

山东半岛东部中尺度大暴雨过程成因分析^①

崔 晶 张丰启

(山东省威海市气象局, 264200)

提 要

使用常规气象资料、HLAFS 资料、红外云图以及中尺度分离技术等对 2002 年 7 月 24~25 日出现在威海市的大暴雨过程进行了分析。结果显示这次大暴雨过程是在西风槽与副高西部边缘西南气流相互作用的大尺度背景下, 上升运动区内新生的中尺度气旋引起的强烈的水汽辐合上升造成的, 大暴雨区上空高层强烈的辐散对强降水的维持有重要作用。

关键词: 中尺度气旋 大暴雨 副高 西风槽

引 言

近期在暴雨的中尺度分析方面做了大量的卓有成效的工作^[1~3]。2002 年 7 月 24~25 日威海市大暴雨过程是西风槽与副热带高压西部边缘西南气流共同作用的背景下发生的, 与国内著名的“75.8”河南特大暴雨、“96.8”河北特大暴雨、“99.8”山东特大暴雨有不同之处。这三个过程直接影响系统是热带气旋减弱形成的中尺度气旋, 这次大暴雨过程是强上升运动区新生的中尺度气旋造成

的。

本文利用常规资料、HLAFS 初始场资料、卫星云图等资料, 用中尺度分析方法, 配合大尺度诊断分析, 探讨这次大暴雨的成因。

1 天气实况与形势分析

2002 年 7 月 24~25 日, 山东半岛东部的威海市受副高边缘低槽的影响, 出现了一次全区性的暴雨天气过程, 其中有两站 12 小时的降水量超过了 100mm; 过程降水量最小的石岛站也达 43.0mm, 雨量比较集中的区

^① 本文得到山东省气象局气象科研计划重点课题资助。

域在威海市的西部和南部,在威海市区及威海下属的文登市出现了两个大于 125mm 的雨量中心(见图 1),降水集中时段在 24 日 20 时至 25 日 08 时。

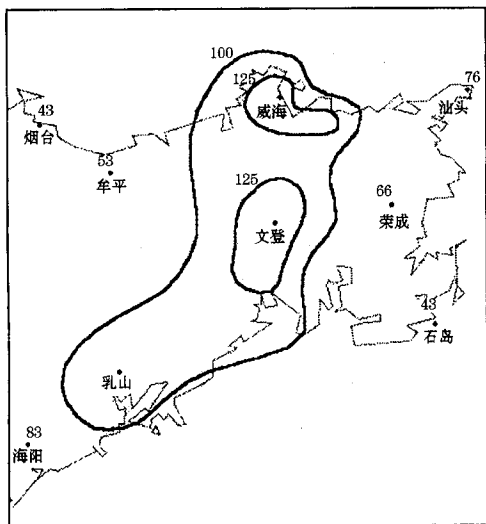


图 1 2002 年 7 月 24~25 日山东半岛东部过程降水量分布,等值线是根据各乡镇加密观测资料分析(单位:mm)

这次过程的前期,副热带高压稳定并且势力较强,7 月 23 日 08 时 500hPa 图上,副高 588 线北上到达日本海附近,在河套附近有一低中心,该低中心南部的中纬度槽经陕西到达四川一带,槽后有冷平流侵入,预示该槽未来将进一步发展加深。中低层情况与 500hPa 基本类似,副高位置偏北,影响系统分成北支槽和中纬度槽,风速辐合区此时表现不明显。到 24 日 08 时,高空三层的北支和中支系统合并后发展加深,合并后的高空槽呈东北—西南向,槽前开始出现高空急流,风速辐合明显的区域位于青岛市附近,同时高空槽携带的冷空气也已东移到达华北中部,而副高仍然处于发展阶段,588 线西伸到朝鲜半岛以东海面上,副高脊线位于 33°N 附近。24 日 20 时,副高位置少变,脊线仍稳定于 33°N 附近,由于受副高的阻挡,高空槽东移速度减慢并继续发展加深,槽线转为近南北向,槽前西南急流增强,成山头西南风速

达到 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,槽后冷空气进一步东移到达副高西部边缘,冷空气与副高外围暖湿气流交汇点在山东半岛东部,暴雨区正是出现在西风槽与副高外围的结合处。

2 卫星云图的演变特征

从各站降水实况的记录及自记可以看到,降水的主要时段集中在 24 日 20 时至 25 日 03 时,以威海市区为例,在这 7 小时内降水近 100mm。图 2 是这个时段内的云图演变,可以发现,这次降水过程自始至终,其降水云带一直维持在山东半岛东部,呈北北东—南南西走向,移动很不明显,影响山东半岛的云系以北上为主,这是副高的稳定维持对系统东移阻挡所致。24 日 21 时(图 2a),在大片的降水云系里,分布着一些中尺度云团,影响威海市区的是一个小小对流单体,此单体北上入海后减弱。其中分布在黄海北部、中部的中尺度云团北上过程中主体减弱,在威海境内发展加强,影响威海产生了强降水。从图中看到,这片云系起初是一片影响范围较大的降水云系,其中对流比较旺盛的部分是在黄海的中部,这部分强对流云团原地减弱,威海只是受其北部边缘云系的影响。23 时(图 2b)云系整体向北移动,南北向云带里,在威海西南部的乳山市新生一个小对流单体,对流单体北上过程中不断加强。25 日凌晨 1 时(图 2c)发展成强对流单体,北上到威海上空,云顶亮温最低达 -55°C ,但没有发展出典型的云砧。这一强对流单体在生成地乳山市形成降水 109mm,经过文登降水 128mm,到达威海市区降水 132mm,之后强对流单体东移北上入海减弱。云图演变进一步证实这次大暴雨过程是一次发生在副高边缘由中尺度系统影响造成的强降水过程。

3 物理量的分布特征

3.1 动力条件分析

分析 24 日 20 时散度分布(图 3a、b), 500hPa 在山东半岛的东部大暴雨区上空是显著的高空辐散,辐散中心位于乳山市附近,中心值达 $14.937 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$,850hPa 对应区

域是显著的辐合,辐合中心也在乳山市附近,中心值为 $-13.98 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 。这样的配置势必在大暴雨区造成剧烈的上升运动,图 3c 是 24 日 20 时 700hPa 的垂直运动分布,可见半岛东部正对应着垂直运动的负中心区,即上

升运动中心,中心强度为 $0.3 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。另外,500hPa 大暴雨区上空异常强烈的高空辐散有利于强上升运动的维持,对大暴雨的形成具有重要作用。

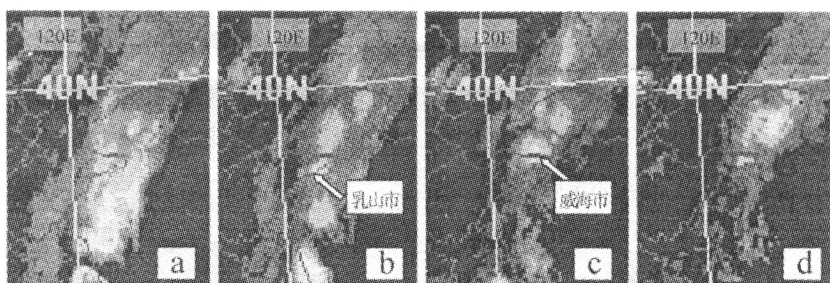


图2 2002年7月24日21时(a)、23时(b)、25日01时(c)、03时(d)的云图演变

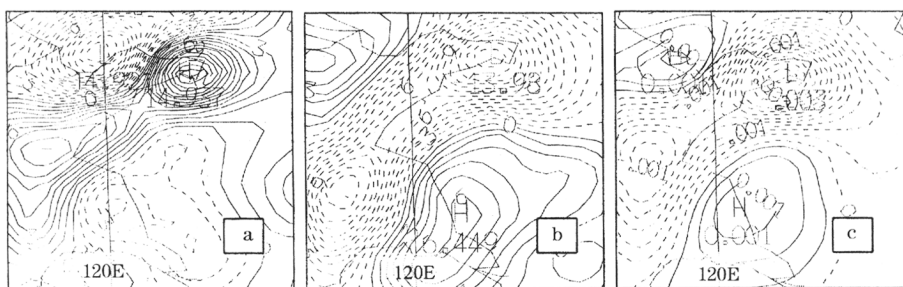


图3 2002年7月24日20时500hPa(a)、850hPa(b)散度和700hPa(c)垂直运动分析

3.2 热力条件和稳定性分析

分析 24 日 20 时高空、700hPa 和 850hPa 的假相当位温(图略),可见山东半岛处于东北—西南向的高能舌中,而半岛东部出现大暴雨的地区正对应着位温 θ 的高值中心,其中 700hPa 位温中心值达到了 344K,表明暴雨发生时,该区域大气有强不稳定能量。比较大暴雨区上下层的风场,地面是东南风,850hPa 为南西南风,500hPa 为西南风,垂直方向上有明显的风切变;500hPa 干冷空气从高层侵入,使大暴雨区气层不稳定性加剧;500hPa 高空急流出口区左侧的辐散,使其下方的大暴雨区气层不稳定;三种不稳定的共同存在,使大暴雨区不稳定加剧,气层变得极不稳定。

3.3 水汽条件分析

大暴雨的出现总是离不开充沛的水汽供

应,分析这次暴雨过程前后 3 个时次的水汽通量散度发现,在这次过程的前期,即 24 日 08 时,高空三层整个山东半岛都处于一范围较大的东北—西南向的水汽辐合区内,三层的辐合中心都在江浙到上海一带(图略),到 24 日 20 时,中低层水汽的辐合中心向东北方向移动到半岛东部,辐合中心在威海的乳山市附近,在高层(500hPa)此处变成水汽通量的辐散区(图 4a),中心位于乳山市南部的海面。从此时开始,降水强度开始明显增大。高层水汽辐散、中低层水汽强烈辐合(见图 4b)的这种上下层配置,表明暴雨发生时水汽垂直输送非常强烈,高层的水汽辐散说明有气流辐散,使强烈的水汽垂直输送维持。到 25 日 08 时,三层的水汽通量散度的上下层配置情况基本不变,但强度已明显减弱,降水强度也明显减弱。

图4c是暴雨开始时850hPa的流线分布,长江中下游到山东半岛东部存在强的低空急流,与低空急流配合的一个相对湿度在90%以上高湿区,高湿区中心在鲁南,最大值是98.6%(图略),可以看出大暴雨区水汽的

水平输送也是非常强的。温度场上,与低空急流配合的一个22℃高温区,最高温度24℃,说明大暴雨区能量输送也非常强(图略)。

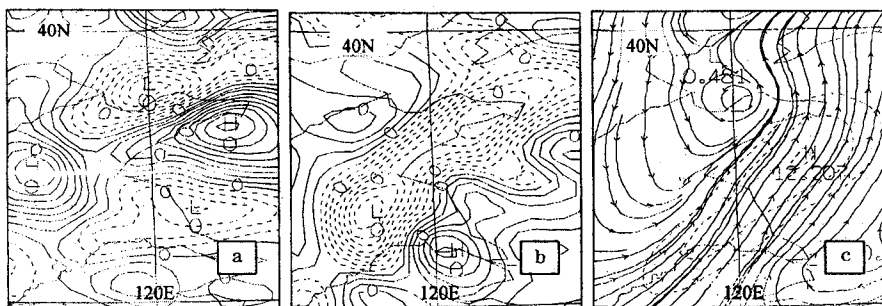


图4 2002年7月24日20时500 hPa(a)、850 hPa(b)水汽通量散度,850hPa流线和全风速(c)分析

4 新生中尺度气旋及地形对大暴雨的作用

利用HLAFS资料,根据暴雨区90km的水平尺度,采用Shuman-Shapiro尺度分离方案^[4],分离出中尺度信息。具体方法是采用九点平滑的滤波方案。

$$F = F_L + F_M \quad (1)$$

F 是原始场; F_L 是大尺度场, F_M 是中尺度场。

$$F_{Li,j} = F_{i,j} + S(1 - S)(F_{i+1,j} + F_{i-1,j} +$$

$$F_{i,j+1} + F_{i,j-1} - 4F_{i,j})/2 + S^2(F_{i+1,j+1} + F_{i+1,j-1} + F_{i-1,j+1} + F_{i-1,j-1} - 4F_{i,j})/4 \quad (2)$$

其响应函数是

$$R(L) = 1 - 2S\sin^2(\pi\Delta X/L) \quad (3)$$

其中, ΔX 是格点距, $\Delta X \approx 90\text{km}$, L 为滤波波长,取 $S=1$,滤去波长为180km的波。用原始场(F)减去滤波后的大尺度场(F_L),即得到尺度为90km的中尺度场 F_M (见图5)。

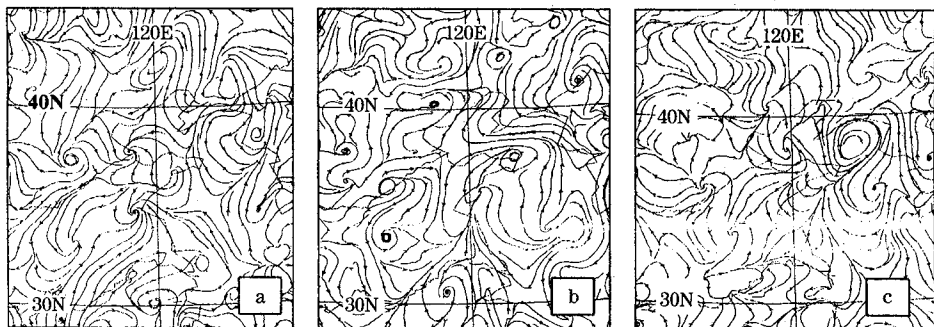


图5 2002年7月24~25日暴雨前后地面的中尺度流场演变
a.24日08时,b.24日20时,c.25日08时

24日08时,山东东南部有一个强的中尺度气旋,山东半岛是弱的中尺度反气旋环流。24日20时,位于山东东南部的中尺度气旋减弱东移到海上,卫星云图上与其对应的是一个正在减弱的对流云团。山东半岛弱

的中尺度反气旋减弱消失,取而代之是一个新生的中尺度气旋,中心位于威海市区,向南伸到乳山市。我们对此时的高空进行中尺度分离后(图略)发现:地面中尺度气旋中心在850hPa的气旋性弯曲仍然比较明显,到

700hPa 气旋性弯曲开始变得不明显,在500hPa 及以上的高度上,气旋性弯曲已经消失,环流场表现为弱的反气旋。中尺度分析的空间分布结果表明:暴雨发生时中低层辐合,高层辐散,这正有利于上升运动的维持和对流的深度发展,从而产生强降水。此后,地面中尺度气旋逐渐加强,并缓慢东移北上,到25日08时(图5c),中尺度气旋显著加强、扩大,移到黄海北部。

中尺度气旋从新生到发展的时间和所经过的路线,正是乳山、文登、威海下大暴雨的时间和位置,时间和空间都很吻合,因此认为中尺度气旋是形成大暴雨的直接影响系统。另外,从威海各乡镇的加密观测雨量看(图略),大暴雨区内,雨量有差别,雨量较大的几个测点有的位于东南风的喇叭口地形中,如环翠区(132mm)、文登宋村镇(147mm),有的位于东南风的迎风坡,如环翠区崮山镇(125mm)等,说明地形对近地面气层的强迫对大暴雨区降水有一定的影响。从预报经验看,对于高能区,不稳定的天气形势,地形的作用相对明显。

5 小 结

根据以上分析可知,副高西部边缘提供的巨大不稳定能量是这次大暴雨过程的基础;

西南低空急流为大暴雨提供持续的、充沛的水汽和能量;风的垂直切变、高层干冷空气和高空急流使大暴雨区的气层极不稳定;地面倒槽的辐合上升和高空急流出口区左侧的抽吸作用使上升运动发展增强。这些因素为大暴雨产生提供了非常有利的背景。

大暴雨区高层强烈的辐散是强上升运动维持的重要因素,也是大暴雨发生的必要条件,上升区内新生的中尺度气旋是大暴雨产生的直接影响系统。中尺度气旋的发展,使辐合进一步增强,上升运动进一步增强,水汽辐合进一步加大,在西南低空急流的支持下,最终形成了大暴雨天气。地形对边界层气流的强迫,使局部的上升运动更强,对局部地区的雨量增加有一定贡献。

参考文献

- 1 寿绍文, 励申申等. 一次江淮暴雨过程的中- β 尺度分析. 应用气象学报, 1994, 5(3): 257~265.
- 2 张丰启, 崔晶等. 一次中纬度特大暴雨过程的中尺度分析. 南京气象学院学报, 2001, 24(1): 113~118.
- 3 姚秀萍, 于玉斌. “96.8”暴雨过程中不同尺度系统的相互作用. 南京气象学院学报, 1998, 21(3): 432~439.
- 4 郑良杰主编. 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟. 北京: 气象出版社, 1989: 20~30.

Analysis of a Meso-scale Heavy Rain Event in Eastern Shandong Peninsula

Cui Jing Zhang Fengqi

(Weihai Meteorological Office, Shangdong Province 264200)

Abstract

A meso-scale heavy rain occurred in Shandong Weihai city during June 24 to 25, 2002 is analyzed with synoptic map, the satellite image, HLAFS data and Shuman-Shapiro meso-scale filter. The result shows that under the background of interaction between high-level westerly trough and southwest flow on the western border of Western Pacific subtropical high, the event was mainly caused by meso-scale cyclone in the ascending area.

Key Words: meso-scale cyclone heavy rain westerly trough western Pacific subtropical high