

皖东两次强对流风暴过程的动力学诊断

王新生

汪克付

(安徽省气象局业务处,合肥 230061) (芜湖市气象台,241000)

提 要

对1996年夏季发生在副高西北侧和副高内部的皖东沿江地区两次强对流风暴过程进行了热力参数和动力学对比诊断,结果表明:两次过程的动力、热力学机制存在显著的差异;引入 Q 矢量分析后又发现:强雷暴及暴雨区与 Q 矢量辐合区有较好的对应关系;最后概述了这两类强风暴过程的0—12小时预报着眼点。

关键词: 夏季 强对流风暴 动力学诊断 短期预报

引 言

1996年7月18日和8月21日午后至傍晚,皖东沿江及皖南山区出现了两次强对流天气过程,雷暴所经之地均出现了雷雨、大风,局部还出现了龙卷、冰雹和短时暴雨,其中,7月18日下午宣城最大瞬时风速达 $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,芜湖1小时降水量达77mm。8月21日的天气虽没有7月18日剧烈,但瞬时风力也达9级,雷电现象激烈,芜湖4小时降雨量为55mm。另据报导,由于雷电、大风、暴雨的突然袭击,两次过程都使上述两地区遭受了相当严重的损失。但从预报和服务情况看:对前一次过程绝大多数台站都能作出午后有阵雨或雷雨的预报,但强度预报不够;对后一次过程,有不少台站连阵雨都未报,也就更无从谈服务了。因此,深入研究这两次过程发生发展的条件和机制,对预报是十分必要的。

1 天气形势和预报难点

图1分别是两次过程当日08时的环流形势和影响系统的综合图。从图1a可看到,7月18日的强对流天气是发生在副高西北侧偏南气流中。表现在天气图上就是对流层中低层从南宁经长沙、南昌一直到渤海湾均为一致的偏南或西南气流,且850、700hPa的急流轴也在这一条线上。另外,对流层低层有

低槽东移,850hPa槽线在渤海—阜阳—贵阳一线。就预报而言,预报急流轴线附近有雷暴和阵雨发生是不难的,但要预报急流轴上哪个部位有强对流风暴出现,仍然是困难的。从图1b则可以看到:这次强对流是发生在副高内部,且对流层低层的风速较弱(最大风速 $<8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),风向也比较混乱,而只是在850、925hPa图上,苏北—宜昌有一弱冷式切变线(两侧风速也较小),但同样在上述大致相同的范围内出现了强对流天气,若只用常规手段欲做出准确的预报确实是非常困难的。

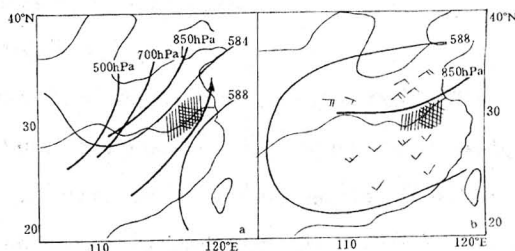


图1 天气形势和影响系统

a为7月18日08时,b为8月21日08时,

斜线区为对流区,网格区为强对流区,

粗实线为槽线或切变线,矢线为850hPa急流

2 诊断分析

2.1 资料处理与计算

热力和动力参数计算取国内63个高空

测站记录,用最优插值法内插到 $1^\circ \times 1^\circ$ 的网格点上,计算范围为 $20^\circ\text{--}40^\circ\text{N}$ 、 $100^\circ\text{--}125^\circ\text{E}$,层次为925—100hPa各标准层。

2.2 水汽含量及水汽输送

7月18日过程中,副高西北侧存在大范围深厚饱和层, $T-T_d < 3^\circ\text{C}$ 的气层自地面一直到300hPa高度。低空水汽输送也十分有利,低空急流可将水汽一直输送至强对流天气发生区(图1a);而8月21日的过程饱和层较低,500hPa以上即为大范围的干层($T-T_d > 6^\circ\text{C}$),低空西南气流也较弱,水汽输送远不如7月18日的过程有利(图1b)。因此,仅从水汽条件看,后者是不利于强对流风暴发展的,这也是导致预报失败的一个重要原因。

2.3 位势稳定度及局地变化

图2是7月18日和8月21日 $\Delta\theta_{se}$ (500hPa与850hPa θ_{se} 之差)分布图,可看出雷暴区都处于位势不稳定状态,且7月18日比8月21日气层更不稳定(7月18日 $\Delta\theta_{se} < -15^\circ\text{C}$,8月21日 $\Delta\theta_{se} < 0^\circ\text{C}$)。因此,两次雷暴过程发生发展的层结不稳定条件均具备。但分析位势不稳定随时间变化可发现,8月21日气层趋于越来越不稳定状态,一是雷暴区300hPa有明显的冷平流,而低层为暖平流(图略),因此,存在上干冷下暖湿的层结结构,二是由于该日中午前沿江江南为晴空区,下垫面对低层空气加热作用明显,因此十分有利于不稳定能量的产生和积累^[1]。

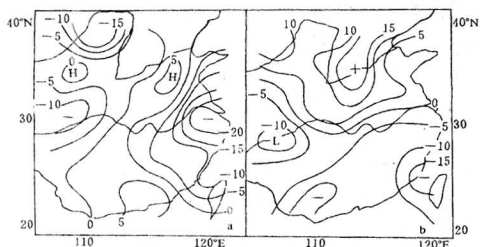


图2 7月18日08时(a)和8月21日08时(b)
 $\Delta\theta_{se}$ 分布图($^\circ\text{C}$)

2.4 θ_{se} 场特征及其对对流系统发生发展的作用

图3是两次过程的 θ_{se} 场分布图,从图3a可见,7月18日 θ_{se} 等值线分布比较均匀,雷暴区无明显的 θ_{se} 密集区,因此,可以认为本次过程与能量锋区关系不大。但8月21日08时,从沿江江北伸向渤海湾为一东北—西南向的 θ_{se} 密集带,即能量锋区明显,而且,这种能量锋区恰好又处在低空冷切变的位置上,因此,由于风场辐合而产生的中尺度扰动一方面在这种能量锋区上极易发展,另一方面中尺度扰动又导致不稳定能量释放,使垂直上升运动加强,作者认为这可能是本次过程最直接的触发机制。从卫星云图可以清楚的看到(图略),对流云团首先于当日13时在皖南山区形成,尔后逐渐北抬至沿江,得到了迅速发展和加强,并维持了近5个小时。

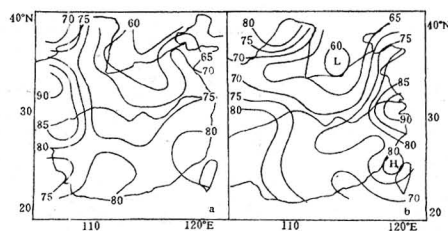


图3 7月18日08时(a)和8月21日08时(b)
850hPa θ_{se} 场($^\circ\text{C}$)

2.5 高、低空流场配置及作用

图4是两次过程散度场的空间分布图,从图4可看到,两次过程都存在低空辐合和高空辐散的配置形势,但值得注意的是7月18日过程中,雷暴区上方存在深厚的无辐散层,直到500hPa还表现为弱的辐合,400—300hPa为弱辐散,200hPa才转为较强的辐散场,最大辐散中心为 $4.3 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 。但从垂直运动场看,雷暴区300hPa以下均为上升运动,500hPa上升运动最强,达 $-4.1 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;而8月21日08时过程中,辐合层只限于500hPa以下,200hPa为强辐散层,最大散度中心值达 $6.7 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$,雷暴

区上升气流也可达到 300hPa, 850hPa 上升运动最强, 数值为 $-2.6 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。分析认为, 这两次过程的散度和垂直运动特征与两次过程的影响系统以及高、低空气流的配置是密切相关的。

7月18日过程的无辐散层高度如此之高, 这与对流层中层的辐合及高、低空急流的耦合配置不无关系。一般认为 500hPa 槽前应为辐散区, 但由于槽底以西仍为强风区, 且雷暴上方顺气流方向风速纵向辐合量很大, 因此, 在槽前部位也产生了辐合。而高层, 雷暴上方正处于高空急流的出口区左侧的强辐散区, 由于“抽吸作用”, 加强了中层的辐合。低空辐合则主要因为低空急流的纵向辐合与低槽前部辐合的共同效应所产生。这样深厚的上升运动显然有利于中尺度强对流系统的形成, 但如此高的无辐散层是否也有利于中

尺度强对流系统的形成与发展, 有待于进一步研究。综合前面的分析可以认为, 本次过程主要是由于系统性上升运动导致不稳定能量释放而产生的。

8月21日过程的高空辐散场、低空辐合与高低空流场的配置以及低空切变是分不开的, 本次过程虽无高、低空急流出现, 但是 300hPa 我国黄河以南为强大的青藏高压所覆盖, 高压轴线位于 30°N 附近, 雷暴区为高压前沿的偏北气流控制(图略), 而低空则为西南气流(图 1b), 雷暴区正处于高、低空气流相反方向迭置的区域, 同时低层在切变线附近存在水平风场辐合, 且高空辐散明显强于低空辐合, 这样就易在雷暴区形成正的次级环流圈^[2]。显然, 这种局地正环流圈的建立对触发、加强和维持中尺度扰动是有利的。

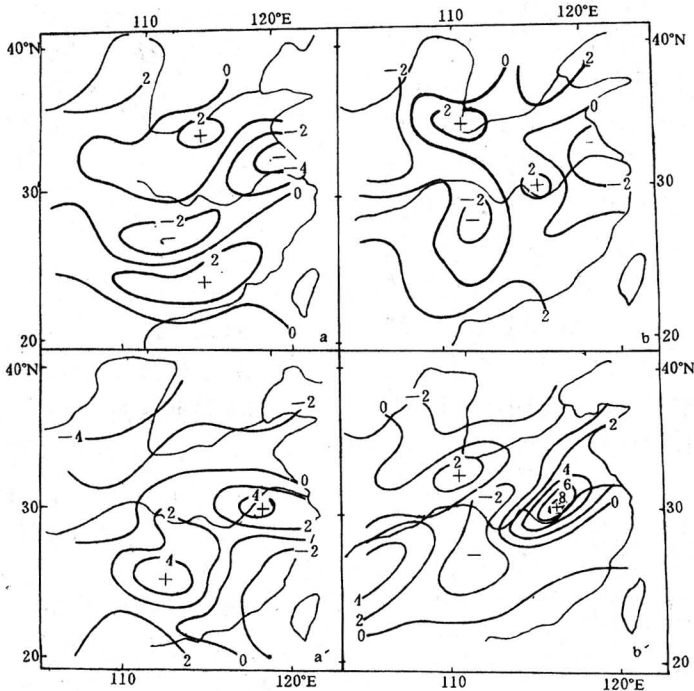


图4 7月18日08时和8月21日08时各层散度场($1 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)
a、a'分别为7月18日08时850、200hPa; b、b'分别为8月21日08时850、300hPa

2.6 低空急流的非地转特性变化对强对流的作用

分析7月16—17日的散度场,同7月18日08时相比,发现除强度较弱外,其分布特征非常相似,但并未出现强对流风暴,而只出现弱的阵性降雨。从雷暴区(31°N, 117—118°E 两点平均)850hPa实测风与地转风随时间变化曲线看(图略):15—16日实测风与地转风基本一致,17日由于急流的发展,实测风明显大于地转风,表明非地转风开始发展,18日非地转运动进一步加强,强雷暴出现在强风速核的前方,因此,本次强对流风暴与低空急流非地转特性的发展加强有关,风场的水平不均匀分布及 Q 矢量分析也可证实这一点。

2.7 风场水平不均匀分布与雷暴的关系

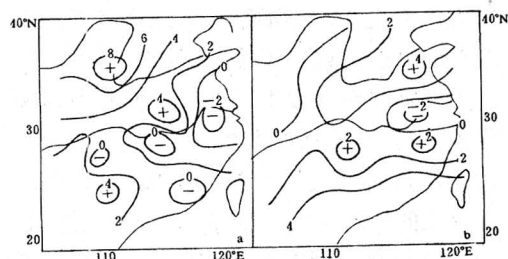
$$\text{记 } A = \frac{\partial}{\partial x} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

表示风场在水平方向不均匀的分布^[1],从850hPa的 A 值分布看(图略):在低空急流轴左侧及切变线附近有 $A > 1.0 \times 10^{-9} \cdot \text{s}^{-2}$ 的大值带,而强风暴则与 $A = 1.2 \times 10^{-9} \cdot \text{s}^{-2}$ 的强辐合中心有很好的对应关系,这表明强风暴的发展与低层的辐合是密切相关的,而低空辐合又与低空急流的非地转特性发展加强有关。

3 Q 矢量分析

从计算结果看,7月18日08时,对流层中低层 Q 矢量散度分布基本相似,即在槽前和急流轴左侧为西南—东北向的带状辐合带,而在雷暴区和低涡所在地的渤海湾各有一辐合中心,中心值分别为: $-2.9 \times 10^{-13} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-3.5 \times 10^{-13} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,雷暴区辐合中心的出现,表明随着低空急流的增强,非地转风也得到了相应的发展,从而激发了次级环流发展。8月21日,由于我们所计算的范围几乎被588线所控制,且无低槽和

急流发展,因此,对流层中、低层主要为 Q 矢量辐散场所覆盖,但有趣的是,在850hPa和925hPa的切变线附近有一长约350km、宽约200km的辐合区,这个辐合区对中尺度对流系统的发展是重要的,因为 Q 矢量散度是经过动力学加工的准地转强迫项,这种强迫机制所产生的准地转上升运动会在一定的时间内得以维持,因而就为中尺度对流系统的发展提供了有利的动力条件^[3],两次过程均与 Q 矢量散度辐合区有较一致的对应关系(图5)。



5 7月18日08时(a)和8月21日08时(b) 850hPa Q 矢量散度分布图(单位: $1.0 \times 10^{-13} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

4 高空风对雷暴移动的影响

比较两次过程的高空风(图略),亦有显著的差异。7月18日从850—500hPa雷暴区均盛行一致的西南或偏南气流,风速为 $12—20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,风向垂直切变不明显,雷暴在上述气流引导下,迅速向北偏东方向移动,在一地的维持时间仅1小时左右。而8月21日高空风速较小,为 $4—9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,但高、低层风向的垂直切变明显,从而导致雷暴后部不断有新雷暴云发展^[1],使得芜湖上空雷暴活动维持了5个小时,从而造成雷电或暴雨灾害。

5 夏季不同环流背景下,强对流天气的0—12小时预报

通过上述分析,作者认为要作好夏季午后强对流天气的短期预报,首先应了解强对流天气发生发展及维持的热力和动力机制在不同环流背景下的表现形式,其次要详细分析产生强对流天气的各种动力、热力参数场

的分布特点,从而作出综合判断,找出预报线索,从这两个个例的分析结果看:

5.1 对副高西北侧类的强对流天气预报应着眼于:①在副高西北侧深厚的西南气流里,水汽含量十分丰富,饱和层高,且常常处于位势不稳定状态,系统性上升运动极易产生对流性天气;②在高、低空急流的耦合配置的地方常能产生强对流天气,结合分析低空急流的非地转分布特征及 Q 矢量散度辐合来具体确定强对流的发生区域。

5.2 副高内部强对流天气预报的着眼点:①要特别注意大气位势不稳定层结及其局地变化趋势的分析,重视“干冷盖”的作用,因为这可能是这类强对流发生发展最重要的内因和必要条件;②要特别重视高空强辐散的“抽吸作用”及“散热作用”,分析低层扰动,关注低空切变线的风场不均匀分布、能量密集带、弱冷空气及特殊地形的动力和热力扰动,这可能是最直接的触发系统;③分析高空风场特

征,风向的垂直切变有利于对流发生且雷暴后部不断有新雷暴发展,因而有利于对流系统在某地维持少动,从而导致严重灾害;④当上述条件具备时,也可通过分析 Q 矢量散度辐合与湿锋生函数大值区配置来确定强对流发生区域。

6 结 语

本文通过夏季两次不同环流背景条件下的强对流过程分析,得到了一些有意义的结果,对这两类环流型下的强对流天气的0—12小时预报有一定的指示意义,但所得到的结论是否具有普遍意义,尚需更多的个例和详细的资料作深入研究。

参考文献

- 1 丁一汇. 高等天气学. 北京:气象出版社,1991.
- 2 孙淑清等. 梅雨锋的维持与其上扰动的发展特征. 应用气象学报,1996,7(2):157.
- 3 白乐生. Q 矢量分析方法及其在短期天气预报中的应用. 气象,1988,14(8).

Dynamic Diagnoses of two Severe Convective Storms Developed along the Changjiang River in East Anhui

Wang Xinsheng

(Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230061)

Wang Kefu

(Wuhu Meteorological Office, Wuhu 241000)

Abstract

The comparative diagnoses of thermodynamic parameters and dynamics show that obvious difference of dynamic and thermodynamic mechanics exists in the two severe convective storms developed in and to the northwest of subtropic high along the Changjiang River in East Anhui in the summer of 1996. It is found by conducting the Q vector analysis that the severe storms and heavy rain areas are in accordance with the convergence of Q vector. The focus attention of short range (0—12 hours) prediction of the two kinds of severe storms is given.

Key Words: summer severe convective storm dynamic diagnoses short-range prediction