

李青春,程丛兰,高华,等. 北京一次冬季回流暴雪天气过程的数值分析[J]. 气象,2011,37(11):1380-1388.

北京一次冬季回流暴雪天气过程的数值分析^{*}

李青春 程丛兰 高 华 丁海燕

中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089

提 要: 回流天气是华北地区冬、春、秋季节产生降雨(雪)的主要天气类型,预报员常常因对回流天气系统结构特征认识不足和诊断失误而导致预报的失败,是降雨(雪)预报的难点和重点。利用北京地区高分辨率快速循环同化中尺度数值预报系统(BJ-RUC)对 2010 年 1 月 2—3 日一次典型的回流暴雪天气过程进行模拟,分析数值模式的模拟能力,研究各层主要影响系统结构特征及形成暴雪的关键性条件,探讨典型回流暴雪天气过程的形成机理。主要结论为:数值模式对此次暴雪过程的近地面回流冷空气、中低层低值系统及变化特征、主要降雪时段和降雪量模拟效果较好,对降雪落区的模拟存在一定偏差。低层回流偏东风遇到地形后引起垂直运动主要在低层 800 hPa 以下,所产生的降雪量不大,而与其上游 850~700 hPa 低涡系统发展东移其前部的上升运动汇合所形成的大范围、深厚、强烈的上升运动是产生明显降雪的关键性条件。上游低涡系统前部西南暖湿气流相对应的大湿度区移近是产生较强降雪的重要条件。持续的低层回流冷空气湿度较大,对于低层大气起到水汽输送的作用。回流冷空气使低层大气维持长时间的水汽输送并与其上层东移的大湿度区相结合,增加湿层厚度,有利于降雪持续而形成较强降雪。降雪开始时间和降雪强度的变化与对流层中下转偏南风的时间和偏南风风速增大有关。

关键词: 暴雪, 回流, 快速循环数值预报系统 RUC, 数值模拟

Numerical Simulation and Analysis on a Heavy Snow of Return-Flow Events in Beijing

LI Qingchun CHENG Conglan GAO Hua DING Haiyan

Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

Abstract: The typical return-flow events with heavy snow during 2—3 January, 2010 by using Beijing local high-resolution rapid update cycle mesoscale model system (BJ-RUC) are simulated. The characteristics of synoptic system in each layer and key snowfall factor are analyzed. The results show that the BJ-RUC model can well simulate the snowfall distribution, position and time change, and the main situations of heavy snowfall which are caused by the cold air return-flow in the low-level, and the 850—700 hPa layer low-vortex system. But the snowfall center has still some deficiency. When the vertical ascending motion is produced in lower atmosphere by the cold return-flow encountering terrain, the snowfall is not high. During the snowfall, the dynamic lifting which is caused by the cold return-flow combining with the ascending motion of the foreside of low vortex, forms a deeply and violent ascending motion, that is the key factor to cause the heavy snow. The durative and cold return-flow with high humidity transports water vapor in the lower atmosphere. The humidity in the lower-mid troposphere is increased by the southwestern air flow. The return-flow increases thickness of wet-layer, reaching above 600 hPa. It plays an important role in producing the heavy snow. The start and intensity of snow fall are related to the moment of the direction change to southern wind and the south wind speed.

Key words: heavy snow, return-flow, BJ-RUC model, numerical simulation

* 中央公益性科研院所基本科研业务费专项(IUMKY201002)资助

2010 年 12 月 9 日收稿; 2011 年 7 月 24 日收修定稿

第一作者: 李青春,主要从事灾害性天气研究. Email: qcli@ium.cn

引 言

近年来随着城市化进程的加快以及社会经济的快速发展,城市交通系统的脆弱性显著增加。降雪天气带来的道路积雪、结冰已经成为冬季影响城市交通安全和居民正常生活的主要灾害性天气之一。冬季降雪预报的准确性越来越受到政府管理部门和社会公众的广泛关注。

华北回流天气是华北地区冬、春、秋季节产生降雨(雪)的主要天气类型,预报员常常因对回流天气系统结构特征认识不足和诊断失误而导致预报的失败。华北回流天气是冷空气从东北平原南下,经过渤海以偏东路径侵入华北平原的天气类型。北京市位于华北平原的北端,当受地形阻挡的低层冷空气沿地势低的东北平原、渤海湾南下向西“回灌”时,形成北京的回流天气。是特殊的高低空天气系统配置和地形共同作用产生,降水(雪)起止时间、落区、量级的预报难度很大。

一些早期针对华北地区的大雪或暴雪天气过程的研究已经关注到对流层底部的偏东气流对强降雪天气的作用^[1-5]。华北地区的强降雪不仅与对流层中低层西南急流的水汽输送和边界层锋面的强迫抬升有关,同时与雪区东侧存在于对流层底部的偏东气流有密切联系。近几年,张迎新等^[6-7]使用 NCEP 资料和中尺度模式 MM5 对河北地区典型回流暴雪过程进行了诊断分析和数值试验,研究了华北回流的天气结构特征。得出:从东北平原经渤海侵入华北平原的低层冷空气是“干性”的,在降水中起“冷垫”作用;降雪的起止时间与低层干冷空气和中层暖湿气流的风向相关较好。周雪松等^[8]利用新一代中尺度数值模式 WRF 对 2004 年 11 月 24—25 日发生在华北地区的一次回流暴雪过程进行了数值模拟,并着重对回流暴雪形成发展的机制进行了分析研究。

针对北京回流降雪天气的研究不多,北京暴雪的数值模拟研究的文献更不多见。20 世纪 90 年代,仪清菊等^[9]利用 15 年资料分析北京降雪的天气特点得出:北京地区主要降雪天气系统有冷暖锋、黄河倒槽、蒙古气旋和黄河气旋等类型。除此之外,还有一类较为典型的降雪天气不宜划归到上述天气系统中。这种天气系统的特点是:华北至东北地区对流层低层为冷高压坝,东北地区吹东北风,为冷平

流。山东和江苏吹东南风,为暖平流,冷暖平流交汇于华北地区,简称为东风回流天气。此类降雪天气类型的次数占总次数达 1/4 以上(与冷锋系统的次数一样多)。王迎春等^[10]对 2002 年 12 月北京出现的连续 6 天持续降雪天气进行诊断分析,得出:地面和边界层中高压南侧的偏东气流是造成降雪的主要水汽通道。赵思雄等^[11]利用特种观测资料对造成北京交通堵塞的 2001 年“12.7”降雪过程的形成机制进行分析讨论,认为降雪是因回流所造成。而孙继松等^[12]通过天气诊断和数值模拟分析得出,此次降雪天气是由对流层中层快速移动的高空槽、地面弱倒槽和近地面层弱偏东气流共同影响所产生,不是典型回流天气形势。孙建华等^[13]采用中尺度数值模式 PSU/NCAR 的 MM5 对“12.7”降雪过程进行模拟得出:降雪天气是由对流层中层快速移动的短波槽和近地面高压后部回流共同影响的结果。研究还得出,近地面的高压回流增加了低层的湿度,而槽前的水汽输送和辐合上升可能是此次降雪过程的触发机制之一。

以上研究得出一些有益的结论,但在对回流天气系统结构特征、回流冷空气的性质及作用等方面的认识上仍存在分歧。另外,受到当前气象业务观测网布局时空不均匀性的影响,难以揭示出影响降雪产生、强度的影响系统或关键性条件及变化特征,仍需要利用中尺度数值模式并结合北京及周边地区非常规资料观测或加密观测试验开展冬季强降雪天气过程的深化研究。利用先进的同化本地观测数据的中尺度精细数值模式的数值模拟与加密观测数据分析诊断相结合,能够揭示出各层影响天气系统特征、关键性条件及变化特征。本文利用北京市气象局建立的 WRF-ARW 模式和 3DVar 资料同化方案的 3 h 快速更新循环中尺度数值预报业务系统^[14-18](BJ-RUC)对此次暴雪天气过程进行模拟,与观测实况分析比较,评估模式输出结果,分析东风回流天气形势特征和系统结构,近地面层东风回流冷空气、中低层辐合系统变化规律,及其与降雪开始、结束时间、降雪量级的关系。探讨回流天气产生暴雪的关键性条件和形成机制,对于提高此类天气预报准确率具有非常重要的实际意义。

1 天气形势特征与天气过程概况

2010 年 1 月 2—3 日京津冀地区出现了一次典

型的回流降雪天气。从降雪前的天气形势分析看：降雪前 4 小时 2 日 20 时高空各层天气形势图上看（图略），北京上空 700 和 500 hPa 为西北气流控制，但新疆东部出现明显温度槽脊的斜压发展区，以及温度平流零线，即冷暖温度平流（上升和下沉区）的分界线。3 日 08 时（降雪期间）在河套附近有低涡生成和发展。降雪前 850 hPa 图上 1 日 20 时西风带 40°N 附近为西北西—东南东向锋区。2 日 08 时河套西部出现小槽，槽前出现西南风，2 日 20 时小槽东移发展，槽后有冷温度槽，冷平流明显，槽前偏南风与等温线成直角，有明显暖平流。与此同时脊线过北京，北京开始转为偏南气流控制。3 日 08 时 850、700 hPa 图上西来槽发展加深成为闭合低涡，其前部偏南风加强、出现急流。

从降雪前地面图分析看：1 日 20 时华北北部有纬向锋区，北部冷高压轴呈西北西—东南东向，2 日 02 时冷空气沿东北平原南下，北京处于高压底部，形成东北高、西南低的回流天气形势。从北京地区

自动站降水量资料分析看，2 日从早晨 6 时前后、中午 13—16 时、傍晚 18—19 时均出现过降雪天气，但降雪量不大。2 日 20 时与 850 hPa 的槽区附近明显冷暖平流相对应，地面图上新疆东部有气旋形成。3 日 02、08 时地面图上地面气旋明显发展、东移。气旋前部的强烈辐合是造成 3 日 02 时以后开始的明显降雪天气的主要条件。14 时气旋移近北京，与此相对应，15 时前后北京降雪强度最大。

分析整个过程累计降水量分布图，降雪主要分布在北京、河北中西部地区（图 1）。北京地区为降雪中心之一，降雪主要出现在辖区内的西北部、北部和西部地区，怀柔过程最大降水量为 21.9 mm，其次是昌平和石景山站分别为 16.5 和 15.8 mm，为大一暴雪天气过程。城区平均 11.5 mm，全市平均 10.3 mm，为 1961 年以来同期最大。另外，从北京地区自动站平均降水量时间变化图（图 2）上看，降雪从 3 日 01 时前后开始，3 日 22 时以后结束，持续时间超过 22 h。从积雪深度观测数据看，有大约

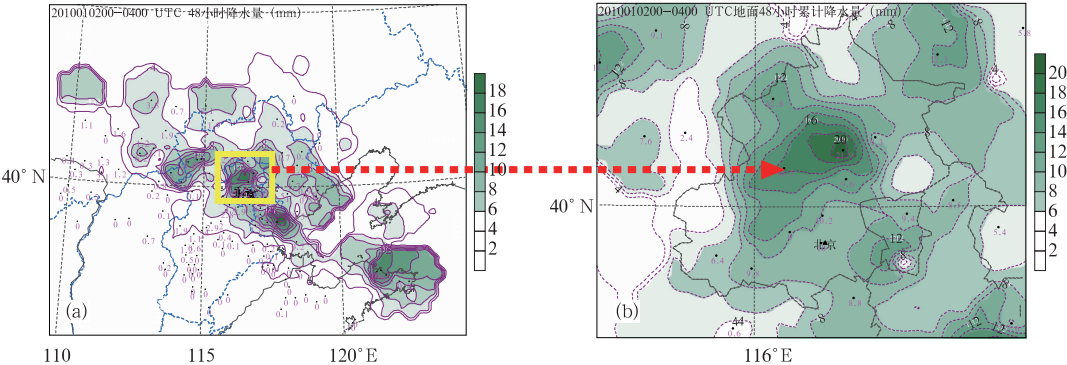


图 1 2010 年 1 月 2 日 08 时至 4 日 08 时累计降水量分布图(单位:mm)

(a) 华北, (b) 北京

Fig. 1 The distributions of 48 h accumulative rainfall from 08:00 BT 2 January to 08:00 BT 4 January 2010 (unit: mm)

(a) northern China, (b) Beijing

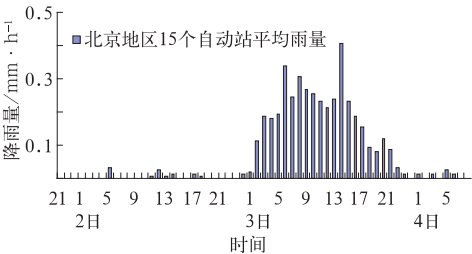


图 2 2010 年 1 月 1 日 21 时至 4 日 08 时北京地区 15 个自动站平均降水量时间变化图

Fig. 2 Actual time series of the mean rainfall measured by 15 automatic weather stations in Beijing from 21:00 BT 1 January to 08:00 BT 4 January 2010

1/4 的站积雪深度超过 30 cm,最深达 38 cm,给全市交通和居民生活带来很大影响。雪后出现大风、强降温及持续寒冷天气。

2 中尺度数值预报模式系统

2.1 模式系统简介

利用北京地区高分辨率快速循环同化中尺度数值预报系统 BJ-RUC,模式物理过程的设置如下：WSM6 云物理方案,27/9 km 区域采用 MM5 模式

的 Kain-Fritsch 对流方案,3 km 区域无对流方案,YSUPBL 边界层方案 Noah LSM 陆面模式,RRTM 长波和 Dudhia 短波辐射方案,关闭嵌套反馈作用。模式的区域配置为 27/9/3 km 三重嵌套,粗、细网格所使用的模式方程组、差分方案及考虑的物理过程均相同,各网格距及对应时间步长之比为 3 : 1。粗网格水平区域中心位置在 40°N、116°E,27 km 网格格点数为 151×151;9 km 网格格点数为 142×184;3 km 网格格点数为 172×199,垂直方向为 38 层。

模式系统每 3 h 进行一次更新同化最新探空、地面、船舶观测资料以及北京地区局地观测资料(加密自动站观测、GPS 大气总水汽量等)以修正背景

场,形成预报初始场。系统从前一天 20 时(2010 年 1 月 1 日)冷启动开始,第二天 20 时重新冷启动止,连续计算。积分 3 h,每 1 h 输出一次模拟结果。

2.2 数值模拟结果分析

2.2.1 降水量

对模式输出的 1 月 3 日 20 时北京地区 12 h(3 日 08—20 时)累计降水量与实测累计降水量分布图(图 3)进行对比分析得出,模式对北京北部降雪大值区模拟较好,特别是怀柔附近的降雪大值中心位置和量值与实况基本一致(模拟值约为 14 mm,实况值为 14.3 mm),延庆附近降雪大值中心位置偏

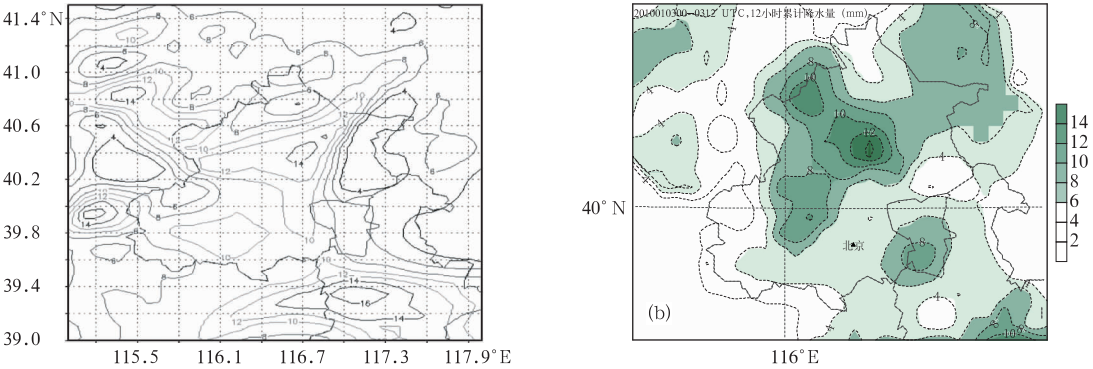


图 3 模式输出的 2010 年 1 月 3 日 20 时北京地区 12 h 累计降水量(a)与实测 12 h 累计降水量(b)分布图(单位:mm)

Fig. 3 The simulated by BJ-RUC (a) and the AWS observed (b) 12-h accumulative rainfall at 20:00 BT 3 January 2010 (unit: mm)

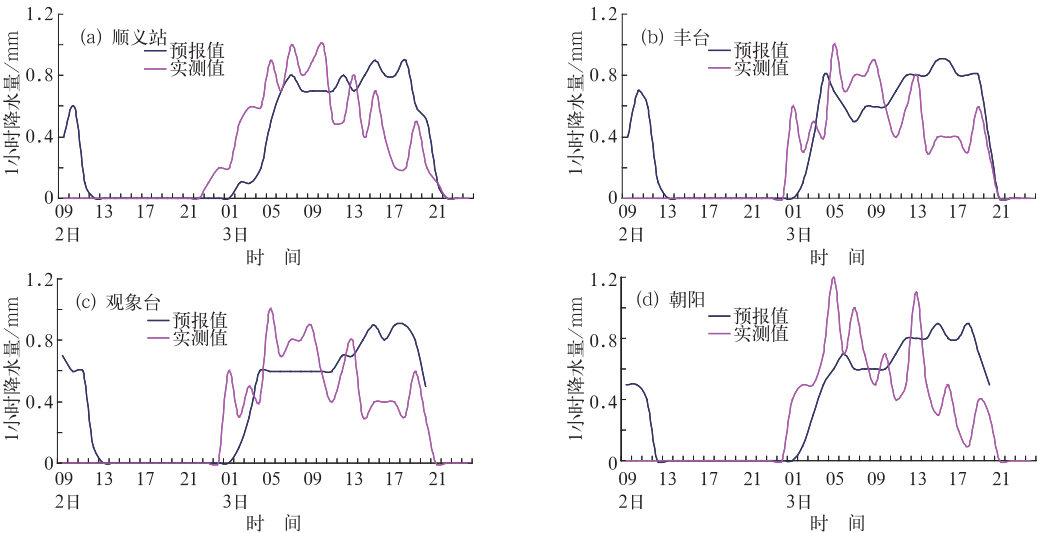


图 4 模式输出的 2010 年 1 月 2—3 日累计降水量(黑色线)与降水量实况值(浅色线)比较(单位:mm)

Fig. 4 Comparison of the simulated by BJ-RUC (dark lines) and actual hourly rainfall (light lines) from 09:00 BT 2 January to 20:00 BT 3 January 2010 (unit: mm) at stations (a) Shunyi, (b) Fengtai, (c) Guangxiangtai and (d) Chaoyang

南。未报出北京城区西部石景山附近的降雪中心。

把模式输出的 1 h 降水量与自动气象站实测降水量时间变化进行比较(图 4)可以看出,模式结果能较好地模拟出 2 日夜间接开始到 3 日前半夜结束的主要降雪时段,但模拟的降雪开始时间比实况偏晚约 2~3 h。模拟降水量峰值出现在 3 日 15—17 时,与实测结果(3 日 04—05 时)偏差较大。另外,2 日上午有些测站仅出现少量降雪,而模式对 2 日上午降水量模拟较大。

2.2.2 地面中尺度风场、温度场

对各层天气系统的模拟结果与实测结果进行分析比较,进一步评估模拟结果的合理性。对模式输出的 2 日 20 时(强降雪出现前 4 h)、3 日 02 时(降雪已开始)地面风场、温度场与实际观测结果进行分析比较得出(见图 5):地面风场、温度场分布,特别是对东北地区冷空气回流的风场分布及冷空气强度(如-8℃线)的模拟与实况分布吻合较好。

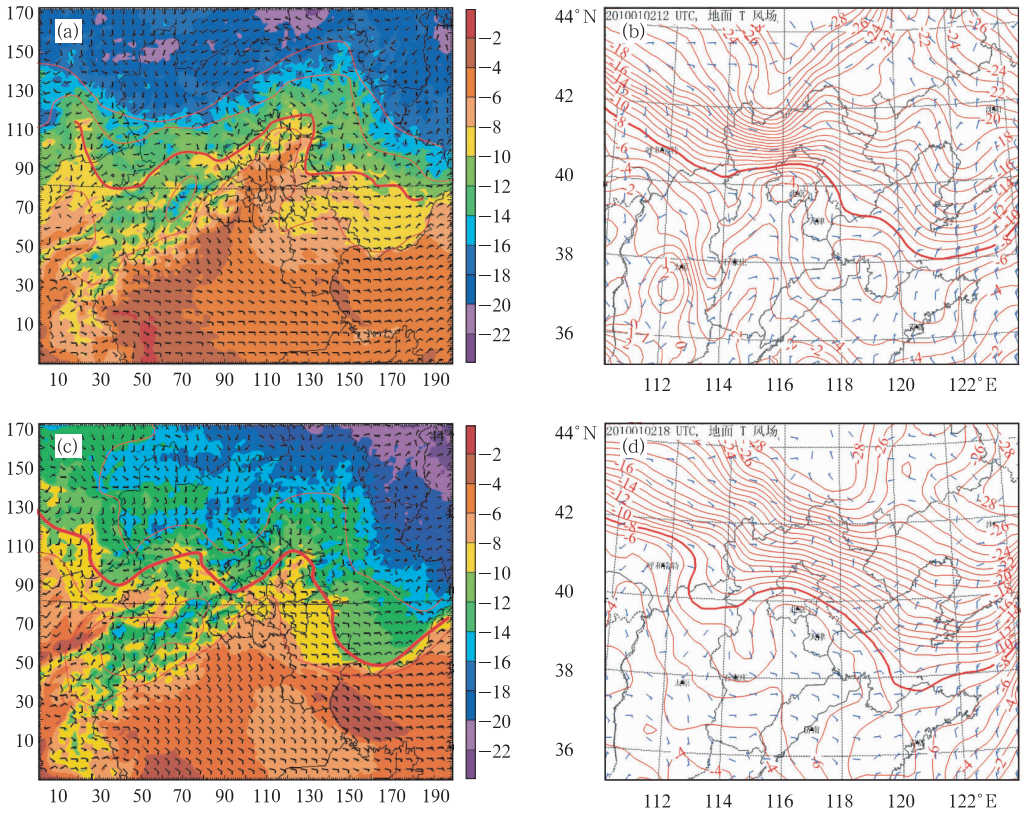


图 5 地面风场、温度场数值模拟结果(a,c)与观测实况场(b,d)比较
(a,b) 2 日 20 时(强降雪前 4 h), (c,d) 3 日 02 时(降雪期间)

Fig. 5 Comparison of the simulated by BJ-RUC (a,c) and actual wind, temperature fields (b,d)
(a,b) at 20:00 BT 2 January (the moment of four hours before snowfall),
(c,d) at 02:00 BT 3 January (during snowfall)

从地面风场、温度场模拟结果可以看出,从 2 日 04 时开始出现从东北向西南伸延的明显偏东风。2 日 09—12 时、20—22 时、3 日 01—15 时有三次冷舌从东北向西南伸并伴明显偏东风的冷空气向西南“回灌”过程。其中,以 3 日 01 时开始的冷空气“回灌”最为明显,01 时-8℃线、05 时-10℃线影响到北京(图略)。回流冷空气对降雪的形成及强降雪起重要作用。

2.2.3 高空形势及天气系统特征

BJ-RUC 数值模拟的 2 日 20 时至 3 日 08 时 850 hPa 等压面的风、温度、位势高度场预报与实际观测结果分析比较(见图 6)得出,模式模拟的风场、等温线、等位势高度线,以及上游低涡、槽线和高压脊线位置与实况较吻合,2 日 20 时脊线移过北京开始转受西南风控制。但高压脊强度预报偏弱、位置偏西(移动偏慢)。

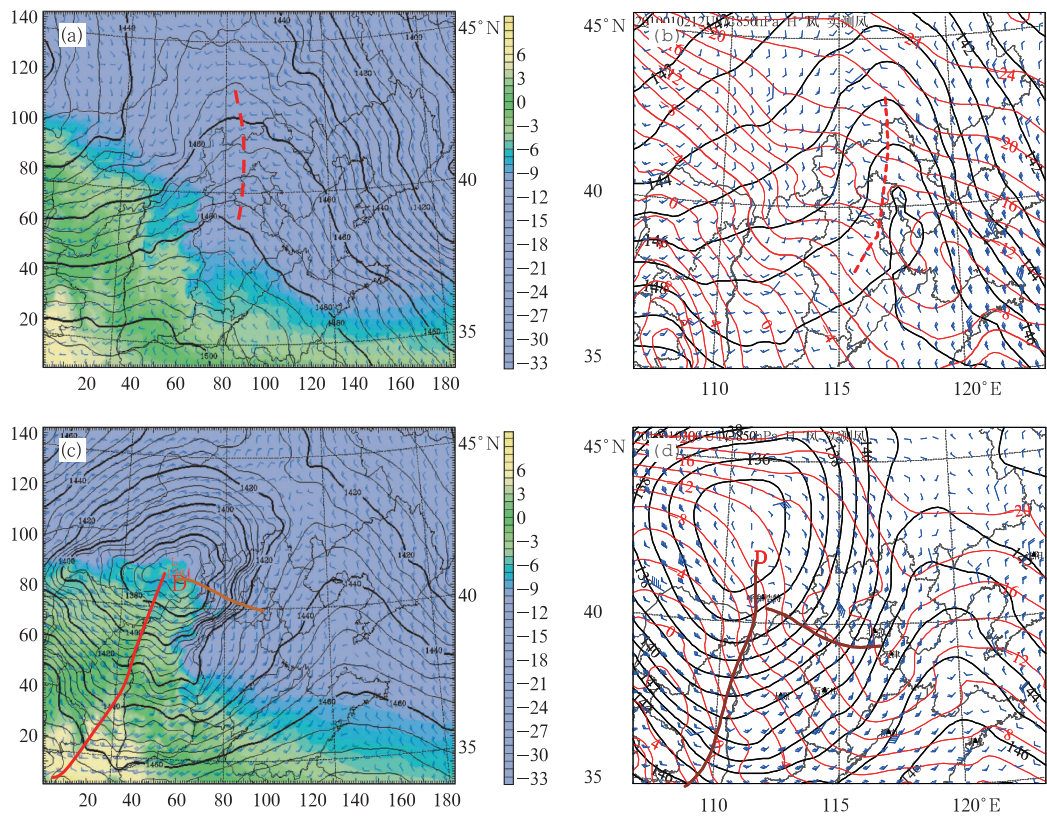


图 6 2010 年 1 月 2—3 日 850 hPa 位势高度、风场、温度场数值模拟结果(a,c)与观测实况场(b,d)比较
(a,b) 2 日 20 时(强降雪前 4 h), (c,d) 3 日 08 时(降雪期间)

Fig. 6 Comparison of the simulated by BJ-RUC (a,c) and actual geopotential height, wind, and temperature fields (b,d) at 850 hPa
(a,b) at 20:00 BT 2 January (the moment of four hours before heavy snow fall),
(c,d) at 08:00 BT 3 January (during heavy snow fall)

3 日 01 时 850 hPa 等压面上河套北部出现低涡,02 时以后低涡明显东移、发展,04 时以后低涡前部偏南风加大,出现大风速急流区,05 时以后低涡前部的暖性切变线开始影响本市。与此同时,随着低涡系统的不断东移,11 时以后其前部的偏南风转成东南风。14—16 时低涡移到北京附近(图略),17 时以后从北京南部移出。

700 hPa 模拟结果显示,700 hPa 等压面 3 日 04 时以前北京上游为西北气流,04 时上游小槽东移、发展影响北京,3 日 20 时移过北京。

数值模拟结果表明:强降雪开始时间与 850 hPa 转西南风后上游对流层中下层 850、700 hPa 的低涡系统强烈发展、东移有关,850 hPa 低涡前部西南风加大,出现急流有关,且低涡前部有暖切变出现与最大降雪时间 3 日凌晨 04—05 时相对应,700 hPa 低涡移出后,降雪逐渐停止。

2.2.4 物理量分布特征

(1) 水汽条件

水汽是冬季降雪的必要条件。华北冬季降雪的水汽通道主要有两条,一是对流层的低层西南暖湿气流的远距离输送,二是黄海、渤海附近的边界层偏东气流的近距离输送。北京地处半干旱地区,冬季降雪量小的主要原因是空气中水汽含量少。西南暖湿气流含水量大,温度较高,容易产生大雪、暴雪;偏东气流(回流天气型)主要出现在低层。此次降雪过程的水汽输送条件如何、近地层东风起什么作用等问题需要进行深入分析。

BJ-RUC 垂直方向为 38 层,边界层(900 hPa 以下)为 13 层,能够较细致地描述低空大气复杂结构,反映低层大气的水汽垂直分布及变化特征。首先利用数值模式输出的地面比湿 Q 场分析大气水汽条件。沿 39°N 做比湿 Q 的纬向垂直剖面图(见图 7),

分析大气水汽的垂直分布情况与降雪出现、维持和结束时间变化关系,得出:2 日 16 时以前 $115^{\circ}\sim 117^{\circ}\text{E}$ 附近湿度大值区位于 1000 m 以下(图 7a),进一步说明从东北南下的低层回流冷空气的湿度较大(该段时间北京部分地区出现了一些小雪天气)。2 日 20 时以后(见图 7b)低层湿层变薄,与此同时上游(113°E 以西)对流层中低层 850~700 hPa 出现的另一大湿度层(与上游低涡系统前部西南气流东移输送的暖湿空气相对应)逐渐东移;3 日 01 时 $Q\geq 1.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 移过 114°E 后降雪开始(见图 7c),02 时 $Q\geq 1.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 移过 115°E ,湿层增厚、湿度值增大。07 时 39°N 、 $116\sim 117^{\circ}\text{E}$ 范围内上空 600 hPa

以下为较深厚的湿层,西部上游存在一个高湿度中心(图 7d),较深厚湿层长时间维持;3 日 11 时以后以后 850~700 hPa 湿度中心到达本站上空一直维持到 3 日 17 时以后,图 7e 为 3 日 15 时情况,18 时以后 850~700 hPa 大湿度层消失,湿度层厚度降低(见图 7f),降雪逐渐减小。

以上分析说明:与回流冷空气相配合低层湿度较大,位于 900 hPa(行星边界层 1000 m)以下。上游 850~700 hPa 低涡系统前部西南暖湿气流的大尺度水汽输送是产生较强降雪的主要条件,上游 850~700 hPa 大湿度区移近与强降雪开始和结束时间密切相关。降雪前期和降雪期间的低层回流冷

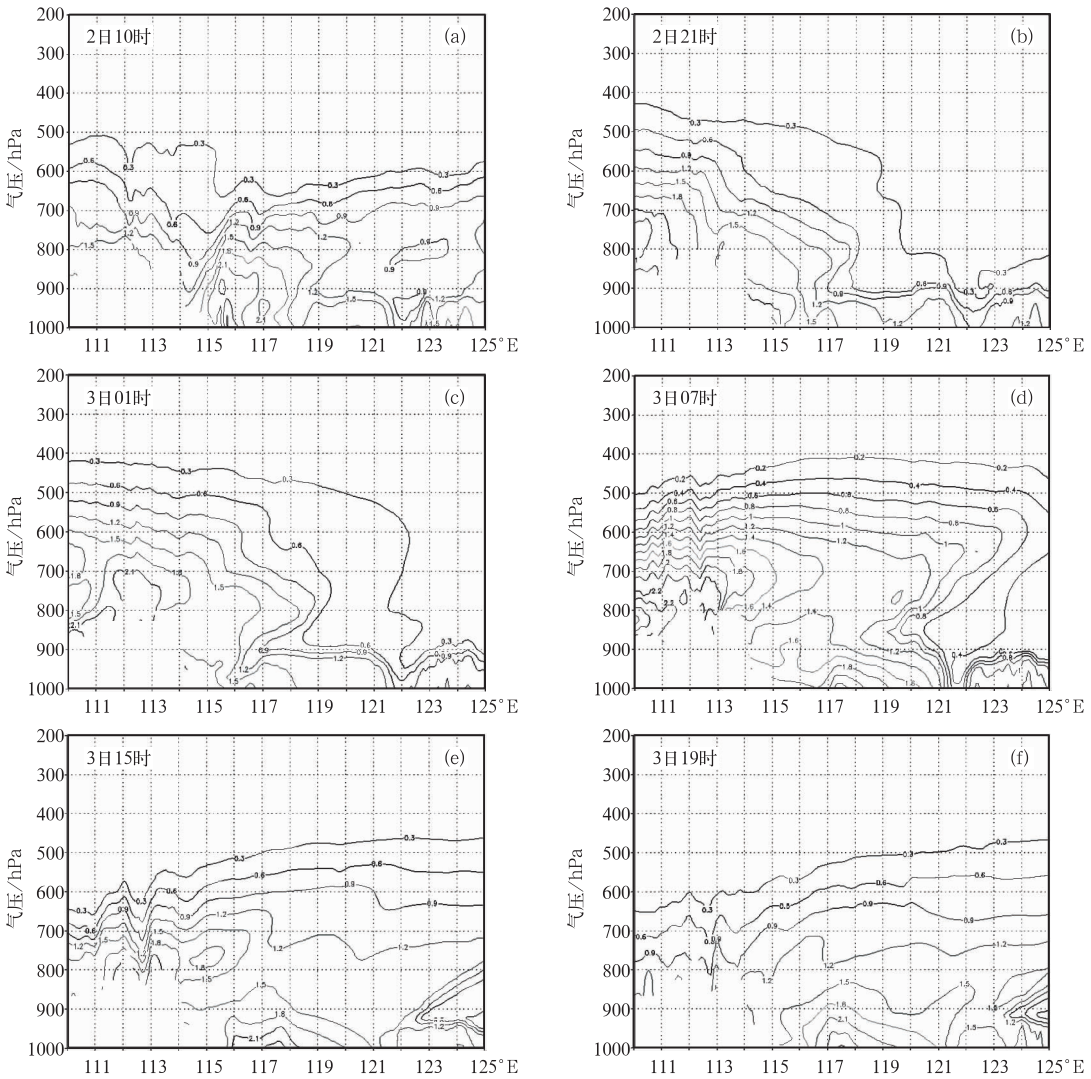


图 7 BJ-RUC 输出 2010 年 1 月 2—3 日比湿 Q 沿 39°N 纬度垂直剖面
Fig. 7 Vertical cross-sections of specific humidity Q along 39°N simulated by BJ-RUC model at (a) 10:00 BT 2, (b) 21:00 BT 2, (c) 01:00 BT 3, (d) 07:00 BT 3, (e) 15:00 BT 3, and (f) 19:00 BT 3 January 2010

空气使低层长时间维持较大湿度并与其上层东移的大湿度区相结合,增加湿层厚度,有利于降雪持续而形成较强降雪。在降雪过程中,水汽主要集中在对流层中低层 600 hPa 以下。

(2) 垂直运动条件

分析 BJ-RUC 输出的 u 、 w 合成风沿 39°N 纬度剖面图可以看出,2 日 18 时以前 900 hPa 以下为明

显的伸至 115°E 以西的偏东风(117°E 以东为下沉气流)受到西部地形阻挡后,因动力抬升作用在低层 800 hPa 以下(在 115~116°E 附近)产生上升气流(图 8a)。2 日 24 时以后(降雪开始)西部上游低值系统前部上升气流移近,与低层回流东风受到西部地形阻挡后产生的上升气流汇合形成深厚的(从地面达到 300 hPa)、大范围上升运动,并与东部下

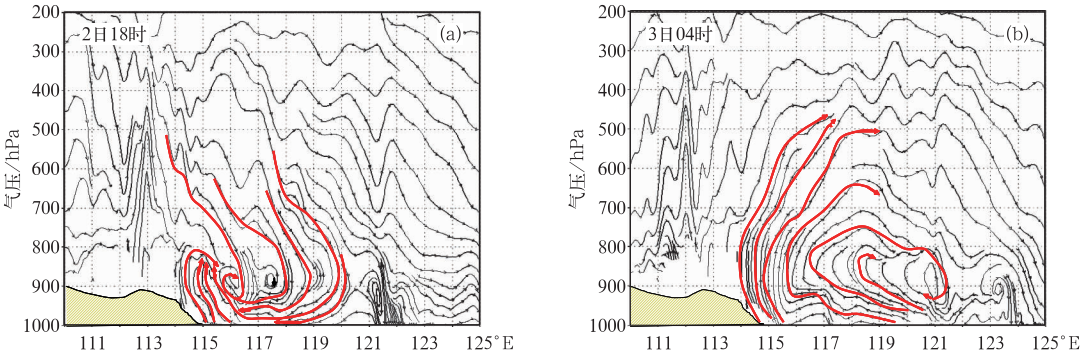


图 8 BJ-RUC 输出的 u 、 w 合成风沿 39°N 纬度剖面图
(a) 1 月 2 日 18 时(降雪前), (b) 1 月 3 日 04 时(降雪最强时段)

Fig. 8 Vertical cross-sections of u - w wind fields along 39°N simulated by BJ-RUC model at (a) 18:00 BT 2 January 2010 (before heavy snow), and (b) 04:00 BT 3 January 2010 (in the moment of heavy snow)

显气流形成了一个正环流圈(图 8b),并一直维持到 3 日 16 时以后,然后逐渐东移,该时段出现持续性明显降雪。

以上分析说明:降雪之前低层回流偏东风遇到地形后引起垂直运动主要在低层 800 hPa 以下,所产生的降雪量不大,而上游低涡系统发展东移其前部的上升运动与回流冷空气受到西部地形阻挡后产生的上升气流汇合形成深厚的、大范围的、强烈上升运动是产生明显降雪的关键性条件。

(3) 各层风向风速变化特征

分析 BJ-RUC 输出的地面风向风速时间变化特征,北京观象台附近地面格点(40°N、116°E)为一致的偏东风。其中,在 3 日 07 时之前地面为东南风,3 日 07 时之后转为东北风,风速不大,3 日 09 时以后地面偏东风风速有所加大。分析 BJ-RUC 输出的 850~700 hPa 的风 v 分量与降水量的时间变化关系图(图 9)可以看出,2 日 19 时(北京时)以后 850 hPa 转南风,风速逐渐加大。随后 3 日 00 时以后 700 hPa 转南风,明显降雪开始。说明地面长时间维持偏东风,明显降雪与 700 hPa 转南风、850 hPa

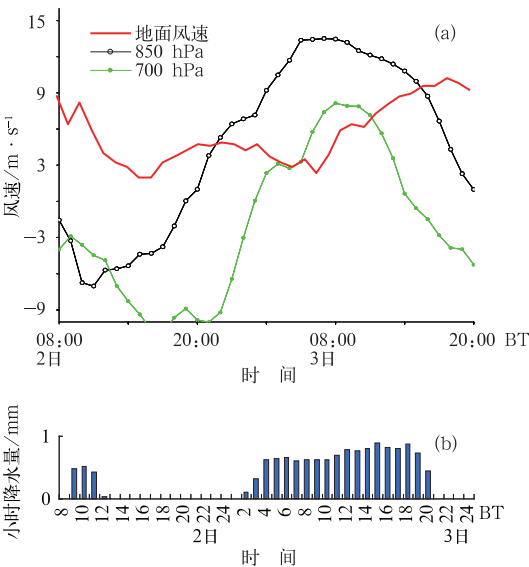


图 9 BJ-RUC 输出的 2010 年 1 月 2—3 日地面风速(粗线)、850 hPa(圈线)、700 hPa(点线)风 v 分量(a)和降水量(b)时间变化图

Fig. 9 The time series of the simulated surface wind (a) (thick lines), v component of wind at 850 hPa (circle lines), v component of wind at 700 hPa (dot lines) by BJ-RUC, and actual precipitation (b, histogram)

偏南风的加大($6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)有密切关系。3 日 12 时以后 850 hPa 南风逐渐减小,18 时以后 700 hPa 转北风,21 时以后 850 hPa 南风小于 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,降雪逐渐停止。

3 结 语

利用先进的基于 WRF-ARW 模式和 3DVar 资料同化方案的 3 h 快速更新循环同化中尺度数值预报系统(BJ-RUC)对 2010 年 1 月 2—3 日典型回流暴雪天气开展数值模拟研究。模拟结果说明模式对此次典型回流过程中近地层冷空气活动、中低层低值系统的生成、发展模拟较好。对大尺度天气系统形势有预报能力,850、700 hPa 的风场、等温线、等位势高度线,以及上游低涡、高压脊线位置的预报与实况较吻合,对高压脊强度预报偏弱、位置偏西(移动偏慢)。对北京北部降雪大值区模拟较好,特别是怀柔附近的降雪大值中心位置和量值与实况基本一致,但延庆附近降雪区位置偏南。

BJ-RUC 输出结果分析得出:强降雪开始时间与上游对流层中下层 850、700 hPa 的低涡系统明显发展、东移,700 hPa 转南风、850 hPa 低涡前部西南风加大等条件有关。

上游低涡系统前部西南暖湿气流空气相对应的大湿度区移近是产生较强降雪的重要条件。持续的低层回流冷空气湿度较大,对于低层大气起到水汽输送的作用。在降雪过程中,水汽主要集中在对流层中低层 600 hPa 以下。回流冷空气使低层大气维持长时间的水汽输送并与其上层东移的大湿度区相结合,增加湿层厚度,有利于降雪持续而形成较强降雪。

低层回流偏东风遇到地形后引起垂直运动主要在低层 800 hPa 以下,所产生的降雪量不大。与以往研究的“上游对流层中下层 850、700 hPa 系统前部的西南暖湿气流沿回流冷空气的‘冷垫’爬升”的结论不同,分析得出低层回流偏东风遇到地形后引起上升运动与上游 850~700 hPa 低涡系统发展东移其前部的上升运动汇合形成的大范围、深厚强烈的上升运动达 300 hPa 以上,是产生明显降雪的关键性条件。

降水开始时间、强度的变化与中低层开始转南风的时间、偏南风的风速大小关系密切,偏南风的风速大小往往与中低层系统的发展强度有关。

另外,通过对数值预报系统(BJ-RUC)模拟能力的评估说明模拟结果具有较高的预报参考性和实用价值,下一步需要进一步开展数值预报产品的解释应用研究,提高预报员应用数值预报产品的能力。

参考文献

- [1] 雷振发. 1977 年 10 月的一次大雪[J]. 气象, 1979, 9(9): 5-6.
- [2] 范永祥. 华北春季大雪与黄勃海强东风[J]. 气象, 1979, 9(9): 9-10.
- [3] 郭进修. 华北地区 1978 年的初雪[J]. 气象, 1980, 1(1): 14-15.
- [4] 马振峰. 一次大一暴雪过程的诊断分析[J]. 气象, 1988, 3(3): 20-24.
- [5] 王建中, 丁一汇. 一次华北强降雪过程的湿对称不稳定性研究[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 451-460.
- [6] 张迎新, 张守保. 华北回流天气的结构特征[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 107-113.
- [7] 张迎新, 侯瑞钦, 张守保. 回流暴雪过程的诊断分析和数值试验[J]. 气象, 2007, 33(9): 25-32.
- [8] 周雪松, 谈哲敏. 华北回流暴雪发展机理个例研究[J]. 气象, 2008, 34(1): 18-26.
- [9] 仪清菊, 刘延英, 许晨海. 北京 1980—1994 年降雪的天气气候分析[J]. 应用气象学报, 1999, 10(2): 249-254.
- [10] 王迎春, 钱婷婷, 郑永光. 北京连续降雪过程分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(1): 58-65.
- [11] 赵思雄, 孙建华, 陈红, 等. 北京“12. 7”降雪过程的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 7-21.
- [12] 孙继松, 梁丰, 陈敏, 等. 北京地区一次小雪天气过程造成路面交通严重受阻的成因分析[J]. 2003, 大气科学, 27(6): 1057-1066.
- [13] 孙建华, 赵思雄. 华北地区“12. 7”降雪过程的数值模拟研究[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(4): 387-401.
- [14] 范水勇, 陈敏, 仲跻芹, 等. 北京地区高分辨率快速循环同化预报系统性能检验和评估[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(2): 119-125.
- [15] 尤凤春, 魏东, 王雨. 北京奥运期间多模式降水检验及集成试验[J]. 气象, 2009, 35(11): 3-8.
- [16] 范水勇, 郭永润, 陈敏, 等. 高分辨率 WRF 三维变分同化在北京地区降水预报中的应用[J]. 高原气象, 2008, 27(6): 1181-1188.
- [17] 魏东, 尤凤春, 范水勇, 等. 北京快速更新循环预报系统 BJ-RUC 模式探空质量评估分析[J]. 气象, 2010, 36(8): 72-80.
- [18] 魏东, 孙继松, 雷蕾, 等. 三种探空资料在各类强对流天气中的应用对比分析[J]. 气象, 2011, 37(4): 412-422.