

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

薛建军 康志明 张芳华

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

对2003年6月29日至7月2日梅雨期淮河流域一次大暴雨过程进行了天气动力学诊断分析。结果表明:这次大暴雨过程是在双阻型梅雨天气形势下发生的,梅雨锋锋区热力学特性和动力结构多变,一般具有斜压性结构,但有时又表现出准正压性结构;梅雨锋的维持和加强主要依赖于低空强西南暖湿气流在梅雨锋区的辐合抬升作用提供水汽和能量,强降雨区位于水汽通量大值区北侧强梯度区中。

关键词: 淮河暴雨 诊断分析 梅雨锋 锋生函数

引 言

2003年淮河流域梅雨期的6月29日08时~7月3日08时(北京时,下同),豫东南、苏皖中北部等地出现了持续大暴雨过程。过程降雨量一般有180~250mm,其中苏皖两省西北部的部分地区达260~300mm,安徽阜南过程雨量最大为314mm,芜湖24小时雨量最大达158mm。这次降雨骤发性强、雨强大、大暴雨集中且持续时间长,导致淮河干支流水位暴涨,发生了继1991年以来又一次大洪水,淮河王家坝蒙洼蓄洪区7月3日凌晨1时开闸蓄洪,为1991年后首次,蓄洪区转移撤离1.9万人,1.2万公顷农田被淹,造成的经济损失十分严重。

对于江淮地区梅雨锋上的暴雨曾有过不少研究。丁一汇等对1991年江淮流域持续性特大暴雨进行过较深入的研究^[1],张小玲对1998年长江流域的梅雨锋动力热力结构做过分析^[2],齐建军等对“98.7”湖北区域大暴雨进行了数值模拟研究^[3]。2003年6月下旬至7月下旬初淮河流域降雨时段集中,雨带基本稳定,暴雨和大暴雨频发,洪涝灾害非常严重,对这次梅雨期强降雨过程开展全方位深入研讨非常必要,也有利于认识梅雨

锋强降雨形成机制。

本文利用实地加密观测资料和T213的 $0.5625^{\circ} \times 0.5625^{\circ}$ 客观分析场等资料,对这次淮河流域大暴雨过程进行了天气动力学分析,并侧重于对梅雨锋动力学热力学结构的诊断分析。

1 环流特征和主要影响系统

这次大暴雨过程是在欧亚中高纬环流从两槽一脊型转换为两槽两脊型的双阻梅雨形势下发生的。过程前,两个长波槽分别位于欧洲和贝加尔湖到东西伯利亚,西西伯利亚平原至中西伯利亚为阻塞高压脊。6月26日,从巴伦支海有一短波槽沿高纬锋区逐日东移,促使阻高分裂,一部分东移,28日20时当短波槽越过中西伯利亚高原后往南加深,与贝加尔湖的低槽叠置,使环流倾向度进一步加大,低槽前部增强的暖平流的动力加压作用导致鄂霍茨克海新生一高压脊,并与东移的阻高分裂脊合并,于29日08时在俄罗斯远东地区至雅库次克一带形成阻塞高压,从而建立了较为典型的双阻型梅雨形势。

同时,在中低纬度上,副高不断加强北抬,副高主体分布在日本以南洋面到我国江南东南部、华南东部及南海以东地区。在副

高西北侧的西南气流中,900~600hPa之间存在着一支长1800km、宽450km西南低空急流,是水汽和能量的输送者。

位于上述低空急流左侧的江淮地区是暴雨主要影响系统——低涡切变线。它是26日开始从贝加尔湖大槽中分裂东移演化而来的。27日20时当分裂的短波槽移达青海湖附近时,与高原槽同位相叠加后加强,700hPa上在青海湖附近生成一个3040gpm闭合线的低涡;此前,从贝加尔湖大槽中分裂的一个低涡也移至我国东北地区,该涡后部的高压脊并入到副高中与之连体,使副高加强北抬,同时,其西侧强劲的西南气流与涡后部高压脊西南侧的东南气流于28日20时形成一条暖性辐合线横贯长江流域;12小时后当短波槽南下,并通过四川盆地,西南涡与暖性辐合线相连即建立了低涡切变形势。30日,低涡切变线已北抬至淮河流域,相应的暴雨区也从江南北部推进到淮河流域。随后,江淮低涡切变线又经历一次减弱和加强的快速变化,但对日雨量影响不大。7月2日白天,天气形势发生大的调整,副高明显加强西伸,西南气流也随之西移,低涡后部的冷空气受高空西北气流引导东移,低涡切变线东移减弱,淮河流域持续3天多的强降雨暂时减弱。

分析降雨观测资料发现,虽然强降雨总体上发生在淮河流域,但此间雨带和雨强不断有所摆动,有必要对这次强降雨过程进行热力学和动力学诊断分析,以探讨梅雨锋结构的特征,揭示强暴雨成因。

2 梅雨锋热力场分析

2.1 温度场

这次强降雨过程主要是发生在副热带高压加强北抬,大量暖湿气流沿其西北侧输送到淮河流域,与北方不断南下的冷空气共同作用造成的。从温度场的演变可以清晰地看到其影响。在29日08时,降雨区位于长江中下游沿江到江南北部,相应地在850hPa上为19℃以下的低温区(图1a),而江南南部及淮河干流附近地区有一明显暖区;与此同时,

500hPa暖区北界在32°N(图1b),降雨区温度场有明显的下层偏冷中上层偏暖的结构。29日14时开始,随着副高的北抬,雨区北移,温度场结构开始调整,上下层江南暖区明显北抬,尤以低层明显。在850hPa上高温区快速北抬3个纬距并稳定控制了长江中下游地区,同时淮河流域的暖区消失,温度明显降低,且温度梯度很大,其北侧有大范围的低温区,15℃以下的低温出现在30日02~14时,30日20时冷空气最强,锋区又明显南压。在此期间500hPa高温区稳定北抬,只是30日20时稍有南摆。7月1日14时起,850hPa暖区再次北抬,锋区返回到淮河流域,2日14时后,锋区南北摆动,先南摆后北跳,但500hPa上暖区继续稳定北抬,且在2日14时明显加强。

在时间平均图(图略)上,高空500hPa南方为大片高温区,淮河流域是弱温度脊区,温度锋区位于黄淮北部;在850hPa低空,黄淮及华北南部为明显冷区,江南为暖区,锋区位于江淮。高空锋区明显较低空锋区偏北,除了降水造成低层降温高层增温外,锋区上存在斜压性,从沿115.875°E南北剖面图上也可明显见到,温度槽自下向上向北偏。

2.2 湿度场

与温度场相一致,湿度场的变化也能反映副高北抬所引起锋区北抬及淮河流域降雨区的维持和摆动。从沿115.875°E的时空剖面图(图1c、d)上可见,29日08时,在低层33~34°N附近有一明显的干区,其南侧为大范围湿区,而北侧也存在很窄的一个湿区,湿度水平梯度大值区位于32~33°N和37°N附近。29日14时起,干区减弱消失,江南湿区北抬,在37°N附近的强梯度区维持,其南侧是大范围湿区。随着干冷空气从低层南下,30日20时起,湿度锋区明显南压,7月1日14时又开始逐渐北抬,2日14时南摆。低层湿度锋区较温度锋区偏北,这可能是由于降雨蒸发降温以及偏东气流输送黄海水汽所致。在500hPa上,高湿区与降雨区的位置较一致,并随着雨区的南北摆动而摆动,其两侧

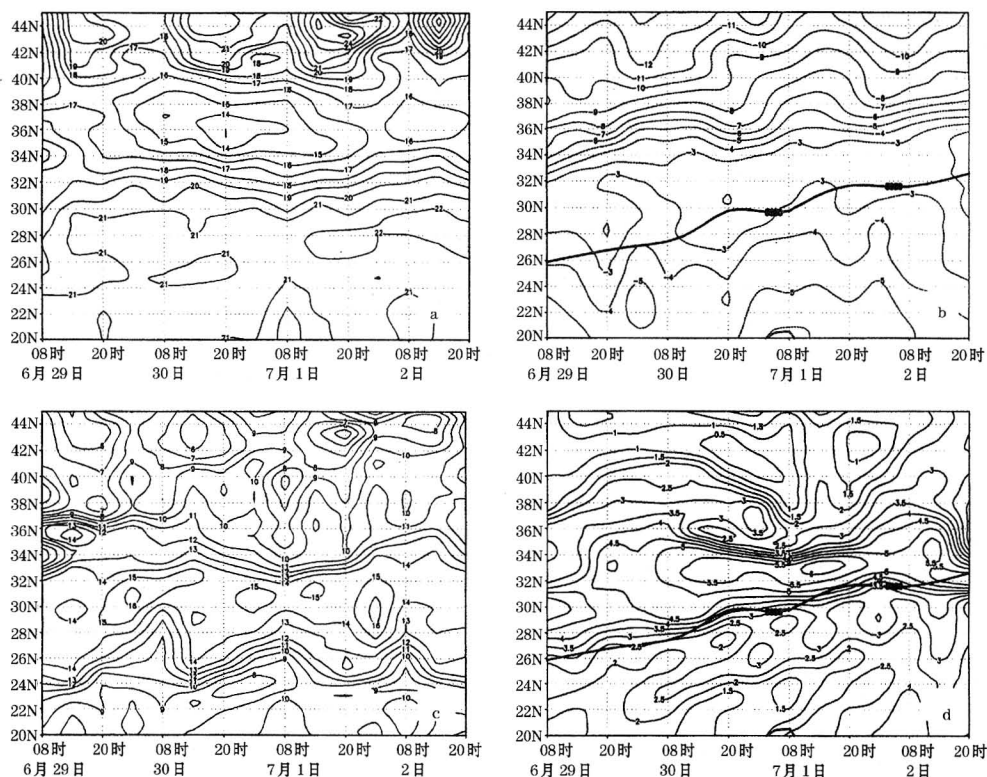


图1 6月29日08时至7月2日20时沿115.875°E时空剖面

a. 850hPa 温度(单位: $^{\circ}\text{C}$), b. 500hPa 温度, c. 850hPa 比湿(单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),

d. 500hPa 比湿, b、d 中粗线为 500hPa 图上的 5880gpm 线

为明显的干区,而南侧与副高对应的干湿区分界线基本上稳定北抬,但湿区北界位置南北摆动较大,反映了西风带系统活动情况。

2.3 相当位温场

图2a给出了沿115.875°E 850hPa相当位温 θ_e 随时间变化。由图可见,从6月29日至7月2日,淮河流域低空维持一条能量锋区,其强度和位置的变化与雨区和雨强的演变相吻合,6月30日08时锋区最强,造成淮河干流上游及安徽淮北普遍出现大暴雨。

从穿过强降雨区过程时间平均 θ_e 经向剖面图(图2b)上可见,梅雨锋暴雨区及南北两侧低层有弱对流不稳定,在850~500hPa上锋区几乎直立,锋区附近有很强的 θ_e 水平梯度,表明梅雨锋南北两侧的空气存在明显的热力差异,而在垂直方向上 θ_e 的值几乎不

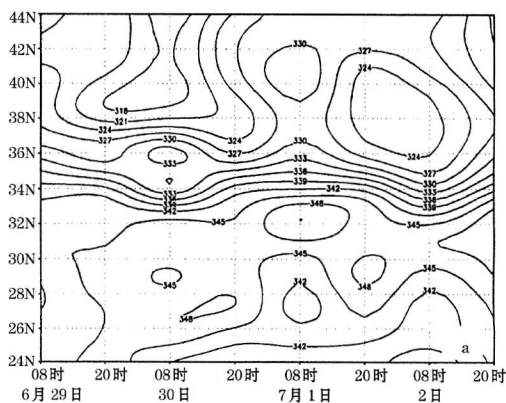


图2a 2003年6月29日08时至7月2日20时沿115.875°E 850hPa相当位温 θ_e 的时空剖面(单位: K)

变,表明梅雨锋附近有强烈的上升运动,促使低层能量和水汽向上输送混合。分析穿过强降雨区不同时次的 θ_e 经向剖面图(图略)可

知,梅雨锋的热力结构是不断变化的,明显的低层大气对流不稳定区出现在6月30日08时和7月1日20时前后,且前一时次强度更强,而有些时次低层对流不稳定很弱甚至无不稳定区。锋区也并非一直直立,而是随着两侧冷暖气流强弱而变化,水平梯度的变化也很大。

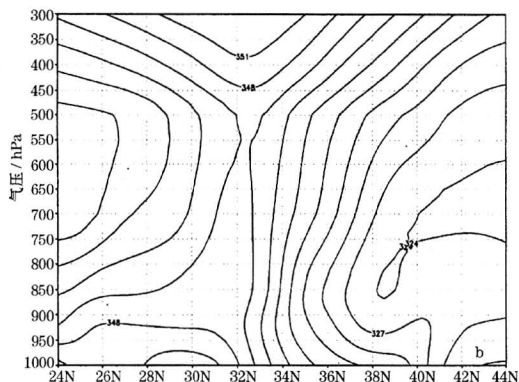


图2b 2003年6月29日08时至7月2日20时沿115.875°E时间平均相当位温 θ_e 垂直分布(单位:K)

3 梅雨锋水汽条件分析

梅雨锋的维持需要大量的水汽供应,从本次大暴雨过程时间平均的整层大气水汽输送通量矢量和大小(图3a)可见,水汽主要有两个来源:一是从孟加拉湾由西南季风分别通过云贵高原和中南半岛北部输送到副高西北侧;另一是从南海西北部由副高西侧的偏南气流向北输送。两股水汽在副高西北侧汇合加强并沿副高边缘向长江中下游输送,强降雨区并非处于水汽通量大值区域,而是分布在其北侧强梯度区中。6月29~30日,不断向北推进的强西南暖湿气流向淮河流域输送大量水汽,同时低层暖切变北侧的偏东气流也从黄海南部将一部分水汽输送到淮河流域(图略),为暴雨区提供了充足的水汽。在水汽通量散度图(图3b)上,长江中下游地区及淮河流域为大片水汽辐合区,源源不断的水汽供应有利于梅雨锋上的强降雨维持,7月2日由于副高明显西伸,切断水汽来源,强降雨一度中止。

对28~38°N、111~121°E区域面积平均

水汽通量计算结果表明,500hPa以下水汽通量为 $3804\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,占整层 $4417\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的86%。由此可见,水汽输送主要来自于对流层中下层。

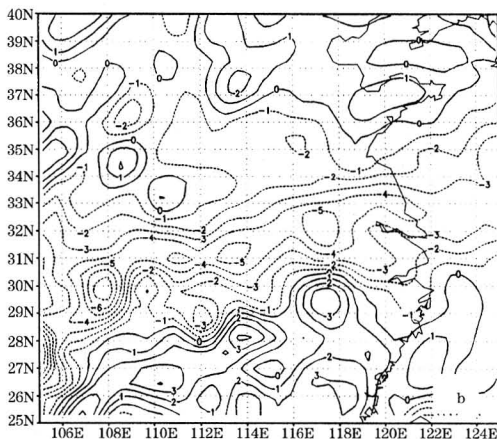
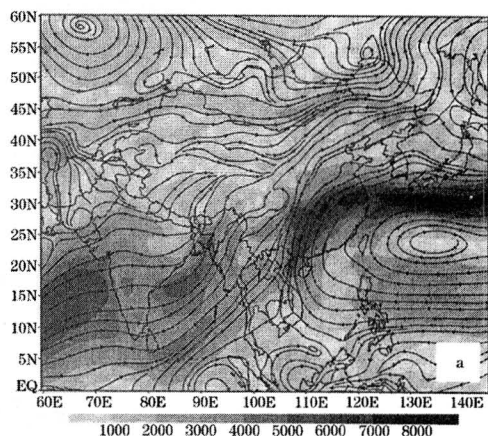


图3 2003年6月29日08时至7月3日02时时间平均的整层水汽通量和输送(a,流矢为通量输送方向,通量单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)及整层水汽通量散度(b,单位: $10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

4 梅雨锋动力场分析

从沿115.875°E时间平均东西风空间剖面图(图4)上可见,梅雨锋区位于高、低空偏西气流之间,高空强西风大值中心平均值为 $45.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,位于200hPa附近,低空急流 u 分量大值中心位于700hPa,强度为 $13.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在锋区北侧低层(700hPa以下)存在中心最大值达 $5.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东气流,表明锋区低层有明显的东西风切变,与涡度场上锋区

附近 500hPa 以下宽达 5 个纬距的正涡度区相一致(图略),正涡度区自下向上稍向北倾斜;由图中经向二维流场还可看出,在锋区南侧存在一支穿越低空急流的垂直反环流,环流中心位于 300hPa,中心下部为深厚的偏南气流,从 u 场分布可见,西南气流非常强盛,先下沉,经过低空急流中心后开始上升,到了梅雨锋附近上升加强,但仍向北倾斜,上升气流大部在 300hPa 附近折向南流,有一部分向北越过锋区下沉,并在 850hPa 上开始向北流并进另一个中心在 700hPa 附近的反环流中。值得一提的是在梅雨锋底层有越锋区的偏北气流,清楚地揭示了梅雨锋次级环流的存在。

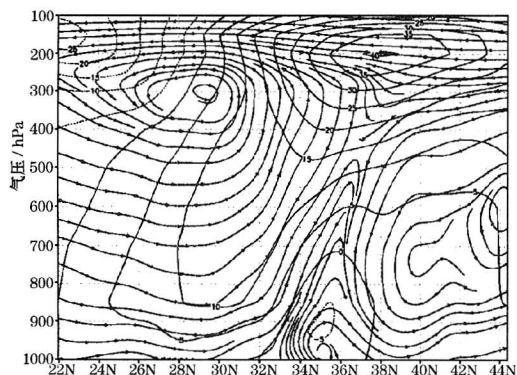


图4 2003年7月29日08时至7月3日02时沿 115.875°E 时间平均东西风(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和 $v-w$ 流场空间剖面

与热力学结构一样,在不同时次梅雨锋动力结构也是反复变化的。当锋区南侧对流层中低层西南气流加强北进或锋区北侧对流层低层冷空气活动明显时,锋区发生倾斜并得到斜压性发展;当冷暖空气势力相当,锋区直立,具有相当的正压性。这次淮河流域强降雨过程的发生是由于西南气流加强北抬梅雨锋发展所引发,其结束也是因流向淮河流域的西南气流明显减弱所致,而冷空气活动基本偏弱,对梅雨锋的影响较小。

5 梅雨锋锋生场的初步分析

在这次强降雨过程中,梅雨锋在对流层低层表现为明显的热力学差异,在梅雨锋附近温度、湿度、相当位温水平梯度明显加大,尤以 θ_e 最为明显,可用 θ_e 水平梯度的大小

表示锋区的强弱。相应地当大气运动有利于锋区 θ_e 水平梯度加大使等 θ_e 线更加密集时具有锋生作用,反之为锋消。设 $|\nabla\theta_e|$ 表示相当位温水平梯度的绝对值,锋生强度 $F = \frac{d}{dt}|\nabla\theta_e|$, 水平运动对锋生的作用表示为^[4,5]:

$$F_1 = -\frac{1}{|\nabla\theta_e|} \left[\left(\frac{\partial\theta_e}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{\partial\theta_e}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial\theta_e}{\partial x} \frac{\partial\theta_e}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right]$$

F_1 的物理意义是当等相当位温线在有速度辐合的水平流场作用下变密时, $F_1 > 0$, 有锋生作用;反之, $F_1 < 0$ 时,有锋消作用。在沿 115.875°E 整个强降雨过程时间平均 F_1 计算结果(图5)表明:在对流层中下层,梅雨锋区位于水平运动锋生区内,锋生区自下而上向北倾斜,对流层低层锋生作用明显强于中层,以 925hPa 最强,这与梅雨锋附近流场结构一致,在对流层低层梅雨锋南侧强偏南气流向梅雨锋明显辐合,而梅雨锋北侧由于弱冷空气活动导致气流主要为东西向,偏北分量很小,有时甚至吹向锋区。源源不断的西南暖湿气流汇合到梅雨锋,其水平运动促使等 θ_e 线水平梯度趋于加大,当气流沿锋面上升时,锋区附近上升速度通常南侧较大,北侧较小甚至下沉,而梅雨锋暴雨区及南

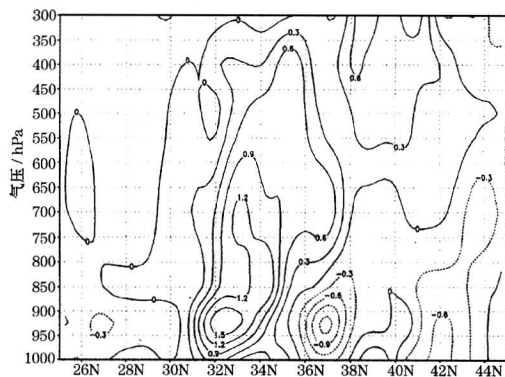


图5 2003年6月29日08时至7月2日20时沿 115.875°E 时间平均水平锋生函数空间剖面 (单位: $10^{-9} \text{K}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

北两侧低层存在对流不稳定,这样垂直运动对锋生的作用为:

$$F_2 = \frac{1}{-\left|\nabla\theta_e\right|}\left(\frac{\partial\theta_e}{\partial x}\frac{\partial\omega}{\partial x} + \frac{\partial\theta_e}{\partial y}\frac{\partial\omega}{\partial y}\right)\frac{\partial\theta_e}{\partial p}$$

为正,具有锋生作用。物理意义是在高 θ_e 区(南侧)更强上升运动更快地将低层高 θ_e 值的空气向上输送,使上一层太气 θ_e 值加大,在低值区(北侧)由于上升速度慢,同一层 θ_e 值增加得慢或因下沉运动使 θ_e 值减小,从而造成 θ_e 水平梯度进一步加大。

锋生强度的变化将影响梅雨锋强度,锋生强度的大小又取决于锋区附近热力场和动力场结构。6月29日至7月2日强降雨过程梅雨锋的维持加强主要依赖于强盛的西南暖湿气流在梅雨锋区的辐合上升作用所提供的水汽和能量。

6 结 论

本文通过对2003年梅雨期一次大暴雨过程的天气动力学诊断分析,得到以下初步结果:

(1)这次大暴雨过程是在欧亚中高纬环流从两槽一脊型转换为两槽两脊型的双阻型梅雨天气形势下发生的,副热带高压的加强北抬促使大量暖湿气流输送到淮河流域。

(2)梅雨锋热力学特性多变,梅雨锋区同

时出现温度锋区和湿度锋区,并且高空锋区比低空锋区明显偏北,锋区具有一定的斜压性,但有时锋区几乎直立,表现出明显的准正压性结构。

(3)强降雨过程所需水汽主要源于孟加拉湾和南海西北部,强降雨区位于水汽通量大值区北侧强梯度区中,在对流层低层锋区北侧偏东气流也把黄海水汽输向暴雨区。

(4)梅雨锋中低层有越锋区气流,存在梅雨锋次级环流;梅雨锋动力结构也不断发生变化。

(5)梅雨锋的维持和加强,主要依赖强盛的西南暖湿气流在梅雨锋区的辐合上升作用提供水汽和能量。

参考文献

- 1 丁一汇. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京:气象出版社,1993:1~255.
- 2 张小玲,陶诗言,张庆云. 1998年梅雨锋的动力热力结构分析. 应用气象学报,2002,13(3):257~268.
- 3 齐艳军,仪清菊,程明虎. 1998年长江嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究. 北京:气象出版社,2001:192~202.
- 4 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 天气学原理与方法(第三版). 北京:气象出版社,2000:93~105.
- 5 陶诗言,倪允琪,赵思雄等. 1998夏季中国暴雨的形成机理与预报研究. 北京:气象出版社,2001:55~56.

Diagnoses of Meiyu Front Associated with Heavy Rain over Huaihe Valley during 29 June—2 July 2003

Xue Jianjun Kang Zhiming Zhang Fanghua

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A heavy rain process over the Huaihe Valley during 29 June—2 July 2003 was studied to analyze the thermodynamic and dynamic features of Meiyu front. The following are some conclusions: (1) The event happened under “double blocking” Meiyu synoptic situation, dynamic and thermodynamic structure of the Meiyu front continuously changed. Generally, Meiyu front shows a feature of baroclinicity, but sometimes the front is almost vertical with an apparent quasi-barotropy feature. (2) The moisture and energy provided by the convergence and upward motion of the strong southwestern warm and moist air current were responsible for the strengthening and maintaining of the Meiyu front. The heavy precipitation area was located in the strong gradient region north to the maximum of moisture flux.

Key Words: heavy rain over Huaihe Valley diagnoses Meiyu front frontogenetical function