

翟亮, 郭淳薇, 马新成, 等, 2018. 北京 2016 年“11·20”初雪预报偏差分析[J]. 气象, 44(1): 151-158.

北京 2016 年“11·20”初雪预报偏差分析*

翟 亮¹ 郭淳薇² 马新成^{3,4} 赵 玮¹ 雷 蕾¹ 郭金兰¹

1 北京市气象台, 北京 100089

2 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

3 北京市人工影响天气办公室, 北京 100089

4 云降水物理研究和云水资源开发北京市重点实验室, 北京 100089

提 要: 通过分析 2016 年 11 月 19—21 日的 EC 再分析数据、风廓线雷达数据等多种资料, 发现北京 2016 年 11·20 初雪天气预报偏差的原因包括以下几个方面: ①回流“冷垫”缺失、850 hPa 切变线偏南、整层可降水量不足等是造成这次雨雪天气过程总降水量偏少的主要原因。②北京平原地区水汽通量辐合相对较弱、雨转雪的时间较预报晚 3 h 左右、-18~-9℃层饱和程度不足、雨转雪后影响系统也已过境北京等是造成北京平原地区, 尤其是北京城区降雪量不足的原因。③“回流”冷垫未形成、低层暖平流强盛是造成 0℃层高度下降缓慢的主要原因。本文并通过相似天气个例对比发现: 此类北京地区高空水汽饱和程度不足的雨转雪天气, 雨转雪的时间点预报尤其需关注 0℃层高度变化, 当 0℃层高度下降至 100 m 以下时, 才可能出现雨转雨夹雪或雪的天气。

关键词: 相态转换, 0℃层高度, 降雪

中图分类号: P456, P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.01.013

Forecast Deviation Analysis of the First Snow in Beijing on 20 November 2016

ZHAI Liang¹ GUO Chunwei² MA Xincheng^{3,4} ZHAO Wei¹ LEI Lei¹ GUO Jinlan¹

1 Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

2 Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

3 Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089

4 Beijing Key Laboratory of Cloud, Precipitations, and Water Resources, Beijing 100089

Abstract: This paper analyses the forecast deviation of the first snow in 2016 in Beijing using EC reanalysis data and wind profiling radar from 19 to 21 November 2016. The conclusions are as follows. (1) The deficiency of “cold wedge”, the location of shear line at 850 hPa by south and the lack of whole layer precipitable water caused the total snowfall amount less than that of the forecast. (2) There are four reasons for the less snowfall amount in urban areas of Beijing. That is, the convergence of water vapor flux was weak, the time for rain to turn into snow was 3 hours later than that of the forecast, the saturation in the layer from -18 to -9℃ was insufficient, and the precipitation weather system had passed through Beijing after rain turned into snow. (3) The slow falling of the 0℃ layer height was due to the failing formation of “cold wedge”, and the strong warm advection in low levels. At the same time, the similar weather examples are compared in this paper. When it refers to the phenomenon of rain into snow and the insufficient saturation at high levels, the 0℃ layer height should still be considered in forecasting the time of rain into

* 北京市气象局科技项目(BMBKJ201506001)、北京市自然科学基金项目(8172023)和国家自然科学基金青年科学基金项目(41605110)共同资助

2016 年 12 月 20 日收稿; 2017 年 9 月 15 日收修定稿

第一作者: 翟亮, 主要从事天气预报与分析研究工作. Email: liang6302@163.com

snow. When the 0°C layer height drops to lower than 100 m, rain can turn into sleet and snow.

Key words: phase transformation, 0°C layer height, snowfall

引 言

随着社会的发展,降雪造成的损失却日渐突出,与降雪有关的“城市次生灾害”事件逐渐显露(孙继松等,2003)。北京初雪的预报是北京降雪预报的重要一环。北京的初雪往往出现在 11 月,通常伴有雨雪相态转变(张琳娜等,2013),以往的相态预报多以某一层大气的温度作为参考指标,但当所参考温度非常接近临界阈值时,相态预报的准确率将下降,预报错误概率升高。目前对于此类天气相态预报的能力还没有达到足够准确的水平,预报难度大,预报员面临很大挑战。

张琳娜等(2013)的研究给出与北京地区雨雪转换关系密切的 6 种物理量以及对应的 3 种降水相态的不同阈值范围,但综合判据这些阈值后,发现对于北京地区三种降水相态的预报准确率为 77%。由此可见,雨转雪的时间节点预报,单纯依靠某一个或几个预报指标来判断,往往会出现偏差。那么如何才能更加准确地预报北京地区带有雨雪转换天气过程的降雪量和相态转换时间呢?依靠某层大气温度是否达到临界阈值来判断相态转换时间的方法是否合理?是否需要换个角度思考雨雪相态转换?本文将结合上述疑问对 2016 年 11 月 20 日的降雪天气过程进行分析。

1 资料与方法

本文使用欧洲中心 EC-Interim 资料(水平分辨率为 $0.75^\circ \times 0.75^\circ$,垂直方向共 29 层),MICAPS 各层高空综合图、地面天气图、加密自动站和探空等常规观测资料,海淀站边界层风廓线雷达、天气雷达、微波辐射计及中国科学院大气物理研究所铁塔数据等高时空分辨率资料。数值模式主要参考北京区域模式 RUC 以及 EC 细网格、NCEP 等模式相关预报产品。

文章对所用海淀边界层风廓线雷达数据做了处理。利用位势高度与气压的转换关系式(1)以及高度与位势高度的关系式(2)将探测高度单位(m)转换为气压单位(hPa)来显示(章国材等,2007)。

$$Z = 44331 \left[1 - \left(\frac{p}{1013.255} \right)^{0.1903} \right] \quad (1)$$

$$Z = \frac{9.80616(1 - 0.00259 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{h}{R_0} \right)^2}{9.80665} \times \left(\frac{R_0 h}{R_0 + h} \right) \quad (2)$$

式中, R_0 为地球半径, φ 为纬度。

温度平流计算是在热成风的假定下,根据标准大气的特性,通过温度平流的计算公式(章国材等,2007),假设等压面 p_1 和 p_2 上($p_1 > p_2$),风速、风向分别为 (V_1, θ_1) 和 (V_2, θ_2) ,则式(2)可转换为:

$$-V \cdot \nabla T \approx \frac{\bar{p}f}{R_d \Delta p} V_1 V_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad (3)$$

式中, $\Delta p = p_1 - p_2$, $\bar{p} = (p_1 + p_2)/2$, f 为科氏参数, R_d 为空气气体常数。

2 天气实况与预报情况

受冷空气和偏南暖湿气流的共同影响,19 日 22 时至 21 日 11 时北京出现雨雪天气,全市平均降水量为 7.3 mm,城区平均降水量 7.5 mm(图略)。降雪时段主要在 20 日 23 时至 21 日 11 时,全市平均累计降雪量 2.9 mm,城区平均 3.2 mm,其中最大降雪在平谷玻璃台 8.5 mm,大兴采育 7.5 mm,朝阳豆各庄 7.2 mm(图 1a)。根据 21 日 11 时气象站监测积雪深度:通州 1.7 cm,平原其余地区不足 1.1 cm;山区 1~3.8 cm,山区最大降雪出现在佛爷顶 3.8 cm(图 1b)。

针对此次天气过程,北京市气象台 11 月 16 日预报表明“北京地区将在 11 月 20—21 日有一次明显雨雪天气”,与此同时,开始滚动发布多期《天气情况》、《重要天气报告》等预报服务材料。11 月 18 日预报结论为:“北京大部分地区过程累计降水量 8~15 mm,其中降雪量可达大雪(5~8 mm),北部、西部地区局地有暴雪(10 mm 以上);平原地区积雪深度可达 2~5 cm,山区可达 5~10 cm”。19 日经与中央气象台、华北区域各省的综合天气会商后继续维持原有预报结论:北京将有一次大雪天气过程,西部、北部地区局地有暴雪。

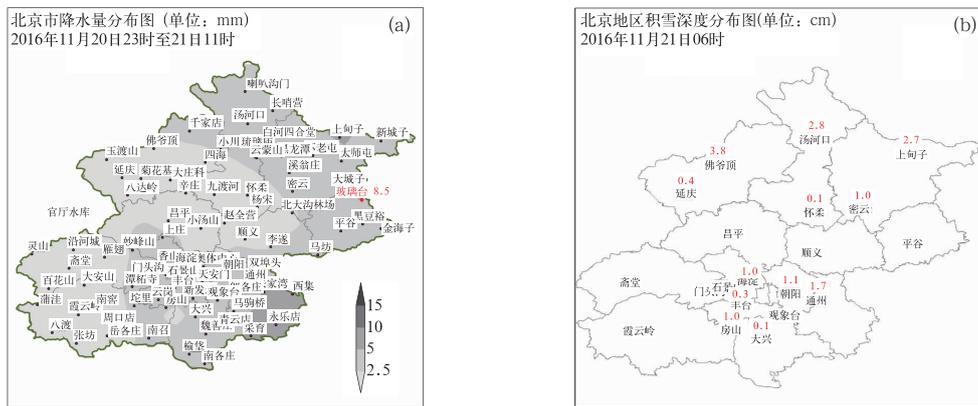


图 1 2016 年 11 月 20 日 23 时至 21 日 11 时降雪量(a)及 21 日 06 时积雪深度图(b)

Fig. 1 Snowfall from 23:00 BT 20 to 11:00 BT 21 (a) and snow depth at 06:00 BT 21 (b) November 2016

3 预报过程回顾

这次过程预报偏差出现的主要天气时段为 11 月 20 日夜间,因此,本文重点回顾 20 日预报结论的确定过程。

3.1 影响系统

针对这次过程,20 日 16 时北京市气象台组织召开了华北区域重要天气会商。实况显示:500 hPa 高空以平直偏西气流为主;700 hPa 高空槽位于河套东部,呈东北—西南走向;850 hPa 切变线位于河北西北部至山西一带,且切变东侧偏南暖湿气流强盛,达到 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;925 hPa 以偏南气流为主,锋区位于河北以北地区;风廓线及加密自动站风场显示边界层已有弱回流东风形成。

与实况天气形势对比后,预报员确定 EC 细网格环流形势预报相对准确,因此参考其预报产品:20 日夜间 700 hPa 高空槽在东移过境北京后,850 hPa 切变线东移北抬,低层配合东风回流形势,此类环流形势基本符合华北地区冬季大到暴雪天气概念模型中的低涡低槽配合回流型(张琳娜,2014)。

3.2 水汽条件及相态转换时间

根据 20 日 08 时高空观测资料分析,除 700 hPa 相对较干外,大气整层相对湿度较大,尤其在 850 hPa 以下水汽充沛,这一特征在微波辐射计和探空曲线中也得到佐证。根据 EC 细网格预报,850 hPa 切变及与之配合的水汽辐合区域将在 20 日夜间北抬,影响北京平原地区,在动力和水汽两个方面

为这次雨雪天气过程的发生提供有利条件。

20 日 08 时 54511 站点 850 hPa 温度为 -3°C , 0°C 层高度约 1 km 左右。此时起报的 EC 细网格预报在 20 日 23 时 850 hPa 温度 -4°C 线及地面温度 0°C 线南压至北京南部,RUC 探空曲线预报产品显示 22 时 0°C 层高度下降至 2 m,因此相态转换时间预计在 22—23 时。

关于降雪量,EC 模式预报过程降水量基本稳定在 8~15 mm,21 日 02—08 时降雪量 3~6 mm;北京区域模式 RMAPS(RUC 升级版)预报全市大部分地区平均降水量 3~5 mm,而在北京城区一带有超过 10 mm 的降雪,这可能与低层切变线及水汽辐合区域有关。

综上所述,这次雨雪天气过程主要影响系统为 700 hPa 高空槽、850 hPa 切变线及低空急流;500 hPa 高空平直偏西气流有利于回流冷垫形势建立,降水动力抬升条件较好。水汽条件方面,北京本地整层的水汽条件相对充沛,随着 850 hPa 切变线及低空急流的北抬,水汽辐合区域位于北京平原地区。数值模式对于降雪量的预报基本维持在 3~6 mm,局地超过 10 mm。因此最终确定北京地区的预报为:“20 日夜间平原地区小雨转中到大雪、局地暴雪;山区有雨夹雪转大雪,降雪量 3~7 mm;城区及南部地区,半夜前后雨或雨夹雪转雪,降雪量 3~7 mm”。

4 天气演变及偏差分析

本文重点围绕三方面的预报偏差进行诊断分析:(1)全市平均降水量 7.3 mm,较预报的过程降

水量 8~15 mm 略偏少。(2)全市平均降雪量 2.9 mm,城区 3.2 mm,较预报的降雪量 3~7 mm 以上偏少。(3)城区雨雪相态转换时间较预报偏晚。

4.1 降水条件偏差分析

2016年11月20日20时500 hPa以平直西风气流为主,700 hPa槽线位于河北西部,但850 hPa风场并未形成低涡环流,取而代之的是河北中南部的暖切变(图2),另外,切变线位于河北中部,相对北京位置略偏西偏南,对北京提供的动力抬升作用略有不足。由2 m温度的分布情况可见,京津冀地区等温线东西向差异不大,反映出北京地区不存在“回流降温”的现象(图2)。地面低压倒槽顶端位于河套东部,京津冀地区处于地面高压底部,弱的东南气流控制(图略)。

综上所述,700 hPa西风槽和850 hPa切变线是这次雨雪天气形成的天气尺度系统,从系统的配置来看,尚无法达到华北区域性大雪天气的要求。数值模式对于地面倒槽以及850 hPa切变强度及位置预报存在偏差,“冷垫”的缺失和850 hPa切变系统主体位置偏南是过程降水量偏低的原因。

本地的水汽条件以及水汽辐合情况对于降水的量级有直接影响。“11·20”初雪天气过程中,21日02时北京整层的可降水量9~13 mm,呈现南高北低的分布特点(图3a)。这次降水过程以层状云降水为主,全市平均整层可降水量不足12 mm。如果

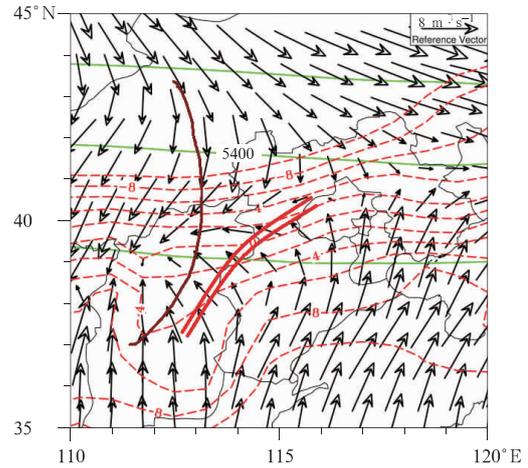


图2 2016年11月20日20时天气系统综合图
(绿色实线:500 hPa位势高度,单位:gpm;棕色弧线:700 hPa槽线;
黑色箭头:850 hPa风场;红色虚线等值线:2 m温度,单位:℃;
红色弧线:850 hPa切变线)

Fig. 2 Weather system at 20:00 BT
20 November 2016

(green line: geopotential height at 500 hPa, unit: gpm;
brown line: trough line at 700 hPa;
black arrow: wind field at 850 hPa;
red dashed isolines: temperature at 2 m height, unit: C;
red line: 850 hPa wind shear line)

参考历史上华北地区两次层状云降水过程的平均降水效率(石立新等,2005),降水量不足7 mm,而这个数值与实际情况相吻合。整层大气的可降水量和降水效率决定了过程降水量的大小。而数值模式

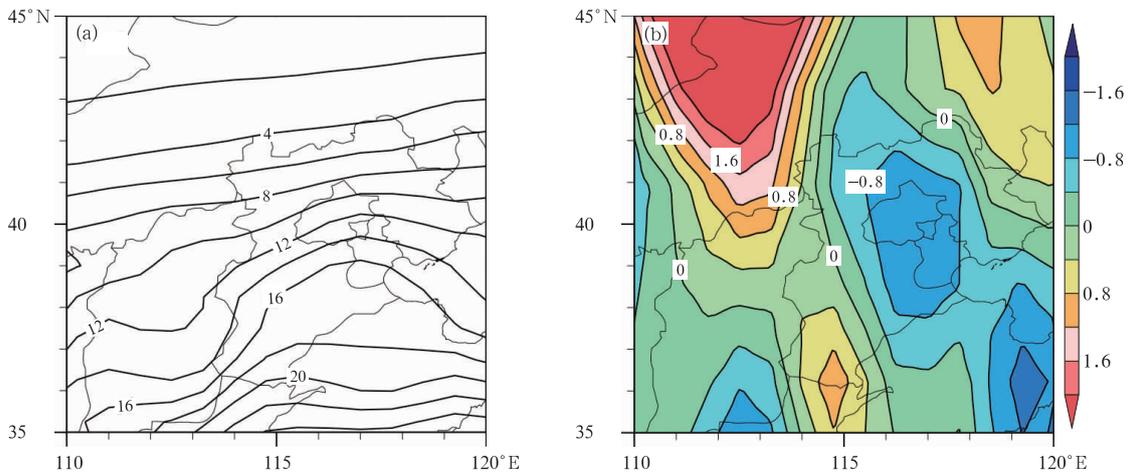


图3 2016年11月21日02时(a)北京地区整层大气含水量(单位:mm)和
(b)850 hPa水汽通量散度(单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 3 The whole layer precipitable water (a, unit: mm) and 850 hPa vapor flux divergence (b, unit: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) in Beijing area at 02:00 BT 21 November 2016

(EC 细,下同)对于相同时次的整层可降水量预报偏高,尤其北京南部地区的整层可降水量超过 $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ (图略)。

整层的水汽含量较预报偏低是过程总降水量不足的一个原因,另外,水汽的辐合程度不足也会对降水造成不利影响。如图 3b,水汽通量辐合区位于北京、天津及河北东北部一带,该地区的水汽通量散度很小,仅为 $-0.8 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 这较模式预报的 $-3 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐合程度明显偏弱(图略)。

4.2 降雪量偏少原因分析

由于雪花的形成主要是在冰晶和过冷水滴并存的冰水混合层,当有充足的冰晶和过冷水滴时,雪花才会迅速长大。美国流体气象预报中心的研究表明,在 $-14 \sim -9^\circ\text{C}$ 温度层,超过 50% 的云层中的水都处于过度冷却状态;在 $-18 \sim -14^\circ\text{C}$ 温度层,大约 75% 的云层中都包含有冰结构(Junker, 2000);而产生什么样大小形状的雪花以及产生雪花的密度则取决于云层和大气的温度以及其中水的饱和度(唐勇等, 2009; Jiusto and Weickmann, 1973)。由此可见, $-18 \sim -9^\circ\text{C}$ 层的饱和程度对于降雪是有明显影响的。此次降雪过程的主要时段 20 日 23 时至 21 日 11 时, $-14 \sim -9^\circ\text{C}$ (对应在 4~5 km) 层相对湿度缓慢增加,但是在 $-18 \sim -14^\circ\text{C}$ 层(对应高度约 5

~6 km) 的相对湿度却并未显著增加(图 4)。尽管在 $-18 \sim -9^\circ\text{C}$ 层相对湿度有所增加一直未完全达到饱和状态,导致雪花的密度和大小受到影响。即: $-18 \sim -9^\circ\text{C}$ 层饱和程度的不足影响了雪花的大小以及密度,进而对降雪的量级产生不利影响。

这次天气过程中,城区的降雪开始在 20 日 23 时之后,由于冷空气不断南压,西来槽系统不断东移,降雪的天气系统的垂直结构也在发生着变化。20 日 23 时后,850 hPa 层上下的风由南风转为偏北风,代表着影响北京的切变辐合系统正在进一步南压。同时,700 hPa 层上下的风由西南风逐渐地转为西北风,700 hPa 的西来槽逐渐移出北京(图 5)。由此可见,北京平原地区转雪后,其影响系统也逐渐移出北京,加之垂直动力抬升条件转差,造成了降雪强度的进一步下降。

4.3 相态预报偏差分析

整体而言,此次过程平原地区的降雪量较预报偏少。造成平原地区,尤其是北京城区降雪量不足的重要原因之一是平原地区雨转雪的时间为 21 日 00 时前后,较预报 20 日 21 时后城区转雪的时间晚了 3 h。由此可见,相态的转换节点预报也是北京冬季降雪预报的关键。北京冬季初雪的预报往往涉及到雨雪相态转换,而关于雨雪相态转换的预报指标已经有很多研究(张琳娜等, 2013; 廖晓农等,

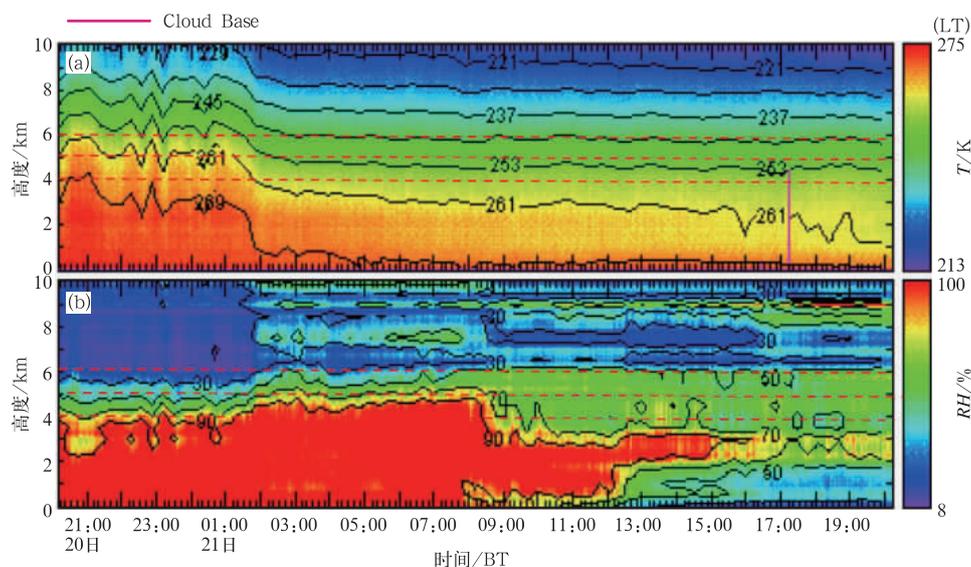


图 4 2016 年 11 月 20 日 20 时至 21 日 20 时北京南郊观象台微波辐射计温度线(a, 单位:K)、相对湿度(b)垂直时序图

Fig. 4 Vertical direction time sequence diagram of temperature (a, unit: K) and relative humidity (b) by microwave radiometer at Beijing South Suburb Observatory from 20:00 BT 20 to 20:00 BT 21 November 2016

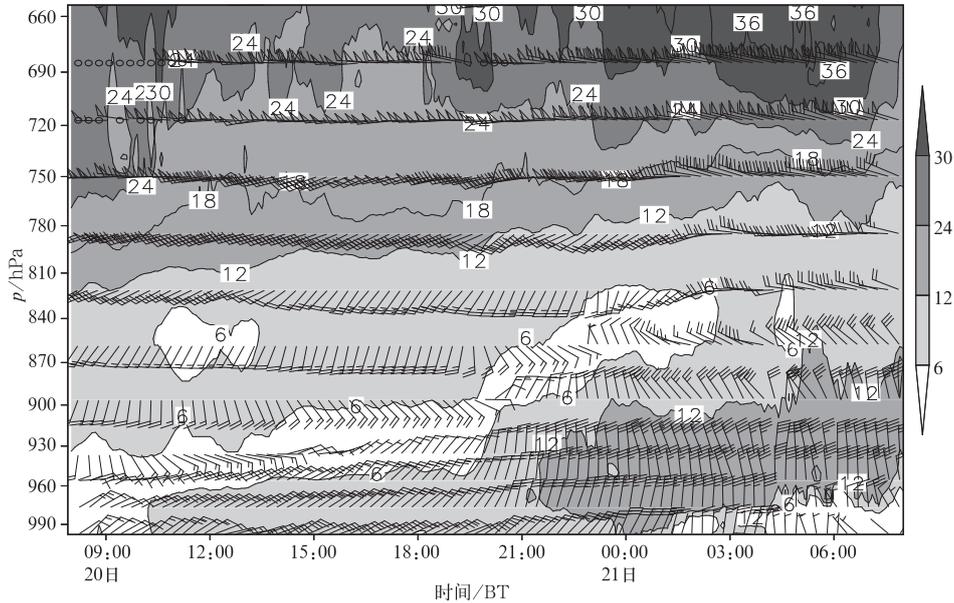


图 5 2016 年 11 月 20 日 08 时至 21 日 08 时海淀风廓线雷达风场及风速值线的垂直时序图
(阴影: 风速等值线, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Vertical direction time sequence diagram of wind field from wind-profiling radar and wind speed (shadow: wind speed contour, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in Haidian District of Beijing from 08:00 BT 20 to 08:00 BT 21 November 2016

2013; 许爱华等, 2006; 李江波等, 2009), 如 850 hPa 的 -4°C 、925 hPa 的 -2°C 作为阈值等。但当预报降雪天气涉及雨雪相态转换时, 却没有哪一个转换指标能够作为准确的阈值使用, 即便利用多个指标综合判据, 北京地区三种降水相态的预报准确率也仅能达到 77% (张琳娜等, 2013)。北京地区雨雪相态预报的难度是非常大。下面就来分析相态转换时间推迟的原因。

这次过程的回流形势没有建立, 这对边界层的降温非常不利。这次天气过程中, 700 hPa 槽前为较强的暖平流, 20 日 20:00 700 hPa 的温度由 08 时的 -10°C 上升至 -3°C , 而这一实况特征与数值模式预报的由 -8°C 至 -6°C 的变化幅度存在差异 (图略)。850 hPa 由 -3°C 下降至 -4°C , 温度变化幅度很小, 由图 6 可见, 海淀区的边界层有一层很薄的冷平流, 高度不超过 950 hPa, 而大部分层次表现为暖平流, 随着冷空气的不断南压, 冷平流层次缓慢升高, 冷平流的高度在 22:30 前后出现一个跃升, 风力超过 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时的降水相态由雨转为雨夹雪, 随后很快在 23:35 转为纯雪。由此可见, 暖平流是造成边界层的温度下降缓慢的主要原因, 而温度下降的缓慢也就造成了 0°C 层高度较长时间地维持在较高的水平。对降水云的观测显示 (马新成等, 2012), 0°C

层是冰相向液相转换区域, 即融化层; 冬季降雪云云底都低于 0°C , 雪花从云底降落后, 在经过 0°C 层后会很快融化成雨滴 (这次过程近地面湿度高, 降水粒子的蒸发过程相对较弱), 所以如果 0°C 层距离地面较高, 会推迟地面观测员观测到雨向雪转换的时间, 进而会导致开始统计降雪量的时间延后。

20 日 23:30 前后, 随着 0°C 层高度的缓慢下降 (降至 60 m 上下), 海淀观测到降雪, 结合北京气象台多普勒雷达 (图略), 发现此时已经处于降雪云发展的后期。在降雪云后期降雪效率会明显减弱, 这也是导致平原地区降雪量减小的原因之一。

雨雪相态的转换时间预报不能单纯地考虑某一层, 或一两层的温度, 尤其是在实际预报中不能仅关注 850 和 925 hPa 的温度是否达到雨雪相态转换的临界阈值, 而是要同时考虑到 0°C 层的高度, 甚至降雪云厚度、降雪云发展阶段以及降雪的微物理特征等因素。

4.4 相似天气个例对比

这次过程预报偏差的核心在于雨雪相态转换预报的偏差, 而对于这种 850 hPa 层温度以及 925 hPa 层温度都已经满足相态转换阈值却迟迟不降雪的天气过程, 在北京是否常见呢? 是否有其他预报指标

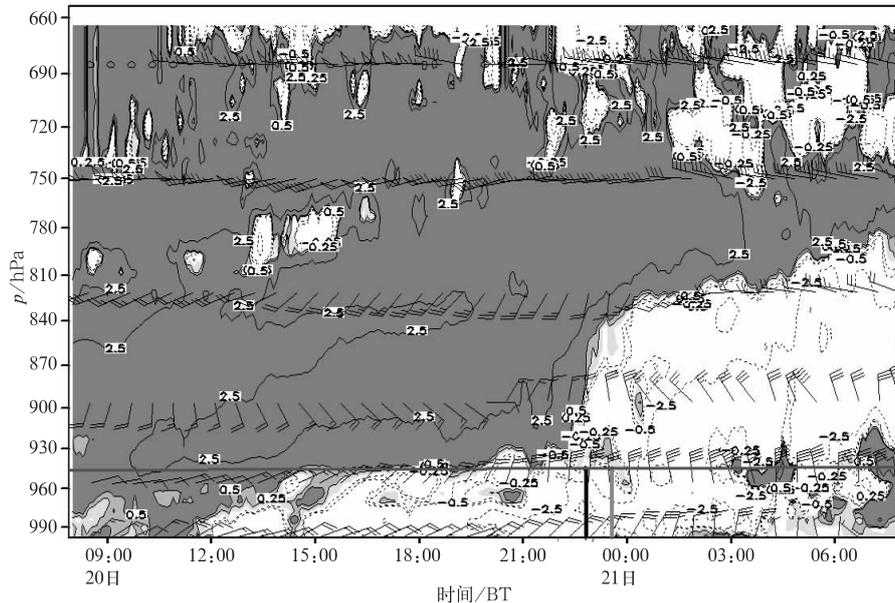


图 6 2016 年 11 月 20 日 08 时至 21 日 08 时海淀风廓线雷达风场及温度平流垂直时序图
(等值线,单位: $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 Vertical direction time sequence diagram of wind field from wind-profiling radar and temperature advection line (coutour line, unit: $10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$) in Haidian District of Beijing from 08:00 BT 20 to 08:00 BT 21 November 2016

可以关注呢?

2015 年 11 月 21 日白天发生了类似的天气过程:北京西部、北部地区出现中雪,局地大雪;城区及南部地区基本以雨为主,部分地区有雨夹雪或小雪。2015 年 11 月 21 日 20 时的天气背景同样具有

850 hPa 温度为 -5°C 、925 hPa 温度为 -4°C 、600 hPa 为干层、850 hPa 有暖平流、925 hPa 冷平流弱等特征,这些特征与 2016 年 11 月 20 日的天气过程基本一致(表 1)。

那么当多个特性层温度阈值达到降雪标准,是

表 1 两次雨雪天气相似特征

Table 1 Similar characteristics of the two snowfall processes

日期	850 hPa	925 hPa	850 hPa 暖平流	925 hPa 冷平流	600 hPa 层饱和程度
2015. 11. 21	-5°C	-4°C	存在	弱	未饱和
2016. 11. 20	-4°C	-3°C	存在	弱	未饱和

否意味着就会雨转雪呢? 答案是否定的,因为当高空 600 hPa 层上下的饱和程度不足时,雪花的形成将受到影响,其密度和尺寸都会偏小,而这就需要更低的 0°C 层高度才能确保雪花不被融化。

将两次雨雪天气过程的 0°C 层高度进行对比(图 7)发现:2015 年城区的 0°C 层高度始终维持在 150 m 以上,城区在整个降水过程中基本以雨为主,仅有非常短暂的时间观测到了雨夹雪的天气。而 2016 年 11 月 20 日的雨雪转换的时间是在 0°C 层高度下降至 60 m 左右时才观测到降雪。因此,当遇到高空饱和程度不足的降雪天气过程时,在多个层次的相态转换阈值已经达到的情况下,仍需要关注

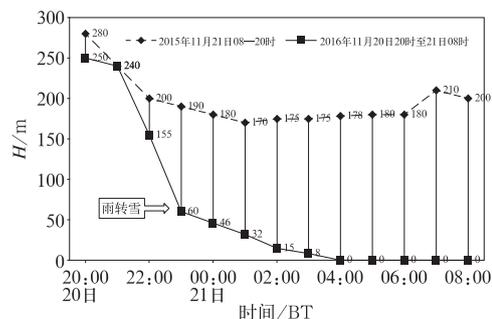


图 7 北京城区两次天气过程 0°C 层高度逐时变化曲线
Fig. 7 Changing curves of 0°C layer height along with time of two weather processes in urban area of Beijing (dashed lines: from 08:00 to 20:00 BT 21 November 2015; solid lines: from 20:00 BT 20 to 20:00 BT 21 November 2016)

0℃层的高度,当0℃层高度下降至100 m以下时,才可能出现雨转雨夹雪或雪的天气。

5 预报失误原因总结和讨论

经过上述诊断分析发现,北京“11·20”初雪天气过程预报中出现偏差的原因是多方面的。

过程总降水量略偏低的原因:

(1) 回流“冷垫”的缺失和850 hPa切变线主体偏南,是造成这次雨雪天气过程降水总量偏低两个主要原因。

(2) 整层可降水量不足以及层状云的降水效率低是过程总降水量不足的两个原因。

(3) 北京平原地区的水汽通量辐合程度相对较弱,在一定程度上造成过程总降水量不足。

城区降雪量偏低的原因:

(1) 城区雨转雪的时间较预报晚了3 h左右,造成北京城区降雪量不足。

(2) -18~-9℃层饱和程度的不足,影响了雪花的大小以及密度,对降雪量不利。

(3) 北京平原地区转雪后,高空槽东移以及切变线南压,垂直动力抬升条件转差,造成降雪强度下降,影响降雪量级。

城区雨转雪时间偏晚的原因:

(1) “回流”冷垫没有形成以及低层的暖平流作用,造成边界层的温度下降缓慢。

(2) 由于雪花的大小以及密度偏小,雪花下落进入0℃层以上大气时迅速被融化,造成雨转雪时间推迟。

综上所述,冬季相态预报中目前在业务中主要

仍依赖数值模式对于大气各层温度的预报,通过对比本地雨雪相态转换阈值,最终做出相态转换与否及转换时间做出粗略的判断。但是在当遇到需要进一步精确预报雨雪相态转换时间时,则需要关注降水过程中雪花形成的关键层-18~-9℃间冰晶含量及0℃层高度情况。对于北京地区而言,当关键层冰晶含量低(高)时,雨转雪时要求0℃层高度也就更低(高),通常需要下降到100 m以下。

参考文献

- 李江波,李根娥,裴雨杰,等,2009.一次春季强寒潮的降水相态变化分析[J].气象,35(7):87-94.
- 廖晓农,张琳娜,何娜,等,2013.2012年3月17日北京降水相态转变的机制讨论[J].气象,39(1):28-38.
- 马新成,黄梦宇,于潇洵,等,2012.一次高后降水中山区层状云宏微物理结构探测分析[J].气象与环境研究,17(6):1-8.
- 石立新,汤达章,万蓉,等,2005.利用多普勒天气雷达估算层状云的降水效率[J].气象科学,25(3):272-279.
- 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[J].大气科学,27(6):1057-1066.
- 唐勇,张东阳,吕梦雅,2009.基于温度变化与物理模型的飘雪场景模拟[J].系统仿真学报,21(16):84-87.
- 许爱华,乔林,詹丰兴,等,2006.2005年3月一次寒潮天气过程的诊断分析[J].气象,32(3):49-55.
- 章国材,矫梅燕,李延香,等,2007.现代天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社:89-90.
- 张琳娜,2014.北京地区灾害性天气概念模型[M].北京:气象出版社:18-21.
- 张琳娜,郭锐,曾剑,等,2013.北京地区冬季降水相态的识别判据研究[J].高原气象,32(6):1780-1786.
- Jiusto J E, Weickmann H K, 1973. Types of snowfall[J]. Bull Amer Meteor Soc, 54(11):1148-1162.
- Junker W, 2000. Winter Weather Forecasting[EB/OL]. (2000-6) [2008-4]. www.hpc.ncep.gov/html/hpcframes.html.