

“03.8”辽宁地区暴雨过程成因的诊断分析^①

王 健^{1,2} 寿绍文¹ 陈力强³ 何玉科²

(1. 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044; 2. 大连市气象局;

3. 中国气象局沈阳大气环境研究所)

提 要

对2003年8月5~6日辽宁地区暴雨过程的环流形势及雷达回波进行了分析。并利用中尺度MM5模式对这次暴雨过程的模拟结果进行了诊断分析,探讨了过程中主要影响系统——华北气旋在渤海西岸生成后迅速发展加强的原因。结果表明,中纬度短波槽的充分发展引导贝加尔湖冷空气的南下、副高的稳定与加强和低空急流的建立输送大量暖湿气流是华北气旋生成的重要条件。而“干侵入”则是造成此次华北气旋迅速发展加强的重要原因。

关键词: 暴雨 诊断分析 华北气旋 干侵入

引 言

2003年8月5~6日受华北气旋的影响,辽宁大部分地区出现暴雨,局部出现大暴雨。此次暴雨过程是较典型的对流性降水过程,降水时间集中,绥中、本溪6小时降水量均超过70mm,并且伴有短时雷雨大风和局地冰雹,致使辽宁许多地方出现严重灾情,仅绥中县因受冰雹和大风袭击直接经济损失就达2.2亿元。

此次暴雨过程与华北气旋的迅猛发展密切相关。在5日14时地面天气图上,渤海西岸为一弱低压倒槽,辽宁处于高压后部,在华北至黄海北部有一暖切变。5日20时,华北气旋在渤海西岸的天津南部生成,中心气压为1001hPa。新生的华北气旋在以 $55\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 速度向东北移动过程中迅猛发展,并贯穿辽宁地区。6日08时,气旋发展到鼎盛时期,中心位于辽宁抚顺,气压为992hPa,此时全省大部分地区出现暴雨。6日20时,气旋移到吉林北部,全省降水基本结束。这次过程因气旋生成晚、发展迅猛,给预报工作带来一定难度。本文应用MM5模式模拟结果对此次暴雨过程做诊断分析,初步探讨此次华

北气旋迅猛发展的原因。

1 环流背景分析

500hPa上,8月5日08时,西伸到我国南方大陆的副高断裂成两部分,海上副高与原控制辽宁地区的弱脊合为一体,蒙古低槽移到华北地区略有加强,槽线位于 112°E ,并有冷温槽配合。5日20时,槽线东移至 119°E 附近,低压槽发展加深,槽后有自贝加尔湖南下的冷空气加入;海上副高因成为混体高压有所加强,副高脊线由东西向转为西北—东南向。到6日08时,低压槽已发展成低涡,中心位于 43°N 、 122°E ,最低值5680gpm,而副高稳定西伸,脊线再次呈东西走向,这时也是地面气旋发展最强盛时期。6日20时低涡东北移至 45°N 、 126°E ,辽宁地区处于低涡底部偏西气流控制,降水基本结束。

850hPa上,5日08时,西伸的海上副高明显东撤,148线最西端在24小时东移近7个经距,到达 115°E 附近,辽宁地区位于高压后部偏南气流控制,南风开始增强,大连本站东南风 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在山东半岛北部有一暖切变。5日20时,148线到达 123°E 附近,基本呈南北走向,山东成山头、辽宁丹东、锦州风

^① 本文由国家自然科学基金项目40405009、40075009及40205008资助。

力均在 $14\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 低空偏南急流形成, 此时渤海西岸有低值环流存在。6日08时, 原位于渤海西岸的低值环流发展成完整的低涡, 中心位于本溪, 最低值 1340gpm , 此时丹东本站西南风风速达 $22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 低空急流发展强盛。低空急流的生成和加强为暴雨区输送了大量的水汽和能量。6日20时, 低涡移到吉林北部, 位置与 500hPa 低涡位置较一致, 辽宁地区处于涡的底部, 高空风力减小。从高空图分析可以看出: 5日20时 700hPa 和 850hPa 的槽线(切变线)均落后于 500hPa 约3个经距, 这种前倾槽结构加大了大气的垂直不稳定, 是引起强对流天气的主要原因。而6日20时降水结束时, 三层槽线位置基本重合在一起。

2 雷达回波资料分析

利用大连站多普勒天气雷达对此次过程连续跟踪观测资料作雷达回波分析, 可以看出这次过程大致可以分为三个阶段, 一是暖湿切变对大连地区的影响; 二是5日20时以后河套东移冷空气与暖切变结合生成的华北气旋东北上过程中所产生的强降水; 三是6日下午受高空冷涡影响产生的辽西局地强对流天气。但由于观测范围所限, 对辽宁地区未能做到全方位跟踪, 这里只能从大连本站雷达回波进行分析。

这次降水是由山东半岛的暖湿切变北抬后对辽南地区影响开始。8月5日11时02分(见图1a, 封三), 雷达探测在大连站东南方有零散的强度为 41dBz 对流降水回波, 以 $30\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东北方向移动, 并且在移动中强度进一步加强, 范围迅速扩大, 这表明大气对流比较旺盛, 回波发展很快。11时42分, 原本零散孤立的回波连成了一片, 大连开始降水。到14时20分, 回波已发展成大片强度为 51dBz 的强雷雨降水回波, 高度达 14km , 并移向大连北部地区, 全区雷阵雨, 大连本站2小时降水 23mm 。15时13分(见图1b, 封三), 在渤海中部和渤海海峡又新生一片零散的对流性降水回波, 回波强度 44dBz , 高度 12km , 向东北方向移动, 主要降水区仍在渤海和黄海北部, 辽南、辽西部分地区受影响。

20时01分(见图1c, 封三), 原影响辽南地区的暖切变降水已减弱, 而17时52分观测到的渤海西岸降水回波, 强度已发展成 40dBz , 覆盖整个渤海西岸, 并向东北移动, 这是新生的华北气旋前部降水回波。到6日01时48分(见图1d, 封三)降水回波覆盖整个辽宁地区, 强回波范围明显扩大, 强度加强为 45dBz , 高度 9km , 绥中6小时降水量为 75mm , 这时气旋发展比较旺盛。6日4时, 降水回波全部移出大连地区。

6日下午14时51分, 观测到辽西建昌西南部有新生的局地强对流回波, 到15时57分, 强度达 58dBz , 造成葫芦岛市连山区、南开区、绥中县部分乡镇雷雨大风和冰雹。

从多普勒天气雷达的速度场上分析可以看出, 5日18时18分近地面层零速度线东北西南向分布呈一条直线(见图2a, 封三), 可见中低层是一致的东南气流, 风向随高度不变。用零速度线作动态分析, 它是顺时针旋转, 回波移向则相反, 说明在测站的左侧有气旋生成, 这在23时以后的观测中更加明显(见图2c, 封三)。近地面层零速度线从方位 290° 顺时针旋转到 360° , 这说明已有气旋在测站左侧生成并发展北上。事实上在5日20时已有气旋在渤海西岸生成。6日01时06分, 大连本站出现辐散型弓状型回波(见图2b, 封三), 这预示着大连降水将要减弱、结束。

3 诊断分析

用中尺度数值模式 MM5 对此次过程进行模拟, 通过对温压场、风场和降水量的比较, 表明模拟效果较好。本文主要在模拟基础上作位涡、涡度、散度以及垂直速度等物理量的诊断分析, 旨在探讨此次华北气旋生成后迅猛发展的原因。

3.1 “干侵入”分析

一般把来自对流层中上层的以低相对湿度和高位涡表征的干燥下沉气流称为“干侵入”。由模拟的 345K 等熵面上的位涡分布图可以看出, 5日20时辽宁地区还处于位涡小于 1PVU 区域中, 而在二连浩特北部有一个 8PVU 的正高位涡中心, 高位涡区不断向东南扩展, 6日02时, 渤海、辽西地区位涡均

大于3PVU。到6日14时,辽宁地区均处在3~5PVU位涡区内。由此可见,在对流层上层有一正位涡高值区从内蒙古向辽宁侵入。

同时分析了位涡垂直剖面图。5日14时在39.5°N附近900、1000hPa有一正位涡中心,中心值为1PVU,正位涡区随高度向南倾斜一直到达500hPa高度,这个从高空伸向地面的高位涡舌范围不断扩大且中心数值增大。5日23时,在39°N附近400hPa高度出现正位涡高值区,中心值为3.5PVU。到6日02时,在41°N附近形成了从1000~400hPa的垂直位涡柱(图3),最大正位涡达4.5PVU,位涡柱顶端在400~500hPa处向两侧伸展,此时是辽宁地区降水最大的时候。随后,高位涡区走向由经向转为纬向,中心数值迅速减小,到6日17时,700hPa以下均为负位涡区。整个过程说明存在一个正高位涡从对流层中上层向低层的移动。同时对照相对湿度剖面图(图略)可见,与高位涡区相配合的是低相对湿度区。由此可得出结论:有正高位涡和低相对湿度的气流由对流层中上层向低层侵入。

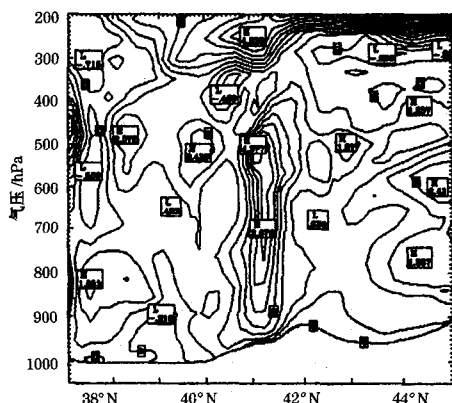


图3 模拟的2003年8月6日02时沿120°E位涡垂直剖面图(单位:PVU)

分析模拟的3小时降水量资料可以看出,最强的降水时段和强降水中心都较好地模拟出来了。在3小时降水量模拟图上,5日23时辽南地区有10mm降水;6日02时辽宁大部有降水,且在辽南与辽西有两个降水中心,辽西降水中心值为55mm;6日05时辽南降水中心值为63mm,辽西降水中心值为58mm;6日08时降水中心向辽宁中部转

移,中心值为49mm;6日11时以后降水强度明显减弱。也就是说,在6日02时位涡柱形成时刻前后降水达到最强,这与实际情况也是一致的。由此可见“干侵入”是造成强降水的主要原因之一。

3.2 涡度的诊断

由模拟的涡度垂直剖面图可见,在37~41°N的上空5日14时除400~600hPa是负涡度外,其余为正涡度区。17时,该地区500hPa以上为负涡度区,500hPa以下为正涡度区,而41°N以北则正好与之相反。20时600hPa以下全为正涡度区覆盖,在600hPa附近有 $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 正中心,而在500hPa和300~400hPa处分别是 $-8.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $-19 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 负中心。高空强负涡度与低空正涡度形成有利于暴雨的配置。23时正涡度迅速加大,在400hPa附近出现一强中心,中心值为 $26.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。6日02时,形成由1000hPa至400hPa的垂直涡度柱(图4),正涡度中心为 $52.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,该涡度柱与位涡柱的生成位置及时间完全一致,即涡度柱与位涡柱的形成是同步的。而地面气旋发展最旺盛时期和高空冷温槽发展成冷涡均出现在6日08时,也就是说,涡度柱(位涡柱)的形成预示着地面气旋与高空槽有更强盛的发展。由此可见,5日14时~6日08时在渤海湾和辽宁地区气旋生成并迅速发展加强的过程与高层正高位涡下传密切相关。

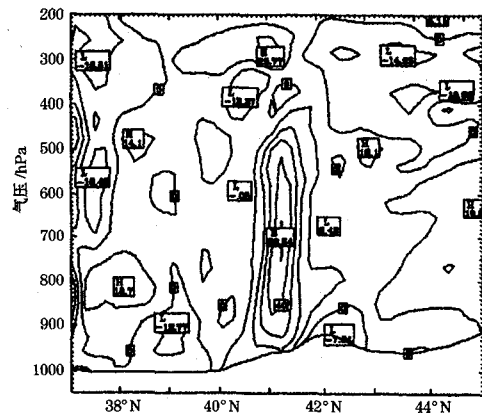


图4 模拟的2003年8月6日02时沿120°E涡度垂直剖面图(单位: 10^{-5} s^{-1})

3.3 散度和垂直速度的诊断

从5日14时~6日20时模拟的散度垂直剖面图上可以清楚看到:5日14时从高空到地面大部分为负散度区覆盖。20时在39°N附近400hPa高空出现正散度中心,600~800hPa高度也有部分负散度区被正散度取代。如图5所示,23时在39°N形成了很明显的高层辐散、低层辐合的结构,700hPa以上为正散度区,中心值 $29.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;700hPa以下为负散度区,中心值为 $-34.51 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。到6日02时强辐合、辐散区移到41°N附近且强辐合区抬升到600hPa,正中心值增大到 $58.54 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,负中心值为 $-40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,此时辐合、辐散发展到最强盛,这时也正是位涡柱生成时刻。高层的强辐散有利于对流系统的发展与维持。由此也可得出:正位涡扰动使对流层中低层辐合迅速加强,而对流层中高层辐散迅速加强。6日14时以后底层的负散度区逐渐被正散度

区代替。

分析模拟垂直速度剖面图(图略),其演变与散度有着基本一致的规律,5日23时在39°N形成的自底层一直到300hPa的垂直上升运动于6日02时移到41°N附近且上升运动发展到最强盛,之后迅速减弱。6日14时,39°N上空400hPa以上为正垂直速度,400hPa以下为负垂直速度;而在39°N以北地区600hPa以上为正垂直速度,600hPa以下为负垂直速度,这种结构对应了6日下午辽宁西部的局地强对流天气。到6日20时,垂直运动呈底层下沉,高层上升的状态。

4 结 论

(1)此次暴雨过程的主要影响系统是华北气旋,而中纬度短波槽的充分发展引导贝加尔湖冷空气的南下、副高的稳定与加强和低空急流的建立输送的大量暖湿气流是华北气旋生成的重要条件。高空前倾槽的结构加大了大气的垂直不稳定,是引起强对流天气的主要原因之一。

(2)来自对流层中上层的以低相对湿度和高位涡表征的干燥下沉气流“干侵入”与降水发展关系密切,位涡柱形成时刻前后降水达到最强。

(3)“干侵入”使低空正位涡增大,发生扰动,气旋性环流得以加强。这是此次华北气旋生成后迅速发展加强的一个重要原因。

(4)正位涡扰动使对流层中低层辐合迅速加强,而对流层中高层辐散迅速加强。明显的高层辐散、低层辐合的结构有利于对流性降水系统的发展与维持。

参考文献

- 1 寿绍文,励申申,姚秀萍. 中尺度气象学. 北京:气象出版社,2003:253~309.
- 2 Browning, K. A. et al. Mesoscale aspect of a dry intrusion within a vigorous cyclone. Q. J. R. Meteorol. Soc., Part A, 1995, 121(523):465~493.
- 3 于玉斌,姚秀萍. 干侵入研究及其应用进展. 气象学报, 2003, 61(6):669~778.
- 4 王永中,杨大升. 暴雨和低层流场的位涡. 大气科学, 1984, Vol 8(4):411~417.
- 5 孙建华,赵思雄. 华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 I. 大气科学, 2002, 26(4):541~557.

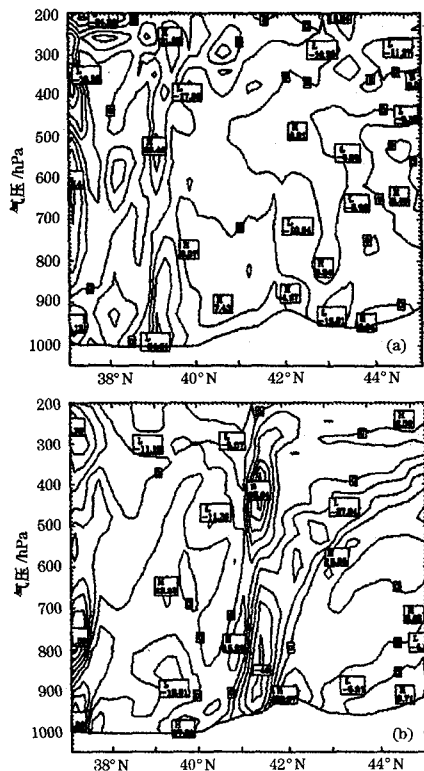


图5 模拟的2003年8月5日23时(a)和6日02时(b)沿120°E散度垂直剖面图(单位: 10^{-5} s^{-1})

Diagnostic Analysis of a Heavy Rain Process in Liaoning Province, 2003

Wang Jian^{1,2} Shou Shaowen¹ Chen Liqiang³ He Yuke²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044;

2. Dalian Meteorological Office; 3. Institute of Atmospheric Environment, Shenyang, CMA)

Abstract

The circulation patterns and radar echo feature of the heavy rain process in Liaoning Province, 5—6 August 2003, are analyzed. The simulation with PSU/NCAR MM5 model and a diagnostic analysis are made to investigate the development causes of the major influence synoptic system (North China cyclone). It shows that the cold air moved southward from Siberia, the stable and strengthened subtropical high and low level warm-moist air flow are the major causes of the event. The dry intrusion plays an important role in the rapid development of the North China cyclone.

Key Words: heavy rain diagnostic analysis north China cyclone dry intrusion

《“03.8” 辽宁地区暴雨过程成因的诊断分析》附图

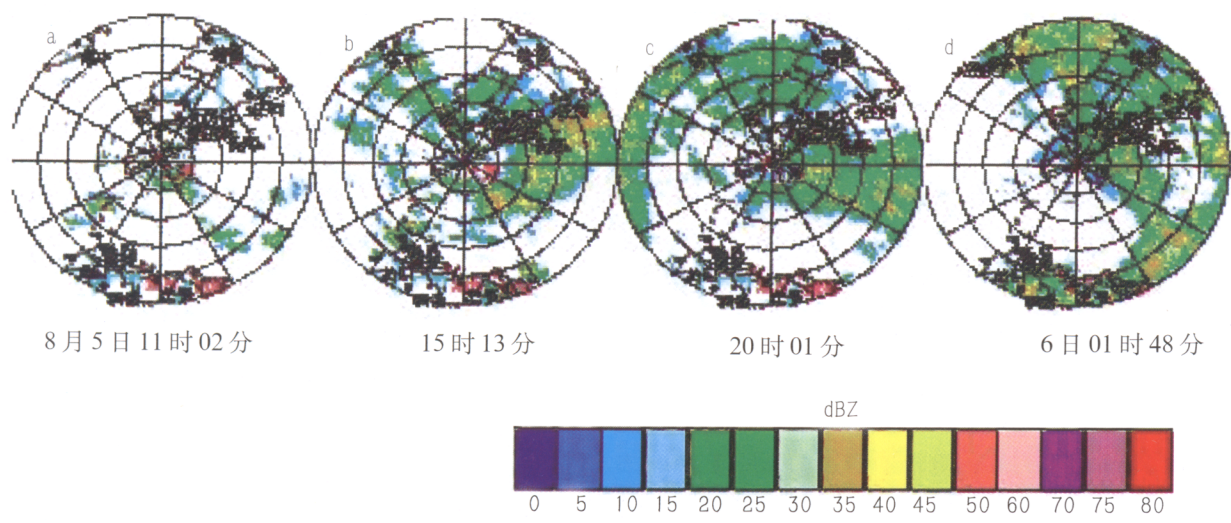


图1 2003年8月5~6日雷达PPI图（圈距40km 仰角0.5°）

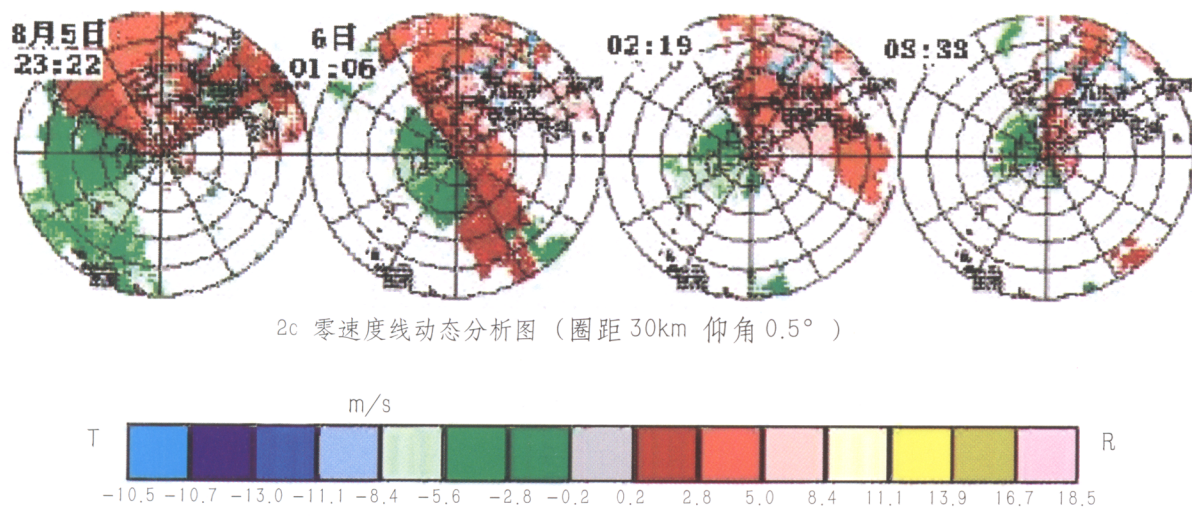
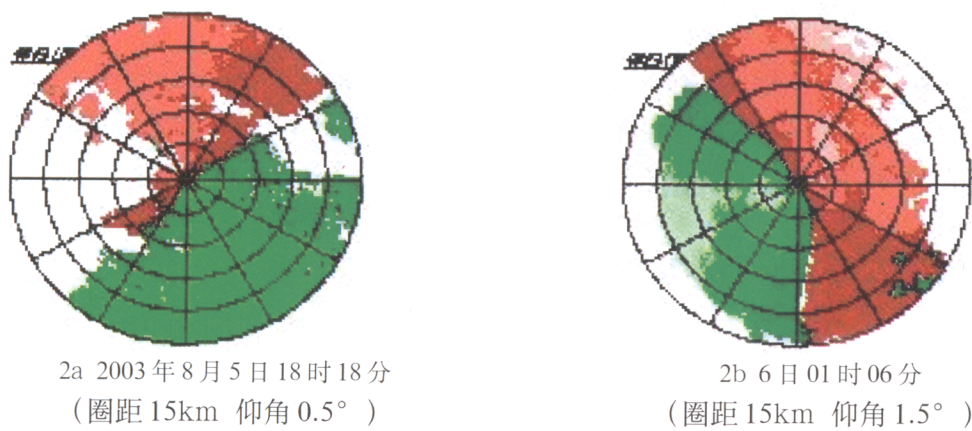


图2 2003年8月5~6日多普勒天气雷达速度场图