

2007年7月8日特大暴雨 过程的中尺度特征

郑媛媛¹ 张小玲² 朱红芳¹ 叶金印³
方翔⁴ 张娇¹ 张雪晨¹ 袁松¹ 施帅红¹

(1. 安徽省气象台, 合肥 230031; 2. 中央气象台; 3. 淮河流域气象中心; 4. 国家卫星气象中心)

提 要: 利用雷达、卫星、闪电定位仪及 NCEP 资料分析了 2007 年 7 月 8 日在安徽沿淮西部出现的特大暴雨过程的中尺度特征。分析结果表明:造成特大暴雨的强对流回波带与近地面层 925hPa 辐合区位置一致,而且回波单体移向与回波带走向一致,另外发现该中尺度对流雨团(rainstorms)属于后向传播,其传播方向和单体的移动方向相反,使得强回波在特定区域保持相对静止,造成特大暴雨;逐时降水极值基本出现在对流发展旺盛和对流回波发生合并时。另外通过分析单多普勒雷达反演二维风场发现,中低层气旋性切变的维持是强降水形成和维持的重要条件。

关键词: 特大暴雨 后向传播 多普勒雷达 二维风场

Mesoscale Characteristic Analysis of the Excessive Storm on July 8, 2007

Zhen Yuanyuan¹ Zhang Xiaoling² Zhu Hongfang¹ Ye Jinyin³
Fang Xiang⁴ Zhang Jiao¹ Zhang Xuechen¹ Yuan Song¹ Shi Shuaihong¹

(1. Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031; 2. National Meteorological Observatory;
3. Huaihe Basin Meteorological Center; 4. National Satellite Meteorological Center)

Abstract: By using the data of radar and satellite, lightning positioning and NCEP data, the mesoscale characteristics of the excessive storm occurring in the western region along Huaihe in Anhui on July 8th, 2007 were analyzed. The results show that the big convective echo band producing the excessive storm was consistent with the convergence area at 925hPa. The convective cell moved in the same direction as echo band, but the mesoscale rainstorms

资助课题: 国家自然科学基金项目“40575014”、863 项目“多源卫星资料强对流监测与追踪方法研究”(2006AA12Z106)、中国气象局新技术推广项目“CMATG2007M35”、安徽省十一五科技攻关项目“06013140B”、973 项目“2004CB418301”、2008 年业务建设项目“灾害性天气短时临近预报预警业务系统建设与改进”共同资助。

收稿日期: 2008 年 8 月 11 日; 修定稿日期: 2008 年 12 月 5 日

propagated backwards. It moved in the oppositional direction with the single cell which made the big echo relatively stable in a specific area and caused the excessive storm. The maximum hourly precipitation almost appeared when intense convection and convective echo merging. Furthermore by analyzing the two-dimensional wind field retrieved of single Doppler radar, the cyclonic shear maintaining at low and middle level was the important condition which caused and maintained the severe rainfall.

Key Words: excessive storm backward propagation Doppler radar two-dimensional wind field

引 言

暴雨研究及其预报一直是气象工作者关注的课题之一,陶诗言^[1]等的中国之暴雨、章淹^[2]暴雨预报、丁一汇^[3]主编的 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究,对我国暴雨研究和预报的研究成果进行了总结,为暴雨研究奠定了一定的基础。随着气象卫星监测的时间和空间分辨率的提高和多普勒天气雷达组网工作的完成,暴雨短时临近预报有了可靠的硬件保障。

受中高纬度西风槽及中低层切变的共同影响,2007 年 7 月 1—10 日淮河流域出现了持续性较强降水过程,淮河水系大部分地区超过 200mm,部分站点降雨量超过 400mm。其中,7 月 8 日在淮河干流出现的特大暴雨过程,对淮河汛情造成了严重影响。从安徽省高密度雨量站监测结果显示,淮河干流中西部有 20 个雨量站雨量超过 250mm,其中阜阳地区的迎仙站最大为 518mm。本文利用雷达、卫星、闪电定位仪及 NCEP 资料分析了 2007 年 7 月 8 日在安徽沿淮出现的特大暴雨过程的中尺度特征,有助于提高暴雨短时临近预报的技术水平。

1 暴雨形成的大尺度背景和中 β 尺度对流云团后向传播特征分析

研究表明,暴雨发生时大气的垂直分布结构及动力、热力条件的配置是非常重要的。

利用 NCEP 每日四次再分析资料,计算了 2007 年 7 月 8 日涡度、散度、垂直速度、水汽通量和水汽通量散度。计算结果显示辐合和辐散的最大值分别在 925hPa 和 200hPa 附近,925hPa 的辐合区与强降水回波带的位置基本重合。水汽水平辐合主要来自于近地面层,最大值在 925hPa,同时水汽辐合带与暴雨区有很好的对应关系(见图 1)。

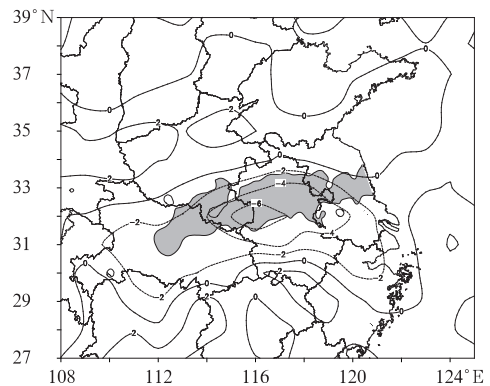


图 1 2007 年 7 月 8 日 08 时至 9 日 08 时降水量与 925hPa 水汽通量散度平均场分布图
阴影部分为 50mm 及以上降水区,水汽通量散度
单位: $10^{-7} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$

分析沿淮西部的特大暴雨过程发现,在 7 月 8 日 02—14 时集中降水时段在该地区共有 6 个中 β 尺度云团在梅雨锋云带西侧新生、发展、合并造成强降水(见图 2),分析每 30 分钟间隔的红外云图可见,8 日 01 时在阜阳南部地区第一个中 β 尺度对流云团 A 发展,02 时云团明显发展加强,低于 -52°C 云区范围明显扩大。03 时云团发展并缓慢东移,同时在云团西南侧第 2 个中 β 尺度对流

云团 B、C 发展,04 时新生云团进一步发展东移,而位于其东部的云团略有减弱。05 时两云团合并,云顶温度下降到 -65°C 以下,在合并云团西北侧又有 2 个中 β 尺度对流云团 D 和 E 发展。06 时新生云团发展加强,07—08 时对流云团合并成中尺度对流云带,导致地面降水加强,对应低于 -65°C 以下云区,地面出现 1 小时 30mm 以上的强降水区。09 时 30 分在对流云带的西侧第 6 个中 β 尺度对流云团 F 发展,10 时迅速发展加强,云顶温

度下降到 -65°C 以下,造成阜阳迎仙站 09—10 时 1 小时降水 88.7mm,11 时云团与东部云带合并加强,11 时 30 分在对流云带的西北侧第 6 个中 β 尺度对流云团发展,随着华西低槽东移,12 时在合并处云团迅速发展加强,受其影响姜寨和迎仙雨量站 11—12 时 1 小时雨量分别为 89.4mm 和 66.0mm。可见新生对流云团产生和发展的部分是风暴中最活跃的部分,由于不断有中 β 尺度对流云团在淮干西部生成、发展、合并造成强降水。

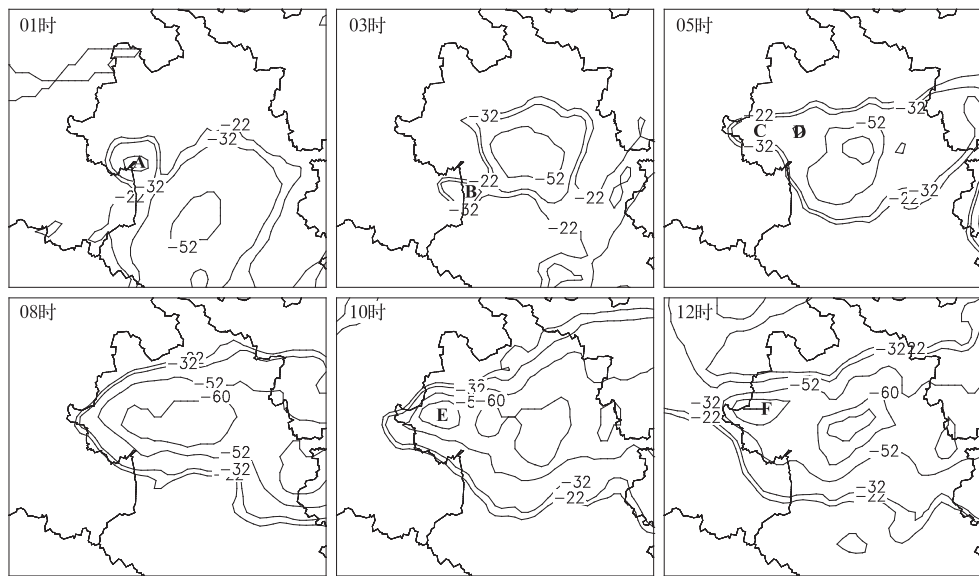


图2 2007年7月8日01、03、05、08、10、12时云顶温度图

图2显示了一个向西传播的MCS的发展变化图,MCS承载层的平均风为西风,因而是后向传播(传播方向与平均风方向相反)。中 β 尺度云团迎着上层风发展的重要意义在于它会延长强降水时间,进而导致暴雨洪涝。Shi和Scofield^[4-6]研究结果表明:MCS向前传播系统其MCS形成于从中等到强劲的上层风环境中,在中等强度风切变中发展,且风随高度顺时针旋转。而MCS后向传播系统其MCS形成于上层风较弱环境中,没有正涡度平流或正涡度平流很弱的地区,且沿着水汽辐合轴后向传播,低层有暖平流。分析7月8日08时阜阳探空资料可见,在低层风由西南风转偏西风,表明有暖平流

存在,而从700hPa到300hPa,风随高度逆转,表明高层有冷平流,大气层结不稳定,但风速随高度没有明显增加,200hPa为 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏西风。同时由NCEP7月8日08时的物理量场分析可知,500hPa没有正涡度平流,并且有弱辐散(图3,见彩页),基本符合Shi和Scofield关于后向传播系统的概念模型。长江流域2002年7月22日特大暴雨过程也符合此概念模型^[7]。

2 雷达和闪电资料分析

2.1 雷达回波特征

与大冰雹和龙卷不同,对流暴雨在多普

勒天气雷达上并不呈现出明显的特征^[8]。对流暴雨不是瞬间事件,需要一段时间的累计。雨强的大小主要由低空的雷达反射率因子大小来判断。分析特大暴雨降水时段的雷达回波可见,在 7 月 8 日 01 时开始有零散中尺度对流回波生成,最强回波为 50dBz,风暴追踪信息产品显示,此后在信阳东侧阜阳西侧不断有 γ 尺度对流回波发展,对流单体的传播和单体的移动方向相反,对流回波的移动速度基本上在 20km/h 左右并沿 500hPa 引导气流缓慢向偏东方向移动,到 05 时已发展成为一条中尺度对流回波带,在 08 时雷达拼图(图 4a,见彩页)可见,在对流回波带上风方即西南一侧为对流回波组成的强回波带,回波强度普遍在 45~50dBz 以上,边缘强度梯度很大。垂直剖面图上(图 5,见彩页)可见回波带平均高度在 8km 以上,强的对流回波高度超过 14km,50dBz 以上的强回波主要集中在 6km 以下。位于切变线北侧为混合性降水回波,回波强度梯度较小,由于在沿淮西部地区不断有新的对流回波发展东移,而且回波单体的移向与回波带的走向一致,使得强回波在沿淮地区保持相对稳定状态,造成持续强降水。8 日 11 时开始,随着短波槽东移,与短波槽相对应的降水回波带与原来在沿淮维持少动的对流回波带合并,12 时雷达拼图上可以看到典型的“人”字形回波(图 4b,见彩页),在合并处造成了非常强的对流性降水,11—13 时阜阳的姜寨和迎仙站降水分别为 154.3mm 和 131.8mm。14 时以后,降水回波带明显变宽,回波强度减弱,强降水结束。

2.2 梅雨锋中尺度对流回波系统内的气流结构

影响降水生成和发展的中 β 尺度包括:低空的中尺度辐合、中尺度风切变、中尺度涡旋等。分析对流降水的产生和风切变的关系可以发现,中尺度辐合往往在对流降水产生前就已经存在,在对流降水产生时风切变会

有一些变化,包括西南风速加大或气旋性辐合加强等,对流的发展常与西南风或偏东风加强有关。

多普勒天气雷达不但具有常规天气雷达所具备的可以观测降水强度场分布的能力,而且还可以获得云体内部风场分布和结构等方面的信息。利用气象科学研究院单多普勒雷达 4DVER 反演二维风场研究成果,分析了强降水时段中尺度对流回波系统内不同高度的水平气流结构,分析 7 月 8 日 08—10 时地面加密观测资料(图略)和 0.5km 水平风场(图略)在中 γ 尺度对流回波发生、发展区域一直维持偏西风与偏南风的气旋式切变,从 1.5km 和 3.0km 水平风场(图略)可见,为偏西风与西南风的气旋式切变,5km 高度上为一致的偏西风,风随高度顺转,表明有暖平流存在,对流回波在生成后逐渐移入西南气流区中,在那里得到发展加强。11 时 0.5km 和 1.5km 水平风场转为偏北风与东南风的气旋性切变线,东南风速明显有所增强,超过 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在 3.0km 高度转为偏西风与偏南风气旋式切变。11:30 切变线仍维持(图 6a,见彩页),同时在靠近东南风一侧有对流回波发展,在 1.5km(图 6b,见彩页)和 3.0km(图 6c,见彩页)高度转为偏西风与偏南风气旋式切变,5.0km(图 6d,见彩页)高度上为较强辐散区。12 时 0.5km 水平风场可见切变线依然存在,对流回波略有东移,在东南风气流中发展加强,对应地面 11—12 时降水普遍在 40mm 以上。根据以上分析可见,中低层气旋性切变的维持和加强是中尺度对流系统发生、发展加强以及强降水形成和维持的关键。

阜阳站 VWP 产品显示,在 11 时前,低层 2km 以下基本为偏南风,高层为偏西风,11—14 时低层逐渐转为东南风,且风速有所加大,高层转为西南风,风切变由 $2.32\text{E}^{-3}\text{s}^{-1}$ 逐渐增大到 $5.60\text{E}^{-3}\text{s}^{-1}$,有利于降水增强和维持,其结果与 4DVER 反演二维风场结果基本一致。

2.3 雷电活动分析

目前国内外对突发强降水闪电活动的时空分布特征的认识很有限,Relepez等指出在美国佛罗里达州的对流云降水与雷电活动关系复杂:第一,有时很少或没有闪电活动却产生显著的降水;第二,有时有大量闪电活动却降水很少;第三,闪电和降水之间存在很好的相关。对比分析了迎仙站2007年7月8日03—18时1小时降水与雨量站周围15km半径范围的1小时雷电数分布(图7)发现,对应强降水时段雷电活动频繁,强雷电活动略超前于强降水,随着强降水过程持续,雷电活动趋于减弱,表明此时降水已转为对流云和层状云混合性降水,当雷电数进一步减少时,强降水基本结束。从统计结果来看,地闪主要为负地闪,几乎没有正地闪出现。

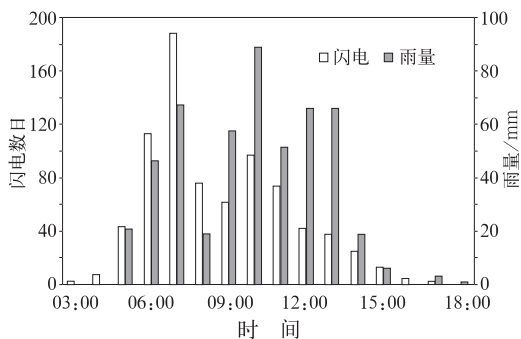


图7 2007年7月8日迎仙站1小时降水与1小时闪电数时间分布图

3 讨论

综合分析表明,对流运动的产生和维持与低层气流的状况有密切的关系,有利的环境条件可导致持续强降水。在7月8日特大暴雨过程中,新的对流单体不断在西侧产生和发展,在特定的环境条件下,出现对流单体的传播与单体的运动方向相反即后向传播,导致强回波在特定区域保持相对静止状态,造成特大暴雨;分析逐时降水极值看出,它基本出现在对流发展旺盛和对流回波发生合并时,表明中尺度降水有此独特之处。

梅雨期暴雨短时预报要密切注意梅雨锋降水回波带中是否有对流发展,以及这些对流回波是否出现组织化倾向。梅雨锋降水中出现对流降水,并呈现中尺度系统发展活跃是梅雨锋降水趋向加强的可靠标志。

不同高度二维风场反演结果显示,在中尺度对流回波产生区3km高度以下维持气旋式切变,5km以上风场相对均匀。低空西南急流和东南风急流是产生中尺度对流云团的重要条件。通过分析多普勒雷达反演的不同高度二维风场变化,可以监测低空急流、风随高度的变化以及风切变情况,分析预报可能出现强降水区域和强降水发展趋势。

致谢:感谢气象科学研究院刘黎平教授提供部分资料处理程序!

参考文献

- [1] 陶诗言,等. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社, 1980.
- [2] 章淹. 暴雨预报[M]. 北京:气象出版社, 1990.
- [3] 丁一汇主编. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京:气象出版社, 1993.
- [4] Shi, J. and R. A. Scofield. Satellite observed mesoscale convective system (MCS) propagation characteristics and a 3-12 hour heavy precipitation forecast index [M]. NOAA tech. memo., NESDIS 20.
- [5] S. F. Corfidi, J. H. Merritt, and J. M. Fritsch, Predicting the Movement of Mesoscale Convective Complexes [J]. Weather and Forecasting, 1996, 11: 41-46.
- [6] Charles A. Doswell III, Harold E. et al. Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology [J]. Weather and Forecasting, 1996, 11: 560-581.
- [7] 刘黎平,阮征,覃丹宇. 长江流域梅雨锋暴雨过程的中尺度结构个例分析 [J]. 中国科学 D 辑, 2004, (12).
- [8] 俞小鼎. 新一代天气雷达业务应用论文集 [M]. 北京:气象出版社, 2008.

郑媛媛等：2007年7月8日特大暴雨过程的中尺度特征

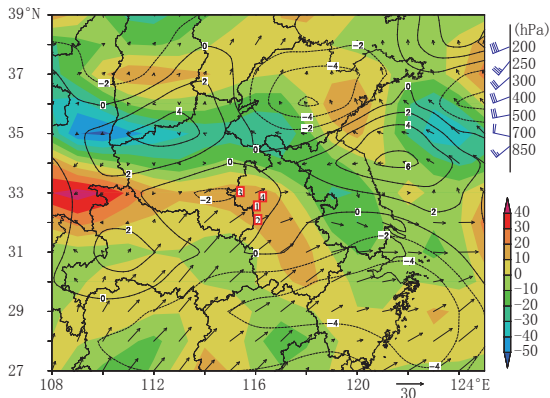


图 3 2007年7月8日08时NCEP物理量场和
 阜阳探空站资料
 箭矢表示925hPa水汽通量($g \cdot s^{-1}cm^{-1}hPa^{-1}$), 黑色等值线表示
 500hPa涡度场($10^{-5}s^{-1}$), 色斑图表示500hPa散度场($10^{-6}s^{-1}$)

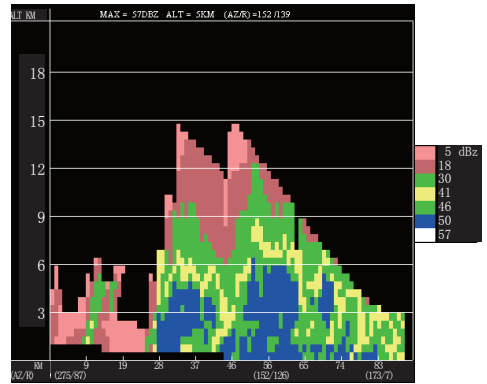


图 5 2007年7月8日08时雷达反射率因子
 垂直剖面

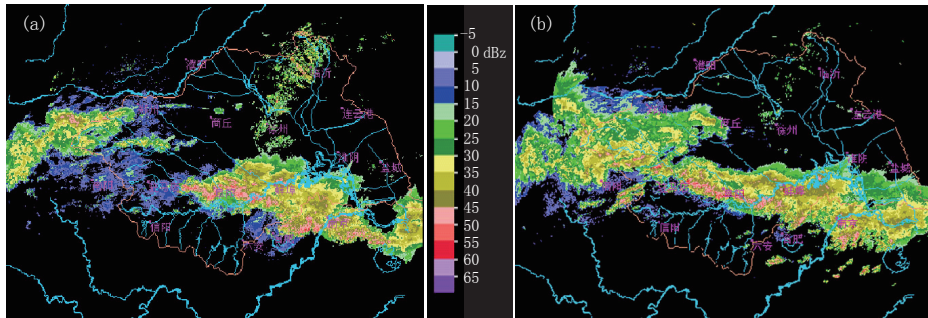


图 4 (a) 2007年7月8日08时雷达反射率因子拼图, (b) 2007年7月8日12时雷达反射率因子拼图

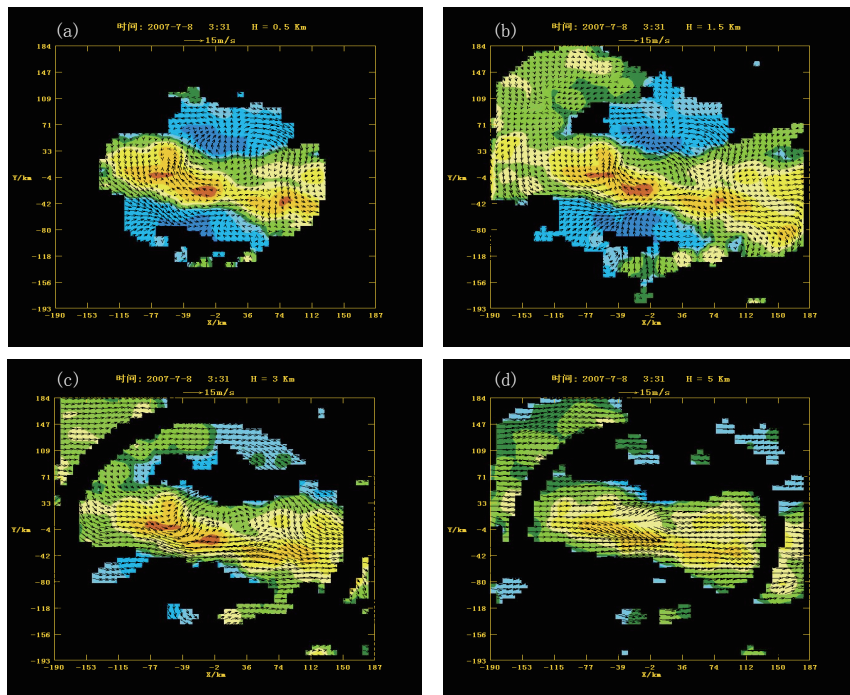


图 6 2007年7月8日11时31分0.5、1.5、3.0、5.0km高度反射率因子与水平风叠加