

淮河下游暴雨和非暴雨天气特征分析

尹东屏 沈树勤 曾明剑 濮梅娟 吴海英

(江苏省气象局气象台, 南京 210008)

摘要 选用 2003 年 6 月 21 日到 7 月 11 日梅汛期 12 次暴雨和 9 次非暴雨过程,对其天气形势、物理量进行了合成平均对比分析;结合副热带高压脊线和地面锋面的位置,利用 T213 的 20:00 格点资料,计算和绘制了暴雨日和非暴雨日的合成平均物理量场,分析两类天气的热力和动力条件特征,揭示了它们之间的差异,并在此基础上建立了暴雨短期预报的概念模式。

关键词 暴雨 天气形势 暴雨概念模式

引言

2003 年梅雨期江苏省境内共出现了 12 次暴雨过程,使淮河流域暴雨成灾,不仅覆盖范围广,强度大,雨量集中,而且还出现了外洪内涝严重的防汛局面,淮河流域、洪泽湖周边及里下河地区遭受建国以来第二大洪涝灾害。全省受涝 $194 \times 10^4 \text{ hm}^2$,成灾面积 $131.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$,绝收面积 $49.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,受灾人口 1798 万人,紧急转移安置受灾人口 79.8 万人,倒塌房屋 14.2 万间,毁坏桥梁 1.4 万座,直接经济损失达 199.7 亿元。暴雨和严重的外洪内涝,给全省的工农业生产及人民的生命、财产带来了极大损失。

对淮河地区的暴雨曾有过不少研究,丁一汇等对 1991 年江淮流域持续性大暴雨进行过较深入的研究^[1],李耀辉、寿绍文对 1991 年江淮一次暴雨用湿位涡(MPV)和对称不稳定理论进行了诊断分析^[2],张小玲对 1998 年江淮流域梅雨锋的热力、动力结构做过分析^[3],徐勇等对江淮暴雨中尺度特征进行了数值模拟^[4]。2003 年夏季淮河流域频发暴雨和大暴雨,洪涝灾害非常严重,对这次梅雨期的高强度降水进行深入研究非常必要,并侧重于暴雨和非暴雨的动力、热力系统结构的诊断分析,这有助于我们认识暴雨成因和改进预报方法,进一步提高高强度降水预报水平。

1 资料和方法

采用江苏省 70 个台站的雨量资料,将 2003 年

6 月 21 日至 7 月 11 日梅雨期间 21 天出现的 12 个暴雨日(日降水量大于等于 50 mm),9 个非暴雨日过程作为分析的两类天气样本(表 1)。

表 1 2003 年江苏暴雨日与非暴雨日日期、地点及最大雨量

暴雨日期	暴雨出现区域/雨量中心	最大雨量 mm	非暴雨 日期
6 月 22 日	淮北地区/徐州	130.8	6 月 21 日
6 月 26 日	淮北地区中部/六合	82.0	6 月 23 日
6 月 29 日	淮北局部地区/宿迁	96.8	6 月 24 日
6 月 30 日	苏北地区/泗阳	114.7	6 月 25 日
7 月 1 日	江淮之间地区/泗洪	50.6	6 月 27 日
7 月 2 日	淮北地区/沭阳	111.7	6 月 28 日
7 月 3 日	江淮之间/盐城	101.5	7 月 6 日
7 月 4 日	江淮西部地区/江浦	179.5	7 月 7 日
7 月 5 日	江淮之间/靖江	238.2	7 月 11 日
7 月 8 日	苏北和沿江西部部分地区/兴化	101.6	
7 月 9 日	江淮之间部分和沿江西部地区/宝应	77.1	
7 月 10 日	江淮之间北部/射阳	103.1	

利用 T213 的逐日 20:00 格点资料,分别进行合成平均,制作出 12 个暴雨日合成平均和 9 个非暴雨日合成平均的天气形势场、物理量场,其中距平场是用暴雨日和非暴雨日的合成平均场减去 21 天的合成平均场所作出的差场。

2 暴雨与非暴雨主要形势特征

2.1 梅雨期副热带高压和地面锋面

江淮流域梅雨的形成,与西太平洋副热带高压季节性西伸、北进密切相关,而其降水强度却与地面冷锋或静止锋的位置及其存在时间有关。

江苏省科委“江苏省突发性高强度大暴雨预警服务系统研究”课题资助

作者简介:尹东屏,女,1957 年生,高级工程师,主要从事天气预报技术研究

收稿日期:2004 年 4 月 2 日;定稿日期:2004 年 6 月 30 日

2003 年入梅日为 6 月 21 日,500 hPa 120°E 副高脊线由 17°N 北上至 23°N,588(dagpm) 线在 30°N 附近。在梅雨期内,120°E 副高脊线在 15°~27°N

之间摆动(图 1),随着副热带高压的增强减弱,雨带南北移动,江苏的降水也随之增强或减弱渐止。

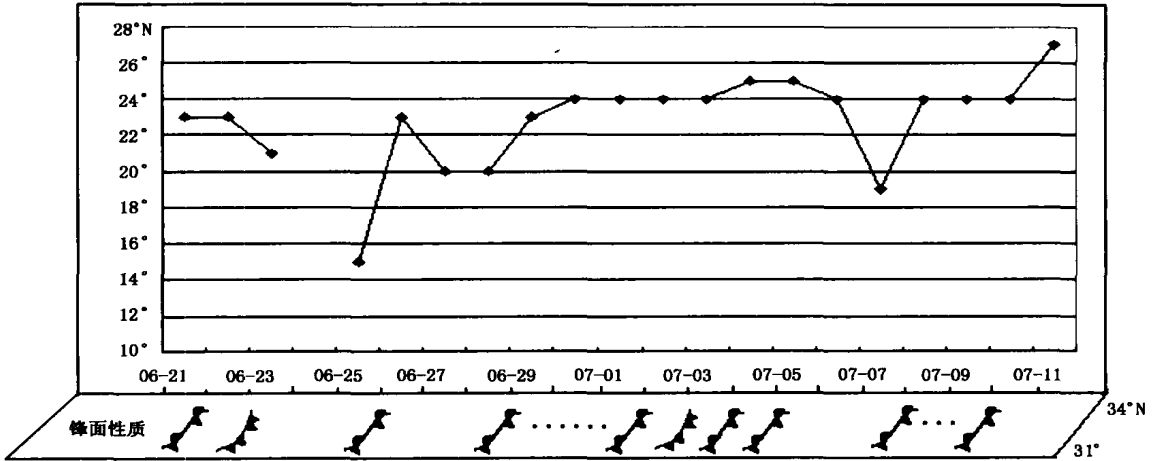


图 1 2003 年 6 月 21 日至 7 月 11 日 120°E 副高脊线和江苏省境内锋面位置示意图 (横坐标为日期,06-21 表示 6 月 21 日,余类推)

图 1 还给出了在此期间 120°E 静止锋或冷锋存在情况。可以看出,有暴雨日,地面均有冷锋或静止锋与之配合,而且锋面的位置偏北(在 31°~34°N 之间)。这说明了为什么所计算出来的暴雨日的物理量正距平区和大值区偏北,也证明了为什么江苏省 2003 年的暴雨主要出现在江淮流域。非暴雨日则没有锋面,或锋面位置在 31°N 以南,或锋面在当天

中午前后移出江苏。

2.2 主要天气系统的合成分析

图 2a 为 12 次暴雨日的 500 hPa 合成平均图,可以看到,120°E 副高脊线在 26°N,586(dagpm) 线在长江口,四川西部为一浅槽区,槽前西到西南气流向江淮地区输送着暖湿气流,中纬度在华北有低槽东移,使冷空气得以扩散南下,同时华西低槽东移,

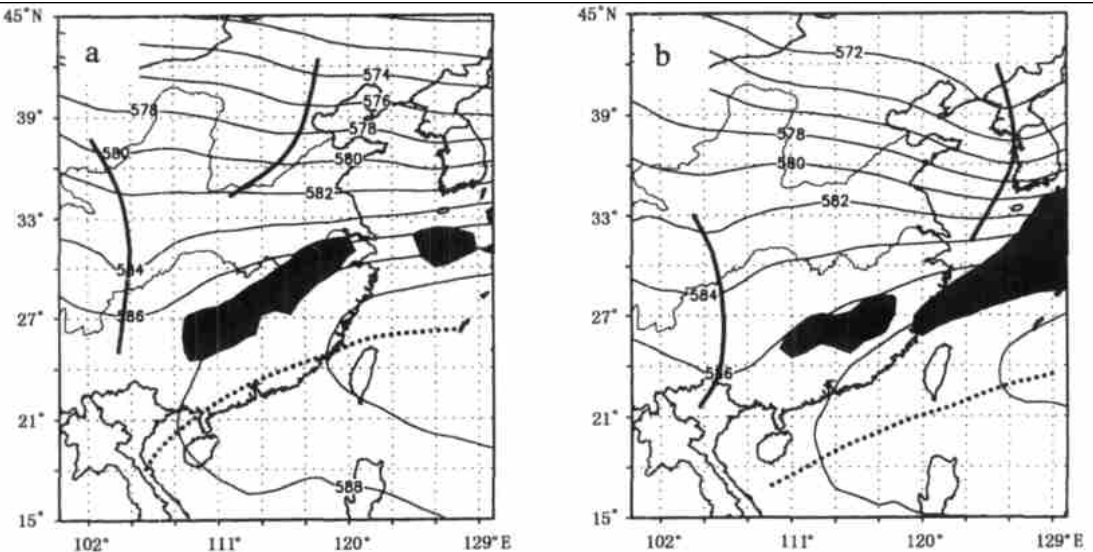


图 2 暴雨日(a)和非暴雨日(b)期间的 500 hPa 环流合成图和 850 hPa 急流区 (阴影部分为急流区,风速大于等于 12 m/s,实黑粗线是槽线,虚线是副高脊线)

槽前暖空气与北方的冷空气交汇于淮河流域以南地区,形成梅汛期暴雨天气的天气尺度环流系统。图2b为非暴雨日的天气合成平均图,120°E副高脊线位置在21°N以南,586(dagpm)线在30°N以南,沿海为一浅槽,中纬度低槽在西南地区,这种形势导致冷暖空气交汇在长江流域以南地区,雨带形成于29°N以南,不易在江苏形成高强度暴雨。

2.3 低空急流合成对比分析

图2中阴影部分为850 hPa上风速大于等于12 m/s的低空急流合成,其特征为一狭长的东北—西南走向的急流区,急流的出口区位于江苏淮河以南地区,处于高空槽前和副热带高压西北侧的暖区之中。显然南方的暖湿气流通过西南(或偏南)急流的狭长通道向江苏输送,促使低层迅速增温增湿,致使垂直方向的温湿层结结构发生变化,构成对流不稳定。由于急流的存在,显然在急流的左前方存在着明显的风速不连续区,该区正是淮河流域的辐合上升的急流动力作用区,是有利于暴雨频发的区域。这里同时还要指出,由于急流的存在,非地转风很强,气压梯度力与地转偏向力不平衡,这种在流场出现的超地转现象使得风的低层垂直切变也增大,里查逊数随之减小,从而为形成暴雨的中尺度天气系统的发生发展创造了条件。

图2b阴影区是无暴雨的急流合成,由于120°E副高脊线在21°N以南,且西风槽也偏南,江苏处于弱沿海槽后的西北气流中,使得急流位置偏南。而且急流断裂,没有经淮河流域构成暖湿气流输送通道,动力作用区也偏南,因而对在江苏地区形成暴雨是不利的。

3 暴雨与非暴雨的热力条件特征分析

3.1 E指数合成对比分析

陶诗言指出^[5]:1000 hPa的 θ_{se} (345 K)等值线有规律地向北推进和我国雨带季节性位移是完全一致的,这就说明具有温湿综合特征的 θ_{se} 可以指示季风气团的活动。本文利用E指数

$$E = \theta_{se850} + \theta_{se700} + \theta_{se500} - 3 \times 273.16$$

来表征夏季风中具有高温高湿且位势不稳定的气团,由此来考察这两类天气。合成分析结果如下:图3a、b分别为暴雨日和非暴雨日的E值合成平均和距平图,图中可以看到,暴雨日的E高值中心轴线在31°~32°N,位于淮河以南地区,其数值为200~210℃,距平为12℃。非暴雨日高值中心轴线在28°~29°N,在江苏以南地区,淮河流域为E低值区,并出现-14℃的负距平值。

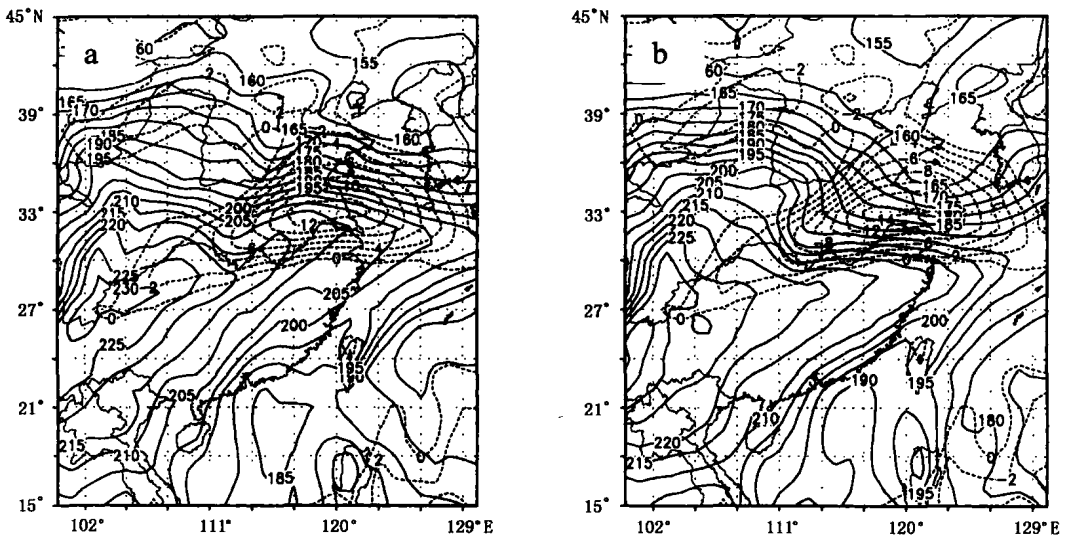


图3 暴雨期间(a)和非暴雨期间(b)的E合成平均(实线)和距平图(虚线)(单位:℃)

显然有暴雨的E指数特征为高值轴线经过江苏呈E指数高脊型,其本身数值较大,正距平也较大,而非暴雨日E指数特征正好相反,轴线远离江

苏,在江苏呈低槽型,数值较小,负距平数值较大。表明有暴雨日的温湿条件对强降水非常有利。

3.2 K 指数合成对比分析

K 指数 ($K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$) 是表示大气中低层水汽条件的一种不稳定指数,一般来说, K 指数越大,大气越不稳定。有暴雨时江苏省上空 K 值为 32 ~ 35 °C,正距平达 2 ~ 4 °C,而无暴雨日时 K 指数值为 24 ~ 30 °C,负距平为 - 2 ~ - 4 °C,显然两者差异明显(图略)。K 指数是反映温湿层结不稳定的参数,就平均而言,有暴雨时不但具有高温、高湿条件,同时需要层结不稳定。

3.3 不稳定能量的积累过程

天气实践表明:从无雨天气到暴雨天气的发生有一个不稳定能量的积累过程,以上述 E 指数为例,反映在 E 指数上同样有一 E 的低值区到高值区的建立过程,

取 $E = (\theta_{se850} + \theta_{se700} + \theta_{se500})$ 的时间导数 $\frac{\partial}{\partial t}$, 则 E 的局地变化率近似为:

$$\frac{\partial E}{\partial t} \approx \frac{\partial}{\partial t} \theta_{se850} + \frac{\partial}{\partial t} \theta_{se700} + \frac{\partial}{\partial t} \theta_{se500} \quad (1)$$

上式进一步近似写成(不考虑垂直交换和非绝热项):

$$\frac{\partial E}{\partial t} \approx (-V \cdot \nabla \theta_{se})_{850} + (-V \cdot \nabla \theta_{se})_{700} + (-V \cdot \nabla \theta_{se})_{500} \quad (2)$$

式(2)表明 E 的局地变化主要取决于 3 层 θ_{se} 的平流。以 2003 年 7 月 2 日 08 :00 为例计算在江苏沭阳附近格点上 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa 3 层 $-V \cdot \nabla \theta_{se}$ 值分别为: $3.49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 、 $1.68 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 和 $-0.85 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/s}$, 6 h 后 3 层 θ_{se} 的增量估算值分别为 7.5 °C、3.2 °C 和 - 1.8 °C,显然 θ_{se} 随高度升高其值不断下降,形成对流不稳定,增强了不稳定能量的积累,有利于当时在沭阳产生 111.7 mm 的大暴雨。同时注意到 θ_{se} 平流与温度和湿度平流有关,根据文献[6],近似地:

$$\theta_{se} \approx (T + 2.5q) \left(\frac{1000}{p}\right)^{0.288} \quad (3)$$

因本文仅计算固定的 3 个层次(即 850、700 和 500 hPa),所以 p 为定值时可令 $F = \left(\frac{1000}{p}\right)^{0.288}$, 于是得: $\theta_{se} \approx F(T + 2.5q)$, 进一步有:

$$\begin{aligned} -V \cdot \nabla \theta_{se} &\approx -FV \cdot \nabla (T + 2.5q) \approx \\ &-F(V \cdot \nabla T + 2.5V \cdot \nabla q) \end{aligned} \quad (4)$$

把式(4)代入式(2),我们不难近似得到 E 的局地变化主要取决于各层的暖湿平流,也就是有利暴雨过程大气中的不稳定能量积累主要取决于上下层温湿

差动平流。上述提到的 850 hPa 的对流层低层的急流形成在其中扮演了重要角色。

4 暴雨与非暴雨的动力条件特征分析

4.1 涡度、散度垂直剖面图对比分析

对暴雨和非暴雨的动力参数(涡度、散度等)进行合成对比分析,得出如下特征:有暴雨日在对流层的低层,在 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa 上,从华西到淮河下游为一西南至东北走向的正值大涡度带,其大值中心位于淮河上游,各层中心数值分别为 50、40、20($10^{-6}/\text{s}$,图略),同时都是正距平,分别为 25、20、10($10^{-6}/\text{s}$)。散度场分布(图略)类似于涡度场,其中各层中心数值分别为 - 6、- 3、- 10($10^{-6}/\text{s}$),其负距平场分布与散度场基本一致,负值中心各层分别为 - 4、- 4、- 6($10^{-6}/\text{s}$)。

无暴雨日时动力条件与有暴雨日的差别很大,出现符号相反,无暴雨日时 850、700、500 hPa 在淮河流域,各层涡度为 - 20、- 10、- 15($10^{-6}/\text{s}$),各层涡度距平为 - 30、- 25、- 15($10^{-6}/\text{s}$)。各层散度为 1.5、3($10^{-6}/\text{s}$),各层散度距平为 4、2、8($10^{-6}/\text{s}$)。

为进一步说明有暴雨与无暴雨的涡度、散度垂直方向的动力特征,我们沿 119°E 制作合成涡度、合成散度的垂直剖面图,见图 4a、b。图中可以看到,暴雨日合成涡度剖面图中,33°N 附近为正涡度区,最大值位于 800 ~ 900 hPa,为 $50 \times 10^{-6}/\text{s}$,正涡度区一直伸展到 400 hPa 高空。其上为负涡度区,最小值在 200 hPa 左右,为 $-60 \times 10^{-6}/\text{s}$ 。暴雨日散度垂直剖面图(图 4b)中,33°N 附近即淮河流域散度值为负值,负值区一直伸到 400 hPa,中心位于 100 ~ 200 hPa,中心值为 $-20 \times 10^{-6}/\text{s}$ 。由此可见,暴雨日的涡度、散度合成垂直剖面图比较好地反映出 2003 年淮河流域暴雨形成的垂直方向的动力特征:低层辐合,高层辐散,无辐散层在 400 hPa 附近。

在非暴雨涡度合成垂直剖面图(图 5a)中,600 hPa 以下的对流层低层在 33°N 以北为负涡度区,其上才为正涡度区。在散度合成垂直剖面图(图 5b)中,33°N 附近的 800 hPa 以下低层出现了 $2 \times 10^{-6}/\text{s}$ 至 $8 \times 10^{-6}/\text{s}$ 正散度值,低层气流产生明显的辐散。尽管在 800 ~ 350 hPa 出现负散度,350 hPa 以上又为较强的正散度,但在垂直方向对流层低层没有形成一支辐合抬升气流,因此不利于暴雨形成。

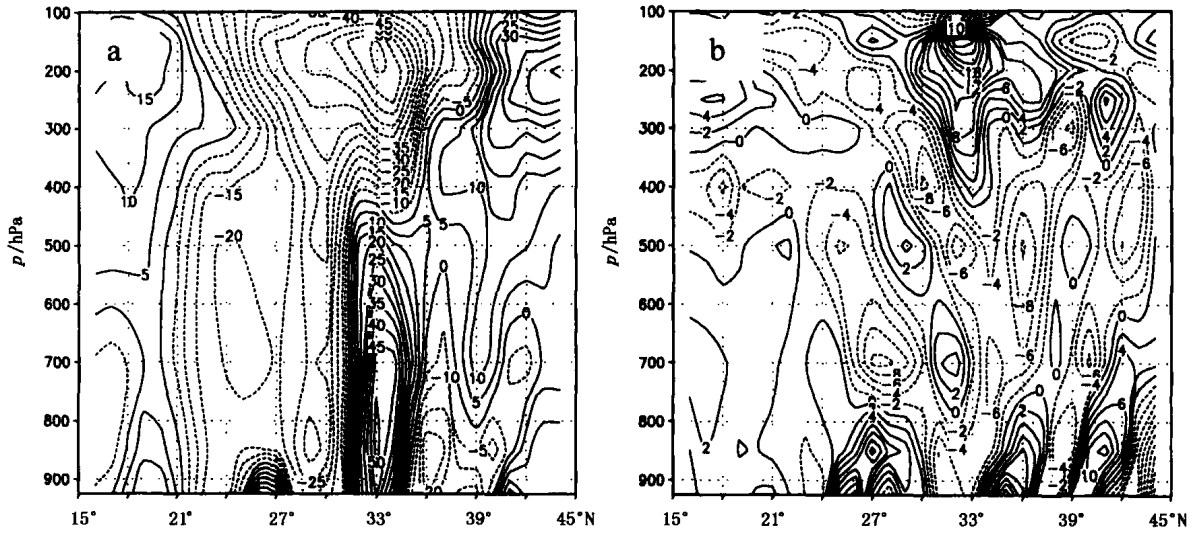


图 4 暴雨日沿 119°E 涡度(a)和散度(b)垂直剖面图(单位: $10^{-6}/s$)

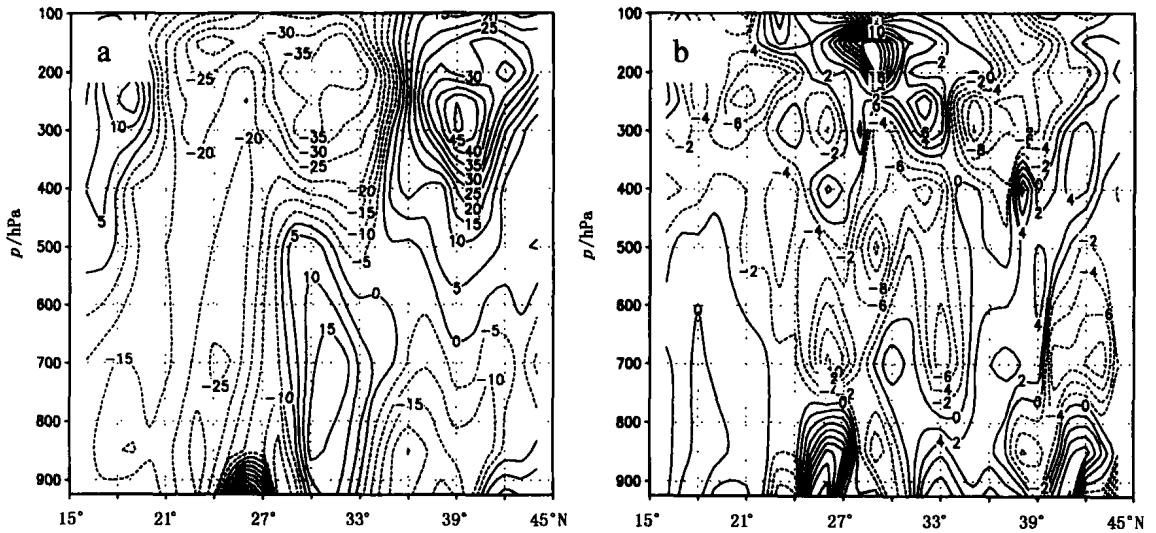


图 5 非暴雨日沿 119°E 涡度(a)和散度(b)垂直剖面图(单位: $10^{-6}/s$)

4.2 垂直速度剖面图对比分析

许多研究表明:暴雨发生在较深厚层次的上升运动中,分析暴雨日和非暴雨日的沿 119°E 垂直速度经向剖面图(图略)可知,在江苏境内淮河流域,即 32°~33°N,在暴雨过程中 ω 为负值,从地面一直伸展到 500 hPa 以上,最小负值为 -25×10^{-3} hPa/s。非暴雨过程则反之,基本为下沉区,其 $\omega \geq 0$ 。

5 暴雨预报的概念模式与分析讨论

在对 2003 年夏季淮河流域暴雨合成对比分析的基础上,我们进一步分析天气形势,寻找暴雨与非暴雨过程各个个例的规律,初步归纳暴雨概念模式

如下:

- (1) 四川西部有低槽,引导冷空气东移南压,在槽前,低空(850 hPa)有一支大于等于 12 m/s 的西南风急流,形成水汽输送带,在地面表现为青藏高原东部有倒槽发展,或在倒槽内形成静止锋或生成气旋东移。
- (2) 江苏暴雨天气与副热带高压活动联系在一起,暴雨带一般位于稳定副热带高压脊线之北 7~9 纬距。当副热带高压增强时,暴雨带可处在副高脊线之北 9~11 纬距处
- (3) 副热带高压中心西进增强,同时又有西风槽东移,有利于副热带高压边缘静止锋区内扰动加

强,当副热带高压大幅度北抬或南落(5个纬度以上),同时有低槽或低压或切变线配合,可导致暴雨发生。

(4)通过个例分析归纳,物理量对暴雨落区有参考价值:850、700、500 hPa 3层假相当位温和 E 指数大于 $210\text{ }^{\circ}\text{C}$; K 指数大于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的大轴线伸向江苏境内;江苏境内 500 hPa 以下各层均表现为正涡度,其中 700 hPa 正涡度值为 $3 \times 10^{-5}/\text{s}$ 至 $8 \times 10^{-5}/\text{s}$;江苏境内 500 hPa 以下各层均为负散度区,其中 700 hPa 的散度值为 $-2 \times 10^{-5}/\text{s}$ 至 $-6 \times 10^{-5}/\text{s}$ 。

(5)本文对暴雨和非暴雨的热力条件和动力条件进行合成对比分析,初步得到它们各自的特征及彼此之间的差异,归纳出暴雨预报概念模式,但这些结论是否具有普遍性,还有待于进一步普查和验证。值得注意的是按我们概括暴雨和非暴雨天气过程所

使用的合成分析,得出的是大气要素平均场,平均场往往比瞬时天气的要素场平滑,经向度小。同时所建立的暴雨模式也是初步的,我们将进一步增加实例样本广泛验证,以不断修正充实我们的结论。

参考文献

- 1 丁一汇. 1992年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京:气象出版社,1993. 5-240
- 2 李耀辉,寿绍文. 一次江淮暴雨的 MPV 及对称不稳定研究. 气象科学,2000,20(2):171-178
- 3 张小玲,陶诗言. 1998年梅雨锋的动力热力结构分析. 应用气象学报,2002,13(3):257-267
- 4 徐勇,郑维忠,陆汉城. 江淮暴雨中尺度特征数值模拟. 气象科学,2001,21(1):73-80
- 5 陶诗言. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980. 51-120
- 6 特维尔斯基伊 N. H. 气象学教程(第一册). 仇永炎译. 北京:高等教育出版社,1959. 40-255

Comparative Analysis of Characteristics of Synoptic Patterns with and without Heavy Rainfall in Downstream of Huaihe River

Yin Dongping Shen Shuqin Zeng Mingjian Pu Meijuan Wu Haiying

(Jiangsu Provincial Meteorological Office, Nanjing 210008)

Abstract: An analysis was made of 12 weather processes with rainstorms and 9 processes without rainstorms from 21 June to 11 July 2003. The synoptic patterns and physical quantities for the two kinds of processes were compared. The composite-average physical variables for the two kinds of weather processes were calculated, and the thermal and dynamical conditions were analyzed respectively using T213 grid data at 20:00, in combination with the position of the ridge line of Subtropical High and the position of the surface front. Based on the results, a concept prediction model for the short-range heavy rainfall was designed.

Key words: heavy rainfall, synoptic pattern, conceptive model