长江中下游降水逐日距平(mm/d)和逐日副高西伸脊点位置指数、脊线位置指数距平变化  
Fig. 5 Comparison between daily precipitation anomaly (units in mm/d) in MLYR and daily west-extending ridge point position index anomaly, between daily precipitation anomaly in MLYR and daily ridge line position index anomaly of the western Pacific subtropical high in June—July, 2010

1951年以来第一位,强度超过1998年为历史最强,西伸脊点偏西的程度为历史第一<sup>[12]</sup>.2010年6—7月长江中下游地区的3次降水过程中,都对应对着副高强度、西伸脊点和脊线位置的剧烈变化,李江南等<sup>[22]</sup>指出强暴雨过程的具体落区取决于副高的强度、南北摆动位置和向西伸展的程度.综上所述,2010年6—7月副高的异常情况是导致长江中下游降水偏多的原因之一,而且强降水带位于副高北侧区域.

### 5 冷空气对长江中下游降水的影响

有研究指出,西太平洋副热带高压的加强和西伸是长江中下游地区产生暴雨过程的必要条件之一,另一个重要条件就是强冷空气的入侵<sup>[1,23-28]</sup>,冷空气是持续性强降水形成的重要动力和热力因素<sup>[29]</sup>.图7a是850 hPa温度场纬度随时间的演变,可以看出在3次强降水过程中都有冷空气从中高纬度南下,和南方的暖空气在长江中下游交汇.图7b是850 hPa 24 h变温纬度随时间的演变,与图7a相对应,在3次降水过程中长江中下游地区都存在较明显的降温,尤其是6月18—22日,冷空气强度较强,南下到达该地区.从图7a和7b均可看出从中高

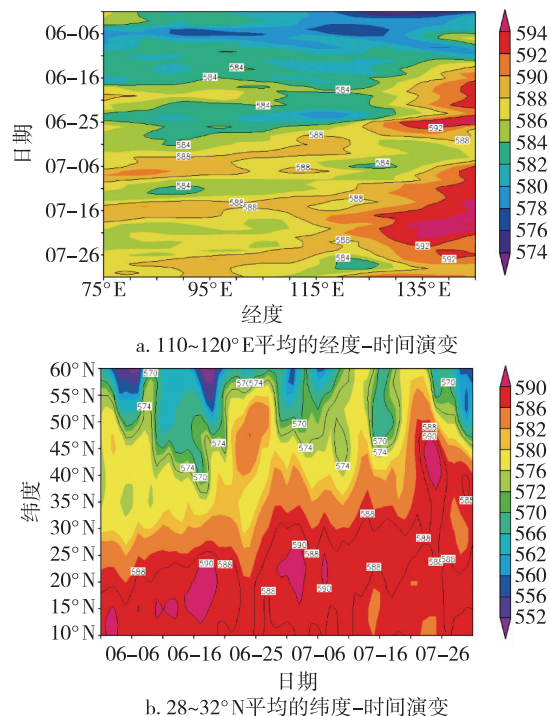


图6 2010年6—7月500 hPa位势高度场110~120°E平均的经度-时间演变及28~32°N平均的纬度-时间演变  
Fig. 6 Temporal evolutions of 500 hPa geopotential height during June to July 2010 at (a) latitude (110-120°E average) and (b) longitude (28-32°N average)

纬地区有明显的西北气流南下,和南边的东南气流在长江中下游地区交汇.前文提到6月18—22日降水和副高西伸脊点位置的相关性不是很好,从以上分析可以得出,中高纬冷空气南下是造成相关性不是很好的原因,也说明了冷空气的南下是造成此次降水过程的主要原因.

### 6 水汽输送特征

每个地区降水量的多寡不但和该地区的地理位置有关,也和大尺度环流背景下的水汽输送特征密切相关<sup>[30]</sup>.图8是3次降水过程中整层积分后的水汽输送分布特征.6月7—11日来自孟加拉湾的水汽从青藏高原西南侧进入我国,来自南海的水汽直接进入我国西南地区,而来自太平洋的水汽从我国东部进入,到达长江中下游地区,从图10a中也可以看出长江中下游地区水汽辐合比较明显.18—22日来自孟加拉湾的水汽在中南半岛分裂成两支,一支从青藏高原的西南侧进入我国,另外一支和来自南海以及副高西南边界的水汽交汇南边进入我国,到达华南地区,并没有到达长江中下游地区,这有可能是



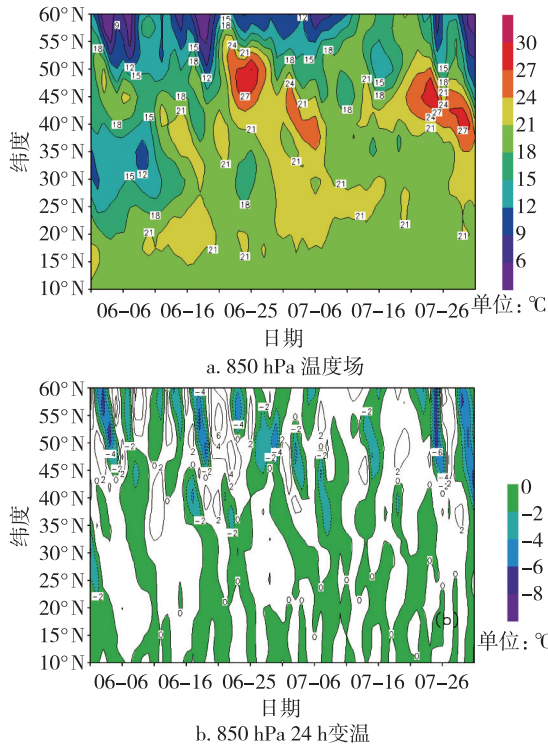


图7 2010年6—7月沿110~120°E平均的纬度-时间演变  
Fig. 7 Latitude-time evolutions in June to July (110-120°E average) for 850 hPa temperature field and 850 hPa 24 h temperature change

该时段在华南地区存在强降水中心的原因(图8b). 7月7—17日水气的输送路径和6月18—22日的相同,但水汽到达了长江中下游地区,此时副高脊线南北两侧互为反向的环流特征.吴国雄等<sup>[31]</sup>指出,出现该环流特征,整层水汽辐合有利于低纬间水汽流在长江中下游地区交汇,而且该地区存在明显的水汽辐合,为强降水的发生提供了充足的水汽供应(图8c).

### 7 结论与讨论

根据我国2010年的实况降水资料,分析了该年6—7月3个阶段降水偏多时段的大尺度环流特征及其西太副高的作用.主要结论如下:

1) 2010年6—7月强降水区域呈纬向带状分布,分为3个阶段,第一阶段雨带集中在长江中下游地区,随后主要雨带中心南压至华南地区,但在长江中下游仍有降水峰值出现,然后,第三阶段雨带中心又北抬回到长江中下游地区,雨带出现这种南北摆动的现象与第二阶段强冷空气南下是分不开的.

2) 在降水的第一阶段和第三阶段长江中下游地

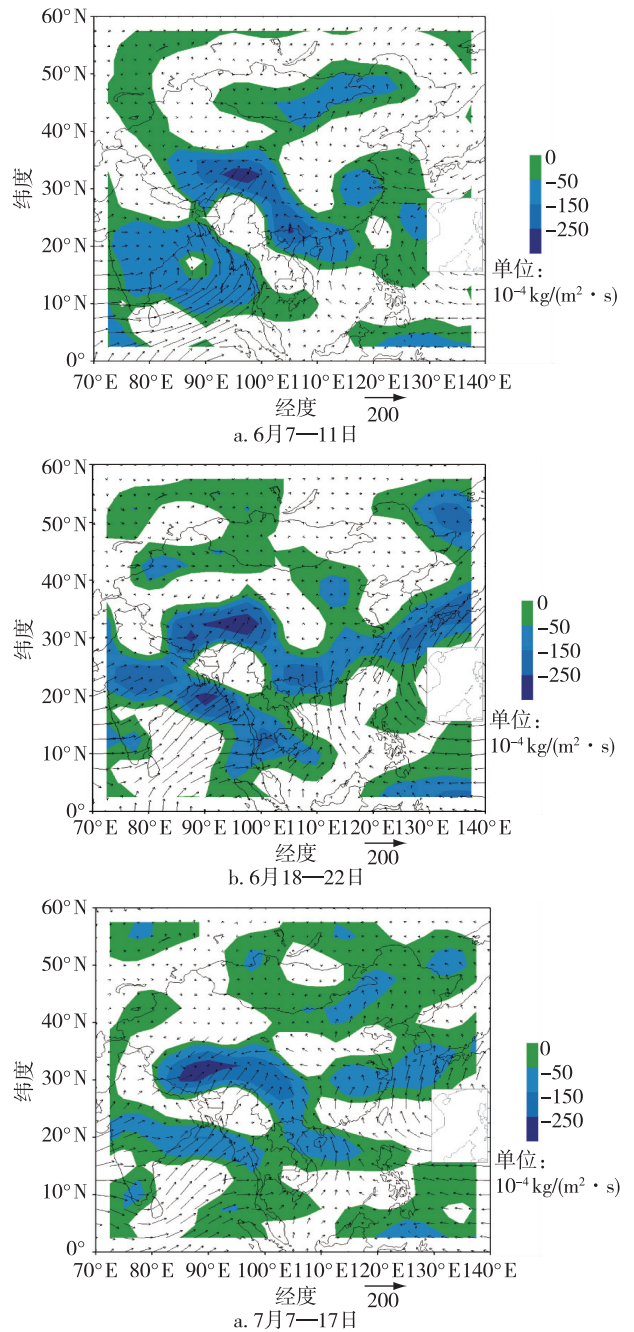


图8 2010年6月7—11日、18—22日、7月7—17日整层积分的水汽通量输送(箭头,单位:kg/(m·s))和水汽通量散度(阴影区域,单位:10<sup>-4</sup> kg/(m<sup>2</sup>·s))

Fig. 8 The vertically integrated moisture flux (arrow, units in kg/(m·s)) and the divergence of moisture flux (shaded area, units in 10<sup>-4</sup> kg/(m<sup>2</sup>·s)) during June 7—11, June 18—22, and July 7—17, 2010

区分别出现暖式切变和弱的暖式切变,这也是造成这2次降水的主要原因.同时在降水区存在辐合的水汽通量,而且有充沛的水汽供应,为3次强降水提

供了有利的条件.

3) 利用逐日的副高脊点的经纬度资料经过统计作为副高西伸指数,并与2010年6—7月长江中下游降水进行相关统计分析,发现二者呈显著的负相关.2010年6—7月3次强降水过程的发生时间都对应着西太平洋副热带高压位置偏西,降水发生的位置正好位于西太平洋副热带高压的北侧,可见副高异常也是6—7月长江中下游降水偏多的原因之一.

对于长江中下游降水异常的原因分析,已经有了许多的研究成果.尤其是通过分析副高来研究降水的原因,更是成果突出,副高位置变动与降水雨带位置的关系已经有很多学者进行了研究,以1998、2003和2007年二者的研究居多,但是仍然有许多问题并没有弄清楚,还需进一步的研究.

从3个阶段降水的分布不难发现,雨带出现南北摆动的现象.通过分析发现,强冷空气南下到达长江中下游地区是导致雨带南移的主要原因,除此之外还有没有其他原因呢?陶诗言等<sup>[32]</sup>指出北边冷空气、南面季风涌、西面青藏高原东移的云团和短波槽以及东面副热带高压共同作用是1998年长江流域持续异常的梅雨形成的物理模型.在目前全球变暖的大背景下,间接的因素有时也会起到关键作用,例如太平洋海温变化等因素<sup>[33-34]</sup>.ENSO事件的发生对东亚夏季环流有2~3季的延迟效应,前期秋季Nino3区的SSTA与长江中下游夏季降水关系也特别显著<sup>[35-36]</sup>.从本文的副高脊线或西伸脊点的位置和降水的相关可以看出,二者在第一次和第二次降水期间的负相关显著,而第三次降水期间的二者相关略低,梅雨结束二者相关以后更低,是什么导致这种现象的发生呢?2010年6—7月副高强度异常偏强、脊线位置异常偏西偏南,这种异常的原因本文并没有给出,大气环流内部结构的动力过程(如季风环流)和外部的强迫作用(如海温异常)都可以导致副高发生异常,具体原因还有待进一步分析.

## 参考文献

### References

- [1] 陶诗言,朱文妹,赵卫.论梅雨的年际变异[J].大气科学,1988,12(增刊1):13-21  
TAO Shiyang, ZHU Wenmei, ZHAO Wei. Interannual variability of Meiyu rainfalls [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1988, 12(sup1): 13-21
- [2] 徐海明,何金海,董敏.江淮入梅的年际变化及其与北大西洋涛动和海温异常的联系[J].气象学报,2001,59(6):694-706

- XU Hhaiming, HE Jinhai, DONG Min. Interannual variability of the Meiyu onset and its association with North Atlantic oscillation and SSTA over North Atlantic [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(6): 694-706
- [3] 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[J].应用气象学报,2001,12(2):150-158.  
XU Haiming, HE Jinhai, ZHOU Bing. The features of atmospheric circulation during Meiyu onset and possible mechanisms for Westward Extension (Northward Shift) of Pacific subtropical high [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2001, 12(2): 150-158
- [4] 赵兵科,姚秀萍,吴国雄.2003年夏季淮河流域梅雨期西太平洋副高结构和活动特征及动力机制分析[J].大气科学,2005,29(5):771-779  
ZHAO Bingke, YAO Xiuping, WU Guoxiong. The structure and activity characteristics of the Western Pacific subtropical anticyclone and its dynamical mechanism during the Meiyu period over the Huaihe River Basin in 2003 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(5): 771-779
- [5] 陈汉耀.1954年长江淮河流域洪水时期的环流特征[J].气象学报,1957,28(1):1-12  
CHEN Hanyao. Characteristics of the general circulation during the period of floods over the Changjiang-Huaihe Valley in 1954 [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1957, 28(1): 1-12
- [6] 陶诗言,徐淑英.夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J].气象学报,1962,32(1):1-10  
TAO Shiyang, XU Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yantze and Hwai-Ho valleys in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1962, 32(1): 1-10
- [7] 张雁,丁一汇,马强.持续性梅雨锋暴雨的环流特征分析[J].气候与环境研究,2001,6(2):161-167  
ZHANG Yan, DING Yihui, MA Qiang. Analysis of atmospheric circulation in relation to persistent rain storm on the Meryu front [J]. Climatic and Environmental Research, 2001, 6(2): 161-167
- [8] 毕慕莹.夏季西太平洋副热带高压的振荡[J].气象学报,1989,47(4):457-475  
BI Muying. The oscillation of the subtropical high over the Western Pacific in the summer [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1989, 47(4): 457-475
- [9] 喻世华,杨维武.季节内西太平洋副高异常进退的诊断研究[J].热带气象学报,1995,11(3):214-222  
YU Shihua, YANG Weiwu. Diagnostic study of intraseasonal anomalous progression and retrogression of subtropical high over western Pacific [J]. Journal of Tropical Meteorology, 11(3): 214-222
- [10] 喻世华,张韧,杨维武.副热带高压进退机理研究[M].北京:解放军出版社,1999:123-169  
YU Shihua, ZHANG Ren, YANG Weiwu. A study of the mechanism of progression and retrogression of subtropical high [M]. Beijing: Chinese People's Liberation Army Press, 1999: 123-169
- [11] Wang Y F, Yasunari T. A diagnostic analysis of the wave train propagating from high-latitudes to low-latitudes in

李慧,等.2010年梅雨期间我国东部地区降水异常的成因.

- early summer[J].*Journal of the Meteorological Society of Japan*,1994,72(2):269-279
- [12] 闵爱荣,廖移山,杨荆安.2010年4—10月我国主要暴雨天气过程简述[J].*暴雨灾害*,2011,30(1):90-96  
MIN Airong, LIAO Yishan, YANG Jingan. Important heavy rain processes in China from April to October in 2010[J].*Torrential Rain and Disasters*,2011,30(1):90-96
- [13] 赵俊虎,封国林,王启光,等.2010年我国夏季降水异常气候成因分析及预测[J].*大气科学*,2011,35(6):1069-1078.  
ZHAO Junhu, FENG Guolin, WANG Qiguang, et al. Cause and prediction of summer rainfall anomaly distribution in China in 2010[J].*Chinese Journal of Atmospheric Sciences*,2011,35(6):1069-1078
- [14] 徐双柱,吴涛,王艳.2010年7月7—15日湖北省持续性暴雨分析[J].*暴雨灾害*,2012,31(1):35-43  
XU Shuangzhu, WU Tao, WANG Yan. Analysis of sustained rainstorm events over Hubei from July 7 to 15 in 2010[J].*Torrential Rain and Disasters*,2012,31(1):35-43
- [15] Wang Y F, Wang B, Oh J H. Impact of preceding El Nino on the East Asian summer atmosphere circulation[J].*Journal of the Meteorological Society of Japan*,2001,79(1B):575-588
- [16] 陶诗言,张庆云,张顺利.1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件[J].*气候与环境研究*,1998,3(4):290-299  
TAO Shiyang, ZHANG Qingyun, ZHANG Shunli. The great floods in the Changjiang River Valley in 1998[J].*Climatic and Environmental Research*,1998,3(4):290-299
- [17] 黄荣辉,许予红,王鹏飞,等.1998年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨[J].*气候与环境研究*,1998,3(4):300-313  
HUANG Ronghui, XU Yuhong, WANG Pengfei, et al. The features of the catastrophic flood over the Changjiang River Basin during the summer of 1998 and cause exploration[J].*Climatic and Environmental Research*,1998,3(4):300-313
- [18] 陶玫,蒋薇,项瑛,等.1998和2010年长江流域汛期洪涝成因对比分析[J].*气象科学*,2012,32(3):282-287  
TAO Mei, JIANG Wei, XIANG Ying, et al. Comparative analysis of the flooding causes over Yangtze River in 1998 and 2010[J].*Journal of the Meteorological Sciences*,2012,32(3):282-287
- [19] 黄娟,郭巧红,胡淳焱.2010年浙江梅汛期强降水大气环流特征分析[J].*科技通报*,2012,28(1):34-37  
HUANG Juan, GUO Qiaohong, HU Chunhan. Analysis on circulation characteristic of Meiyu rainstorm in Zhejiang province during 2010[J].*Bulletin of Science and Technology*,2012,28(1):34-37
- [20] 苗秋菊,徐祥德,王金星.季风梅雨带水汽输送与动力强迫源结构[J].*气象科技*,2004,32(5):311-315  
MIAO Qiuju, XU Xiangde, WANG Jinxing. Water vapor transport and dynamic forcing sources structure over Meiyu belt[J].*Meteorological Science and Technology*,2004,32(5):311-315
- [21] Wang Y F. Effects of blocking anticyclones in Eurasia in the rainy season (Meiyu/Baiu season) [J].*Journal of the Meteorological Society of Japan*,1992,70(5):929-951
- [22] 李江南,蒙伟光,王安宇,等.西太平洋副热带高压强度和位置的气候特征[J].*热带地理*,2003,23(1):35-39  
LI Jiangnan, MENG Weiguang, WANG Anyu, et al. Climatic characteristics of the intensity and position of the subtropical high in the western Pacific [J].*Tropical Geography*,2003,23(1):35-39
- [23] 卢敬华,李国平,薛升.长江黄河流域上中下游汛期重旱涝的气候特征[J].*热带气象学报*,2002,18(3):262-268  
LU Jinghua, LI Guoping, XUE Sheng. Climate characteristics about heavy drought and flood in upper, middle and lower reaches of Yangtze River and Yellow River Valley in flood season [J].*Journal of Tropical Meteorology*,2002,18(3):262-268
- [24] 李峰,何立富.长江中下游地区夏季旱涝年际、年代际变化的可能成因研究[J].*应用气象学报*,2002,13(6):718-726  
LI Feng, HE Lifu. Study of interdecadal/interannual variation of rainfall over mid-lower reaches of Changjiang River and its mechanism [J].*Journal of Applied Meteorological Science*,2002,13(6):718-726
- [25] 管兆勇,蔡佳熙,唐卫亚,等.长江中下游夏季气温变化型与西太平洋副高活动异常的联系[J].*气象科学*,2010,30(5):666-675  
GUAN Zhaoyong, CAI Jiayi, TANG Weiya, et al. Variations of west Pacific subtropical high associated with principal patterns of summertime temperature anomalies in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J].*Scientia Meteorologica Sinica*,2010,30(5):666-675
- [26] 吴仁广,陈烈庭.长江中下游地区梅雨期降水与全球500 hPa环流的关系[J].*大气科学*,1994,18(6):691-699  
WU Renguang, CHEN Lieting. Relationship between the global circulation at 500 hPa and Meiyu in mid-and low-reaches of the Yangtze River [J].*Chinese Journal of Atmospheric Sciences*,1994,18(6):691-699
- [27] Chen J Y. Tendency prediction of precipitation and inundation in July in the Sichuan basin, China [J].*Journal of Climatology*,1984,4(5):521-529
- [28] 冷春香,陈菊英.西太平洋副高在1998年和2001年梅汛期长江大涝大旱中的作用[J].*气象*,2003,29(6):7-11  
LENG Chunxiang, CHEN Juying. The effect of subtropical high on large area flood/drought in Changjiang River Valley during plum rains season of 1998 and 2001 [J].*Meteorological Monthly*,2003,29(6):7-11
- [29] 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境特征[J].*应用气象学报*,2012,23(4):385-394  
NIU Ruoyun, ZHANG Zhigang, JIN Ronghua. The atmospheric circulation features of two persistent heavy rainfalls over Southern China in the summer of 2010 [J].*Journal of Applied Meteorological Science*,2012,23(4):385-394



- [30] Qian Y F, Liu X D, Zhong Z. Numerical simulation of heating anomaly effects of Tibetan Plateau on circulation in summer[J]. *Journal of Meteorological Research*, 1992, 6(1): 70-81
- [31] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压形成和变异的动力学问题[M]. 北京: 科学出版社, 2002  
WU Guoxiong, CHOU Jifan, LIU Yimin, et al. Dynamics of the formation and variation of subtropical anticyclones [M]. Beijing: Science Press, 2002
- [32] 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 1998年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 12-42  
TAO Shiyang, NI Yunqi, ZHAO Sixiong, et al. Study on formation mechanism and forecast of torrential rain in China in summer of 1998 [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2001
- [33] Rasmusson E M, Carpenter T H. Variations in tropical sea temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño [J]. *Monthly Weather Review*, 1982, 110(5): 354-384
- [34] Huang R H, Wu Y F. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1989, 6(1): 21-31
- [35] Lau K M, Yang S. The Asian monsoon and predictability of the tropical ocean-atmosphere system [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1996, 122(532): 945-957
- [36] Wang Y, Fujiyosi Y. A case study on the relationship between a preceding La Nina event and east Asian summer atmospheric circulation [J]. *Journal of Meteorological Research*, 2004, 18(4): 387-396

## Analysis of precipitation anomalies in the middle and lower reaches of the Yangtze River during June—July of 2010

LI Hui<sup>1,2</sup> ZHOU Shunwu<sup>1</sup> WANG Yafei<sup>2</sup> LU Er<sup>3</sup> YU Chao<sup>4</sup> WANG Chuanhui<sup>5</sup>

1 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

4 Office of Space Weather, National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

5 Anhui Public Meteorological Service Center, Hefei 230061

**Abstract** The precipitation anomalies during June-July 2010 in east China were divided into three stages according to the distribution of rain bands during Meiyu period, based on the daily precipitation dataset archived in meteorological stations in China. Rain bands concentrated in the middle and lower reaches of the Yangtze River (MLYR) during the first stage (June 7—11), then the rain center moved southward to regions south of the Yangtze River during the second stage (June 18—22), while there still had precipitation peaks in the MLYR. Finally, rain band center moved back to the MLYR during the third stage (July 7—17). The relationship between the circulation features and the west Pacific subtropical high anomalies during the three stages were analyzed using NCEP/NCAR reanalysis data. Results showed that the north-south migration of rain belt was closely related with strong cold air invasion from north during the second stage. The warm shear line and weak warm shear line appeared in the MLYR during the first stage and the third stage, respectively, which was the main cause of these two precipitation processes. Moreover, the water vapor flux convergence and plentiful vapor resources in the MLYR also favored the three heavy rains. A significant negative correlation is found between the west ridge point index of the western Pacific subtropical high and the precipitation processes in MLYR during June-July 2010. The three heavy precipitation processes are in correspondence with the westward of west Pacific subtropical high, while the precipitation just occurred in areas north of the western Pacific subtropical high. So we concluded that the western Pacific subtropical high anomaly is one of the main reasons of heavy rainfall from June to July in the MLYR.

**Key words** the middle and lower reaches of the Yangtze River; precipitation anomaly; the western Pacific subtropical high