

东北区域暴雪天气分析及数值模拟

白人海 张志秀 高煜中

(黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030)

提 要: 2007年2月14日和3月6日中国东北先后出现暴雪过程,降雪过程范围之广、强度之大都超出了有历史记录以来的极限,给国民经济和人民生活造成极大的损失。在收集大量降水、T213和地面高空气象报告等资料基础上,分析了东北东部这两场大暴雪过程的环流成因并利用GRAPES进行了数值模拟。这两次暴雪过程由于500hPa上空冷空气强度和入侵路径的差异,分别是由蒙古低槽东移和西南涡东北上(对应地面为蒙古气旋和江淮气旋)引起的,后者的天气形势与东北夏季暴雨的一种形势有很大的相似。GRAPES对这两次暴雪过程模拟的结果表明,不仅能够成功地预报天气尺度的主要环流形势演变和影响系统的移动路径,还能够预报出与主要降雪区域相对应的低空中尺度辐合系统,比仅用高空观测报告分析的结果有很大的改善;对降雪强度变化和落区移动状况也能够很好地作出预报,但是有时预报量有偏大的弱点。可以认为GRAPES提供的各种预报产品对日常业务实时应用是很有价值的。

关键词: 区域暴雪 天气成因 数值模拟 GRAPES

Synoptic Analysis and Numerical Simulation of Area Snowstorms in Northeast China

Bai Renhai Zhang Zhixiu Gao Yuzhong

(Heilongjiang Meteorological Observatory, Haerbin 150030)

Abstract: The area snowstorm is a major severe weather in northeast China because it possibly causes enormous losses. There are two area snowstorms in northeast China during February 14–15 and March 4–6 of 2007. Their precipitation intensity and range are all greater than the historical records. By using basic data of precipitation, T213, surface and radiosonde observations, the synoptic situation of the two area snowstorms are analyzed. In addition, with the new generation numerical prediction model GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System), the two area snowstorms are numerically simulated, and the results are compared with

the observational data. The results of analysis and simulation show that the snowstorm during February 14-15 is caused by eastbound trough over Mongolia (Menggu cyclone) and the snowstorm during March 4-6 is caused by northeastward vortex over Southwest China (Jianghuai cyclone) owing to the difference in the strength and moving route of cold air mass. In a sense the second is resemblance to a weather situation of storm rainfall in the summer. In these processes, the major synoptic system not only is simulated by GRAPES model successfully, such as formation and movement of southwest vortex, but the mesoscale convergence zone or center is simulated more precisely than observational analysis. But the simulation values of the precipitation are greater than the observations. The numerical results show that GRAPES model has a good ability to simulate area snowstorms in Northeast China, and is of good reference to the operational forecasting.

Key Words: area snowstorm synoptic situation numerical simulation GRAPES model

引言

中国东北地区地处东亚季风区的北部,冬、夏季风特征很显著。冬季降水仅占全年的1%~5%,绝大部分地方不足20mm。冬季降水虽然很少,降水相对变率却很大,一般都达到0.4~0.7。同时又由于东北区的气温较低,初春或秋末也会有降雪或雨夹雪出现。因此,冬半年有可能发生暴雪极端事件,一场暴风雪过程的降水量会超出同期平均值的数倍。这种极端事件一旦出现就会给国民经济带来重大的影响,尤其是交通、电力和蔬菜生产。

1987年吴宝俊等人在中国气象局“北方降雪客观预报方案”项目研究中,比较系统地研究了北方降雪^[1-4]。王晓明和张志秀等分别指出1997年1月1日隆冬时节罕见的大暴雪中强锋区上产生扰动和东风暖平流的作用^[5-6]。高松影等分析过2004年12月丹东地区突发性暴雪天气过程中的中尺度环流作用^[7]。总的来看,对东北暴雪的研究还是比较少且基本是以天气分析和诊断分析为主要研究手段,利用数值模式分析研究甚少。随着数值模式和计算技术的发展,本文将在天气分析的基础上对影响东北区域暴风雪的重

要因子进行数值模拟分析。

中国气象科学院数值创新基地研制的我国新一代数值预报模式(GRAPES)已在黑龙江省气象台实现本地化并实时运行^[8]。该模式对这两次降雪过程都进行了很好的预报。本文利用GRAPES对这两次暴雪过程进行24小时的数值模拟分析。模式计算范围35~62°N、105~145°E,水平分辨率0.5625°,总的格点数为49×64。垂直方向采用 σ 坐标不等距的31层。利用国家气象中心下发的T213客观分析和预报场及高空、地面报告为初值和边界条件。

1 两次暴雪过程概况

2007年2—3月东北区先后出现两次范围广、强度大、时间长的降雪过程,是有气象记录以来少有的。

1.1 2月14—15日

受贝加尔湖冷空气和蒙古气旋的影响,2月13日(12日08时至13日08时,北京时,下同)东北各地开始出现降雪天气,黑龙江省北部和中部降雪稍大,达到1~2mm,其他一般均在1mm以下。14日降雪量加大,黑龙江省中部和东南部、吉林省东部、辽宁省的

中部和东部出现大范围的大雪,其中黑龙江省中部和吉林、辽宁省的东部达到 10mm 以上的暴雪标准(图 1a)。15 日主要雪区东移,黑龙江省东部仍然继续维持大雪,东北部靠近中俄边界的部分地方仍然出现暴雪。

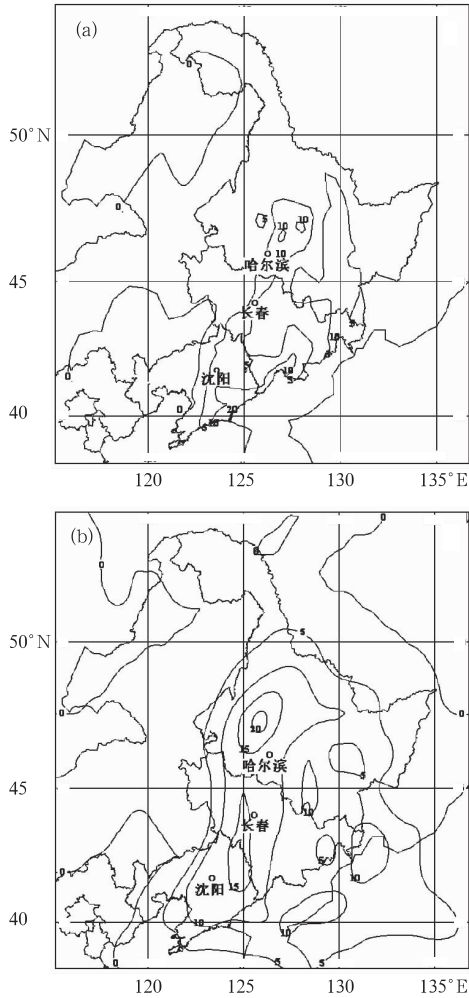


图 1 2007 年 2 月 14 日降水实况(a)和 24 小时预报(b)

1.2 3 月 4—6 日

受贝加尔湖强冷空气和江淮气旋北上的影响,原在华北及以南大范围的雨区向东北移动,3 月 4 日辽宁省南部降水明显加大。因为温度降低的缘故降水转为固态,出现暴

雪天气。日降水量大大超过暴雪标准 10mm,其中辽东半岛的南部超过 30mm,辽宁省西南部达到 20mm。5 日东北地区东部出现大范围的暴雪天气(个别站有降雨),范围之广、强度之大是历史上少有的。辽宁省东部大部分地方超过 50mm,丹东站达到 94.0mm,是 56 年来同期最大的降雪。吉林省东部大部分地方超过 35mm,柳河站达到 54.7mm。黑龙江省东南部也超过 30mm,东宁站达到 48.6mm(图 2a)。6 日降雪区向东北方向移动,黑龙江省东北部仍然继续达到暴雪程度,饶河站达到 19.6mm。

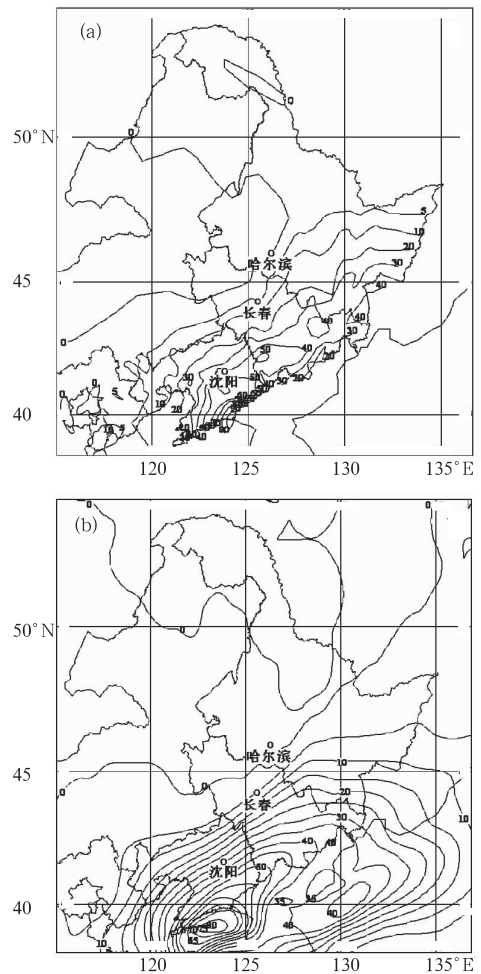


图 2 2007 年 3 月 5 日降水实况(a)和 24 小时预报(b)

这两场暴雪因降雪量过大,积雪深度普遍达到 20cm 以上,给东北区的东部造成极大的影响。铁路、公路、民航交通全面中断,通讯受损严重,部分地区还出了停电、断水现象。

2 暴雪过程环流分析及数值模拟

2.1 2月14—15日

2.1.1 环流特征

过程之前,500hPa 上亚洲中高纬地区环流相对平直,以弱西北气流和多槽脊移动为特征,没有稳定的大槽大脊。12日20时槽脊向东移动,乌拉尔山高压脊导致极地冷空气沿脊前西北气流下滑,使原在贝加尔湖西部槽在东移中加深发展。13日08时低槽到达中蒙边境,以后东移过程中有所加深(图3a)。700hPa 高空形势与500hPa 基本相似,图3b中标出了低槽的先后位置。这是一次很典型的低槽东移型降雪过程。

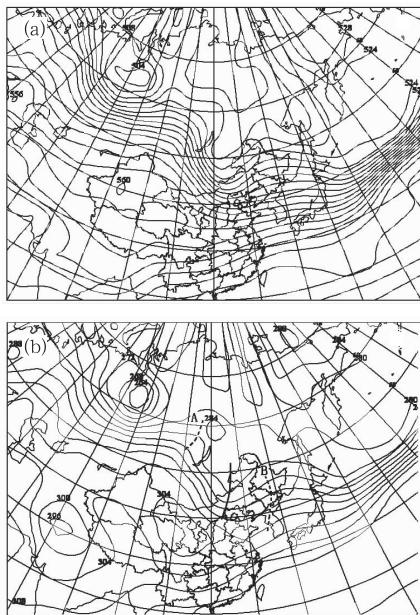


图3 2007年2月13日08时500hPa (a)和700hPa(b)高度图
虚线A、B为12、14日槽线位置

对应地面上,12日与贝加尔湖低槽对应的南北狭长的低压带东移演变成倒槽影响东北地区。低压带后部在蒙古国中部同时又有弱的低压中心出现并加强。13日02时新生的蒙古气旋并入倒槽中,使倒槽进一步加强并有闭合低压中心出现。黑龙江省始终处在倒槽北端的东南风区内,由于暖锋降雪14日黑龙江省中部出现暴雪。同时吉林和辽宁省的中东部处在倒槽前部的西南气流里,由于充足的水汽与冷空气交绥也出现了暴雪。

2.1.2 蒙古低槽环流模拟

高空环流形势演变对这次典型过程的意义很大,直接关系到影响系统的形成、移动路径和速度等,对于预报降雪的时间、强度和落区有决定性作用。这次过程中位于中蒙边境低槽的形成、加强和东移是预报的关键。根据 GRAPES 对这次过程高空形势的预报,能够很好地模拟出13日08时极地冷空气向东南爆发,贝加尔湖的弱槽东移,在中蒙边境加强形成低槽(图4a,为了看得清楚只给出局部预报区域,以下同);以后低槽继续东移并加深,14日08时形成低涡(图4b);15日低涡移出中国(图略)。

2.2 3月4—6日

2.2.1 环流特征

这次过程高空冷空气势力明显强于前一次,并且入侵路径显然不同(图5a)。冷空气向南爆发分为两股,其中一股自贝加尔湖向东移动,其南端仅对黑龙江省北部有不大的影响;另一股更强的则自贝加尔湖以西直接向南入侵,3月2日20时中国西南地区有低涡形成。以后西南涡沿500hPa 高空西南气流迅速向东北方向移动,3日20时到达华北,地面倒槽伸向东北东部,造成中国北方出现大面积的降水天气,东北南部出现暴雪甚至大暴雪。4—5日低涡沿东北东部向东北方向移动,吉林和黑龙江两省先后出现暴雪

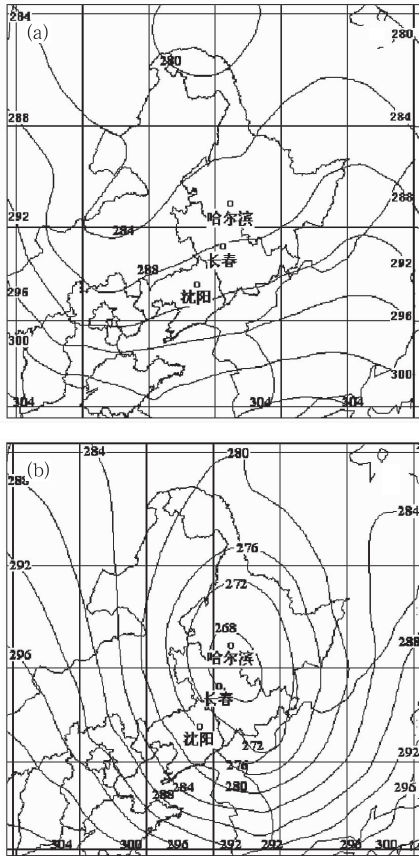


图 4 2007 年 2 月 13 日 08 时(a)和 14 日 08 时(b)700hPa 高度预报图

(图 5b)。如此源于西南涡最终影响东北全境的暴雪过程,在冬半年是很少有的。

对应地面上,受位于高空西南低涡东北移的影响,3 月 3 日 20 时有江淮气旋生成,这时辽宁省南部已处在江淮气旋的倒槽北端。4 日 08 时江淮气旋到达山东半岛东部沿海,东北东部都处在江淮气旋的倒槽中。以后江淮气旋穿过朝鲜北部向东北方向移动,5 日 02 时起东北东部先后转入倒槽后部的偏北气流中,降雪减小并结束。

2.2.2 西南涡影响环流模拟

贝加尔湖以西的冷空气直接南下在中国西南地区形成低涡进而东北上是这次暴雪发生的关键。由于西南涡形成的初始位置远离

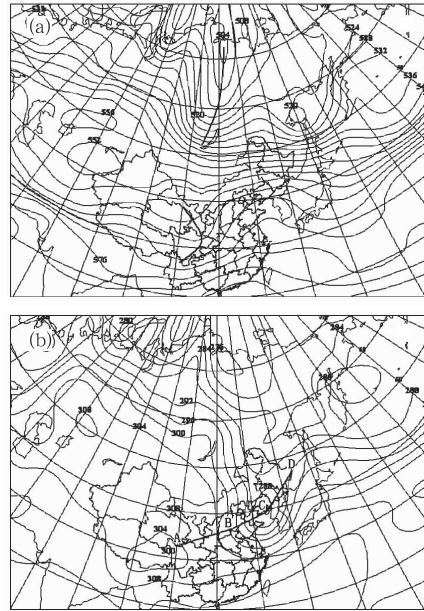


图 5 2007 年 3 月 3 日 08 时 500hPa(a) 和 4 日 20 时 700hPa(b)高度图
图中标注的 A、B、C、D 分别为 3 月 2—5 日 20 时低涡中心位置

计算区域,这里只给出其后向东北移动的状况。从图 6a 可以清楚看出,3 日 08 时移入华北的低涡在预报区域南边显露,以后低涡继续沿东北地区东部向东北方向移动(图 6b),以致影响全东北出现暴雪。

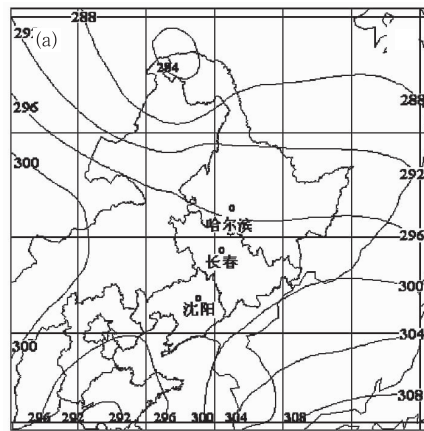


图 6a 2007 年 3 月 3 日 08 时 700hPa 高度预报图

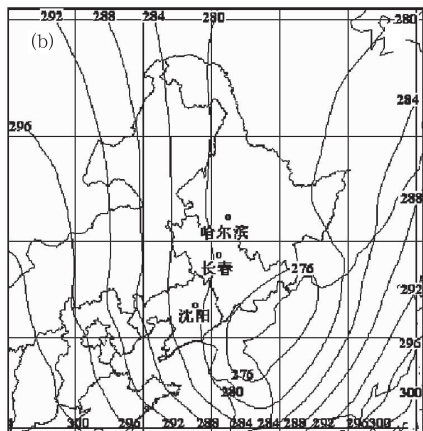


图 6b 2007 年 3 月 4 日 08 时 700hPa 高度预报图

2.3 中尺度辐合系统模拟

上述表明, GRAPES 对影响东北暴雪的天气形势具备相当的预报能力。但是, 无论是蒙古低槽还是西南涡都是属于天气尺度的系统, 仅有它们成功的预报对决定暴雪的发生还是远远不够的, 必须分析与暴雪落区相关的中尺度天气系统。可是现有的高空观测网比较稀疏, 尤其是东北区域内的高空观测站很少, 分析中尺度系统有一定的困难。从图 7a 中仅能够看到 2 月 13 日 20 时 850hPa 上在东北地区中部有一个范围很大的气旋环流, 只能以几何中心确定涡旋 A 的位置。同

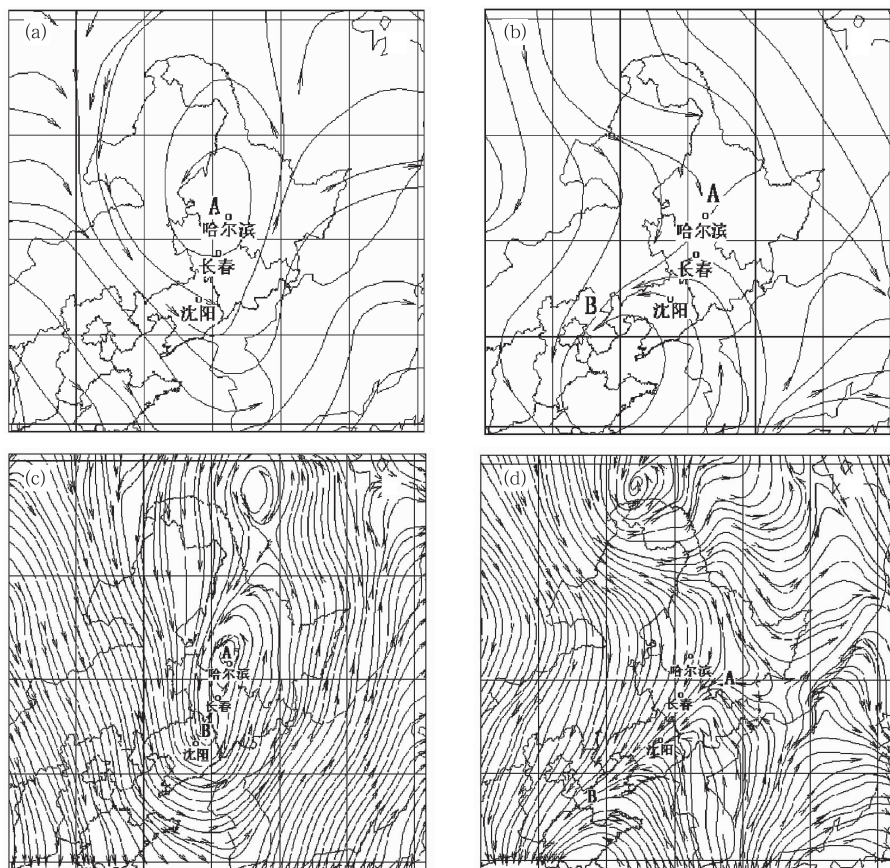


图 7 两次降雪过程 850hPa 流线图

(a) 2007 年 2 月 13 日 20 时实况 (b) 2007 年 3 月 4 日 08 时实况
(c) 2007 年 2 月 13 日 20 时 24h 预报 (d) 2007 年 3 月 4 日 08 时 24h 预报

样,图 7b 中 3 月 4 日 08 时在东北有气旋北方弱气流的辐合 A—B。

通过这两次暴雪过程低空流场的数值模拟可以看出有很强的中尺度辐合系统存在。图 7c 是 GRAPES 模拟 2 月 13 日 20 时降雪比较集中时候的 850hPa 流场,在黑龙江省中西部有一个辐合中心 A,在吉林、辽宁两省交界处有另一个辐合中心 B,它们分别对应两个主要的暴雪区。图 7d 是模拟 3 月 4 日 08 时的 850hPa 流场,在中国东北地区东部有对应暴雪区强辐合切变线 A—B。这条辐合切变是由暖湿特性的偏南气流和冷性的东北气流构成的,是造成暴雪的关键。

3 降雪量模拟分析

3.1 2 月 14—15 日降雪量模拟

图 1b 是 GRAPES 对 2 月 14 日 24 小时降水量分布的模拟结果。可以看出位于东北中部南北向主要降雪带基本能够模拟出来,但是北部降雪中心(黑龙江省中南部)强度偏大约 9mm,位置偏西北约 82km,南部(吉林省中部、东南部和辽宁省东部)也有偏大的现象。从 2 月 15 日 24 小时降水量分布的模拟结果可以看出,主要降雪带向东北方向移动的特征完全能够模拟出来,主要降雪位于黑龙江省的东北部。但是降雪中心强度显著偏大约 34mm,位置偏西南约 58km(图略)。

3.2 3 月 4—6 日降雪量模拟

根据 GRAPES 对 3 月 4 日 24 小时降水量分布的模拟结果,可以看出虽然能够模拟出东北的南部的降雪,但是降雪(雨)量模拟的偏小。图 2b 是对 3 月 5 日 24 小时降水量分布的模拟结果。可以看出原来位于华北的主要降水带向东北方向移动的特征完全能够模拟出来,以辽宁省东部为中心的东北东部

大范围暴雪以上的降雪区域模拟得很好。预报的降雪中心强度比实际中心(丹东 94.1mm)偏大约 19mm,位置偏西南约 119km。能够很好的模拟出 3 月 6 日主要降雪区域向东北方向移动的特征,辽宁和吉林两省东部降雪基本结束,黑龙江省东北部仍有暴雪(图略)。预报的降雪中心强度比实际中心(饶河 19.6mm)偏大约 25mm,位置偏南约 68km。

总结分析对上述两次特大暴雪过程降雪量的数值模拟,可以认为 GRAPES 对主要暴雪区域的位置和移动趋势能够较好地模拟出来,降水中心位置比较接近。但是,过程开始后降雪量稍偏大,尤其是过程结束时。

4 水汽辐合与上升运动贡献的模拟

产生这样大范围的暴雪必须有充足的水汽供应。图 8 是 GRAPES 对这两次降雪时水汽通量辐合的数值模拟结果。可以看出与暴雪区相对应的区域水汽是强烈的辐合,850hPa 高度上一般都达到 $-40 \times 10^{-8} \text{g} \cdot (\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hPa})^{-1}$ (以下省去水汽通量散度的量级和单位)。2 月 13 日与黑龙江省中部暴雪区对应的水汽通量辐合中心值为 -88.0 ,与吉林和辽宁省交界暴雪区对应的水汽通量辐合中心值为 -107.5 ;3 月 4 日与辽宁、吉林两省东部暴雪区对应的水汽通量辐合中心值为 -127.3 。这样的数值达到了夏季东北暴雨发生的水平,不过根据与用实况值计算的水汽通量散度比较,这个数值偏大 40%。

值得注意的是,暴雪虽然出现在 3 月,过程中上升气流也是很可观的。GRAPES 对这次降雪时上升运动的数值模拟结果表明,与暴雪区相对应的区域有比较强的上升运动,700hPa 高度上一般都达到 $-30 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同样,这个数值也偏大一些。

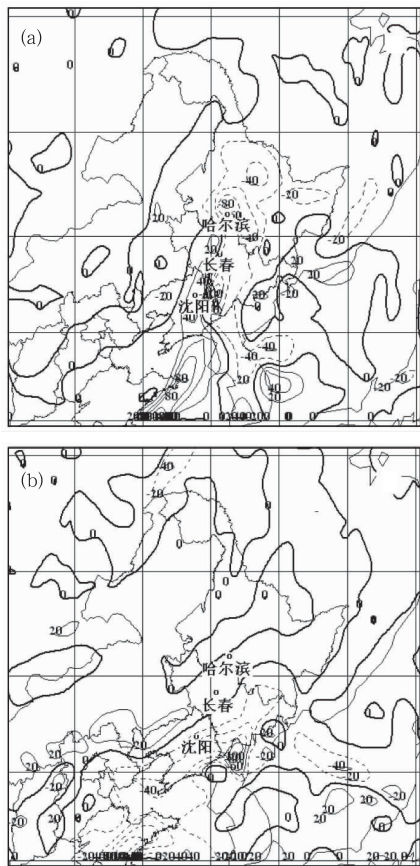


图8 850hPa水汽通量散度预报图

单位: $10^{-8} \text{g} \cdot (\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hPa})^{-1}$

(a) 2007年2月13日20时,

(b) 2007年3月4日08时

5 结论

本文选用冷空气南下的路径和强度不同的两次暴雪过程进行分析,分别是受高空蒙古低槽(地面蒙古气旋)影响的2月14—15日暴雪和高空西南涡北上(地面江淮气旋)影

响的3月4—6日暴雪。两次过程中,适宜的天气环流形势造成的偏南气流对暖湿气流输送的作用都是不可忽视的。

利用GRAPES进行相关的数值模拟,其结果表明:不仅能够模拟出关键的天气尺度环流形势,还能够比较精细地模拟出与降雪集中位置相关的中尺度辐合中心和切变线系统,以及相应的水汽输送与辐合和强烈的上升运动;对降雪的强度变化和落区移动也能很好地预报。所有这些产品都能够在实际预报工作中得到,对提高这种异常天气的预报水平大有帮助。

利用GRAPES所进行的降水数值模拟结果有时会有偏大的倾向,是否因为模式物理过程的参数更适合夏半年,对冬半年需要更好的调整,有待进一步分析。

参考文献

- [1] 肖柏,赵友红. 黑龙江省降雪天气气候分析[J]. 气象,1988,14(3):17-19.
- [2] 刘景涛,孟亚里. 西北风急流上不稳定小槽发展型强降雪的初步分析[J]. 气象,1988,14(3):25-28.
- [3] 刘延英,吴宝俊. 2、3月份大雪的大尺度物理条件[J]. 气象,1988,14(3):29-32.
- [4] 白人海,高顺清. 初冬降雪的天气动力特征和预报业务系统[J]. 气象,1988,14(3):37-40.
- [5] 王晓明,王新国,王萍. 一次罕见的大暴雪天气过程分析[J]. 吉林气象,1998,3:2-6.
- [6] 张志秀,王明洁,王承伟. 东风暖平流暴雪的物理诊断分析[J]. 黑龙江气象,1997,03:8-10.
- [7] 高松影,李慧琳,孙连强. 一次突发性中尺度暴雪天气过程分析[J]. 气象与环境学报,2006,05.
- [8] 白人海,关兴民,王明洁,等. GRAPES模式运行和质量初检[J]. 黑龙江气象,2007,03:1-5.