

Analysis of the Diagnosis and Wind Reflex about a Rainstorm in Liaoning

Chen Tian, Yunxia Duan, Zifeng Zhang, Hong Liang

Shenyang Bureau of Meteorology, Shenyang
Email: xiaotian.7686@163.com

Received: Mar. 7th, 2013; revised: May 6th, 2013; accepted: Jul. 2nd, 2013

Copyright © 2013 Chen Tian et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Based on the regular observational data, NCEP final analysis data, dual Doppler radar productions, and fy-2E meteorological satellite data, the regional rainstorm over Liaoning province on July 30, 2011 was comprehensively analyzed. The results indicated that the precipitation process occurred mainly due to the combined effects of NECV bottom upper-level trough and lower warm shear. South-west LLJ provided a steady stream of warm air accumulating in Liaoning province, which formed better water vapors and precipitation heat conditions. Meanwhile low-level wind convergence and upper level divergence, and a release of the strong potential unstable energy provided better power and unstable conditions for the precipitation. The dual radar reflex revealed that the 1.5 km horizontal wind convergence, strong echo area, and TBB low areas in the rainstorm had good correspondences with the movements of big value precipitation area and precipitation area.

Keywords: Rainstorm; Diagnosis; Dual Radar Reflex; TBB

一次辽宁暴雨过程的诊断及风场反演分析

田 晨, 段云霞, 张子峰, 梁 红

沈阳市气象局, 沈阳
Email: xiaotian.7686@163.com

收稿日期: 2013年3月7日; 修回日期: 2013年5月6日; 录用日期: 2013年7月2日

摘 要: 2011年7月30日辽宁地区发生了一次区域性大暴雨过程, 利用常规自动站、NCEP再分析资料及双多普勒雷达和风云2E卫星资料对这次过程进行综合分析, 结果表明: 这次降水过程的发生主要是由于东北冷涡底部高空槽及低层暖切变的共同影响, 西南低空急流源源不断的向北提供暖湿气流并在辽宁省堆积, 为降水提供较好的水汽和热力条件, 同时风场低层辐合高层辐散, 以及强大的潜在不稳定能量释放为降水提供了较好的动力和不稳定条件。双雷达反演得到的1.5 km高度上的水平风场的辐合辐散, 强回波区域以及TBB低值区在暴雨的发生过程中与降水大值区及降水落区的移动方向有很好的对应关系。

关键词: 暴雨; 诊断; 双雷达反演; TBB

1. 引言

多年来人们一直非常关注强对流天气, 因其常伴随雷暴、大风和局地暴雨, 是一种具有巨大破坏力的短时天气。气象工作者们对各类强对流天气从天气形

势、物理量场、卫星云图和雷达回波特征等方面都进行了很多的分析和研究^[1-10], 揭示了强对流天气发生发展的一些特点和成因。雷暴、暴雨等夏季多发的强对流天气主要是由于局地高温蓄积大量不稳定能量

加上充分的水汽条件和垂直运动,以及一定的触发机制共同作用形成。这类天气属于中小尺度现象,其发生发展的突发性和局地性强,预报难度很大。探索强对流天气的成因,提高预报能力,依然是气象工作者努力的方向。东北地区暴雨具有北方暴雨的一般特点,每当夏季来临,受西风带、副热带和热带环流的影响,极地冷空气频繁入侵,使得东北暴雨具有季节性强,降水次数少,历时短,强度大等特征,又受独特地理环境的影响,东北暴雨的突发性和局地性更为显著^[1]。对此,国内已经进行了不少的研究^[12-18],公颖等^[18]在对辽宁地区近十年的区域性暴雨特征进行总结中表示,辽宁地区的夏季暴雨主要影响系统以中层(以 500 hPa 为代表)受高空槽影响,低层(以 850 hPa 为代表)受气旋(或倒槽)顶部(或东部)切变线影响。本文利用常规资料、NCEP 再分析资料、沈阳、营口两部多普勒雷达以及 TBB 云图对这次降水过程的天气形势、物理量动力热力特征、风场和 TBB 的演变等方面进行了简单的探讨,以此加深对这类暴雨的认识。

2. 暴雨过程概述

29 日 20 时到 31 日 02 时受东北冷涡底部高空槽及渤海气旋的共同影响,辽宁省爆发了一次区域性大暴雨过程,降水落区由西南向东北移动(图 1),降水从 29 日 20 时开始,到 30 日 20 时盘锦地区多站的 6 小时降水量已经超过 100 mm,21 时辽中北部满都户单站小时雨量 86.7 mm,新民南部金五谷单站 1 小时降水量达到 72.9 mm,降水一直到 31 日 02 时基本结束。

此次降水有以下三大特点:一是降水强度大;二是范围广;三是持续时间长。

3. 天气形势分析

30 日 08 时 500 hPa 高度上,随着乌拉尔山高压脊前不断有冷空气南下,经贝湖东移到蒙古东部形成冷涡,并在 20 时到达东北北部,同时副热带高压西段明显西伸北抬,并与大陆高压打通合并,随着低涡横槽下摆,副热带高压东段南退,高空西风带锋区明显南压到东北中东部地区,与副热带暖湿气流交汇,我省大部分地区受冷涡底部高空槽和副高外围切变线影响产生强降水天气。850 hPa 高度上随着、低涡底部横槽下摆,西风带锋区南压,29 日位于华北南部的暖切变随着 500 hPa 槽前引导气流向东北移动并加强,30 日 20 时在辽宁南部形成闭合低涡系统,在低涡暖切变上有多个中小尺度对流云团生成并沿切变线东北上,850 hPa 切变与急流轴之间影响的位置正好对大洼-辽中-新民-法库-康平一线有利,如图 2 所示。在 08~20 时的高低空形势场配置中可以明显的看出,500 hPa 高空槽和 850 hPa 切变线前大尺度动力抬升条件有利于暴雨出现,另外在内蒙东部有切变线与 500 hPa 高空槽形成前倾形势,有利于暴雨强度增加。

对应地面气压场上,30 日 08 时~20 时内蒙东部的气旋冷锋缓慢的东南下摆,同时华北气旋自西南向东北方向移动,与强降水的落区和时段有很好的对应(图略)。在地面气压发生极速下降之后,地面的等压线迅速密集,使得地面产生了 7 级以上的大风。18 时在盘锦地区出现了比较强的风场辐合,大洼县的地面

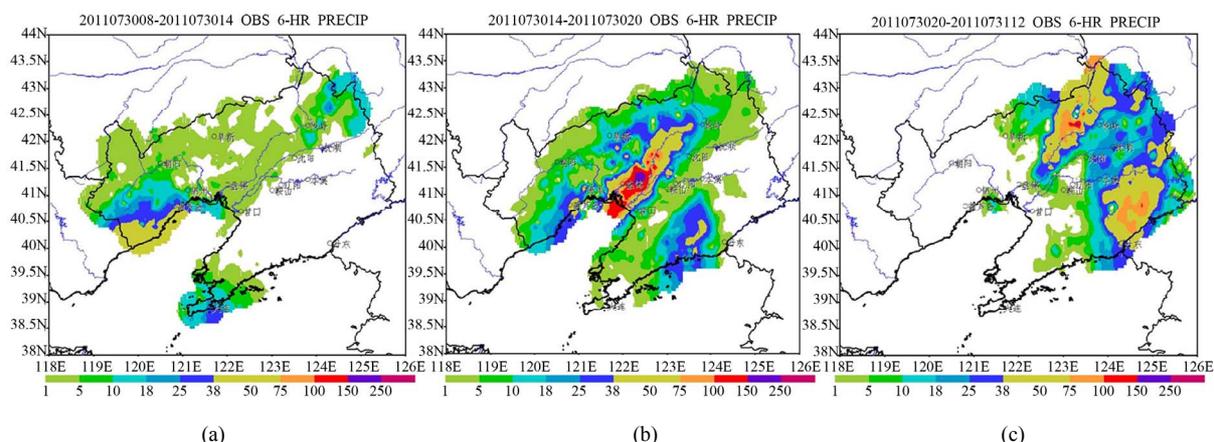


Figure 1. Precipitation process by six hours cumulative rainfall from July 30 to 31 in 2011 (Unit: mm) ((a) 14:00 on 30th; (b) 20:00 on 30th; (c) 02:00 on 31th)

图 1. 2011 年 7 月 30~31 日降水过程逐 6 小时累积降水量(单位: mm) ((a) 30 日 14 时; (b) 30 日 20 时; (c) 31 日 02 时)

最大风速已经达到 8 m/s, 到 20 时, 华北气旋已经东北上至渤海湾东部的营口地区, 此时辽中县、台安等地接连出现强烈的地面大风, 辽中县最大风速达 14 m/s, 并且在整个辽宁中部形成了气旋性的闭合环流形势, 到 22 时华北气旋继续东北上到达沈阳北部影响辽宁北部地区, 到 02 时逐渐移出我省。图 3 给出大洼县、满都户和康平县三站小时降水量和地面气压



Figure 2. The high and low situation field of rainstorm (red solid line is the upper trough, the red wire is the shear line, the red arrow is the low-level jet, the green dotted line is rainstorm field) and surface low pressure moving path (D represents low pressure center)

图 2. 暴雨过程的高低空形势场(红色实线为高空槽、红色双线为切变线、红色箭头为低空急流、绿色虚线为暴雨落区)及地面低压移动路径(D 代表低压中心)

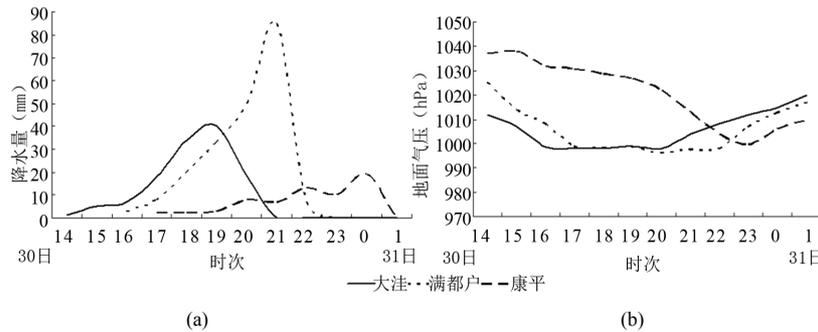


Figure 3. The graph of hour precipitation (a) and surface pressure (b) changing with the time at Dawa, Manduhu and Kangping
图 3. 大洼、满都户和康平三站小时降水量(a)和地面气压(b)随时间变化图

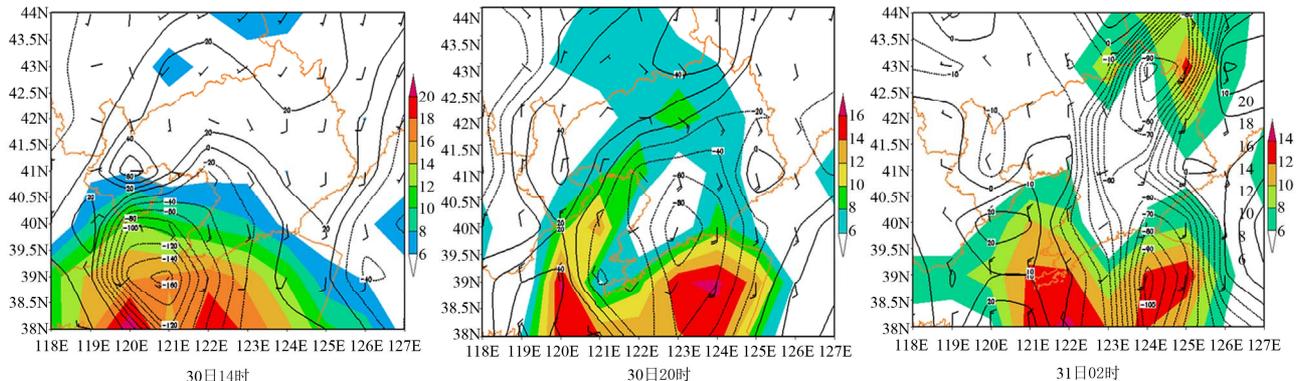


Figure 4. The changing map of 850 hPa vapor flux (shaded area, unit: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$) and vapor flux divergence ($10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$) and wind field
图 4. 850 hPa 水汽通量(阴影区, 单位: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)、水汽通量散度($10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)与风场变化图

随时间的演变图, 可以看出, 三个站在 30 日 17 时后小时降水量在逐渐增加, 三站的最大降水量分别出现在 19 时、21 时和 31 日 00 时, 表明此次降水过程强降水带由南向北移动。从地面气压的变化可以看出(图 3b), 大洼县 14~16 时 2 小时内气压下降 10 hPa, 满都户 3 小时内下降近 30 hPa, 并且均为连续性的降压过程, 康平县从 14 时至 20 时气压持续缓慢下降, 23 时迅速下降 20 hPa。强烈、连续的地面气压下降过程表明有非常强烈的地面气压低值系统自西南向东北扫过各测站。

4. 物理量场的诊断分析

4.1. 水汽条件

强对流天气的发展要求低层有足够的水汽供应, 因此常形成于低层有湿舌或者强烈的水汽辐合地区。从图 4 可以看到, 30 日 14 时河套以东地区低压东北上, 经渤海到达辽宁, 西南急流建立, 水汽沿偏南气流从渤海输送到辽宁, 辽宁南部位于水汽通量大值

区, 并且处于强烈的水汽辐合中。到 30 日 20 时, 辽宁地区已经明显的有大量水汽汇入, 在东部形成了水汽输送带, 伴随着强劲的偏南急流迅速的向东北扩张, 并且从低空风场来看, 辽宁中部强烈的风切变也使偏南急流输送的水汽随着风向切变自北向南传递到了强降水区域, 此时大洼、辽中的水汽通量散度已经达到近 $-20 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$, 到 31 日 02 时水汽输送大值轴东北上, 辽宁降水陆续基本结束。可见, 从 30 日 14 时到 31 日 02 时的 12 小时内, 源源不断的水汽输送和强烈的水汽辐合为强降水提供非常好的水汽条件。

4.2. 动力条件

分析 30 日 20 时辽宁地区高低空风场及散度场(图 5), 200 hPa 流场(图 5(a))分布呈分散形状, 高层强辐散区位于锦州、盘锦、营口一带, 高层强烈的辐散有利于动力抽吸作用增强, 使得次级环流加强, 有利于低层上升运动的增强和维持。低层 850 hPa (图 5(b))切变线从江淮向北延伸到渤海湾, 切变线右侧与偏南急流

轴之间是低层的强辐合区。高空西南急流右后方强辐散区与低空急流左前方强辐合区叠置, 这种高低空的耦合机制形成强烈垂直上升运动区, 为辽宁中部地区特强暴雨提供了动力条件。

垂直速度可以很好的表征空气上升运动的强弱。做 14 时和 20 时沿最大降水中心满都户站 122.5°E 的垂直速度和散度场剖面图(图 6), 14 时(图 6(a))的垂直速度场中, 强降水中心附近的中高层已经出现了几个较分散且较弱的上升运动区, 北纬 40 度为上升运动, 41 度为下沉运动, 即在低层降水中心(图中黑色三角)南部形成了一个较弱的垂直环流, 散度场中也能看到此时中高层已经开始有上升运动的趋势, 到 20 时(图 6(b)) 500 hPa 到 300 hPa 之间出现了很强的上升运动, 通过散度场可以明显的看出降水中心位置从低层到高层的散度值均为负值, 这种强烈的抽吸作用使得低层的上升运动也逐渐加强, 14 时较弱的次级垂直环流在此时加强并且北上, 辽中此时位于次级垂直环流之中, 次级环流的叠加作用会加强降水, 这可能会是辽中地区产生大暴雨的一个重要原因。

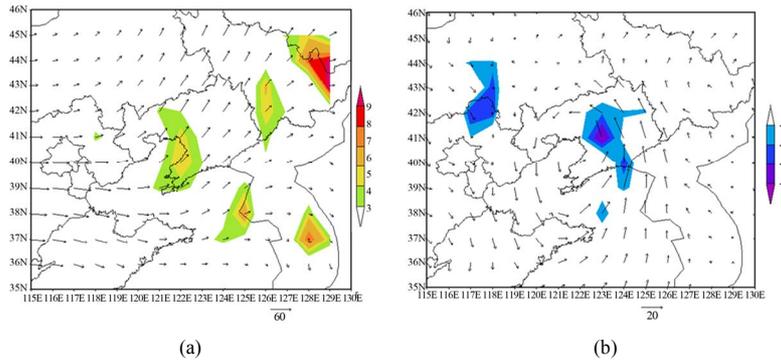


Figure 5. The high and low level wind and divergence field in Liaoning at 20:00 on 30th (Unit: 10^{-5} s^{-1}) ((a) 200 hPa; (b) 850 hPa)
 图 5. 30 日 20 时辽宁地区高低空风场及散度场(单位: 10^{-5} s^{-1}) ((a) 200 hPa; (b) 850 hPa)

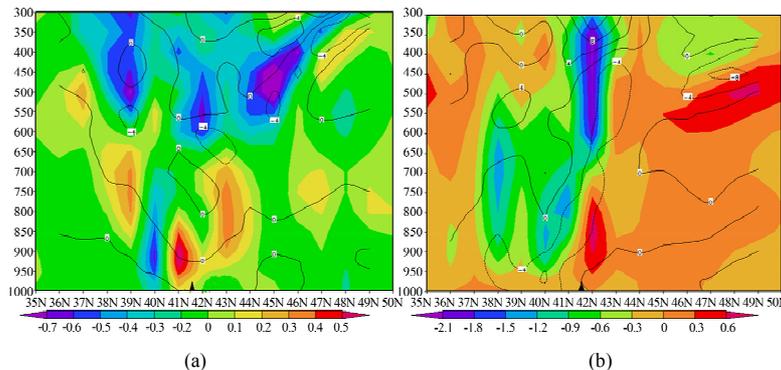


Figure 6. The sectional drawing of vertical speed (Unit: hPa/s) and divergence (Unit: 10^{-5} s^{-1}) along the maximum precipitation center 122.5°E ((a) 14:00; (b) 20:00)
 图 6. 沿最大降水中心 122.5°E 的垂直速度(单位: hPa/s)和散度场(单位: 10^{-5} s^{-1})剖面图((a) 14 时; (b) 20 时)

4.3. 热力条件

图 7 是沿最大降水中心 122.5°E 做的温度平流和流场的剖面图。在 14 时(图 7(a)), 整层都是受偏南气流的控制, 并且降水中心南部从低层一直到 500 hPa 都是暖湿气流, 高空为冷平流, 可见暴雨发生前已经形成上冷下暖的不稳定结构。到 20 时(图 7(b))则表现的更加明显, 降水中心南部及其附近地区上空被强大的暖平流占据, 整层的偏南暖湿气流的强度非常大, 阻碍了冷空气进一步南下, 此时正是降水量达到极值的前一时刻。可见, 整层的暖湿空气与强劲的暖平流是产生暴雨关键的热力条件。

4.4. 不稳定结构与能量场分析

沿最大降水中心 122.5°E 做假相当位温和流场的剖面图, 从图 8 上分析 14 时(图 8(a))暴雨发生前, 暴雨中心满都户南部 $\theta_{se850}\sim\theta_{se500}$ 的量值达 20 k 左右, 表明在辽宁南部地区已经具备较强的潜在不稳定条件, 这与 14 时的水汽条件分析有较好的对应。到 20

时(图 8(b)), 在降水中心(黑色三角处)上空 850 hPa 附近产生了能量锋区, 并且伴随一定的上升运动, 且 θ_{se850} 的值在 345 k 左右, 满足辽宁夏季暴雨对流不稳定 $850\text{ hPa } \theta_{se} \geq 340\text{ k}$ 的指标。降水中心此刻处于对流不稳定层结且有上升运动, 并且处于低层高能区附近, 这种条件会产生强不稳定的对流性降水。

5. 雷达风场反演及 TBB 云图分析

为了更细致的分析此次降水过程中风场的分布情况, 利用两步变分风场反演方法对 30 日 17 时到 22 时的风场进行了反演。

图 9 给出了这个时段反演得到的 1.5 km 高度上回波强度和风场。可以看出, 17 时到 22 时整个反演区域中西部均受西南气流控制, 而到了 18 时(图 9(b)), 伴随冷涡后部的冷空气南下, 与西南暖湿气流在大洼、台安、辽中一带交汇, 雷达回波强度加强到 30 dbz 以上, 大洼县和台安县附近的强回波区域正处于强风速带上, 此时大洼已经产生强降水, 台安南部 1 小时单

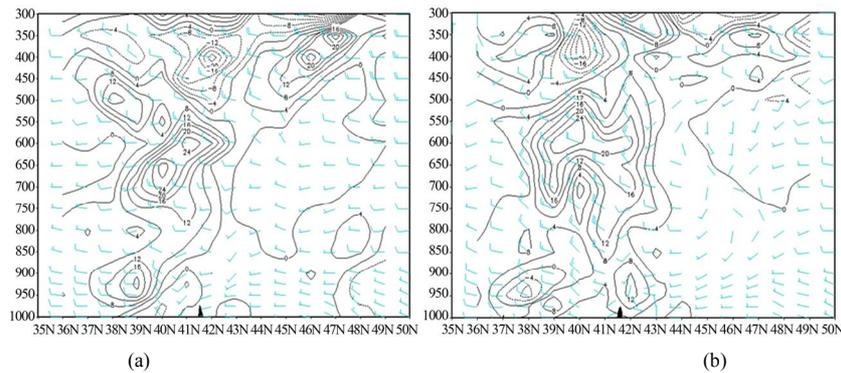


Figure 7. The sectional drawing of temperature advection (Unit: hPa/s) and wind field along the maximum precipitation center 122.5°E ((a) 14:00; (b) 20:00)

图 7. 沿最大降水中心 122.5°E 的温度平流(单位: hPa/s) 和风场剖面图((a) 14 时; (b) 20 时)

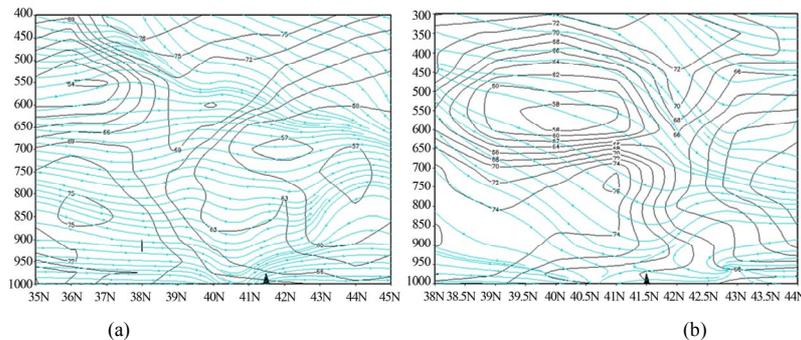


Figure 8. The sectional drawing of pseudo equivalent potential temperature (Unit: °C) and flow field along the maximum precipitation center 122.5°E ((a) 14:00; (b) 20:00)

图 8. 沿最大降水中心 122.5°E 的假相当位温(单位: °C) 和流场剖面图((a) 14 时; (b) 20 时)

一次辽宁暴雨过程的诊断及风场反演分析

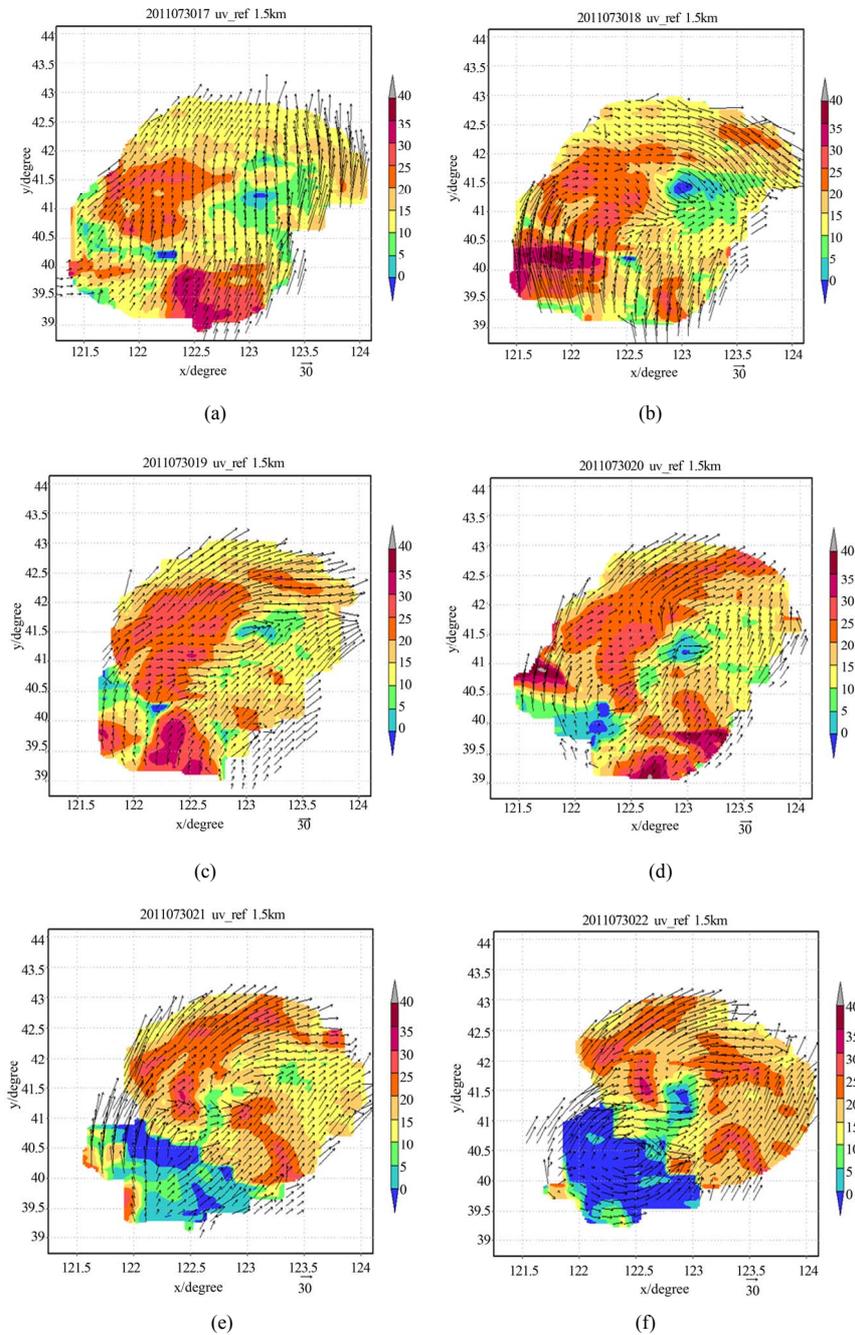


Figure 9. The horizontal wind and radar echo intensity reflexed by dual radar at 1.5 km from 17:00 to 22:00 on 30th (Unit: dbz)
 图 9. 30 日 17 时到 22 时((a)~(f))两部雷达反演出 1.5 km 高度上水平风场和雷达回波强度(单位: dbz)

站最大降水量达到 57.6 mm。随后，西南气流加强并缓慢北上，与南下的冷空气对峙，降水大值区也随之北上，在 20 时(图 9(d))左右辽中县附近雷达回波强度达到了 35 dbz 以上，此时该地区位于风场辐合区，多个站点在这期间降水量普遍达到了 100 mm 以上，均达到了大暴雨的量级。21 时后(图 9(e)、(f))，沈阳西南部风场出现辐散，降水带进一步北上影响康法地

区，而在南部地区的台安、辽中等地降水基本结束。

TBB 的分布图(图 10)显示，16 时 TBB 低值区位于辽宁省西部，呈西南 - 东北带状分布，边缘较松散，18 时(图 10(b))，对流云团在大洼 - 台安 - 辽中一线加强，可以很清楚的看到两个 TBB 低值中心分别在盘锦地区和沈阳西部地区，最低值达到 -40°C 以上，且边缘密集，云体边缘陡直，对流旺盛，且此时的低值

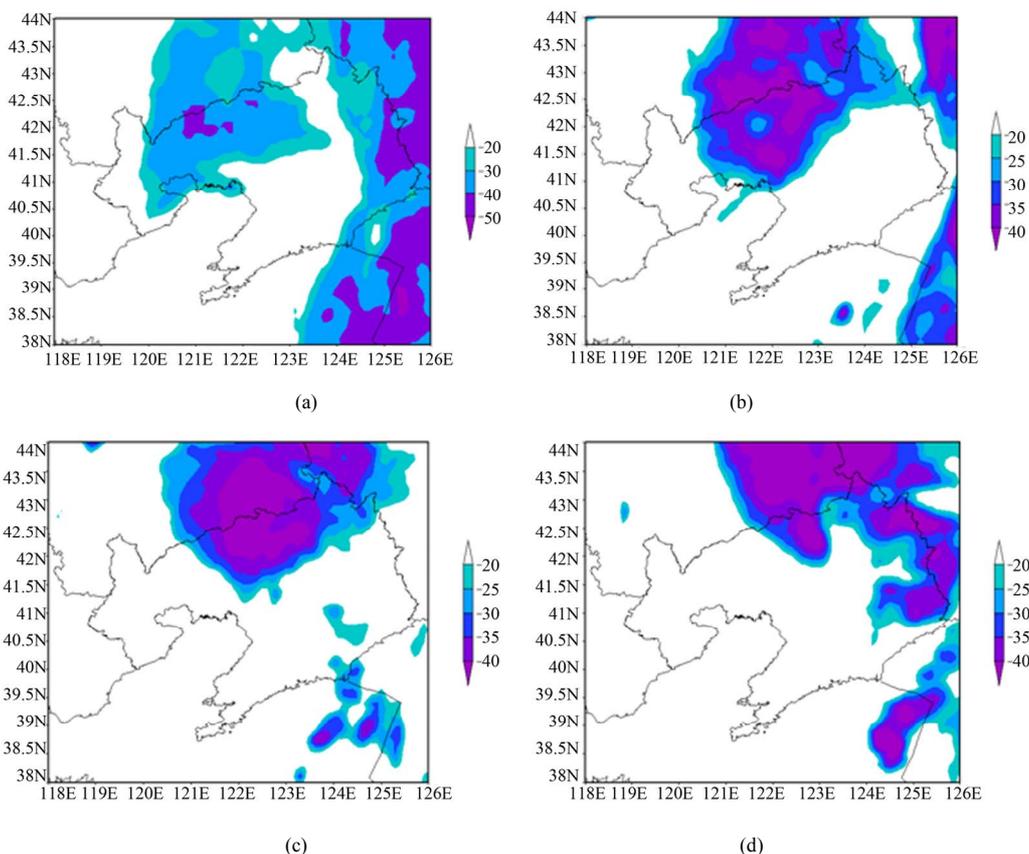


Figure 10. The TBB distribution map at 16:00, 18:00, 20:00 and 22:00 on 30th (Unit: °C) ((a) 16:00; (b) 18:00; (c) 20:00; (d) 22:00)
 图 10. 30 日 16 时、18 时、20 时、22 时 TBB 分布(单位: °C) ((a) 16 时; (b) 18 时; (c) 20 时; (d) 22 时)

区与同时刻反演的强回波区和风速核区有很好的对应,造成了这段时间辽宁中部较集中的强降水。20 时(图 10(d))云团逐渐东北上,在沈阳西南部地区维持强度,与同时刻反演风场的强回波区和风场辐合区也有很好的对应,此时辽中地区开始产生强降水。到 22 时低值区移动到我省北部,云区减弱消散,逐渐移出辽宁地区。综上,双雷达反演得到的 1.5 km 高度上的水平风场的辐合区,雷达强回波区域以及 TBB 低值区在暴雨的发生过程中与降水大值区及降水落区的移动方向有很好的对应关系。

6. 小结

1) 本次降水过程的大尺度系统主要是东北冷涡底部高空槽、副高外围切变线及华北气旋北上共同影响。高空槽的前倾形势有利于加强暴雨,强降水落区位于低空急流左前方、850 hPa 切变线附近。

2) 偏南低空急流源源不断的向北提供暖湿气流并在辽宁省堆积,同时在低层风场的配合下不断有水

汽向暴雨落区补充,这为辽宁地区降水提供了很好的水汽条件。

3) 高空西南急流强辐散区与低空急流强辐合区叠置,形成强烈垂直上升运动区,为辽宁中部地区特强暴雨提供了动力条件。高层较强的上升运动引发强烈的抽吸作用使得低层的上升运动也逐渐加强,次级环流的叠加作用可能是辽中地区产生大暴雨的一个重要原因。

4) 在强降水时段强劲的暖湿气流阻碍冷空气南下,西南气流不断东北上。可见,整层的暖湿空气与暖平流的作用是产生暴雨极值和确定暴雨落区非常关键的热力条件。

5) 暴雨发生前辽宁南部地区已经具备较强的潜在不稳定条件,强降水时段降水中心上空 850 hPa 附近产生了能量锋区,并且伴随一定的上升运动。

6) 从两部雷达反演得到的 1.5 km 高度上的水平风场和 TBB 云图的分布来看,双雷达反演的 1.5 km 高度上水平风场的辐合、强回波区和 TBB 低值区分布

图显示的云体的发展、消散以及移向与降水大值区及降水落区的移动方向有很好的对应关系。

参考文献 (References)

- [1] 夏丽花, 冯晋勤, 黄美金等. 一次强对流天气过程的成因分析[J]. 气象, 2006, 32(7): 110-114.
- [2] 田军, 张楠, 栗敬仁等. 2008年6月3日一次中尺度强对流天气过程分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32: 5-8.
- [3] 吴葵, 赵培娟, 席世平等. 郑州局地强对流天气的形成机制与预报方法[J]. 气象科技, 2008, 36(5): 515-519.
- [4] 谢义明, 解令运, 沙维茹等. 江苏中部一次强对流天气的物理机制分析[J]. 气象科学, 2008, 28(2): 212-216.
- [5] 潘娅英, 王亚云, 钱吴刚等. 一次全省性强雷暴天气的地闪特征[J]. 气象科技, 2010, 38(4): 432-436.
- [6] 寿绍文, 励申申, 王善华等. 天气学分析[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 148-174.
- [7] 廖玉芳, 俞小鼎, 郭庆. 一次强对流系列风暴个例的多普勒天气雷达资料分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(6): 656-662.
- [8] 伍志方, 张春良, 张沛源. 一次强对流天气的多普勒特征分析[J]. 高原气象, 2001, 20(2): 202-207.
- [9] 郑祚芳, 张秀丽. 北京地区一次局地强降水过程的数值分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(4): 442-448.
- [10] 李靖, 于波, 王华等. 北京地区一次局地暴雨过程的诊断和中尺度分析[J]. 气象, 2008, 34: 74-79.
- [11] 郑秀雅, 张廷治, 白人海. 东北暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 1-6.
- [12] 邹立尧, 丁一汇. 1961~2005年东北暴雨气候特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 314-1321.
- [13] 孙军, 代刊, 樊利强. 2010年7~8月东北地区强降雨过程分析和预报技术探讨[J]. 气象, 2011, 37(7): 785-794.
- [14] 王宪彬, 张旭, 辛艳辉. 东北地区一次暴雨过程落区研究[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(5): 36-40.
- [15] 吴迪, 寿绍文, 姚秀萍. 东北冷涡暴雨过程中干侵入特征及其与降水落区的关系[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(2): 111-116.
- [16] 王宪彬, 张建国, 辛艳辉. 2010年8月19日阜新暴雨过程的多普勒雷达回波特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 5: 112-121.
- [17] 黄振, 宋煜, 何玉科. 2004年8月3日大连大暴雨天气过程分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 2: 42-48.
- [18] 公颖, 陈力强, 隋明. 2001~2010年辽宁区域性暴雨阶段性特征[J]. 气象与环境学报, 2011, 6: 50-59.