

连续暴雨过程中的中- β 尺度 大暴雨的成因分析^①

崔 晶^{1,2} 张丰启² 吕守敏²

(1. 南京大学大气科学系, 210093; 2. 山东省威海市气象局)

提 要

利用常规资料、多普勒雷达等资料,对威海市2004年8月4日夜到6日早上连续3天暴雨大暴雨降水过程进行了分析,重点分析了5日夜间的中- β 尺度大暴雨过程,发现此次降水是发生在副高边缘的高能量堆积区,冷空气的侵入是前期强降水的主要原因,而地面辐合是导致强降水再次出现的主要触发机制,充沛的水汽输送、聚集的对流有效能量为暴雨中尺度系统发生发展提供了必要的物理机制。

关键词: 连续暴雨 中- β 尺度 副高边缘

引 言

2004年8月4日(北京时,下同)到8月6日威海市出现了一次大暴雨天气过程,其中威海市区出现了一次比较罕见的连续性大暴雨天气过程。这次连续性的大暴雨过程降水强度之大,持续时间之长,在威海市有气象记录以来极为罕见,使得威海市各主要水库均超过汛限水位,全市共有7658个农户受灾,受灾农作物11092hm²,倒塌房屋286间,冲毁道路堤坝129.8km、桥梁74座,81条渔船沉没,35条渔船失踪;死亡1人,失踪1人,直接经济损失达1.598亿元。

副高边缘强对流降水的研究,已取得了一系列科研成果,研究证明,低空急流对对流暴雨的产生有重要作用^[1]。方宗义^[2]等指出,中尺度对流系统经常发生在高温高湿的西南风低空急流的最北端和500hPa短波槽的前方。但目前的研究对于引发暴雨的直接影响系统——中- β 尺度系统的研究,特别是对中- β 尺度暴雨形成机理的分析还不够充分,李毓芳^[3]等通过数值模拟发现,中- β 尺度暴雨较易出现在高层反气旋辐散和中低层气旋式辐合的条件下。总结好此次降水过

程,弄清这类降水的触发机制,提高预报能力,从而为以后的公益和决策服务提供有力的技术保障就十分有必要。

1 过程简介及环流背景分析

这次过程从8月4日凌晨2时前后开始,威海市区当日降水量达114.0mm,而其他三站(文登、荣成、乳山)的降水量则都不大,均不超过31mm,降水最少的站只有5.4mm;5日4个站都出现暴雨,日降水量除乳山外均在60.0mm左右,此时段降水强度分布比较均匀,最南部的乳山站降水量达103.4mm,该站开始降水强度与其他三站基本差别不大,但在当日18时后降水突然开始加大,随后在20时前后文登与威海市区的雨量也开始增大,到22时,威海市区仅两个小时内降水量就高达80mm,6日早上过程结束时威海市区降水量总共为91.5mm,文登的降水量为136.5mm。此次降水是典型的发生在副高边缘的强对流天气过程。此次过程的前期,3日20时,高空副高势力偏弱,基本呈东西向块状,三层副高主体都位于130°E以东,在我国东北地区的北部有高空冷涡发展,涡后有深槽携冷空气南下,此时山东半岛

^① 本文由山东省气象局科研基金重点课题《副高边缘强对流天气的研究》资助

地区高空三层均受槽前西南气流影响,西南气流将南方的暖湿空气源源不断地向北输送。地面上整个河套及其以北地区都处在副高控制内,而从东北地区的北部经华北到华中是一片低压区。随着过程的发展,4日08时,副高稳定少动,西来槽缓慢东移,北支槽扩散的冷空气与暖湿气流在山东半岛北部交绥,同时,地面从西南方向发展生成一地面倒槽,倒槽顶部辐合区正位于半岛东北部的威海(图略),冷空气与暖湿气流的交绥,配合地面良好的辐合,为强降水的产生提供了有利的环流背景,威海市区的大暴雨正是出现在此段时间。到4日20时,高空冷空气继续向东南方向扩散,副高开始加强,位置仍然偏东,在700和850hPa原来位于长江中下游的一东西向切变线从东端开始缓慢北抬,地面的倒槽受东移到东北地区的地面高压的影响略有南压。此时降水处于暂时停止阶段。5日08时,三层副高进一步加强,山东半岛处于副高的西部边缘,高层500hPa在山东半岛到渤海海峡形成一明显的气旋性环流,低层原来的切变线东端继续北抬已影响到山东半岛南部地区,辐合较好的区域在青岛附近,地面倒槽也随之加强北抬,500hPa和700hPa在副高边缘开始有急流生成,5日20时,副高加强明显,中低层副高外围线正好穿过山东半岛东部的成山头,500hPa的气旋性环流进一步发展为—闭合的低涡,500hPa和700hPa副高边缘的急流区域有所发展扩大,中低层辐合较好的区域沿副高外围线正位于成山头西部的文登到威海市区一带,地面倒槽也更进一步北抬,倒槽顶部到达山东半岛

北部,在荣成到文登和威海市区之间出现明显的风向辐合线。从降水实况看,5日02时降水再次开始,到当日20时前后,沿着地面辐合线,雨量自南向北开始突然明显加大,乳山、文登和威海市区出现暴雨大暴雨天气过程。

2. 物理量分析

2.1 水汽条件

分析这次连续性降水过程,自始至终暴雨区都位于强水汽辐合中心。5月3日20时到4日20时这一段强降水维持期,威海市一直处于700hPa较强的水汽辐合中心(图略)。5日08时,又一次强降水发生前,700hPa的水汽辐合中心(图1a)正位于威海市附近,表明700hPa一条很好的水汽通道沿副高边缘将海上的水汽源源不断地输送到该区,为此处未来暴雨的形成提供了充足的水汽供应。5日20时强降水发生时,威海正位于温度露点差的低中心(图略),相对湿度的高值区(图略)。到6日08时,水汽辐合中心北移(图略),湿度逐步下降,持续3天的强降水过程逐渐结束。

2.2 垂直运动分析

进一步分析强降水出现时的垂直速度,威海一直位于较强的上升运动区内。在5日08时,高空三层在半岛南部的海面上都有一上升运动中心剧烈发展(图略),中心值在低层(850hPa)达 $12 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,5日20时,该中心北移到山东半岛的北部(见图1b),从强降水的移动情况看,5日下午到夜间的强降水区正是从南向北变化的,与上升运动中心的移动路径变化相吻合。强降水的发生总

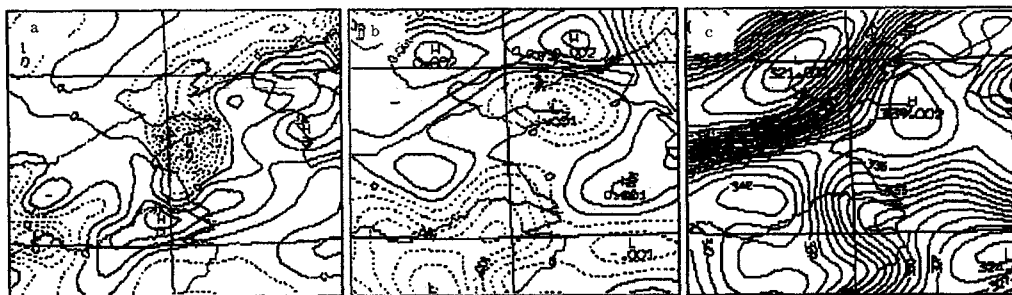


图1 2004年8月5日08时700hPa水汽通量散度分布(a, $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)、及5日20日850hPa上升速度分布(b, $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)及700 hPa的 θ_e 分布(c, $^{\circ}\text{C}$)

是离不开强而持久的上升运动,而副高边缘的高能区受到有利条件的激发极易导致强烈的上升运动,为强降水的发展创造了条件。

2.3 能量分析

图1c是5日20时700hPa θ_{se} 的等值线分布图,山东半岛西部为 θ_{se} 等值线密集带,表明这里处在干冷空气与暖湿气流交界的不稳定斜压区内, θ_{se} 的高值区正在山东半岛东部的威海境内,此处聚集了大量的能量,具备了出现强降水的条件,一旦有有利的触发机制,使得此处聚集的高能量释放,极易出现较强的降水。

3 中- β 尺度触发机制的作用

3.1 中- β 尺度的切变

5日20时的地面天气图上(图2c),可以

清楚地看到半岛东部的地面辐合线(图中粗黑线),当时强降水区(图中阴影部分)正位于该辐合区附近辐合最有利的区域,而同样处于高能量区内辐合不利的区域,却没有强降水出现,这说明地面辐合引起空气抬升,激发了不稳定能量的释放,同时抬升引起的凝结潜热又加剧了不稳定发展,最终造成了这次明显的强降水过程。

3.2 散度

对比5日20时500hPa(图2a)和925hPa(图2b)的散度分布图,强降水区在低层强烈辐合而在中高层强烈辐散区,这种高低空配置所产生的高层抽吸作用明显,促使上升气流进一步发展,从而导致对流加强,使雨势加大。

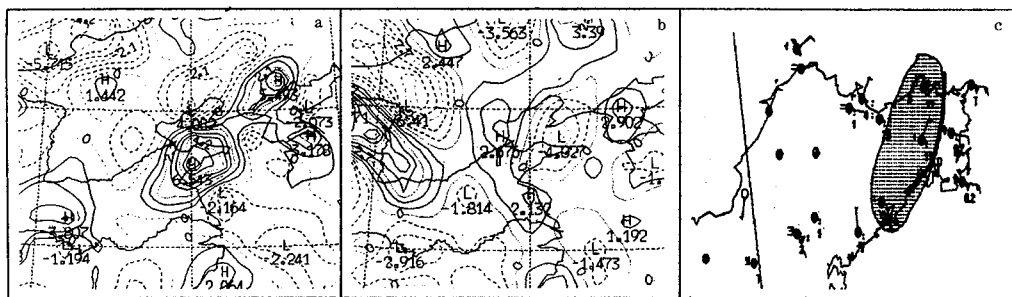


图2 2004年8月5日20时500hPa(a)、925hPa(b)散度分布图及地面天气图(c)

3.3 强对流指数

分析了5日20时的几个强对流指数:对流凝结高度气压、风暴相对螺旋度和风暴强度指数(图3)。从图3a看出,山东半岛整个是一高值区,中心位于日照市附近,高值区内对流凝结高度较低,低空水汽饱和度很大,在辐合上升区凝结潜热在低层释放,有利于整

个气层的不稳定维持,从而使对流能够发展和维持。图3b上,在山东半岛东部及以南的区域,是一个风暴相对螺旋度的高值中心,大暴雨就发生在高中心的北侧,说明风暴相对螺旋度的高值区对暴雨的发生有指示意义。风暴强度指数(图3c)也反映出大致相同的分布特征,在山东半岛东部及以南地区是风

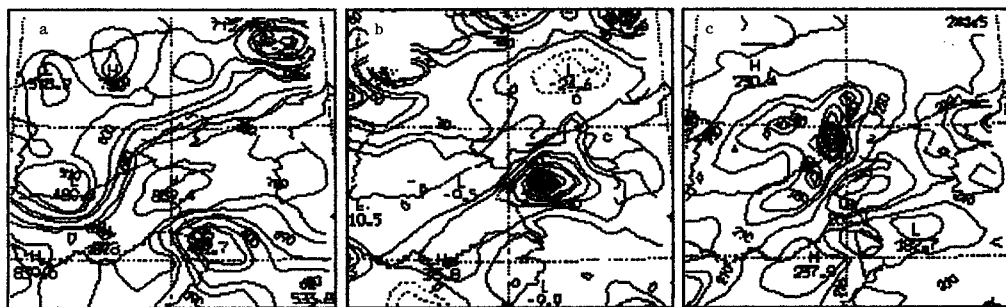


图3 2004年8月5日20时对流凝结高度气压(a)、风暴相对螺旋度(b)、风暴强度指数(c)

暴强度的高指数区,在山东半岛东部表现为舌状。通过以上强对流指数分析可知,暴雨发生在对流凝结高度气压、相对螺旋度及风暴强度指数的高值区,这是大暴雨发生的基础,也可以说是环境。这次中- β 尺度大暴雨产生的触发机制是山东半岛东部的辐合。因此,在以后的预报工作中,对以上三种指数高值区内的低层辐合是应该特别关注的,对强对流天气的预报有较强的指示作用。

3.4 雷达回波的反映

16:35,山东半岛的雷达回波位于莱阳、海阳之间(图4a,封三),回波中心强度40dBz,向北偏东方向移动,呈带状,南半部形成两条回波带,强度略有减弱(图4b)。之后回波向北发展并向东移动,在两回波带的前方又新生一条较强的南北向带状回波(图4c的A处),原来后部的带状回波减弱并逐渐消失。原来前部的带状回波与新生回波带合并后明显加强,在文登市北部到威海市区出现成片的45dBz的回波,强回波单体最强可达50dBz(20:00),两条回波合并的过程一直维持强的回波强度(图4e),同时在东部又有新的回波带生成(图4e的B处),并很快消失,原来的强回波带也开始减弱,面积减小(图4f)。之后不久原地减弱消散。可以看出当回波东移增强时(图4d),在回波增强区的下方的地面附近,正是一条南北向地面辐

合线的位置。从雷达资料几个时次的连续演变情况看,强降水回波在到达地面辐合线附近的高能区后,强度明显增强,且移动速度减慢,造成这片区域的强降水,并且随后降水回波的移动基本沿副高外围线北上,表明副高的阻挡作用使回波在局部维持,造成这次中- β 尺度强降水天气过程。

4 结论

(1)这次暴雨是发生在副高边缘的高温高湿的高能区里,地面辐合触发能量释放是造成这次强降水过程的主要原因。

(2)强降水发生时降水区有充足的水汽来源,为强降水的出现提供了有利的水汽条件。

(3)副高的有利位置使雨团在局部稳定发展,造成该区域的强降水天气过程。准确确定强降水的落区是预报这类天气的关键。

参考文献

- 1 翟国庆,丁华君,孙淑清等.与低空急流相伴的暴雨天气诊断研究.大气科学,1999,23(1):112~118.
- 2 Fang Zongyi(方宗义). The Preliminary Study of Medium-scale Cloud Clusters over the Changjiang Basin in Summer. Adv. Atmos. Sci., 1985, 2(3): 334~340.
- 3 杨国祥,何齐强,陆汉城.中尺度气象学.北京:气象出版社,1991:18~21.
- 4 彭治班,刘健文,郭虎等.国外强对流天气的应用研究.北京:气象出版社,2001.

Analysis of a Meso- β -scale Heavy Rain in Continuous Heavy Rain Event

Cui Jing^{1,2} Zhang Fengqi² Lv Shoumin²

(1. Department of Atmospheric Science, Nanjing University, 210093;

2. Weihai Meteorological Office, Shandong Province)

Abstract

Based on the routine data and Doppler radar echo etc, a continuous heavy rain event in Weihai, Shandong Province from 4 to 6 August 2004 is diagnosed. The meso- β -scale heavy rain in the evening on August 5 is analyzed on emphases. It shows that the event occurred in the area of high energy accumulation at the edge of the west Pacific subtropical high. And the main reason of the heavy rainfall in the first period is the cold air invasion. Surface convergence is the primary trigger mechanism to lead the heavy rainfall again. The rich moisture transmission and the concentrated CAPE (convection available potential energy) provided the physics mechanism for the occurring and development of mesoscale heavy rainfall system.

Key Words: continuous heavy rainfall Meso- β -scale the west Pacific subtropical high

《连续暴雨过程中的中- β 尺度大暴雨的成因分析》附图

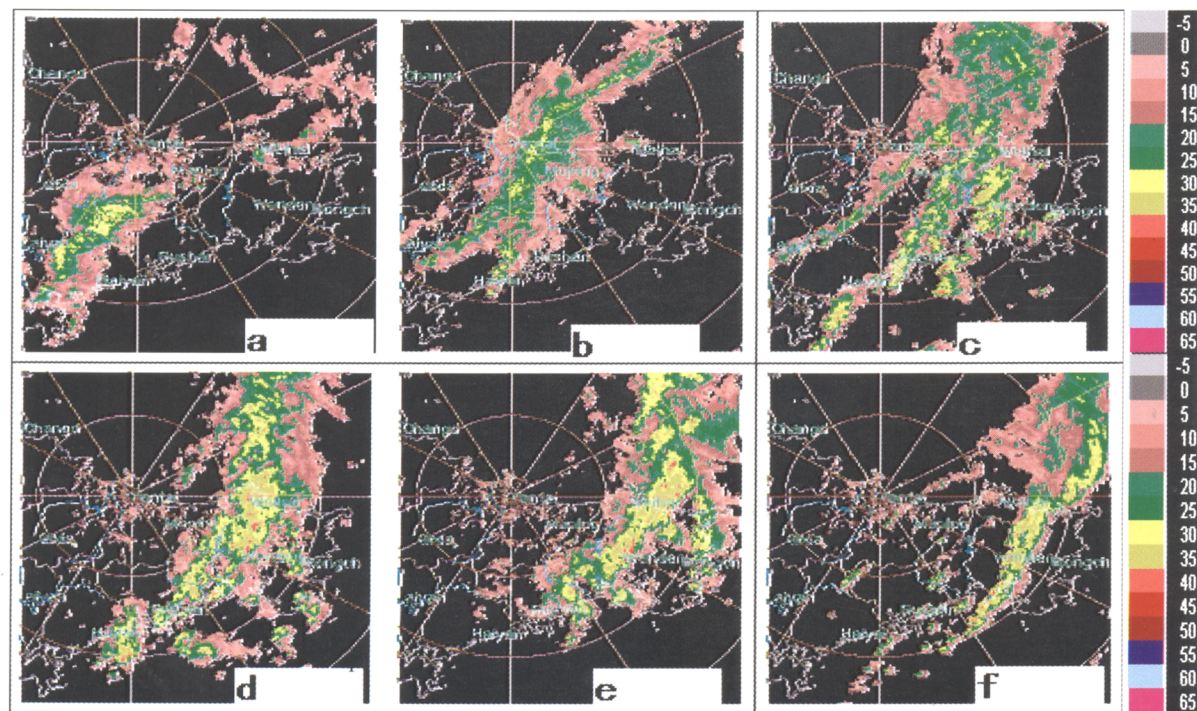


图 5 中- β 尺度大暴雨发生过程的多普勒雷达回波图像 (仰角: 1.5° , 单位: dBz)

a.16:01 (北京时, 下同) b.17:56 c.19:52 d.20:54 e.21:56 f.23:56