

长江中下游梅雨锋暴雨的结构和特征

杨克明 许映龙 王东生 刘江云

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

应用国家气象中心 HLAFS 模式计算的物理参数,对 1996 年长江中下游地区梅雨期一次持续性大暴雨过程形成的物理条件进行了诊断分析,给出了梅雨锋强暴雨的风场、垂直环流及其有关的物理量场结构和分布特征,所得结果有利于实时预报业务和科研工作。

关键词: 梅雨锋 垂直环流 不稳定层

引 言

1996 年梅雨期间,长江中下游地区出现了持续性暴~大暴雨,其雨量之大、持续时间之长、影响范围之广为近几十年来所罕见。一些研究文章已指出梅雨锋暴雨出现在一定的大尺度环流背景下,梅雨锋的性质与极锋很不相同^[1],因此要了解梅雨锋暴雨的成因,进一步分析研究其结构和特征很有必要。

本文利用国家气象中心 1995 年 6 月开始投入业务使用的 HLAFS 模式计算的 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬距格点资料,对梅雨活跃时段 7 月 1~5 日大暴雨过程的梅雨锋暴雨的结构和特征进行了分析诊断,以探讨暴雨发生的规律。

1 梅雨概况

1996 年,长江中下游地区 6 月 2 日即已入梅,比常年提前 16 天,出梅日为 7 月 22 日,梅雨期长达 50 天,同 1954 年相当。在梅雨期间,梅雨锋上暴雨频繁、强度大、持续时间长、影响范围广,造成了严重的洪涝灾害。

6 月上旬~7 月中旬,长江中下游大部分地区以及贵州大部、广西北部的总雨量为 300~500mm(图略),其中,长江中下游沿江地区和贵州大部达 500~700mm,较之常年

同期大部地区偏多 5 成至 1 倍,安徽大部、湖南部分地区偏多 1~2 倍,安庆、屯溪、苏州等地降雨量是 1949 年以来同期最大值,不少地区突破了历史多项气象记录,如 7 月 14 日湖北洪湖降水量达 247mm,突破了该地 7 月日雨量的最大记录;16 日该地区 6 小时降水量达 128mm,也破了历史记录。湖南、湖北、广西出现了大洪水,其中湖南的沅江、资水、洞庭湖和长江中游的部分河段及广西柳江出现了超过历史实测的最高洪水位,长江干流武汉河段 7 月中旬出现了 1949 年以来的第二位洪水。

2 梅雨环流形势

1996 年 6 月 2 日,欧亚地区建立了较为典型的双阻型环流形势,即乌拉尔山到西西伯利亚平原为一个较强的高压脊、俄罗斯远东地区至雅库茨克一带是一个阻塞高压,两个高压脊之间为一个宽广的低槽区,35~40°N 是平直的西风环流;在中低纬度上、西太平洋副热带高压呈带状分布在华南、南海及以东洋面上,其西北侧的暖湿西南气流向北输送;冷空气从巴尔喀什湖冷槽中分裂出来,随短波槽东移,经新疆和河西走廊南下,

另一股从贝加尔湖南下,与暖湿气流频繁地交汇在长江中下游一带,梅雨期开始。

3 梅雨锋暴雨的结构和特征

以1996年7月1~5日长江中下游大暴雨过程为例,采用HLAFS模式,(分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$)计算的物理量场对强暴雨持续阶段进行诊断,分析梅雨锋暴雨结构和主要特征。

3.1 风场

利用p坐标中锋生函数 $\frac{d}{dt}|\nabla_2 S|$ 展开式中的变形项:

$$\text{def}_x = (u_x - v_y) \sec 2\phi^{[2]}$$

计算了梅雨锋变形风场。计算结果如图1所示。在西太平洋副热带高压和黄河流域高压脊之间,从西南低压到梅雨锋带形成一条长达2000km的强变形风场带,其上对应低层冷暖切变线分别有两个强变形风场中心,西边中心值为 $72.3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$,东边为 $64.9 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$,且伸展轴与水平变形轴基本趋于平行,从而有利于沿整个梅雨锋带的锋生作用。梅雨锋是两种气团界面附近的降水系统,它是由青藏高原南侧与季节活动有密切关系的偏南气流以及北侧与冷空气有联系的偏北气流分别东移,然后在长江流域一带汇合而成(图2)。在850hPa切变线以北的气流可追溯到黄河流域的一个反气旋环流(图略),这里有深厚的下沉气流(图3),说明从低层流入梅雨锋变形带的北方气流来源于较高气层。但经过下沉后而汇入梅雨锋时,与南方季风气流的差别不大,不能造成明显的斜压特征。因此,变形场的平流锋生作用只能造成湿度差异而不是温度差异,这与极锋根本不同。

这种锋生作用在梅雨锋暴雨过程中表现为:在暴雨发生前,伴随着印度季风的加强,副高西北侧低空急流有一次显著增强过程,携带着冷空气的偏北气流经河西走廊或华北

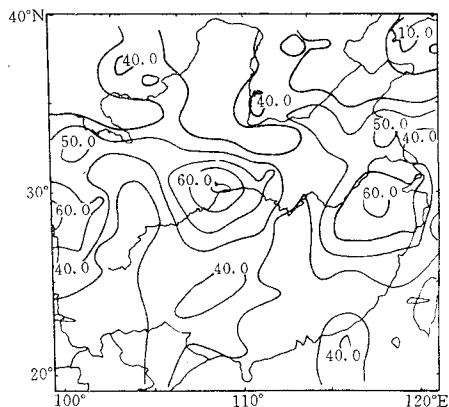


图1 1996年7月3日08时850hPa梅雨锋带的变形场(单位 10^{-6}s^{-1})

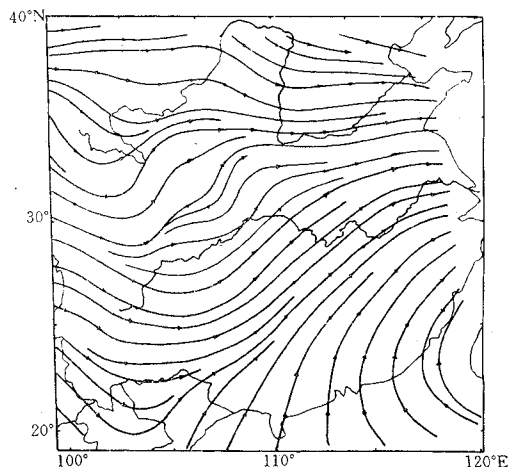


图2 1996年7月1~5日500hPa平均流场

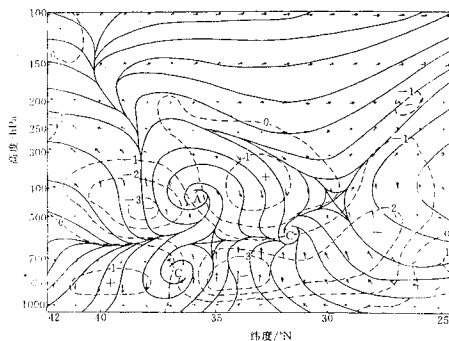


图3 1996年7月3日08时沿 110°E 垂直环流(单位: 10^{-3}hPa^{-1})
实线为流线,虚线为 ω 等值线

南下,与低空急流之间建立一条冷式切变线,与西南低涡相连,弱冷锋锋生。与此同时,在长江中下游一带常出现明显的气旋性切变。在锋生区北边,风向多由东北转东南,风力有所加大,湿度急剧变大,暖锋锋生,在中低层形成低涡切变形势。地面上冷暖锋与低压相连接,生成一个弱的气旋波,暴雨区分布在气旋中心及气旋路径右前方,然后气旋东移入海,降雨东退减弱。

3.2 垂直环流

通过中低层低涡附近的经向垂直环流剖面图(图3)可以看出,在 36°N 以南 700hPa 以下为较强的上升气流,对应着副高西北侧西南低空急流, 700hPa 上的上升速度最大值达 $3.4\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而与高层青藏高原东侧的强北风和西风急流相对应,在 $30\sim 35^{\circ}\text{N}$ 上空 $500\sim 250\text{hPa}$ 之间盛行一支水平范围大约 600km 的辐散下沉气流,同西北地区东部高空上升气流组成一个尺度较大的反环流圈,下沉速度极值在 400hPa 上,极值为 $1.8\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这支下沉气流一部分在 300hPa 以上伴随高层的东北风向南流,与 29°N 以南辐合上升气流汇集,使上升支大为加强。绝大部分沿反环流前部流向中低层,与上升气流汇合,在汇合的入口区 $30\sim 32^{\circ}\text{N}$ 梅雨锋上 $700\sim 500\text{hPa}$ 处与低层辐合上升气流形成一个垂直正环流圈;它再往北分流,在 $35\sim 38^{\circ}\text{N}$ 的中低空也建立一个垂直正环流圈。暴~大暴雨出现在高低空两支急流汇合的 $30\sim 33^{\circ}\text{N}$ 纬度内,即中低空低涡的东南侧和切变线的南侧。高低空急流的这种耦合关系是梅雨期暴雨中特有的,它构成了以两支急流为上下支的特殊的次级环流。对梅雨期暴雨的发生及梅雨锋维持有重要的意义^[3]。

3.3 温度场

图4是穿过暴雨区西北东南向垂直剖面图,在图中,安康至南阳上空 600hPa 以下层等温线略有下凹,梅雨锋位于南阳以西,锋区两侧的温差很小,与极锋不同,暴雨中心南侧上空 350hPa 以下层等温线是上凸的,汉口的温度比东西两侧偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,但是 θ_{se} 线的梯度和湿区相当清楚,南阳以西较以东低层大气的 θ_{se} 要小得多,说明西部有干冷空气,以东 700hPa 以下 θ_{se} 很大,对应副高西侧的西南急流,并且 θ_{se} 小值区从 $700\sim 500\text{hPa}$ 层间向东伸展与杭州中层 θ_{se} 低值区相连,使暴雨区内低层为不稳定层。暴~大暴雨发生在南阳及其东南方豫南、鄂东和皖南地区。

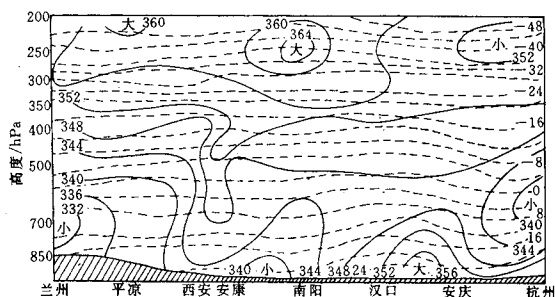


图4 1996年7月3日08时垂直剖面
实线为等 θ_{se} 线,虚线为等温线

3.4 湿度场

伴随低空西南急流在梅雨锋南侧出现东北西南向强的水汽通道。从水汽输送计算结果可知,水汽主要从 500hPa 以下层向暴雨区输送,以 700hPa 层最大,中心最大值达 $-3.5\times 10^{-7}\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$,各层比值为 $1000:850:700:500=2.4:2.1:2.8:1$ 。从水汽水平输送来看,在暴雨未发生前(7月1日),对应印度季风槽前部和副高西北侧的西南气流,在中南半岛西北部到西藏东部和南海中北部到长江中下游低层分别是两个水

汽输送区域,揭示了暴雨水汽来源于孟加拉湾和南海。2日以后,西边水汽辐合区向东伸展(图 5a)与东边的辐合区打通;东边辐合区逐渐向东向北扩展并出现几个大值中心(图

5b),与低空急流活动较为一致,从而说明了低空急流对暴雨的水汽、热量和动量输送起了重要作用。

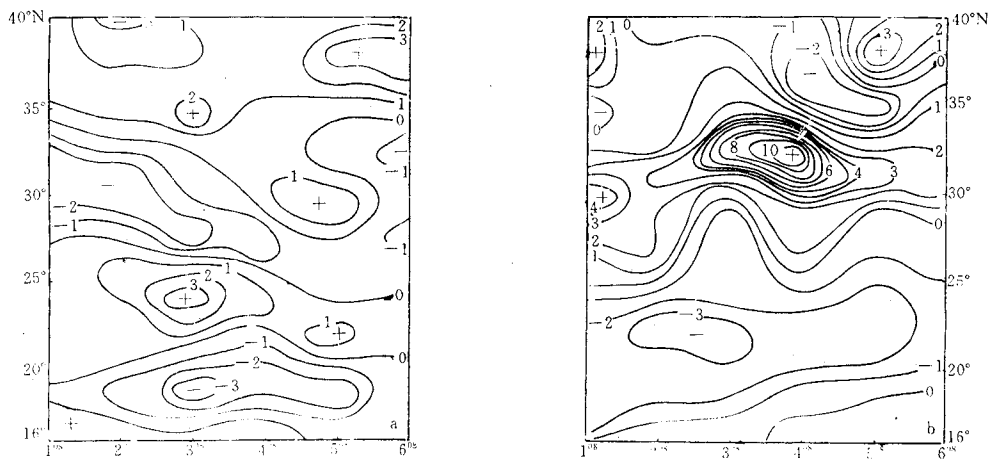


图5 1996年7月1~6日08时850hPa水汽通量散度时间剖面(单位 $10^{-7} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)
a:沿 100°E , b:沿 115°E

3.5 涡度和散度垂直分布

3.5.1 涡度的垂直分布

由3日08时暴雨区的涡度垂直分布图(图6)可见,在 $101 \sim 125^\circ\text{E}$ 上空,垂直涡度基本上呈负正负分布,但在两个负涡度区中,500~400hPa层却有狭窄的正涡度与中间的正涡度相通,对应着高空小槽前部偏南气流,反映了气流上升运动比较复杂。在暴雨区上空至500hPa是正涡度区,向上正涡度范围变窄、值变小,形成一个“舌”区,辐合中心在850~700hPa层,极值达 $4.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,在400hPa以上层正涡度舌两边各有一个较强的辐散区,中心在200hPa上,东西两边极值分别为 $-6.2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 和 $-7.7 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$,与高空槽后西北气流相对应。大暴雨即产生在

低层辐合、高层辐散的 $113 \sim 116^\circ\text{E}$ 正负涡度梯度较大的区域。

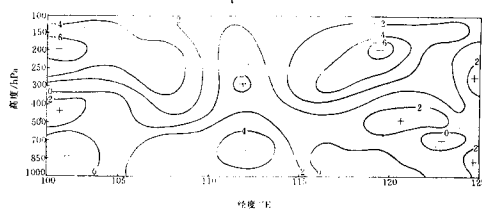


图6 1996年7月3日08时沿 31°N 涡度垂直剖面(10^{-5}s^{-1})

3.5.2 散度的垂直分布

暴雨区上空散度的垂直分布见图7,散

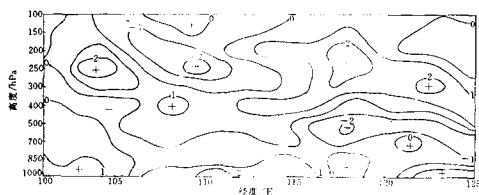


图7 1996年7月3日08时沿31°N散度垂直剖面(10^{-5}s^{-1})

度自西向东呈正负分布,反映气流运动与散度场比较一致。在暴雨区上空,700hPa以下辐合,辐合中心位于1000~850hPa低空,偏在暴雨区西侧,极值达 $-2.4 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 。700~600hPa为辐散层,无辐散层在600hPa附近,再向上300~200hPa又有一个辐合区,对应高层上升气流,中心值为 $-2.2 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,其东端下方是暴雨区,即出现了双层辐合现象,说明上升运动比较复杂。在114°E以东400hPa以上为较强的辐散区,并向西南伸展与中层辐散相连,中心最大值是 $2.6 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,位于250~200hPa层。值得一提的是,117~119°E850hPa以下为弱的辐散区,相伴低层东北风,与西边辐合区形成较明显

散度密集区,暴~大暴雨发生在低层辐合、中高层辐散或双层辐合的低层负散度区及散度密集区中。

4 讨论

4.1 梅雨锋是青藏高原南侧的偏南气流与其北侧的偏北气流在长江流域水平汇合而成,常可生成一条长达数千公里的强水平变形风场带,对湿度有明显的锋生作用。梅雨锋强暴雨发生在青藏高原东侧强北风和西风急流的下沉支与低空急流的上升支汇合区内。

4.2 梅雨锋两侧的温差很小, θ_{se} 的梯度和湿度较大,与极锋很不相同。其暴雨水汽来源于孟加拉湾和南海,是通过低空急流从700hPa以下层水平输送而来。

4.3 强暴雨产生在低层辐合、高层辐散的涡度或散度梯度较大的区域及双层辐合的低层负散度区中。

参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980:107.
- 2 丁一汇编著. 高等天气学. 北京:气象出版社,1991:143.
- 3 丁一汇主编. 1991年江淮流域持续性大暴雨研究. 北京:气象出版社,1992:101~102.

The Structure and Character of Mei-yu Front Storm over the Middle and Lower of Yangtze River

Yang Keming Xu Yinglong Wang Dongsheng Liu Jiangyun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

With applying parameters calculated by HLAFS model of NMC, the physical conditions with which associated a persistent severe torrential rain process of the lower and middle reaches of Yangtze river during the Mei-yu period in 1996 are analyzed and diagnosed. Wind field, vertical circulation, relevant physical variable field construction and its distribution character of Mei-yu front strong torrential rain are presented. All results are beneficial to real time operational forecast and research work.

Key Words: Mei-yu front vertical circulation unstable layer