

文章编号: 1000-2022(2001) 01-0113-06

一次中纬度特大暴雨过程的中尺度分析

张丰启 崔 晶 周淑玲 刘庆泰

(威海市气象局, 威海 264200)

摘要: 用 Shuman-Shapiro 中尺度滤波方法, 结合大尺度环流背景, 对 1999 年 8 月 11~12 日山东半岛特大暴雨过程进行了中尺度分析。结果表明, 这次过程是热带中尺度气旋北上发展造成的; 地面冷空气侵入西移的中尺度低压所导致的对流发展, 是热带中尺度气旋发展的原因; 大尺度环境场丰富的水汽输送为强对流的发展和维持提供了能源保障; 地面中尺度低压中心和与其配置的切变线上的波动点对降水落区有指示意义。

关键词: 暴雨; 中尺度气旋; 中尺度分析

中图分类号: P458. 121. 1 文献标识码: A

暴雨是我国主要的重大灾害性天气之一, 几乎每年都给国民经济和人民生命财产造成严重损失。暴雨的分析与预报一直倍受气象工作者关注, 近期尤其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]。

1999 年 8 月 11~12 日, 山东半岛发生了一次特大暴雨, 有 19 个县市过程降水超过 100 mm, 3 个县市雨量超过 200 mm, 特大暴雨中心出现在诸城市和高密市, 过程雨量分别是 635.8 mm(出现在 11 日 12 时至 12 日 00 时(UTC)) 和 322.7 mm(出现在 11 日 00 时至 11 日 12 时(UTC))。1 h、6 h、12 h、24 h 的最大降水量均突破山东省有气象记录以来的各项记录。

这次过程是在热带低值系统和西风槽相遇的背景下发生的, 与国内著名的“75.8”河南特大暴雨、“96.8”河北特大暴雨有相似之处, 都具有雨强大、范围集中、灾害严重等特点。本文试图从中尺度分析入手, 配合大尺度环流分析, 探讨这次特大暴雨发生的成因, 寻找这类天气的预报思路和着眼点。

1 大尺度环流系统和物理量特征分析

1999 年 8 月 10 日, 在日本南部洋面生成的第 7 号强热带风暴移到朝鲜半岛西南方海面上减弱成为低气压。副热带高压较强, 位置偏北, 115°E 以西低槽位置偏南, 西北太平洋到山东半岛为南北向减弱的台风倒槽。11 日 00 时(UTC), 副热带高压减弱东退, 长波槽中分裂出短波槽东移, 同时携带小股冷空气在山东半岛侵入热带辐合带, 使山东半岛上空气层的不稳定得到发展。图 1a 是距特大暴雨区最近的探空站——青岛站的温度对数压力图, 850~300 hPa

基金项目: 威海市科学技术委员会项目和山东省气象局青年科技基金共同资助
收稿日期: 2000-05-22; 修订日期: 2000-12-14
作者简介: 张丰启, 男, 1964 年 12 月生, 硕士, 高级工程师

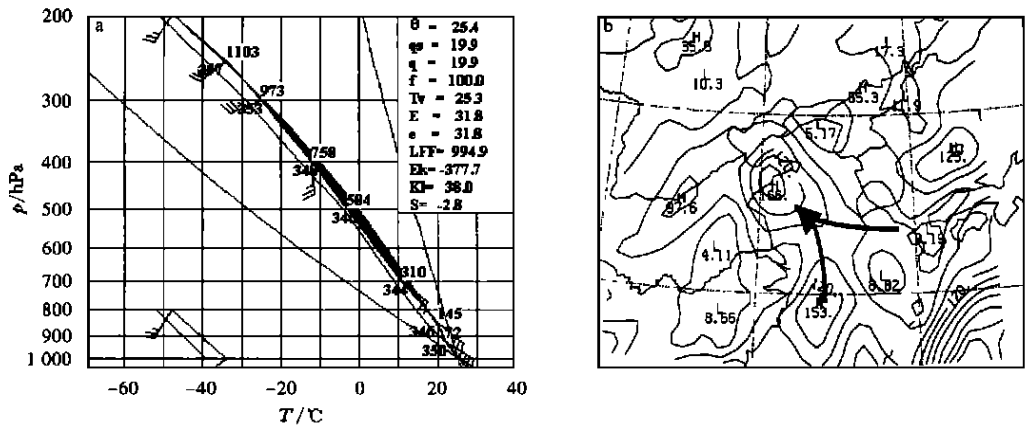


图 1 特大暴雨期间(11 日 12 时(UTC)) 青岛测站的大气层结曲线(a) 和
水汽通量(单位: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 分布(b)
a. $T-\ln p$ 图; b. 水汽通量

Fig. 1 Atmosphere stratification curve of Qingdao (a) and
distribution of vapor flux (b) (unit: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 1200 UTC August 11, 1999

层结曲线位于状态曲线左侧, 是正的不稳定能量, 抬升凝结高度在 1 000 hPa 附近, 对流凝结高度在 850 hPa 左右。露压曲线在 500 hPa 以下靠近层结曲线, 说明对流层中下层气层接近饱和。另外, 边界层的偏东风与中高层的偏西风形成垂直风切变, 有利于不稳定发展。水汽输送方面, 对流层下层(850 hPa) 向山东半岛的暖湿水汽输送表现为偏南输送和偏东输送, 两支输送带在山东半岛南侧汇合后形成水汽输送中心向特大暴雨区输送水汽(图 1b), 在特大暴雨区形成强烈的水汽辐合。对流层中层特大暴雨区是强烈的水汽辐散, 形成对下层水汽的抽吸作用, 使得水汽向上的垂直输送得到加强和维持。

2 卫星云图分析

图 2 是造成高密市、诸城市特大暴雨的对流云团的红外云图。影响高密市的对流云团(图 2a 中箭头所指) 卷云砧的水平尺度也只有 200 km, 是一个小的中- α 尺度系统。云顶平整呈准

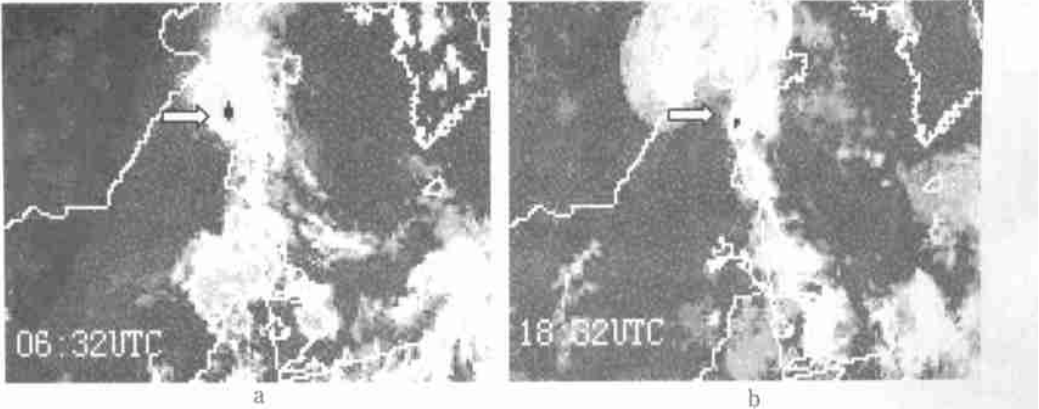


图 2 高密市(a)、诸城市(b)特大暴雨对流云团的红外云图
Fig. 2 Infrared cloud maps of convective cloud cluster
during the heavy torrential rain in Gaomi (a), Zhucheng (b) town

圆形,亮温一般在 -40°C ,边缘清晰,是一个发展成熟的强对流云团。在特大暴雨区上空,有一个较强的对流单体,高度明显高于周围云体,云顶亮温达到 -60°C (云团中黑色部分),可见造成高密市特大暴雨的系统是一个对流复合体(MCC)。影响诸城市的对流单体(图2b箭头所指)云顶水平尺度在100 km左右,是一个中- β 尺度的系统。云顶不平整,边缘模糊,高度较低,云顶亮温只有 -40°C (单体中黑色部分),是我国北部沿海南北向对流云线上一个发展较强的单体。云线绕诸城上空逆时针转动,诸城上空的对流单体维持少动,强降水长时间维持在诸城,形成局地特大暴雨,6 h降水达560 mm。原影响高密市的MCC减弱东移到滨州地区,在那里造成了大暴雨天气。

分析云图看到,这次强对流的深度不深,降水强度却异常强。我们认为与大尺度环流背景有关,散度场的垂直分布表现为山东半岛对流层低层(850 hPa)辐合显著,中层(500 hPa)辐散显著,高层(300 hPa)辐合辐散不明显,不利于深对流发展。层结分布也表现为500 hPa以下极不稳定,500 hPa以上不稳定性减弱,制约了对流深度的发展。11日12时(UTC)诸城市纬向垂直剖面图(图略)上,强的上升运动中心出现诸城上空,600 hPa高度上升速度最大,500 hPa以上上升运动不明显。所有这些导致强对流不能发展为深对流。对流层下层(850 hPa)丰沛的水汽输送使得大气相对湿度明显偏高,在特大暴雨过程中相对湿度一直维持在95%左右,接近饱和的湿空气不需要很高的抬升高度即可凝结成水滴,配合对流层中下层强烈的上升运动形成大量的降水。

3 中尺度诊断分析

3.1 中尺度分离方案

运用实时报文资料,经过检报处理,用最优插值客观分析^[4]方法,生成 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 经纬网格资料。根据特大暴雨区100~200 km的水平尺度,采用Shuman-Shapiro尺度分离方案^[5],分离出中尺度信息。具体方法是采用九点平滑的滤波方案。

$$F = F_L + F_M。$$

F 是原始场; F_L 是大尺度场; F_M 是中尺度场。

$$F_{L,i,j} = F_{i,j} + S(1-S)(F_{i+1,j} + F_{i-1,j} + F_{i,j+1} + F_{i,j-1} - 4F_{i,j})/2 + S^2(F_{i+1,j+1} + F_{i+1,j-1} + F_{i-1,j+1} + F_{i-1,j-1} - 4F_{i,j})/4。$$

其响应函数是

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

其中, ΔX 是格点距,本文特大暴雨区 $\Delta X \approx 90$ km; L 为滤波波长,取 $S = 0.5$,滤去波长为150~300 km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150~300 km的中尺度场(F_M)。

3.2 特大暴雨的中尺度影响系统分析

图3是特大暴雨前后700 hPa的中尺度流场演变,10日00时(UTC)东海北部有一个较明显的中尺度气旋,位置与第7号强热带风暴减弱后的位置相当,可以认为是7号热带风暴减弱后变成中尺度气旋。中尺度气旋继续向西北方向快速移动,强度也继续减弱。11日00时(UTC)到达山东半岛南部沿岸,强度很弱,在山东半岛南部登陆后转向西移动,遭遇西风短波槽,对流明显增强。11日00~12时(UTC),高密市出现特大暴雨天气。11日12时(UTC)至12日00时(UTC),诸城市降了特大暴雨。凝结潜热的大量释放,使中尺度气旋强烈发展,移动减慢。11日12时(UTC)气旋移至山东半岛西部,强度突然增强。12日00时(UTC)中尺度气旋

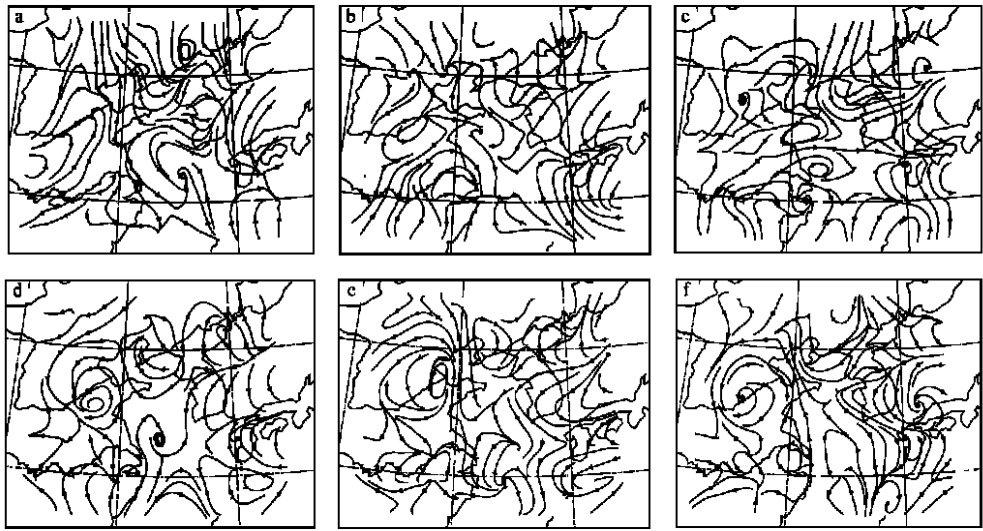


图3 特大暴雨前后 700 hPa 中尺度流场的时间演变
a. 10 日 00 时(UTC); b. 10 日 12 时(UTC); c. 11 日 00 时(UTC);
d. 11 日 12 时(UTC); e. 12 日 00 时(UTC); f. 12 日 12 时(UTC)

Fig. 3 Time evolution of mesoscale flow fields at 700 hPa during the heavy torrential rain
a. at 0000 UTC August 10; b. at 1200 UTC August 10; c. at 0000 UTC August 11;
d. at 1200 UTC August 11; e. at 0000 UTC August 12; f. at 1200 UTC August 12

中心略有东退,在山东半岛中部形成一个狭窄的南北向的气旋环流,两端气旋性曲率明显增大,与 11 日 19 时 32 分(UTC)的云图有较好的对应关系,气旋的北端对应滨州的云团,南端对应诸城的云团,说明中尺度的分离方案是可行的。12 日 12 时(UTC),中尺度气旋移到山东省西部,结束了对山东半岛的影响。从中尺度气旋的移动路径和强度变化看,造成特大暴雨的影响系统就是这个热带中尺度气旋。

3.3 引起局地降水增幅的地面中尺度分析

从图 4 看到,11 日 00 时(UTC),山东半岛东南沿海有热带中尺度低压(下文简称中低压)从海上移至半岛内陆,与其配合的切变线近似南北走向,切变线东部东南气流势力较强,推动切变线西移,在切变线后部附近已有零星的强降水;11 日 00~12 时(UTC),切变线在向西移动的过程中,遭遇从莱州湾南下的冷空气,地面辐合增强,降水增幅。中低压中心向西南移到诸城附近,中低压北部的高密市下了特大暴雨、平度下了大暴雨;11 日 12 时至 12 日 00 时(UTC),从莱州湾南下的冷空气侵入热带低压南部,与东南暖湿气流形成冷式切变线,强降水位于暖区。切变线上,位于五莲附近的小低压中心北部的诸城市下了罕见的特大暴雨,定时观测 12 h 降水量达 566 mm;强劲的暖湿气流继续向西深入到山东半岛内陆西北部,与莱州湾冷空气形成一条暖式切变,冷、暖切变的波动点位于淄博,波动点北部的滨州测站 12 h 降水 140 mm。随冷空气加强,切变线变为冷性切变并顺时针偏转,在冷区形成了强的降水。此后,暖湿气流从南侧继续向西推进,切变呈东北-西南向,切断了冷空气南下道路。12 日 00~06 时(UTC),冷空气北缩东移,偏东暖湿气流控制山东半岛,降水随之减弱,特大暴雨过程结束。

由分析可知,莱州湾冷空气进入地面中低压产生辐合抬升,促使不稳定能量释放,使降水急剧增幅,尤其在中尺度低压中心和与其匹配的切变线上的波动点的北侧,降水强度更为明显,对强降水的落区有一定的指示意义。

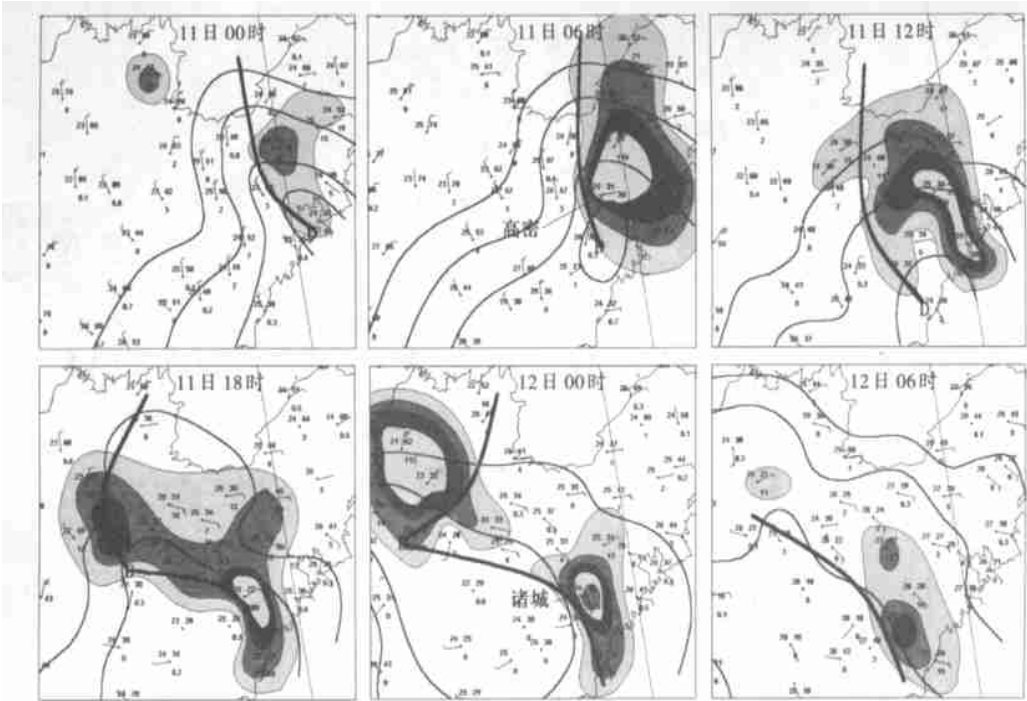


图 4 特大暴雨过程中山东半岛中西部测站地面分析

阴影区是 6 h 降水量, 等级分别是 10. 0、25. 0、50. 0、100. 0、250. 0 mm

Fig4 Surface charts in central and west of the Shandong Peninsula during the heavy torrential rain
(Shaded areas are 6 h precipitation with the contour levels at 10. 0、25. 0、50. 0、100. 0、250. 0 mm)

4 结 论

- (1) 特大暴雨是在副热带高压位置异常偏北偏东, 西风槽与热带辐合带相互作用的背景下产生的, 特大暴雨的直接影响系统是第 7 号热带风暴减弱变成的中尺度气旋。
- (2) 对流层中上层西风短波槽携带冷空气侵入和高、低空的垂直风切变使特大暴雨区的层结不稳定性增强, 接近绝对不稳定。
- (3) 对流层中下层的东南暖湿气流输送, 为特大暴雨区提供充沛的水汽和不稳定能量, 加上凝结潜热的自激作用, 使强降水长时间维持。
- (4) 特大暴雨的触发机制是地面莱州湾冷空气进入西移的中尺度低压形成强烈的辐合上升和抬升, 引起热带中尺度气旋发展, 使降水增强和维持。莱州湾冷空气是这次过程的触发系统。
- (5) 地面中尺度低压中心和与其配置的切变线的波动点(小尺度气旋环流)对强降水落区有一定的指示意义, 热带低值系统产生的强降水一般出现在地面中尺度低压中心和与其配置的切变线的波动点北侧。

参考文献:

- [1] 寿绍文, 励申申, 林开平, 等. 一次江淮暴雨过程的中- β 尺度分析[J]. 应用气象学报, 1994, 5(3): 257~265
- [2] 何溪澄, 万齐林. 二维场的高斯权重带通滤波分析[J]. 气象学报, 1995, 53(1): 122~128
- [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[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(3): 432~439
- [4] 沈桐立, 温市耕, 周慧喜. M O M S 中尺度模式的多元最优插值客观分析方法[J]. 应用气象学报, 1996, 7(2): 195~202
- [5] 郑良杰. 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟[M]. 北京: 气象出版社, 1989. 20~30

Process Analysis of a Heavy Torrential Rain in Mid-Latitude Area Related to the Tropical Mesoscale Cyclone

ZHANG Feng-qi, CUI Jing, ZHOU Shu-ling, LIU Qing-tai

(Weihai Meteorological Office, Weihai 264200)

Abstract: Based on Shuman-Shapiro mesoscale filter, mesoscale analysis under the background of large-scale circulation is undertaken of the heavy torrential rain in Shandong Peninsula during August 11 to 12, 1999. Results show that the rain can be attributed to the northward movement and development of a tropical mesoscale cyclone. The invasion of surface cold air to the westward mesoscale depression leads to the development of convective activities and to the development of the tropical mesoscale cyclone. The transportation of lots of water vapor in large-scale circulation provides the energy to the development and maintenance of the strong convection. The surface mesoscale depression center and the wave spot on the shear line is indicative to the rainfall area.

Keywords: heavy torrential rain, mesoscale cyclone, mesoscale analysis