

2003 年华北初雪的数值模拟和诊断分析

宗志平¹ 刘文明²

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 100871; 2. 辽宁省气象台)

提 要

采用中国气象科学研究院数值预报中心自主开发的 GRAPES 全球数值模式, 对 2003 年 11 月 6~7 日华北地区首次大到暴雪过程进行了数值模拟试验, 并利用模式输出的物理量场对降雪过程作了天气动力学诊断分析发现: GRAPES 全球数值模式能够较好地模拟出高低空环流形势场特征和主要影响天气系统, 雨雪区的范围、走向及大到暴雪的落区, 加进云图同化资料后对强降水模拟效果明显优于未加云图资料的模拟, 但对于 25mm 及以上降水区预报范围偏大出现空报。该模式能够提供较为准确的高分辨率的诊断分析资料。

关键词: GRAPES 模式 华北初雪 数值模拟 诊断分析

引 言

2003 年 11 月 6~7 日, 华北地区遭受了 2003 年入秋以来最强的一次冷空气袭击, 致使北京、天津、山西、河南等地首次普降大到暴雪, 北京并出现短时雷暴。该时节出现如此强的降雪及雷暴为历史同期所罕见, 大雪日则提前了近 1 个月。此次降水有着持续时间长、强度大、大到暴雪集中、影响范围广之特点。过去的数值模拟研究通常使用 MMS 模式^[1]或 T213 模式, 本文利用中国气象科学研究院数值预报中心独自开发的 GRAPES 模式, 对本次华北大到暴雪过程进行了数值模拟试验, 并用模式输出的物理量场对强降雪进行诊断分析, 以探讨大到暴雪的成因及其影响天气系统发生发展的物理机制, 以利做好初雪的预报。

1 降雪实况和环流形势特征

2003 年 11 月 6~7 日, 北京、天津、河北中南部、山西中北部、河南中北部和陕西中北部等地出现了 2003 年入秋以来首场较大的雨雪天气过程。华北主要的降水集中在 6 日

20 时至 7 日 08 时, 其中北京、天津、河北中部、山西北部等地出现了大到暴雪(图 1), 上述大部地区的降水量为 10~25mm, 北京东部和南部、河北中部和山西东北部有 49 站的降水量超过 25mm。

过程开始前 48 小时, 在 500hPa 图上欧亚中高纬是两槽一脊型。一个长波槽在欧洲西部, 另一个长波槽位于西西伯利亚平原南部经贝加尔湖到俄罗斯远东地区, 该低槽宽平, 在槽中从俄罗斯远东地区到巴尔喀什湖为一横槽, 槽底部的中纬度盛行一支西风气流; 阻塞高压脊盘踞在乌拉尔山到欧洲东部。在中低纬度上, 西太平洋副热带高压呈带状分布在华南南部沿海到南海及以东洋面上空。4 日从横槽西端分裂一短波槽沿中纬度锋区东移, 在其东移的过程中与从孟加拉湾逐日向东移动的南支槽同位相叠置后加强, 槽前西南气流与西太平洋副热带高压西北侧的西南低空急流在我国中东部地区汇成一支。6 日 20 时 850hPa 上风速达 12~18m·s⁻¹, 把低纬海洋上的水汽、热量和动量向北

输送到华北地区。5日20时,短波槽后在西北地区东部有一小高压东移,推动4日即已生成的青海低涡移入甘肃东部,低涡中心与东移的短波槽线连成NE—SW向槽线,低涡北侧偏东风与副高西北侧的西南气流在华北南部形成一条暖式切变线,建立了低涡切变形势。中低层的低涡切变线是本次雨雪过程的主要影响天气系统。6日08时伴随西南气流的进一步加强,暖式切变线北抬至华北北部,引发了本次强降雪。6日从泰米尔半岛有一短波小槽往南加深,导致阻塞高压部分东移,高压脊前偏北气流向东向南推进,使得低涡切变线东移南压并减弱,北方雨雪天气过程结束。

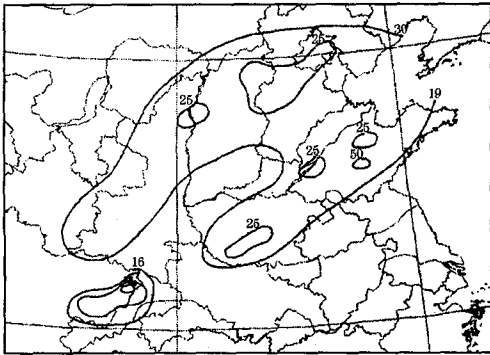


图1 2003年11月6日08时至7日08时
10mm以上降水量实况图

2 模式简介

GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction System)模式是中国气象科学研究院数值预报研究中心自主研发的新一代全球/区域同化预报系统。有限区域模式和全球区域模式通用,网格设计分辨率可达1km。模式采用全可压原始方程,静力平衡和非静力平衡并可以开关式互换,水平格点采用Arakawa C类格点。模式采用的是半隐式半拉格朗日时间平流方案。

在本模拟试验中选用非静力模式、高度地形追随坐标方案,微物理过程运用NCEP 3-class simple ice方案,积云对流参数化方案采用具有浅对流并包含水汽、云和水相态的

Kain-Fritsch (new Eta)方案,同时采用了MRF边界层方案、Dudhia短波辐射和RRTM长波辐射方案等。

模式的初始条件和侧边界条件使用国家气象中心全球中期预报模式T213L31的分析场,侧边界条件每6小时更新一次,积分区域为18~50°N、90~135°E,网格点数为81×57,网格距为60km,垂直方向积分层为17个等压面层,模式顶气压为10hPa。积分时间从2003年11月6日08时到7日08时,模式结果每小时输出一次。

3 模拟结果的诊断分析

3.1 动力学条件分析

从模式输出的逐时850hPa散度场可明显看出,6日08时至7日08时,从四川盆地东部到华北中南部稳定一条NE—SW向的辐合带,其上有多个辐合中心对应着强降水。从6日20时850hPa散度场(图2a)可知,辐合带中有3个辐合大值区域,位于四川盆地东部、陕西南部到山西大部 and 北京,中心值依次为: $-15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $-12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,分别与25~45mm、20~28mm、22~29mm三片强降雨区对应,可见该模式的散度辐合区与强降水相关性较好,对强降雨天气的发生有预报指示意义。7日02时以后,伴随着较强冷空气从黄河中上游东移南下,低涡切变线东南移,西部的辐合区减弱,东部的辐合区则逐渐南压到黄淮地区,强辐合区中出现了27~40mm的大雨区。

850hPa涡度场同散度场分布较吻合,与降水也有着较好的相关性。在6日20时850hPa涡度场(图2b)中,正涡度区亦呈NE—SW走向,位于四川盆地东部到华北中南部地区,正涡度区中有5个主要的中心,自西南向东北中心值依次为: $15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,前两个正涡度中心对应着第一片强降雨区,第三和第四个中心与第二片强降雨区相伴,北京附近的强辐合区对应华北中南部的大到暴雪(雨)区。

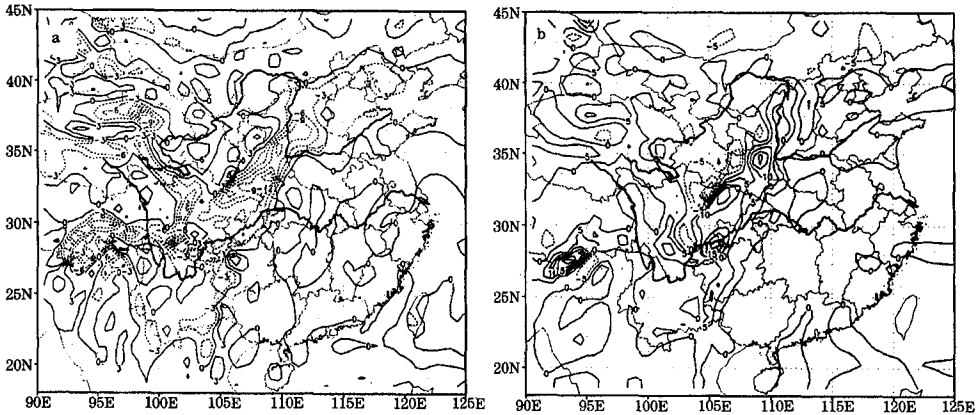


图2 2003年11月6日20时850hPa散度场(a)和涡度场(b)

(单位: $10^{-5} s^{-1}$)

就散度和涡度场垂直结构来看(图略),降水集中区上空400hPa以下层为负散度和正涡度的辐合区,以上层是正散度和负涡度的辐散区。正是这种高低空配置使上升运动得到发展,造成华北等地出现了大到暴雪。

从6日20时沿39°N垂直速度的经向垂直剖面图(图略)上可见,105~118°E上空都为上升运动区,但上升运动的起始高度自西向东从500hPa逐步降低到925hPa,上升运动高度一般在250hPa附近,说明上升运动发展强烈。上升区中有两个中心,一个在110°E附近上空350hPa层上,最大上升速度达到了 $0.03m \cdot s^{-1}$,另一个在118°E附近400hPa层上,最大上升速度是 $0.025m \cdot s^{-1}$;与华北地区的较强降水区对应。在降水较强的113~118°E之间,从925hPa开始就为上升运动

区,中低层的辐合上升运动使大量的暖湿空气得到抬升凝结产生十分有利的降水条件。在118~120°E从650hPa到250hPa为较强的下沉区,下沉中心在450~300hPa层间,最大下沉速度为 $0.02m \cdot s^{-1}$,是中高层的干冷空气从俄罗斯滨海省和我国东北地区向西流动所致,从而形成上干冷,下暖湿的不稳定大气层结,也可能是北京等地出现雷暴之原因。

3.2 水汽条件分析

图3是11月6日20时850hPa和700hPa的流场和水汽通量。由图3a可见,850hPa上流线在四川盆地东部到华北中部一带汇合,并呈NE—SW走向,与西南气流对应的水汽通量大值区位于贵州至重庆,中心强度达 $18g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1}$,并向北输送至华北地区;同时在南海东部也有水汽通量

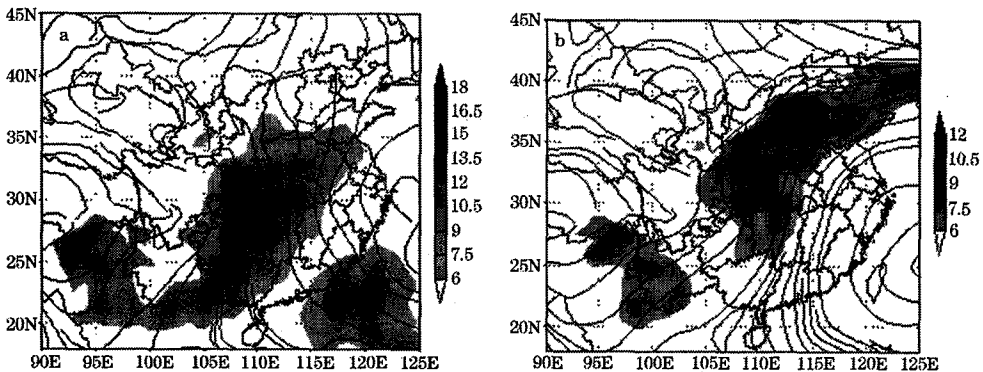


图3 2003年11月6日20时850hPa(a)和700hPa(b)流场和水汽通量

大值区,伴随一支东南气流经华南、华东往北输送。在700hPa上(图3b),水汽通量比850hPa明显减小,大值中心分别出现在云南西南部、陕西南部和华北南部,中心值分别为: $7.5\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 、 $12\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 、 $10.5\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$,均依靠西南气流向华北输送。500hPa(图略)上水汽通量较小,揭示了水汽主要分布在中低层。值得一提的是从1000hPa到925hPa低层的偏东气流把北部海区的水汽向雨雪区输送也是不可忽视的。但主要的水汽源地是印度洋北部的孟加拉湾和南海^[2]。

3.3 中低层切变形势和低空急流

从6日20时850hPa和700hPa风场和低空急流的模式输出场(图4)可看出,850hPa暖式切变线位于四川盆地东部到华北南部一带,呈NE—SW走向,切变线北侧的西北风强中心区在西北地区东部一带,其中心最大风速达 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,较实况($16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)偏大;其南侧的西南低空急流中心区位于重

庆到贵州一带,中心最大风速为 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,较之实况 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 也偏大;在切变线西段北侧西北风转为偏北风,南侧西南风转为偏南风,表明该处切变线较强,而在切变线东段为偏东风与偏南风的切变线,揭示了有冷空气从东路向西侵入。华北强降水区则流行一支偏东气流,其对水汽的输入促使降水强度增大起了一定作用。在700hPa(图4b)上NE—SW向的切变线比850hPa上弱,切变线西南段与850hPa位置相同,但东段则偏北;北侧的西北风强中心区在甘肃南部到宁夏一带,中心最大风速为 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;南侧的西南低空急流中心位于四川盆地南部、云南东北部到贵州西部,中心最大风速达 $21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,同时在黄淮北部和华北南部也有一支西南低空急流,最大风速为 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。至此,活跃的西南低空急流带来了强降水必须的水汽,当影响天气系统临近时,可引起较强的上升气流,触发不稳定能量释放,产生中小尺度的强上升运动,产生强降水。

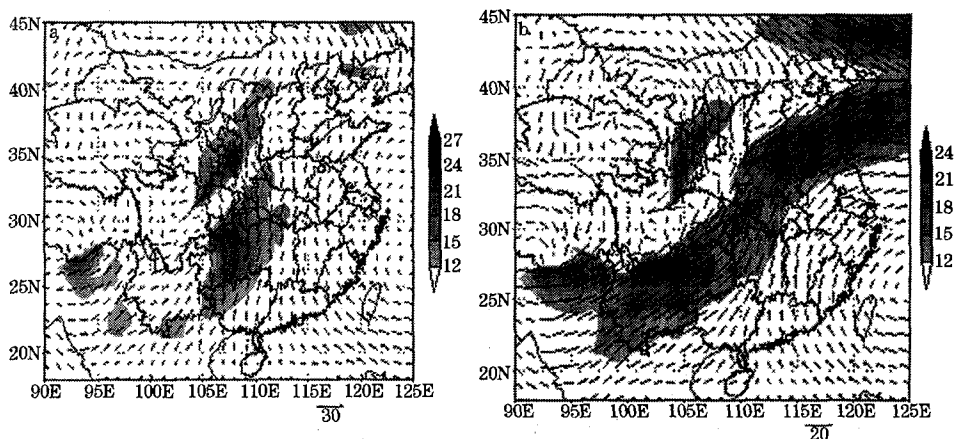


图4 模拟的2003年11月6日20时850hPa(a)和700hPa(b)风场及低空急流

图中阴影区表示低空急流,全风速等值线间隔 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

4 降水量模拟结果分析

图5a、b分别是11月6日08时至7日08时24小时的加云图同化资料 and 未加云图同化资料的降水量模拟结果。与降水实况(图1)对照后发现,加进或未加进云图同化资料的模式对本次降水过程中10mm的雨雪区地走向和范围模拟得较好;华北中部、山东

中部和河南西南部出现的25mm降水区两种资料情况的模拟结果都较大,位置偏南,但没有漏报。加入云图资料的模拟结果在华北中南部呈E—W向及在黄淮中北部均报出一条降水带,与实况比较接近;未加进云图资料的模拟结果预报区域比较集中,范围却很大,空报较多;有云图同化资料的模拟结果更精

细一点,较强降水模拟与实况基本吻合,效果更好一些。在华北地区24小时最大实况降水量未超过50mm,但上述两种模拟结果都超过50mm。另外,在加进云图资料的模拟中对四川东部出现的50mm的暴雨预报尚可,但对于实况降水量基本在10mm以下的陕南地区来说,两种模拟结果都报了50mm以上的降水区与实况相差很大。综上所述,

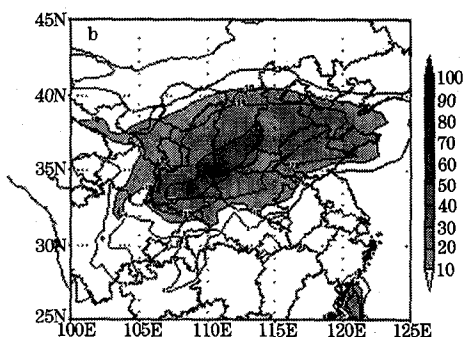
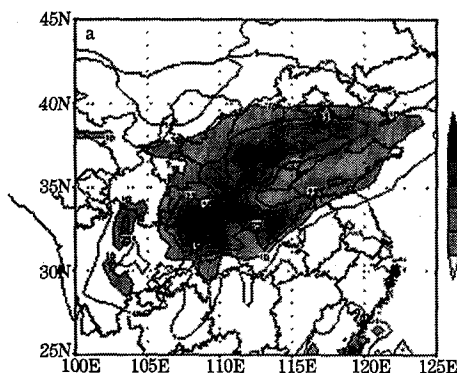


图5 2003年11月6日08时至7日08时加云图资料(a)和未加云图资料(b)24小时降水量模拟结果(单位:mm)

5 小结

利用 GRAPES 全球数值模式,对2003年11月6~7日华北的一次大到暴雪过程进行数值模拟试验和诊断分析。得到如下一些主要结果:

(1)本次华北的大到暴雪天气过程是发生在欧亚中高纬度为两槽一脊的阻塞环流形势下,西风槽、切变线和低空西南急流是主要的影响天气系统,它们相互作用产生了华北罕见的大到暴雪。

(2)物理量诊断分析结果表明,低层切变线上的辐合区分布不均匀,其垂直结构表现为400hPa以下层为负散度和正涡度的辐合区,以上层是正散度和负涡度的辐散区。高低空的配置有利于造成较强的上升运动,产生十分有利的强降水条件。

(3)主要的水汽源地是印度洋北部的孟加拉湾和南海,并通过西南低空急流从中低

层向北输送到华北地区,低层的偏东气流的水汽输送也是不能忽视的。上干冷、下暖湿的不稳定大气层结是产生雷暴的原因。

GRAPES 模式对本个例10mm降水范围模拟比较准确,对25mm降水区模拟偏大,并且模拟出50mm以上的强降水区,有失客观。但总体来看,该模式对这次华北大到暴雪过程的模拟是较为成功的;对实时预报业务工作有参考价值。加入卫星同化资料的模拟结果要明显好于未加云图同化资料的模拟结果。

层向北输送到华北地区,低层的偏东气流的水汽输送也是不能忽视的。上干冷、下暖湿的不稳定大气层结是产生雷暴的原因。

(4)GRAPES 全球数值模式能较好地模拟出高低空环流形势和主要影响天气系统,能提供较准确的高分辨率诊断分析资料。该模式对10mm的雨雪区范围和走向模拟得较好,因此对华北大到暴雪有相当的模拟能力;加进云图同化资料对较强降水的模拟效果明显优于未加云图资料的模拟;对25mm的降水区未出现漏报,但预报范围偏大、位置偏南,并空报了50mm降水区,有待于今后进一步改进和提高。

参考文献

- 1 李天富. MM5 对南海一次特大暴雨过程的模拟. 气象,2003,29(1):3~6.
- 2 赵桂香,李新生. 晋中2002年9月11日暴雨的诊断分析. 气象,2003,29(8):35~38.

Numerical Simulation and Diagnostic Analysis of the First Snow in North China, 2003

Zong Zhiping¹ Liu Wenming²

(1. Department of Atmospheric Science, School of Physics, Beijing University, 100871;

2. Liaoning Meteorological Observatory, Shenyang 110016)

Abstract

The first snow in North China during 6—7 Nov. 2003 is simulated by the GRAPES global numerical model developed by the Chinese Academy of Meteorological Sciences. The analysis of the output data indicates that GRAPES model can simulate out circulation's evolution of high and low level and the main synoptic systems, beside the distribution of precipitation areas and the precipitation cells. The effect of simulation inserted cloud data is better than not inserted. But precipitation areas above 25mm are both too large. The model can provide correct and high resolution data of diagnostic analysis also.

Key Words: GRAPES model first snow numerical simulation diagnostic analysis