

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.

北京快速更新循环预报系统(BJ-RUC) 模式探空质量评估分析^{*1}

魏 东¹ 尤凤春¹ 范水勇² 杨 波¹ 陈 敏²

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

提 要: 快速更新循环(Rapid Update Cycle)预报技术在国外已有多年研究并用于日常业务数年。北京市气象局 2007 年在国内建立了首家快速更新循环预报系统(BJ-RUC), 并成功应用于奥运气象保障服务。使用单站(54511)实况探空, 检验分析了 BJ-RUC 系统的探空预报性能。分析结果表明, BJ-RUC 预报的模式探空与实况各要素的变化趋势有很好的一致性。其中, 温度预报与实况相关性最好, 风的预报次之, 露点温度(尤其 400 hPa 以上)最差。对不同层次各要素的预报, 中层最好, 低层次之, 高层较差。系统预报的温度、露点温度和南风分量偏大, 风速和西风分量偏小。BJ-RUC 对温度和中低层露点温度的预报系统误差明显, 可以通过对初始场的订正等方法对其进行系统订正。初始时刻各要素与实况的相关性最好, 各预报时效误差分布趋势与初始场的一致。大多数情况下, 随着时效的增长预报误差增大。BJ-RUC 对基本要素的预报误差使得系统对 K 指数预报平均偏大、CAPE 偏小、高空垂直风切变偏小。但系统对 K 指数、CAPE 和高低空垂直风切变等物理量的变化趋势预报较准确。无论基本要素, 还是计算的物理参量, 12 小时时效内的预报误差较小、与实况的一致性较好, 在短时临近预报中具有较高的参考价值。

关键词: BJ-RUC, 数值预报模式, 探空, 评估分析

Assessment and Analysis of Sounding Information Obtained from Beijing Rapid Update Cycle Forecast System

WEI Dong¹ YOU Fengchun¹ FAN Shuiyong² YANG Bo¹ CHEN Min²

1 Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

2 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

Abstract: Using the sounding data of Beijing meteorological station (station ID: 54511) in the summer of 2008(1 June to 31 August) as the observed data, the sounding forecasting performances of Beijing rapid update cycle of assimilation forecast system (BJ-RUC) were analyzed in detail from the aspects of different levels, elements and forecast range. The results showed that the meteorological elements of the BJ-RUC system have a very good consistency with the real sounding results. The forecast results have better performance in the mid-layer than the higher and lower layers. For different meteorological elements, the forecasting capability to the temperature and wind is superior over other elements, and the performance of the humidity is the worst. The forecasting results of the temperature, humidity and southerly wind are too big, but results of the westerly wind are too small. The forecasting performance becomes worse with the increasing of the forecast range, and the results within 12 hours initialed from 12 UTC is better especially.

* 本文得到国家“十一五”科技支撑计划重点项目课题“城市群高影响天气预报系统的集成和业务示范”(2008BAC37B05), 中国气象局 2008 新技术推广项目“基于 LAPS 的数据融合系统应用研究”和中国气象局北京城市气象研究所城市气象科学研究基金项目(UMRF200706)共同资助

2009 年 10 月 12 日收稿; 2009 年 12 月 4 日收修定稿

第一作者: 魏东, 主要从事天气预报与分析研究工作. Email: wei_dong888@163.com

The forecast results of temperature and dew point temperature of mid-lower layer can be revised with system errors. In general, the forecasting sounding information of BJ-RUC has a superior performance within 12 hours, which is very useful to the very-short range weather forecast.

Key words: BJ-RUC (Beijing Rapid Update Cycle), numerical weather prediction model, sounding, assessment and analysis

引 言

众所周知,获得垂直上空的温、压、湿、风资料——探空,对于天气系统的监测和预报有极为重要的作用^[1-2]。目前,常规探空存在着空间站点稀少、气球漂移,这使得常规探空资料存在误差等不足^[3-4],更为重要的是,实况资料只能得到当时的大气状态,而对于预报来说则更需关注未来高空大气的状态。随着数值预报技术的发展,模式探空逐渐成为预报中的重要参考,Hart 等^[5-6]的研究认为,综合运用模式逐时探空在预报雷暴、中尺度对流复合体、对流趋势、中尺度不连续面的边界以及水汽通量辐合区域的形成和消散时有重要作用,李佳英等^[7]检验了北京地区 3 km 分辨率 MM5 模式对强对流天气的诊断分析能力,表明垂直风切变与实况较一致,CAPE 误差较大。陈子通等^[8-9]分析了华南地区强对流天气高发季节(4—5 月)模式探空与实际观测资料的比较结果,认为模式逐时探空有很好的应用价值。但仍然存在预报频次少、准确率不高不足。另一方面,如何将高时空分辨率的新型探测资料(地面自动站、多普勒雷达、单双基 GPS 站、风廓线仪和微波辐射计等)最大程度地应用于数值模式得到更为准确的预报也是成为当前改进数值预报结果准确性的一种重要途径。目前国际上流行数值预报模式的快速更新循环(Rapid Update Cycle,简称 RUC)同化和预报系统^[10]。该系统每日多次启动,不断吸收最新的探测资料更新初始预报场运转模式进行预报。国外在 20 世纪 90 年代初就开始了此方面的相关研究^[11],美国 NOAA/NCEP 的 RUC 系统(<http://ruc.noaa.gov/>)业务化运行已有数年,相关研究表明,由于快速更新同化了大量的实时观测资料而能够得到更为准确的预报结果^[12-13]。国内对 RUC 系统的相关研究还不多。

北京市气象局历经 3 年引进、开发完成北京快速更新循环同化预报系统(BJ-RUC),2007 年汛期开始业务试运行,2008 年 4 月 15 日正式投入业务

运行。系统每日 8 次提供 24(36)小时时效的多种物理量和要素预报结果。该系统成功应用于 2008 年奥运会气象保障服务,发挥了重要作用,其提供的预报产品现已成为预报员在业务预报中最重要的参考资料之一。

为了使预报员准确把握模式的预报性能,益于模式系统的研发人员对系统的进一步改进,本文通过定量检验,对 BJ-RUC 系统的单站探空的预报性能进行详细评估分析。

1 BJ-RUC 系统和资料说明

1.1 BJ-RUC 系统简介

BJ-RUC 的主模式为 WRFV2.2,包括相应的前处理模块 WPSV2.2 和 WRFVARV2.1。模式的同化和预报区域设置为 27 km—9 km—3 km 的三重嵌套,三个预报区域如图 1a 所示。垂直方向 38 层,模式层顶为 50 hPa。模式采用的各方案为:WSM6 显式微物理方案、Kain-Fritsch(new Eta)对流参数化方案、YSU 边界层方案、RRTM 长波辐射方案、Goddard 短波辐射方案、Noah 陆面模式。

该系统采用 NCEP 的全球分析和预报资料(AVN)制作系统冷启动背景场及边界条件,业务运行同化的资料主要包括:常规及加密探空观测、常规及加密地面观测、船舶/浮标观测、飞机观测等全球观测资料;北京实时自动站和地基 GPS 可降水量等本地探测资料。

系统每 3 小时启动运行一次,每天运行 8 次(00 UTC、03 UTC、06 UTC 等)。其中,12 UTC 为冷启动,其他时次为暖启动,每次预报时效为 24 小时(部分时次预报已延长至 36 小时),系统的运行流程如图 1b 所示。

1.2 资料与分析方法

使用 2008 年夏季(2008 年 6 月 1 日至 8 月 31 日)北京南郊观象台(54511)的探空实况资料。总样本数为 307 个,其中 08 时样本 92 个,14 时样本 62

个,20 时样本 92 个,02 时样本 61 个。检验 BJ-RUC

不同预报时次、不同层次、不同要素的预报性能。

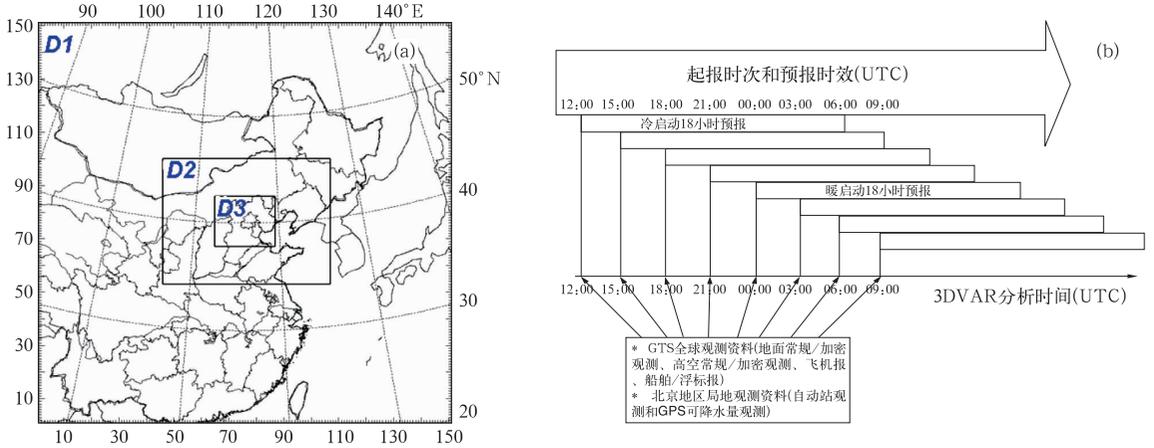


图 1 BJ-RUC 系统预报范围(a)及预报系统流程(b)图

Fig. 1 Charts for BJ-RUC forecast domain (a) and the system flow (b)

检验要素包括:1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100 hPa 共 11 个标准等压面的温度、露点温度、风速、风的 U 、 V 分量及计算的部分强对流参数。

检验方法为:相关系数、平均误差、平均绝对误差。具体的计算方法等详见参考文献[14-15]。

2 BJ-RUC 模式探空要素的检验分析

对于每一个时次的实况探空, BJ-RUC 均有对应的初始场结果和 8 个不同时效的预报结果(表 1),将

所有不同时效的预报与对应时次的实况分别计算相关系数、平均误差、平均绝对误差,检验系统不同时效对于不同层次、不同要素的预报结果的准确性。

2.1 相关系数

图 2 给出了 BJ-RUC 对温度、露点温度和 U 、 V 风分量的不同时效预报与实况的相关系数分布图。四个要素相关系数分布明显的共同点是,初始场(00 小时)的结果与实况的相关性最好,相关系数明显高于 8 个不同预报时效。这表明,系统的初始场资料的可信度很高,与实况最接近。

表 1 不同的实况时间与预报时效对应的 BJ-RUC 初始场时间(UTC)

Table 1 BJ-RUC forecast time, forecast range and the corresponding observation times(UTC)

实况\预报时效	0 h	3 h	6 h	9 h	12 h	15 h	18 h	21 h	24 h
00 UTC (08 BT)	今 00	昨 21	昨 18	昨 15	昨 12	昨 09	昨 06	昨 03	昨 00
06 UTC (14 BT)	今 06	今 03	今 00	昨 21	昨 18	昨 15	昨 12	昨 09	昨 06
12 UTC (20 BT)	今 12	今 09	今 06	今 03	今 00	昨 21	昨 18	昨 15	昨 12
18 UTC (02 BT)	今 18	今 15	今 12	今 09	今 06	今 03	今 00	昨 21	昨 18

由图 2a 可看出,系统对各层次温度的预报相关系数均达到 0.85 以上,远远超过了 0.001 的显著性水平。对不同的层次,1000 hPa 向上至 400 hPa,相关系数随高度增大而增大,400 hPa 以上基本呈随高度增大而减小的趋势,也即说明系统对中间层次温度的预报与实况的关系更密切,预报性能较好,而对低层和高层则稍差。从不同预报时效看,3 小时以上 8 个时效的预报结果与实况的相关系数相差不大,在不同层次各时效的表现也不同。但是,3~12 小时时效的相关系数则明显大于 12 小时以上时效

的。例如对于 850 hPa 温度,12 小时以下时效预报的相关系数均在 0.95 以上,彼此相差不到 0.1;12 小时以上时效预报的相关系数则均在 0.95 以下,多数在 0.94 以下。相对而言,6 小时时效预报的相关性最好、24 小时时效的相关性最差。

系统对露点温度的预报(图 2b)与实况的相关性明显小于温度预报结果,各层的相关系数分布在 0~0.9 之间。相关系数随高度的分布情况为:850 hPa 以下,相关系数随高度减小,此层至 400 hPa 相关系数随高度增大而增大,400 hPa 以上相关系数

随高度增大而再次减小。从不同层次看,仍然是以 400 hPa 为界,以下各层的相关性明显高于其上层次。这可能与实际大气高层湿度小、实况资料在高层探测不一定准确等因素有关。相关系数随预报时效的变化趋势与温度的分布规律类似,12 小时时效内的相关性明显优于更长时效的,多数情况下,3 和 6 小时时效的预报相关性最好,21 和 24 小时时效预报的相关性最差。但即使如此,系统对露点温度预报与实况的相关性整体不错,尤其在降水预报中最关注的湿度层——中低层的相关系数均超过 0.7,

也远超过 0.001 的显著性水平。

系统对 U 风(图 2c)和 V 风(图 2d)的预报与实况的相关系数在各不同层次和时效的分布趋势比较一致。两者都呈随高度增高相关系数增大的分布趋势。不同预报时效的相关性与前两个要素的分布规律一致,12 小时内的相关性比更长时效的好,3 小时和 6 小时时效的相关性最好。另外,系统对全风速的预报相关性(图略)也是随高度增加而增强,这表明,BJ-RUC 对风的预报整体效果好,层次越高预报相关性越好,预报越准确。

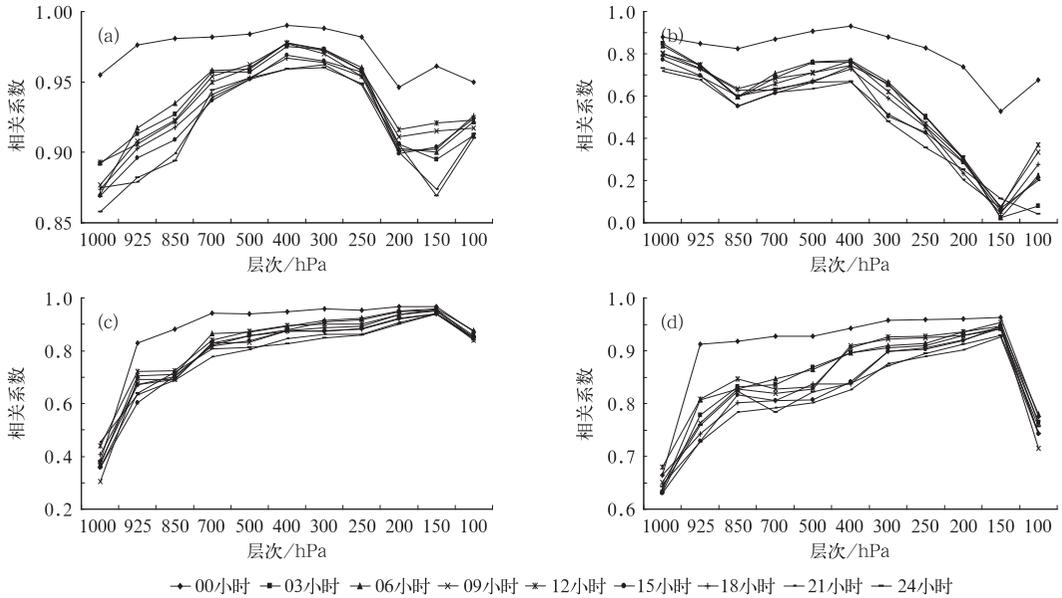


图 2 BJ-RUC 不同预报时效的各层次温度(a)、露点温度(b)、 U 风(c)和 V 风(d)与实况的相关系数

Fig. 2 Correlations of T (a), T_d (b), U component (c), V component (d) and wind speed of all layers between BJ-RUC forecast results of different forecast ranges and observations

综上,系统不同时效的预报与实况的相关性分析结果表明,对于四个要素,BJ-RUC 对温度预报与实况相关性最好,对风的预报次之,露点温度(尤其 400 hPa 以上)最差。对于不同的层次,温度中层好,高低层较差;露点温度中低层好,高层差;风的预报随高度增大相关性越好。对不同时效,初始场的相关性最好,12 小时内时效的次之,12 小时以上时效的相关性最差。另外,值得注意的是,无论哪个要素,8 个预报时效相关系数的变化趋势与初始场(00 时刻)的相关系数随高度变化趋势非常一致,这表明初始场对预报结果具有非常重要的影响。

2.2 平均误差

由不同要素所有预报时效的平均误差(表 2)

表 2 所有预报时效的平均误差

Table 2 Average errors of T , T_d , Wind speed, U and V of all layers and forecast ranges of BJ-RUC

气压	温度	露点	风速	U 风	V 风
1000	0.56	-0.024	1.013	-0.286	0.328
925	0.842	0.136	0.365	-0.472	0.36
850	0.362	1.841	-0.331	-0.334	0.341
700	0.297	1.907	-0.286	-0.025	0.136
500	0.129	3.903	-0.376	-0.166	0.497
400	0.23	4.215	-0.783	-0.513	0.516
300	0.454	3.282	-0.427	0.24	0.292
250	0.765	3.128	-0.596	-0.066	0.752
200	0.209	1.752	-1.378	-0.897	0.869
150	0.237	-10.117	-0.24	-0.458	0.21
100	2.339	-6.198	0.784	0.908	2.064

可以看出,绝大多数情况下,温度、露点温度和 V 风为正偏差,风速和 U 风为负偏差,且露点温度的平

均误差值最大。这说明系统整体预报的温度偏高、露点温度明显偏高、风速偏小、西风分量偏小、南风分量偏大。另外,从系统不同时效预报的平均误差分布图(图3)能够更加详细地描述各要素平均误差分布特征。

由图3a可见,除个别时效在某层次的预报误差为负值外,系统对各层温度预报(图3a),绝大多数平均误差为正值,误差值在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。若以 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为界,则可明显看出,1000、925、250和100 hPa层的平均误差较其他层次明显,925 hPa至500 hPa误差减小,500 hPa至250 hPa误差增大。对于不同的时效,在500 hPa层及以下,初始场和3小时、6小时时效的预报平均误差相当,12小时以内时效比更长时效预报误差小;而在500 hPa至250 hPa,12小时以上时效的预报平均误差小;200 hPa及以上,12小时内时效的平均误差小。值得注意的是,初始场各层次各要素的平均误差并非最小。

露点温度预报的平均误差(图3b)相对比较稳定。200 hPa及以下各层,平均误差变化幅度较小,均在 $1\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,200 hPa以上误差陡然增大,且变为负值。对于不同的预报时效,400 hPa以下12小时内的预报平均误差小,400 hPa至250 hPa层12小

时以上时效的预报误差较小。其中,00时刻(初始场)的误差明显小,3小时和6小时时效的平均误差次之。结合温度的平均误差分布,系统对温度和露点温度的预报平均误差在中低层都为正值,但露点温度的平均误差比温度大,也即系统对中低层的湿度预报平均偏大。

除初始时刻和3小时时效外,其他各时效在各层次的 U 风分量预报平均误差(图3c)绝大多数为负值,即预报平均偏小。 U 风预报的平均误差较小,在 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内,随高度增高无明显变化规律。系统的初始时刻平均误差最小,3小时和6小时时效的次之,随预报时效增长平均误差增大、预报偏小越明显。风的 V 分量预报平均误差(图3d)绝大多数为正值,在 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内;没有明显的随高度变化的分布规律;预报平均误差随时效增长而减小,临近时刻的预报平均偏大更多,初始时刻的 V 分量就比实况偏大;400 hPa层以上,0、3、6、9小时的预报误差明显增大。这表明,系统对南风分量预报平均偏大,对西风分量预报平均偏小。对风速预报的平均误差(图略)低层(925 hPa及以下)为正值,其他层次绝大多数为负值,随时效增长风速预报偏小。即系统对低层风速预报平均偏大,高层风速预报偏小。

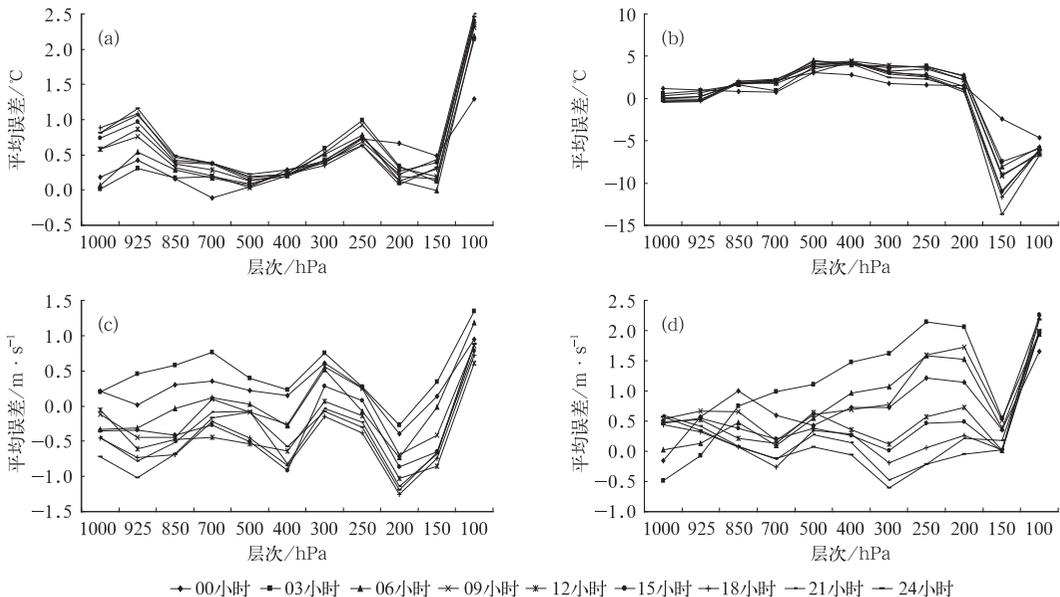


图3 BJ-RUC不同时效预报的各层次温度(a)、露点温度(b)、 U 风(c)和 V 风(d)的平均误差

Fig. 3 Average errors of T (a), T_d (b), U (c) and V (d) of all layers and forecast ranges of BJ-RUC

综上所述,系统预报的温度、露点温度和南风分量平均偏大,而对风速和西风分量预报平均偏小。系统对湿度预报偏大,其可能原因之一是对南风分量预报偏大。初始场的作用很重要,不同时效预报

的平均绝对误差间的相对大小与初始场的平均误差分布基本一致。对温度和露点温度,初始场的平均误差最小,预报时效越长平均误差越大;而对于 U 风和 V 风,初始场的平均误差最大,随着时效的增

长平均误差越小。

2.3 平均绝对误差

平均误差能够表现预报与实况的平均大小,而平均绝对误差则能反映出预报与实况的偏离程度。图 4 给出了 BJ-RUC 系统不同时效预报的各要素平均绝对误差分布。

由图 4a 可看出,系统对温度预报的平均绝对误差在 2°C 以内,400 hPa 以下随高度增加平均绝对误差减小,400 hPa 以上层次随高度增大平均绝对误差增大。从不同预报时效看,初始时刻的平均绝对误差最小,均在 1°C 以内。所有预报时效平均绝对误差的分布与初始时刻的平均绝对误差分布趋势非常一致,大部分层次(250 hPa 以下)都呈随时效增长平均绝对误差增大的趋势;12 小时时效内的预报平均绝对误差明显小于以上时效的预报。温度预报的平均误差分布(图 3a)与平均绝对误差分布趋势非常一致,而且两者的数值相当接近,同时初始时刻的平均误差和平均绝对误差与其他各时效预报的分布趋势一致,这表明 BJ-RUC 对温度的预报系统误差明显,可以通过对初始场的订正等方法对温度预报结果做系统订正。

系统对露点温度预报平均绝对误差(图 4b)比

温度预报的平均绝对误差大。500 hPa 以下,随高度增高平均绝对误差增大,其以上层次则随之减小。700 hPa 及以下层次平均绝对误差较小,尤其 850 hPa 及以下三层的平均绝对误差都在 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$,而 700 hPa 以上各层次各时效预报的平均绝对误差都在 7°C 以上。初始时刻的平均绝对误差最小,基本在 5°C 以内,其他各时效预报的露点温度平均绝对误差随时效的增长而增大。整体看,系统预报的露点温度平均绝对误差在低层较小,与对应的平均误差数值接近,尤其 200 hPa 以下各层初始时刻的平均绝对误差与平均误差数值及分布趋势一致,这表明也可以对系统露点温度预报误差做适当订正。

系统对 U 风(图 4c)、 V 风(图 4d)和全风速(图略)预报的平均绝对误差在各层次和各时效的分布趋势非常接近,绝对误差值都在 $1\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。250 hPa 以下随高度增高平均绝对误差增大,该层以上则随高度减小。随时效的增长系统对风预报的平均绝对误差增大,初始时刻的最小,12 小时内时效的明显小于更长时效。虽然预报的绝对误差随预报时效变化规律性明显,但平均误差(图 3c、d)的正、负偏差不确定,且风的绝对误差与平均误差幅度相差很大,说明风的预报系统性误差不明显,只用简单的方法订正效果不好。

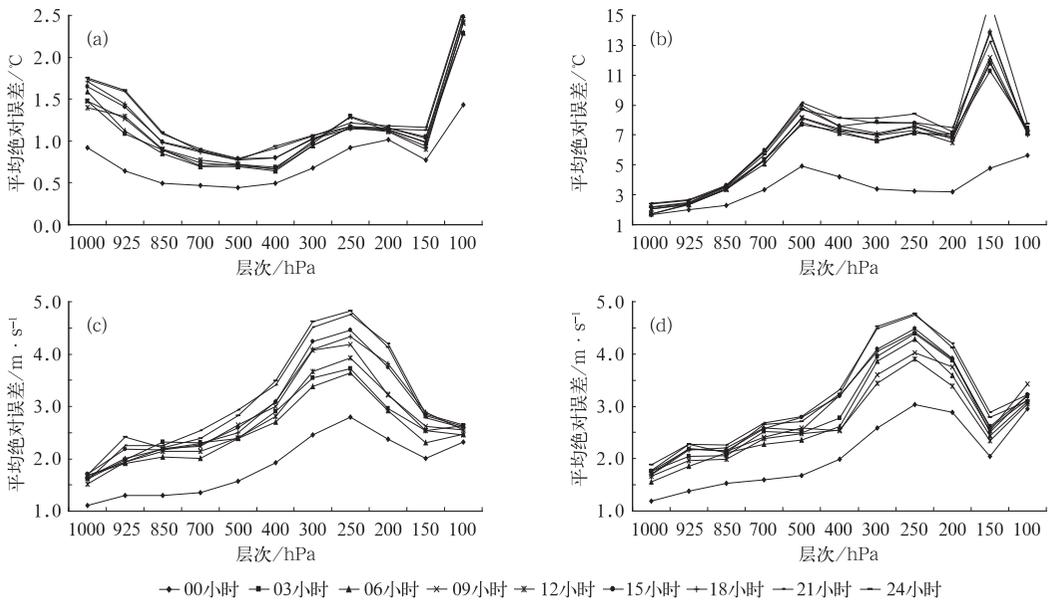


图 4 BJ-RUC 各时效预报的各层次温度(a)、露点温度(b)、风 U (c)、 V (d) 分量的平均绝对误差
Fig. 4 Average absolute errors of T (a), T_d (b), U (c) and V (d) of all layers and forecast ranges of BJ-RUC

综上所述,对几个要素预报的平均绝对误差,露点温度的最大,风的次之,温度的最小。结合平均绝

对误差和平均误差,系统对温度预报进行偏差订正的可信度高,露点温度次之,对风的预报不能做简单

的系统误差订正。

3 BJRUC 模式探空物理参数的评估分析

在日常业务中,大量热力和动力物理量参数用于强降水和对流天气的预报,取得了很好的效果^[16-18]。因此,使用实况与 RUC 预报探空资料计算了一系列常用的物理量参数,以此检验 BJRUC 对强天气的预报性能。

3.1 稳定度指数

K 指数使用中低层的温湿量计算,其定义为 $K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$,可代表大气的热力不稳定状况^[16],对暴雨预报有很好的指示意义^[19]。对流有效位能 $CAPE$ 考虑了整层气柱不稳定能量的积分效应,能够反映出对流上升运动可能发展的最大强度^[16],越来越多地被用于对流天气的分析和预报^[20]。图 5 给出了 K 指数和 $CAPE$ 的模式预报平均误差分布。

由图(5a)可见,系统预报的 K 指数在各时效都平均偏大,对 14 时的预报明显偏大,所有 4 个时次的平均误差次之,其他 3 个时次的平均误差比较接

近,平均误差在 2~4 °C,02 时预报的平均误差相对最小。随预报时效的增长平均误差变化不大,相对来说初始时刻的平均误差最小。从 K 指数的平均绝对误差(图略)看,仍然是 14 时的最大。这表明系统对 14 时的大气热力稳定性预报性能较其他几个时次差,这可能与 14 时大气热力不稳定性最强有关。从前文的分析得知,系统对中低层的温度和露点温度预报都偏大,但温度平均误差小,露点温度平均误差大,这可能是使 K 指数预报也偏大的原因。此外,分析发现,系统对 K 指数的预报与实况有很好的相关性,所有时次的相关系数超过 0.6,这表明系统预报的 K 指数能够较好地反映大气的热力不稳定性的发展演变趋势。

系统对 $CAPE$ 的预报平均偏小(图 5b),08 时和 14 时的平均误差最小,02 时的平均误差最大。随时效的增长,负的平均误差值逐步增大,初始时刻的预报比其他时效大,更接近于实况。 $CAPE$ 的平均绝对误差(图略)随时效的增长也呈增大趋势,初始时刻的最小。4 个实况时次中,08 时最小。这表明,系统对 $CAPE$ 预报平均偏小。系统对 $CAPE$ 的变化趋势预报较为准确,预报与实况的相关系数在 0.4 至 0.8 之间。

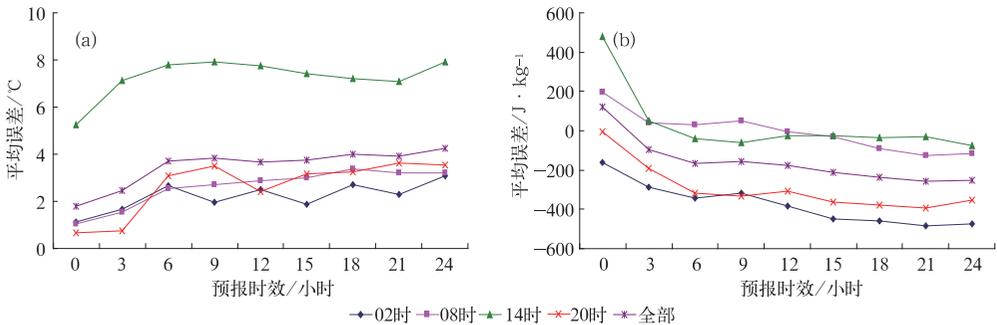


图 5 BJRUC 预报不同时效 K 指数(a)和 $CAPE$ (b)平均误差随预报时效变化

Fig. 5 Average errors and absolute errors of K Index (a) and $CAPE$ (b) forecast at 08 BT, 14 BT, 20 BT and 02 BT

3.2 垂直风切变

垂直风切变是预报强对流必须考虑的一个因素,在给定的大气热力条件下,环境风场的垂直风切变特征对雷暴结构、形态和生命史等有重要影响^[16]。图 6 给出了系统预报的低空(SHRL, 925 hPa 至 700 hPa)和高空(SHRH, 700 hPa 至 500

hPa)垂直风切变的平均误差随预报时效的变化。

由图 6a 可见,系统预报的低空风切变平均误差较小,误差在 ± 0.4 之间,对 4 个时次预报的平均误差随预报时效的增长呈不规律的起伏变化。所有时次的平均误差最小,随预报时效的增长呈小幅增长的趋势。12 小时内,08 时和 20 时的平均误差最小,12 小时以上,02 和 14 时的平均误差相对最小。预

报的平均绝对误差(图略)在 0.6 至 1.4 之间,随着时效的增长趋于增大。这表明系统对低空垂直风切变的预报比较准确,尤其 12 小时内的平均误差较小。从图 6b 可以看出,BJ-RUC 对高空垂直风切变平均误差值也在 0.4 以内,各时次的平均误差随时效的增长呈不规则性变化。02 时的预报平均偏大,

14 和 20 时的平均偏小,20 时的预报平均偏小最多,所有时次的平均误差基本上为负值,系统预报的高空垂直风切变整体偏小。初始场的作用在高空垂直风切变的预报中作用也比较明显,其平均误差较其他各预报时效的更集中,更接近于实况。

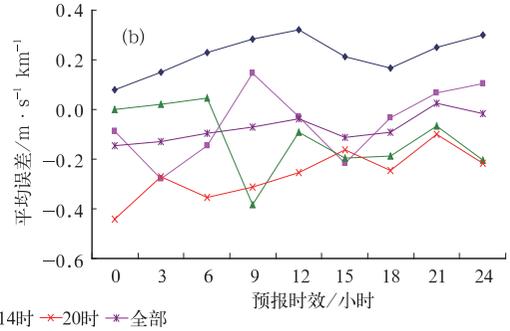
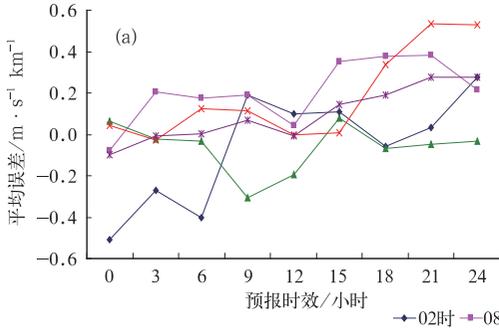


图 6 BJ-RUC 预报不同时段 SHRL(a)和 SHRH(b)平均误差随预报时效变化
Fig. 6 Average errors of SHRL (a) and SHRH (b) forecast at 08 BT, 14 BT, 20 BT and 02 BT

另外,从系统 3 小时时效预报的高低空垂直风切变与实况的散点分布(图 7)也可以看出,系统预报的低空和高空垂直风切变与实况有很好的对应关系(图 7a),相关系数分别达到 0.634 和 0.507,均通

过了 0.01 的显著性检验。但高空垂直风切变的均方根误差为 1.5 左右,比较大。这表明,系统对垂直风切变(尤其高空)估计不足,这与系统预报的风速随高度增大逐渐减小(见 2.2 节)有关。

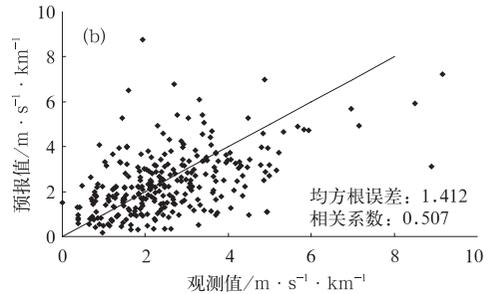
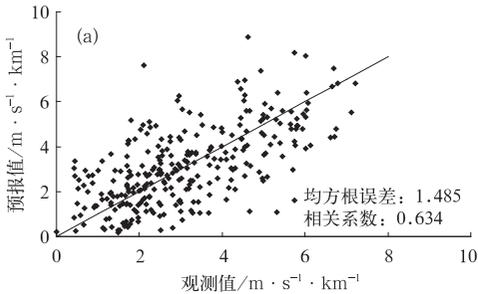


图 7 BJ-RUC 系统 3 小时预报与实况低空(a)和高空(b)垂直风切变散点图
Fig. 7 Scatter chart of SHRL(a) and SHRH (b) between BJ-RUC 3 h forecast and observations

4 讨论与结论

本文检验分析了 BJ-RUC 系统模式探空预报的准确性,得到以下初步结论:

(1) BJ-RUC 预报的模式探空与实况探空各要素的变化趋势有很好的 consistency。其中,温度预报与实况相关性最好,风的预报次之,露点温度(尤其 400 hPa 以上)最差。对不同层次各要素的预报,中层最好,低层次之,高层较差。系统预报的温度、露点温度和南风分量偏大,风速和西风分量偏小。BJ-

RUC 对温度和中低层露点温度的预报系统误差明显,可以通过对初始场的订正等方法对温度预报结果做系统订正。

(2) 初始时刻各要素与实况的相关性最好,各预报时效误差分布趋势与初始场的一致。对不同的预报时效,12 小时以内好于 12 小时以上,大多数情况下随预报时效的增长误差增大。

(3) BJ-RUC 对基本要素的预报误差使得系统对 K 指数预报平均偏大、CAPE 偏小、高空垂直风切变偏小。但系统对 K 指数、CAPE 和高低空垂直风切变等物理量的演变趋势预报较准确,对强对流

天气的发展变化趋势预报有很好的指导意义。

(4) 无论基本要素,还是计算的物理参量,12小时时效内的预报误差较小、与实况的一致性较好,在短时临近预报中具有较高的参考价值。

与北京市气象局以往的业务模式系统预报结果(文献[4]、[18])相比,快速更新循环同化预报系统BJ-RUC对探空预报的准确性有明显提高,这可能与快速更新循环、不断同化最新的探测资料有密切关系。正因如此,BJ-RUC包含了更多个预报时次,这在一定程度上加大了模式探空的检验复杂性。对于BJ-RUC探空在不同天气条件下的具体表现也进行了对比分析,结果表明晴空和稳定性降水天气下的结果优于强对流天气条件下的预报结果,限于篇幅将另文分析讨论。

参考文献

- [1] 叶笃正. 探空资料的应用(一)[J]. 气象,1977,(11):7-9.
- [2] 叶笃正. 探空资料的应用(二)[J]. 气象,1977,(12):24-26.
- [3] 郑良杰. 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟[M]. 北京:气象出版社,1989:5-12.
- [4] 刘红亚,薛纪善,沈桐立,等. 探空气球漂移及其对数值预报影响的研究[J]. 应用气象学报,2005,16(4):518-526.
- [5] Hart R E, Forbes G S, Grumm R H. The use of hourly model generated soundings to forecast mesoscale phenomena. Part I: Initial assessment in forecasting warm season phenomena[J]. Weather and Forecasting,1998,13:1165-1185.
- [6] Hart R E, Forb G S. The use of hourly model generated soundings to forecast mesoscale phenomena. Part II: Initial assessment in forecasting nonconvective strong wind gusts [J]. Weather and Forecasting,1999,14:461-469.
- [7] 李佳英,俞小鼎,王迎春. 用探空资料检验中尺度数值系统对强对流天气的诊断分析能力[J]. 气象,2006,32(7):10-17.
- [8] 陈子通,闫敬华,黄晓梅,等. 应用于强对流天气预报的模式探空产品[J]. 热带气象学报,2006,22(4):321-325.
- [9] 陈子通,闫敬华,苏耀坤. 系统探空的评估分析及其在强对流天气预报中的应用研究[J]. 大气科学,2006,30(2):235-247.
- [10] Benjamin S G, Devenyi D, Weygandt S S, et al. An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC[J]. Mon Wea Rev, 2004,132:495-518.
- [11] Benjamin K J, Brundage P A, and Smith T L et al. The Rapid Update Cycle at NMC. Preprints, 10th Conf. on Numerical Weather Prediction[J], Portland, OR, Amer. Meteor. Soc. 1994:566-568.
- [12] Thompson R L, Roger Edwards, and Hart J A. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the rapid update cycle[J]. Weather and Forecasting,2003, 18(6),1243-1261.
- [13] Davis C A, Ahijevych D A and Trier S B. Detection and Prediction of Warm Season Midtropospheric Vortices by the Rapid Update Cycle[J]. Mon Wea Rev,2002,130,24-42.
- [14] 陈敏,王迎春,仲跻芹,等. 北京地区中尺度数值业务预报的客观检验[J]. 应用气象学报,2003,14(5):522-532.
- [15] 陈敏,郑祚芳,王迎春,等. 2006年汛期北京地区中尺度数值业务降水预报检验[J]. 湖北气象,2007,26(2):15-23.
- [16] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础[M],北京:气象出版社,2005.
- [17] 李耀东,刘健文,高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究[J]. 气象学报,2004,62(4):401-406.
- [18] 吴庆梅,付宗钰,郭虎. MM5模式输出对流参数的效果检验[J]. 气象,2006,32(4):24-28.
- [19] 李勇,孔期. 2006年5—9月雷暴天气及各种物理量指数的统计分析[J]. 气象,2009,35(2):66-72.
- [20] 孟妙志. K指数在暴雨分析预报中的应用[J]. 气象,2003,29(8):2-3.
- [21] 陈艳,寿绍文,宿海良. CAPE等环境参数在华北罕见秋季大暴雨中的应用[J]. 气象,2005,31(10):56-61.