

“91·7”鲁西大暴雨分析

王建民 邢纪元

(山东省泰安市气象局, 271000)

提 要

揭示了“91·7”鲁西大暴雨的主要成因,对卫星云图、雷达回波和地面中尺度系统进行了分析研究,提出本次大暴雨是中纬度西风槽与低纬度台风云系相互作用的结果;指出地面中尺度高能舌之前,有中尺度辐合线(辐合中心)产生,易触发龙卷、飑线等强对流天气。

关键词: 大暴雨 卫星云图 雷达回波 地面中尺度系统

引 言

1991年7月28日08—17时,由于受西风槽与台风的相互作用,山东西部出现了一次对流性暴雨一大暴雨的天气过程。有30个县(市)降雨量在50mm以上,其中5个县、市降雨量达100mm以上(图1),长清站雨量最大达159.8mm。大暴雨区主要出现在泰山以西的沿黄县、市和德州市,大于100mm的降水面积约为1.2万km²。同时28日下午强雷雨时,有6个县市伴有短时大风。肥城县出现了龙卷风和冰雹,宁阳县、新泰市分别出现了飑线。仅肥城县受灾面积就达3.9万亩,直接经济损失近2000万元。

1 环流形势及主要影响系统

7月27日08时的500hPa欧亚上空为两槽一脊型,高压脊在贝加尔湖与巴尔喀什湖之间,其两侧均为低槽区,东部槽线从低涡中心(57°N, 125°E)经赤塔至乌兰巴托一线。到28日08时,在乌兰巴托附近的低槽加深,出现了5680gpm的低涡中心,槽线从低涡中心经银川到西宁一线。与此同时,地面冷锋从低压中心(46°N, 112°E)经沙音山德、呼和浩特、延安到武都一线。山东西部处于低槽前部和地面冷锋前的暖区中:25日,9109号台风在菲律宾东北洋面上生成,并向西北方向移

动,27日08时移至29.1°N, 126.3°E。由于台风北上使副高分为东西两环,海上的一环位于133°E以东,而大陆一环已明显减弱,中心位于汉口附近。因台风继续向偏北方向移动,28日08时与西风槽构成了结合的形势^[1](图2)。

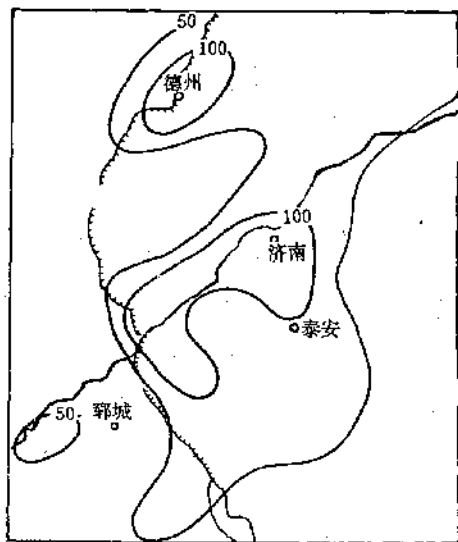


图1 1991年7月28日05时—29日05时山东西部雨量分布图

2 对流性大暴雨成因分析

2.1 高、低空急流

台风生成后向西北方向移动,27日08

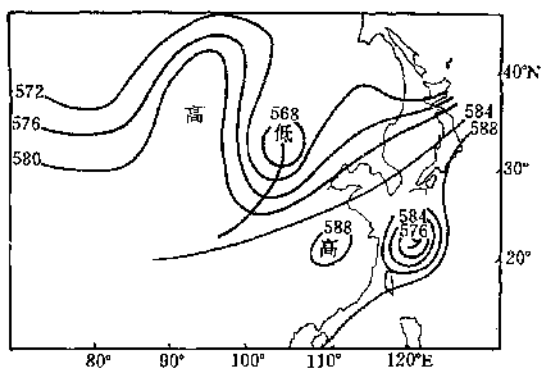


图2 1991年7月28日08时500hPa形势图
 时又向偏北方向移动,这时副高与台风之间形成很强的中尺度东南风急流,随着台风的移动而移动。28日08时台风中心最大风速为 $42\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;另外,从青藏高原、河套南部伸向山东西部的西南低空急流(比东南急流弱,28日08时850hPa最大风速在济南为 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)与东南急流形成了强烈的辐合形势(图3)。200hPa高空急流在河套北部分为两股,一股沿 110°E 以西向偏南方向输送,另一股则维持在 40°N 以北,最大风速中心位于 $42-43^\circ\text{N}, 115-125^\circ\text{E}$,其最大风速达 $52\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。山东西部位于低空西南急流和东南急流正前方的中间地段,高空急流中心的右后方。高低空急流的上下配置有利于山东西部产生和维持强上升运动,为强对流性天气提供了有利的环境条件。

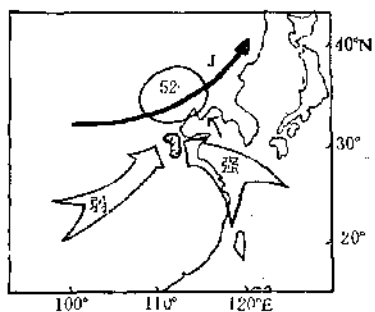


图3 1991年7月28日08时高低空急流
 粗矢线为200hPa总流轴,双矢线为850hPa急流,阴影区为暴雨区

2.2 水汽条件

位于9109号台风右侧和副高之间北上的次天气尺度东南急流,把大量的水汽从东海经黄海输送到山东西部上空,为本次暴雨提供了充足的水汽来源。青藏高原南侧经河套、山东西部伸向东北的云系,为本次大暴雨提供了另一个水汽来源。为了分析本次大暴雨过程的水汽条件,计算了水汽通量 $\frac{1}{g}|\vec{v}|q$ 和水汽通量散度 $\nabla \cdot (\frac{1}{g}\vec{v}q)$ 。结果表明,28日08时850hPa上,山东西部处于水汽通量高值区(图略),济南附近的水汽通量值达 $21.7\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而且水汽通量辐合的最大中心也在山东西部(图4),为 $6.8 \times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这条水汽集中带由台风经黄海一直伸向山东西部。

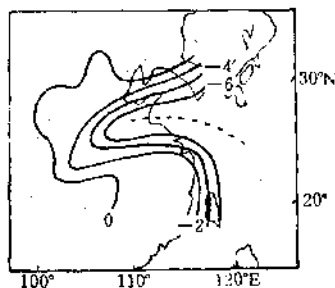


图4 1991年7月28日08时850hPa水汽通量散度(单位: $10^{-7}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
 虚线为台风倒槽最大辐合线

另外,近地面台风与中尺度低压的耦合,不仅为本次暴雨提供了强烈的辐合和垂直上升运动条件,而且也输送并汇合了充足的水汽。

通过分析大暴雨区济南站各层次温度露点差^[2](表1)可见,其分布和变化有以下几种情况:大暴雨开始前14个小时,500、850hPa及地面的湿度比200、300、400、700hPa要大;暴雨开始前2小时(28日08时)湿度已迅速增大,干层消失,700hPa尤为明显;暴雨开始前2个小时及暴雨持续期间湿层相当深厚,几乎整个对流层都接近饱和

状态,暴雨因高层湿度迅速减小而结束,500hPa 更为突出。

表1 济南各层温度露点差/℃

层次/hPa	27日20时	28日08时	28日20时	29日08时
200	9.0	6.9	5.0	12.6
300	10.9	5.5	3.9	15.7
400	11.6	4.3	3.2	8.6
500	5.9	5.0	2.0	27.5
700	10.7	3.3	3.7	11.4
850	4.8	3.0	0.8	7.0
地面	4.2	4.2	0.7	1.4

2.3 大气不稳定层结

28日08—20时,山东西部上空850—500hPa为不稳定层结。09时在德州附近就出现了强雷雨回波,莘县、阳谷之间有强雷雨回波单体发展。下午,由于地面暖脊北伸,中小尺度系统发展活跃,整个山东西部上空被强积云性对流云团所笼罩。计算表明,28日08时,山东西部上空的SI指数为 $-2 \sim -2.5^\circ\text{C}$;济南 $0_{se_{300-850hPa}}$ 为 -10°C ,AMK达 $87\text{J}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$,这充分说明山东西部强对流性天气发生之前不仅处于强烈的不稳定层结,而且不稳定能量的积累达到了较高的量级,这正是对流性暴雨的重要条件。

3 GMS-4 卫星云图分析

静止卫星云图是监测中小尺度系统的重要手段之一。连续卫星云图资料能反映出云系的生消、移动特征。从“91·7”大暴雨的云图分析看出:大暴雨的生消与云团的发展变化有着直接的关系。

27日08时(图略),低槽冷锋云系(1号云团呈逗点云系)和低涡前部(2号云团)云系分别位于 $39-45^\circ\text{N}$, $110-119^\circ\text{E}$ 和 $45-50^\circ\text{N}$, $110-120^\circ\text{E}$ 。其尺度(指红外卫星云团

温度 $T \leq -83^\circ\text{C}$ 区域,下同)分别为 $223 \times 242\text{km}^2$ 和 $223 \times 260\text{km}^2$ 。另外,青藏高原云系(3号云系)位于 $25-43^\circ\text{N}$, $80-105^\circ\text{E}$,其尺度约为 $744 \times 930\text{km}^2$ 。9109号台风云系中心位于 24.3°N , 126°E ,其尺度约为 $651 \times 930\text{km}^2$ 。27日14时,1、2号云团合并(称4号云系)位于 $38-52^\circ\text{N}$, $100-125^\circ\text{E}$ (图略),其尺度为 $465 \times 651\text{km}^2$ 。27日08—14时,1、2号云团合并东移并作反气旋式转动^[3]。

28日13—17时为云团发展最强盛时间,28日08时(图略),4号云系与3号云系连接起来,从青藏高原南部经河套、山东西部、伸向我国东北地区,为东北西南带状分布(称5号云系),位于 $25-47^\circ\text{N}$, $80-125^\circ\text{E}$ 云系明显增强,尺度约为 $465 \times 2232\text{km}^2$ 。9号台风向偏北方向移动,位于 28.4°N , 126°E ,云系强度也进一步增强,此时低槽冷锋云系与台风云系明显接近,最近距离约为 360km ,其间为红外卫星云图温度 $T \leq -62^\circ\text{C}$ 的黑色和深灰色云系相互影响区。28日14时5号云系与9号台风云系已靠近,构成了直接相互作用。28日13—17时是低槽冷锋云系与台风云系相互作用最强时,也是其发展最旺盛的时间。在发展维持期间,山东西部每小时降水量都超过 50mm ,其中雨强最大时段是13—14时,15—16时,每小时降水量均超过 85mm (表2)。在此期间,除9号台风云系向偏北方向移动,作气旋式转动外,5号云系东移也呈现气旋式转动,云团北部尤其明显,气旋式转动中心位于 42°N , 110°E (图略)。

表2 1991年7月28日9—21时部分市县逐时最大降水强度中心

	德州	德州	东阿	禹城	长清	平阴	东平	汶上	新泰	平邑	邹县	单县
时间/时	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21
降水量/mm	18.4	77.9	43.9	41.8	86.6	59.0	37.5	59.7	32.4	34.0	36.4	4.0

29日08时(图略),5号云系东北部与青藏高原云系已开始脱离减弱东移,呈东北西南向蘑菇状分布,并作反气旋转动,山东境内

的降水也明显减弱。

4 “713”雷达回波分析

通过对“91·7”大暴雨整个过程的雷达

回波分析发现,其回波具有独特的演变特征。该大暴雨是由一个辐合强对流回波造成的,这个回波在演变过程中经历合并、分裂、合并发展、分裂衰减的过程。现就其演变做如下介绍:

4.1 回波产生阶段

1991年7月28日9时—9时30分,地面有很强的中尺度低压系统活动,造成了强烈的辐合上升运动。莘县、阳谷、南乐之间出现零散的对流回波单体;武城、德州、宁津、乐陵和庆云之间出现阵性降水的絮状和块状回波(称为A回波,图略),强度25dB,一般高度5km,最高顶高6km,尺度约为 $29 \times 129 \text{ km}^2$ 。11时—11时15分,以上零散回波单体在发展东移过程中与A回波合并(称B回波),出现了强雷雨,呈东北西南向不规则的带状分布(图略),强度25dB,一般高度为7km,最高顶高13km,尺度约为 $46 \times 172 \text{ km}^2$ 。11时前后德州出现了强雷雨,雨强(10—11时)达 $77.9 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$,由于强雷雨的能量消耗,13时—13时10分B回波减弱分裂为C、D、E、F4块分散回波(图略),其中C回波为阵性降水块状回波,强度25dB,云顶高度为5km,尺度约为 $43 \times 86 \text{ km}^2$ 。

4.2 回波发展维持阶段

由于地面中尺度切变线的辐合作用和中尺度暖脊北伸,15时—15时15分,以上4块回波(C、D、E、F)合并发展增强为强积云性对流回波G,再次出现了强雷雨,呈东北西南向带状分布(图5),平阴、肥城之间出现了回波穹窿(缺口顶部为强回波区),强度为25dB,一般高度为5km,最高顶高10km,尺度约为 $43 \times 101 \text{ km}^2$,向偏东方向移动。17时—17时25分台风回波移至肥城、济南、莱芜之间;该回波南部的汶上、宁阳、曲阜到新泰之间又产生了东西向带状回波H(图略),以上回波增强到30dB,一般高度为7km,最高顶高13km,强雷雨进一步加强,如东平15—16时的雨强达 $87.5 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$,从15时40分

到17时46分,肥城首先出现了龙卷风和冰雹;宁阳、新泰先后出现了飚线,嘉祥、金乡相继出现了大风。

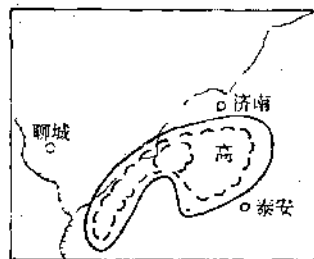


图5 28日15时—15时15分雷达回波素描图

4.3 回波减弱消亡阶段

28日17时以后,由于能量大量释放,回波逐渐减弱,19时—19时10分(图略),G回波向东南方向略有移动,尺度明显减小;H回波在移动过程中明显衰减。21时15分(图略)G回波又分裂为两块,趋于消亡;H回波已减弱消亡,系统移出我省西部,降水随之结束。

5 地面中小尺度分析

通过资料分析,“91·7”大暴雨的产生、发展和移动不仅受到天气尺度系统的影响,而且更直接受到中小尺度系统生消的支配和制约。这些地面中小尺度系统有中尺度低压、中尺度切变线和中尺度高能舌。下面分别分析它们对大暴雨的作用。

5.1 中尺度低压与地面台风的耦合

27日14时地面图上,从济南到潍坊为一东北风与东南风构成的中尺度切变线。28日08时,辐合进一步加强,德州附近出现了997.5hPa(直径为183km)的中尺度低压,并且与北上的9号台风构成耦合形势(图略),在台风与西风槽多层次相互作用的条件下,地面冷锋前方的中尺度低压与台风的耦合,为本次对流性大暴雨提供了充分的热力和动力条件。

另外,在山东西部每小时气压场分布图上,14时泰安与新泰之间产生了一个977.5hPa(直径约60km)的中尺度低压,17

时略有加深,稳定少动,18时以后逐渐减弱东移。

5.2 中尺度切变线

在降水过程中,28日14时,鲁中山区的西北部,有一条从莘县经东阿、长清、齐河、济南到张店的地面强辐合中尺度切变线产生。在东移过程中,15时在长清、茌平、平阴、肥城之间有明显的辐合中心产生。以后切变线向东南方向移动,18时减弱移至定陶、成武、金乡、鱼台到平邑一线。强降水就发生在切变线附近,随其移动而移动。如长清13—14时的雨强达 $86.6\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$ 。

5.3 中尺度高能舌

28日14—20时,在黄河下游东侧沿单县、金乡、兖州、泰安、邹平一线维持一东北西南向高能舌,高能中心的总温度达 87.1°C ,其间向东南方向略有移动。15—19时鲁西北有一股冷空气沿武城、茌平、东阿南下。在东阿与肥城之间形成密集的能量锋区,其最强梯度达 $-14^{\circ}\text{C}/50\text{km}$ 。伴随大暴雨出现的强对流性天气(肥城的龙卷风和冰雹)就发生在高能轴左上侧强能量锋区上(图略)。

5.4 中小尺度雨团分析

这次大暴雨过程,主要有3个雨团($\geq 10\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$)在山东西部活动引起的。

第一个雨团,28日08时在沾化、北镇、利津、垦利之间形成,生命史仅1小时左右,但强度大,最大雨强在沾化为 $52.4\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$ 。

第二个雨团,28日09时在德州、宁津、平原、临邑、齐河之间出现,为块状分布,历时

6个小时,15时南移与第三个雨团合并。

第三个雨团,28日16时在高青、济阳、济南、平阴、阳谷、鄄城、汶上、泰安、章丘、邹平之间形成,为东北西南向带状分布,生命史为5个小时左右,并逐渐向东南方向移动,于21时移出我省(第二、第三雨团最大雨强见表2)。

以上中小尺度雨团的出现及活动与以上的中尺度低压、中尺度切变线(辐合中心)和中尺度高能舌的生消活动密切相关,它们不仅为雨团提供了动力条件,而且也提供了热力条件,同时还制约了雨团的生消时间和路径走向。

6 结 语

6.1 本次大暴雨是在中纬度西风槽与低纬度台风相互作用之下产生的。

6.2 在暴雨预报中,对卫星云图、雷达回波资料进行连续接收和观测,并配合使用将是十分有益的。

6.3 双急流(东南急流与西南急流)的强烈辐合和中尺度低压与台风的耦合为本次大暴雨提供了充分的动力、热力和水汽条件。

6.4 在有利的天气尺度系统条件下,地面中尺度高能舌之前,有中尺度辐合线(辐合中心)产生,易触发龙卷、飑线等强对流性天气的出现。

参 考 文 献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980年.
- 2 李廷香等. 初夏罕见的华北暴雨. 气象, 1987年, 13(7).
- 3 徐双柱. "90·8"延安特大暴雨的中尺度分析. 气象, 1992年, 18(2).

Analysis of Heavy Rain "91.7" over Shandong Province

Wang Jianmin Xing Jiyuan

(Taian Meteorological Bureau, Shandong Province 271000)

Abstract

Based on the study of the satellite image, the radar echo and the surface meso-scale systems, the article mainly focuses on explaining how the "91.7" Heavy Rain was developed and concludes that the rain-storm was a consequence of the interaction between the middle latitude westerly trough and the low latitude typhoon cloud-cluster; it also points out that if surface meso-scale convergence line (convergence center) appears in front of the surface meso-scale high energy tongue, then severe convective weather such as tornado, squall line, etc. would easily emerge.

Key Words: heavy rain satellite image radar echo surface meso-scale systems