

郭锐,张琳娜,李靖,等. 2010 年冬季北京初雪预报难点分析[J]. 气象,2012,38(7):858-867.

## 2010 年冬季北京初雪预报难点分析<sup>\*</sup>

郭 锐 张琳娜 李 靖 王国荣 孙秀忠

北京市气象台,北京 100089

**提 要:** 北京地区非典型性降雪是预报中的难题,尤其是偏东风在弱降雪过程中的作用难以把握。本文利用常规观测资料与北京地区特种观测资料,对北京 2010 年冬季(2010 年 12 月至 2011 年 2 月)空报的初雪个例和实际初雪个例进行了诊断分析,得出了一些有意义的结果:偏东风的干湿性质取决于东部上游地区的干湿条件。当上游为干中心时,它是一支干平流。12 月 12 日夜间的降雪空报是由于尽管中低层上升运动显著,但是边界层湿度太小,偏东风实际为一支干平流,对北京地区增湿没有明显贡献。北部干冷空气的快速南下控制北京地区,也是预报出现偏差的重要原因。2 月 9 日初雪过程,是边界层高湿区中,弱的辐合上升运动作用下产生的稳定性降雪。对比发现边界层水汽条件在北京地区冬季降雪中非常重要。当边界层水汽条件差,即使中低层上升运动系统明显,也很难形成有效降水。而在边界层受充沛的暖湿气团控制并配合有弱辐合上升运动,即使中高层并无明显的辐合系统,也可产生明显降水。

**关键词:** 降雪, 偏东风, 边界层, 湿度

## Analysis of Forecast Difficulties for the First Snow of Beijing Area in 2010 Winter

GUO Rui ZHANG Linna LI Jing WANG Guorong SUN Xiuzhong

Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

**Abstract:** Atypical snowfall forecast is a complicated issue in Beijing area. It is especially difficult to determine the role played by the east wind in light snow process. Based on the conventional observation data and various intensive sounding data, two cases including a false snowfall prediction and a first snowfall process occurring in winter 2010 are analyzed. The analysis shows that: Wet or dry conditions for the east wind, depend mainly on the humidity of the upstream eastern region. When the upstream eastern region is dry, the east wind is dry, and thus could not provide moisture for Beijing. The cause for the false snowfall prediction is that the east wind is a dry advection which is unfavorable to humidification at night on December 12, 2010. Low humidity in the boundary layer is the main reason in spite of favorable vertical upward motion. The dry and cold airs in areas north of Beijing moving southwards rapidly and invading are the other major reason for the forecast deviation. Under the favorable condition of abundant water vapor in the boundary layer and weak convergence and ascending motion, a steady rainfall process occurred. The results show that moisture conditions in the boundary layer are very important for winter snowfall prediction. It is difficult to cause effective precipitation even with strong ascending motion in upper air but poor water vapor condition in the boundary layer. In fact, distinct precipitation may occur in case of warm and wet air mass and weak convergence and ascending motion in the boundary layer even without apparent convergence systems.

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006010)、北京市气象局气象科技研发专项(2010BMBKYZX10)和北京市气象局预报员创新团队建设共同资助

2011 年 8 月 4 日收稿; 2012 年 2 月 20 日收修定稿

第一作者: 郭锐,主要从事天气预报与分析研究工作. Email: chinagr@163.com

**Key words:** snowfall, east wind, boundary layer, atmospheric humidity

## 引言

北京地区冬季降雪的预报一直以来都是预报工作的难点,尤其是初雪的预报,受到各级政府部门和公众的广泛关注,无形中给预报员增添了一种压力。并且,随着近年来北京城市化进程的加快,以及社会经济快速发展与人民生活水平的提高,北京城市交通的容纳量已远远超出其负载量。降雪及其造成的道路结冰,无疑会给北京的交通带来巨大的影响,而且雪后的降温也会加重城市的供暖负荷<sup>[1-3]</sup>。因此,北京降雪天气的出现会引起政府、公众以及媒体的深度关注,也是我们冬季预报工作的重中之重。

2010年冬季,直到2011年2月9日,北京地区才落下了这个冬季的第一场雪,成为了近10年来初雪最晚的年份。以北京观象台为代表站统计,1951年至今,北京初雪平均出现日期为11月28日。近10年来,2008年初雪日期最晚,为12月10日。因此,2010年冬季的初雪何时才会出现,引起了社会各界的广泛关注,也是我们全体预报人员关注的重点。2010年入冬以来,冷空气活动频繁,但是都是以大风降温形式影响华北地区,一直没有出现有利于北京降雪的形势。仪清菊等<sup>[4]</sup>研究表明,北京地区有利于出现降雪的环流形势可概括为低槽(涡)型与中亚低槽东亚高后型两种类型,充沛的水汽和能量是北京降雪的必要条件。魏东等<sup>[5]</sup>研究归纳出北京地区出现降雪的有利条件为:对流层中层有辐合系统(低槽或低涡),槽(涡)前偏南暖湿气流较强,回流使近地面层盛行偏东风。扈忠慈<sup>[6]</sup>研究强调在回流形势下,回流冷空气与西来冷空气常常在河套地区形成华北锢囚,当锢囚锋东移时,坏天气往往在河套地区发展,并东移影响华北东部地区。北京地区的降雪区一般分布在槽前暖区中和地面倒槽与700 hPa槽之间。暖区中的降雪主要由槽前偏南暖湿气流沿近地面层回流冷垫爬升达到饱和后产生,而地面倒槽和高空槽则带来系统性降雪<sup>[5]</sup>。来自东北平原的低层冷空气虽然经渤海侵入华北平原,但仍然保持干冷气团的特性,在降水时起“冷垫”作用<sup>[7-11]</sup>。周雪松等<sup>[12]</sup>总结出动力锋生机制是华北回流暴雪中对流层低层偏东风超低空急流形成的重要原因,其产生的锋面次级环流是华北回流暴雪的启动机制和主要中尺度系统。

尽管对北京地区的降雪进行了较多的研究,可以大体建立起北京地区出现降雪天气的基本概念模型。但是,对于非典型过程降雪、弱降雪过程的分析研究仍比较薄弱,对于偏东风在没有明显高空系统相配合下产生降雪的机制研究还甚少,因此常会在实际业务工作中带来一些空报和漏报问题。2010年12月12日北京地区的初雪空报到2011年2月9日实际初雪的出现,气象预报工作者承受了巨大的压力。因此,有必要对北京地区降雪预报问题进行更加深入的研究,尤其是预报失误和预报出现偏差的个例研究。本文利用常规实况探空资料(08和20时)、地面逐3小时观测资料,以及北京地区自动站逐小时观测资料、微波辐射计资料、垂直风廓线资料,针对2010年12月12日空报北京初雪的原因进行了诊断分析,并对2011年2月9日北京初雪成因展开了深入研究,力求找出偏东风在北京降雪中具体影响机制、作用,为提高对北京地区降雪天气的认识,做出准确预报提供着眼点和依据。

## 1 初雪空报个例诊断分析

### 1.1 降雪过程预报情况

受蒙古东部南下的一股较强冷空气影响,北京市气象台从2010年12月9日起,预报12日将会出现北京今冬首场降雪。从9日17时开始,预报12日白天北部地区有小雪;11日17时,预报调整为12日阴转零星小雪,北部有小雪,将降雪范围扩大为全市性降雪。尽管量级较小,但是对于北部地区的小雪天气仍维持原先预报。此后,12日的4次预报均维持全市性降雪预报。12日夜间23时,预报出现降雪的24小时时段已过去大半,但是仍然没有露出一丝降雪的迹象。最后临近6小时预报仍然坚持后半夜部分地区有零星小雪。虽然已经将降雪范围缩小到了部分地区,但是预报员仍然考虑会有降雪的出现。因此,可以看出,这次过程从72小时预报到6小时预报,自始至终预报员都坚信会有降雪出现。但是,最后6个小时,仍然是没有飘落一点雪花。

### 1.2 降雪预报有利条件分析

前人大量研究工作已经表明<sup>[5-9]</sup>,低层偏东风对北京地区降雪有很大的影响。偏东风对北京地区降

水的影响主要体现在:东北地区南下的较强冷空气在北京地区造成锋区降雪,低层偏东风对北京地区的水汽输送作用,北京地区西高东低的特殊地形对偏东风的抬升作用。因此,在北京地区冬季,预报偏东风,进而预报降雪一直是预报员关注的重点。

在对 12 月 12 日的过程预报中,多家数值模式均预报高空 500 hPa 北京受偏西气流控制;700 和 850 hPa 有高空槽过境;从海平面气压场预报来看,北京的东北部为高压控制,北京本市等压线呈现弱的气旋性曲率,这种情况下,北京将受偏东风影响。冬季降雪对于低层,尤其是 3 km 以下的辐合抬升条件与水汽条件要求较高。通过对连续 3 天多家数值模式预报场的分析,可以看出,低层的辐合动力抬升和湿度条件均比较理想,其中对于预报降雪最有利的条件有下面两点:(1)850 hPa 的锋区和切变线;(2)地面偏东风。

#### 1.2.1 850 hPa 的锋区和切变线分析

由图 1a 可以看出,12 日 20 时,850 hPa 在北京

附近有一条明显的东北—西南向切变线,并且从等温线的分布情况来看,在北京北部有显著的等温线密集带,可以判断在 20 时前后,高空锋区刚好南压到北京北部。因此,预计在 12 日 20 时前后,受 850 hPa 切变线与高空锋区南压的共同作用,北京地区上空将会形成良好的动力抬升条件。

#### 1.2.2 地面偏东风分析

从海平面气压场可以看出(图 1b),在北京地区,等压线呈气旋性曲率弯曲,东部为高压。这样的分布特征,可以预计在 12 日 20 时前后,北京地区近地面层可能出现偏东风。而地面偏东风的出现将为北京地区的降雪带来两方面的有利影响:一是低层偏东风常常成为北京地区的水汽输送通道,为该地区带来水汽,尤其是近地面层的水汽,这将弥补此次过程近地面水汽条件的不足;第二是,近地面的偏东风进一步证明中低层冷空气将从东北地区向北京渗透,为北京带来冷空气。基于这两点原因,大大加强了北京地区出现降雪的可能性。

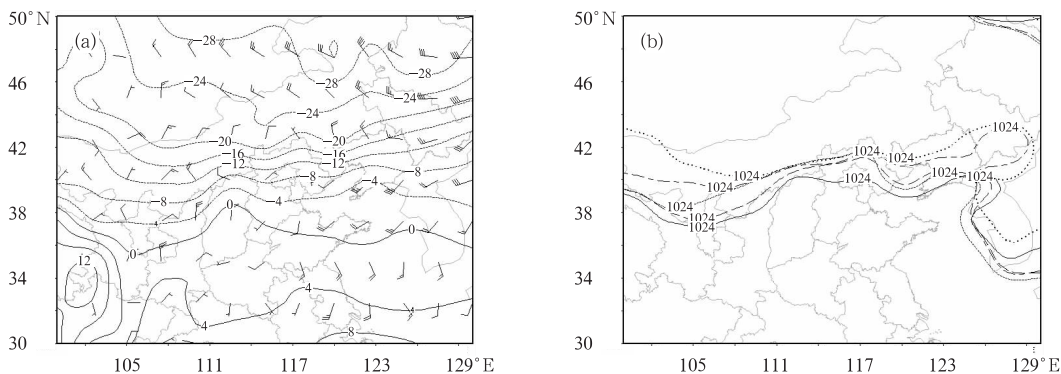


图 1 ECMWF 2010 年 12 月 11 日 20 时预报 12 日 20 时 850 hPa 风场与温度场(a,单位:℃)和 2010 年 12 月 7—11 日 20 时预报 12 日 20 时海平面气压场 1024 hPa 线分布(b,单位:hPa)

Fig. 1 (a) Wind and temperature at 20 BT on December 12, 2010 by ECMWF

(Init: 20 BT on December 11, 2010, unit: °C), and (b) sea-level pressure

contour of 1024 hPa at 20 BT on December 12, 2010 by

ECMWF (Init: 20 BT from December 7 to 11, 2010, unit: hPa)

### 1.3 北京未出现降雪原因分析

#### 1.3.1 动力条件诊断分析

图 2a 给出了 12 日 20 时 850 hPa 的实况风场与温度场,可以看到实况场与预报场十分接近,850 hPa 的锋区基本位于北京附近,北京东南部的东北—西南向切变线很显著,并且风速比预报值要大。通过对 850 hPa  $p$  坐标系下垂直速度的诊断分析也可以看到(图 2b),北京地区及其南部大部地区与切

变线相对应的区域,均为上升运动区,并且在北京附近存在一个较强的上升运动中心,在 925 和 700 hPa 的上升速度诊断中,这两个层次也存在较好的上升运动。因此,可以确定此次过程,实况与预报一致,中低层存在很好的动力上升条件。

#### 1.3.2 水汽条件诊断分析

从图 3 北京站微波辐射计的探测情况可以看出,12 日 16 时后,3 km 高度附近湿度开始显著增加,逐渐接近饱和。这与 700 hPa 高空槽逐渐开始

影响北京的时间基本一致,12 日 18 时,700 hPa 转受槽前西南气流控制后,该层次的湿度明显增大。水汽在 2~5 km 高空逐渐达到饱和。从湿度变化维持时间来看,该层次的高湿状况一直维持到 13 日

10 时后,湿度才逐渐开始减小。据此可以看出,此次过程,在中层还是具备了较好的水汽条件,在 700 hPa 附近有明显的高湿区存在。

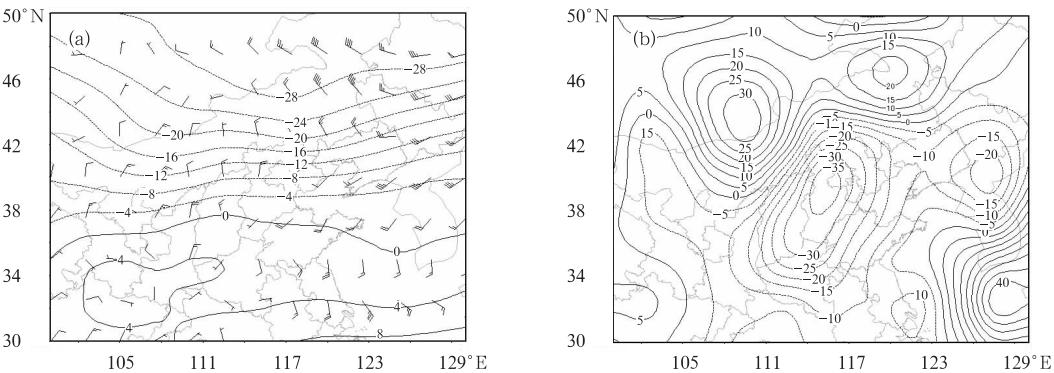


图 2 2010 年 12 月 12 日 20 时 850 hPa 风场与温度场(a,单位:℃)及  
 $p$  坐标系垂直速度场(b,单位: $10^{-4}$  hPa · s $^{-1}$ )

Fig. 2 (a) Wind and temperature (unit:℃) at 850 hPa, and (b) vertical velocity (unit:  $10^{-4}$  hPa · s $^{-1}$ ) at 850 hPa in  $p$ -coordinate at 20 BT on December 12, 2010

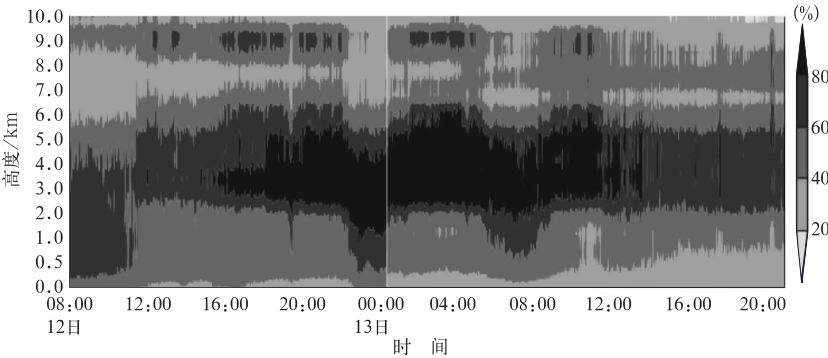


图 3 2010 年 12 月 12 日 08 时至 13 日 20 时北京微波辐射计探测实况

Fig. 3 Sounding data of microwave radiometer in Beijing from  
08:00 BT on December 12 to 20:00 BT on December 13, 2010

1. 3. 3 空报的主要原因分析

根据以上的分析,这次过程从 925 到 500 hPa,整层都具有很好的抬升条件,各层在 12 日 08 和 20 时均为上升运动。同时,水汽条件较好的层次则主要集中在中高层(2~5 km)。然而实况观测显示,12 日夜間整个北京地区没有飘落一点雪花,说明这样的抬升条件和水汽条件配置,并不足以支持北京地区产生降雪。究竟是什么原因导致在看似较有利的条件下,却没有出现一点降水。

首先由图 3 可以发现,12 日 20 时至 13 日 08 时,高空系统过境前后,边界层都没有出现明显的增湿。从 12 日 20 时海平面气压场的分布和地面风场

分布(图 4a)来看,实况气压场的分布情况与预报场基本一致,在 40°N 附近,等压线呈纬向型分布,并且地面如预报一样,北京及其东部均是偏东风。因此,在这种条件下,虽然 20 时前边界层湿度很小,但是预报员仍然坚持认为随着地面弱倒槽的建立,将对低层偏东风的建立产生有利影响。而在北京地区,东风常常有增湿的作用,进而推断低层的湿度会在东风的作用下逐渐增大,从而可能产生降雪。

实况观测显示从 12 日下午到夜间,北京及其东部大部分地区均为东北风,且大部分站点风速达到了 6~8 m · s $^{-1}$ (图 4a)。北京站从 12 日 18 时至 13 日 01 时一直维持偏东风(图 4b),从而可以判断预

报员对于偏东风的预报是准确的。但是,从图 3 微波辐射计的探测情况看,12 日夜间边界层湿度几乎没有明显增加,一直维持较干的状态,尤其是 24 时以后,湿度迅速减小。可见,虽然北京及其东部上游地区的东风建立了,但这支东风并没有为北京地区边界层带来明显的水汽。

从地面露点温度场的分布来看(图 5),12 日夜间,北京东部、东北部上游地区为一个相对干区,因此这支偏东风为经过上游干区的干平流,并没有为北京地区带来明显增湿。所以 12 日夜间,尽管偏东风维持了一段时间,但是北京地区边界层并无明显增湿(图 3)。

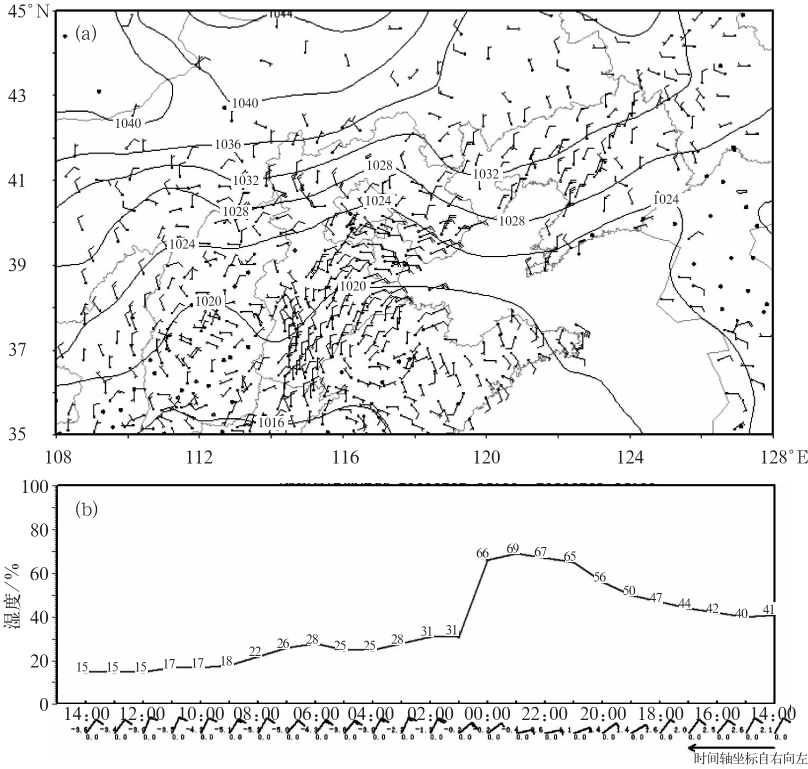


图 4 2010 年 12 月 12 日 20 时海平面气压场和地面风场(a,单位: hPa)和北京观象台 12 月 12 日 14 时至 13 日 14 时相对湿度与风向、风速(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )逐小时变化情况(b)  
Fig. 4 (a) Sea-level pressure (unit: hPa) and surface wind at 20 BT on December 12, 2010, and (b) relative humidity and wind (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) hourly from 14 BT on December 12 to 14 BT on December 13, 2010 at Beijing Guanxiangtai Station

12 日 23 时之后,随着一支明显的干冷空气由北向南扩散,北京地区露点温度迅速下降,北京在 02 时转为  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的东北风(图 5)。此后,随着干冷平流进一步影响,露点温度继续下降。结合北京地区风廓线雷达探测实况可以发现(图略),24 时以后,高空西北路径干冷空气逐渐向下扩散至近地面,受这股干冷空气影响,近地面风向由偏东转为东北,且风速加大,北京边界层湿度迅速减小。

综合以上分析可以认为,12 月 12 日夜间,预报偏东风对北京边界层的增湿作用,并配合中低层辐合上升系统从而产生降雪的预报思路是合理的。然而实况显示:偏东风的建立并没有为边界层带来湿

度的增加。由于高压底部的偏东风经过的上游地区为一干区,因此这是一支干平流,并无明显的水汽输送,尤其是 24 时后,北部干冷空气快速南下控制北京地区,造成边界层湿度的迅速下降,这是与预报思路最大的差别。由于边界层没有明显增湿,并且后期被干冷空气控制,最终北京地区没有出现一点降水。因此,在这个过程当中,虽然空中有很好的动力抬升条件,且在中层配合有较好的水汽条件,但低层增湿条件较差,导致边界层湿度太小,是这次过程空报的主要原因。由此可见,北京地区的偏东风并不总能带来低层的增湿,对于偏东风对增湿的影响,还要具体分析。



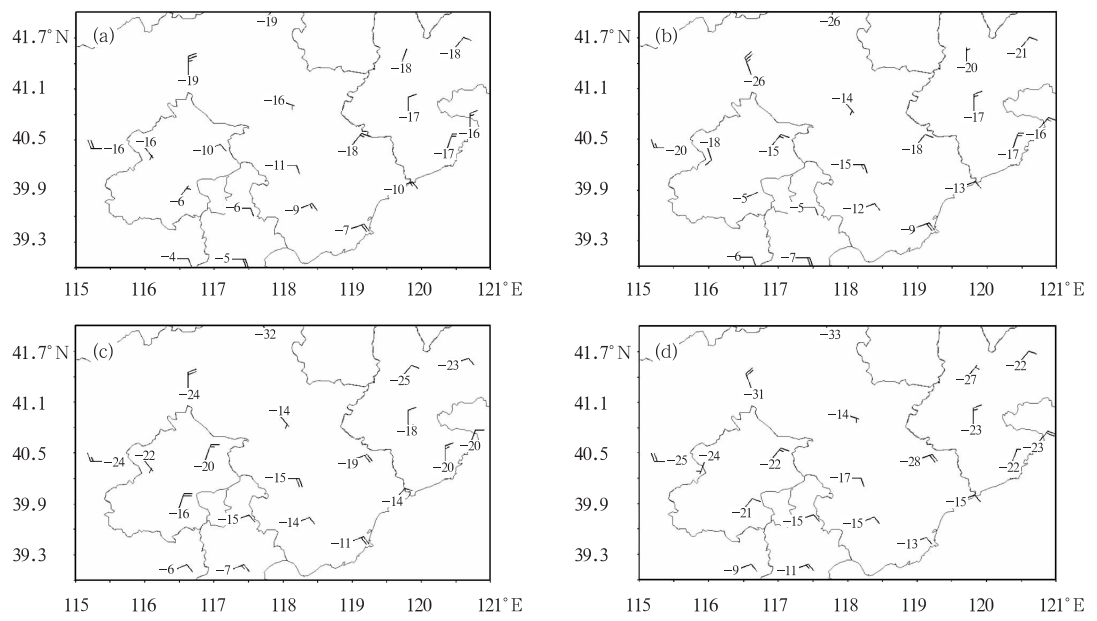


图 5  2010 年 12 月 12 日 20 时至 13 日 05 时逐 3 小时地面露点温度场与风场  
(a)12 日 20 时,(b)12 日 23 时,(c)13 日 02 时,(d)13 日 05 时  
Fig. 5  The surface dew point (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) and wind fields every 3 hours during 20 BT 12 to 05 BT 13 December 2010, respectively at (a) 20 BT 12, (b) 23 BT 12, (c) 02 BT 13, and (d) 05 BT 13 December 2010

## 2 初雪过程诊断分析

### 2.1 预报及降雪实况

2011 年 2 月 9 日夜間,北京地区终于飘下了近

10 年来最晚的一场初雪,降雪从 9 日夜間 23 时,一直持续到 10 日下午 14 时。整个过程降水量全市平均 2.7 mm,达到了中雪量级,降雪主要集中在北京中北部地区,其中古将站最大降雪量为 6.1 mm。此次过程从 9 日上午开始预报,北京地区 9 日夜間到 10 日白天有小到中雪。

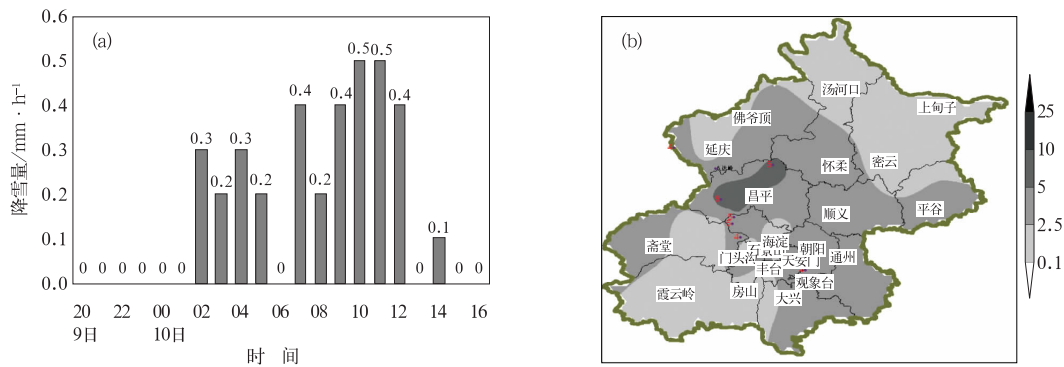


图 6  2011 年 2 月 9 日 20 时至 10 日 20 时北京观象台逐小时降水量(a)  
和北京地区 24 小时降雪分布(b,单位: mm)  
Fig. 6  (a) The hourly snow amount at Beijing Guanxiangtai Station from 20 BT 9 to 20 BT 10 February 2011, and (b) distribution of 24 h snow fall from 20 BT 9 to 20 BT 10 February 2011 in Beijing area

### 2.2 天气形势场诊断分析

从 2011 年 2 月 9 日 20 时 500 和 700 hPa 的高

空形势场上可以看出(图略),在内蒙古河套地区有一个偏西路径短波槽,槽后有弱冷空气东移。高空槽移动速度很快,10 日 08 时,500 和 700 hPa 已转

受槽后西北气流控制。高层虽然有短波槽,但是系统较弱,冷空气势力不强。9 日 20 时,850 hPa 在河套、山西为暖切变,并配合有降雪。随着暖切变线的东移,切变线南部的南风气流将水汽向北输送,10 日 08 时,山西北部、河北中部、北京受该暖切变影响,并配合有降雪。

根据 2 月 9 日 08 时到 10 日 20 时的海平面气压场的演变情况分析来看(图 7),9 日 08 时,倒槽还位于黄河上游地区,华北大部地区处于东北路南下

的冷高压控制当中。随后,倒槽逐渐发展北伸,到 10 日 02 时,北京处于倒槽东部边缘,但是北京东部渤海湾仍处于冷高压控制当中,形成典型的东高西低形势。到 10 日 08 时,包括北京在内的华北大部地区已被倒槽控制,河北东部、渤海仍为冷高压占据。伴随倒槽南部西南暖湿空气向北输送,在倒槽辐合区产生了明显的降水天气。10 日 20 时,随着冷空气主体南下,倒槽南撤,华北地区降水停止。

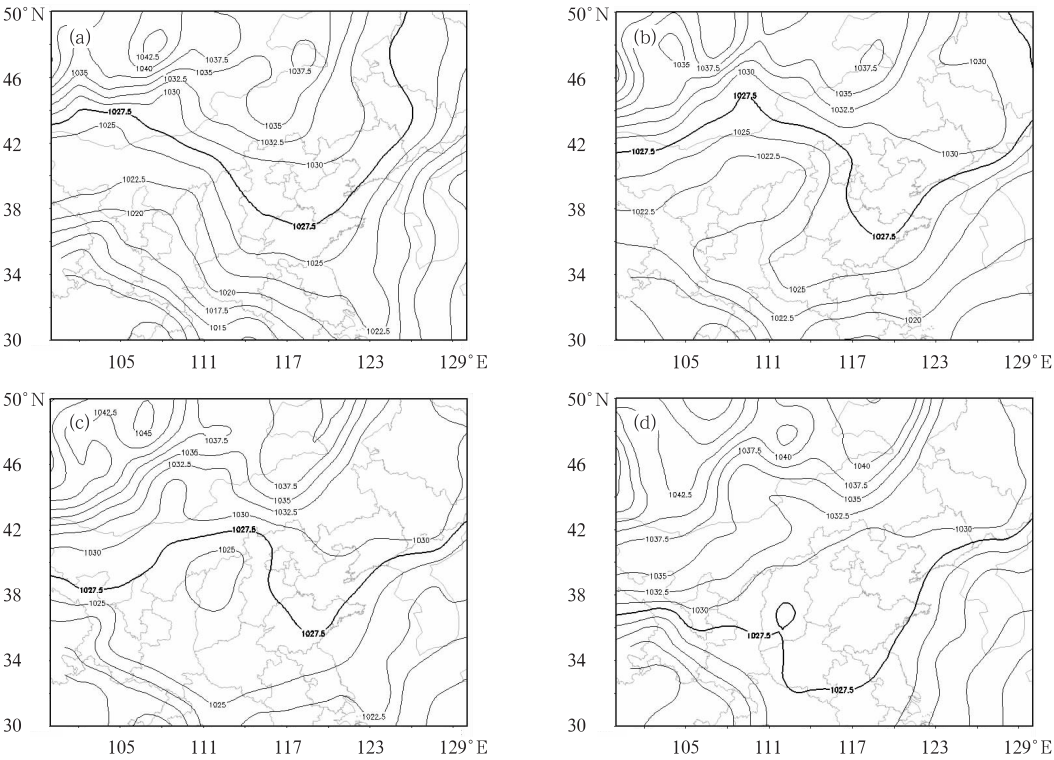


图 7 2011 年 2 月 9 日 08 时至 10 日 20 时海平面气压场分布(单位: hPa)

(a)9 日 08 时,(b)10 日 02 时,(c)10 日 08 时,(d)13 日 20 时

Fig. 7 Sea-level pressure (unit: hPa) respectively at

(a) 08 BT 9, (b) 02 BT 10, (c) 08 BT 10, and (d) 20 BT 10 February 2011

2.3 要素场诊断分析

对北京地区附近的垂直速度分布进行剖面分析(图 8a),可以看到,2 月 10 日 08 时北京地区中高层均为下沉运动,只有在边界层,850 hPa 以下,有弱的上升运动,中心上升速度只有  $3 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从 850 hPa 要素场的分布情况来看(图 8b),在山西北部存在一个低值中心,即低涡切变线,而在北京南部存在一条与低值中心相连的暖式切变线。与这条切变线相对应的位置,温度场上是一个显著北伸的

暖脊。该暖脊在山西南部与陕西交界处向东北方向伸展,脊线位置与切变线位置十分接近。再配合 850 hPa 湿度场分布特征可以看到,温度露点差小于  $2^{\circ}\text{C}$  的显著湿区已经北伸到北京北部,暖切变区域均为高湿区。因此,虽然这次过程高空一直受偏西气流控制,并无明显系统,但在低层 850 hPa 弱暖切变与高湿区的共同配合下,仍然出现了明显的降雪天气。

利用北京地区特种观测仪器微波辐射计与垂直风廓线仪,诊断分析北京地区上空湿度与风场的演

变情况(图 9)。从微波辐射计上可以看到,9 日 15 时以后,2 km 高度附近湿度开始显著增加,直到降雪开始前的 23 时前后,湿层主要集中在 2 km 高度附近及以下。结合垂直风廓线仪探测的垂直风场的

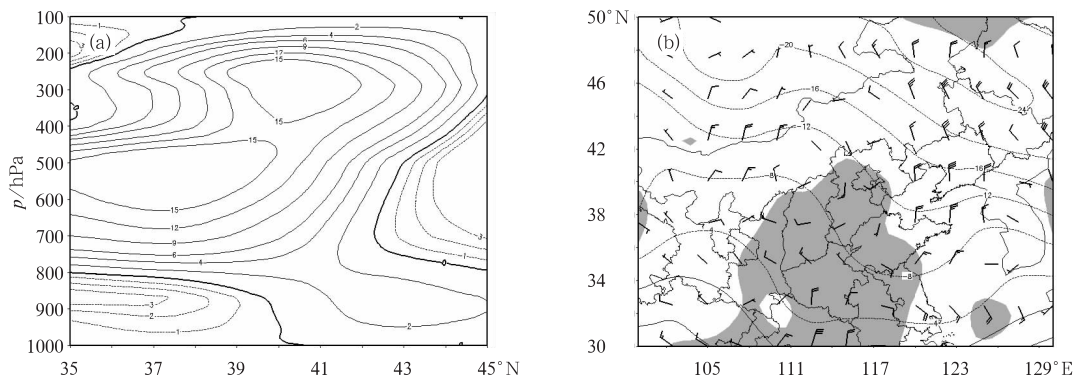


图 8 2011 年 2 月 10 日 08 时垂直  $p$  速度沿  $116^{\circ}\text{E}$  的垂直剖面图(a,单位:  $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和 850 hPa 风场、温度场(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )和湿度场分布图(阴影区为温度露点差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 区域)(b)  
Fig. 8 (a) The meridional profile of vertical velocity (unit:  $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) in  $p$ -coordinate along  $116^{\circ}\text{E}$  at 08 BT 10 February, 2011  
(b) wind, temperature (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) and moisture at 850 hPa level ( $T - T_{\text{d}} \leq 2^{\circ}\text{C}$  in shadow zone) at the above same time

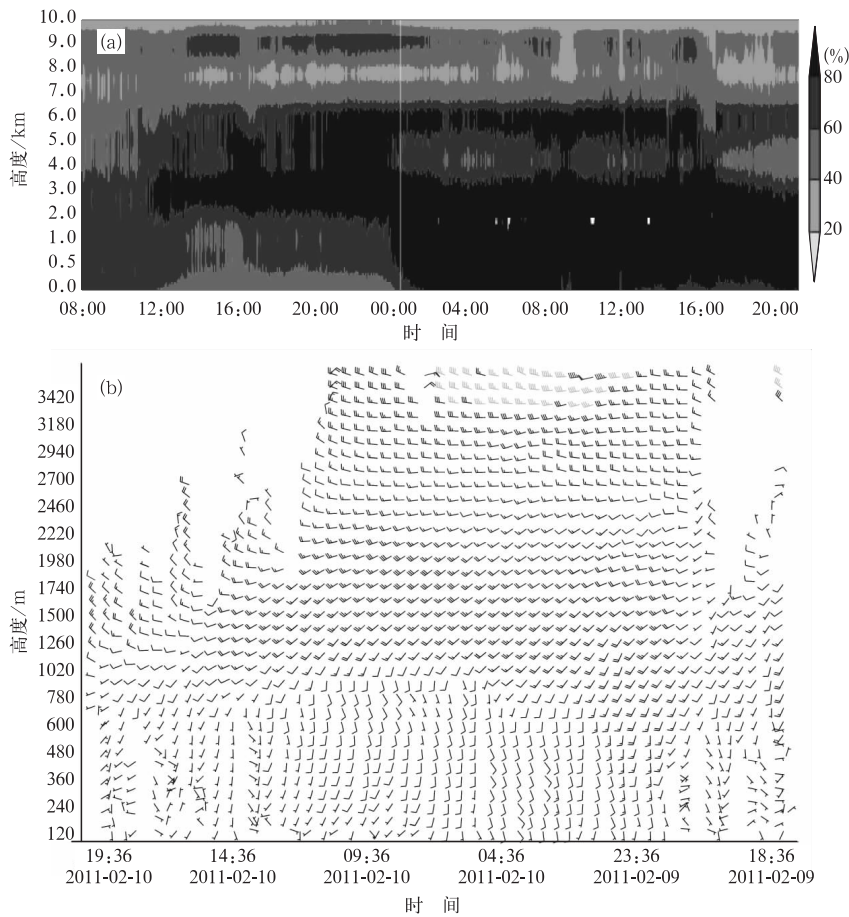


图 9 2011 年 2 月 9—10 日北京微波辐射计探测实况与北京海淀站垂直风廓线实况  
Fig. 9 Sounding data of microwave radiometer and vertical wind profiler at Haidian Station in Beijing from 9 to 10 February 2011



分布情况可以看出,这次降水全过程,2.3 km 以上均为偏西、偏北风,2.3 km 以下为西南、偏南风。尤其是 9 日 23 时,1.5 km 附近西南风明显加大,并且 700 m 以下转为南风,1.5 km 附近的西南风与上游偏东风的辐合条件加强,降雪开始。在这次降雪过程中,850 hPa 的西南风及低层的偏南风为本站提供了很好的水汽输送条件,水汽主要集中在低层 2 km 附近。当 850 hPa 的西南风逐渐转为西北风后,水汽输送减弱,并且西南风与偏东风的切变条件被破坏,动力抬升机制消失,降雪逐渐停止。

综合以上分析,可以得出这次初雪过程的形成机制。在中高层并没有明显的系统影响下,甚至 700 hPa 仍为西北气流控制,动力与水汽条件都比较差的背景下,依靠 850 hPa 暖切变、地面倒槽、以及 850 hPa 上下西南风的水汽输送,为此次降雪过程提供了动力抬升条件与水汽条件。因此,这次过程主要是由于低层西南暖湿气流向东、向北输送水汽,在没有明显冷空气侵入的情况下,暖湿势力维持时间比较长,高湿区在低层弱的辐合上升条件作用下产生的平缓、稳定的降雪。

3 两次过程对比分析

3.1 动力抬升条件对比

图 10 为两次过程的垂直速度剖面图。根据系统移动方向,12 月 12 日的过程为西来低槽向东移动影响本市,所以沿 40°N 做纬向剖面;而 2 月 10 日的过程为 850 hPa 切变线由南向北抬,所以沿 116°E 做经向剖面。从图 10a 中可以看出,北京在 12 日

20 时,从地面到 400 hPa 高空,均为较强的上升运动区,上升中心位于 850 到 700 hPa 之间,中心值达到了  $40\times 10^{-4}$  hPa $\cdot$ s $^{-1}$ ,这就是北京地区上空 850 和 700 hPa 的高空槽作用的结果。可见,高空槽系统为北京地区提供了很好的动力抬升条件。然而在图 10b 中,北京中高层均为下沉运动,仅在 850 hPa 以下,有弱的上升运动。这与形势场上 850 hPa 北京西部的弱切变线正好对应。因此,两次过程,一个具有深厚的上升运动条件,一个却只在边界层内有弱的上升运动;但是前者却一点降水都没有出现,而后者却形成了明显的降水。

3.2 水汽条件对比

根据图 3 与图 9 两次过程中微波辐射计探测到的垂直方向上湿度的变化情况,可以分析出,在 12 月 12 日空报的这次过程当中,3 km 附近增湿很明显,12 日 19 时后,水汽在 2~5 km 高空逐渐达到饱和。在 2 月 9 日夜間到 10 日白天的降雪过程中,先是 2 km 高度附近湿度开始显著增加,随着低空西南风加大,湿层向下伸展。从图 11 两次过程的 850 hPa 温度露点差的分布可以看出,空报的这次过程,北京及其西部上游地区,低层湿度都较差,并且上游地区是一个显著的干区,温度露点差在 12℃ 以上。而初雪的这次过程,在 9 日 20 时,降雪开始前,低层 850 hPa 都表现为西南部有一显著湿区在向北伸展,中心值温度露点差均在 3℃ 以下。结合图 9 北京站的垂直风廓线仪探测结果,2 km 以下边界层内均是西南、偏南气流。这样的一支低空气流,将南方的水汽向北输送,形成了一条水汽通道。

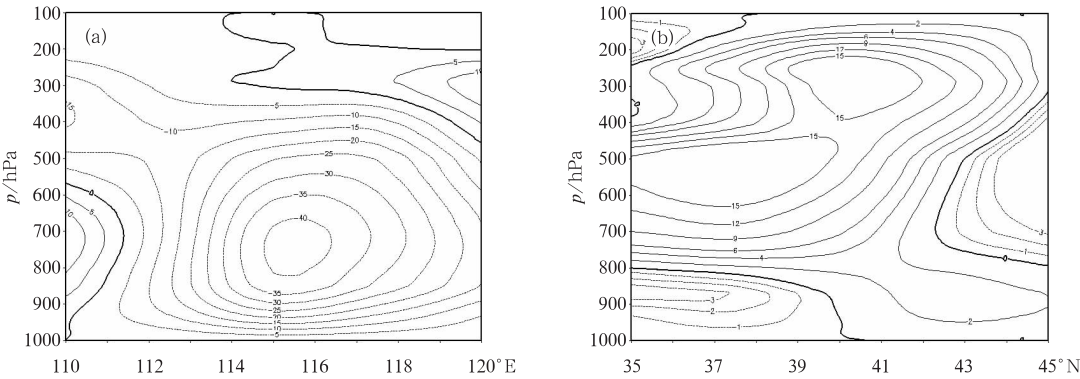


图 10 2010 年 12 月 12 日 20 时垂直  $p$  速度沿 40°N 的垂直剖面图(a)

和 2011 年 2 月 10 日 08 时垂直  $p$  速度沿 116°E 的垂直剖面图(b)(单位:  $10^{-4}$  hPa $\cdot$ s $^{-1}$ )

Fig. 10 (a) The zonal profile of vertical velocity in  $p$ -coordinate along 40°N at 20 BT 12 December 2010, and (b) the meridional profile of vertical velocity in  $p$ -coordinate along 116°E at 08 BT 10 February 2011 (unit:  $10^{-4}$  hPa $\cdot$ s $^{-1}$ )

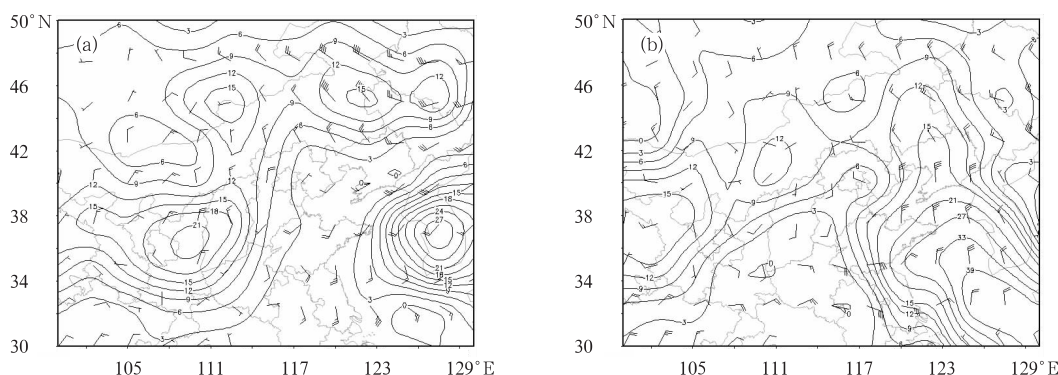


图11 2010年12月12日20时(a)和2011年2月9日20时(b)850 hPa温度露点差(单位: °C)与风场分布  
Fig. 11 Distribution of dew-point deficit (unit: °C) and wind at 850 hPa level  
at 20 BT 12 December 2010 (a) and at 20 BT 9 February 2011 (b)

综合以上分析可以得出,2010年12月12日的空报降雪过程,对流层中、下层均具备了很好的动力抬升条件,且上升运动层次深厚。但是除了中层系统本身携带的水汽外,低层相对较干,各层均没有水汽输送通道建立。边界层湿度不但没有随东风的建立增大,而且随着北方冷空气的快速南下,边界层湿度迅速减小。2011年2月9日的降雪过程,中高层均无明显系统,但由于南支气流形成了水汽输送带,为边界层带来明显增湿,依靠边界层的高湿条件,配合850 hPa弱的暖切变线和地面倒槽,在北京形成了明显的降雪。

通过这两次个例的对比分析可以初步得出,在北京地区冬季降雪过程中,边界层水汽条件至关重要。在边界层水汽很差的条件下,即使高空系统明显,中层有一定的水汽条件,也很难形成有效降水。而当边界层处于高湿饱和的状态,并且伴有一定的水汽输送条件时,仅仅凭借低层弱的抬升系统,在冬季也可以形成明显降水。

## 4 小 结

通过对2010年冬季北京地区空报初雪过程与实际初雪过程的对比分析和探讨,主要结论有以下几点:

(1) 偏东风并不一定为北京地区带来明显水汽输送,偏东风的干湿性质取决于东部上游地区的干湿条件。当上游为干中心时,它可能是一支干平流,对北京的增湿作用不明显。

(2) 2010年12月12日夜尽管中低层上升运动显著,但未出降雪主要原因在于:边界层湿度不够大。影响北京地区的偏东风实际为一支干平流,并不具备增湿作用。北部干冷空气的快速南下控制北京地区,造成边界层湿度的迅速下降,是预报出现偏

差的重要原因。

(3) 2011年2月9日,北京中高层并无明显的系统影响,但依靠850 hPa暖切变、地面倒槽、以及边界层较好的暖湿水汽输送,使得暖性高湿区在低层弱辐合抬升的作用下,产生了明显的稳定性降雪。

(4) 从这两个过程的对比来看,边界层水汽条件在北京地区冬季降雪中非常重要。当边界层水汽条件差时,即使空中系统上升运动明显,也很难形成有效降水。而当边界层受明显的暖湿气团控制,并在该层次配合弱辐合上升运动,即使空中并无系统性上升运动,仍然可以产生明显降水。

## 参考文献

- [1] 赵思雄,孙建华.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.
- [2] 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].大气科学,2003,27(6):1057-1066.
- [3] 蒋建堂,史历,倪允琪.一次“高影响天气”的弱降雪过程的数值研究[J].应用气象学报,2005,16(2):231-237.
- [4] 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.
- [5] 魏东,廖晓农,杨波.有利环流形势下北京降雪空报原因[J].气象科技,2010,38(2):182-189.
- [6] 扈忠慈.一次比较典型的暖性锢囚锋[J].气象,1981,7(4):12-13.
- [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] 张迎新,张守保.华北平原回流天气的结构特征[J].南京气象学院学报,2006,29(1):107-113.
- [9] 张守保,张迎新,杜青文,等.华北平原回流天气综合形势特征分析[J].气象科技,2008,36(1):25-30.
- [10] 刁秀广,孙殿光,符长静,等.山东半岛冷流暴雪雷达回波特征[J].气象,2011,37(6):677-686.
- [11] 吴伟,邓莲堂,王式功.“0911”华北暴雪的数值模拟及云微物理特征分析[J].气象,2011,37(8):991-998.
- [12] 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.