

孙军, 马学款, 代刊, 等, 2018. 北京几次弱降水过程预报失误分析[J]. 气象, 44(1):26-41.

北京几次弱降水过程预报失误分析*

孙 军 马学款 代 刊 符娇兰 董 林 秦华锋 董 全

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 在选取的北京地区 2011 年冬季至 2012 年春季 9 次弱降水过程中, 预报员出现了 4 次空报、2 次漏报, 预报效果总体不理想。通过对 9 次过程的预报检验、天气分析和多模式预报对比, 得到如下认识: 北京地区弱降水过程天气形势复杂多样, 按高空大气环流形势可分为两槽一脊型、一槽两脊型、一槽一脊型, 按地面天气形势可分为冷锋型、华北锢囚锋型、东风与倒槽型和东风回流型; 弱降水过程普遍具有对流层低层水汽条件差或动力抬升弱的特点; 对湿层浅薄、饱和层高度高、抬升凝结高度高的弱降水过程, 数值模式容易出现空报; 而对低层湿度条件好、饱和层高度低、抬升凝结高度低但高空系统弱的降水过程, 模式又容易出现漏报; 预报员主观预报出现空、漏报主要源于对天气系统的结构及发生发展机理认识不足, 对边界层水汽、抬升等关键降水要素缺乏预报订正经验。

关键词: 弱降水过程, 空报, 漏报, 预报检验, 低层水汽

中图分类号: P456, P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.01.003

Analysis of Unsuccessful Forecasts of Several Weak Rainfall Processes in Beijing

SUN Jun MA Xuekuan DAI Kan FU Jiaolan DONG Lin QIN Huafeng DONG Quan

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The public weather forecasts were not so correct for the time period from winter 2011 to early spring 2012 in Beijing. Of the nine weak precipitation processes (WPPs), four cases were false alarms, two were missed and three were better forecasted. Through the forecast verification, synoptic analysis and comparison of model forecasts for the nine processes, following results are achieved. The synoptic conditions of WPPs in Beijing vary case by case. The weather patterns at 500 hPa can be classified into three categories: patterns of two-troughs one-ridge, one-trough two-ridges and one-trough one-ridge. The surface situation can be classified into four patterns, which are cold front, occluded front in North China, the easterly wind and inverted trough and the eastward returning current. Most WPPs are characterized by poor vapor conditions in lower troposphere or weak dynamic lifting conditions. For the WPP with thinner wet layer, higher vapor saturation layer and higher lifting condensation layer, numerical prediction models tend to give false alarm; for the WPP with favorable vapor condition at low level, lower vapor saturation layer and lower lifting condensation layer, the models are prone to omission. The subjective precipitation forecast errors are mainly because forecasters did not sufficiently understand the structures of the weather systems and their developing mechanisms. Besides, they were lack of correction experiences for the model boundary water vapor and lifting conditions, which are critical factors for rainfalls.

Key words: weak precipitation process (WPP), false alarm of WPP, miss of WPP, forecast verification, low-level water vapor

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306011)资助

2017 年 4 月 27 日收稿; 2017 年 9 月 18 日收修定稿

第一作者: 孙军, 主要从事中短期天气预报及灾害性天气预报技术方法研究. Email: sunjun@cma.gov.cn

引 言

近几年北京及其周边地区出现几次极端降雨过程,如 2012 年 7 月 21 日、2016 年 7 月 19—20 日极端降雨过程,造成了较大社会影响,研究分析其成因也较多(孙军等,2012;谌芸等,2012;陈涛等,2017;符娇兰等,2017),但对弱降水过程研究分析较少。弱降水天气过程没有统一的界定标准,本文指小雨或小雪等降水量偏小的降水过程。小雨天气一般不会对人们的生产生活带来较大的影响,但小量级降雪有时会对城市交通、公路、铁路、航空运输带来较大的影响,从而成为高影响天气。2001 年 12 月 7 日北京的一次小雪天气过程就是一个典型例子(孙继松等,2003;赵思雄等,2002)。北京地区由于冬春季大气水汽含量总体偏少,只有在合适的大气环流形势下,形成有利于降水的水汽输送、聚集和抬升的条件,才有可能产生有效降水,而很多时候较差的水汽条件和较弱的动力抬升,往往使降水处于可有可无的临界点,这也增加了这一地区冬春季降水预报的难度,空报、漏报时有发生(何娜等,2014;魏东等,2010),尤其是每年的初雪预报更是对预报员的一个考验(郭锐等,2012;董林等,2012)。弱降水过程由于天气系统也往往较弱,且系统持续时间较短,主客观预报都很难对其捕捉,而且华北地区弱降水往往还伴有低层浅薄的偏东风“回流天气型”,时间和空间尺度更小,虽然中尺度数值预报模式有一定的模拟能力(孙建华和赵思维,2003;蒋建莹等,2005),但总体上数值预报模式目前尚难以很好描述这种过程(赵思雄等,2002)。2011 年冬季至 2012 年春季由于北京地区弱降水过程较多,预报员的降水预报质量总体不高,尤其是降水有无的预报失误较多。为了提高重点区域特别是大城市的天气预报准确率,本文对 2011 年冬季至 2012 年春季北京地区几次弱天气过程进行总结分析,寻找弱降水过程预报的技术难点,提炼预报思路和着眼点,提高预报员对这类天气的分析和预报能力,从而提升气象部门的气象服务能力。

1 资 料

分析所用资料包括常规地面和高空观测资料;北京 20 个国家级地面气象观测站(简称国家站)1、6

和 24 h 累积降水观测资料;欧洲数值预报中心(简称 EC)、中国 T639 和日本全球模式预报和模式初值产品;包含 51 个成员的 EC 集合预报(简称 EC ENS)产品;风廓线仪(位于延庆气象观测站)和微波辐射计(位于北京南郊观象台)资料等。由于降水分布的不均匀性及数值模式分辨率的限制,本文取北京南郊观象台(站号为 54511,简称 54511 站)作为检验站点,通过线性插值取得该站气象要素模式初值和模式预报值。分析方法为多个例天气形势、物理量要素的综合对比分析。

2 天气过程概况

2011 年冬季至 2012 年春季,北京地区连续出现多次降水过程或可能有降水的天气形势,时间跨度从 2011 年 11 月末到 2012 年 4 月初。表 1 给出了期间所选取的有代表性的 9 次过程,而并未涵盖期间所有的降水天气过程。9 次过程中预报员有 4 次空报、2 次漏报、3 次预报较为准确。这里给出的过程时间以降水实况出现的时间或预报员预报降水出现的时间段为准。9 次过程中除第二次北京初雪过程(2011 年 12 月 2 日)北京城区出现平均 2.7 mm 降雪外,有 4 次过程(第三、四、六、七次)降水不足 1 mm,其余 4 次过程(第一、五、八、九次)无降水或出现至多 3 站不足 0.5 mm 的局地降水。本文把这些过程统称为弱降水过程。

3 弱降水过程主客观预报检验

3.1 北京 20 个国家站降水 TS 评分和预报偏差检验

从 2011 年冬季至 2012 年春季北京 20 个国家站降水的整体检验来看,T639、日本和 EC 三个模式 10 mm 以下降水 36 h 预报的 TS 评分都高于中央气象台预报员主观预报(图 1a),其中 EC 预报的 TS 评分最高,但相比其他两个模式优势并不明显。而三个模式的预报偏差都比预报员大(图 1b),其中 EC 模式的预报偏差最小。60~108 h 时效除了 84 h 时效预报 TS 评分预报员与 EC 模式持平外,其他时效的预报预报员都低于模式,但预报员的预报偏差比数值预报模式要小。

表 1 北京地区 2011 年冬季至 2012 年春季弱降水过程和主观预报情况

序号	过程时间	主观预报	实况	主观检验
1	2011 年 11 月 28 日夜间至 29 日白天	28 日早晨预报 28 日夜间到 29 日白天有小雪	无	空报
2	2011 年 12 月 2 日早晨到上午	1 日下午预报 2 日早晨北部山区有小雪	北京大部降初雪, 城区平均 2.7 mm	漏报
3	2011 年 12 月 6 日早晨	预报小雪	54511 站降小雪 0.1 mm, 大部地区不足 1 mm	预报准确
4	2011 年 12 月 29 日白天	28 日下午和 29 日早晨预报多云	54511 站 T 量, 城区 0.4~0.5 mm	漏报
5	2012 年 1 月 1 日夜间	1 日下午预报夜间多云转阴, 部分地区有小雪	东北部两站 T 量, 其他站无降水	空报
6	2012 年 1 月 7 日早晨	预报小雪	54511 站 T 量, 中东部 0.2~0.4 mm	基本准确
7	2012 年 3 月 1 日白天至夜间	29 日 20 时预报多云转中雪, 1 日 08 时预报雨夹雪转阴	白天雨, 夜间转雪, 54511 站 T 量, 北部 2~4, 中南部不足 1 mm	预报准确
8	2012 年 3 月 28 日白天至夜间	28 日 08 时预报多云转小雨, 28 日 20 时预报小雨转多云	西部 3 站 0.1~0.4 mm	部分空报
9	2012 年 4 月 1 日夜间至 2 日上午	4 月 1 日 20 时预报小雨转阵雨, 2 日 08 时预报阵雨转晴	北部两站 T 量, 其他站无降水	空报

注: T 为 0.01 mm, 下同。

Note: T is 0.01 mm, the same below.

3.2 弱降水过程确定性全球模式降水预报检验

这里对 EC、T639、日本三个确定性模式和预报员的降水预报情况进行检验, 暂且不考虑降水量级和相态, 仅从降水的预报范围特别是北京城区有无降水来做检验。从 9 次过程的降水预报范围来看(表 2), 三个模式的预报结果比较一致, 36 h 时效 24 h 降水预报在北京全区或大或小都预报有降水, 其中预报的降水范围最小的一次是 EC 模式第五次过程(2012 年 1 月 1 日夜间), 只预报了北京北部地区有降水。与实况对比, 预报较为准确的过程 EC 有 6 次(第二、三、四、五、六和七次), 其他两个模式各 5 次(第二、三、四、六和七次), 空报的过程 EC 有 3 次(第一、八和九次), 其他两个模式各 4 次(第一、五、八和九次)。预报员预报较为准确的有 3 次(第三、六和七次), 空报 4 次(第一、五、八和九次), 漏报 2 次(第二和四次)。预报员和至少两个模式预报结果一致的有 7 次(第一、三、五、六、七、八和九次), 有 2 次(第二和四次)不一致, 而对于这两次预报结果不一致的天气过程, 3 个业务模式均预报有降水, 而预报员则出现漏报。弱降水预报本身对预报员就是一个考验, 如第二次预报员漏报过程(2011 年 12 月 2 日早晨到上午)是当年冬季北京的初雪过程, 因为北京初雪的社会关注度很高, 且前一次过程(2011 年 11 月 28 日夜间至 29 日白天)预报了北京有初雪但没有出现, 因此预报员预报这次过程就比较谨慎

和保守, 在三个模式都预报出这次北京全区有降水过程(最大量为 EC 预报北京城区至西南部 0.8~1.5 mm, 图 2)的情况下, 预报员综合考虑后只预报西部山区有小雪, 但实况降雪主要出现在城区, 并且平均达到了 2.7 mm 的中雪量级。这种主观预报误差除了技术原因外, 也涉及到预报心理学方面的问题。

从降水的预报量级上看, 虽然模式落区预报会存在偏差, 但模式预报的这 9 次过程的降水在北京区域内分布相对均匀, 因此这里以北京 54511 站为代表, 通过模式预报值与实况值对比来比较三个模式降水预报量级的偏差。可以看出(表 3), 实况基

表 2 9 次过程北京区域主客观预报情况检验

Table 2 Verification of subjective precipitation forecasts and the observations of 9 WPPs in Beijing area

过程序号	EC	T639	日本	预报员	实况
1	✓	✓	✓	✓	×
2	✓	✓	✓	×	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	×	✓
5	×	✓	✓	✓	×
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	×
9	✓	✓	✓	✓	×

注: ✓ 表示预报有降水或实况出现降水, × 未预报或未出现, 下划线表示预报准确, 过程时间同表 1。

Note: ✓ forecasted or observed rainfall to occur, × forecasted or observed rainfall not to occur, underline ✓ or × stand for better forecast.

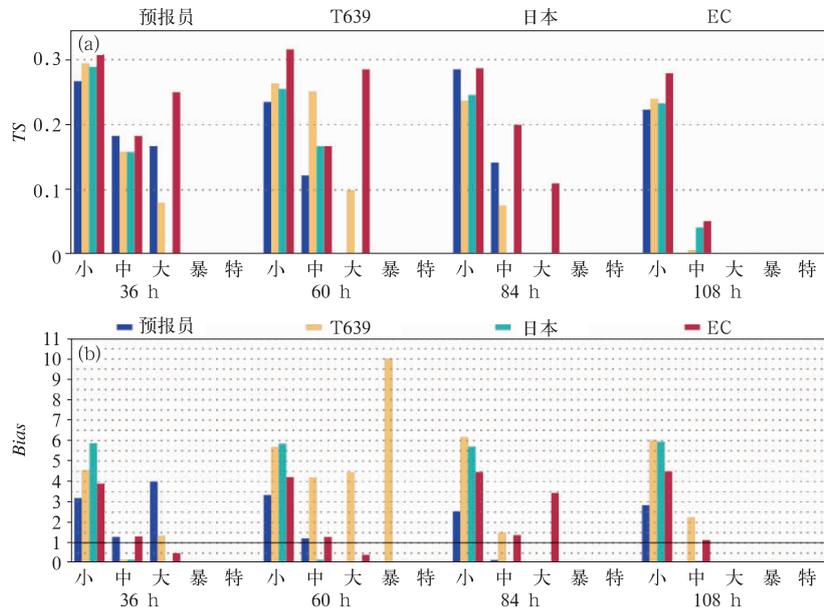


图 1 2011 年 12 月 1 日至 2012 年 4 月 25 日北京 20 个国家站 24 h 累积降水预报检验
(a)TS 评分,(b)预报偏差

Fig. 1 Precipitation forecast verifications for 20 national observing stations
in Beijing from 1 December 2011 to 25 April 2012
(a) TS, (b) Bias

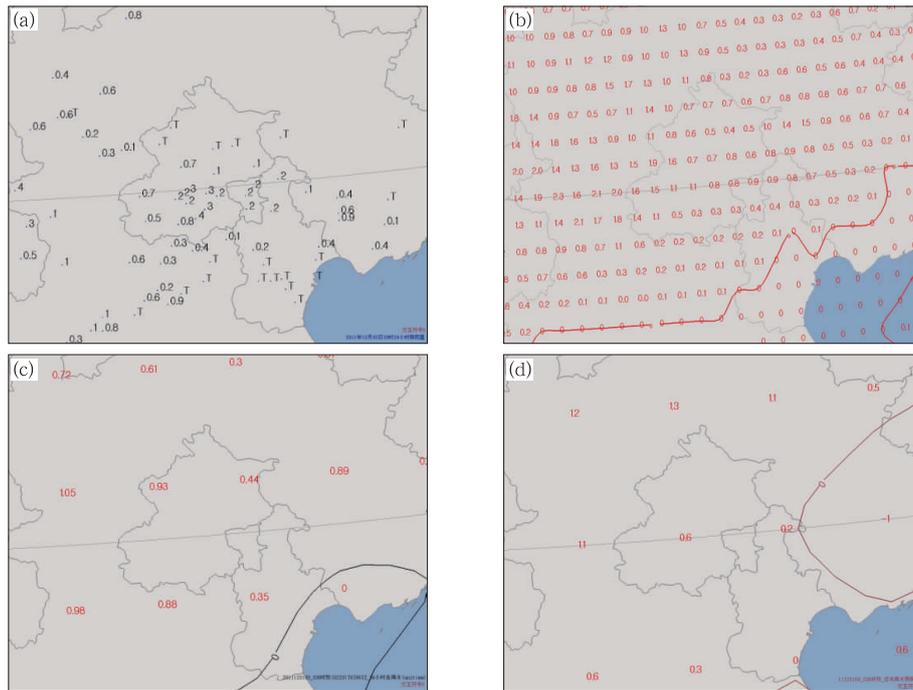


图 2 2011 年 12 月 1 日 20 时至 2 日 20 时 24 h 累积降水量实况(a),EC(b)、
T639(c)和日本(d)模式 36 h 预报(单位:mm)

Fig. 2 The 24 h precipitation observation from 20:00 BT 1 to 20:00 BT 2 December 2011 (a)
and 36 h predictions by the EC (b), T639 (c) and Japan (d) models initiated
at 08:00 BT 1 December 2011 (unit: mm)

表 3 54511 站降水预报与实况对比(单位: mm)

过程序号	EC	T639	日本	预报员	实况
1	0.5 ↑	1.8 ↑	0.8 ↑	小雪	无
2	0.7 ↓	0.3 ↓	0.2 ↓	未预报	2.6(降雪)
3	0.6 ↑	0.3 ↑	0.7 ↑	小雪	0.1(降雪)
4	0.3 ↑	0.5 ↑	0.9 ↑	多云	T(雪,周边有降雪)
5	0.0 —	0.1 —	0.4 ↑	部分小雪	无
6	0.1 —	0.3 ↑	0.3 ↑	小雪	T(雪,周边有降雪)
7	2.2 ↑	4.2 ↑	3.2 ↑	多云转中雪	T(雪,周边有降雪)
8	0.7 ↑	1.5 ↑	0.2 ↑	多云转小雨	无
9	3.0 ↑	5.8 ↑	1.6 ↑	小雨	无

注: ↑表示预报比实况偏大 0.2 及以上; ↓表示预报比实况偏小 0.2 及以上; —表示预报与实况之差在 ±0.2 之内, 过程时间同表 1。

Note: ↑(↓) indicates the difference between forecast and observation is greater (less) 0.2; — indicates the difference is between -0.2 and +0.2.

本无降水或降水不足 0.2 mm 的过程三个模式预报值都偏大,以第九次过程(2012 年 4 月 1 日夜间至 2 日上午)偏大最明显,模式普遍都报 1 mm 以上降水,而实况未出现降水。实况出现明显降雪的一次过程(第二次过程)模式预报又都偏小。

通过以上检验发现,对于弱降水天气的预报,由于天气系统较弱,模式预报的降水量级大部分不足 1 mm,单个模式不同时次,同时次不同模式预报差异也较大,预报准确性不高,可参考性低。但同一模式随预报时效的临近,准确率逐渐增高;三个模式在弱降水预报中的表现接近,没有特别占优的模式;由于冬季气温低,当具备一定的水汽和抬升条件时就很容易凝结形成降水,模式在预报有 0.1 mm 以上降水时,都有出现降水的可能,但还需要结合具体天气条件来分析,防止空报问题。

3.3 弱降水过程集合模式降水预报检验

这里以 EC 集合预报模式为代表,对第五~九次弱降水过程(第一~四次过程无集合预报资料)北

京 54511 站的降水预报效果进行检验,检验时效为 60 h 内,检验结果见表 4。对比表 4 和表 3,可以看到降水量集合平均的预报与确定性预报几乎一致。5 次过程中有 3 次过程(第五、六和七次)集合预报模式的降水预报效果较好,主要表现在降水概率匹配平均值、降水概率预报等多种集合预报产品对降水实况结果有较好的指示意义,如第五次过程(2012 年 1 月 1 日夜间),预报员在 1 月 1 日下午预报北京夜间多云转阴,部分地区有小雪,实况观测表明只有北京东北部两站出现 T 量降水,54511 站没有观测到降水,预报员空报了这次过程。从整个北京区域来看,这次过程降水概率匹配集合平均的区域分布比降水集合平均更接近实况分布(图 3),就 54511 站而言,此次过程的降水概率匹配平均值为 0.0 mm,降水概率为 18%,降水集合平均值为 0.01 mm,集合预报模式的多种降水预报统计量都不支持 54511 站有降水的预报,如果再结合确定性预报,这次过程预报员可以不预报降水。5 次过程中还有两次过程(第八和九次)集合预报的效果不理

表 4 5 次过程主要天气发生时段集合预报统计

Table 4 Verification of precipitation forecasts of EC ensemble model (EC ENS for short) during the five WPPs

过程序号	检验时段/BT	平均值/mm	中位值/mm	最大值/最小值/mm	离散度/mm	降水概率	概率匹配/mm	最大概率区间/mm	控制值/mm	实况/mm
5	02-08	0.01 —	0.0 —	0.2/0.0	0.01	18%	0.0 —	0.0~0.01	0.0 —	0.0
6	02-08	0.1 —	0.1 —	0.2/0.0	0.1	88%	0.1 —	0.01~0.5	0.1 —	T(雪)
7	14-20	0.7 ↑	0.6 ↑	2.0/0.1	0.4	100%	0.6 ↑	0.01~1.5	0.7 ↑	T(雨)
	20-02	0.1 —	0.01 —	1.0/0.01	0.2	100%	0.1 —	0.01~1.5	0.01 —	T(雪)
	02-08	0.1 —	0.1 —	1.1/0.01	0.2	88%	0.1	0.01~1.5	0.01 —	T(雪)
8	02-08	0.4 ↑	0.2 ↑	1.5/0.0	0.4	82%	0.2 ↑	0.01~1.5	0.2 ↑	0.0
9	02-08	3.4 ↑	3.5 ↑	8.8/0.0	2.3	94%	4.2 ↑	3.0~4.5	5.4 ↑	0.0

注:符号 ↑, —, ↓和 T 同表 3,过程时间同表 1。

Note: the signs of ↑, —, ↓ and T are same as in Table 3.

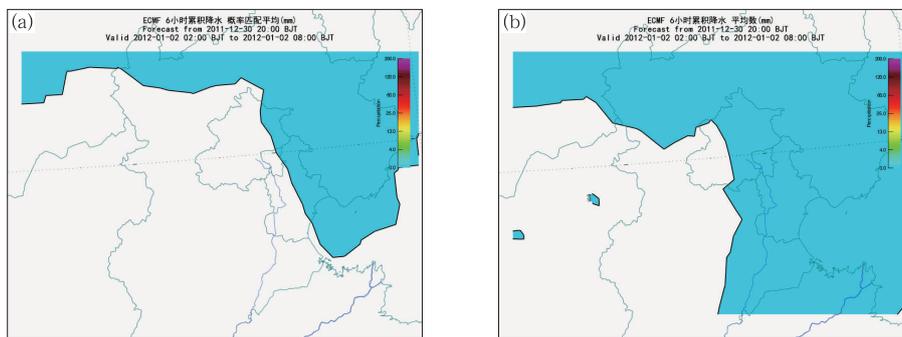


图 3 2012 年 1 月 2 日 08 时 6 h 累积降水 EC 模式 60 h 预报对比
(a) 概率匹配集合平均, (b) 集合平均

Fig. 3 Comparison of 6 h precipitation observation in 02:00–08:00 BT 2 January 2012 and forecasts from EC model initiated at 20:00 BT 30 December 2011
(a) probability-matched ensemble mean, (b) ensemble mean

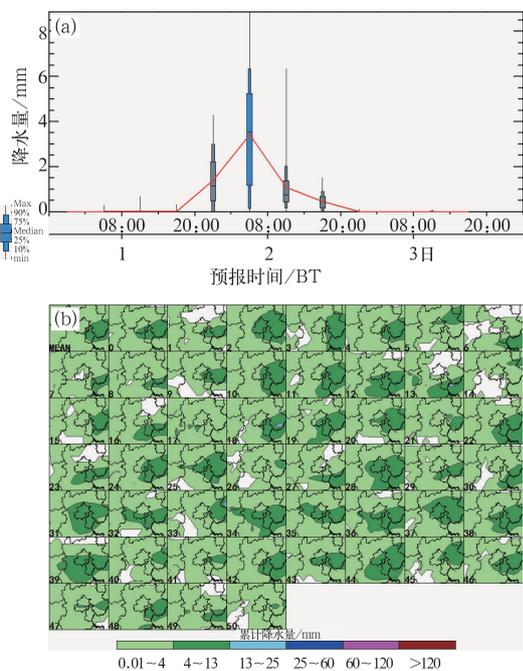


图 4 2012 年 4 月 2 日过程 6 h 累积降水预报
(a) 54511 站集合预报箱须图, (b) 4 月 2 日 02—08 时 6 h 累积降水 36 h 预报邮票图

Fig. 4 The 6 h accumulated precipitation forecast for the raining process on 2 April 2012
(a) boxplot of ensemble forecast at Station 54511,
(b) stamp map of 6 h accumulated precipitation forecast for the period of 02:00–08:00 BT 2 April 2012 from the EC ENS initiated at 20:00 BT 31 March 2012

想,特别是第九次过程(2012 年 4 月 1 日夜间至 2 日上午),预报员在 4 月 1 日早间会商中给出“北京地区主要降水时间段在 1 日夜间到 2 日中午,降水

量级在 2 mm 左右,降水性质以雨为主”的预报结论,但从实况来看北京地区只有北部两站出现 T 量降水。从集合预报来看,集合预报多种统计量表明 54511 站出现降水的可能性较大,降水概率超过 90%,降水量级在 3~5 mm,模式的集合平均预报产品对应 1 日 20 时至 2 日 20 时每个时段(6 h 间隔),均预报 54511 站有降水(图 4a),6 h 累积降水量级在 0.5~3.5 mm,其中降水量相对较大的时段出现在 2 日 02—08 时。进一步分析该时段的 EC 集合预报各集合成员的预报(图 4b),几乎所有成员都预报北京地区将出现降水,其中有 26 个集合预报成员预报了北京的部分地区降水量级将达到 4 mm 以上。具体空报原因在 5.2 节分析。

总体上集合预报较好地反映了每次弱降水天气过程,在观测有降水的情况下,集合预报的降水概率一般在 80% 以上,降水概率匹配平均和集合平均降水在量级和时段分布上也与实况观测接近,不足之处在于降水空报率也较高,即降水概率高的情况下不一定会出现降水,因此结合具体天气形势分析非常必要。

4 天气形势对比分析

前面分析表明,模式降水空报现象比较明显,必须要结合具体天气形势来分析。对 9 次弱降水过程的天气形势对比分析可以看出(表 5),这些过程的主要影响天气系统可以概括为高空有 500 hPa 高空槽并常常配合有高原槽,低层以切变线为主,地面表现为锋面、倒槽或偏东风。进一步根据东亚中高纬

表 5 9 次过程天气形势及影响系统对比 (过程时间同表 1)

过程序号	环流形势	影响系统			
		500 hPa	850 hPa	925 hPa	地面
1	一槽两脊	高空槽, 高原槽	东风回流	东风回流	华北锢囚锋
2	一槽两脊	高原槽, 高空槽	高空槽	切变线	锋面
3	两槽一脊	高空槽, 高原槽	弱切变线	切变线	冷锋
4	一槽一脊	槽后脊前	冷高后部偏南风	弱切变线	东风回流
5	两槽一脊	高空槽	低槽	暖式切变线	冷锋
6	两槽一脊	高原槽	短波槽	中尺度暖切变	东风、倒槽
7	一槽两脊	高空槽后	东西向切变线	高压后部偏南风	东风、倒槽
8	两槽一脊	高空槽, 高原槽	低槽、暖式切变线、低空急流	中尺度暖式切变线	冷锋伴气旋
9	两槽一脊	高原槽	低涡切变	低涡切变	冷锋伴气旋

度地区 500 hPa 大气环流形势特征可以把高空环流形势分为三种类型, 并选取其中一个过程作为不同类型的代表, 具体天气型为: (1) 两槽一脊型 (5 次)。高空槽一般位于蒙古国中部到我国西北地区中东部, 北京一般位于槽前弱高压脊下, 脊前在黄海东部到日本海一带有另一高空槽 (图 5a)。这是北京弱降水出现最多的高空天气类型; (2) 一槽两脊型 (3 次)。我国东北地区北部或贝加尔湖附近地区有高空冷涡, 冷涡低槽南伸到华北西北部, 其南侧有东移加深的高原槽和南支槽, 影响槽一般为冷涡低槽或高原槽, 影响槽前后一般为弱高压脊, 有时高压脊较强 (图 5b); (3) 一槽一脊型 (1 次)。东北地区东北部有高空冷涡, 冷涡低槽位于日本海到黄海南部, 槽后为高压脊 (图 5c)。

按照地面系统来分, 这 9 次弱降水过程又可以分为以下四种类型: (1) 冷锋型 (5 次), 典型特点就是冷锋过境。蒙古高原有冷高压, 高压前部为冷锋, 地面有冷锋逐渐东移南压, 有时有地面气旋配合 (图 6a), 但中高层天气系统过境较快, 有时天气系统具有前倾结构, 700 hPa 以上以西偏北气流为主; (2) 华北锢囚锋型 (1 次), 通常东部低槽已东移至东北地区, 引导冷空气从东路南下, 进入华北平原以后通常冷空气会进一步向西回流, 与此同时, 高原或西北地区东部有短波槽东移发展, 引导西路冷空气从河套东移南压, 与东路回流冷空气相向而行在西北地区东部或华北西部形成锢囚锋 (图 6b); (3) 东风与倒槽型 (2 次), 通常在倒槽建立以前 850 hPa 及其以下有暖脊或暖平流东移发展, 低层有切变线配合, 地面倒槽从而得到发展, 北京及以东地区地面为高压底部偏东风控制 (图 6c); (4) 东风回流型 (1 次), 对于纯东风回流型, 对流层中高层 (如 500 hPa) 为平直西风或西偏北风, 近地面为回流东风, 850 hPa 为高压后部偏南风, 925 hPa 沿太行山地形有弱切变线存在 (图 6d)。

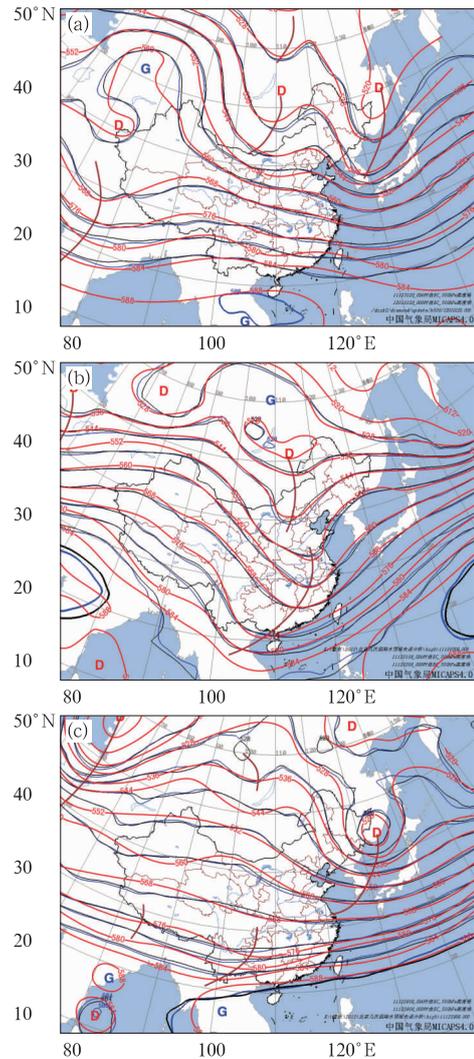


图 5 500 hPa 环流分型及 EC 模式 24 h 预报场、模式初值场和观测分析场对比

(a) 两槽一脊 (2012 年 1 月 1 日 20 时),
(b) 一槽两脊 (2011 年 12 月 2 日 08 时),
(c) 一槽一脊 (2011 年 12 月 29 日 08 时)

(等值线为高度场, 红线为主观分析场, 蓝色为模式初值场, 黑线为模式 24 h 预报场, 单位: dagpm)

Fig. 5 The 500 hPa atmospheric circulation patterns and comparisons of model 24 h forecast, model 0 h analysis and observation analysis

(a) two-toughs one-ridge, (b) one-tough two-ridges, (c) one-tough one-ridge

(unit: dagpm; the red, blue and black contours are observation analyses, model analyses and 24 h forecasts respectively)

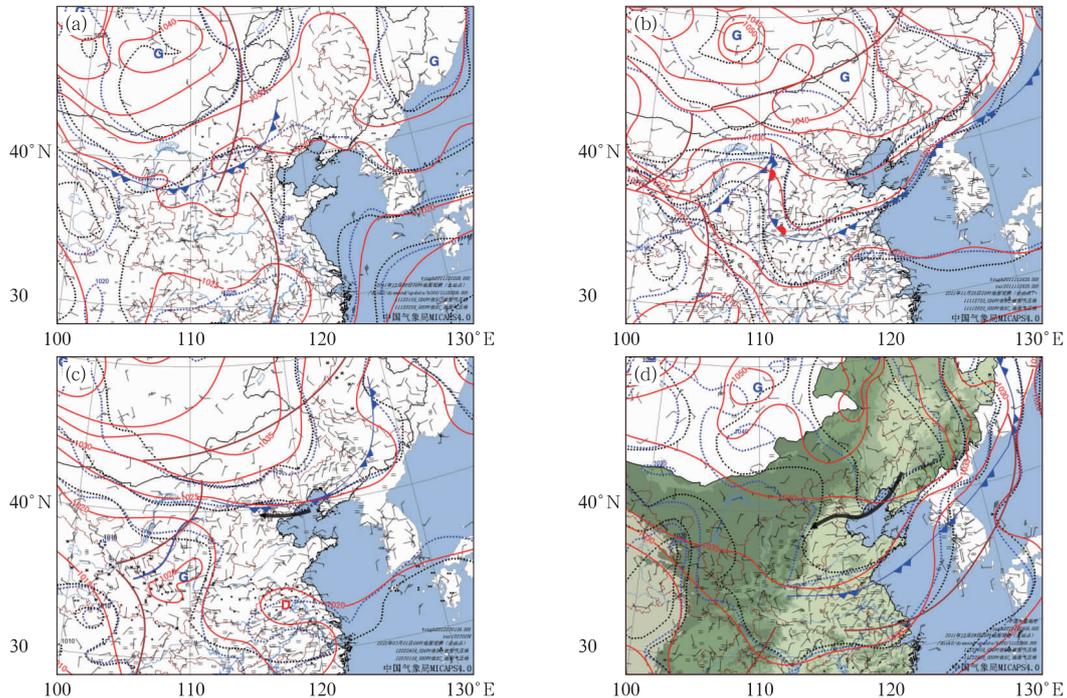


图 6 地面系统概念模型

(a)冷锋型(2011年12月2日08时), (b)华北锢囚型(2011年11月28日20时),
(c)东风与倒槽型(2012年3月1日08时), (d)东风回流型(2011年12月29日08时)
(图中背景场为地面风和天气现象观测,红色实线为地面气压主观分析,蓝色和黑色点线分别为
地面气压模式预报初值场和24h预报场,黑色箭头为地面冷空气路径,棕色粗线为500hPa
高空槽线,蓝色粗线为地面倒槽,锋面同传统分析,图6d叠加了地形)

Fig. 6 Conceptual models of surface weather systems

(a) cold front at 08:00 BT 2 December 2011, (b) occluded front in North China at 20:00 BT
28 November 2011, (c) easterly wind and inverted trough at 08:00 BT 1 March 2012,
(d) eastward returning current at 08:00 BT 29 December 2011

(Backgrounds are observed surface wind and weather phenomena; red solid line is subjective analysis
of surface pressure, blue and black dotted lines are EC model 0 h and 24 h surface pressure forecasts
respectively, black arrows represent the paths of cold air, brown and blue thick lines are 500 hPa troughs
and surface respectively, surface fronts are same as traditional analysis, shaded area in Fig. 6d is terrain)

上述天气系统类型与北京地区典型降水概念模型基本一致,所不同的是系统位置、强度以及系统的垂直发展高度等与典型个例有一定差异。

从数值模式对天气形势的预报情况来看,北京地区附近高空500 hPa槽脊位置和强度的24 h预报与实况观测分析场和模式预报的初值场都十分吻合(图5)。从地面四种天气型代表个例的地面气压场24 h预报来看,总体预报比较好,特别是系统的移动速度上,主要表现在代表冷空气前锋的地面冷高压系统的1025或1035 hPa等压线与主观分析和模式预报零场比较吻合,但也表现出一些差别,主要体现在系统的强弱上,如华北锢囚锋型的2011年

11月28日个例,锢囚锋附近气压预报偏低(图6b),东风回流型的2011年12月29日个例,黄土高原上的地面气压预报明显偏弱,预报的等压线沿太行山东麓南北走向,而实际等压线是东西走向,横穿黄土高原,这一地面高压是前期从新疆北部东移冷空气遗留下来的,只是模式预报该高压减弱得比较快,而对于从东北平原南下到华北平原的冷空气,冷空气的前锋及冷空气南下后由偏北风转成偏东风的趋势,模式预报和实况分析还是比较一致的(图6d)。综上所述,模式预报的主要降水影响系统是可靠的。

5 基本物理量对比分析

5.1 气温和垂直速度对比

近地面层的气温可以影响弱降水的蒸发,如果大气低层气温较高,即便是有弱雨雪下落也会出现大量蒸发,因而地面也可能不会出现降水,但是,如果该不饱和层内的气温较低,蒸发会很弱。从北京 54511 站的 925 hPa 层的气温观测来看(表 6),前 7 次过程的气温都在 -3°C 或以下,气温相对较低,不利于降水粒子的蒸发。第八次过程 925 hPa 层的气温较高,达 11°C ,同时相对湿度也较小,对降水粒子蒸发较为有利。第九次过程虽然气温为 1°C ,但观测的相对湿度仅为 30%,而预报的相对湿度则达 91%,降水粒子的实际蒸发效果比预报的要强。因

此第八次和第九次过程虽然模式都预报了弱降水,但实际大气状况比较有利于降水粒子蒸发,可能是导致地面没有观测到大范围降水出现的一个因素。EC 模式的气温初值场与观测值相差不大,最大误差约 1°C 左右,模式构建的温度初值场是可靠的。从预报来看,前 7 次过程的预报误差在 1°C 以内,后两次过程的预报误差稍大,达 2°C 以上。前 8 次过程预报和观测的气温正负号相同,对该层降水粒子相态的预报几乎没有影响,第九次过程观测气温为正,预报气温为负,但由于气温都接近 0°C ,同时预报的地面气温较高,达 3°C (实况为 6°C),也不影响降水相态为雨的预报。

以 925、850 和 700 hPa 分别代表大气边界层、对流层中下层和对流层中层。从三层垂直速度的模式分析来看(表 7),有 4 次过程(第二、五、六和第七次)大气边界层、对流层中下层、对流层中层都表现

表 6 北京 54511 站 925 hPa 相对湿度和气温 EC 模式 24 h 预报、模式初值和观测对比
Table 6 Comparisons of 925 hPa relative humidity and temperature observations at Station 54511 in Beijing and the 24 h, 0 h forecasts by EC model

过程序号	时间/BT	相对湿度/%			气温/ $^{\circ}\text{C}$		
		预报	初值	观测	预报	初值	观测
1	2011. 11. 29. 08	44	33	50	-3.1	-2.6	-3
2	2011. 12. 2. 08	70	93	92	-3.8	-2.7	-3
3	2011. 12. 6. 08	78	93	92	-2.1	-1.7	-3
4	2011. 12. 29. 08	85	86	84	-9.1	-9.5	-8
5	2012. 1. 1. 20	34	42	30	-7.2	-6.9	-7
6	2012. 1. 7. 08	81	92	91	-8.6	-10.1	-10
7	2012. 3. 1. 20	100	100	92	-2.8	-3.5	-3
8	2012. 3. 28. 20	29	32	31	13.4	11.1	11
9	2012. 4. 2. 08	91	76	30	-1.3	-0.1	1

表 7 北京 54511 站垂直速度(单位: $10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)EC 模式 24 h 预报和模式初值对比
Table 7 Vertical velocity comparison of the 24 h and 0 h forecasts by EC model for Station 54511 in Beijing (unit: $10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

过程序号	时间/BT	925 hPa		850 hPa		700 hPa	
		预报	初值	预报	分析	预报	初值
1	2011. 11. 29. 08	-0.8	1.3	-1.5	-0.5	0.3	1.2
2	2011. 12. 2. 08	0.4	-0.2	0.2	-0.3	-1.6	-3.2
3	2011. 12. 6. 08	1.2	0.8	1.8	0.4	1.0	-0.6
4	2011. 12. 29. 08	-3.8	-4.9	-0.9	-2.0	-0.4	0.7
5	2012. 1. 1. 20	-1.1	-2.1	-2.3	-2.8	-1.1	-1.4
6	2012. 1. 7. 08	-2.0	-1.8	-1.8	-0.3	0.2	-0.5
7	2012. 3. 1. 20	-5.0	-12.0	-5.0	-4.0	2.0	-0.4
8	2012. 3. 28. 20	-2.0	-5.0	-3.0	-5.0	1.0	4.0
9	2012. 4. 2. 08	1.8	1.8	-2.9	1.4	-3.0	-2.3

注:加粗字体表示预报和分析的垂直速度符号相反。

Note: bold fonts mean the signs of values of 24 h and 0 h forecasts are opposite.

为上升运动,其他 5 次过程上升运动或出现在对流层中下层和边界层(第一、四和第八次),或出现在中层(第三和第九次)。虽然弱的上升运动与是否出现降水无明确的对应关系,但较为深厚的上升运动更有利于降水,如大气边界层、对流层中下层和对流层中层都表现为上升运动的 4 次过程中除第五次过程只在北京东北部出现两站 0.01 mm 降水外,其他 3 次过程 54511 站及附近都出现了弱降水。由于弱降水过程垂直速度较小,无需比较垂直速度的量级,仅从垂直速度值的正负号的一致性来看,大部分过程预报场和分析场对于上升和下沉的诊断分析是一致的。

5.2 水汽条件对比

从上述天气形势分析可以看到,9 次过程都有弱天气系统相配合,具备一定的动力条件,虽然系统层次有时较为浅薄,但在对流层低层大气接近饱和的情况下,只要具有一定的抬升条件也可发生降水。何娜等(2014)对比分析了第一次和二次预报员分别

出现了空报和漏报的两次过程,认为北京地区冬季降雪预报要特别关注边界层湿度的变化,当边界层内水汽条件较差时,即使中高层有明显的天气系统也不易产生降雪。当边界层湿度条件好,并配合有边界层辐合系统时,即便对流层中层没有明显天气系统,也会产生降雪。因此对于北京地区冬半年弱降水过程,对流层低层水汽条件至关重要。

从 9 次弱降水过程的水汽条件来看(表 8),大部分过程地面到 850 hPa 比湿在 $1.0 \sim 3.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。水汽源地的分析表明,所有过程在过程时间之前边界层露点温度均有上升的趋势,水汽主要是通过高压底部偏东风或东南风或高压后部偏南风从渤海湾或者上游相对高湿区输送而来,其中有 2 次过程(第三和第八次)对流层中低层建立了从南方来的水汽通道。对比 9 次弱降水过程的水汽条件,对于 54511 站及附近未出现降水的过程(第一、五、八次),其特点是抬升凝结高度较高,均在 850 ~ 880 hPa,而出现降水过程的抬升凝结高度低,一般

表 8 9 次过程水汽条件及不利条件对比(过程时间同表 1)

Table 8 Comparison of water vapor conditions and unfavorable conditions for 9 WPPs

过程序号	水汽来源	饱和层次	地面,925 hPa,850 hPa 比湿/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	抬升凝结 高度/hPa	不利条件
1	渤海湾	中高层近饱和,边界层内水汽条件差	1.1,1.6,2.5	850	华北锢囚锋位置偏西。700 hPa 切变线偏南。边界层内水汽条件差
2	黄淮、华北南部雾区	整层水汽接近饱和	3.2,3.0,2.5	989	925~700 hPa 受西北气流控制
3	边界层渤海湾,对流层低层建立了南方水汽通道	整层饱和	3.4,3.0,2.9	997	系统偏弱,水汽输送较差
4	渤海湾	850 hPa 以下大气接近饱和	1.3,1.8,1.5	927	850 hPa 以上为西北风,且水汽条件差
5	未建立从南方来的水汽通道	高层饱和	1.1,0.7,0.8	860	系统前倾,850 hPa 以上高空系统过境快;边界层内水汽条件较差
6	边界层渤海湾	850 hPa 层以下饱和	2.0,1.6,1.2	988	850 hPa 低槽偏西,对流层高层偏西风控制,抬升层次浅薄;大气含水量低,饱和层次低
7	边界层渤海湾	整层接近饱和	3.7,3.0,2.3	989	700h Pa 以上为高空槽后偏西北风,抬升层次浅薄
8	水汽通道从华南向北延伸	整层均未达到饱和	2.3,2.7,2.7	850	高空系统移动较快且系统前倾明显,前期温度偏高,大气饱和程度低
9	渤海湾	高层饱和,中低层层水汽差,850 hPa 浅薄饱和层	2.9,1.3,2.9	882	系统偏南,边界层内水汽条件差

在 925~990 hPa。进一步分析大气饱和层可以发现,9 次过程中除了 1 次过程(第八次)未有饱和层外,其他 8 次过程有 3 次过程(第二、三、七次)大气整层达到了饱和,有 2 次过程(第四、六次)对流层低层接近饱和,有 3 次过程(第一、五、九次)对流层中高层达到饱和。可以看出,对流层中高层达到饱和及整层未饱和的过程都没有出现降水,由此可见对流层低层接近饱和是降水发生的非常重要的条件。

6 空漏报原因分析

从中低层水汽条件的角度对空漏报的原因进行分析。

6.1 空报过程水汽条件及空报原因分析

前面一节分析了北京 54511 站及附近区域模式和预报员都空报的 4 次过程(第一、五、八、九次)中只是对流层中高层达到饱和而对流层低层未饱和或

整层都未饱和,这可能是降水未出现的重要原因。下面以 EC 模式为代表重点分析空报过程中 54511 站 EC 模式相对湿度初值、预报值与实况观测值的对比情况,重点分析第一和九次空报过程。从过程前三天的模式各层初值与实况观测对比来看,模式相对湿度初值误差较小,都在 10% 以内,模式初值场分析结果是可靠的(图 7a~7c 和图 9a~9d)。第一次过程即 2011 年 11 月 28 日夜间至 29 日白天空报过程,实况探空表现为低层空气气温露点差较大,空气较为干燥,而中高层较湿,低层建立了弱偏东风(图 7d)。从 EC 的相对湿度预报来看(图 7a、7b、7c),1000 和 925 hPa 相对湿度预报与观测比较一致,850 hPa 相对湿度预报比观测偏干 24%。风廓线仪和微波辐射计湿度观测结果表明,在最有可能出现降雪的 28 日 20 时至 29 日 20 时,1.5~4.0 km 相对湿度显著增加到 90% 以上,但是 1.5 km 以下湿度较差(图 8b),低层东风高度在 600~2100 m,但东风内湿度持续下降,即东风气流内空气相对湿

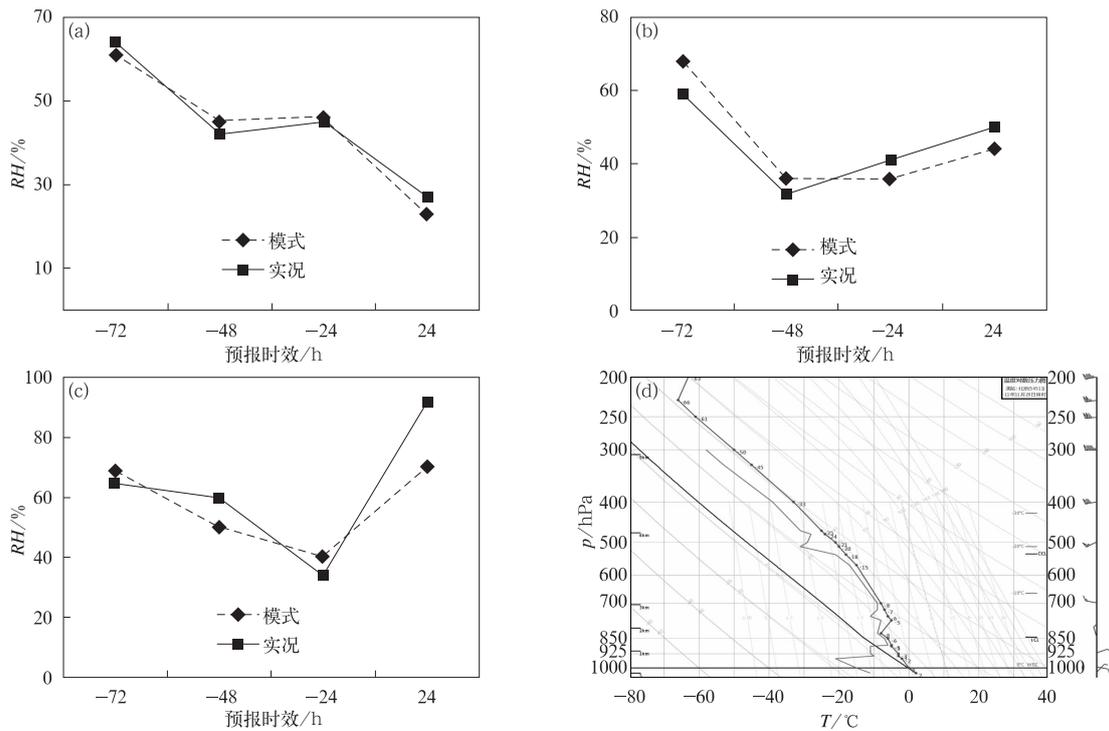


图 7 2011 年 11 月 29 日 08 时 EC 模式各层相对湿度前 3 d 及当天 24 h 预报值与对应模式初值对比

(a) 1000 hPa, (b) 925 hPa, (c) 850 hPa, (d) 54511 站实况探空

Fig. 7 Relative humidity (RH for short) comparison of EC 24 h forecasts and corresponding 0 h forecast for the past 3 d and the very day at 08:00 BT 29 November 2011

(a) 1000 hPa, (b) 925 hPa, (c) 850 hPa, (d) observed T - $\ln p$ at Station 54511

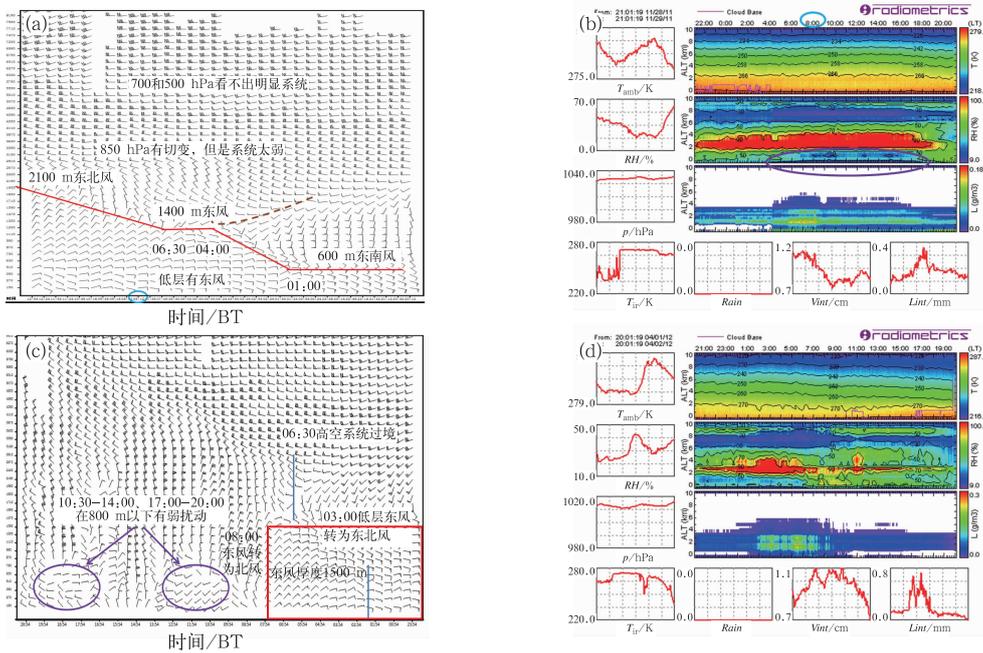


图 8 延庆风廓线仪观测(左,时间从右至左,间隔 30 min), (a)2011 年 11 月 28 日 20:12 至 29 日 12:54, (c)2012 年 4 月 1 日 23:54 至 2 日 20:54; 延庆微波辐射计观测(时间从左至右,间隔 10 min), (b)2011 年 11 月 28 日 21:00 至 29 日 21:00, (d)2012 年 4 月 1 日 20:00 至 2 日 20:00 时

Fig. 8 Wind profiler (a, c, time is from right to left with 30 min interval) and microwave diometer (b, d, time is from left to right with 10 min interval) observations at Yanqing Station (a) 20:12 BT 28–12:54 BT 29 November 2011 (dashed line: trough), (b) 21:00 BT 28–21:00 BT 29 November 2011, (c) 23:54 BT 1–20:54 BT 2 April 2012, (d) 20:00 BT 1–20:00 BT 2 April 2012

度较小,同时动力条件也较弱(图 8a),导致降水没有出现。

第九次过程即 2012 年 4 月 1 日夜间至 2 日上午降水预报员空报过程,模式也都预报了较为清楚的降水(图 4),从实况探空上可以看到(图 9e),在 850~700 hPa 有一浅薄湿层,湿层上下温度露点差较大,空气比较干燥,低层有明显东风,但天气形势分析表明,地面是气旋锋面南压的形势,低层的东风并不是回流。从风廓线仪和微波辐射计观测来看(图 8c、8d),高空系统比较清楚,高空槽在 2 日 06:30 左右过境,随之低层偏东风转为东北风,在系统过境前,2 km 以下湿度很差,但在 2~4 km 有一个饱和层,系统过境后,低层湿度略有好转,但是 2~4 km 的饱和层变得更加浅薄。总的来说,水汽条件不是十分有利于降水发生。从 EC 相对湿度的预报来看,除 850 hPa 的 24 h 预报值与实况较为接近外(图 9c),其余各层相对湿度预报值明显偏高(图 9a、9c、9d),最高偏高 60%~70%,集合平均表

现为整层饱和(图 9f),因此水汽条件预报偏高是造成此次北京地区降水空报的主要原因之一。

还有两次空报过程,一次是预报 2012 年 1 月 1 日夜间北京部分地区小雪过程,3.3 节对这次过程从集合预报角度进行了分析,这次过程出现降雪的可能性本来就很小。另一次是 2012 年 3 月 28 日过程,也是模式对中低层水汽预报出现了偏差,比湿预报偏大。

近地面层的气温可以影响弱降水的蒸发,4 次过程除第八次过程边界层内预报的气温偏高 2℃ 以上外,其他 3 次过程(第一、五、九次)预报的气温接近或低于观测,但由于气温较低,对降水的蒸发不会有太大影响,而水汽的预报偏差较大是主要原因。

6.2 漏报过程水汽条件及漏报原因分析

预报员出现漏报的两次过程(第二次和四次)模式都预报出降水(图 2,表 3)。第二次过程,即 2011 年 12 月 2 日北京初雪过程,降雪从 2 日早晨开始,

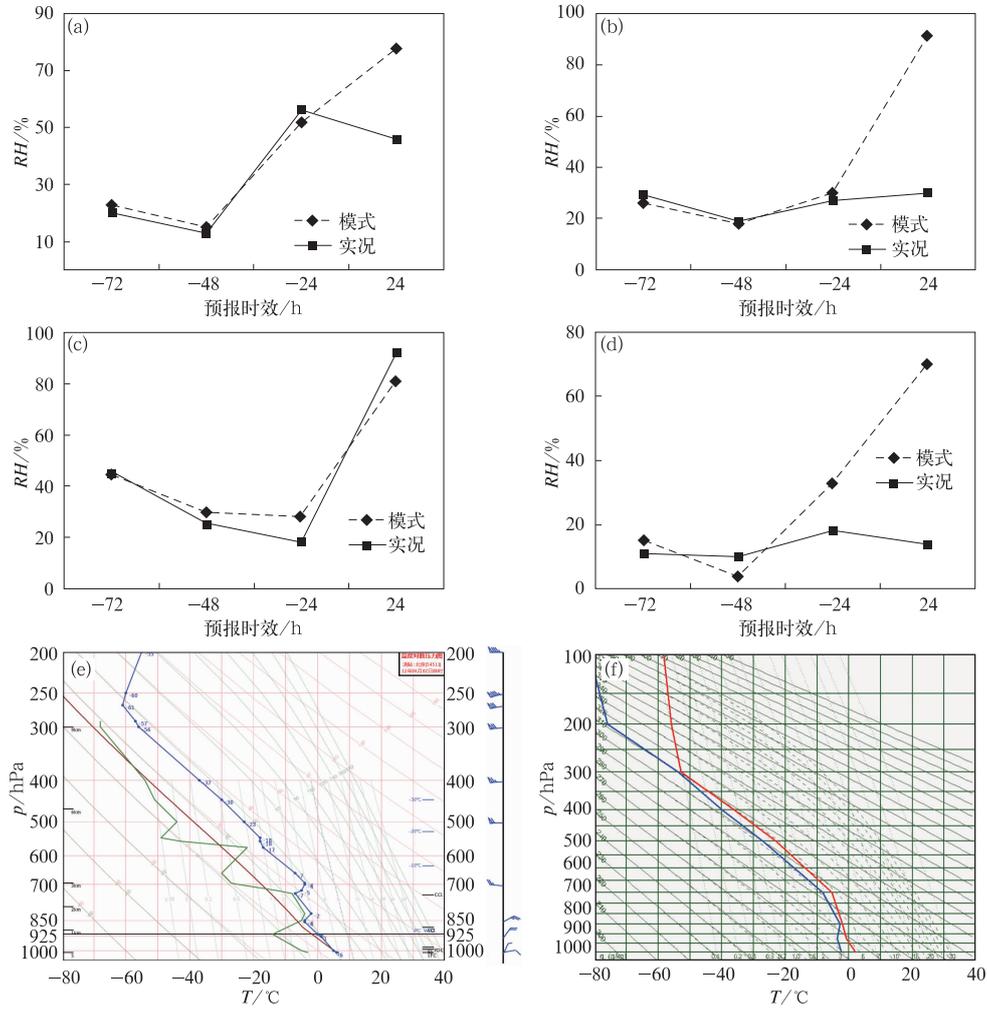


图 9 2012 年 4 月 2 日 08 时 EC 模式各层相对湿度前 3 d 及当天 24 h 预报值
与对应模式初值对比

(a) 1000 hPa, (b) 925 hPa, (c) 850 hPa, (d) 700 hPa,

(e) 54511 站实况探空, (f) EC ENS 模式平均探空

Fig. 9 Same as Fig. 7, but for 08:00 BT 2 April 2012

(a) 1000 hPa, (b) 925 hPa, (c) 850 hPa, (d) 700 hPa, (e) observed $T-\ln p$

at Station 54511, (f) EC ENS mean $T-\ln p$ at Station 54511

持续到中午,全市平均降水量为 1.3 mm,城区(5 站)平均为 2.7 mm,最大降水量出现在六道口桥为 5.1 mm。此次过程近地面层湿度非常大,抬升凝结高度非常低(表 6)。而这种湿度条件的改善主要发生在 1 日夜里,1 日 20 时的探空观测表明,近地面层已有近饱和层,同时高空也有饱和层(图 10b)。地面观测也表明了湿度增大的趋势,温度露点差从 1 日夜里开始逐渐缩小,到 1 日 23 时地面达到饱和,此后饱和状态一直持续(图 10a)。微波辐射计湿度观测表现得更加清楚(图 10d),2 日 02:00 开始,3 km 以下明显增湿,05:00 以后接近饱和;

10:00~12:00 饱和层向上伸展,甚至达到 10 km,此时段正是降雪发生的主要时段,从湿度增加到降雪开始时间间隔非常短。此后大气低层一致处于饱和状态,中高层也维持 50%~70% 的相对湿度。预报员漏报此次过程的原因主要是此次高空形势十分复杂,500 hPa 上虽有高空槽过境,但是 700 和 850 hPa 上均为西北风(图 10c),空气相对湿度小。近地面层在 2 日 05:30 分前一直为偏西风,天气形势并不十分有利于降水发生,只有到了 2 日早晨直到下午,1000 m 以下的近地面层出现了弱扰动(弱锋面过境),同时近地面层湿度突然增大,抬升凝结高度

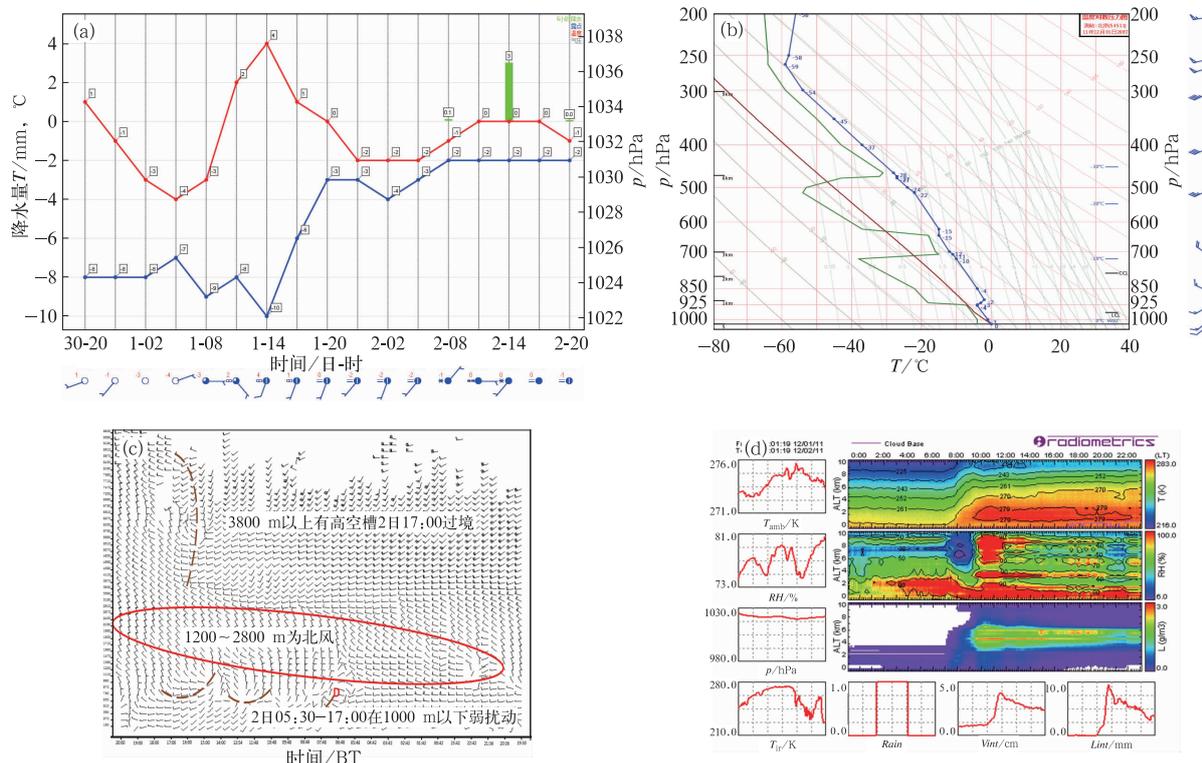


图 10 2011 年(a)11 月 30 日 20 时至 12 月 2 日 20 时北京 54511 站要素时间变化(时间间隔为 3 h),
 (b)12 月 1 日 20 时观测探空,(c)同图 8a,但为 12 月 1 日 19:30 至 2 日 20:00 延庆
 风廓线仪观测,(d)同图 8b,但为 12 月 1 日 23:00 至 2 日 23:00 微波辐射计观测
 Fig. 10 (a) Time variation of observed surface meteorological elements from
 20:00 BT 30 November to 20:00 BT 2 December 2011 with 3 h interval at
 Station 54511 in Beijing (red line is temperature, blue line is dew temperature),
 (b) sounding observation at Station 54511 at 20:00 BT 1 December 2011,
 (c) same as Fig. 8a, but for the period from 19:30 BT 1 to 20:00 BT 2 December 2011,
 (d) same as Fig. 8b, but for the period from 23:00 BT 1 to 23:00 BT 2 December 2011

非常低,导致降雪发生。对对流层中层西北或偏北
 风理解上的误判、对地面弱锋面不够重视以及对低
 层水汽条件的低估导致了此次过程漏报。另外预报
 员也受到前一次过程空报的影响。

另一次漏报过程为第四次过程,即 2011 年 12
 月 29 日降雪过程,预报员在 28 日下午和 29 日早晨
 只是预报北京天气为多云,29 日早晨降雪开始以后
 才改成预报 29 日白天部分地区有零星小雪,这次降
 雪断断续续持续一个白天,北京城区降雪较明显,降
 雪量有 0.4~0.5 mm,54511 站为 T 量。这次过程
 高空是一致的偏西或西北气流(图 11b、11c),近地
 层相对湿度较低,温度露点差大于 5℃(图 11a、
 11b),模式降水预报也较弱(图 11e),因此预报难度
 比较大。本次过程主要影响系统在低层,符合典型
 的东风回流天气概念模型,回流结构主要位于
 925 hPa 以下,29 日 08 时 925 hPa 冷高压位于渤海

湾,地面冷锋已南压至江淮北部,导致近地层形成稳
 定的东风回流形势,回流的东风里同时伴有扰动并
 受太行山地形阻挡(图 11c、11d),为降水提供了有
 利的抬升条件。与这一回流相伴,水汽在边界层内
 经渤海湾向北京地区输送,在 925 hPa 层相对湿度
 较大,达 95%以上,但非常浅薄(图 11f),抬升凝
 结高度较低,约为 927 hPa(图 11b)。可见,此次弱
 降水过程如果没有较低层次的水汽和风场资料很难
 分析出低层的影响系统、水汽分布及地形影响,降
 水沿太行山麓分布说明地形在此次过程中作用非常
 明显(图 11d)。漏报原因主要是对东风回流的结
 构及产生的影响认识不足。

7 结论和预报着眼点

通过以上分析,得到以下几点认识:

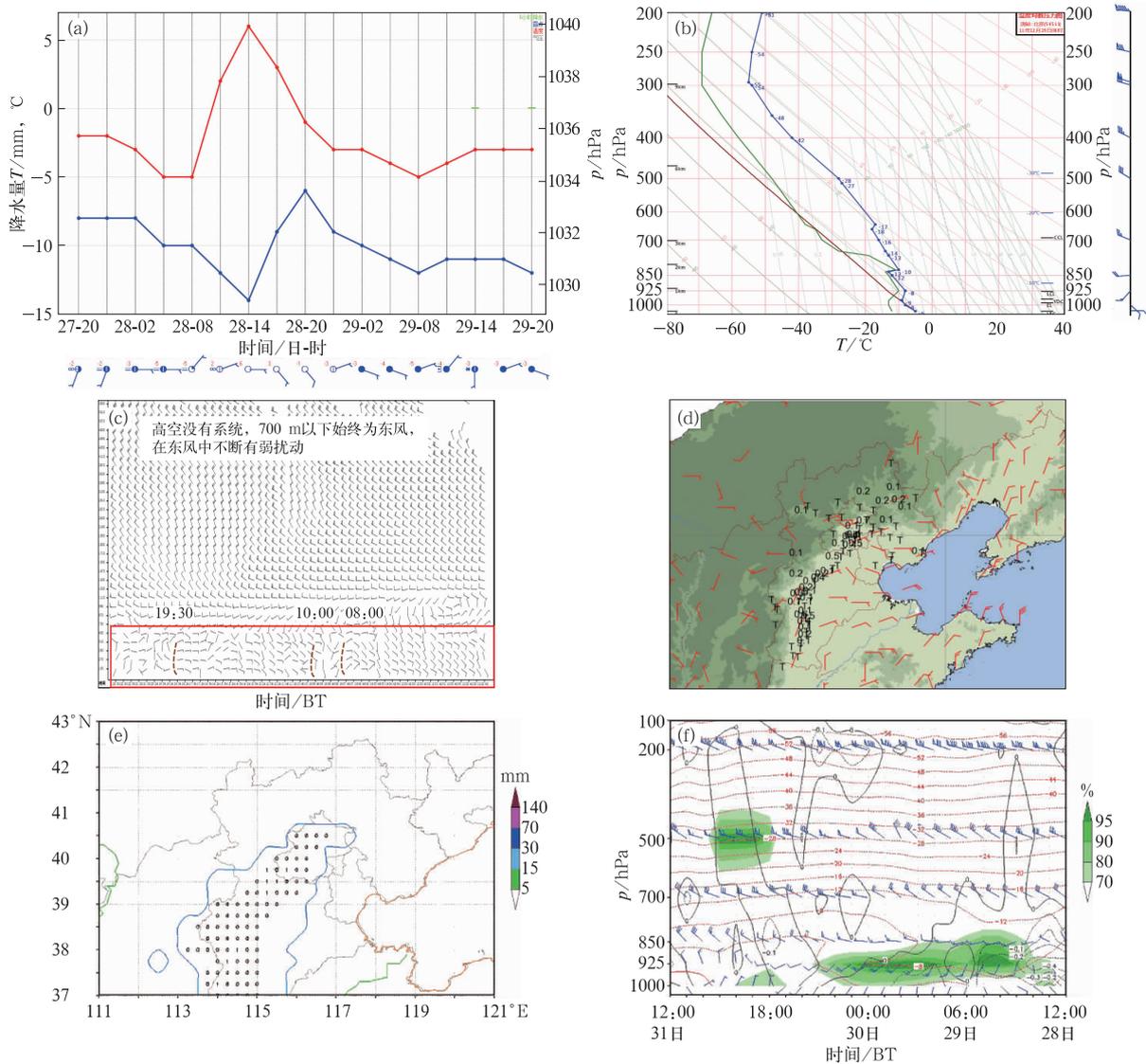


图 11 (a)同图 10a,但为 2011 年 12 月 27 日 20 时至 29 日 20 时,(b)2011 年 12 月 29 日 08 时探空,
(c)同图 8a,但为 12 月 28 日 22:42 至 29 日 23:00,(d)12 月 30
08 时 24 h 降水观测和 29 日 08 时地面风场,(e)29 日白天(12 h)EC 降水预报,
(f)EC 模式 2011 年 12 月 28 日 12 时起报的 0~72 h 要素时间高度剖面图(时间间隔为 3 h;
黑线为垂直速度,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$;红线为气温,单位: $^{\circ}\text{C}$;阴影区为相对湿度)

Fig. 11 (a) Same as Fig. 10a, but for period from 20:00 BT 27 to 20:00 BT 29 December 2011,
(b) sounding observation at Station 54511 at 08:00 BT 29 December 2011, (c) same as Fig. 8a,
but for the period from 22:42 BT 28 to 23:00 BT 29 December 2011, (d) observed 24 h accumulated
precipitation from 08:00 BT 29 to 08:00 BT 30 and surface wind at 08:00 BT 29 December 2011,
(e) 12 h accumulated precipitation forecasts for the period 08:00–20:00 BT 29 December 2011 by
EC model initiated from 20:00 BT 28 December 2011, (f) time-height cross section of wind,
relative humidity (shaded area), temperature (red line, unit: $^{\circ}\text{C}$) and vertical velocity (black line,
unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) for the period from 20:00 BT 28 to 20:00 BT 31 December 2011 (Time is
from right to left with 3 h interval) by EC model initiated at 20:00 BT 28 December 2011

(1) 对弱降水过程的预报,模式总体都有所反应,主要问题是空报;大部分过程模式预报的降水量级都不足 1 mm,在降水的有无和出现范围上没有

哪家模式有明显的优势;观测有降水的情况下,集合预报的降水概率一般在 80% 以上;但是降水概率高的情况下不一定会出现降水,需结合具体天气形势

进行分析。

(2) 弱降水过程天气形势复杂多样,高空形势可分为三种类型:两槽一脊型、一槽两脊型、一槽一脊型;地面形势可分为四种类型:冷锋型、华北锢囚锋型、东风与倒槽型和东风回流型。

(3) 对流层低层水汽在弱降水过程中至关重要。对于检验的 54511 站未出现有效降水的过程,一般表现为抬升凝结高度高,均在 850~880 hPa,而出现降水过程的抬升凝结高度低,一般在 925~990 hPa;只是对流层中高层达到饱和或整层未饱和的过程都没有出现降水,而整层达到了饱和或对流层低层接近饱和的过程都出现了降水;所有过程在降水出现之前边界层露点温度均有上升的趋势,边界层内水汽主要是通过高压底部偏东风或东南风或高压后部偏南风从渤海湾或者上游相对较潮湿区输送,而对流层中低层水汽主要通过系统平流来实现,仅有较少过程建立了从南方来的水汽通道。

(4) 空报过程具有低层水汽条件差或水汽浅薄、饱和层高度高、抬升凝结高度高的特点,同时动力条件配合不好,如中高空没有明显的影响系统,有些系统过境时缺乏水汽配合,东风回流是干气流等。模式预报的对流层中低层水汽条件往往偏高,如比湿偏强或增强过快、相对湿度偏大,这些都是造成降水空报的主要原因。

(5) 漏报过程具有低层湿度条件较好、饱和层高度比较低、抬升凝结高度低的特点,但高空系统不明显,如中空为西北或偏北风。降水往往由低层偏东风内弱扰动或偏东风与地形相互作用引起。基于以上认识,提出弱降水过程预报的着眼点:

模式还是弱降水过程参考的首要依据,这 9 次过程模式对弱降水过程都有所反应,只是强度弱,分布也较为均匀,有时有空报问题;集合预报产品可以增加预报信心,但集合预报也有空报的情况,观测有降水的情况下,集合预报的降水概率一般在 70% 以上,但降水概率高的情况下不一定会出现降水。

天气形势分析不可忽略。弱降水过程的动力条件也往往较弱,这是特别注意天气形势演变情况,尤其高低空系统配合情况,能否使水汽饱和层次增厚,

甚至贯穿整个对流层;注重低层环流形势分析,有无东风回流,了解回流层厚度、水汽分布情况,特别在临近预报时加强风廓线仪资料运用,分析东风演变和东风扰动情况。

需要认识到模式对水汽尤其是中低层水汽的预报能力有限,需加强检验,跟踪和检验水汽来源、水汽含量、相对湿度的变化;注重边界层水汽条件分析,微波辐射计水汽资料观测资料在弱降水过程短时临近预报中作用明显,通过观察水汽的分布和变化对弱降水发生的可能性和时间进行判断。

注重地形影响分析,关注即使只在边界层内只有较薄水汽饱和层的情况下,持续偏东风与地形相互作用带来降水的可能性。

致谢: 本文得到中国气象局暴雨预报专家创新团队(项目编号 CMACXTD002-3)的支持;感谢中国气象局数值预报中心的王雨提供降水预报检验部分结果。

参考文献

- 陈涛,林建,张芳华,等,2017.“16·7”华北极端强降水过程对流尺度集合模拟试验不确定性分析[J].气象,43(5):513-527.
- 湛芸,孙军,徐璐,等,2012.北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J].气象,38(10):1255-1266.
- 董林,符娇兰,宗志平,2012.2011 年隆冬北京初雪成因分析[J].气象,38(8):913-920.
- 符娇兰,马学款,陈涛,等,2017.“16·7”华北极端强降水特征及天气学成因分析[J].气象,43(5):528-539.
- 郭锐,张琳娜,李靖,等,2012.2010 年冬季北京初雪预报难点分析[J].气象,38(7):858-867.
- 何娜,孙继松,王国荣,等,2014.北京地区预报失误的两次降雪过程分析[J].气象科技,42(3):488-495.
- 蒋建莹,史历,倪允琪,2005.一次“高影响天气”的弱降雪过程的数值研究[J].应用气象学报,16(2):231-237.
- 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.
- 孙建华,赵思维,2003.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,8(4):387-401.
- 孙军,湛芸,杨舒楠,等,2012.北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二)极端性降水成因初探及思考[J].气象,38(10):1267-1277.
- 魏东,廖晓农,杨波,2010.有利环流形势下北京降雪空报原因[J].气象科技,38(2):182-188,281.
- 赵思雄,孙建华,陈红,等,2002.北京“12·7”降雪过程的分析研究[J].气候与环境研究,7(1):7-21.