

高帆,张永婧,李瑞,等.2015年8月3日山东西北部暴雨过程的中尺度特征分析[J].海洋气象学报,2017,37(2):96-101.
Gao Fan,Zhang Yongjing, Li Rui, et al. Study of mesoscale characteristics of the rainstorm in northwestern Shandong on 3 August 2015[J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(2): 96-101. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.012. (in Chinese)

2015年8月3日山东西北部暴雨过程的中尺度特征分析

高帆,张永婧,李瑞,褚颖佳
(济南市气象局,山东 济南 250102)

摘要: 2015年8月3日山东西北部出现一次对流性暴雨过程,中尺度特征明显。利用常规和非常规观测资料对该过程的中尺度环境场、对流系统的触发演变及大暴雨的落区进行分析。结果表明:这是一次典型的低槽冷锋暴雨过程。在高层辐散、中层北涡南槽、低层切变线和低空急流的天气背景下,较大的大气可降水量、大的低层比湿、中低层深厚的湿层和暖云层及大的对流有效位能为暴雨的发生提供了有利的环境条件。暴雨由暖区对流和冷锋对流共同造成,暖区对流在地面露点温度大值区内和低层湿舌的南边缘由地面辐合线触发生成,其在聊城形成列车效应,产生大暴雨。地面冷锋侵入低压后暖区对流带与冷锋对流带合并为一条强对流带,且逐渐转向偏东方向移动,列车效应减弱。强对流带后部形成弓形回波,产生地面大风。本次强降水符合热带强降水型特点。强对流带在卫星云图上表现为一个扁平状的中尺度对流系统,小时雨强50 mm以上的区域对应卫星云图上TBB小于-70℃的区域。

关键词: 暴雨;环境条件;暖区对流;列车效应;系统演变

中图分类号: P458 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)02-0096-06

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.012

Study of mesoscale characteristics of the rainstorm in northwestern Shandong on 3 August 2015

GAO Fan, ZHANG Yongjing, LI Rui, CHU Yingjia
(Jinan Meteorological Bureau, Jinan 250102, China)

Abstract A convective rainstorm with mesoscale characteristics occurred in northwestern Shandong province on 3 August 2015. Based on both conventional and unconventional observation data, the environmental conditions, initiation, evolution of convective systems, and rainstorm distributions are analyzed in this paper. The results show that this rainstorm event was typically induced by upper-level trough and surface cold front. Under circulations of high level divergence, middle level trough, low level shear line and LLJ, favorable environmental conditions for the rainstorm were composed by large atmospheric precipitable water, high low level specific humidity, deep wet layer and warm clouds in middle and low level, and large CAPE. Warm area convections and cold frontal convections contributed to the rainstorm jointly, while the warm area convections were generated by the surface convergence line, which located in the area of large ground dew point temperature and on the south edge of the low-level wet tongue. In Liaocheng, train effect was formed and further enforced the heavy rainstorm. After the cold front invaded into the low pressure, the cold frontal convections and the warm area convections merged

收稿日期:2016-08-22; 修订日期:2017-04-28

基金项目:山东省气象局科研项目济南专项(sdjn2016-04)

作者简介:高帆(1985—),男,工程师,主要从事天气预报工作,gaofan8510@sina.com。

into a strong convection band. The track of the convection band turned to the east gradually, together with the weakening of the train effect. A bow echo formed behind the strong convection band, generating strong winds. The rainstorm has characteristics of tropical heavy rainfall. The strong convection band is shown as a flat mesoscale system on the satellite imagery, and the region, where hourly precipitation equal or greater than 50mm, is corresponded to the area where TBB is lower than -70°C .

Key words rainstorm; environmental conditions; warm area convection; train effect; system evolution

引言

暴雨常造成城市内涝、山洪、泥石流等各种灾害,给人民的生命财产安全造成很大威胁。暴雨的预报和研究一直是各级气象部门的工作重点,近年来,随着卫星资料、雷达资料等多种观测资料的应用,对华北地区暴雨的研究取得了很多成果。湛芸等^[1]对北京7·21特大暴雨的中尺度对流系统的环境场条件及其发生发展过程进行了全面分析,发现降水过程首先以层状云降水和分散的对流性降水为主,随着干冷空气的侵入逐渐转化为高度组织化的对流性降水,多个中小尺度对流云团组织化发展并形成中尺度对流辐合体(MCC),产生极端强降水。孙军等^[2]从降水效率、水汽、上升运动和持续时间等方面进一步探讨了7·21极端性降水的成因,在有利的环境条件下中尺度对流系统首先在暖区发生发展,后向传播特性使其东移速度慢,形成列车效应,降雨持续时间拉长,导致出现极端降水。俞小鼎^[3]也对北京7·21极端降水过程进行了详细分析和探讨,指出向西南方向的后向传播和速度更快向东北方向的平流结合导致对流单体反复经过同一区域,形成列车效应。徐珺等^[4]对2012年7月7日黄淮地区的一次典型暖区大暴雨过程的成因进行了分析,并讨论了对这一类暴雨过程的短时临近预报的着眼点。孙继松等^[5]对北京地区2006—2013年10次不同类型极端暴雨事件的基本特征进行了分析,发现列车效应形成的极端暴雨事件往往与两次不同属性的降水过程有关:锋前暖区对流过程和锋面附近的对流过程。本文利用常规观测资料、中尺度自动站资料、NCEP再分析资料、多普勒天气雷达资料和FY-2F卫星资料对2015年8月3日山东西北部一次暴雨过程的中尺度环境场、对流系统的触发演变及大暴雨的落区进行分析,探讨强降雨的成因,为短时和临近预报提供一定参考依据。

1 实况与环流形势

2015年8月3日山东西北部出现一次对流性

暴雨过程,对流系统突发性强、移动速度快、降雨强度大,11—23时(北京时,下同)国家基本气象站最大降雨量为113.1 mm(图1),出现在茌平,最大小时雨强为68.7 mm,17—18时出现在莘县;区域自动站最大降雨量为168.9 mm,出现在茌平贾寨,最大小时雨强为74.1 mm,16—17时出现在陵县义渡口;从各站逐小时降雨量可看出暴雨主要由1~2 h的短时强降雨产生;济南市区强降雨集中在19—20时,市区平均降雨量为54 mm,造成市区出现严重的城市内涝,低洼地带积水最深达3.5 m。

这是一次典型的低槽冷锋暴雨过程。3日08时200 hPa高空急流自巴湖向东经新疆、内蒙古到达黑龙江东部(图略),南亚高压脊线位于 33°N 附近,暴雨区位于高空急流轴南侧、南亚高压脊线北侧,有显著的分流形势,有利于产生天气尺度的辐合上升运动。500 hPa是北涡南槽形势,中支槽位于河套,副热带高压(以下简称“副高”)强大,整体呈块状,脊线位于 30°N 附近,3日08—20时副高东退,中支槽东移至河北中部。850 hPa西南急流自2日08时建立后不断加强,3日08时河套地区形成东北—西南向的径向切变线,3日20时东移至山东西北部。地面上,山东西北部位于地面低压倒槽内,河套地区地面弱冷锋逐渐东移南压,14时冷锋移至河北与山东交界处(图1)。

2 中尺度环境场

2.1 水汽

暴雨的发生需要具备充沛的水汽条件,2日08时—3日08时持续24 h的西南低空急流为山东西北部地区输送了充沛的水汽,3日08时山东西北部大气可降水量较大,为60~70 mm。3日08时和20时济南探空850 hPa和925 hPa比湿均在 $17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,大的低层比湿有利于产生大的雨强。

8月3日14时在河南北部到山东西南部存在一个地面露点温度大值区($\geq 26^{\circ}\text{C}$)(图1),大值区与地面辐合线相配合,利于暖区对流的触发。从3日14时NCEP再分析资料的比湿场可看出,暖区对

流在低层湿舌的南边缘触发生成(图2)。

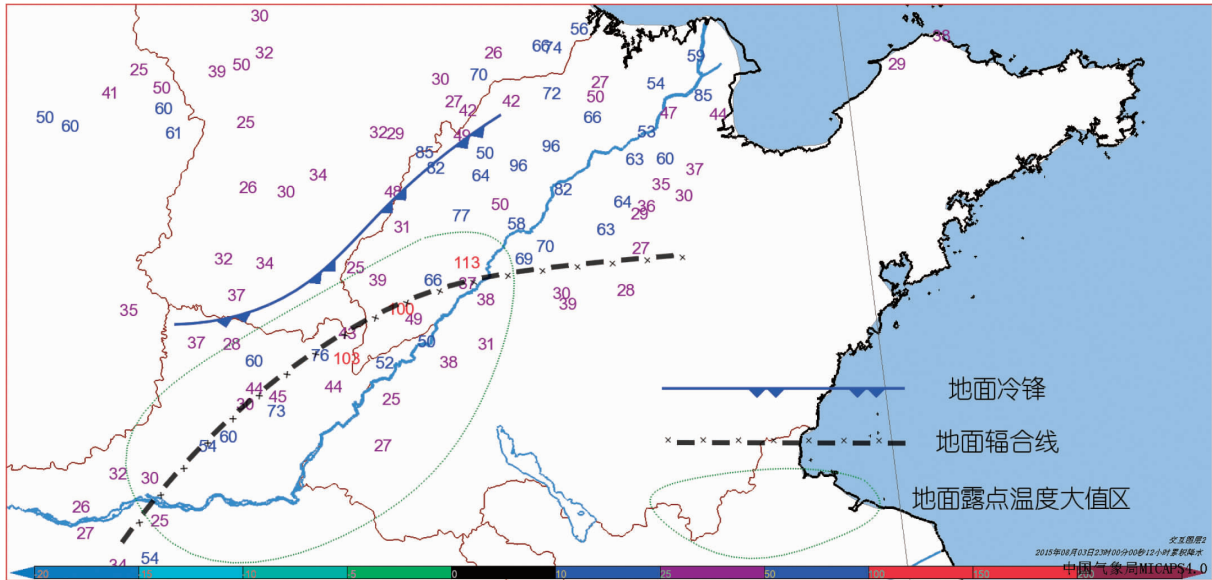


图1 2015年8月3日14时地面冷锋、辐合线、露点温度大值区($\geq 26^\circ\text{C}$)和11—23时降雨量(单位:mm,只显示超过25 mm的降雨)

Fig.1 The ground cold front, convergence line, area of large dew point temperature ($\geq 26^\circ\text{C}$) at 14:00 BST and precipitation from 11:00 BST to 23:00 BST (unit: mm, only precipitation larger than 25 mm is shown) on 3 August 2015

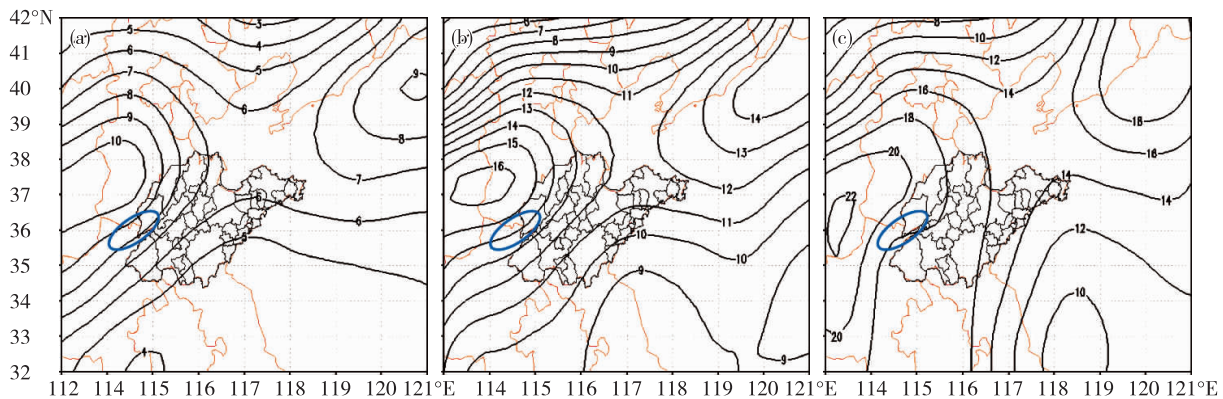


图2 2015年8月3日14时700 hPa(a)、850 hPa(b)和925 hPa(c)比湿(单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,蓝色椭圆区为暖区对流触发区)

Fig.2 Specific humidity at 700 hPa (a), 850 hPa (b) and 925 hPa (c) at 14:00 BST 3 August 2015 (unit: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; warm convections were triggered in the blue oval area)

8月3日08时济南探空(图略)显示:700~925 hPa相对湿度均大于80%,抬升凝结高度为896 m, 0°C 层高度为5 044 m,暖云层厚度为4 148 m,中低层深厚的湿层和暖云层能够使降水粒子在下降过程中不易被蒸发,从而保证了较高的降水效率^[6]。

2.2 不稳定能量

3日08时850 hPa上山东西北部位于假相当位温高能舌上(图略),高能舌上充足的能量利于强对流系统的发生发展。

对流有效位能(CAPE)是衡量风暴潜在强度的

一个重要指标,CAPE数值的增大表示上升气流强度和g对流发展潜势的增强。用3日14时暖区对流触发地的温度和露点温度对济南08时探空进行订正,得到CAPE值为 $4\,400\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,表明3日午后该地区大气层结的不稳定能量很大,一旦被触发,将产生强烈的上升运动。

综上所述,3日白天山东西北部环境大气已经具备了产生强降雨的水汽和不稳定能量。

3 对流系统的触发和演变

雷暴一般由低层中尺度系统触发,如锋面、干线、边界层辐合线、重力波、地形抬升以及中尺度对流系统产生的阵风锋^[7]。当某一中尺度系统不足以触发雷暴时,雷暴在两种以上中尺度边界相遇处触发,或中尺度边界上叠加更小尺度的扰动触发^[8-10]。本次暴雨由暖区对流和冷锋对流共同造成,分别由地面辐合线和冷锋触发生成。

3日08—14时,地面低压倒槽内形成一条地面辐合线(图1),聊城附近形成辐合中心,15:34—

16:12地面辐合线上逐渐触发出线状对流单体,沿辐合线向东北方向移动,辐合线附近风场的辐合为对流单体的发展提供了有利的动力条件,强度逐渐增强,其中一个对流单体在移至聊城时迅速发展加强,反射率因子图上出现钩状回波结构(图3a),径向速度图上出现正负速度对(图3b),达到中气旋强度,表明对流单体发展为超级单体,此超级单体造成在平16—17时出现42.2 mm的强降水,16:30线状对流单体排列成一条东北—西南向的暖区对流带(图3c),从反射率因子动画可看出,暖区对流带具有明显的后向传播特征^[11],单体移动方向与传播

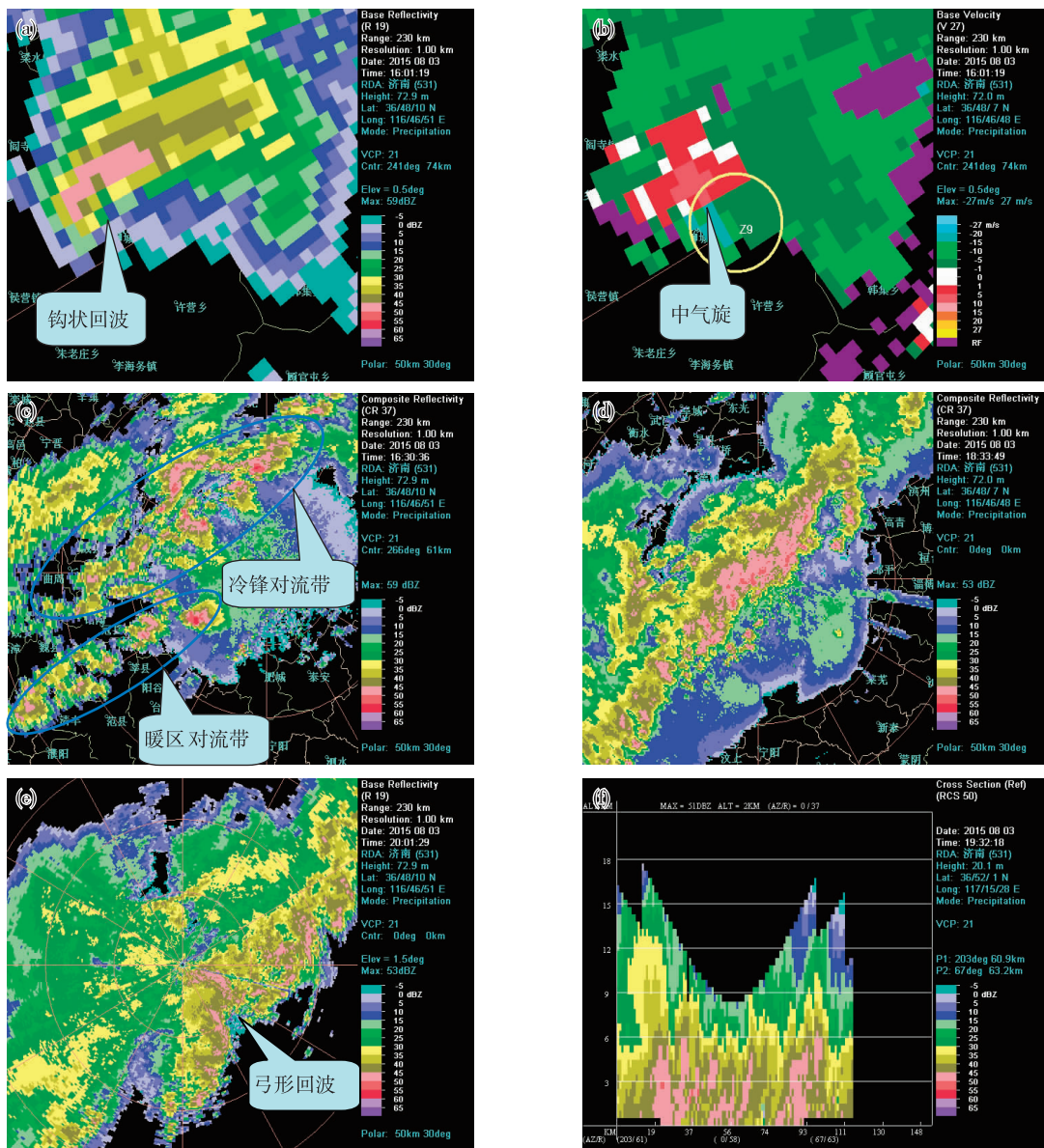


图3 济南雷达16:01反射率因子(a)、16:01径向速度(b)、16:30反射率因子(c)、18:33组合反射率因子(d)、20:01反射率因子(e)和19:32沿强对流带中心的反射率因子剖面(f)

Fig.3 Reflectivity of Jinan Radar at 16:01 BST (a), velocity at 16:01 BST (b), combined reflectivity at 16:30 BST (c), 18:33 BST (d), reflectivity at 20:01 BST (e), and vertical profile of radar reflectivity along the center of the strong convection band at 19:32 BST (f)

方向接近相反,单体依次经过同一地点,形成列车效应,导致聊城出现大暴雨。

另外,结合中尺度自动站资料和雷达资料可发现,地面冷锋在东移南压过程中逐渐触发生成零散的对流单体,16:30地面冷锋触发的对流单体在宁津、陵县、夏津、馆陶一带也排列成一条东北—西南向的冷锋对流带(图3c)。

随着地面冷锋逐渐侵入地面低压内部,冷锋与地面辐合线逐渐合并,18:33冷锋对流带和暖区对流带在济南西部合并为一条强对流带(图3d),从济南雷达风廓线资料(图略)可看出,19时开始从低层到高层环境风场西风分量逐渐增大,强对流带逐渐转向偏东方向移动,列车效应减弱,之后的降雨未达到大暴雨的量级。20时前后在强对流带后部由于强降雨的下沉拖曳作用而形成弓形回波(图3e),受其影响地面多个中尺度自动站出现大风,最大阵风达 $24.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,21时之后强对流带结构逐渐松散,降雨强度逐渐减弱。

在降雨最强时刻(19:32)沿强对流带中心制作

反射率因子垂直剖面(图3f),可看出:强回波呈悬垂状排列,强度基本在50 dBZ以下,45 dBZ以上的回波集中在6 km以下,回波发展高度中等,整体质心较低,符合热带强降雨型特点。

4 卫星云图分析

从FY-2F卫星相当黑体亮温(TBB)演变可看出:16:30之前表现为孤立的对流云团,17:30对流云团合并为一个扁平状中尺度对流系统(图4a),云顶亮温小于 $-52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷云区范围约 $100\ 000 \text{ km}^2$,最低云顶亮温达 $-71 \text{ }^{\circ}\text{C}$,之后对流系统进一步发展(图4b),至19:30(图4c)发展到最强状态,此时云顶亮温小于 $-52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷云区范围达到 $160\ 000 \text{ km}^2$,最低云顶亮温达 $-73 \text{ }^{\circ}\text{C}$,最强状态维持了1 h至20:30(图4d),之后小于 $-52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷云区范围逐渐减小,云顶亮温逐渐升高,对流系统强度逐渐减弱。结合中尺度自动站资料可发现,17—21时小时雨强达50 mm以上的区域与云顶亮温小于 $-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域有很好的对应关系。

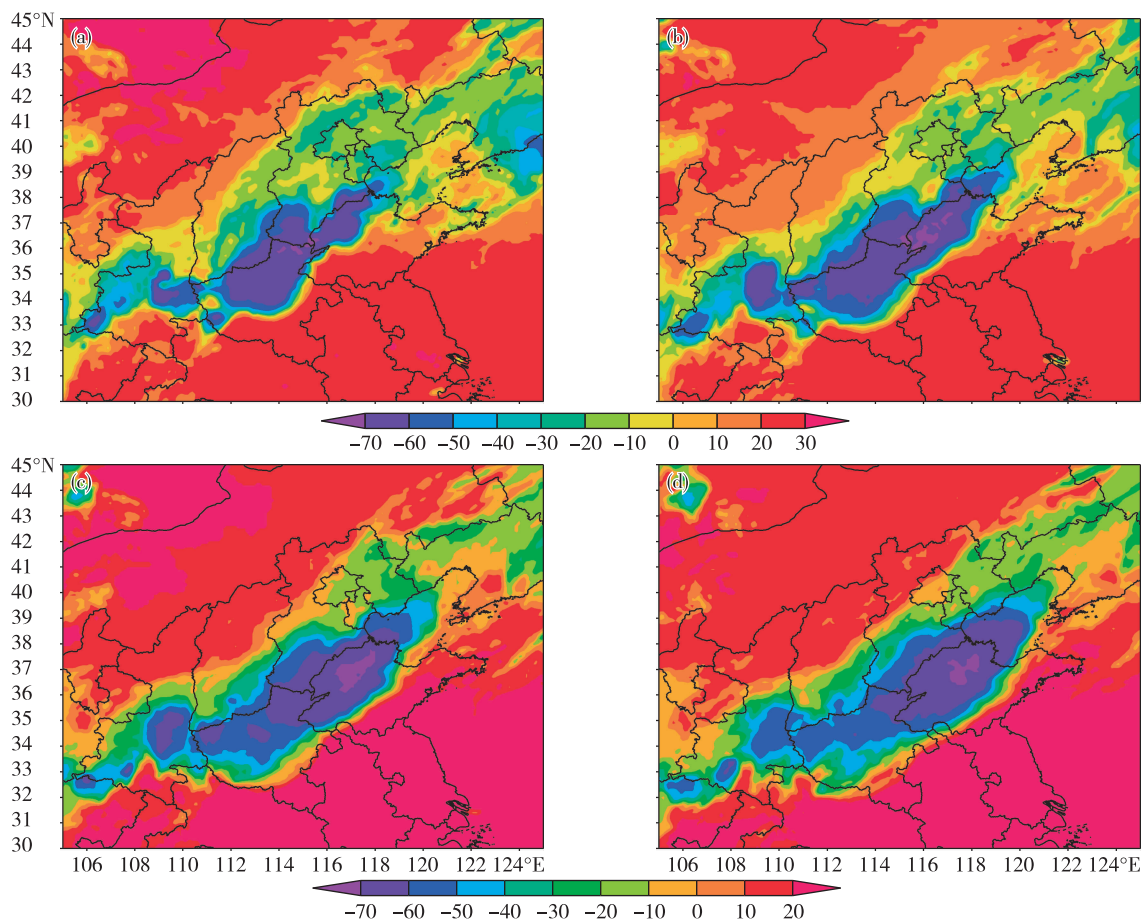


图4 FY-2F卫星17:30(a)、18:30(b)、19:30(c)和20:30(d)TBB演变(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig.4 FY-2F TBB at 17:00 BST (a), 18:30 BST (b), 19:30 BST (c) and 20:30 BST (d) (unit: $^{\circ}\text{C}$)

5 小结

1) 这是一次典型的低槽冷锋暴雨过程, 中尺度特征明显, 高层辐散、中层北涡南槽、低层径向切变线和低空急流的环流形势为暴雨的发生提供了有利的天气背景。

2) 持续 24 h 的低空急流输送了充足的水汽和能量, 使暴雨区具备了较大的大气可降水量, 大的低层比湿利于产生大的雨强, 中低层深厚的湿层和暖云层保证了较高降水效率, 850 hPa 假相当位温高能舌和大的对流有效位能增加了大气的强不稳定, 这些都为强降雨的发生提供了有利的环境条件。同时发现暖区对流发生在地面露点温度大值区和低层湿舌的南边缘上。

3) 暴雨由暖区对流和冷锋对流共同造成, 分别由地面辐合线和冷锋触发生成; 暖区对流带在聊城形成列车效应, 产生大暴雨; 随着地面冷锋侵入地面低压内部, 冷锋对流带和暖区对流带逐渐合并成为一条强对流带, 之后强对流带东移分量逐渐加大, 列车效应减弱, 造成单点强降雨持续时间缩短, 未出现大暴雨; 强对流带后部形成的弓形回波造成地面出现大风天气; 对流系统整体质心较低, 符合热带强降雨型特点。

4) 卫星云图上孤立的对流云团合并为一个扁平状中尺度对流系统, 在中尺度对流系统最强状态时小于 $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷云区范围达到 $160\ 000\ \text{km}^2$, 最低云顶亮温达 $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。小时雨强 $50\ \text{mm}$ 以上的强降雨落区与云顶亮温小于 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域有很好的对应关系。

参考文献:

- [1] 谌芸, 孙军, 徐珺, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一) 观测分析及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1255-1266.
- [2] 孙军, 谌芸, 杨舒楠, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二) 极端性降水成因初探及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1267-1277.
- [3] 俞小鼎. 2012年7月21日北京特大暴雨成因分析[J]. 气象, 2012, 38(11): 1313-1329.
- [4] 徐珺, 杨舒楠, 孙军, 等. 北方一次暖区大暴雨强降水成因探讨[J]. 气象, 2014, 40(12): 1455-1463.
- [5] 孙继松, 雷蕾, 于波, 等. 近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征[J]. 气象学报, 2015, 73(4): 609-623.
- [6] 陈元昭, 俞小鼎, 陈训来. 珠江三角洲地区重大短时强降雨的基本流型与环境参量特征[J]. 气象, 2016, 42(2): 144-155.
- [7] Doswell C A. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example[J]. Wea Forecasting, 1987, 2(1): 3-16.
- [8] Wilson J W, Crook N A, Mueller C K, et al. Nowcasting thunderstorms: A status report. [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79(10): 2079-2100.
- [9] Wilson J W, Feng Y, Chen M, et al. Nowcasting challenges during the Beijing Olympics: Successes, failures, and implications for future nowcasting systems [J]. Wea Forecasting, 2010, 25(6): 1691-1714.
- [10] 王秀明, 俞小鼎, 周小刚, 等. “6.3”区域致灾雷暴大风形成及维持原因分析[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 504-514.
- [11] 侯淑梅, 俞小鼎, 张少林, 等. 山东中西部后向发展雷暴初步研究[J]. 气象学报, 2015, 73(5): 819-836.