

文章编号: 1000-2022(2006) 01-0129-07

“2003 3”辽宁暴雪及其中尺度系统发展和演变

刘宁微

(中国气象局 沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 利用中尺度数值模式 MM5V3.6 和 6 h 一次的全球再分析 NCEP 资料, 对 2003 年 3 月 1—2 日发生在辽宁的暴雪过程进行了数值模拟试验, 着重分析和讨论了这一过程中中尺度系统的发生、发展和结构演变特征。结果表明: MM5V3.6 能够成功地模拟中尺度暴雪的各个要素, 由于低空辐合、高空辐散, 导致上升运动加强以及低层正涡度中心的产生和维持, 由此产生的垂直方向上水汽凝结是此次暴雪的形成机制。

关键词: 辽宁暴雪; 中尺度系统; 数值模拟

中图分类号: P426.6 **文献标识码:** A

Snowstorm on March 1—2, 2003 and the Development and Evolution of Its Mesoscale System in Liaoning Province

LIU Ning-wei

(1. Institute of Atmospheric Environment CMA, Shenyang 110016, China)

Abstract Using the mesoscale model MM5V3.6 and the NCEP daily reanalysis data every 6 hours we numerically simulate the snow storm on March 1—2, 2003 in Liaoning Province. We emphatically analyze and discuss the genesis, development and evolution characters of the mesoscale system during this course. Through the simulation we find that the MM5V3.6 has the ability to successfully simulate each factor in this mesoscale snow storm. The results show that the convergence of low level air flows and the divergence of upper air flows result in the strengthening of ascending motion and the genesis and maintenance of the center of low level positive vorticity, therefore the water vapor condensation in the vertical direction is the genesis mechanism of the snow storm.

Key words snow storm in Liaoning; mesoscale system; numerical simulation

0 引言

2003 年 3 月 1—2 日, 我国内蒙古东部、辽宁大部 and 吉林省部分地区先后出现了降雪过程。这次降雪是辽宁 2002 年入冬以后最强的一次, 其中辽宁

中、东部地区降大到暴雪, 同时伴有 5~6 级偏北风。此次降雪分布很不均匀, 24 h 降雪量超过 10 mm 的地区有铁岭、沈阳、抚顺、本溪、丹东、鞍山、辽阳 7 个, 其中本溪降雪量最大, 24 h 降雪量达 17 mm。辽西地区几乎没有出现降雪, 辽南也仅降小雪。降雪

从 3 月 1 日 21 时 (世界时, 下同) 开始, 主要降雪时间在 1 日 21 时—2 日 06 时。降雪持续时间虽不长, 但影响范围广、强度大, 受其影响, 沈大高速公路沈阳到营口段以及沈阳桃仙国际机场均关闭了近 8 h 给通信、交通运输和人们日常生活带来很大的不便^[1]。

我国的暴雪灾害主要集中在东北地区 and 西北高原山区^[2]。目前针对我国降雪过程的数值模拟和动力学诊断分析主要集中在高原暴雪过程, 对东北地区暴雪的研究相对较少。邓远平等^[3]将冰相云微物理过程参数化和三相云显式降水方案引入 MM 4 模式系统, 模拟出了“96 1”高原暴雪中尺度切变线的生成、发展和演变结构; 张小玲等^[45]利用“96 1”模拟资料对暴雪中尺度的涡度和散度变率进行了动力学诊断分析。隆霄等^[2]用 MM 5 非静力模式模拟出“95 1”的高原暴雪, 发现 MM 5 有能力再现地面以上大、中尺度环流系统和热力场; 王文等^[6]用非纬向非平行基流中的对称不稳定模式对“97. 12”暴雪发生发展过程的动力学机制进行了模拟试验, 发现非对称不稳定是这次高原暴雪启动的一种动力学机制。

本文利用中尺度数值模式 MM 5V3 6 和 6 h 一次的全球再分析 NCEP 资料, 对 2003 年 3 月 1—2 日发生在辽宁的暴雪进行了较为成功的数值模拟试验, 着重分析和讨论了这一过程中中尺度系统的发生、发展和结构演变特征, 希望能为暴雪的数值预报提供一些参考。

1 天气实况

1.1 暴雪天气的成因

在本次区域性暴雪天气过程中, 700 hPa 以下比较浅薄的影响系统在低层强锋区 (即斜压性最大的能量存储区) 上产生波动。在这种形势下, 强冷空气南下, 促使锋区在辽宁地区形成, 这样既构成了此次暴雪天气的大尺度环流背景, 也为暴雪产生提供了动力条件和触发机制。由于沿海低层高压稳定, 后部的偏南急流一直向北扩展, 急流顶部在辽宁产生较强的辐合带, 它不仅输送了大量的暖湿空气和位势不稳定能量, 而且对锋区产生波动起热力作用。中低层的中尺度辐合带和中尺度低涡在辽宁自西向东形成并发展, 是这次暴雪过程出现的直接原因。

1.2 辽宁降雪实况

2003 年 3 月 1 日 12 时—2 日 12 时辽宁 24 h 累积实况降雪量如图 1 所示。

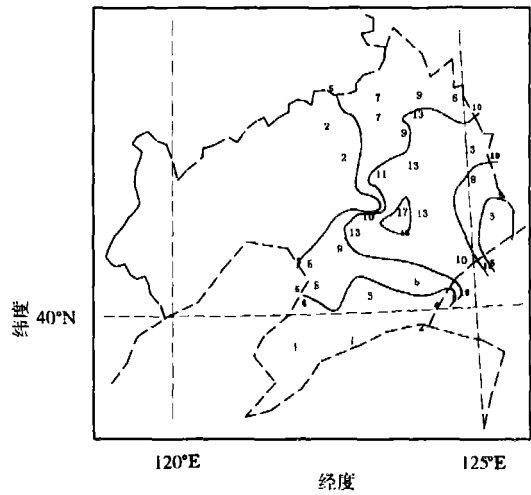


图 1 辽宁 24 h 实况降雪分布 (单位: mm)

Fig 1 24 h actual snow fall distribution
1200Z 1st— 1200Z 2nd M arch 2003
in L iaoning (units mm)

2 试验方案设计

利用中尺度数值模式 MM 5V3 6 选取 6 h 一次的全球再分析 NCEP 资料, 对 2003 年 3 月 1 日 00—3 月 2 日 12 时共 36 h 进行积分, 并对后 24 h 模拟输出进行分析。模式运行方案如表 1。

表 1 模式运行方案

Tab le 1 Brief summary of the model

方案	内容
网格中心	120° E, 43° N
水平分辨率 /km	粗网格 54 km, 细网格 18 km
模拟区域格点数	粗网格 65 × 71, 细网格 73 × 82
垂直分辨率	23 层
下垫面方案	24 类
积云参数化方案	G rell
显式降水方案	M ixed-Phase (Reisner 1)
行星边界层方案	高分辨率 B lackadar PBL
预报场输出间隔	1 h

3 模拟结果分析

3.1 850 hPa 高度场的模拟

850 hPa 高度场上 (图 2), 模拟的辽宁上空的高低槽与实况非常接近。

3.2 降雪分布的模拟

根据模式运行结果 (图 3) 可见, 模拟的降雪强度和落区与实况 (图 1) 相比除了 ≥ 15 mm 的区域略

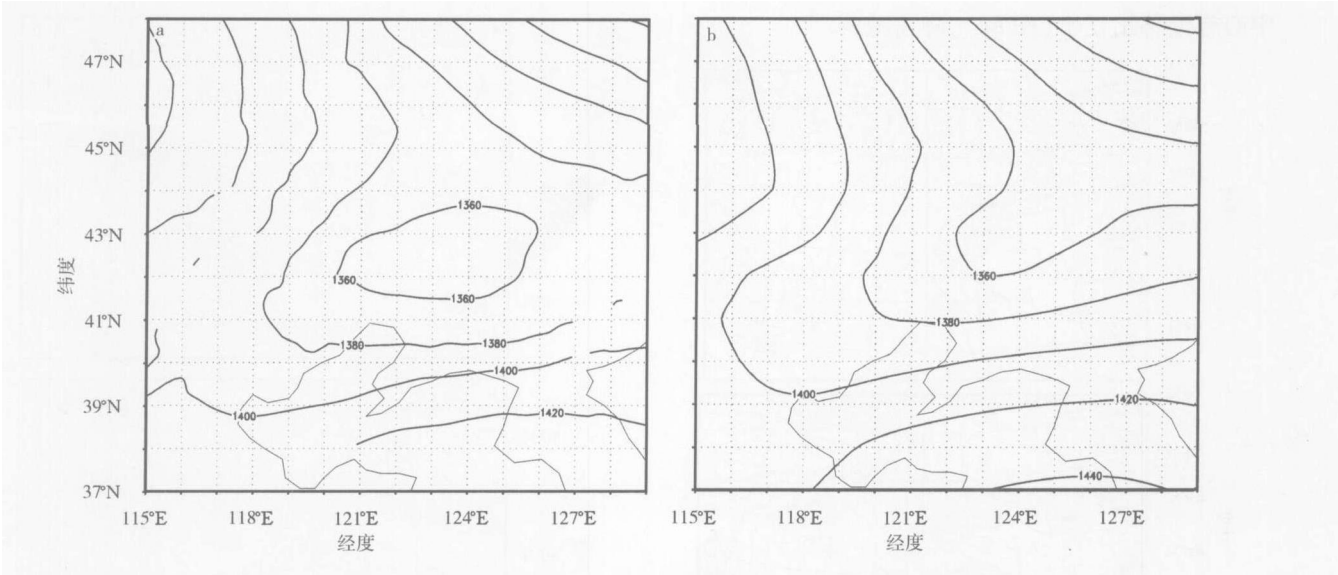


图 2 3 月 2 日 00 时 850 hPa 高度场的模拟 (a) 与实况 (b) (单位: gpm)
Fig 2 Simulated (a) and observed (b) 850 hPa height fields at 0000Z 2nd M arch 2003 (un its gpm)

大以外, 两者是十分相近的, 综合前面对高度场的模拟, 说明本次模拟比较成功。

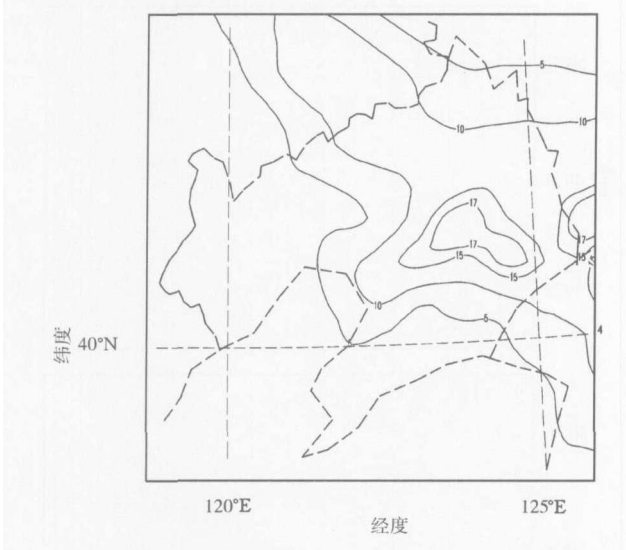


图 3 辽宁 24 h 模拟降雪分布 (单位: mm)
Fig 3 Simulated 24 h snow fall distribution 1200Z
1st—1200Z 2nd M arch 2003 in Liaon ing (un its mm)

3 3 降雪强度的日变化

以本次暴雪强中心本溪为研究对象, 输出 3 月 1 日 20—2 日 08 时的逐时降雪量模拟值 (图 4)。由图可见, 降雪的主要时段是 3 月 1 日 21—2 日 06 时, 这与实况是一致的。降雪一开始就十分猛烈, 00 时降雪强度最大, 达 3 03 mm /h

4 中尺度系统的模拟分析

4 1 海平面气压场的演变

海平面气压场能够代表大气质量的分布, 它是高低空天气系统在地面的反映, 也是制作降水预报特别是降水落区、降水时段的重要依据。由模拟的粗网格 3 月 1 日 12 时海平面气压场 (图 5a) 可见, 随着贝加尔湖西部冷高压的东移南下, 低压中心移至 108°E, 40°N 附近, 气压值为 1 008 hPa 这与实况是相符的。1 日 23 时, 低压中心继续东移到辽宁境内 (图 5b), 由于形势场的位置与地面天气现象相比往往略微偏西, 此时这个低压中心对应的正是刚刚开始의强降水中心。到 2 日 06 时, 1 008 hPa 低压

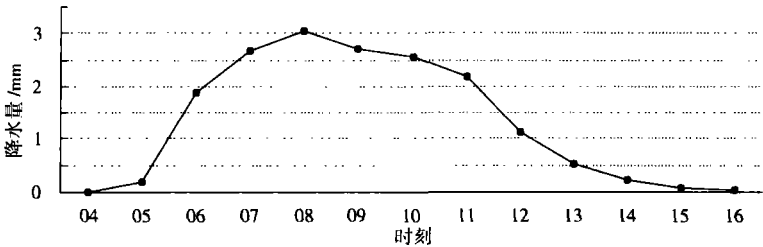


图 4 2003 年 3 月 2 日本溪逐时降雪量分布 (单位: mm)
Fig 4 Simulated hourly snow fall on 2nd M arch 2003 at Benxi (un its mm)

中心逐渐移出辽宁(图 5c),降雪减弱。

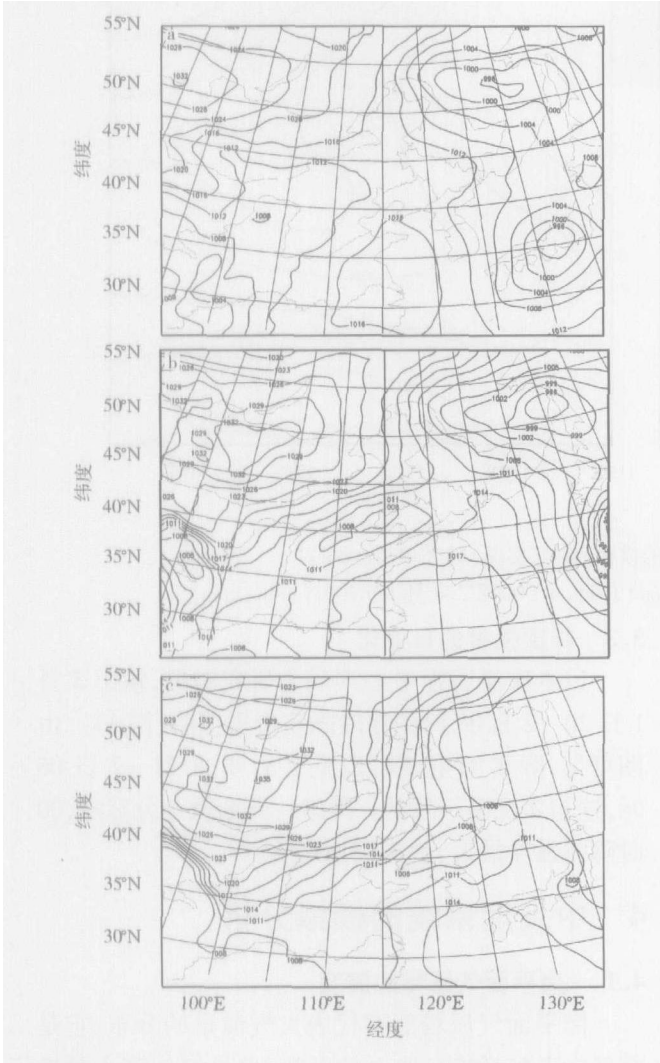


图 5 粗网格海平面气压场 (单位: hPa)

a 3月 1日 12时; b 3月 1日 23时; c 3月 2日 06时

Fig 5 Sea level pressure fields of coarse grids (units hPa)

a 1200Z 1st March; b 2300Z 1st March

c 0600Z 2nd March

4.2 流场的演变和低涡的形成

在模拟的地面和 850 hPa流场(图 6)上能明显地看出, 3月 1日 12时的地面和 850 hPa流场(图 6a 6b)上, 108°E, 40°N处都有一西北气流和西南气流的辐合带, 与同一时刻的海平面气压场对应。3月 1日 23时的地面流场(图 6c)上, 辽西地区有一个很强的西南气流和偏北气流的辐合中心, 这个强辐合中心与同一时刻的海平面气压场对应, 此时降雪较大。1日 23时 850 hPa(图 6d)辽宁处在发展的槽前, 辽北有一个中尺度低涡存在。随着形势场的发展, 到 2日 06时, 地面辐合中心东移至吉林境内(图略)。2日 06时 850 hPa(图略)大槽东移, 辽宁大部分地区处在发展的脊前, 气流呈辐散状态, 此时

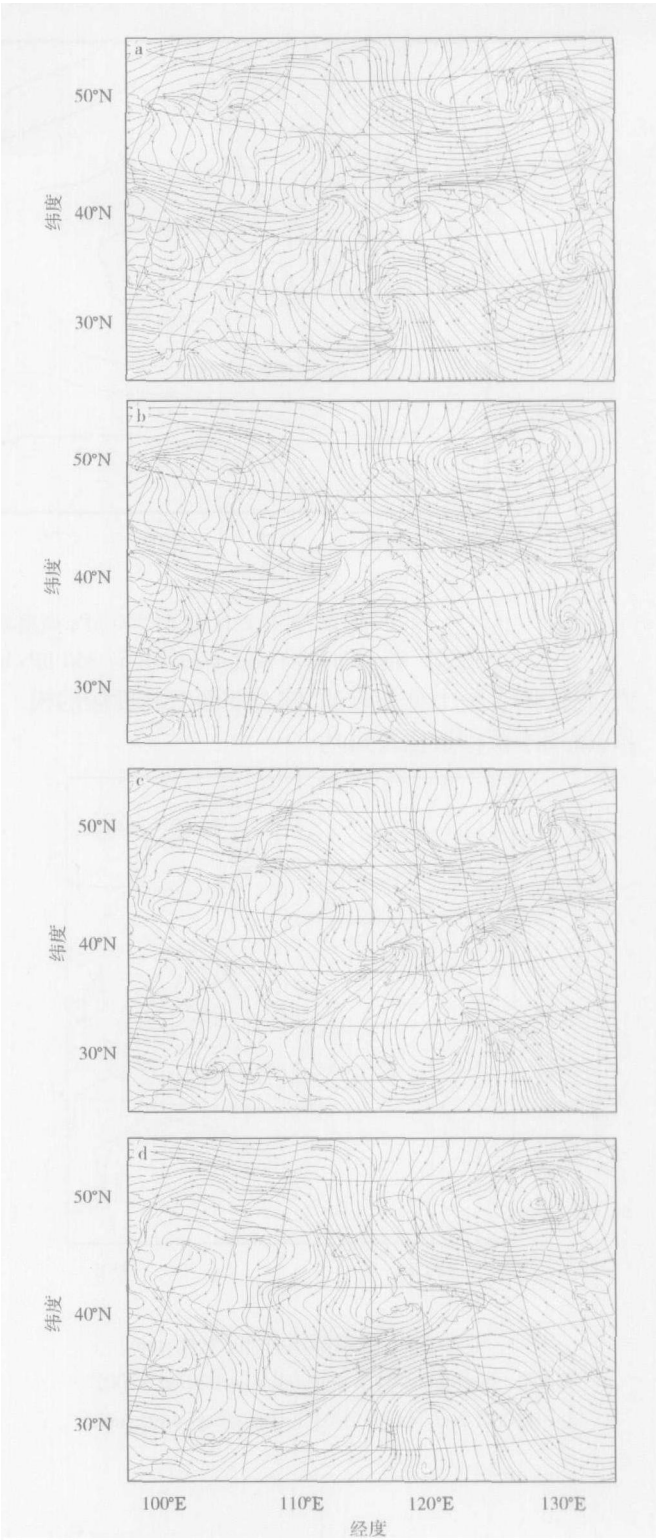


图 6 粗网格地面和 850 hPa的流场

a 3月 1日 12时地面; b 3月 1日 12时 850 hPa

c 3月 1日 23时地面; d 3月 1日 23时 850 hPa

Fig 6 Ground surface(a c) and 850 hPa(b d) streamline fields of coarse grids

a 1200Z 1st March; b 1200Z 2nd March

c 2300Z 1st March; d 2300Z 1st March

的降雪强度逐渐变小; 08 时, 槽已经完全移出辽宁, 暴雪天气结束。对比可见, 流场中的辐合中心与海平面气压场中的低值中心耦合得非常好, 可见前面所述中低层的中尺度辐合带和中尺度低涡在辽宁自西向东形成并发展, 是这次暴雪过程出现的直接原因。

4 3 水汽场结构的演变

根据模式运行结果, 输出细网格 3 月 1 日 23、2 日 06 时、08 时 700 hPa 的比湿场 (图 7)。23 时 (图 7a) 比湿的大值中心在辽宁, 这为此次降雪过程提供了充分的水汽条件。06 时 (图 7b) 和 08 时 (图 7c) 的比湿中心逐渐东移, 辽宁地区比湿减小, 降雪渐止。

4 4 动力场结构

以细网格输出为研究对象, 沿 41°N 做纬向垂直剖面, 分析 3 月 1 日 12 时、23 时和 2 日 06 时 1 000~200 hPa 之间动力因子的垂直分布。图 8 是这些因子的部分图象, 图中的横坐标为细网格沿东西方向的距离, 其中 450~790 km 处是本次降雪在辽宁的覆盖区域, 540~700 km 对应着降雪量的大值区, 629 km 处对应着降雪量最大的本溪市。由图可以看出, 在 3 月 1 日 12 时的散度场上 (图 8a), 水平方向 200 km 左右, 低空 (800 hPa) 有一辐合中心, 中、高空有强烈的辐散, 导致此处低空正涡度和中、高空负涡度柱的形成 (图 8b) 以及低空的上升运动, 水平气流方向向东 (图 8c)。由于系统刚刚产生, 气柱中水汽凝结 (或凝华) 得不多, 因此雪水混合比很小 (图 8d)。此时这个正在向东发展的系统尚未移到辽宁境内。

随着系统的东移, 到 1 日 23 时, 在 540~700 km (降雪大值区) 之间, 低空有强烈辐合, 中、高空强烈辐散 (图略), 本溪上空 950 hPa 为辐合中心, 700 hPa 为辐散中心。同样具有低空的正涡度和中、高空的负涡度 (图略) 以及强烈的上升运动, 最大上升速度为 0.25 m/s, 流场方向水平向东, 风速最大值在 330 hPa 处, 可达 $64.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 8e)。水汽在垂直方向上大量凝结或凝华, 并经由云水冻结和冰晶自转化、碰并等微物理过程而形成雪, 雪量增加幅度很大, 在本溪上空 900 hPa 高度上形成大值中心, 达到 $0.62\times 10^{-3}\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 8f)。此时地面降雪正在逐渐增大, 本溪雪量已达到 4.75 mm。

由于系统继续向东发展, 2 日 06 时低空辐合中心已经移出辽宁 (图略), 此时雪水量主要集中在吉林境内, 辽宁暴雪逐渐减小 (图 8g)。08 时辽宁范

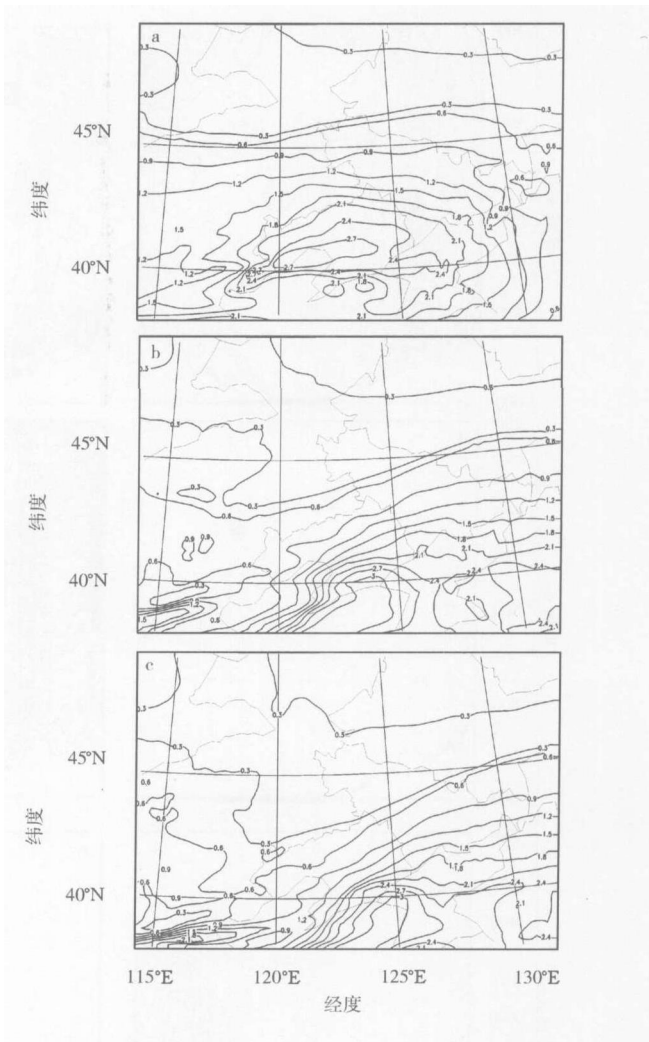


图 7 细网格 700 hPa 比湿场 (单位: g/kg)
a 3 月 1 日 23 时; b 3 月 2 日 06 时; c 3 月 2 日 08 时
Fig 7 700 hPa specific humidity fields
of fine grids (units g/kg)
a 2300Z 1stM arch; b 0600Z 2ndM arch
c 0800Z 2ndM arch

围内的雪水为 0 (图 8h), 辽宁降雪结束。图 8a-h 与前面分析的同一时刻的海平面气压场的低值中心以及流场的辐合带是呼应的。

以上分析说明, 低空辐合, 中、高空辐散, 导致上升运动的加强以及低层正涡度中心的产生和维持, 以及垂直方向上水汽凝结对此次暴雪的有极为重要的作用。

5 结 论

本文利用中尺度数值模式 MM5V3.6 对 2003 年 3 月 1—2 日发生在辽宁的暴雪过程进行了数值模拟试验, 着重分析和讨论了这一过程中中尺度系统的发生、发展和结构演变特征, 结论如下:

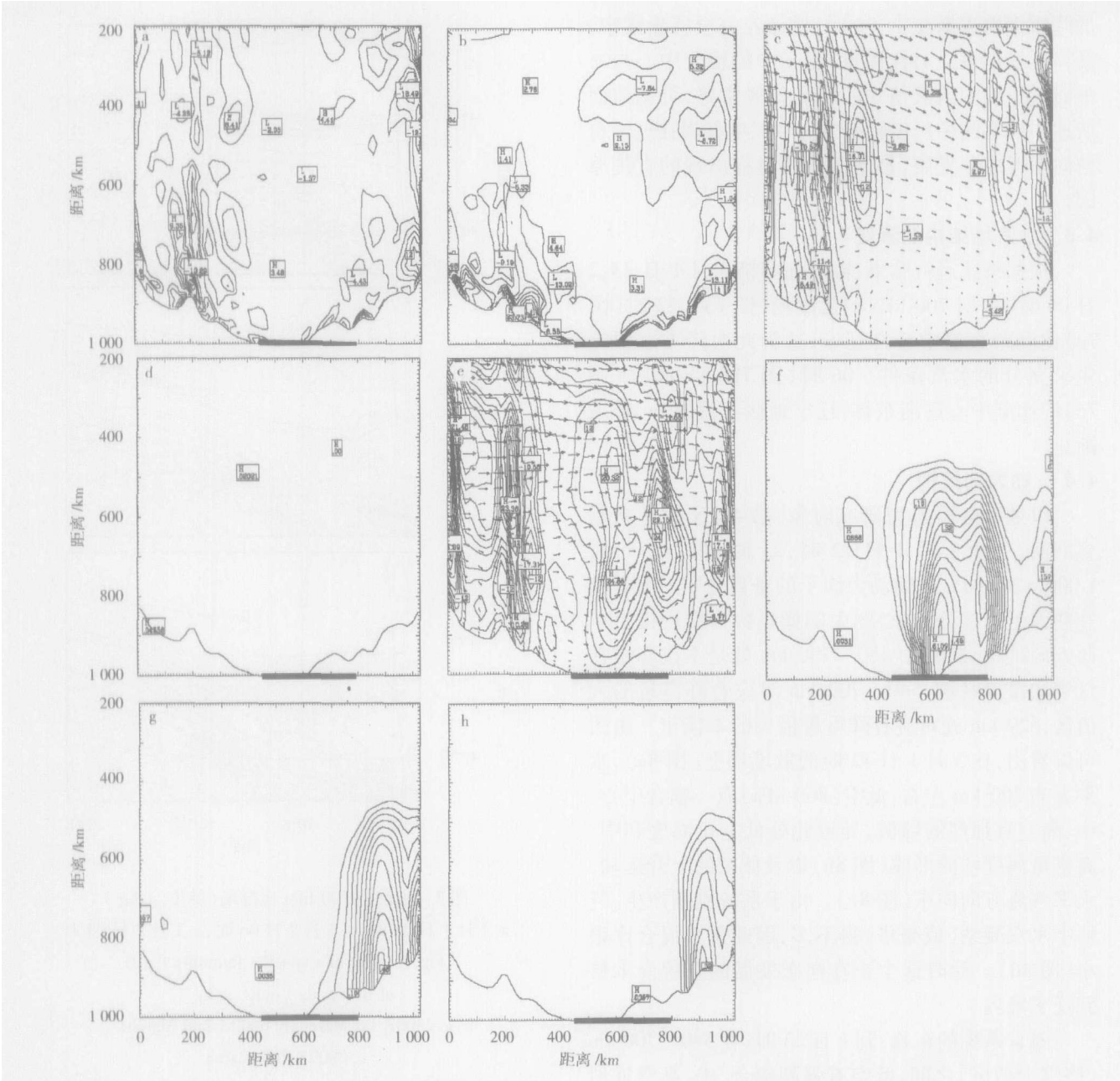


图 8 沿 41°N 垂直剖面上的动力场 (粗实线对应本次降雪在辽宁的覆盖区域)

- a 1日 12时散度场 (单位: 10^{-5} s^{-1}); h 1日 12时涡度场 (单位: 10^{-5} s^{-1});
c 1日 12时垂直速度场 (单位: 10^{-2} m/s)和流场; d 1日 12时雪水混合比 (单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$);
e 1日 23时垂直速度场 (单位: 10^{-2} m/s)和流场; f 1日 23时雪水混合比 (单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$);
g 2日 06时雪水混合比 (单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); h 2日 08时雪水混合比 (单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig 8 Dynamical and snow/water mixing ratio fields on vertical sections (41°N) (thick lines denote the snow area in Liaoning)

- a divergence at 1200Z 1st (units 10^{-5} s^{-1}); b vorticity at 1200Z 1st (units 10^{-5} s^{-1});
c vertical velocity (units 10^{-2} m/s) and flow at 1200Z 1st
d mixing ratio of snow and water (units $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at 1200Z 1st
e vertical velocity (units 10^{-2} m/s) and flow at 2300Z 1st
f mixing ratio of snow and water (units $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at 2300Z 1st
g mixing ratio of snow and water (units $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at 0600Z 2nd
h mixing ratio of snow and water (units $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) at 0800Z 2nd

(1)MM 5V 3 6 能够成功地模拟出辽宁暴雪强度和落区, 模拟的 24 h 降雪量分布与实况十分相近。

(2)对逐时降雪量进行模拟分析发现, 降雪的起止时间和各时间段的强度与实况相符。

(3)对暴雪过程中中尺度系统的发生、发展和结构演变特征分析发现, 流场与海平面气压场的耦合效果非常好, “中低层的中尺度辐合带和中尺度低涡和在辽宁自西向东形成并发展, 是这次暴雪过程出现的直接原因”。

(4)对暴雪过程的水汽来源和动力因子的模拟分析表明, 此次降雪有充分的水汽条件, 由于低空辐合, 中、高空辐散, 在连续性原理和动力机制作用下导致上升运动的加强以及低层正涡度中心的产生和维持, 而由此产生的垂直方向上水汽凝结则是此次暴雪的形成机制。

参考文献:

[1] 马福全, 隋 东. 2003 年 3 月 2 日辽宁暴雪天气分析 [J]. 辽宁气象, 2004(1): 10-11

[2] 隆 宵, 程麟生. “95 1”高原暴雪及其中尺度系统发展和演变的非静力模式模拟 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2001, 37 (2): 141-147

[3] 邓远平, 程麟生, 张小玲. 三相云显式降水方案和 “96 1”暴雪成因的中尺度数值模拟 [J]. 高原气象, 2000, 19(4): 401-414.

[4] 张小玲, 程麟生. “96 1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断. I 涡度和涡度变率诊断 [J]. 高原气象, 2000, 19(3): 285-294

[5] 张小玲, 程麟生. “96 1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断. II 散度和散度变率诊断 [J]. 高原气象, 2000, 19(4): 459-466

[6] 王 文, 刘建军, 李栋梁, 等. 一次高原强降雪过程三维对称不稳定数值模拟研究 [J]. 高原气象, 2002, 21(2): 132-138.