

# 2003 年淮河流域梅汛期首场大暴雨成因分析

王东生 康志明 杨克明

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

利用 T213 模式的物理量场和北京大学的客观分析诊断系统对 2003 年淮河流域梅汛期首场大暴雨的成因进行了天气动力学诊断分析。结果表明:向南运动的高层偏北风急流下沉支与低空急流上升支组成低涡切变系统是主要影响天气系统;水汽主要来源于孟加拉湾和南海,但东部海区水汽输送也不可忽视。强暴雨出现在中低层辐合、高层辐散的正涡度中心下方和负涡度中心西侧,并与湿位涡高值中心相吻合,对暴雨预报有指示意义;低层辐合区、水汽供应和低层平流锋生的触发作用是强降水维持的主要原因。

**关键词:** 梅汛期 物理量场 诊断分析 湿位涡

## 引 言

2003 年 6 月下旬至 7 月下旬初,淮河流域发生了自 1991 年以来又一次严重的暴雨和洪涝。总降雨量普遍达 400~600mm,比常年同期偏多 1~2 倍,造成淮河干支流水位暴涨,超过警戒水位,沿淮地区出现重大经济损失。以安徽、江苏、河南三省洪灾最为严重,受灾面积 520 多万公顷,直接经济损失 350 多亿元。

这次持续性强暴雨是产生在江淮梅雨季节,虽入梅略偏晚,但持续时间之长、雨量之大、灾害之重却为历史上罕见。

本文利用 T213 数值模式计算的物理量和北京大学物理学院大气科学系研制的客观分析诊断系统,分析研究淮河流域首场大暴雨形成的物理机制,这对于我们认识暴雨的成因和改进预报方法,进一步提高暴雨的预报水平,减少暴雨灾害的损失是非常必要的。

## 1 降雨实况

2003 年 6 月 22 日 02 时至 23 日 14 时(北京时,下同),淮河流域普降暴雨和大暴雨,降雨突发性强、雨强大并且大暴雨集中。

其中安徽大部、豫中豫东、鲁中南、苏北和鄂东等地出现了 50~90mm 的降雨,皖西、豫东、苏西北部的局部地区以及鲁东鲁南、鄂东的部分地区降雨量达 100~150mm,湖北嘉鱼最大为 188mm、武穴 174mm。

## 2 大尺度环流和影响天气系统

6 月中旬中期,欧亚中高纬是两槽一脊,西西伯利亚为阻塞高压的经向环流形势,并因欧洲低槽西退而发生调整。过程开始前期,阻塞高压略西移到西西伯利亚地区,阻高上下游从乌拉尔山到欧洲以及贝加尔湖以东地区分别是两个长波槽区。在中低纬度上,生成于菲律宾以东洋面上的 0306 号台风苏迪罗沿着稳定在日本以南洋面上的较强副热带高压西侧偏南气流向北偏东方向移动,副高随着台风苏迪罗北上逐日加强西伸北抬。到 6 月 22 日,副高呈带状控制了我国江南中南部、华南到南海及其以东地区,其西侧从南海西部、江南至华北以南地区上空盛行一支低空西南急流,22 日 20 时,700hPa 上风速增至  $16\sim 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,是海洋向淮河流域输送大量暖湿空气的通道。

在6月16日,从欧洲低槽中分裂一短波小槽经西西伯利亚平原南部穿过阻高底部,于20日并到贝加尔湖低槽中,低槽南段又沿中纬锋区东移,22日08时,当移至河套地区时,700hPa上在晋陕交界处生成一低涡,同时副高西北侧的西南气流与位于日本海至朝鲜半岛的大陆高压西南侧的东南气流形成一条暖式切变线,22日20时,低涡低槽同暖切变线相连接,淮河流域建立了低涡切变形势,低涡切变线是本次大暴雨的主要影响天气系统。至此,低涡后部南下的冷空气与副高西北侧北上的强暖湿气流交汇于淮河流域,引发了强降雨。

### 3 梅雨锋暴雨特征和结构分析

利用 T213 数值模式计算的物理量场和北京大学物理学院大气科学系研制的客观分析诊断系统对 MICAPS 实测资料处理结果,来分析梅雨锋上首场大暴雨动力和热力特征,进而认识这场暴雨的成因。

#### 3.1 暴雨的二维流场结构

从6月22日20时沿34°N经暴雨区纬向二维流场垂直剖面(图1a)上可看出,111°~124°E有一支来自西部深厚的低空西南急

流斜升向东北流动,将水汽向上输送,形成中低空暖湿层,造成梅雨锋上空大气位势不稳定。对应该气流整层为强上升运动区,600hPa上升速度最大,为 $1.8 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当气流上升至300hPa后,一部分与高层西风急流汇合东流,一部分在中低层出现下沉运动,在黄海中低空形成一个反气旋环流,相伴的下沉速度中心在850hPa上,其值为 $0.2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。强暴雨出现在暖湿气流风速辐合区内,辐合区尺度大约500km。

在经向二维流场垂直剖面(图1b)中,低空西南急流由南向北流动,从28°~34°N上升,强上升运动出现在梅雨锋暴雨上空700hPa附近,达 $1.2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在350hPa上升支分流处,一部分同高层偏北气流合并南流,在28°N以南上空也形成一个气流辐散区,南流下沉支与低空急流上升支在中低层组合为低涡切变线系统,上升支分流处正好位于低空急流轴的前端和低层切变线上方,高低空急流的这种耦合关系是江淮流域暴雨中独特的<sup>[1]</sup>,构成了以两支急流为上下支的特殊次级环流圈。强暴雨产生在上升支区内。

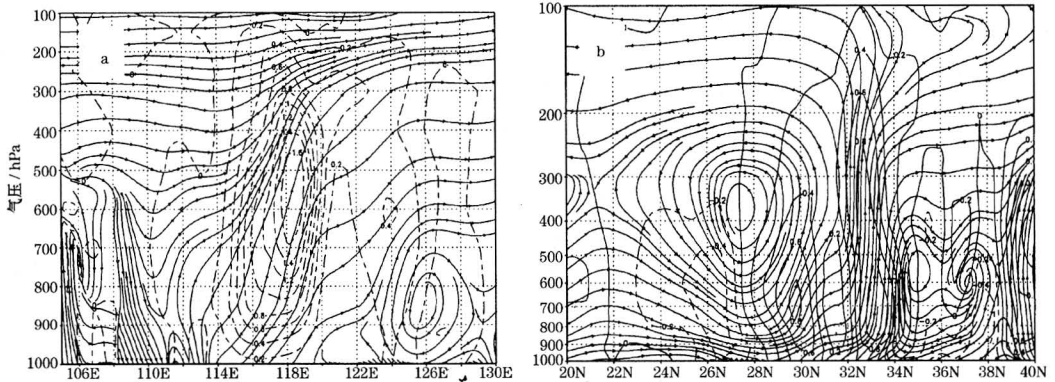


图1 2003年6月22日20时沿34°N纬向(a)和117°E经向(b)流线和垂直速度(点断线 单位: $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )垂直剖面

#### 3.2 涡度和散度的分布

图2a是6月22日20时沿梅雨锋暴雨带纬向涡度和散度垂直分布。对应中尺度低涡在锋区上有一个大于12个经度的正涡度区,并伸展到400hPa层,最大中心值为 $6.2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,位于925hPa上;与此倾斜度很小

在250hPa上空有一个弱的正涡度区。该分布反映梅雨锋水平温度梯度很小,风的垂直切变很弱,强的水平风切变配合弱的垂直风切变,具有相当的正压性质之特征。正涡度区上空是较强的负涡度区,中心位于200hPa,达 $-8.6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,形成中低层辐合

高层辐散有利于降水发展的最佳配置;在锋区西侧整层为辐散区,对应着对流层的干冷下沉气流。散度的垂直分布同涡度场分布很吻合,低涡区域内中低空为负散度和辐合区,高空是辐散区。强暴雨即出现在这种中低层辐合,高层辐散的正涡度中心下方及负散度中心西侧。从经向涡度和散度垂直分布(图2b)可知,在梅雨锋及北侧的雨区中有一10个纬度略向北倾斜的正涡柱,其中有3个中

心分别在925hPa、700hPa和300hPa上,中心依次为 $6.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $6.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $6.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。江淮400hPa上空是较强辐散区,形成中低层辐合、高层辐散有利于对流发展的高低空配置,其南侧对应副高,整层为辐散区;北侧中高层配合中纬度大陆高压也为辐散区。400hPa以下层是负散度辐合区,高空是辐散区,较之涡度中低层辐合、高层辐散更直观一些。

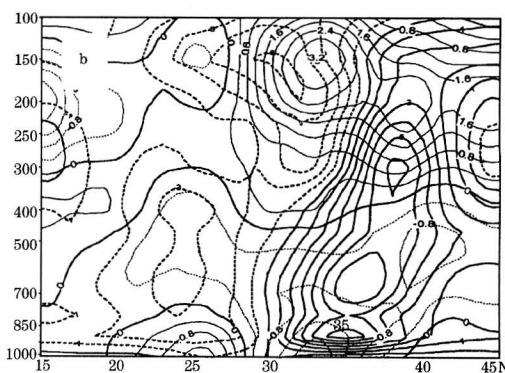
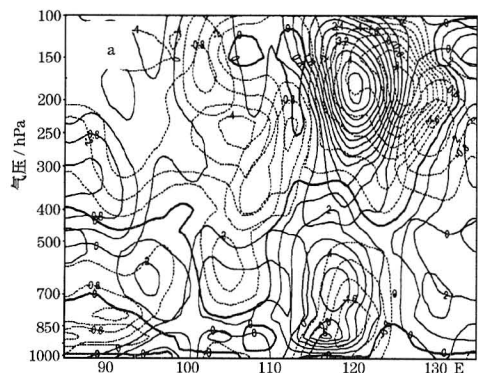


图2 2003年6月22日20时沿34°N纬向(a)和沿117°E经向(b)涡度(粗线 单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )和散度(细线 单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )垂直剖面图

### 3.3 水汽条件的分析

水汽的来源和输送是影响降水强度的关键。从6月22日850hPa的02、08、14和20时4个时次平均水汽通量(图3)可见,在本次大暴雨过程中,从孟加拉湾和南海西部经华南、江南到淮河流域出现NE—SW向的强水汽通量区,有两个大值区分别在孟加拉湾和江南东北部到江淮,江南东北部最大值达 $27 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。揭示了江淮暴雨区充沛的水汽源于印度洋北部洋面和南海,与孟加拉湾季风低压前部偏南气流及副高西北侧西南气流相对应;水汽从中低层主要有两条输送通道,主要一条从印度洋的孟加拉湾经青藏高原南侧向东同南海西南部北上的水汽汇合,再由四川盆地向东北方途经汉水流域进入淮河流域;次要一条由江淮低涡切变线东北侧的东南气流携带的水汽从东海北部输进江淮梅雨区。有人研究过该气流出现频率仅占40%左右<sup>[2]</sup>,但在一些过程中不可忽视其作用。

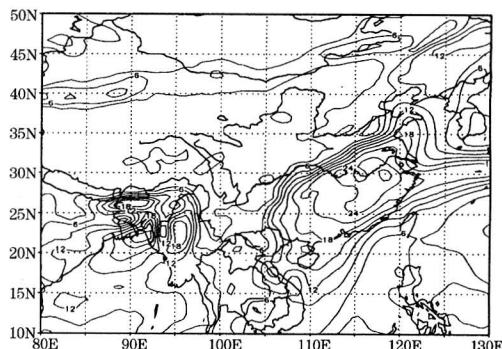


图3 2003年6月22日850hPa日平均水汽通量图  
单位: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$

### 3.4 湿位涡的分析

位涡是一个综合反映大气动力学、热力学性质的物理量。有人在分析研究暴雨形成机制时,指出湿位涡的强迫异常区与暴雨落区及移动有很好的对应关系<sup>[3]</sup>。为此,我们引入了湿位涡的分析方法。

湿位涡可以写成:

$$MPV = -g(fk + \nabla_p \times \mathbf{V}) \cdot \nabla_p \theta_e$$

与干空气的动力特征类似, $MPV > 0$ ,大

气为湿对称稳定,  $MPV < 0$ , 大气是湿对称不稳定<sup>[4]</sup>。利用 T213 资料计算了强降雨期间 6 月 22 日 20 时 850~100hPa 各层的湿位涡, 发现本次大暴雨过程中最明显的湿位涡异常区发生在 850~500hPa 之间。由 6 月 22 日 20 时 850hPa 上的湿位涡分布(图 4)可见, 对应淮河流域的低涡切变线自 110~

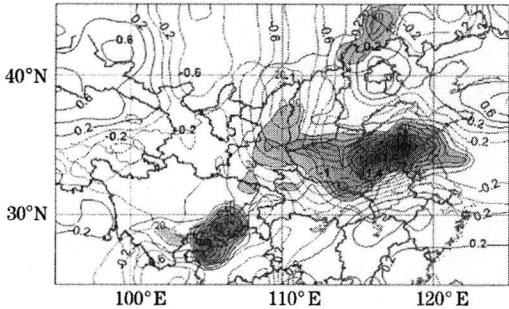


图 4 2003 年 6 月 22 日 20 时 850hPa MPV 分布(单位: PVU)与 02~20 时的 24 小时降水量(单位: mm)

120°E 有一条 SW—NE 走向的湿位涡大值区(湿对称不稳定区), 区中两个中心分别位于湖北东部和苏皖北部, 数值高达 1.4PVU, 与这条湿位涡高值带相对应的是一条 SW—NE 走向的地面降雨带, 最大雨量中心位于湿位涡高值中心略偏东北。对暴雨预报有指示意义。

### 3.5 热源的分析

图 5 给出了大暴雨阶段亚洲地区视热源和视水汽汇。在图 5a 中, 青藏高原东南侧和江淮是东亚地区较强的热源, 有 3 个中心自西向东依次为 130、120 和 130  $W \cdot m^{-2}$ 。在图 5b 中, 高原南侧到孟加拉湾和江淮为强水汽汇, 其中心与热源对应。从 6 月 22 日 20 时沿 34°N 视热源垂直剖面图(图略)可知, 暴雨区上空 200hPa 以下为深厚的热源区, 中心在 500hPa 上, 极值大于 5  $W \cdot m^{-2}$ , 并与 300hPa 以下水汽汇相对应, 极值位于 850hPa 上。两者的垂直分布如此深厚, 表明垂直输送起主导作用。

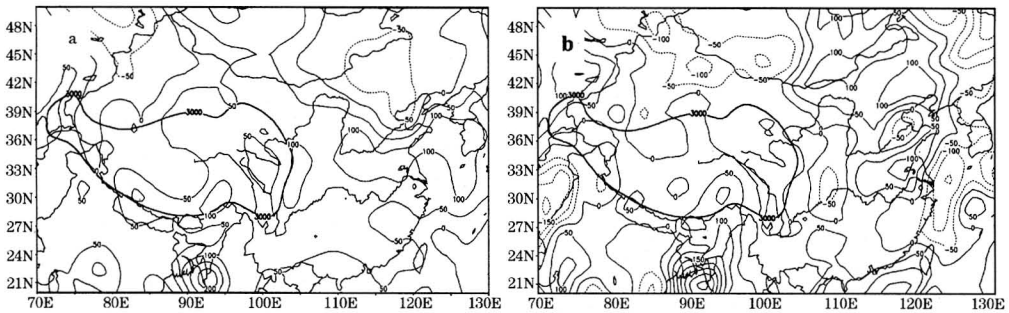


图 5 2003 年 6 月 20~23 日亚洲地区视热源(a)和视水汽汇(b)分布(单位:  $W \cdot m^{-2}$ , 图中粗线为高原地形 3000m 线)

在经向视热源和视水汽汇图(图略)上可看到, 在 30~35°N 为水汽汇, 暴雨区上空 600hPa 以下是强水汽汇并与 600hPa 的热源中心对应, 而近低层为热汇。可能与对流活动将暴雨的凝结潜热带到高空, 使低空变冷、中空增暖、热源增大的结果, 对于低层也可能是北方干冷空气倾斜嵌入低层, 感热的结果。强降雨分布在正负热源梯度最大处的下方及水汽汇中心附近。

### 4 暴雨持续机制分析

暴雨区发展后会出现各种负反馈因素。如对流使湿静力稳定度趋于中性, 低层冷带

加强能减弱上升气流, 对流和湍流对动量和涡度有输送作用等。在 2003 年的淮河流域暴雨期, 每次暴雨过程能维持十几小时或以上。那么江淮梅雨锋结构本身哪些具有持续产生强降雨的能力, 是暴雨的持续机制?

#### 4.1 低层辐合区和水汽供应

梅雨锋结构的一个重要特征是低层正涡度区与辐合区叠置。在本次强降雨过程中由于风场的准二维性, 在暴雨南侧约 400km 范围内, 非地转南风配合涡度梯度形成明显的中低层负涡度平流(图 6a)。这是一种强迫辐合机制, 使暴雨区低层辐合区明显偏南。

在低空急流附近边界层为 Ekman 切变,有指向暴雨区的  $v$  分量,因此边界层摩擦辐合也是在暴雨区南侧。这两种辐合机制的叠置使低层水汽通量辐合区也向南延伸到距暴雨区南缘约 400km(图 6b),导致暴雨区南面的湿度增厚,使暴雨区上空的辐合为湿辐合,暴雨区上空由于加热强迫形成深厚的质量辐合层达 400hPa,是满足暴雨区大量的水汽消耗,使强降水能维持的一个重要原因。

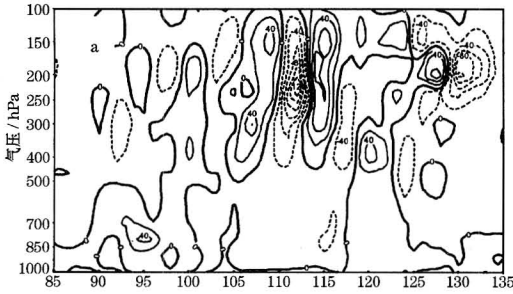


图 6a 2003 年 6 月 22 日 20 时沿 34°N  
涡度平流垂直剖面  
(单位:  $10^{-10} \text{ s}^{-1}$ )

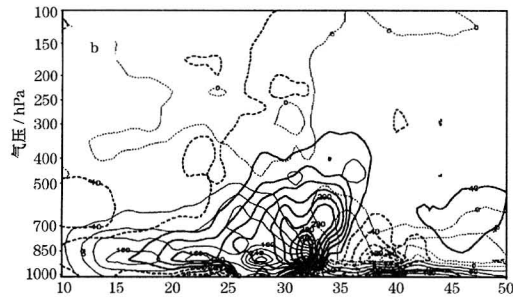


图 6b 2003 年 6 月 22 日 20 时沿 117°E 水汽通量  
辐合的  $U$ (粗线为  $\frac{\partial qu}{\partial x}$ )、 $V$ (细线为  $\frac{\partial qu}{\partial y}$ ) 分量  
垂直剖面  
(单位:  $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

#### 4.2 低层平流锋生的触发作用

由图 6c 可见,在暴雨区附近的中低层各有一个暖平流区。中层暖平流区较宽广,中心位于 400hPa,该暖平流区以  $X$  方向平流 ( $-u \frac{\partial T}{\partial x}$ ) 为主。可能反映了梅雨暴雨区的一种强迫因素,即来自上游青藏高原和云贵高原热源区的暖平流支持着梅雨锋上空的上升运动。低层暖平流区较窄,位于暴雨区及南

侧,并以  $y$  方向平流分量 ( $-v \frac{\partial T}{\partial y}$ ) 为主。

在暴雨区北侧有弱冷平流。在变形风场作用下于梅雨锋上形成平流锋生场。这种低层温度平流梯度虽远小于对流层中上层非绝热加热梯度,但对后者能起到触发、组织和加强的作用,使对流降水加强。正如 Emanuel<sup>[5]</sup> 曾指出,近于中性的弱条件对称稳定大气如果受到一个变形风场的平流锋生强迫,将导致一种强而窄的上升运动的中尺度倾斜环流。

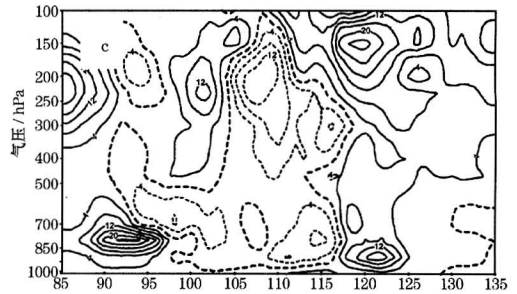


图 6c 2003 年 6 月 22 日 20 时沿 34°N  
温度平流垂直剖面  
(单位:  $10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ )

#### 5 小结

(1) 2003 年淮河流域梅汛期首场大暴雨产生在欧亚中高纬为两槽一脊、西西伯利亚为阻塞高压的经向环流形势下,向南运动的高层北风急流下沉与低空急流上升支组成的低涡切变系统是大暴雨的主要影响天气系统。

(2) 梅雨锋水平湿度梯度小,风的水平切变强、垂直切变弱,有相当的正压性质。强暴雨出现在中低层辐合、高层辐散的正涡度中心下方和负涡度中心西侧。

(3) 大暴雨的水汽主要来源于印度洋的孟加拉湾和南海。并从孟加拉湾经青藏高原南侧向东与南海西南部北上的水汽汇合,再从四川盆地向东北方经汉水流域进入淮河流域;东部海区的水汽输送也是不可忽视的。

(4) 湿位涡高值带对应着降雨带,高值中心与暴雨中心吻合,强降雨位于正负热源梯度最大处的下方和水汽汇中心附近。对暴雨预报有指示意义。

(5) 低层辐合区、水汽供应和低层平流锋生的触发作用是强降水维持的重要原因。

参考文献

- 1 丁一汇主编. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京:气象出版社, 1993: 100~103.
- 2 张丙辰主编. 长江中下游梅雨锋暴雨的研究. 北京:气象出版社, 1996: 28~29.
- 3 高守亭, 雷霆, 周玉淑等. 强暴雨系统中湿位涡异常的诊断分析. 应用气象学报, 2002, 13(6): 662~669.
- 4 Bennets, D. A. and B. J. Hoskins. 1979. Conditional Symmetric Instability, a Possible Explanation for Frontal Rainbands. Q. J. R. Meteorol. Soc. 105: 945-962.
- 5 Emanuel, K. A., Frontal Circulation in the Presence of Small Moist Sympetric Stability. Jour. Atmos. Sci., 1985: 42, 1062-1071.

## Cause Analysis of First Heavy Rain over Huaihe Valley during Meiyu Period in 2003

Wang Dongsheng Kang Zhiming Yang Keming  
(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

By using physical quantity fields of T213 and objective diagnose analysis system of Beijing University, a synoptic and dynamic analysis of the first heavy rain over Huaihe Valley during Meiyu period in 2003 is made. The low-level shear system, which is composed of the southward downdraft branch of upper-level northern jet and the ascend branch of low-level jet, is the main synoptic system. The vapors mainly come from the Bengal Bay and the South China Sea, but the role of vapors convey from East China Waters shouldn't be ignored. The heavy rain region appears below the positive vorticity center of the mid-low level convergence and upper-level divergence and near the west side of negative vorticity. And the high value center of the wet potential vorticity coincides with the heavy rain region is instructive to the forecast of heavy rain. The trigger role of frontogenesis by the low-level convergence region, vapor supplement and low-level advection is the main reason of the maintenance of heavy rain.

**Key Words:** Meiyu period over Huaihe Valley physical quantity fields diagnose analysis wet potential vorticity