

尹东屏,张备,孙燕,等. 2003 年和 2006 年梅汛期暴雨的梅雨锋特征分析[J]. 气象,2010,36(6):1-6.

# 2003 年和 2006 年梅汛期暴雨的梅雨锋特征分析<sup>\* 1</sup>

尹东屏 张 备 孙 燕 田心如 韩桂荣

江苏省气象台, 南京 210008

**提 要:** 本文针对 2003 年和 2006 年梅汛期暴雨量集中在淮河流域而总雨量不同的特点,利用平均场的方法,较深入地研究了暴雨时梅雨锋的结构。研究得到:暴雨发生时有明显的梅雨锋区;暴雨量与锋区的强度成正比;暴雨区位于锋区中即在对流层中低层的高温高湿区的偏北区域中,也就是低空急流的北部;锋生函数的切变变形场与暴雨的落区重叠;经向锋生函数的正值区呈直柱状,与南风等风速线的密集区相重叠,纬向分布的锋生函数指示了暴雨区的范围。

**关键词:** 淮河流域, 暴雨, 梅雨锋, 锋生函数

## Analysis of Meiyu Front Characters of Huaihe Valley Rainstorm

YIN Dongping ZHANG Bei SUN Yan TIAN Xinru HAN Guirong

Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008

**Abstract:** Because the rainstorm precipitation amounts in the 2003 and 2006 Meiyu seasons are concentrated in the Huaihe Valley and their total precipitation amounts are different, the article has conducted the thorough research in the frontal zone structure by using the average field method. The results can be drawn as follows. (1) There was a clear Meiyu front area while heavy rain occurred, and the rainstorm precipitation amount and the frontal zone intensity are proportional. (2) Rainstorm area was located at the frontal zone, i. e. in the north of the hot and humid areas in the middle-lower troposphere, and also north of the low-altitude jet stream. (3) The shear deformation field of frontogenesis function overlapped with the rainstorm location, and the positive frontogenesis function area was shaped as an erect column and overlapped with the densified area of south wind isotachs. (4) Zonal distribution of the frontogenesis function instructed the rainstorm coverage.

**Key words:** Huaihe Valley, rainstorm, Meiyu front, frontogenesis function

## 引 言

长期以来,许多学者对梅雨期暴雨和梅雨锋的特征做过详细研究<sup>[1-4,14-15]</sup>,丁一汇等<sup>[5]</sup>对 1991 年江淮流域持续性大暴雨进行了深入的研究;张小玲等、周功铤等和赵桂香等<sup>[6-8]</sup>分析了梅雨锋和梅汛期暴雨热力、动力结构;郑永光等<sup>[9]</sup>综合国内外不同观点的基础上,给出了梅雨锋锋区的天气学定义:梅雨锋是季风气团和其他气团之间的锋面,是位于夏季风

北风侧的相当位温强梯度带。以上研究都是针对不同过程的梅雨锋特征进行分析,而将梅雨期暴雨与锋面结构进行综合分析的研究目前还比较少。2003 年和 2006 年江苏梅雨期暴雨的落区明显北抬,主要降水带盘踞在淮河流域,虽然梅雨期长度相同,但总雨量却不同,本文在分析 2003 年和 2006 年暴雨的平均环流形势的基础上,较深入地分析了暴雨的落区和雨量大小与锋生函数分布特征和梅雨锋区强度的关系。

\* 江苏省重大科技支撑与自主创新示范工程项目(BE2008618)资助

2009 年 8 月 31 日收稿; 2010 年 2 月 23 日收修定稿

第一作者:尹东屏,主要从事天气预报方法研究. Email: ydpyl@sina.com

## 1 2003、2006 年江苏梅雨总量和淮河流域暴雨的分布特点

江苏 2003 年和 2006 年都是 6 月 21 日入梅, 7 月 12 日出梅, 梅长 22 天, 从总雨量来看, 梅雨期暴雨量集中在淮河流域、洪泽湖周边及苏北里下河地区, 这一区域出现了外洪内涝严重的防汛局面。总梅雨量分布状况是: 江苏 2003 年雨量大于 400 mm 的市县有 34 个, 主要分布在沿江以北至淮南南部地区, 有 18 个市县大于 500 mm, 其中有 4 个市(县)超

过 600 mm, 最大为金湖(636.5 mm), 沿江以北大部分地区雨量是 1961 年以来同期最多。2006 年雨量大于 400 mm 的市县有 11 个, 主要分布在江淮之间北部及淮北西北部地区, 有 1 个县大于 500 mm(大丰, 588.5 mm)。图 1 是江苏 2003 年和 2006 年梅雨期淮河流域暴雨总量的区域分布图, 可以看出大降水在 33°N 附近或以北, 2003 年淮河流域大降水区域远大于 2006 年。统计表明, 2003 年共有 12 个暴雨日, 其中有 7 天淮河流域出现区域暴雨, 2006 年有 11 个暴雨日, 淮河流域区域性暴雨一共有 6 天。

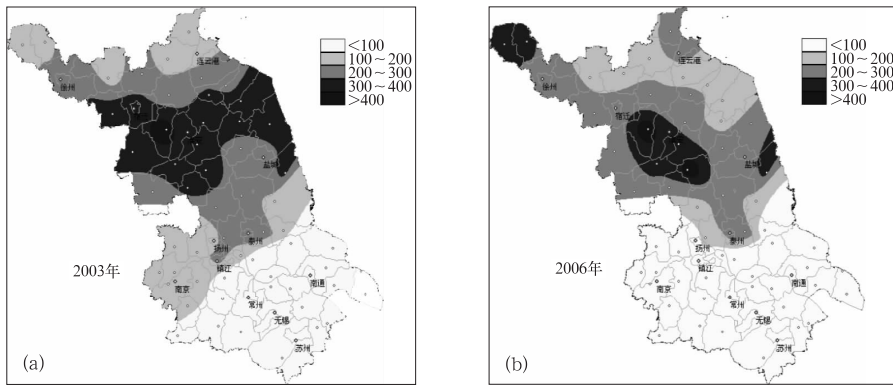


图 1 2003 年(a)和 2006 年(b) 江苏梅汛期淮河流域暴雨量分布图(单位:mm)

Fig. 1 The rainfall distribution of Jiangsu Huaihe Valley rainstorm during Meiyu seasons in 2003 (a) and 2006 (b) (unit: mm)

## 2 锋生函数的物理意义及计算方法

### 2.1 变形场

气团本身不但有自转运动和体积的膨胀和收缩, 还可以发生形变。水平变形场是最典型的锋生机制<sup>[10]</sup>。低层狭长的变形风场对锋面的产生、发展与维持起重要作用。变形风场分伸展形变  $E_{\sigma}$  和切变形变  $E_{\delta}$ , 表达式为:

$$E_{\sigma} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1)$$

$$E_{\delta} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2)$$

伸长形变的物理意义是气流在一个方向伸长, 而在另一个方向收缩所产生的变形, 切变变形是正方形在原对角线不变的条件下流点畸变的程度。

### 2.2 锋生函数

变形向量对锋区发展与维持起重要作用,  $p$  坐

标中略去非绝热项的锋生函数, 水平锋生函数的计算公式为<sup>[11]</sup>:

$$F_n = \frac{d}{dt} \left| \nabla \theta_{\sigma} \right| = - \frac{\left| \nabla \theta_{\sigma} \right|}{2} D + \frac{\left| \nabla \theta_{\sigma} \right|}{2} (E_{\sigma}^2 + E_{\delta}^2)^{\frac{1}{2}} \cos 2\beta \quad (3)$$

$F_n > 0$  为锋生,  $F_n < 0$  为锋消。公式中第一项是散度项, 有水平辐合时, 会产生锋生, 水平辐散时, 产生锋消; 第二项是变形项,  $\beta$  为变形向量膨胀轴与  $\theta_{\sigma}$  等值线的交角,  $\beta < 45^\circ$  时, 表示有锋生作用,  $\beta > 45^\circ$  时, 有锋消作用,  $\beta = 0$  时, 锋生作用最大。

### 2.3 计算方法

采用江苏省 70 个台站的雨量资料, 将 2003 年和 2006 年梅雨期间淮河流域暴雨日(区域日降水量  $\geq 50$  mm)作为分析样本。文中所用资料为 NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$  分析资料, 垂直向为 26 层, 分别将 2003 年和 2006 年江苏淮河流域梅雨期暴雨日逐日 08 时和 20 时的分析场格点资料进行合成平均, 制

作出合成平均的分析场。

### 3 环流特征

#### 3.1 暴雨期的 500 hPa 形势场

淮河流域梅雨期间,120°E 副热带高压脊线较长时间维持在 19°~27°N,淮河流域梅雨期暴雨期间,副热带高压脊线 2003 年维持在 23°~24°N,2006 年位置偏北,在 25°~27°N。

根据 500 hPa 平均环流特征(图略),120°E 副热带高压脊线 2003 年在 24°N 附近,2006 年在 25.5°N 附近,比 2003 年偏北 1.5 个纬距。5840 gpm 线维持在淮河流域,2006 年 5840 gpm 线的位置相对 2003 年偏北 0.5 个纬距。500 hPa 淮河流域均处于平直西风气流中,在其西部和北部是西北气流,2003 年的西南气流来自于副热带高压西部边缘的南海季风和四川西部低槽的印度季风,2006 年的西南气流仅来自于南海季风,从总雨量的分布得到:暴雨带位于副热带高压 5840 gpm 附近。

#### 3.2 暴雨期低空急流和 850 hPa 风场特征

低空急流是给中纬度暴雨和强风暴提供水汽和动量的最重要的机制。

图 2a、b 阴影部分为 850 hPa 风速  $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的低空急流,淮河流域暴雨期间低空急流呈西南—东北走向,低空急流与高假相当位温舌相对应,与其本身高温、高湿的特征相符。淮河流域位于低空急流的北部即假相当位温强梯度带中,也就是锋区中。低空急流处于不稳定状态,低层不稳定,非地转风大,容易产生和传播中尺度系统<sup>[12]</sup>。低空急流输送着丰沛的水汽和动量,与北方相对干的弱冷气团在淮河流域相遇,由于局地锋生所产生的动力抬升机制造成了天气的剧烈发展。淮河流域暴雨天气发生在低空急流北部和左前方。分析得到,2003 年西南暖湿气流在淮河流域形成风速辐合和风向的气旋式旋转,导致梅雨锋生。2006 年西南气流到达淮河流域后,与弱冷空气交绥,致使梅雨锋生。

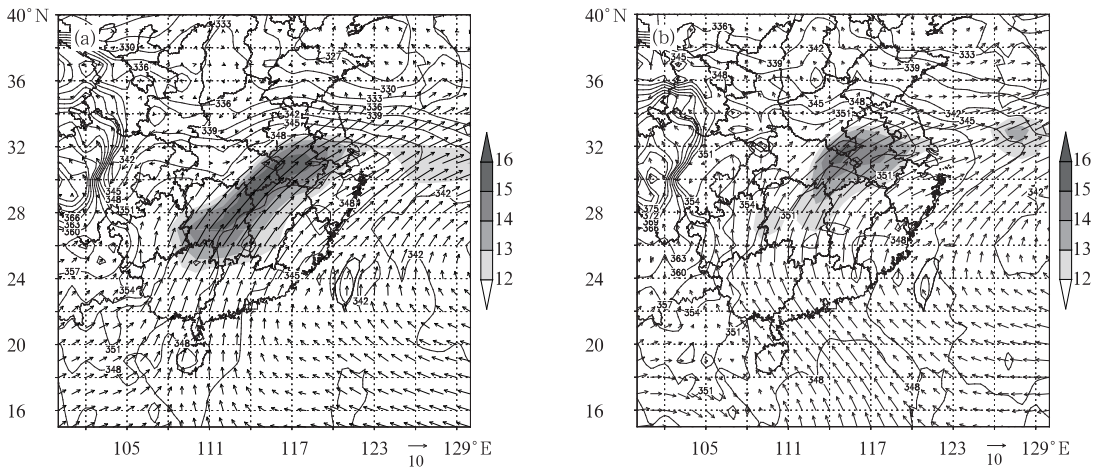


图 2 2003 年(a)和 2006 年(b)暴雨期间 850 hPa 风场、850 hPa 急流区和  $\theta_w$

(阴影部分,风速  $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,实黑曲线是等  $\theta_w$  线,单位:K)

Fig. 2 The wind field, jet stream and  $\theta_w$  at 850 hPa during the rainstorm period in 2003(a) and 2006 (b)

(shaded; wind speed is greater than  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; solid lines;  $\theta_w$  line, unit:K)

### 4 淮河流域暴雨的梅雨锋特征

#### 4.1 梅雨锋分析

梅雨锋的概念是冷暖空气在江淮流域对峙,是暖湿气流北上与北方相对冷的气团之间的交界面。图 3a、b 中,锋区在假相当位温等值线的密集区,锋区的北面是干冷空气,锋区的南面是暖湿空气,从近

地面伸至 600 hPa 的锋线近乎平行并向北倾斜,600 hPa 以下紧靠锋区的南部,高  $\theta_w$  舌和高比湿舌相重合,高比湿舌伸至 350 hPa,暴雨区在高  $\theta_w$  舌和高比湿舌的北侧,偏在冷气团一侧。高比湿舌的南部和锋区的北部 600 hPa 附近有  $\theta_w$  的低值区,而且比湿在这一区域呈漏斗状向下伸展,北部的  $\theta_w$  低值区的中心值比南部的要小 10 K。对应 850 hPa 急流分布,急流区与高  $\theta_w$  和高比湿区相重合。锋区南侧有

低空急流,锋区的对流层顶存在高空急流中心。梅雨期江苏淮河流域的暴雨产生在等  $\theta_w$  线密集区。分析锋区中的等  $\theta_w$  线的垂直分布状况得到,2006 年等  $\theta_w$  线的密集区分成两个区域:在暴雨区有一个密集区,在  $36^\circ\sim 38^\circ\text{N}$  还有一个密集区(这个  $\theta_w$  的梯度带明显比暴雨区的密集,说明北方冷空气的主力偏北,这对造成梅汛期持续性降水非常有利)。2003

年和 2006 年暴雨落区虽然都在等  $\theta_w$  线相对密集区,也就是冷暖气团的过渡区中,但锋区的强度却不同,在暴雨区域,2003 年有 10 根等  $\theta_w$  线,差值是 20 K,2006 年 6 根等  $\theta_w$  线,差值 12 K,2003 年的锋区强于 2006 年,总雨量也大于 2006 年,因此锋区强度与暴雨量的大小成正比。

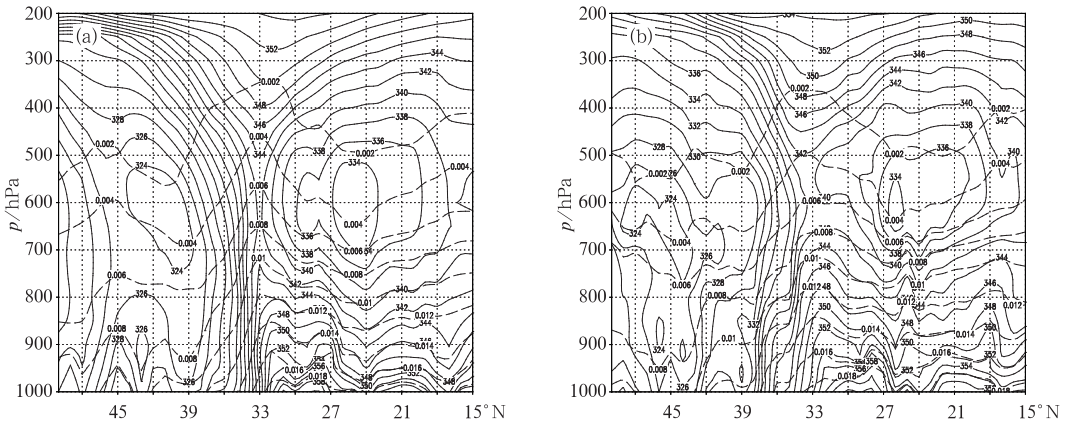


图 3 2003 年(a)和 2006 年(b)暴雨期间沿  $119^\circ\text{E}$  的假相当位温  $\theta_w$  (实线;单位:K)和比湿的垂直分布(虚线,单位:  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Fig. 3 The vertical distribution of  $\theta_w$  along  $119^\circ\text{E}$  (solid line; unit: K, the solid line is the area of rainstorm) and specific humidity(dashed line, unit:  $\text{kg} / \text{kg}$ ) during the rainstorm period in 2003 (a) and 2006 (b)

## 5 变形场特征和锋生函数

### 5.1 变形场

西南暖湿气流增强北上到达淮河流域时,对流

层低层出现明显的风速辐合,使得原来的热成风平衡遭到破坏,为了重新达到热成风平衡,风的垂直切变加大,导致地转偏差,水平温度梯度加大,出现运动学锋生。利用 850 hPa 变形场进行分析(图 4),在淮河流域暴雨期间,伸展形变  $E_{\text{ex}} > 0$ ,中心值远离

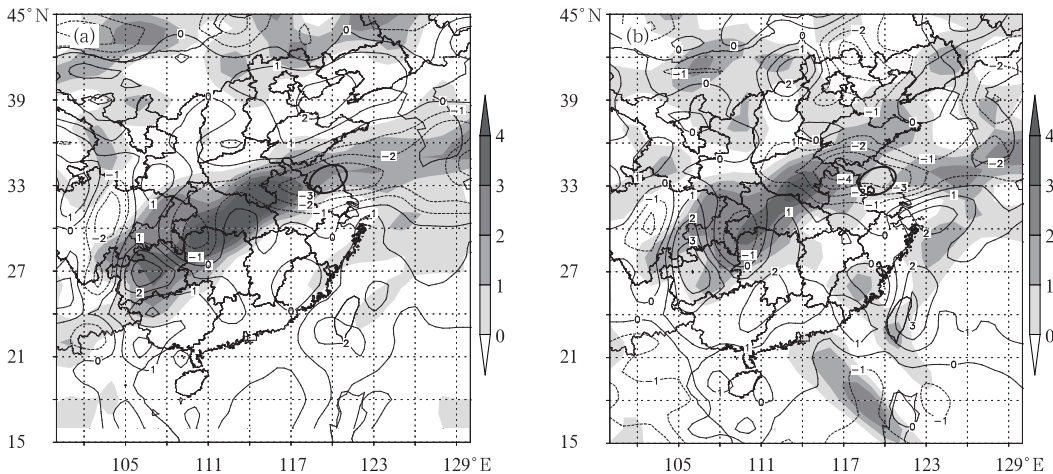


图 4 2003 年(a)和 2006 年(b)暴雨期间伸展形变(阴影部分为正值区)和切变形变(实线:正值,虚线:负值,粗实线:暴雨落区,单位为:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )

Fig. 4 The extension deformation (shaded is positive area) and shear deformation (the positive value is the solid line, the negative value is the dashed line, the thick full line is the area of rainstorm) during the rainstorm period in 2003 (a) and 2006 (b); unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$



暴雨区,位于河南南部。切变形变  $E_{\omega}$  的负值中心呈纬向分布,与暴雨区相重叠。所不同的是,切变形变的中心值略有差异,2003年为  $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,2006年是一  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  (中心在江苏的西北部,与江苏西北部较大的暴雨区相对应)。值得注意的是:虽然伸展形变的中心不在江淮流域,但是淮河流域处在伸展形变的正值区中,2003年和2006年分别为  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  和  $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,  $|E_{\alpha}| + |E_{\omega}|$  分别是  $7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  和  $5 \times 10^{-5}$ ,由此得到:暴雨产生在切变形变的大值区,但是暴雨量的大小却与变形场的大小有关,2003年的暴雨量之所以大,与变形场大于2006年有密切关系。

## 5.2 经向锋生函数和南北风场

图5a、b中,经向锋生函数随高度呈直柱状,2003年中心值在850 hPa,为  $12 \times 10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,2006年中心值在750 hPa,也是  $12 \times 10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。锋生函数的分布与前面定的锋区基本一致。2003年淮河流域附近没有北风分量,锋生函

数的正值区位于南风风速的辐合区,由南风输送的暖湿气流到达  $33^{\circ}\text{N}$  后出现倾斜上升运动,在  $37^{\circ}\text{N}$  有一支下沉气流,下沉运动的动量从低层反馈给北上的南支气流的上升支,使上升运动加强,这也是2003年暴雨量大的原因之一。2003年淮河流域的暴雨与西南暖湿气流北上产生的风速辐合有重要的联系,强盛的暖湿气流到达淮河流域后与相对冷的气团相遇并对峙,导致局地锋生。2006年有明显的北风分量,锋生函数正值区与南北风等风速线的密集区相重合,中心偏在南风等风速线密集区,南风风速的大值区在800 hPa以下,北风的大值区在600 hPa以上,850 hPa以下有明显的南北风辐合线,其位置在山东北部,  $33^{\circ}\text{N}$  即淮河流域的南北风辐合线在750 hPa以上,说明低层盛行暖湿气流,冷空气来自于中高层。辐合线的位置对应着梅雨锋区中的等  $\theta_{se}$  线的密集区。北方冷空气从高空渗透造成局部锋生所引起的深对流是2006年暴雨天气的关键(这与以前的讨论一致<sup>[13]</sup>)。

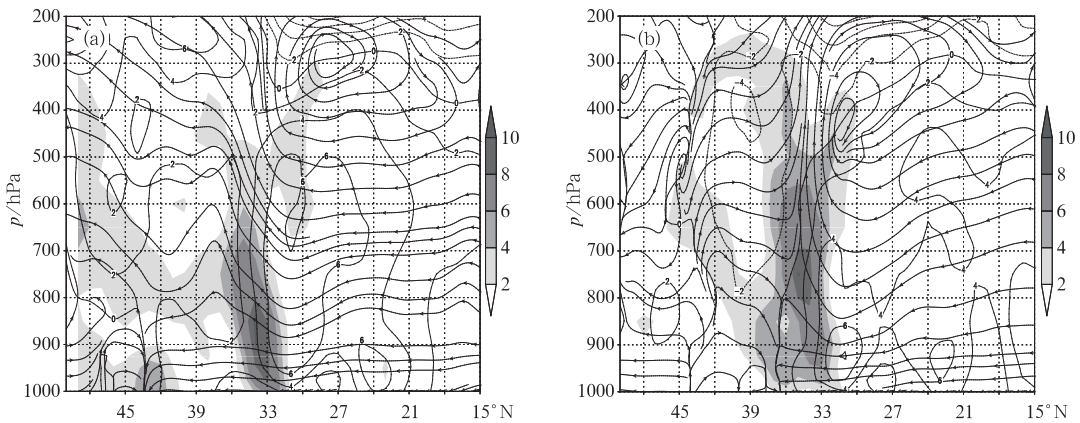


图5 2003年(a)和2006年(b)暴雨期间沿  $119^{\circ}\text{E}$  的锋生函数(阴影部分为正值区,单位:  $10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )和南、北风风速(实线:南风;虚线:北风,单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )及  $v-w$  流场(箭头曲线)的垂直剖面图

Fig. 5 The vertical cross section of frontogenesis function along  $119^{\circ}\text{E}$  (shaded area is positive, unit:  $10^{-10} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ), north or south wind velocity (positive for the south wind, solid line; negative for the north wind, dashed line, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and  $v-w$  flow field (arrow curve) during the rainstorm period in 2003 (a) and 2006 (b)

## 5.3 纬向锋生函数和东西风场

纬向剖面图(图6)中,锋生函数的正值中心区与暴雨区相对应,2003年锋生函数正值区域范围和中心值均大于2006年,锋生函数的分布与暴雨落区相一致。2003年在  $116^{\circ}\text{E}$ ,980~650 hPa 上有明显的东西风零风速线随高度向西倾斜,东西风在零线附近呈辐散状,西风形成一支斜上升气流。2006

年在  $114^{\circ}\text{E}$ ,900 hPa 以下有东西风的辐散线,产生暴雨的斜上升气流主要来自于  $111^{\circ}\text{E}$ 。这两年西风风速随高度呈下小上大分布,在500 hPa 附近有大值中心,高层辐散明显。低空急流北上导致地转偏差,为了维持地转平衡,风的垂直切变加大,即高层西风加大,低层西风减小。2003年  $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的西风风速范围从  $105^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$ ,2006年在  $122^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$ 。所以2003年地转强迫远大于2006年。另

外值得注意的是,2003年暴雨区近地面是偏东风,在 $122^{\circ}\text{E}$ 附近边界层有次级环流,其上升支就在暴雨区。根据统计,2003年梅汛期淮河流域出现了全

流域的洪涝天气,2006年淮河流域的下游出现洪涝,也就是江苏段。与锋生函数的纬向分布相一致。

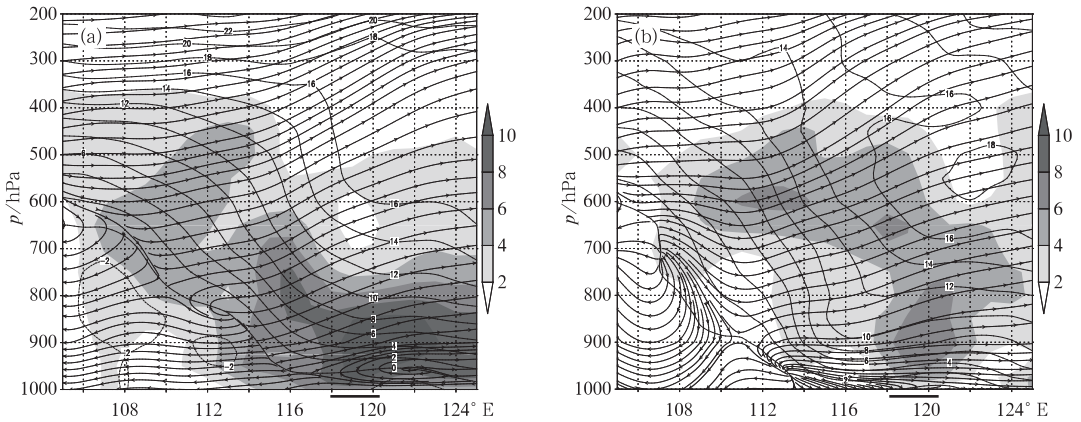


图6 2003年(a)和2006年(b)暴雨期间沿 $33^{\circ}\text{N}$ 的锋生函数(阴影部分为正值区,单位: $10^{-10}\text{K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,粗实线:暴雨落区)和东、西风速(实线:西风;虚线:东风,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )及 $u-w$ 流场(箭头曲线)的垂直剖面图

Fig. 6 The vertical cross section of frontogenesis function along  $33^{\circ}\text{N}$  (shaded area is positive, unit:  $10^{-10}\text{K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , thick solid line is the area of rainstorm), east or west wind velocity (positive for the west wind, solid line, negative for the east wind, dashed line, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and  $u-w$  flow field (arrow curve) during the storm in 2003 (a) and 2006 (b)

## 6 结论

(1) 西南暖湿气流北上在淮河流域南部形成强盛的急流带,与相对冷的大陆气团交绥对峙在副高边缘,在 $5840\text{gpm}$ 线附近即淮河流域形成了有利的强降水形势。

(2) 淮河流域暴雨期间有明显的梅雨锋区,利用等 $\theta_s$ 线的密集程度反映了梅雨锋强度,2003年强于2006年,因此暴雨的雨量与梅雨锋区的强度成正比。

(3) 梅雨锋生是造成这两年暴雨的主要系统,暴雨区位于切变变形场的负值中心,暴雨量与切变变形和伸展变形的绝对值成正比。

(4) 锋生函数的空间分布对暴雨的强度和范围具有指示意义,尤其是纬向剖面图中锋生函数的分布与暴雨的落区基本一致。

(5) 2003年江苏淮河流域暴雨产生在垂直环流的上升支和强盛的西南暖湿气流的斜上升运动区,2006年的暴雨是由频繁的南支波动与北方南下的弱冷空气交汇所致。因此有利的动力抬升条件和暖湿气流强盛也是2003年暴雨大于2006年的原因之一。

## 参考文献

[1] 倪允琪,周秀骥.我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展[J].

气象,2006,31(1):9-12.

- [2] 陶诗言,卫捷,张小玲.2007年梅雨锋降水的大尺度特征分析[J].气象,2008,34(2):3-15.
- [3] 薛建军,康志明,张芳华.2003年6月29日至7月2日淮河梅雨锋大暴雨过程诊断分析[J].气象,2004,30(1):22-27.
- [4] 尹洁,叶成志,吴贤云,等.2005年一次持续性梅雨锋暴雨的分析[J].气象,2006,32(3):86-92.
- [5] 丁一汇.1992年江淮流域持续性特大暴雨研究[M].北京:气象出版社.1993:5-240.
- [6] 张小玲,陶诗言.1998年梅雨锋的动力热力结构分析[J].应用气象学报.2002,13(3):257-267.
- [7] 周功铤,叶子祥,余贞寿.浙南梅汛期大暴雨天气分型及诊断分析[J].气象,2006,32(5):67-73.
- [8] 赵桂香,陈麟生,李新生.Q矢量和湿Q矢量在暴雨诊断中的应用对比[J].气象,2006,32(6):25-30.
- [9] 郑永光,陈炯,葛国庆.梅雨锋的天气尺度研究综述及其天气学定义[J].北京大学学报(自然科学版),2008,44(1):157-164.
- [10] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,2005:117-123.
- [11] 刘建文,郭虎,李耀东,等.天气分析预报物理量计算基础[M].北京:气象出版社,2008:226-235.
- [12] 陶诗言等.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:61.
- [13] 尹东屏,曾明剑,吴海英,等.2003年和2006年江淮流域梅雨期暴雨大尺度特征对比分析[J].气象,2008,34(8):70-76.
- [14] 胡娅敏,丁一汇.2000年以来江淮梅雨带北移的可能成因分析[J].气象,2009,35(12):37-44.
- [15] 鲍媛媛,金荣花,赵瑞霞,等.2008年东亚夏季风异常及其对江淮梅雨的影响[J].气象,2009,35(4):34-42.