

华北地区一次局地暴雪天气过程的诊断分析

马秀玲¹, 彭九慧¹, 杨雷斌¹, 王宏¹, 杨庆红¹, 刘伯华²

(1. 河北省承德市气象局, 河北 承德 067000; 2. 河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊 065000)

摘要:应用常规资料、卫星云图和多普勒雷达资料,对 2007 年春季承德市暴雪天气从形成的大尺度背景、水汽条件、动力条件进行分析。结果表明:东部高压脊的阻挡导致南北低值系统的合并加强,它的移动缓慢造成了这次暴雪天气。低层辐合和低空急流的建立造成大范围的水汽辐合和源源不断的水汽输送,深厚的大气湿层为大的降水提供了有利的环境条件;散度场、垂直速度场、 k -螺旋度的高低空配置和时空变化是暴雪天气发生、发展的动力条件。结合红外卫星云图,分析实时的多普勒雷达资料对预测暴雪天气的发展变化至关重要。

关键词:暴雪;环流背景;急流;垂直速度;螺旋度

中图分类号: P458.1⁺21

文献标识码: A

引言

承德市地处河北省北部,属于典型的山地季风气候,春季气候干燥,水汽条件差,3月份降水量多年平均只有 8.0 mm,一般较大的降水主要出现在 4 月下旬至 5 月份。2007 年 3 月 3~4 日,受高空低涡与地面气旋的共同影响,承德市出现了建站 50 多年来最大的 1 次区域性暴雪天气。自 3 月 3 日 11 时开始,承德市 8 县 3 区自西北向东南普降暴雪。过程降水量在 16.0~34.1 mm,平均雪深 19 cm。降雪持续到 4 日午后自北向南结束。此次雪灾,一度使交通中断、倒塌蔬菜大棚、压毁家畜圈舍、毁坏林木,造成承德市经济损失计 8 000 万元以上。对于暴雪天气,我国的一些气象工作者就其形成的动力^[1]、热力条件^[2]、多普勒雷达特征^[3]等进行过研究。本文应用常规资料、卫星云图和多普勒雷达资料,对这次罕见的暴雪天气从大尺度背景、水汽条件、动力条件进行成因分析,寻找这种极端天气的预报规律,为提高预警能力提供预报依据。

1 环流背景和影响系统演变

3 月 3 日 08 时 500 hPa 高空图上(图 1)欧亚上空纬向环流在 80°E 分为南北 2 支,北支高空槽槽线超过 14 个纬距,槽后冷空气较强;南支槽在河套西

部缓慢东移,沿海暖脊发展强盛,脊线位于 124°E。北支槽落后于南支槽 3~5 个经距,由于南支槽前沿海高压脊的阻挡,南支槽移速缓慢,而北支槽移动较快,导致北支槽后的强冷空气与南支槽前强的偏南气流在华北上空交汇,20 时北支槽加深与南支槽汇合,在 30°~50°N 之间形成深槽。与中心位于四川

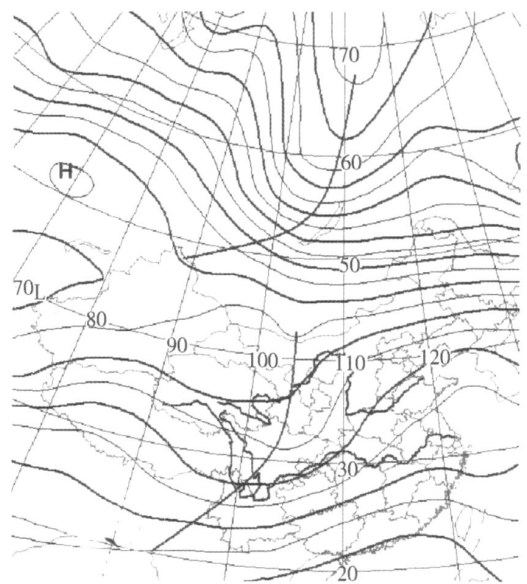


图 1 3 月 3 日 08 时 500 hPa 高空形势

Fig 1 The 500 hPa upper-air situation at 08:00 on 3 March

收稿日期: 2007 - 11 - 21; 改回日期: 2008 - 01 - 11

作者简介: 马秀玲(1963 -), 女, 河北省承德市人, 工程师, 主要从事人工影响天气研究工作。

北部的南支槽相对应,在 700 hPa 高度场上有一个气旋性中尺度涡旋,涡前西南风速达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,低涡沿着槽前偏南急流自西南向东北方向移动并加深,承德正处在高空槽前急流出口区左侧。

2 水汽条件分析

2.1 急流

3日 08时从华南经江浙到山东半岛北部的 850 hPa 西南低空急流已经建立(图 2),20时急流进一步加强,最大风速已达 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这支强的水汽输送带与朝鲜半岛—渤海的偏东气流在河北省的东部相遇,低层在急流出口区形成一个强的水汽辐合中心,且与 200 hPa 高空急流的相对位置由相交转为平行,这与降水增幅前 200 hPa 高空急流有一个增强转竖趋势^[4]的理论是一致的。从 FY2 - C 观测到的逐时红外云图可以看出沿西南低空急流有低涡云系自南向北移动,3日 17时高空槽前的斜压叶状云系与其南部的低涡云系合并增强后移进承德上空,斜压叶状云系的北界与高空急流对应,根据 Uncellini^[5]的理论:高空急流入口区左侧辐合,右侧辐散形成一次级环流,左侧下沉,右侧上升。高空急流右侧强的偏差风辐散,导致低空急流左侧的中尺度云团强烈发展,低涡云系中开始出现亮温 < -52 的零散中尺度云团。高低空急流的配置不仅为这次暴雪过程提供了充沛的水汽来源,而且十分有利于在低空急流前方和高空急流右后方形成大范围强上升运

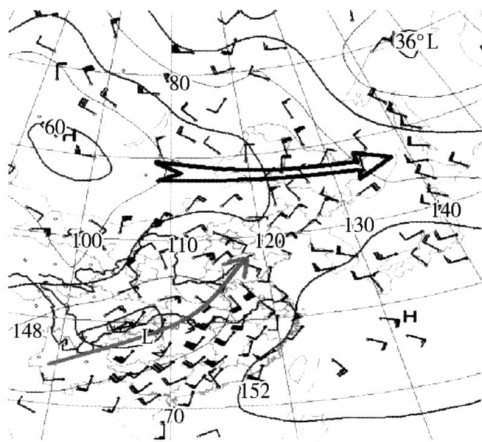


图 2 3月 3日 08时 850 hPa 高空形势

(空心箭头是 200 hPa 高空急流,实心箭头是低空急流)

Fig 2 The 850 hPa upper-air situation at 08:00 on 3 March

(The hollow arrow for high-level jet at 200 hPa and the solid arrow for low-level jet)

动,为暴雪天气的发生提供了动力条件^[6]。

2.2 水汽通量

一般认为水汽通量反映了大气中水汽的输送情况。分析 3日 20时至 4日 08时中低层水汽通量和水汽通量散度可知(图 3),3日 20时与 850 hPa 低空急流对应自南宁由南向北排列有 4个水汽通量大值中心,其中江苏中部的中心强度达 $140 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,承德地区的水汽通量在 $10 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,处于水汽通量梯度大值区的北侧,850、700 hPa 河北的大部均处于水汽辐合区中,可见大范围的水汽辐合和源源不断的水汽输送是导致这次暴雪的重要因素。

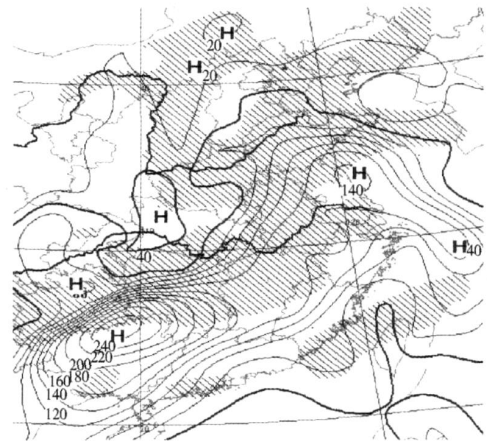


图 3 3月 3日 20时 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度 (阴影区是水汽辐合区)

Fig 3 Vapour flux and its divergence fields at 850 hPa at 20:00 on 3 March (shaded for convergence area of water vapour)

2.3 大气的湿度变化

分析各层 $T - T_d$ 发现,降水开始前,承德上空 2日 20时低层的 $T - T_d = 5$,500 hPa 以上各层的 $T - T_d = 12$,大气的垂直方向上,水汽条件较差。3日 08时,随着低层偏南气流的建立,暖湿气流不断辐合上升,湿层厚度不断加大,在 700 hPa 以下大气垂直方向上各层的 $T - T_d = 4$,从高度—湿度廓线可知(图略),饱和区位于 925 hPa,20时几乎整层大气的 $T - T_d = 4$,最大湿度中心上升至 700 ~ 500 hPa 之间,同时 850 hPa 的偏东气流和西南急流的动力辐合,导致低层湿度中心比 500 hPa 最大湿度中心偏西 2 ~ 3 个经距,深厚的湿层不仅为大的降水提供了有利的环境条件,倾斜的湿层导致暖湿西南气

流在冷湿偏东气流上爬升,加强了大范围的辐合抬升,更加大了大气的斜压性,为低值系统的发展和维持提供了可能。

3 动力条件分析

3.1 垂直速度和散度场的配置

3月2日20时在暴雪天气开始前,承德上空大气的垂直方向上,200 hPa以下上升运动随高度的增加而增强,3日20时从垂直速度廓线和垂直速度沿41°N纬向剖面图上可以看出(图4),上升运动从1000 hPa一直延伸到200 hPa以上,最大上升中心位于700 hPa到500 hPa之间,中心数值为 $84 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,所在的位置正好位于承德上游,持续深厚的上升运动,迫使暖湿气流不断抬升,4日08时低层700 hPa以下转为偏北风,低层的下沉气流抑制了上升运动的发展,最大上升运动中心明显东南移,降水也逐渐趋于结束。

对3月3日20时散度沿41°N垂直剖面图(图5)和垂直廓线图分析表明,在降雪开始前,从地面到200 hPa以下垂直方向各层均为散度辐合区,3日20时200 hPa出现了一个强辐散中心,中低层的风场辐合垂直方向延伸到700 hPa以上,850 hPa的强辐合中心正好维持在承德上空,最大数值为 $48 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,并不断增强。同时水平方向上,在850 hPa的强辐合中心的北侧、南侧各有一个辐散中心,气流

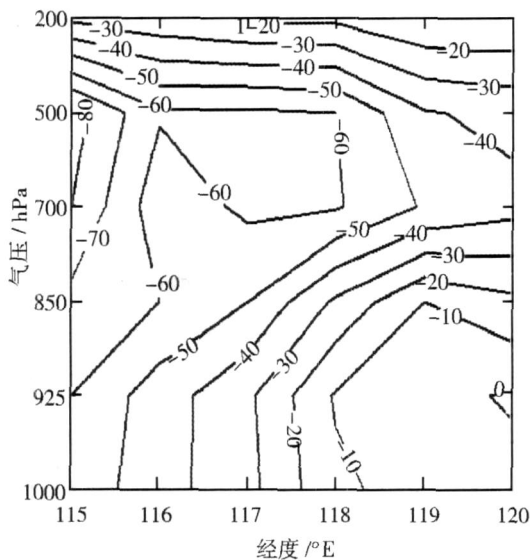


图4 3日20时垂直速度沿41°N的垂直剖面图
Fig 4 Vertical cross-section of vertical velocity along 41°N at 20:00 on 3 March

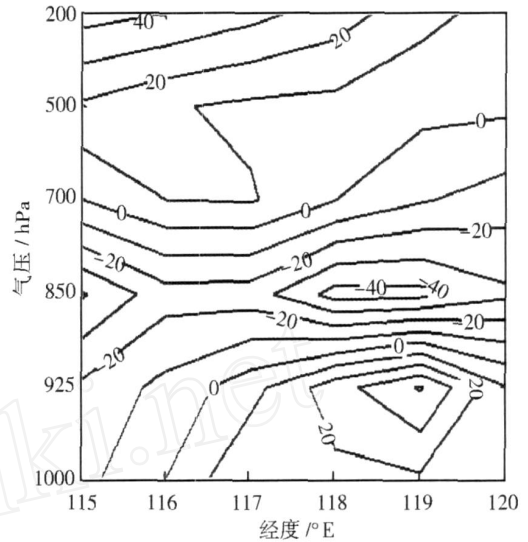


图5 3日20时散度沿41°N垂直剖面图
Fig 5 Vertical cross-section of divergence along 41°N at 20:00 on 3 March

的水平辐合,导致冷暖气流不断在承德上空聚集上升。在承德的中部到东北地区形成一个东西向的辐合带,为维持大范围、长时间的上升运动提供了可能,4日08时水平方向辐合中心南移,垂直方向低层700 hPa以下转为辐散下沉气流区,降雪明显减弱。

3.2 涡度

分析3~4日的高低层涡度场发现,在承德市的东南部上空高低层始终存在负涡度中心,而在承德市的西北部有最大正涡度中心与之对应,承德正处于最大正涡度平流输送区内,且正涡度中心和高层强辐散中心相耦合,这种抽吸作用强的动力结构导致低层强烈减压^[7],气旋强烈发展,配合高湿的环境条件,导致了全区性的暴雪天气。

3.3 螺旋度

螺旋度是一个描述环境风场气流沿运动方向的旋转程度和运动强弱的物理参数^[8],计算850 hPa至200 hPa暴雪上空k-螺旋度,结果表明:经过雨区的S-N向垂直剖面图上(图6)可以看出,螺旋度分布有以下明显特征:在暴雪发生时,雪区上空大致为上负下正分布,中上层有较强的负螺旋度。负值中心在400 hPa,450 hPa以下为正的螺旋度,正值中心位于700 hPa,正负值中心均比较大,暴雪发生前正负中心大致重叠,而发生前正负中心有些偏差,而且延伸高度较大,正值范围可以伸展到200 hPa,负值中心也可以伸展到700 hPa,说明暴雪发生时低

层涡度辐合较强烈,中上层有较强涡度辐散,这种形势有利于气流上升运动。

由经过雪区的 W - E 向垂直剖面图上螺旋度分布(图略)也可以看出上述特征。

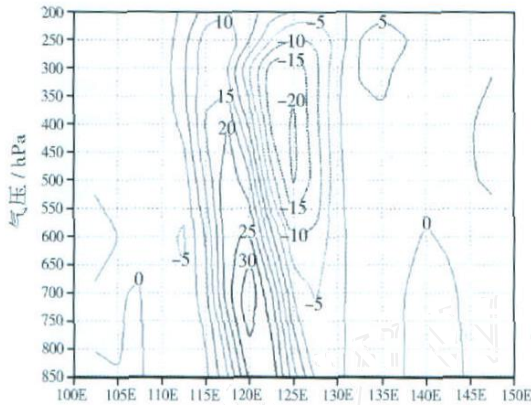


图 6 3月4日08时暴雪上空 k - 螺旋度分布

Fig 6 The distribution of k - helicity
at 08:00 March 4

4 多普勒雷达特征

在雷达反射率因子图上,3日14时开始有片状、零散的降水回波自西南向东北移至承德市南部,承德市南部各县开始出现零星小雨,平均回波强度 10 ~ 15 dBz,其后不断有小块降水回波生成和消亡;19时25分降水回波主体移至承德市南部,平均回波强度 15 ~ 20 dBz,有 2 块小的强回波,最大回波强度达到 30 dBz,4日02时38分在承德西南方向北京附近又有新的降水回波发展,并在东北移动过程中不断加强,范围扩大,3时43分结构密实的强降水回波位于承德市东南部,宽城县大部回波强度 25 dBz,正是宽城降雪最大的时段。因此不断生成且增强后东北移动的降水回波反复经过承德市南部和东南部,是宽城特大暴雪的主要原因。

从 0.5 仰角的多普勒雷达速度图上(图 7)分析这次降雪过程,可以看到平均径向速度有以下特征:3日14:29在相对径向速度图上,在测站以西 100 km 的范围内,“零”速度线近似弓形,且负速度区面

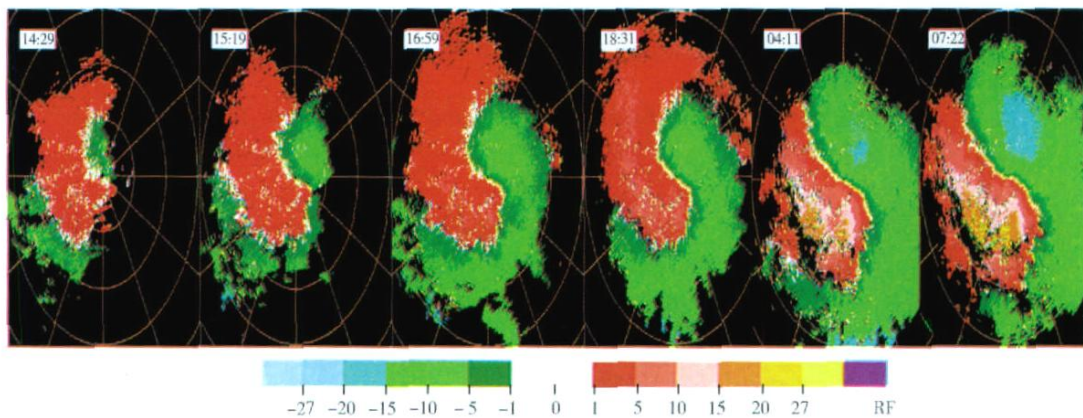


图 7 2007年3月3日14时29分到4日07时22分0.5仰角径向速度演变图

Fig 7 Evolution of Doppler radar radial velocity from 14:29 March 3 to 07:22 March 4, 2007 (The elevation: 0.5°)

积较小,正速度区面积占主导。15:19“零”速度线出现近似“S”形,但很不对称。测站南部地区风向切变明显,并随着高度的增加风向顺转,即有暖平流产生。16:59“零”速度线仍为不对称的“S”形,但随着正负面积的增大,达到近似相等。风速变化并不明显。18:31在测站 140 km 距离圈内“零”速度线趋向正“S”形,低层吹东北风,高层吹东南风、南风到西南风,风速加大,风切变开始加强。直到4日04:11在东北和西南 42 km 处有一对正负速度中心产生,即对称牛眼结构特征。牛眼中心为“-17 m/s

和 +17 m/s 说明有明显的急流存在,此时降水也明显加大。07:22牛眼结构开始变形受到破坏,“零”速度线在测站的北边已不见顺时针的旋转,随之降水逐步减弱,过程结束。

5 结 语

(1) 500 hPa 沿海高压脊的发展强盛导致南支槽移动缓慢,与北支槽合并加强,配合 700 hPa 气旋性中尺度涡旋加深少动是造成此次暴雪天气的直接原因。

(2)高湿的大气环境条件,水汽的辐合为暴雪天气所需要的丰沛的水汽提供了保证。

(3)散度场、垂直速度场和 k -螺旋度的高低空配置,为暴雪天气的发生创造了动力条件。

(4)对高低空急流、卫星云图资料分析表明:850 hPa的低空急流为这次暴雪过程提供了充沛的水汽条件,在暴雪开始前200 hPa高空急流增强转竖后,高空急流右侧强的偏差风辐散,导致低空急流左侧的中尺度云团强烈发展,又是暴雪天气发生的动力机制。

(5)密切监视雷达降水回波及平均径向速度的演变,对预测系统的移动、发展趋势至关重要。

参考文献:

[1] 阿衣夏木·尼亚孜,孔期,杨贵名. 2005年11月哈密暴雪天气过程的诊断分析[J]. 气象, 2007, 33(6): 67-74.

- [2] 李晓霞,王小勇,祖永安,等. 兰州市冬季天气气候变化及降雪形势分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 30-33.
- [3] 东高红,张志茹,李胜山,等. 一次大雪天气过程的多普勒雷达特征分析[J]. 气象, 2007, 33(7): 77-81.
- [4] 丁治英,张兴强,何金海,等. 非纬向高空急流与远距离台风中尺度暴雨的研究[J]. 热带气象学报, 2001, 17(2).
- [5] 施新民,姚宗国,黄峰. 2006年1月19日宁夏北部暴雪成因分析[J]. 干旱气象, 2006, 24(2): 25-32.
- [6] UCCELLI IN IL W, JHONSON D R. The coupling of upper and lower tropospheric jet stream and implication for the development of severe convective storm[J]. Mon Wea Rev, 1979, 107: 682-703.
- [7] 贾宏元,穆建华,孔维娜. 2004年宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 24-29.
- [8] 陆慧娟,高守亭. 螺旋度及螺旋度方程的讨论[J]. 气象学报, 2003, 61(6): 685-691.
- [9] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社, 2001.

Analysis of a Local Snow Storm in Spring of 2007 in North China

MA Xiuling¹, PENG Jiuhui¹, YANG Leibin¹, WANG Hong¹, YANG Qinghong¹, LIU Bohua²

(1. Chengde Meteorological Bureau of Hebei Province, Chengde 067000, China;

2. Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, China)

Abstract: Based on the conventional data, satellite cloud images and Doppler Radar data, the snow storm weather occurred in spring of 2007 in Chengde was analyzed from the large-scale background, water vapor and dynamic conditions. The results indicate that the block from the eastern pressure ridge leads to the merger and intensification of the north and the south low-pressure systems, and moving slowly of the low-pressure system results in this storm event. The convergence in the lower level and the foundation of low level jet made large-scale water vapor convergence and continual water vapor transmission, and the deep-thick atmosphere wet layer provides a favourable surrounding condition and the divergence, vertical velocity and k -helicity fields are dynamic conditions for this heavy rain.

Key words: snow storm; circulation background; jet; vertical velocity; helicity; Doppler radar