

王丽荣,刘黎平,王立荣,等. 2013. “09. 11. 10”石家庄特大暴雪中尺度风场分析. 气象, 39(8):1023-1030.

“09. 11. 10”石家庄特大暴雪中尺度风场分析^{*}

王丽荣¹ 刘黎平² 王立荣³ 曹春莉³

1 河北省廊坊市气象局,廊坊 065000

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081

3 河北省石家庄市气象局,石家庄 050081

提 要: 利用常规观测、雷达资料以及四维变分方法反演的风场资料,对2009年11月10—12日石家庄特大暴雪过程的形势场和中尺度风场结构进行了详细分析。从影响系统来看,此次特大暴雪过程分为两个阶段:回流降雪和西来槽降雪。回流降雪是特大暴雪的主要时段,此阶段西部山区降雪明显大于东部平原;而西来槽降雪阶段全区降雪比较均匀。由雷达反射率因子和径向速度可见:10日降雪具有对流性质,而且回波不断地自西部山区向石家庄市移动,产生“列车效应”,造成市区及西部降雪强度较大;11—12日回波强度弱,降雪强度也较弱。分析雷达四维变分反演风场得到如下结论:(1)反演风场能够准确展现东风影响的时间和高度、西来槽影响的始末,对预报员定性外推降雪的程度起到非常好的参考作用。(2)低层水平反演风场上,存在一个比较窄的东风带,回波沿东风带自西向东移动,石家庄市处于北到东北风的“回流墙”附近,东移回波在此堆积,移速减慢,影响时间较长;同时,市区附近存在风向性和风速性辐合,致使回波在石家庄附近加强或维持。(3)反演风场垂直剖面图上,东风回流降雪阶段,低层东风区上空存在一个“反气旋”,强回波位于“反气旋”所包围的范围。

关键词: 回流暴雪,多普勒雷达,中尺度风场

中图分类号: P412,P445

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.08.009

Analysis on Mesoscale Wind Field of “09. 11. 10” Blizzard in Shijiazhuang

WANG Lirong¹ LIU Liping² WANG Lirong³ CAO Chunli³

1 Langfang Meteorological Office of Hebei, Langfang 065000

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Shijiazhuang Meteorological Office of Hebei, Shijiazhuang 050081

Abstract: The situation and mesoscale wind field of the blizzard that occurred from 10 to 12 November 2009 in Shijiazhuang are analyzed in detail by using the conventional observation, radar and 4D VAR inversion wind field data. This snowstorm can be divided into two phases according to the influence system: backflow and west-trough snowfall. The backflow snowfall is the main period when the snowfall in the western mountains is obviously heavier than in the eastern plains. In comparison, the west-trough snowfall is more uniform in the whole region. It can be seen from the radar reflectivity factor and radial velocity on 10 November that the echoes have convective characteristics, continuously moving towards Shijiazhuang from the western mountain, generating the “train effect” and causing the intensive snow in the urban and western areas. From 11 to 12, the intensity of snowfall is abated along with echoes weakening. On the basis of the 4D VAR inversion wind field, the following results are obtained: (1) The retrieval wind field can accurately demonstrate the time and height of east wind, and the whole influence process of west-trough, which is a good reference for forecasters to extrapolate the intensity of snowfall qualitatively. (2) There is a narrow east wind band in low-level retrieval horizontal wind field, and the echoes move from west to east along the

* 国家自然科学基金项目(40975013)和河北省自然科学基金项目(D2008001282)共同资助

2012年4月1日收稿; 2012年7月18日收修定稿

第一作者:王丽荣,主要从事多普勒雷达资料分析与应用研究. Email: wlr_wzy@163.com

east wind band. The urban area of Shijiazhang is influenced for a long time due to its location near the north-northeast “backflow wall” where the echoes are slowed down and piled up. Meanwhile, the echoes are strengthened or maintained around Shijiazhuang since there exist wind-direction and wind-speed convergences. (3) In the vertical profile of retrieval wind field, there is an “anticyclone” over the low-level east wind during the backflow snowfall period, and the strong echoes are located in the “anticyclone” zone.

Key words: backflow snowstorm, Doppler radar, mesoscale wind field

引 言

暴雪是我国北方主要气象灾害之一,随着社会经济的快速发展,暴雪所造成的损失不断扩大。2004年12月下旬,我国中东部地区及新疆等地出现大范围雨雪天气,降雪量大,浙江、江西、湖南及内蒙古等省区部分地区出现雪灾。据不完全统计,雪灾造成受灾人口500多万,直接经济损失约416亿元(何勇,2004)。由于雪的特殊物理性质,有时候小小的一场雪就会使整个城市陷入瘫痪状态,例如2001年12月7日24h北京只降了1.8mm的小雪,但是由于发生在北京这样的大都市,而且正值周末下班车流高峰期,加之地面温度很低,雪融化后在路面结冰,造成北京市交通阻塞达数小时,影响十分严重(赵思雄等,2002)。一场小雪都能引起这么大的灾害,暴雪就更加不容忽视。在我国北方冬半年,暴雪往往会致使整个城市交通陷入瘫痪状况,因此准确地预报降雪,已经成为一个重要的科学问题。

据统计,华北冬、春、秋三季的降水过程近三成与回流有关。华北回流造成的天气变化非常复杂,有时只是天空云量增多、有时出现小雨雪、有时却带来大的降水,造成比较严重的灾害,此形势经常使预报员出现失误。因此,华北地区的预报员对回流天气非常重视,做了许多研究工作。仪清菊等(1999)利用15a的资料,分析了北京降雪的天气气候特点,回流降雪占到28.9%。王迎春等(2004)研究了回流降雪的垂直剖面特征。孙继松等(2003)研究了引发北京交通堵塞的2001年12月7日回流降雪过程,分析了降雪产生的条件,并找出一些预报失误的原因。张迎新等(2009)、张守保等(2008a;2009)和苏德斌等(2012)分析了华北回流的天气形势、水汽源地和结构特征等,构造出华北回流天气的多尺度系统的水平和垂直结构模型。

目前国内对回流降雪的研究工作集中在天气形势分析和中尺度动力过程的数值模拟,侧重研究暴

雪的大尺度系统以及中尺度系统的发生、发展和演变过程。然而,暴雪属于中小尺度的天气现象,一般的常规探测资料难以了解它的结构和演变,6min一次的多普勒天气雷达资料为跟踪暴雪生消、发展提供了更为详尽的信息,利用雷达资料研究暴雪内部的风场结构成为可能。

苏德斌等(2012)和宋清芝等(2011)利用多普勒雷达强度和径向速度资料分别对北京和河南的回流暴雪伴雷电过程进行了分析。张守保等(2008b)通过4次回流降水过程分析总结了华北回流天气过程中的雷达反射率因子分布和径向速度演变特征。但以上分析研究还是不足以解释“为什么同样处于华北回流的天气形势中,降雪强度却差别非常大”这个问题。本文以2009年11月10—12日石家庄特大暴雪天气(简称“09.11.10”暴雪)为例,利用多普勒雷达四维变分(4DVAR)反演风场资料,研究了华北回流形势下中低层中小尺度风场的特征,试图找到产生上述问题的原因。

1 天气背景和回波演变

1.1 降雪实况

2009年11月10日早晨至12日上午石家庄出现特大暴雪天气,此次过程是石家庄自1955年有气象记录以来下雪时间最早、雪量最大、持续时间最长、来势最猛的暴雪。从河北省降雪量分布来看,石家庄雪量最大,而且过程降雪量西部山区大于东部平原,石家庄市最大为93.5mm(图1a)。降雪期间,每日06—22时进行逐时降雪加密观测,图1b给出了石家庄市区和辛集两站在加密观测时段逐时降雪量变化,两站相距70.5km,分别代表西部山区和东部平原。由图1b可以看出,此次暴雪过程分为两个阶段:10日早晨到11日下午,12日早晨到上午,11日夜间断降雪出现间歇。第一阶段石家庄市降雪强度明显强于辛集;第二阶段两站降雪强度相当。

暴雪给农业生产带来不利影响,蔬菜生产受灾严重。据各县(市)区统计,全市 21797 个蔬菜棚室不同程度受损,15.18 万亩(1 亩 \approx 666.7 m²)露地菜受灾,直接经济损失超过 3 亿元。

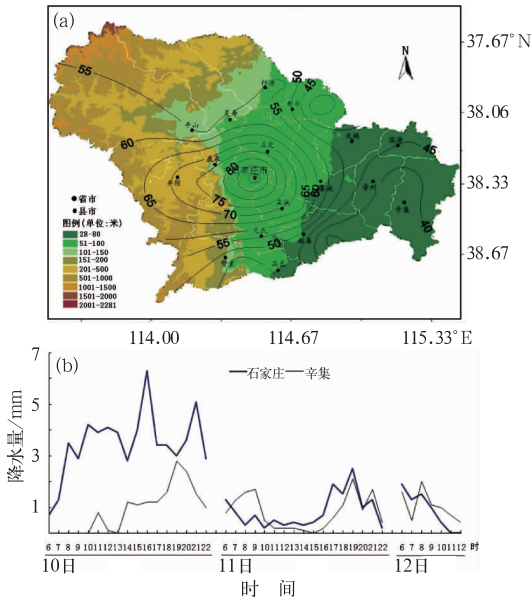


图 1 2009 年 11 月 10—12 日降雪量
(a)过程雪量, (b)石家庄和辛集站
加密观测时段逐时降雪量

Fig. 1 The snowfall in 10—12 November 2009
(a) total snow, (b) densely-observed hourly
snowfall at Shijiazhuang and Xinji Stations

1.2 天气形势背景

暴雪过程开始前,11月8—9日欧亚维持一槽一脊形势,高压脊位于乌拉尔山到贝加尔湖西部,脊前贝加尔湖及以东地区有一低槽,40°~50°N 范围内为平直锋区。850 hPa 和地面上,贝加尔湖地区为冷高压,在 40°N 以北受西风带系统影响,以东移为主,9 日夜间高压前沿移至东北平原,开始转向南压,在华北地区形成北高南低的形势。在这种天气形势下,冷空气从渤海回流影响河北省的中南部地区,成为典型的回流天气,10 日白天到夜间形势稳定维持,造成石家庄的暴雪。10—11 日,700 hPa 石家庄、保定及沧州地区维持暖切变线(图 2)。11 日下午到前半夜,随着东北风和暖切变的减弱,降雪出现间歇。11 日夜间地面高压东移,高原槽也东移,受其影响,12 日早晨到上午石家庄再次降雪,但强度远远小于回流时段。12 日上午,随着冷高压南下控制石家庄地区,降雪结束。

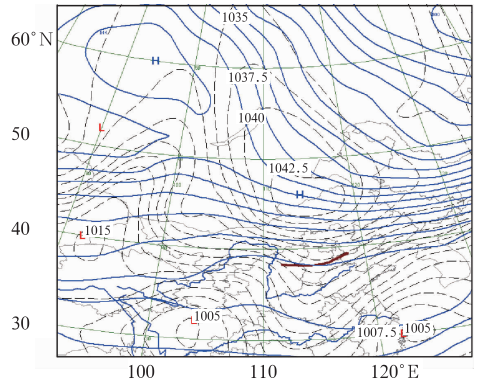


图 2 2009 年 11 月 10 日 08 时(北京时,下同) 500 hPa 高度和地面气压场
(实线:500 hPa 等高线,虚线:地面等压线,粗短线:700 hPa 暖切变线)

Fig. 2 The 500 hPa height and surface pressure field at 08:00 BT
10 November 2009
(solid line: 500 hPa contour, dotted line: surface sobar, thick short-line: 700 hPa warm shear line)

1.3 回波演变

2009 年 11 月 10 日 05 时(图略),降水回波进入石家庄西部地区,回波成片并逐渐东移,片状回波中夹杂着强回波单体;10 日上午(图 3a),最大反射率因子超过 45 dBz,回波强度如此之大,在华北降雪中极为少见;此段时间,对应的回波顶高达 6~8 km,说明降雪具有对流云降水的性质。10 日下午至前半夜(图 3b),回波强度略有减弱,但移动路径不变。强回波不断自西部山区移至石家庄市,减弱后经东北部县(市)移出,即回波在市区及西部山区产生“列车效应”,此阶段属东风回流降雪,回波不断在山前堆积,致使降雪强度增大。截止 21 时,市区降雪量为 56.1 mm,超过过程降雪量的一半,为此次特大暴雪的主要阶段。

10 日 21 时至 11 日 00 时(图 3c),反射率因子大多维持在 25 dBz 以下,降雪强度减弱。11 日 01—03 时(图 3d),沿白天的强回波带又有大于 30 dBz 的回波经过,造成降雪强度再次加大;06—21 时(图 3e),反射率因子大多维持在 15 dBz 以下,间或有 15~30 dBz 的回波自西向东移动,降雪维持,但降雪强度明显减小,这和形势场中地面高压南压,东风分量减小,回流减弱有关。11 日 21 时至 12 日 02 时,西部不再有回波进入,降雪暂时停止,第一阶段降雪结束。

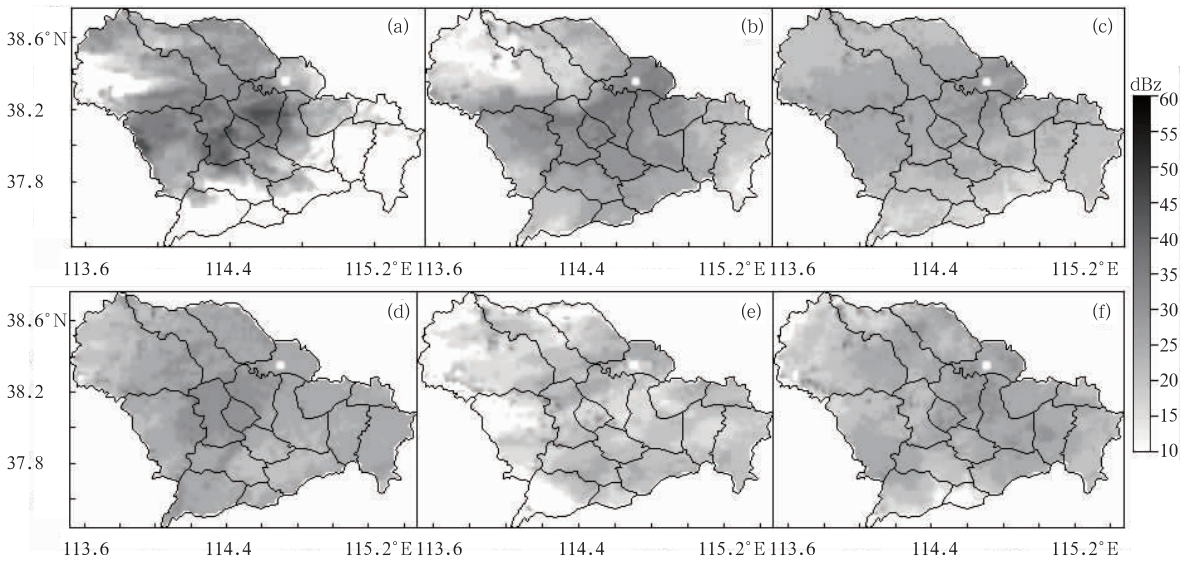


图 3 2009 年 11 月 10—12 日暴雪过程组合反射率因子演变图 (图中显示 10 dBz 以上的回波)
 (a)10 日 08:00, (b)10 日 16:00, (c)10 日 21:00, (d)11 日 02:00, (e)11 日 08:00, (f)12 日 08:00
 Fig. 3 The evolutional images of composite reflectivity factor (CR) in this snowstorm process
 (where in the echo over 10 dBz are shown) at (a) 08:00 BT, (b) 16:00 BT, (c) 21:00 BT on 10,
 and at (d) 02:00 BT, (e) 08:00 BT on 11, and at (f) 08:00 BT on 12 November 2009

12 日 03 时,第二阶段,也即西来槽降雪开始,回波自西南向东北区域扩展,影响整个石家庄地区,水平范围较大,回波成片状,分布比较均匀,强度大多在 25 dBz 以下(图 3f);10 时,随着回波移出,整个降雪过程结束。

2 回流降雪的中尺度结构和演变分析

2.1 径向速度特征

10 日上午,从 1.5° 仰角径向速度 PPI(图 4a)可以看出,在 50 km 的距离圈内,零速度线略呈“弓形”,弯向负速度区;同时,50 km 距离圈上,10~15 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正速度区范围大于相应级别负速度区的范围,说明存在弱的风向性辐散。50~100 km,负速度最大值超过 15 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,而正速度最大值在 10~15 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,说明此高度存在风速性辐合(王丽荣等,2007)。对照测高公式可知,1 km 以下的近地面层辐散,1~3 km 辐合,这与地面观测和探空资料的分析相吻合。

10 日中午开始,低层弱辐散、高层辐合维持,但零速度线走向发生变化,0.5 km 高度以下零速度线略呈反“S”型,其上为“S”型(图 4b),说明近地面层冷平流,中、上层暖平流。10 日白天上述现象一直

持续,致使西部山区降雪率维持在 $3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上(图 1b)。18 时前后,低层冷平流消失,中上层暖平流维持,降雪强度略有减弱。

由图 4a 和 4b 还可看出,10 日白天,100 km 以内(3 km 以下)为东到东北风,100 km 以外为西到西南风,出现近 180° 突转,存在风向的垂直切变。同时,在 60 km 距离圈上(1.5 km 高度附近),有 15 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速大值中心,即存在东北风低空急流,而且急流正好穿过石家庄上空。因此,强降雪集中在该阶段,与高低空急流和风垂直切变的存在有关。

2.2 中尺度风场特征

2.2.1 4DVAR 反演风场方法简介

4DVAR 反演风场由 Sun 等(1997)提出,采用 4DVAR 方法直接将多普勒雷达径向速度和反射率因子同化到三维云模式中,其基本思想是找出模式变量的最优初始场,使得模式输出结果在一定的时空域上与相应的观测结果尽可能接近,此时定义价值函数表征雷达资料与模式预报结果之间的差别,通过极小化价值函数得到反演场。云模式包含 6 个预报方程,它们是 3 个动量方程、热力方程、雨水方程和总水方程。“湿模式”就是加入云水和雨水等因子,同时考虑了动力和湿物理过程;而“干模式”是仅考虑动量方程和热力方程的纯动力过程。

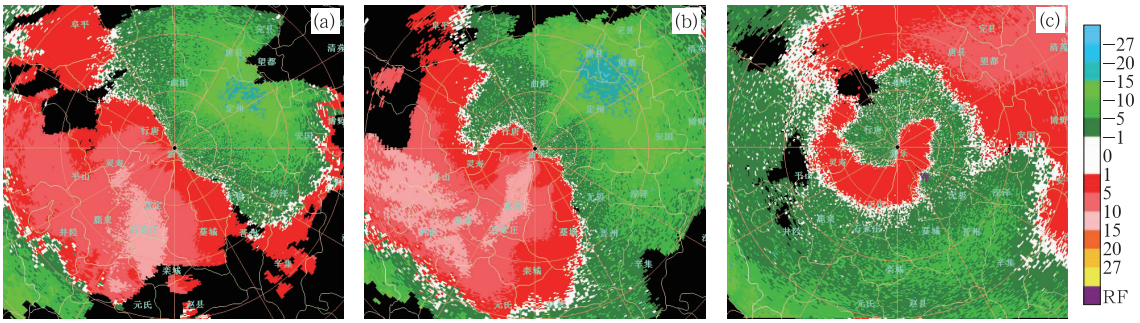


图 4 2009 年 11 月 10—12 日降雪期间 1.5°仰角径向速度 PPI,圈距 50 km
(a)10 日 09:54, (b)10 日 16:06, (c)12 日 07:00

Fig. 4 The radial velocity PPIs at 1.5° elevation during the snowfall in 10—12 November 2009
(a) 09:54 BT and (b) 16:06 BT 10 November, (c) 07:00 BT 12 November

本文利用 Sun 等(1997)研发,并经许小永等(2004)、牟荣等(2007)发展的四维变分(4DVAR)反演风场方法,对石家庄新乐(38.352°N、114.712°E)的 CINRAD/SA 雷达资料进行反演,研究暴雪内部风场的中小尺度特征。以雷达站位置为中心进行反演,垂直分辨率为 0.5 km,反演高度为 0.5~5 km(王丽荣等,2011)。水平反演风场图中纵、横坐标分别为距离雷达中心的南北、东西距离,离开雷达向北、向东为正,向南、向西为负。石家庄站在平面图中的坐标为(-25,-35)。

2.2.2 反演风场检验

从以下两方面对反演结果进行验证:

(1) 地面自动站风场与 1 km 高度雷达反演风场的对比。

图 5a 为 10 日 08 时反演区域地面风场实况,反

演区内有两种气流:自渤海湾吹向石家庄的东北气流和太行山区的东南气流;对应同时刻 1 km 高度雷达反演风场图 5b 看到:两种气流均得到明显的表现,说明 1 km 高度雷达反演风场与实况一致。另外,地面风场和径向速度 PPI 上(图 4)均存在风速辐合,同样,在 1 km 高度反演风场上东北风自东北向西南风速逐渐减小,也呈现风速辐合。

(2) 雷达径向速度显示的 4 km 高度上西南气流与同高度上反演风场对比。

由径向速度 PPI 图(图 4a)以及垂直风廓线产品(图略)可以看出,10 日 08 时 3 km 以上为一一致的西南风,4 km 高度达到 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。分析图 5c 反演的 3 km 高度风场同样可以看出: $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的西南气流贯通石家庄,表明反演中层风场与雷达径向速度反映的风场信息基本一致。

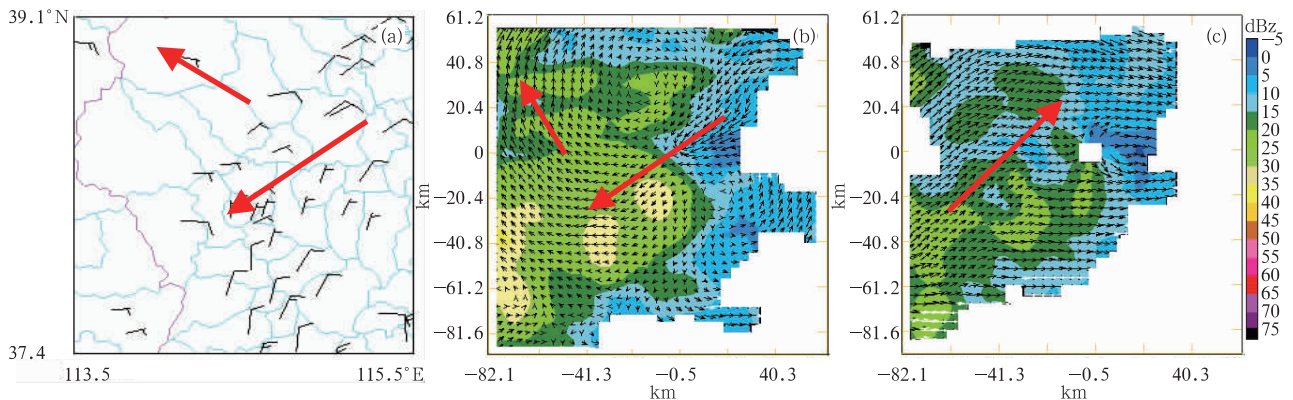


图 5 2009 年 11 月 10 日 08 时地面实况风场(a)及 1 km(b)和 3 km(c)高度反射率因子(填色)和反演风场(风矢量)
(粗箭头表示气流方向)

Fig. 5 (a) Observed surface wind field, (b) 1 km, and (c) 3 km height reflectivity factor (color) lapped over the retrieval wind field (wind vector) at 08:00 BT 10 November 2009
(the thick arrows indicate wind directions)

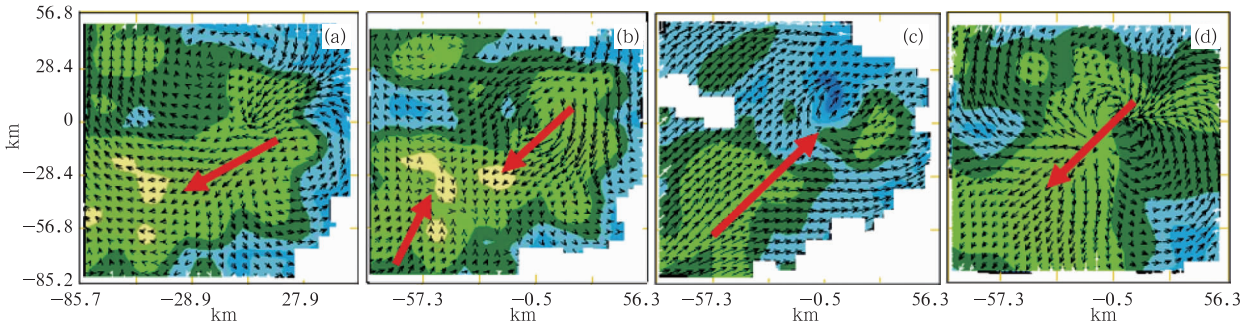


图 6 2009 年 11 月 10 日 09 时(a:1 km,b:2 km,c:4 km)和 15 时(d:1 km)反射率因子(填色)和反演风场(风矢量)
(粗箭头代表气流方向,回波强度色标同图 5)

Fig. 6 The images of reflectivity factor (color) lapped over retrieval wind field (wind vector) at 09:00 BT (a, b and c represent the height of 1, 2 and 4 km respectively) and at 15:00 BT (d: 1 km) on 10 November 2009
(the thick arrows indicate the wind directions)

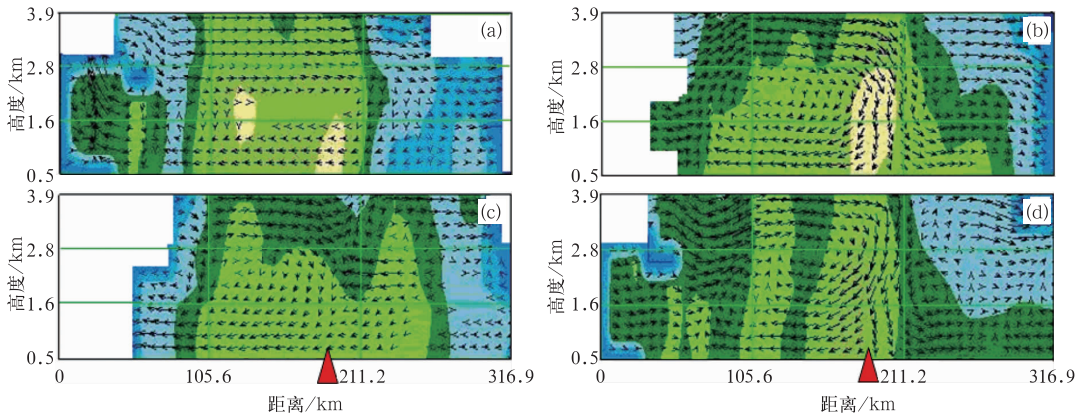


图 7 2009 年 11 月 10 日经过石家庄市自西向东反演风场的垂直剖面图
(a)08:00,(b)11:00,(c)13:00,(d)15:00
(三角所指为市区所在位置)

Fig. 7 The vertical profile of retrieval wind fields across Shijiazhuang from west to east
(a) 08:00 BT, (b) 11:00 BT, (c) 13:00 BT, (d) 15:00 BT on 10 November 2009
(the triangle shows the city location)

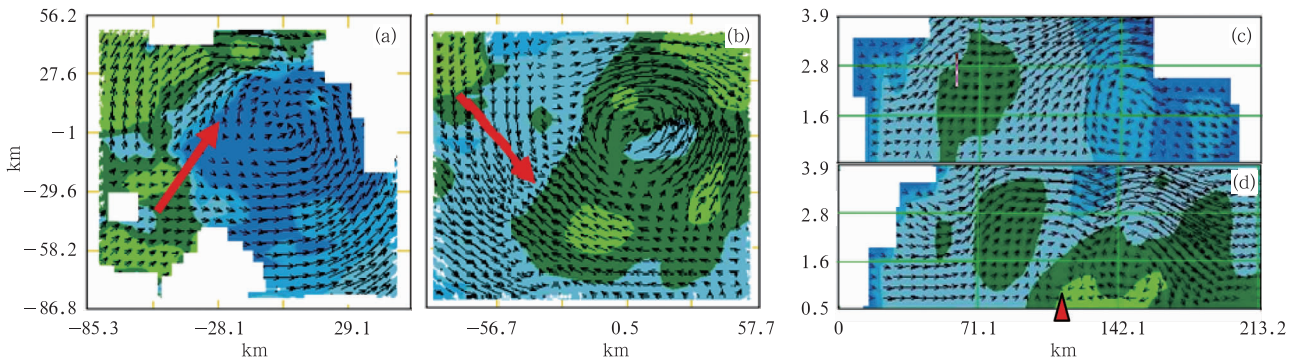


图 8 2009 年 11 月 12 日 1 km 高度水平反演风场(a:02:00;b:09:00;箭头代表气流方向)和
经过石家庄市自西向东反演风场的垂直剖面(c:05:00;d:08:00;三角所指为市区所在位置)

Fig. 8 The retrieval wind fields at (a) 02:00 BT, (b) 09:00 BT at the 1 km height, and the vertical profile
across Shijiazhuang from west to east at (c) 05:00 BT and (d) 08:00 BT on 12 November 2009
(the thick arrows indicate the wind directions and the triangle shows the city location)

2.2.3 水平风场

10日早晨,1 km及以下西部山区至市区存在一个南北区域比较窄的东风带,风速较小;沿东风气流,分布着多个强回波单体(图6a);2~3 km存在东北风和西南风的辐合(图6b),4~5 km为西南风(图6c)。风向随高度顺转,存在暖平流,有利于东风带上的降雪加强或维持。10日白天至11日上午,西部山区低层东风,高层西南风的配置一直维持(图6d)。在这样的风场配置之下,不断有回波自西部山区沿东风带东移,东风带上降雪强度较大;而东风带两侧回波较弱,降雪强度也较小。11日14时开始,东风风速减小,风向变的紊乱,16时开始转为西到西南风,第一阶段降雪告一段落。

2.2.4 垂直剖面

为了分析石家庄山区和平原降雪强度差异的原因,我们沿Y轴-35 km处(经石家庄市)自西向东做垂直剖面,如图7所示。

10日07—09时(图7a),0.5~1.5 km为东风,2 km以上为西风,中间为无风层,也即在垂直剖面图上表现为一个“反气旋”环流。东、西风的高度随时间推移逐渐抬升,而且“反气旋”西部北到东北风的范围逐渐向西推移,09时影响到石家庄市。此段时间,整层风速较小。10—11时(图7b),整层风速加强,无风层的范围非常小,尤其是“反气旋”东部的北到东北风加强幅度更大,此时石家庄市2 km以下为非常强的东北风,降雪强度较强。12—14时(图7c),东风强度减弱,对比图1可知,此时,降雪强度也略有减弱。15时(图7d),风场再度加强,石家庄上空东北风的高度达到3 km;“反气旋”西部的西南气流里,不断有新回波发展东移汇入到“反气旋”东部回波。14—21时,西部山区的井陉降雪强度维持在 $3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上,15和16时降雪强度达到 $4.6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,趋势同市区一致。21时开始,风场再度减弱,降雪强度也随之减弱。直至11日上午,石家庄始终处于东北风气流里,降雪一直持续,但强度较弱。

从回波的发展演变还可以看出,强回波位于“反气旋”所包围的范围,自“反气旋”东西边缘向外,回波强度逐渐减弱;在东北风较弱时,回波自西部山区发展后逐渐东移,当移至“反气旋”的东部边缘时,回波发展到最强,此位置就是石家庄市所在的位置。

2.2.5 石家庄市降雪极值原因分析

从地面逐时风场(图5a)来看,10日早晨,天津、

北京到石家庄一带在东北风控制之下;石家庄的风速小于周边的保定、衡水,存在风速辐合,有利于降雪的加强和维持。可见,东风回流和辐合是第一阶段降雪的主要原因。但是,单从风场分析不能找出石家庄市降雪量最大的原因。然而,通过对水平和垂直反演风场分析可以看出,反演风场能突出局地小系统的发展演变,此次降雪过程,发生在大范围东北风的背景下,中低层存在中小尺度的东风集中带,强降雪位于东风集中带附近:(1)从垂直剖面图(图7)看到,10日白天石家庄始终处于“反气旋”的前沿,也就是东北偏北气流的东部边缘,自西向东移动的回波移动至此受阻堆积,形成一面“回流墙”,造成降雪持续且强度较大。(2)水平风场上,石家庄上空2 km左右存在东北风和西南风的风向性辐合(图6b),致使回波在石家庄附近加强或维持。

通过对2004年7月11日和2005年9月20日两次回流降水过程反演风场(图略)的分析,同样可以发现“回流墙”的存在,以及“反气旋”和东风带上回波强的特征,只不过“反气旋”的高度有一定差别。因此,当出现华北回流天气时,根据水平风场中东风带的分布能够大致判断强降水的南北区域,根据垂直剖面图中“反气旋”和“回流墙”的位置大致判断强降水的东西分布,进而得到强降水的落区。

3 西风槽降雪的中尺度结构及其演变分析

12日早晨至上午属西来槽降雪阶段,由图4c看到,0.5 km高度以下西风,0.5~0.8 km为北风,0.8~1.2 km为东北风,1.2 km以上为南到西南风,风向随高度顺转,暖平流明显,造成12日早晨前后降雪强度略大。

图8给出了12日上午不同时间的水平反演风场和经过石家庄市自西向东反演风场的垂直剖面图。12日02时开始,石家庄西部山区有回波发展(图8a),并逐渐向东移动,强度变化不大,这也是此阶段降雪量山区和平原差别不大的原因。此时,高低层风场为西到西南风(图8c)。06时开始,西来槽东移,西北气流自西向东侵入石家庄地区,西北风风力加大(图8d)。09时(图8b),西部山区完全被北到西北气流控制,回波减弱,随着偏北风的向东扩散,降雪自西向东逐渐结束。

可见,连续反演风场图上,西来槽过境、冷空气

南压的全过程展现地非常清晰。由探空资料仅仅能够得到“12 日 08 时西来槽位于山西和河北交界处, 20 时完全移出石家庄地区”的信息, 不能确切地监测西来槽过境的详细情况; 而 4DVAR 反演风场使得预报员完全有能力跟踪西风槽移过石家庄的整个过程。

4 结论与讨论

本文首先简要分析了石家庄“09. 11. 10”特大暴雪过程的形势场背景、多普勒雷达反射率因子和径向速度产品特征, 然后利用 4DVAR 雷达反演风场资料研究了暴雪内部的中尺度风场结构, 得到如下结论:

(1) 此次特大暴雪过程分为两个阶段: 回流降雪和西来槽降雪, 回流降雪是主要降雪时段。

(2) 4DVAR 反演风场能够准确展现东风影响始末以及西来槽影响的全过程, 对预报员定性外推降雪的强度起到非常好的参考作用。相比于每天两次的探空资料, 反演风场有无可比拟的优越性。

(3) 偏东风是造成第一阶段石家庄西部山区降雪明显强于东部地区的主要原因。从低层水平反演风场看出, 回波沿东风带东移, 离开东风带中心南北两侧越远, 回波强度越弱。从反演风场垂直剖面可知, 东风回流降雪阶段存在一个“反气旋”, 强回波位于“反气旋”所包围的范围。此次过程, “反气旋”与石家庄西部山区及市区所在的位置相对应。

(4) 石家庄市降雪量之所以最大, 是由于市区处于北到东北风东部边缘的“回流墙”附近, 使得自西向东移动的回波在此堆积, 移速减慢, 影响时间较长; 同时, 市区附近存在风向性和风速性辐合, 致使回波加强或维持。

参考文献

- 何勇. 2004. 全国冷暖变化显著部分地区发生雪灾. 气象, 31(3): 94-95.
- 牟容, 刘黎平, 许小永, 等. 2007. 四维变分方法反演低层风场能力研究. 气象, 33(1): 11-18.
- 宋清芝, 孙景兰, 吕晓娜. 2011. 河南省一次暴雪伴雷电天气的形成机理. 气象, 37(5): 583-589.
- 苏德斌, 焦热光, 吕达仁. 2012. 一次带有雷电现象的冬季雪暴中尺度探测分析. 气象, 38(2): 204-209.
- 孙继松, 梁丰, 陈敏, 等. 2003. 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. 大气科学, 27(6): 1057-1066.
- 王丽荣, 胡志群, 汤达章, 等. 2007. 多普勒雷达径向速度资料在对流天气预报中的应用. 气象科学, 27(6): 695-701.
- 王丽荣, 刘黎平, 王立荣, 等. 2011. 一次局地短时大暴雨的 γ 中尺度分析. 高原气象, 30(1): 217-225.
- 王迎春, 钱婷婷, 郑永光. 2004. 北京连续降雪过程分析. 应用气象学报, 15(1): 58-65.
- 许小永, 郑国光, 刘黎平. 2004. 多普勒雷达资料 4DVAR 同化反演的模拟研究. 气象学报, 62(4): 410-422.
- 仪清菊, 刘延英, 许晨海. 1999. 北京 1980—1994 年降雪的天气气候分析. 应用气象学报, 10(2): 249-254.
- 张守保. 2009. 华北回流天气的多尺度结构特征. 南京信息工程大学博士论文.
- 张守保, 张迎新, 杜青文, 等. 2008a. 华北平原回流天气综合形势特征分析. 气象科技, 36(1): 25-30.
- 张守保, 张迎新, 王福侠, 等. 2008b. 华北回流天气多普勒雷达径向速度分布特征. 气象, 34(2): 33-37.
- 张迎新, 张守保, 郭品文. 2009. 华北回流强降水天气过程的中尺度分析. 高原气象, 28(5): 1067-1074.
- 赵思雄, 孙建华, 陈红, 等. 2002. 北京“12·7”降雪过程的分析研究. 气候与环境研究, 7(1): 7-21.
- Sun J, Crook A. 1997. Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint, Part I: Model development and simulated data experiments. J Atmos Sci, 54(12): 1642-1661.