

梅雨锋降水带中不同地域 大暴雨成因的对比分析

熊秋芬¹ 胡江林² 张耀存³

(1. 中国气象局培训中心, 北京 100081; 2. 中国气象科学研究院;
3. 南京大学大气科学系)

提 要: 利用 NCEP 再分析场、红外卫星云图的 TBB 值和常规观测资料对 2003 年 7 月 9—10 日长江流域梅雨锋上的一次大暴雨天气过程的成因进行了分析。结果表明: 这次梅雨锋暴雨是在有利的高、中、低层系统配置下, 不同纬度带环流相互作用的结果, 中 β 尺度深对流系统是暴雨的直接影响系统。但梅雨锋西段和东段暴雨的影响系统不完全相同。这次梅雨锋的锋面结构既有典型梅雨锋的一般特点, 又有其独特的特征, 在该次梅雨过程中不同地区梅雨锋的结构不同, 梅雨锋的结构是多样的。

关键词: 梅雨锋 大暴雨 成因 对比分析

Comparison of Causes of Torrential Rain in Different Areas on Meiyu Front Precipitation Band

Xiong Qiufen¹ Hu Jianglin² Zhang Yaocun³

(1. Training Center, CAM, Beijing 100081; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences;
3. Department of Atmospheric Science, Nanjing University)

Abstract: Based on the NCEP, TBB and observation data, the study of a torrential rain along Meiyu front in Yangtze River during July 9—10, 2003 is made. The diagnostic results show that the torrential rain on Meiyu front developed under the favorable environmental fields to cooperate with synoptic systems between the upper, middle and low levels through

the interactions of circulations among different latitudes. The direct influencing system of torrential rain is β convective system. But the influencing systems in two regions are slightly different. The structure of Meiyu front has unique characteristics apart from typical feature. The structures of Meiyu front are different in two areas and the diversities of complicating structures of Meiyu front are revealed.

Key Words: Meiyu front torrential rain cause comparison

引言

梅雨锋暴雨是夏季严重的灾害性天气,一直被广大气象工作者所关注,并且进行了大量深入的分析和研究。丁一汇等^[1-4]指出梅雨与高纬的阻塞形势和西太平洋副热带高压有关;梅雨期暴雨也是在不同尺度天气系统的共同作用下形成的^[5,6];不同的时期和地区、不同的暴雨过程以及同一过程的不同时段,梅雨锋的结构、性质可能是不相同的,梅雨锋结构具有多样性^[7]。

梅雨锋雨带上存在多个降水中心^[5],以往的研究大多数是对某一降水中心或某一区域的平均场进行的,而对同一雨带上的不同降水中心对比分析较少;张小玲等^[8]对单个的降水中心特征进行了讨论,概括出长江流域梅雨锋上主要有三类暴雨。本文试图对同一次梅雨锋暴雨过程中两个不同降水中心的成因作对比分析,探讨在相同的环流背景下,两者在主要影响系统、云系特征、梅雨锋的结构等方面的异同,以期对梅雨降水的预报有指导意义。所使用的资料为每6小时一次的NCEP再分析场($1^\circ \times 1^\circ$)、逐小时红外云图的TBB值($0.1^\circ \times 0.1^\circ$)和常规的观测资料。

1 天气背景分析

1.1 暴雨过程概况

2003年7月8—10日在长江流域的梅

雨锋上发生了一次大暴雨天气过程,本文重点分析7月9日08时—10日08时(北京时间,下同)的主要降水时段。如图1所示,这一时段的降雨西起贵州北部、东到长江中下游沿江一带,呈准静止状态,是典型的梅雨天气过程。降雨带上雨量分布不均匀,最大降水中心(200.5mm)在湖南西北部的桑植,该处存在持续的、停滞不动的强降水中心;次大中心(138mm)在湖北麻城,这个降水中心在10日02时以后有一个明显的加强过程;此外在安徽铜陵、贵州思南、湖北汉川分别有局地100mm的降水中心。

本文主要对湖南西北部的最大降水中心(梅雨锋西段^[8])和湖北东北部—安徽西部的次大降水中心(梅雨锋东段)进行对比分析。

1.2 环流背景及主要影响系统

1.2.1 大尺度环流背景

7月8—10日暴雨发生时100 hPa(图略)上南亚高压中心稳定地位于伊朗高原($30^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 、 $50^\circ \sim 60^\circ \text{E}$)上空,脊线向东伸展到 120°E ,位于 $26^\circ \sim 29^\circ \text{N}$ 。这种分布特征属于西部型环流,长江流域处于南亚高压的东北象限,对应着长江流域多雨^[9]。

7月8—10日500hPa(图略)欧亚中高纬($50^\circ \sim 70^\circ \text{N}$)有3个稳定的高压脊(呈阻塞型高压),分别位于乌拉尔山、贝加尔湖北部、鄂霍茨克海地区。在阻塞高压南部中纬度 $35^\circ \sim 45^\circ \text{N}$ 为平直西风带。在低纬地区,副热带高压主体位于西北太平洋上,

5880gpm 线西脊点位于东南沿海地区, 120°E 上的脊线在 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间。长江中下游地区处于西南暖湿气流与携带北方弱冷空气南下的偏北气流之间的汇合区, 即有利于降水的梅雨锋锋区中。这次暴雨过程的中高纬的三高型环流形势不同于常见的江淮流域梅雨期的双阻形势^[10]。9 日 08 时开始, 青藏高原东部有西风槽缓慢向东移动影响长江流域。

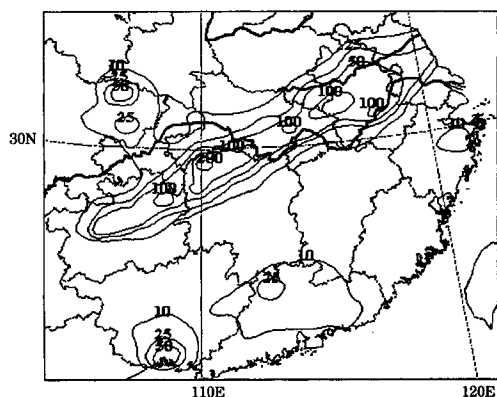


图1 2003年7月9日08时—10日08时
降水量 (mm) 分布

1.2.2 中、低层影响系统

下面重点分析这次梅雨锋暴雨中的静止锋、切变线和低涡。

(1) 地面准静止锋

暴雨期间, 地面准静止锋位于湖南北部、江西西北部至安徽、江苏的中南部。9 日 17 时在准静止锋上 (洞庭湖南部) 有中 α 尺度气旋性涡 (环流) 生成。此后缓慢向东北方向移动, 10 日 08 时移到安徽西部, 梅雨锋东段的降水也随着气旋性涡的生成、发展而得到加强。

(2) 切变线及低涡

在 850 hPa 天气图上长江沿线有一条东北—西西南走向的切变线, 以冷式切变为主, 其北侧为东移的河套小高压, 南侧为稳

定的副热带高压, 强降水中心位于切变线附近。根据 NCEP 6 小时一次的再分析资料可以得到, 10 日 08 时在切变线上有一水平尺度约 500km 的中 α 尺度低涡生成, 中心位于 31.5°N 、 114°E , 且有闭合的 1440gpm 等高线相配合 (图 2a)。同样在 700hPa 天气图上也有一条东北—西南向的切变线, 这条切变线在 113°E 以西为由西南涡向东延伸的暖切变, 而 113°E 以东则变为冷式切变, 降雨带基本上位于该切变线的南侧; 10 日 08 时沿切变线在 32.5°N 、 114°E 附近也有一中 α 尺度低涡生成 (图 2b), 但没有闭合的等高线相配合。

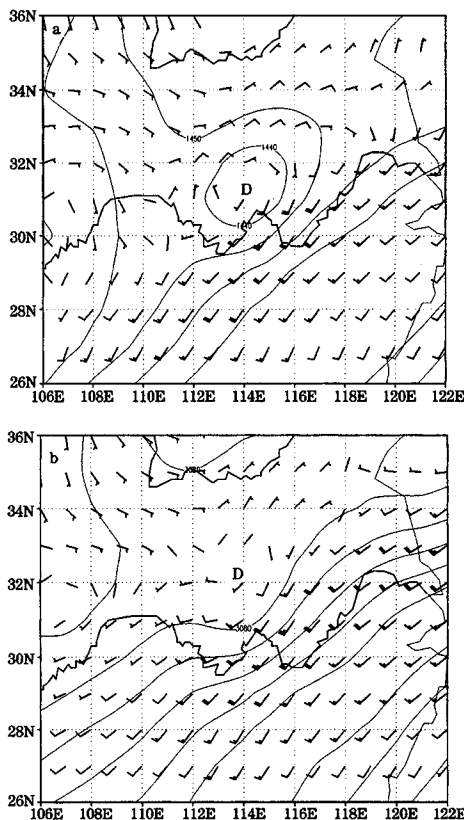


图2 2003年7月10日08时850hPa (a) 和
700hPa (b) 风 (流) 场及高度场 (gpm)
D 为中尺度低涡中心

1.2.3 卫星云图 TBB 分析

将红外云图的 $TBB \leq -50^{\circ}\text{C}$ 定义为深对流^[8],来讨论这次梅雨锋暴雨过程中的中尺度深对流系统(MCS)演变特征。从逐小时的 TBB 值可以看出:暴雨过程中长江流域及江淮之间一直是对流活跃的地区(图略),云系的分布与降水带的分布一致。梅雨锋暴雨主要发生在两条中 α 尺度云带上,云带还包含着中 β 尺度和中 γ 尺度深对流系统。其中 9 日 08 时在 28.5°N 、 111°E 和 30.5°N 、 115.5°E 附近分别有中 β 尺度的深对流系统存在。前者先在原地停留 3 小时,然后缓慢向东北方向移动,生命史约 8 小时;后者减弱东移,生命史约 6 小时。10 时在 30°N 、 115°E 有中 γ 尺度的深对流系统生成,并迅速发展成为中 β 尺度的深对流系统,沿 $30\sim 32^{\circ}\text{N}$ 移动,生命史约 7 小时。16 时在 28.5°N 、 110°E 和 29°N 、 115°E 附近又有新的中 β 尺度的深对流系统生成,后者在东移时迅速减弱,而前者则不断发展并东移到长江中游,23 时以后西风槽云系逼近时,先后又有 3 个中 β 尺度的深对流系统在 29°N 、 110.5°E 附近生成并沿相同路径东移,生命史均在 6 小时以上。因此梅雨锋西段的降水中心是由 5 个中 β 尺度深对流系统的停滞或生成引起的,这些 MCS 生成和移动都在中低层切变线及其附近,其中 3 个中 β 尺度深对流系统沿同一路径传播并与西风槽云系结合使梅雨锋东段的降水加强。

由此可见,尽管在相同的大尺度环流背景下,梅雨锋西段的降水是由 500hPa 槽前切变线产生的持续性降水,而梅雨锋东段降水伴随着切变线和切变线上生成的中尺度低涡及地面静止锋上生成的气旋性涡。中 β 尺度深对流系统是暴雨的直接影响系统。

2 梅雨锋的热力、动力结构分析

下面从热力场、动力场等方面揭示梅雨

锋的水平和垂直结构和特征,并对梅雨锋东段和西段的热力、动力结构的异同进行分析。

2.1 梅雨锋的水平结构和特征

2.1.1 湿度场和温度场的水平分布

850hPa 假相当位温 (θ_w) 表明(图略),长江沿线及江淮地区是 θ_w 最密集的地区,即存在一条东东北—西西南向的 θ_w 锋(梅雨锋); θ_w 的大值区 ($344\sim 348\text{K}$) 位于锋区南侧的沿江江南一带。另外在 θ_w 的大值区南侧的江南、华南地区也存在弱的 θ_w 锋,这种北湿南干的 θ_w 锋位于副热带高压的边缘,是与梅雨锋相对的副热带锋,即它与梅雨锋一起构成了长江中下游地区的双锋梅雨锋系^[7,11],湿度场的这种分布具有梅雨锋的普遍特征。

从温度场分布来看(图略),梅雨锋和暴雨带在对流层低层表现为一条冷带,中国东部温度场表现为中间冷、两侧暖的特殊“三明治”结构,但长江沿线及江淮地区的温度锋区不如湿度锋区明显^[4,7]。

2.1.2 动力场的水平分布

(1) 水汽通量矢量和水汽通量散度

由水汽通量矢量(图略)可知:水汽输送主要集中在对流层低层 850hPa 以下,梅雨锋西段暴雨的水汽主要来源于孟加拉湾的西南水汽带和黄海的偏东气流的输送,而梅雨锋东段暴雨的水汽则是自孟加拉湾的西南气流、西北太平洋低纬洋面和南海的东南气流以及黄海的偏东气流共同输送。水汽通量散度(图略)表明长江流域的暴雨区上空的辐合主要在 850hPa 以下,西部的水汽的辐合中心 ($-9\times 10^{-6}\text{kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 比东部的 ($-8\times 10^{-6}\text{kg}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 强且持续时间长,两个中心的水平范围均在 500km 左右,为中 α 尺度,它们分别对应着梅雨锋西段和梅雨锋东段的暴雨中

心。

(2) 散度和相对涡度

暴雨期间,梅雨锋一直是低层辐合区,同时也维持一个正涡度带(图略),位于低空西南急流的左侧、高空西风急流的右侧,具有梅雨锋的一般特征。两个暴雨中心也基本对应着低层的正涡度中心($4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)和辐合中心($-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$),其中 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心与中低层切变线上生成的中尺度系统密切相关;暴雨区上空对流层上层有负涡度中心($-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)和辐散中心($2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)。同时涡度和散度中心的水平范围在 500km 以内,具有中尺度特征。

2.2 梅雨锋的垂直结构

为了进一步分析两个暴雨中心对应的梅雨锋的热力、动力结构异同点,本文选择 7 月 9 日 20 时(作为梅雨锋西段暴雨中心的特征时刻)沿 110° E 和 7 月 10 日 08 时(作

为梅雨锋东段暴雨中心的特征时刻)沿 115° E 的空间剖面图来进行对比分析。

2.2.1 湿度场的垂直结构

图 3 给出了梅雨锋东段和西段比湿和假相当位温经向剖面。从图 3a 中可以清楚地看出,梅雨锋东段暴雨区上空是深厚的湿舌,一直伸展到了 350hPa,湿舌南、北两侧的空气存在着明显的干、湿对比。 θ_{se} 高值区的“漏斗”状结构明显,并向下伸展,其南、北两侧在中层是 θ_{se} 的小值区,即南、北两侧各存在一个与湿度锋区对应的 θ_{se} 密集带,且北侧密集带梯度大于南侧的密集带的梯度。通常把北侧的 θ_{se} 密集带和比湿梯度最大处定义为梅雨锋区^[12],这个锋区在 850hPa 层以下略向南倾,是一个相对弱的大气不稳定对流区;而向上伸展到 600hPa,南北宽约 250km,略向北倾,是潮湿的中性层结。梅雨暴雨区和锋区几乎是分离的,降水主要发生在锋区南侧弱的对流不稳定区和湿中性层结的大气中。

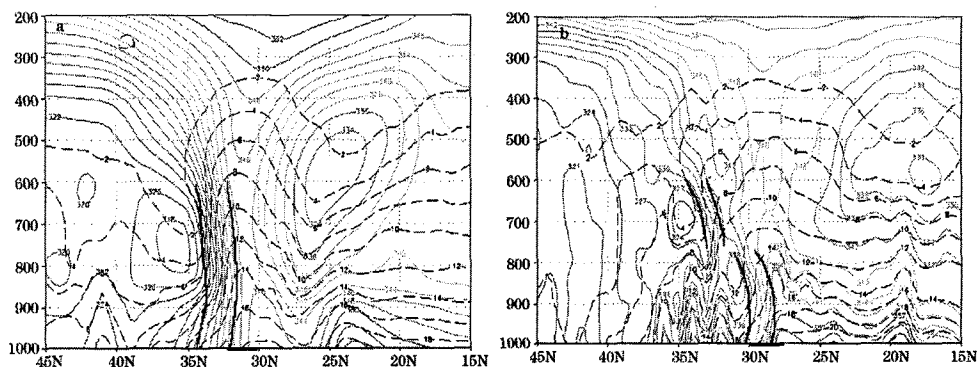


图 3 2003 年 7 月 10 日 08 时沿 115° E (a) 和 9 日 20 时沿 110° E (b) 比湿(虚线, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和假相当位温(实线, K)的经向空间剖面

双实线为梅雨锋区,图底粗实线为暴雨区对应的纬度

图 3b 与图 3a 显著的差别是,梅雨西段暴雨区及其南侧上空的湿舌比较宽阔,且南

侧对流层中低层更湿,干、湿对比不明显;而其北侧在 850hPa 和 700hPa 各有相对的

干区,湿度对比仍比较明显。中层 θ_w 密集带减弱,梅雨暴雨区南侧低层(800hPa以下)的 θ_w 值较高, θ_w 低值中心在600hPa附近,纬度偏南(南海),副热带锋区仅存在于对流层中层;而梅雨暴雨区北侧 θ_w 则有两个低值中心,分别位于850hPa和700hPa。梅雨锋区从地面到900hPa以下是弱的对流不稳定区,略向南倾,900hPa以

上 θ_w 随高度向北倾斜,达到600hPa,但锋区在1000~800、800~600hPa可分为不相连的两段,分别与两个 θ_w 的低值和比湿的干区相对应,表明该处梅雨锋在对流层中下层具有二重锋区结构,具有独特的锋区特征。

2.2.2 动力场的垂直结构

图4给出了梅雨锋东段和西段散度、水

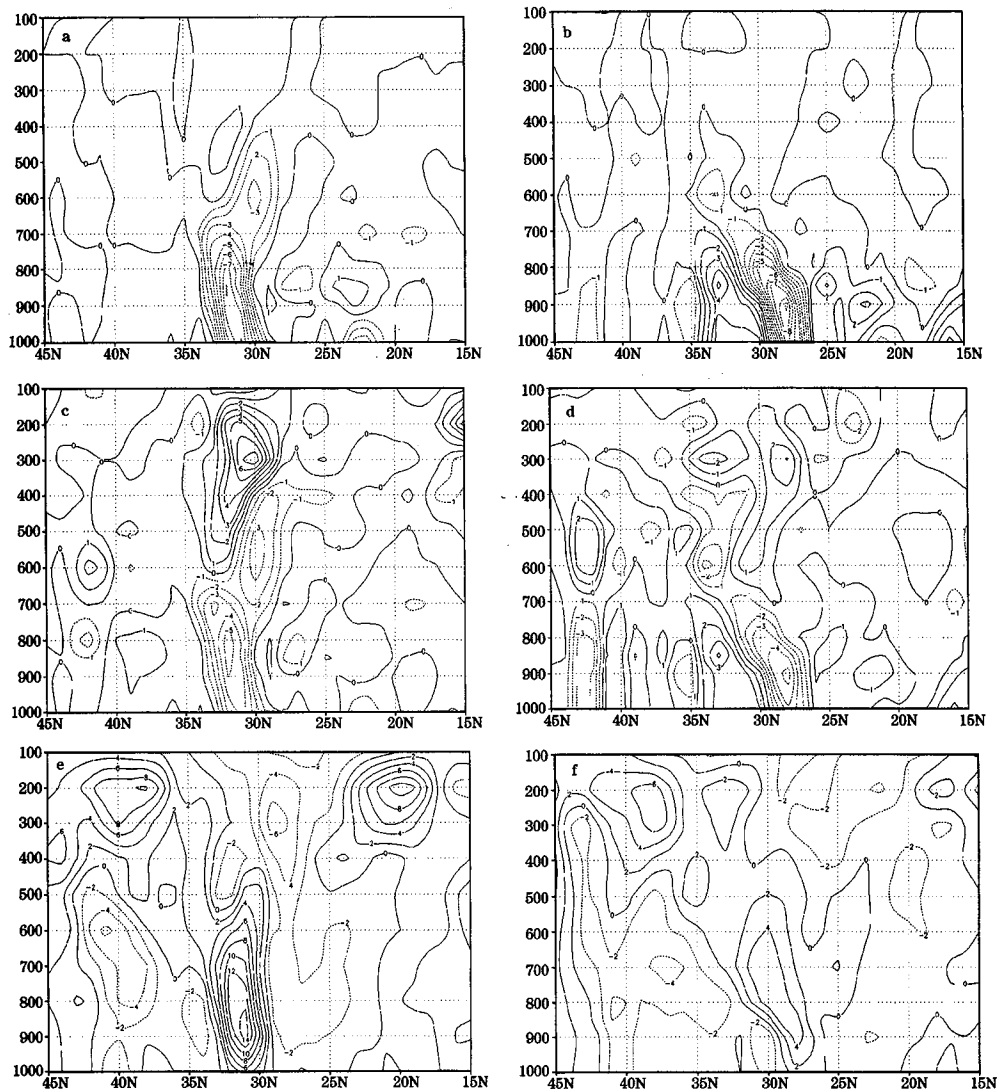


图4 2003年7月10日08时沿115°E和9日20时沿110°E水汽通量散度、散度及相对涡度经向空间剖面
a, b: 水汽通量散度 ($10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); c, d: 散度 (10^{-5} s^{-1}); e, f: 相对涡度 (10^{-5} s^{-1})
a, c, e: 10日08时沿115°E剖面; b, d, f: 9日20时110°E剖面; 图底粗实线表示暴雨区对应的纬度

汽通量散度、相对涡度剖面。从图 4 可见,东段水汽通量辐合区和散度辐合区、正涡度柱随高度向北的倾斜度极小,斜压性很弱;而西段水汽通量辐合区、散度辐合区、正涡度柱随高度向北的倾斜,为斜压结构。西段水汽辐合在边界层(900hPa)最大,比东段水汽辐合最大层次(850hPa)低。东段暴雨区上空有高层辐散、低层辐合的接近垂直叠置的散度中心,以高层辐散,低层辐合为主;而西段辐散、辐合主要发生在对流层低层且持续时间长。低层辐合(散)区、正涡度柱的南北宽均在 300km 以内,也具有中尺度特征。

2.2.3 风场垂直结构

图 5 为沿梅雨锋东段暴雨中心的纬向和经向空间剖面。由图可知:最强上升运动($-18 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)出现在梅雨雨区上空 500hPa 附近;梅雨锋区处于气流的上升支,上升气流从低层梅雨雨区所在地(辐合区)上升,直到高空 300hPa 附近才散开,此处为西南风和西北风形成的强辐散区,因此梅雨锋区及暴雨区存在着低层辐合(正涡

度)、高层辐散(负涡度)这种有利于上升运动和中尺度系统维持、发展的高低层配置。在梅雨锋区的北侧,存在低层东北风上升、高层西南风下沉的热力反环流圈;而在梅雨锋区的南侧,中低层为西南暖湿空气上升,高层为东北风下沉,这样在低层和高层之间形成了西南—东北向的热力正环流圈,这种低层为西南风、高层为东北风的耦合关系也是江淮流域暴雨特有的^[10]。结合图 5b 和图 3a 可以得出,梅雨暴雨区与上升运动区及湿中性层结区对应较好,这种湿中性垂直运动有利于中 β 尺度系统的形成和发展^[13]。

另外,梅雨锋区内南北风的垂直变化很弱,而水平变化却是较明显的;从等温线的垂直分布来看,对流层中低层梅雨锋区为下冷上暖的结构,冷区在 700hPa 以下,暖脊随高度逐渐向北倾斜,且无明显水平温度梯度(图 5b)。弱的风垂直切变和温度场都说明了梅雨锋区内的斜压性是很弱的,也说明具有梅雨锋的一般特征,这与该处相对涡度、散度等物理量分布一致。

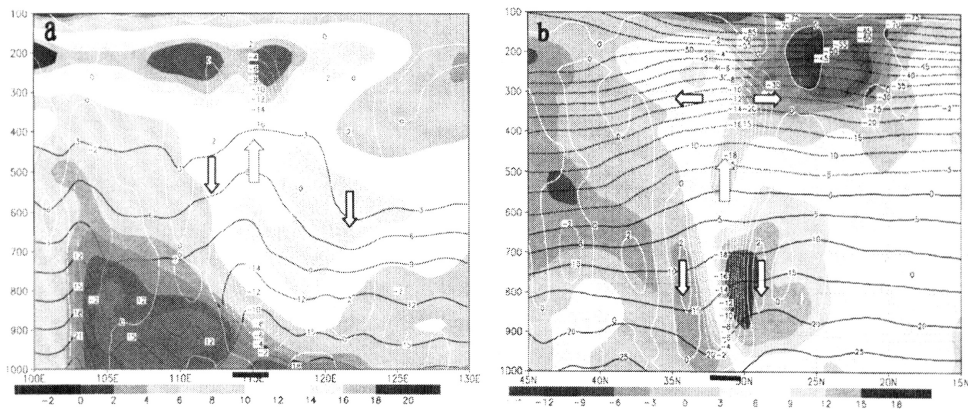


图 5 2003 年 7 月 10 日 08 时沿 31°N (a) 和沿 115°E (b) 风(灰色 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、比湿(黑线, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和垂直速度(白线 $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)空间剖面

图底粗实线分别为暴雨区对应的经度和纬度

图6为沿梅雨锋西段暴雨中心的纬向和经向空间剖面,梅雨锋区北侧800hPa以下有一支东北气流,而到800hPa则转为东南气流,东南气流之上的600hPa则变为西北气流,这样在800hPa以下是东北风与西南风的冷式切变线,而800~600hPa是东南风与西南风的暖式切变线,这与天气图上的

分析是一致的。在梅雨锋区南侧,也存在中低层西南风上升、高层东北风下沉的热力正环流圈;而在梅雨锋北侧,由于风场的分布比较复杂,因此次级环流圈不是单一的,这种分布与图5中的明显不同。由图6b和图3b可以得到,梅雨暴雨区对应着梅雨锋区、上升运动区和高湿区。

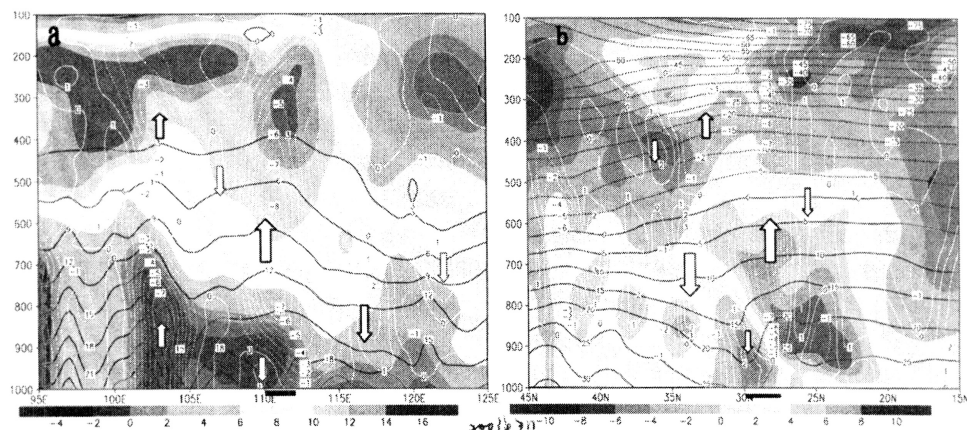


图6 2003年7月9日20时沿29°N (a)和沿110°E (b)风(灰色, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、比湿(黑线, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和垂直速度(白线, $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)空间剖面

图底粗实线分别为暴雨区对应的经度和纬度

图6也反映出梅雨锋区内东西风和南北风水平及垂直切变都很大,表明梅雨锋具有斜压性。温度场的分布情况是:梅雨锋区在800hPa以下为冷性,向上逐渐变为暖性,也为下冷上暖的结构;但800hPa以下温度锋水平梯度较大,说明梅雨锋是斜压的。这也与该处相对涡度、散度等物理量分布一致。

以上的分析表明,这次大暴雨过程中,梅雨锋是一条湿度锋,也是低层辐合区和正涡度带,具有梅雨锋的一些普遍特征;梅雨锋东段和西段的降水在水汽的来源及辐合、物理量的强度、持续时间及随高度的空间分布、梅雨锋区结构以及垂直环流特征等方面都有所不同。

3 结论

通过对同一次梅雨锋暴雨过程中不同降水中心在天气背景、云系特征、梅雨锋的结构等方面的分析,可以得到如下结论:

(1) 这次梅雨锋暴雨是在有利的高、中、低层系统配置下,不同纬度环流相互作用的结果。

(2) 在相同的天气背景下,梅雨锋西段降水类似于文献[8]中梅雨锋西端深厚槽前的持续性暴雨,而梅雨锋东段降水类似于文献[8]中梅雨锋上初生气旋暴雨。中 β 尺度深对流系统是暴雨的直接影响系统。

(3) 从梅雨锋的水平结构特征和沿

115°E 的空间剖面来分析,这次梅雨锋具有典型的梅雨锋特征;而沿 110°E 的空间剖面与典型的梅雨锋结构差异很大,具有斜压性和二重锋区等特征。因而同一次暴雨过程不同地区的锋面结构可以相差很大。

参考文献

- 1 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1993: 1-255.
- 2 陶诗言, 倪允琪. 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: 1-184.
- 3 鲍媛媛, 李锋, 矫梅燕. 2003 年淮河流域特大暴雨期间低纬环流分析 [J]. 气象, 2004, 30 (2): 25-29.
- 4 杨克明, 许映龙, 王东升等. 长江中下游梅雨锋暴雨的结构和特征 [J]. 气象, 1998, 24 (2): 13-17.
- 5 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 气象出版社, 1980: 1-255.
- 6 赵玉春, 王叶红. “7.22” 长江中游暴雨中尺度系统的数值模拟与分析 [J]. 气象, 2005, 31 (1): 13-18.
- 7 赵思雄, 陶祖钰, 孙建华等. 长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究 [M]. 见: 倪允琪, 周秀骥主编. 国家重点基础研究发展规划项目《我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究》研究专著系列丛书之一. 北京: 气象出版社, 2004: 43-52.
- 8 张小玲, 陶诗言, 张顺利. 梅雨锋上的三类暴雨 [J]. 大气科学, 2004, 28 (2): 187-204.
- 9 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 127-129.
- 10 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.
- 11 Gao Shouting, Zhou Yushu, Lei Ting. Structural Features of the MEIYU Front System [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2002, 16 (2): 195-204.
- 12 王建捷, 陶诗言. 1998 梅雨锋的结构特征及形成与维持 [J]. 应用气象学报, 2002, 13 (5): 527-536.
- 13 许焕斌, 丁正平. 湿中性垂直运动条件和 β 系统的形成 [J]. 气象学报, 1997, 55 (5): 602-610.