

魏东, 尤凤春, 杨波, 等. 北京快速更新循环预报系统(BJ-RUC)要素预报质量评估[J]. 气象, 2011, 37(12): 1489-1497.

北京快速更新循环预报系统(BJ-RUC) 要素预报质量评估^{*}

魏 东¹ 尤凤春¹ 杨 波¹ 范水勇² 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: 使用自动站观测资料对 BJ-RUC 系统预报的北京 15 个观测站的逐时 2 m 温度、相对湿度、1 小时降水量和风速等地面要素质量进行检验评估。结果表明:BJ-RUC 系统预报的 2 m 温度、相对湿度和风速与实况具有一致的变化趋势,但各要素的预报性能不尽相同。结果表明:(1)对于 2 m 温度的预报,±1℃误差的准确率为 0.2~0.5,±2℃误差的准确率更高;预报性能与预报时效无明显关系;温度预报准确性与季节和日变化有关,春、秋季优于冬、夏季,夜间优于白天。(2)对相对湿度的预报整体偏低,夏季白天偏低、冬季白天偏高。(3)对 1 小时降水的预报,无论全年还是夏季,晴雨预报准确率很高;对 0.1 mm 降水的 TS 评分在 0.2 左右。(4)对不同站点的预报性能存在明显差异。对平原地区,即海拔高度较低的站点预报性能相对较好,15 个站点中,对北京的代表站点(南郊观象台)的预报最为准确;对山区站点的预报性能相对较差,对海拔最高的延庆站的预报性能最差。总体来说,BJ-RUC 对站点要素预报的变化趋势较好,预报准确率较高,具有很好的参考价值,但要素预报与季节、日变化及海拔高度等因素有关,具体应用时还需做适当订正。

关键词: 快速更新循环, 数值天气模式, 要素, 检验, 评估分析

Assessment and Analysis of Meteorological Elements Forecasted by Beijing Rapid Update Cycle Forecast System

WEI Dong¹ YOU Fengchun¹ YANG Bo¹ FAN Shuiyong² CHEN Min²

¹ Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

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

Abstract: Using observed data of fifteen Beijing automatic weather stations during June 1 2008 to May 31 2009, the forecasting performances of Beijing rapid update cycle of assimilation forecast system (BJ-RUC) to the air temperature, relative humidity, 1 h rainfall and the wind speed were analyzed in detail. The results showed that the meteorological elements of BJ-RUC system had a very good consistency with the corresponding observed data. The forecast accuracy rate of ±1℃ error to the 2 m temperature was from 0.2 to 0.5, and even higher if with ±2℃. The performance to the 2 m temperature did not change obviously with the forecast range, which was closely related to seasonal and diurnal variations. The forecast accuracy was better in spring and autumn than in summer and winter, and was better in nighttime than daytime. In general, the temperature forecasted by BJ-RUC system was often higher in daytime and summer. The relative humidity of BJ-RUC system was lower than observation, and usually, it was lower in daytime of summer and higher in nighttime of winter. The BJ-RUC system has a good performance of raining or shine to 1 h rainfall. Relatively, the accuracy rate to the rain was lower during afternoon to the evening, which

* 国家“十一五”科技支撑计划重点项目课题(2008BAC37B05)和北京市科学技术委员会绿色通道项目(Z090506016609001)共同资助
2010 年 12 月 27 日收稿; 2011 年 10 月 13 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

may be related to the convective weather. The BJ-RUC system has a different performance to different meteorological stations. Relatively, the forecasting performance was better on the plain area than the station of high altitude. For example, among fifteen stations, the accuracy rate of Beijing was the highest, and which of Yanqing Station is the lowest. To the different station, the performances of various meteorological elements were different. For instance, there had a most obvious difference to the temperature, which was maybe caused by the elevation underestimation of BJ-RUC system.

Key words: BJ-RUC system, numerical weather prediction model, meteorological elements, test, assessment and analysis

引 言

近年来,随着探测技术的不断发展和新型探测仪器的布设^[1],各种高时空分辨率的新型探测资料(地面自动站、单双基 GPS 站、风廓线仪和微波辐射计等)也随之用于实际预报业务^[2-4]。最大程度地将这些新型探测资料应用于数值模式得到更为准确的预报成为改进数值预报结果准确性的重要途径。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^[5]。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制作预报。国外在 20 世纪 90 年代初就开始了这方面的相关研究^[6],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^[7-8]。国内对 RUC 系统的相关研究工作还不多见。

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,并成功应用于北京 2008 年奥运会和国庆 60 周年等大型活动的气象保障服务中。该系统每日 8 次提供 24(36)小时时效的多种物理量和要素预报结果,其预报产品已成为预报员在预报业务中重要的参考资料之一^[9]。对 BJ-RUC 模式探空的详细评估分析结果表明,探空基本要素和计算的探空物理参量在 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^[10]。

为了使预报员对模式的要素预报能力更加了解,进而熟悉模式对本地各站的预报性能,同时有益于研发人员对 BJ-RUC 系统的改进完善,本文通过

定量检验,对 BJ-RUC 系统的单站气象要素预报性能进行详细评估分析。

1 资料与方法

1.1 检验站点

北京 15 个观测站:观象台(54511)、海淀(54399)、朝阳(54433)、丰台(54514)、石景山(54513)、延庆(54406)、昌平(54499)、怀柔(54419)、密云(54416)、平谷(54424)、顺义(54398)、门头沟(54505)、房山(54596)、大兴(54594)、通州(54431)。

1.2 资料

资料时段:2008 年 6 月 1 日至 2009 年 5 月 31 日。BJ-RUC 每日 8 次对上述 15 个站点 24 小时时效内的逐时要素预报数据。采用与预报时间相对应的自动站数据作为实况观测数据。检验要素包括 2 m 温度、相对湿度、1 小时降水量和风速等。

1.3 检验类别

(1) 按预报时效检验,考察模式不同时效预报能力,即将每个预报时次不同时效的预报结果与对应该时次的实况数据进行检验分析。

(2) 按实况时间检验,考察模式对每日不同时间的预报能力,即找与实况(逐小时)相对应的模式预报结果进行检验分析。

1.4 检验方法

(1) 对温度、相对湿度、风速,计算与实况的相关系数,计算平均误差、平均绝对误差等。

(2) 对温度,计算误差为 1℃和 2℃的预报准确率。

(3) 对 1 小时降水量,检验晴雨预报准确率和

0.1 mm 降水的 TS 评分等。

2 按预报时效的检验结果

2.1 温度

2.1.1 相关系数

对于 8 个不同预报时次 24 小时内的预报,全年样本的相关系数超过 0.965,相关性超过 0.001 的显著性水平检验(图略)。不同的预报时效差别不明显,随预报时效的增长变化不大。从不同季节的表现来看,春、秋季的相关系数明显高于夏季和冬季;随时效的增长,冬季的变化更大,而夏季的变化略小些,这可能与夏季降水和强对流天气过程较多、冬季

冷空气活动较频繁有关。这表明, BJ-RUC 系统对单站温度的预报性能总体较好,尤其对温度的连续变化趋势预报性能稳定,尤其是春、秋季节表现最好,具有较高的参考价值。

2.1.2 平均误差

不同预报时次、不同预报时效的平均误差不同,但均在 $-3 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 之间(见图 1)。00、03、06 和 09 UTC 的预报结果平均偏大,而其他 4 个时次为初始场的预报结果,前半段整体偏小,后半段逐步变为偏大。不同季节的表现不同,春、秋季的平均误差分布与全年的结果类似。夏季的平均误差多为正,而冬季的平均误差多为负值。这表明, BJ-RUC 对夏季气温预报平均偏高,而对冬季的气温预报平均偏低。

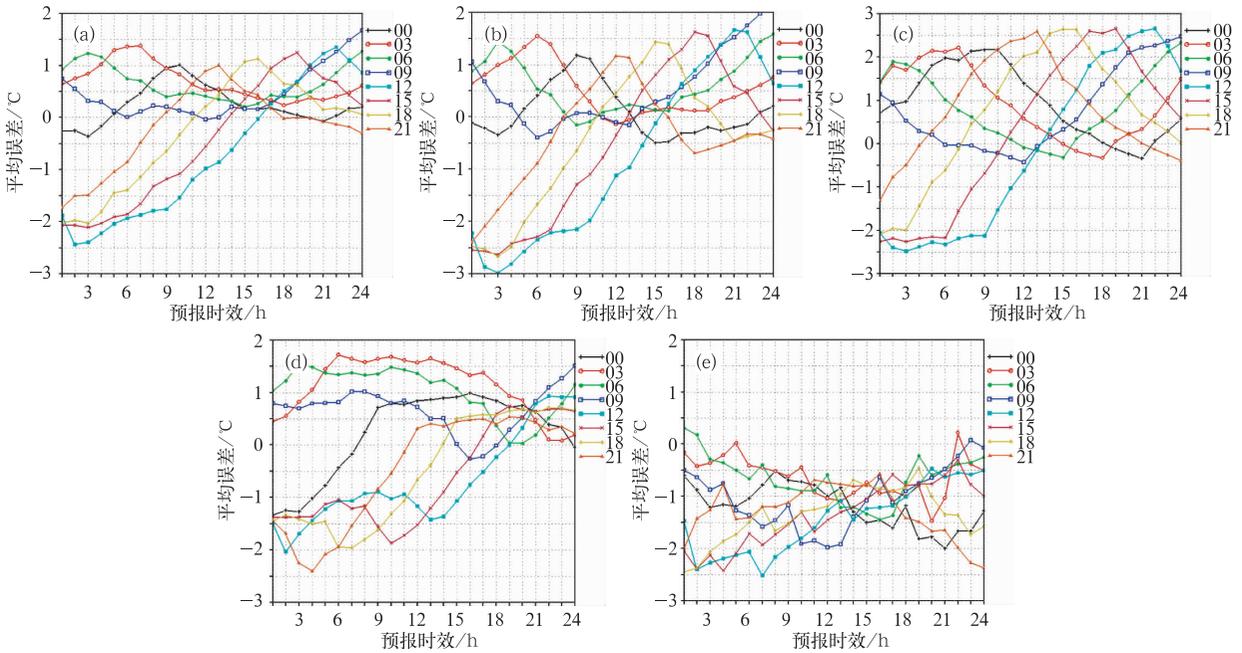


图 1 BJ-RUC 不同时段预报的全年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)和冬季(e)温度平均误差(单位: $^{\circ}\text{C}$)随预报时效变化

Fig. 1 The evolution with the forecast range of average errors of T of annual (a), MAM (b), JJA (c), SON (d) and DJF (e) by BJ-RUC system (unit: $^{\circ}\text{C}$)

2.1.3 温度预报准确率

图 2 给出了 BJ-RUC 温度预报准确率。由图 2 可见, BJ-RUC 预报的全年温度的准确率(误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)为 0.2~0.5,不同时段之间的差别并不明显,随时效的增长无明显变化规律。对于不同季节,夏季和冬季的准确率比春、秋季的略低。

系统预报的全年温度准确率(误差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$)为 0.5~0.85(图略),不同时段之间的差别也不明显,随时

效的增长无明显变化规律。4 个季节中,夏季的准确率相对最低,冬季次之。

综上所述,在温度预报中,夏季和冬季准确性明显低于春季和秋季,而且夏季预报平均偏高,冬季则明显偏低。值得注意的是,各时段随时效的变化存在超前(滞后)的现象,这表明温度预报准确性很可能与实况(即日变化)有关。

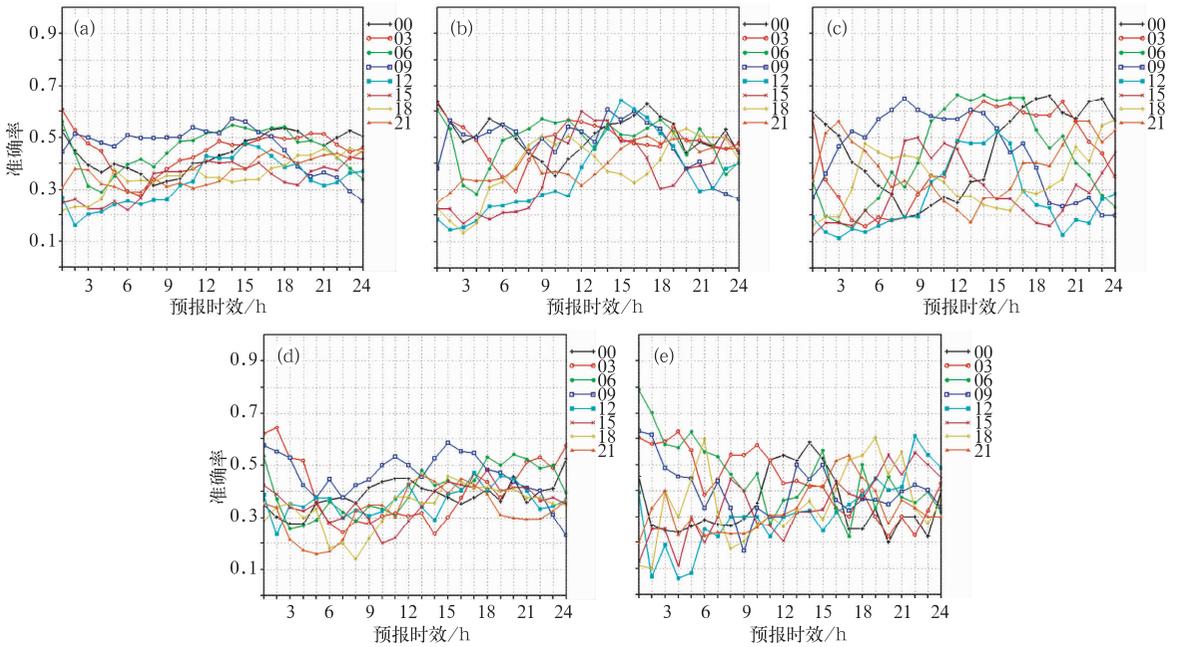


图 2 BJ-RUC 不同时段预报的全年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)和冬季(e)温度准确率(误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)随预报时效变化

Fig. 2 As in Fig. 1, but for forecast temperature accuracy (unit: $\pm^{\circ}\text{C}$)

2.2 相对湿度

2.2.1 相关系数

相对湿度的相关系数整体较高,全年相关系数为 0.7~0.95,相关性通过了 0.01 的显著性水平检

验(图略)。4 个季节中,秋季的相关系数最高,春季的次之,冬季的较低,夏季的最低。总体上,随预报时效增加相关系数呈减小的趋势。各不同起报时段之间的差别并不明显。这表明,系统对相对湿度的预报整体较好,具有一致的变化趋势,但随预报时效

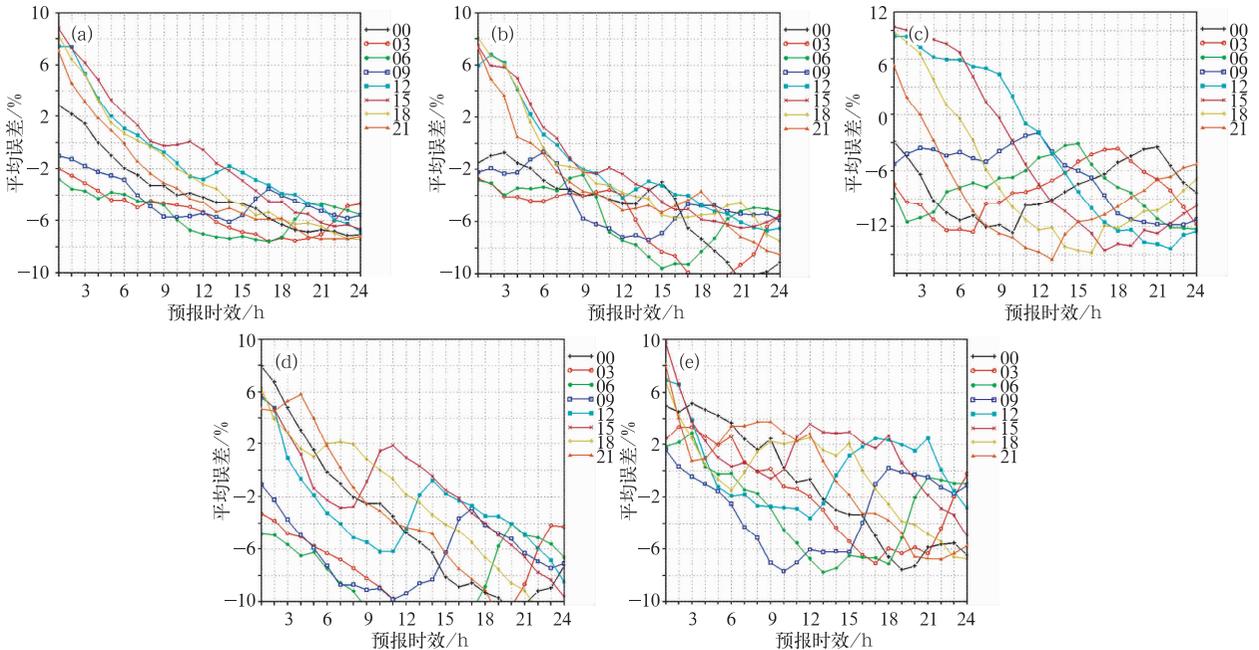


图 3 BJ-RUC 不同时段预报的全年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)和冬季(e)相对湿度平均误差(单位:%)随预报时效变化

Fig. 3 As in Fig. 1, but for average errors of RH (unit: %)

增长逐渐转差。

2.2.2 平均误差

图 3 给出了相对湿度平均预报误差。由图 3 可见,大多数时次各预报时效相对湿度的平均误差为负值,且随预报时效的增加平均误差增大。这表明,系统预报的相对湿度整体偏小,预报时效越长,偏小越明显。夏季,起报时次为 12、15、18 和 21 UTC 的前半段平均偏大,而后半段平均偏小,其他 4 个时次的各时效预报平均偏小,且偏小明显。秋季和春季绝大多数时效平均偏小,与全年类似。而对于冬季,

部分时次的部分时效偏大较明显。整体来看,春、秋季的平均误差较小,冬、夏季的平均误差较大。

2.3 1 小时降水

2.3.1 晴雨预报准确率

系统对逐小时晴雨预报的准确率很高,全年准确率为 0.93~0.97,各预报时次的准确率随预报时效的增加无明显变化规律(图 4a)。对于降水频发的夏季,晴雨预报准确率仍然较高,所有时次各预报时效的准确率均高于 0.82(图 4b)。

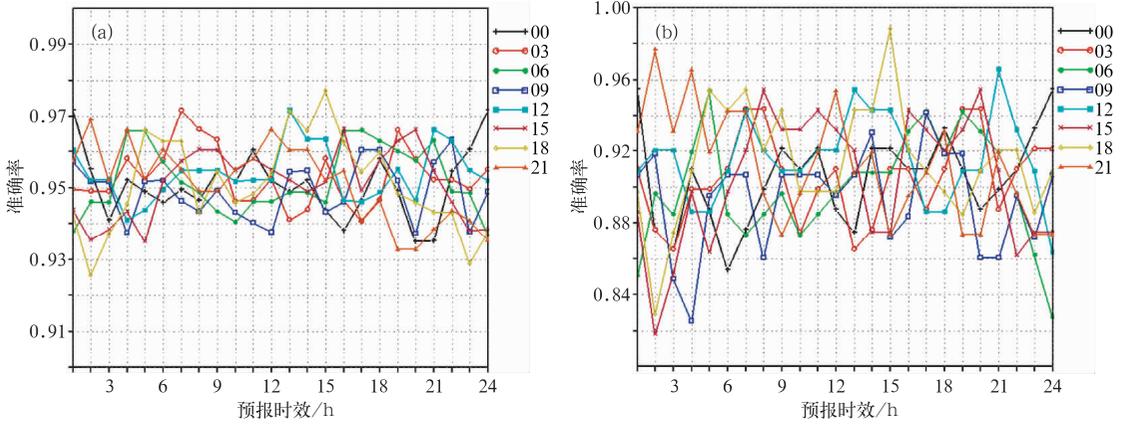


图 4 BJ-RUC 不同时次预报的全年(a)和夏季(b)晴雨准确率随预报时效变化
Fig. 4 The evolution with the forecast range of forecast accuracy rate of sunny or raining days of annual (a) and JJA (b) by BJ-RUC system

2.3.2 TS 评分(0.1 mm)

从 1 小时降水 0.1 mm 的 TS 评分(图 5)可以看出,全年 TS 评分为 0~0.4,多数时效内为 0.2~

0.3;夏季 1 小时降水预报的大部分时次和预报时效的 TS 评分为 0~0.4。

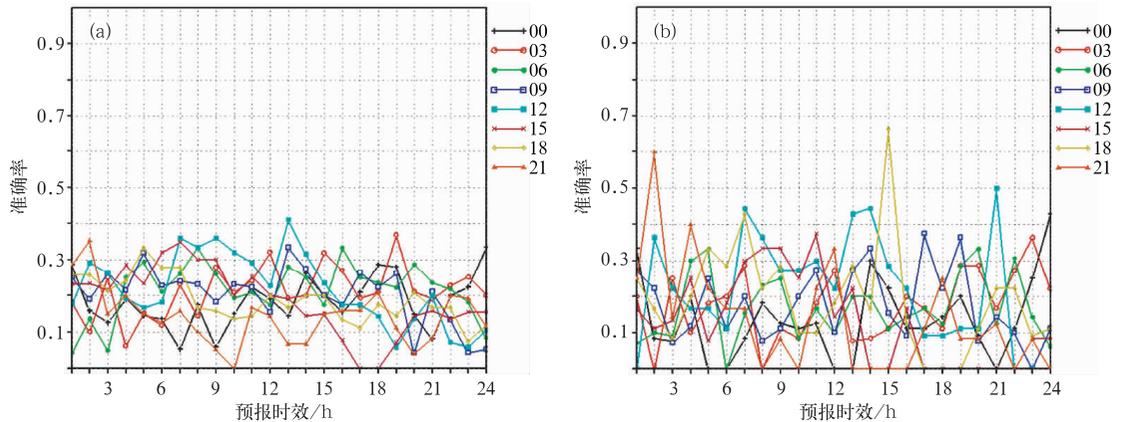


图 5 BJ-RUC 不同时次预报的 1 小时降水预报的 TS 评分随预报时效变化
(a) 全年, (b) 夏季

Fig. 5 The evolution with the forecast range of TS of 1 h rainfall of annual (a) and JJA (b) by BJ-RUC system

3 按实况的检验结果

3.1 温度检验

3.1.1 相关系数

全年的相关系数较高,相关系数无明显日变化(图略)。对于夏季,夜间的相关系数较高,而白天的相关系数较低。冬季的相关系数分布与夏季大致相反,夜间明显偏低,而白天明显偏高。春秋两季的相关系数分布与全年的相近,无明显日变化。这表明, BJ-RUC 系统对单站温度的连续变化趋势预报性能稳定,这与前面的分析结果一致。但夏季和冬季的日变化明显,暖季白天较差、冷季夜间较差。

3.1.2 平均误差

对于全年的平均误差,00、03、06 和 09 UTC 4 个时次的平均误差为正,而其他 4 个时次的平均误

差多为负值(图略)。夏季白天偏高,夜间偏低,从夜间到白天,平均误差由明显负值转为明显正值,绝大多数为正值,在 17 时左右偏大最明显。冬季温度预报平均偏低,平均偏低 $1\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,各预报时次之间差别不明显。秋季的温度平均误差与预报时次有关,00、03、06 和 09 UTC 4 个时次平均偏大,午后到傍晚偏大最明显,夜间逐步减小,到 08 时左右平均误差接近于 0;其他 4 个时次平均偏小,从夜间到白天,逐渐由明显偏低转为偏高。春季各时次的差别较为明显,总体分布形势与全年接近。

3.1.3 温度预报准确率

全年的温度预报准确率(误差为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)与时间关系密切,夜间明显高于白天(图 6)。夏季温度预报准确率的日变化更为显著,从夜间至白天,准确率明显降低;夜间可达 0.65 左右,而白天可降至 0.15 左右,午后到傍晚相对最低。秋季温度预报准确率日变化不明显,各预报时次之间差别较小。冬季,从

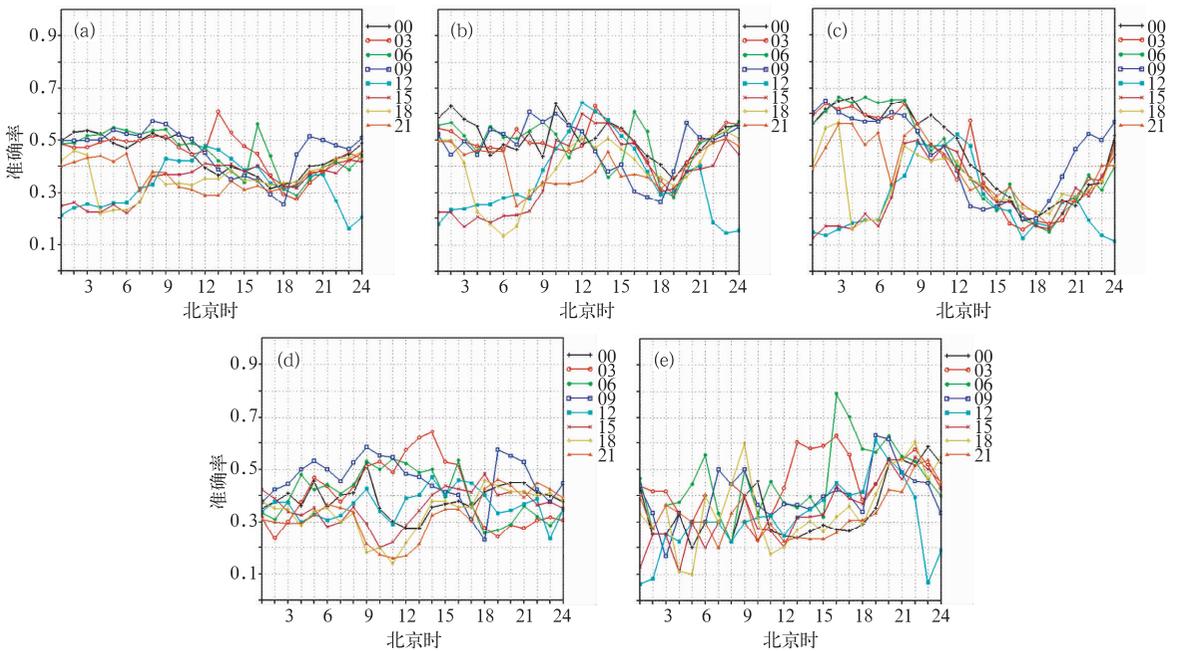


图 6 BJ-RUC 不同时次预报的全年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)和冬季(e)温度准确率(误差 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)随时间变化

Fig. 6 The evolution with forecast time of forecast accuracy rate of T of annual (a), MAM (b), JJA (c), SON (d), and DJF (e) by BJ-RUC system (unit: $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)

夜间到白天,准确率呈增大趋势。春季,温度预报准确率夜间高于白天,午后到傍晚时段的准确率相对最低。

系统预报 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 误差的温度预报准确率整体高于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率(图略),其误差分布与 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的相近。

3.2 相对湿度检验

3.2.1 相关系数

相对湿度全年的相关系数大于 0.7(图略)。夏季的相关系数随时间变化较大,相关系数夜间明显低

于白天。秋季的相关系数随时间的分布与全年的分布趋势接近。冬季和春季的相关系数日变化也较大,仅次于夏季。总体来看,相对湿度预报的相关系数与日变化关系密切,表现出夜间小、白天较大的趋势。

3.2.2 平均误差

绝大多数时次各预报时效相对湿度的平均误差为负值(图 7)。多数预报时次平均误差的日变化规律明显,一般从夜间偏大或略偏小转为白天明显偏小。各个季节也存在明显差异,夏季白天平均误差为负值,而冬季白天则为正值。春、秋季节与全年的

分布形势相近。值得注意的是,多数时次平均误差在某两个预报时效之间出现陡升的情况,这是系统随着预报时效增加平均误差明显增大所造成,与前文的分析结果一致。

3.3 1 小时降水量预报检验

3.3.1 晴雨预报准确率

逐小时晴雨预报准确率很高,无明显日变化规律。夏季晴雨预报准确率低于全年,而且随时间的变化幅度较大(图 8)。

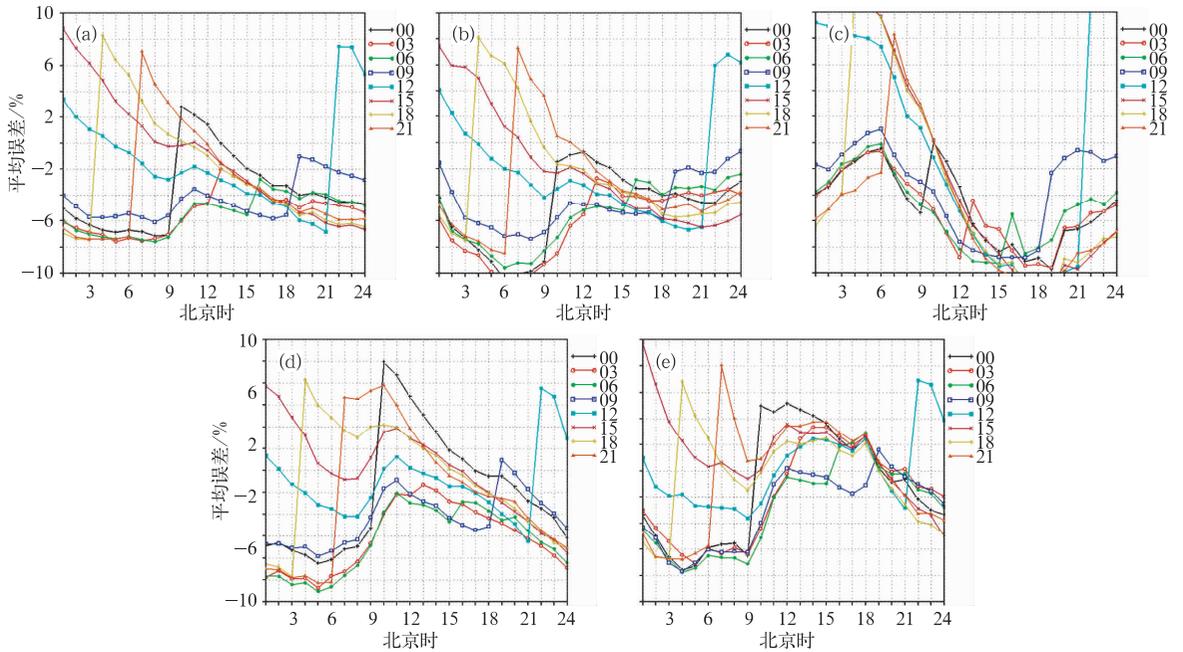


图 7 BJ-RUC 不同时次预报的全年(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)和冬季(e)相对湿度平均误差(单位:%)随时间变化

Fig. 7 The evolution with forecast time of average errors of RH of annual (a), MAM (b), JJA (c), SON (d), and DJF (e) by BJ-RUC system (unit: %)

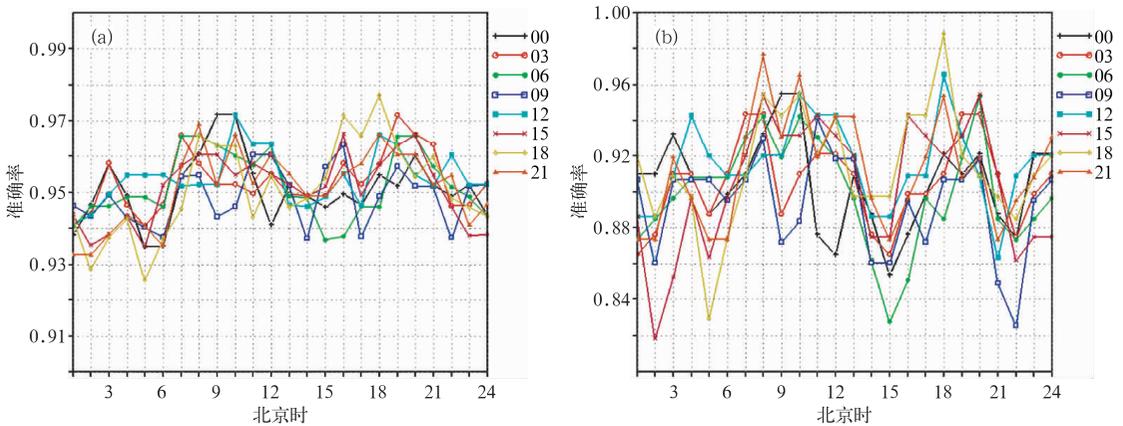


图 8 BJ-RUC 不同时次预报的全年(a)和夏季(b)晴雨预报准确率随时间变化

Fig. 8 The evolution with forecast time of forecast accuracy rate of sunny or raining days of annual (a) and JJA (b) by BJ-RUC system

3.3.2 0.1 mm 的 TS 评分

1 小时降水 0.1 mm 的 TS 评分显示,午后到傍

晚的 TS 评分低于其他时间,这可能与该时段内经常发生的强对流降水较多有关(图 9)。

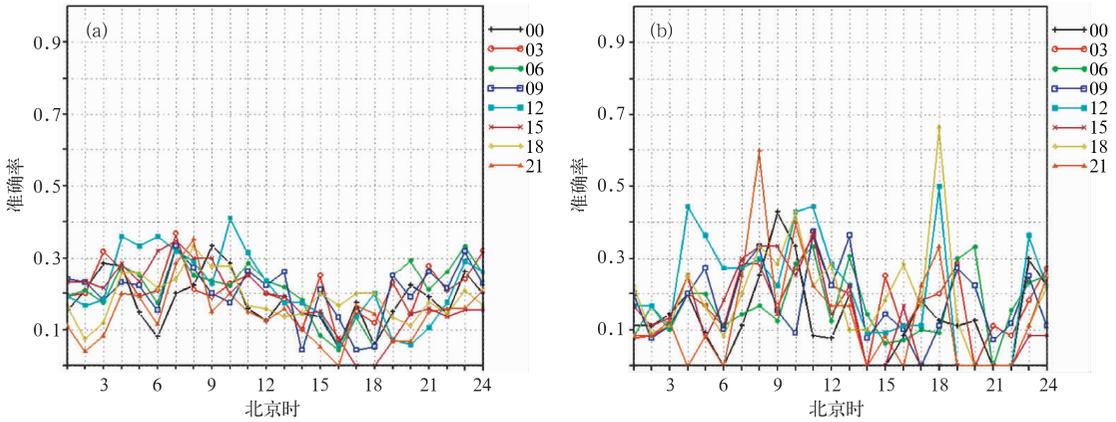


图 9 BJ-RUC 不同时段预报的全年(a)和夏季(b)1 小时降水预报 TS 评分随时间变化

Fig. 9 The evolution with forecast time of TS of 1 h rainfall of annual (a) and JJA (b) by BJ-RUC system

4 不同站点预报性能的检验

分析 BJ-RUC 系统对不同站点温度、相对湿度、风速预报的相关系数和平均误差,可以对比系统对不同站点的预报性能。

4.1 温度

不同站点温度的相关系数显示,15 个站的相关系数均大于 0.94,相关性超过了 0.001 的显著性水平检验(图略)。相关性夜间低于白天,其中 09 时左右的相关系数最高。不同站点之间的相关系数存在一定差别,其中观象台最高、延庆站相对最低。

温度平均误差分布显示(图略),延庆站平均误差大于 2.5°C ,明显大于其他各站。怀柔、平谷、密云三站的平均误差次之。观象台、海淀和通州等站平均误差相对较小,接近于零。平均绝对误差的分布与平均误差分布相似,延庆站的平均绝对误差普遍大于 2.7°C ,明显高于其他各站,观象台、通州、顺义等站的平均绝对误差相对最小。

综合三种统计结果表明,对于 2 m 温度,BJ-RUC 系统对观象台等平原站点的预报较准确,而对延庆等山区站点的预报准确性较差,系统对温度预报的准确性与站点海拔高度关系密切。

4.2 相对湿度

相对湿度的相关系数白天大于夜间,各站之间

的相关系数差别较小。各站相对湿度平均误差多为负值(图略)。延庆、平谷、怀柔、密云几个站点的平均误差明显大于观象台、朝阳、昌平等站。平均绝对误差分布与平均误差情况相近。

4.3 风速

系统对风速预报的相关系数不高,密云、延庆、平谷等站的相关系数相对较小,观象台、朝阳、石景山等站的相关系数较高;风速的平均误差多为正值,即预报的风速平均偏大(图略)。15 个站点中,观象台的平均误差和平均绝对误差最小,延庆站的误差相对较大。

综上,对 BJ-RUC 预报的不同站点温湿风三要素的相关系数、平均误差和平均绝对误差分析结果表明,平原地区站点预报相对更准确,观象台表现最明显;山区站点的准确性相对较差,海拔最高的延庆站点表现较明显。

5 结论

使用北京 15 个站点的自动站逐时观测资料,对 BJ-RUC 系统每日 8 次预报的温度、相对湿度、1 小时降水量和风速等要素进行了准确性评估分析,得到以下结论:

(1) BJ-RUC 系统对 2 m 温度的变化趋势预报很好,预报准确率较高,1 $^{\circ}\text{C}$ 误差的准确率为 0.2~0.5,2 $^{\circ}\text{C}$ 误差的准确率为 0.5~0.85。预报性能与

预报时效无明显关系。温度预报准确性与季节和日变化有关,准确性春、秋季优于冬、夏季,夏季整体偏高,冬季整体偏低;夜间优于白天,其中夜间温度预报平均偏低,白天温度预报平均偏高。

(2) BJ-RUC 对相对湿度的变化趋势预报较好,相关系数较高。对相对湿度预报平均偏低,而且与日变化和季节变化有关,夏季白天偏低、冬季白天偏高。

(3) 系统对 1 小时降水预报,无论全年还是夏季,晴雨预报准确率很高。对 0.1 mm 降水的 TS 评分为 0.2 左右。降水预报准确性与日变化有关,在午后到傍晚较差,可能与该时段内对流性降水多发有关。

(4) BJ-RUC 对海拔较低的站点预报性能相对较好,对北京代表站点(南郊观象台)的预报最为准确;对山区站点的预报性能相对较差,对海拔最高的延庆站预报准确性最差。各站之间的差别对各不同要素表现也不同,以温度预报的差别最为明显,这可能与模式对因海拔高度引起的温度变化估计不足所致。

参考文献

[1] 张霭深. 现代气象观测[M]. 北京:北京大学出版社,2000:

289-298.

- [2] 刘淑媛,郑永光,陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系[J]. 热带气象学报,2003,19(3):285-290.
- [3] 刘红燕,李炬,曹晓彦,等. 遥感大气结构的地基 12 通道微波辐射计测量结果分析[J]. 遥感技术与应用,2007,22(2):222-229.
- [4] 楚艳丽,郭英华,张朝林,等. 地基 GPS 水汽资料在北京“7·10”暴雨过程研究中的应用[J]. 气象,2007,33(12):16-22.
- [5] 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.
- [6] Benjamin K J, Brundage P A, Smith T L, et al. The Rapid Update Cycle at NMC. Preprints, 10th Conf on Numerical Weather Prediction[C], Portland, OR, Amer Meteor Soc, 1994:566-568.
- [7] Thompson R L, Roger Edwards, Hart J A. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the rapid update cycle[J]. Weather and Forecasting, 2003, 18(6):1243-1261.
- [8] Davis C A, Ahijevych D A, Trier S B. Detection and prediction of warm season midtropospheric vortices by the rapid update cycle[J]. Mon Weat Revi,2002,130:24-42.
- [9] 郑祚芳. RUC 产品在一次强降水预报中的应用分析[J]. 气象,2008,34(s1):85-88.
- [10] 魏东,尤凤春,范水勇,等. 北京快速更新循环预报系统(BJ-RUC)探空预报质量评估分析[J]. 气象,2010,36(8):72-80.