

## 3种数值模式温度预报产品在山东应用的误差分析与订正

肖明静<sup>1</sup>, 隋明<sup>2</sup>, 范苏丹<sup>1</sup>, 曲巧娜<sup>1</sup>, 韩永清<sup>3</sup>

(1. 山东省气象科学研究所, 山东 济南 250031; 2. 辽宁省抚顺市气象局, 辽宁 抚顺 113006; 3. 山东省气象台, 山东 济南 250031)

**摘要:**对2010年6月至2011年5月MM5、WRF-RUC(WRF快速循环同化系统)和T639模式预报的24 h 2 m温度预报产品进行了日最高最低温度的预报准确率、平均绝对误差、相对误差分析与订正。结论认为:各模式误差订正前后阈值 $K=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率比 $K=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高20%~40%左右;订正后预报准确率提升较为明显的是相对误差较大的MM5和T639模式;订正前后,除沿海地区的2 m日最高温度MM5模式具有较好的预报能力外,均是WRF-RUC模式预报效果最好,相对误差最小;冬半年和夏半年各模式相对误差呈不同的趋势。

**关键词:**2 m温度;预报准确率;相对误差;检验评估

**中图分类号:**P456

**文献标识码:**A

### 引言

山东省的气温分布受海陆位置、纬度跨度和地貌类型的共同影响,冬季寒冷,夏季炎热,气温年较差(最冷月与最热月的平均气温差)较大,从东南向西北递增,山东半岛东部及鲁东南地区较小,在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下;鲁西北地区较大,在 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;各地年平均气温在 $11.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (文登)~ $14.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (济南)之间,其分布特点是:南部高于北部,内陆高于沿海,平原高于山区丘陵<sup>[1]</sup>。目前,数值预报是天气预报的主要手段,对于如此大的气温变化,数值模式对于不同地区、不同季节的气温预报能力如何?蔡新玲等<sup>[2]</sup>认为MM5模式对气温预报存在系统误差并对不同预报时效的模式结果进行了检验。胡江凯等<sup>[3]</sup>、张冰等<sup>[4]</sup>研究表明T213模式温度预报值系统性偏低。佟华等<sup>[5]</sup>认为温度误差是由于模式地形高度与实际地形高度存在较大差异以及陆面过程所需初值的不科学性造成的。蔡迪花等<sup>[6]</sup>认为无论从误差大小还是从插值效果上,考虑了地形要素的插值方法均优于传统的插值方法。吴爱敏等<sup>[7]</sup>对不同季节

的ECMWF产品释用效果分析,认为最低气温预报效果春夏季好于秋冬季,最高气温相反。屠妮妮等<sup>[8]</sup>对T639及MM5模式的2 m温度产品在不同区域进行检验认为,模式对我国中部及南部地区温度预报与实况近似程度高于西部地区,各模式对不同区域的预报存在不同程度的误差。陈豫英等<sup>[9]</sup>对MM5模式利用2种MOS方法进行温度预报,结果认为MOS方法对宁夏48 h逐时温度有较强的预报能力。为了进一步反映各种模式温度预报产品在山东区域的预报性能,我们对其温度预报产品进行了检验评估,分析不同地区、不同季节对温度预报的影响并对误差进行订正。

### 1 资料与方法

#### 1.1 模式资料

选取3种数值模式对20时(08时结论相似,北京时,下同)起报的24 h预报时效内的2 m温度(MM5模式为去掉前12 h结果)进行检验。3种模式包括中国气象局下发的全球模式T639和山东省

收稿日期:2012-02-13;改回日期:2012-04-19

基金项目:公益性行业(气象)科研专项项目“黄渤海高影响天气预报中的关键技术研究”(GYHY201106006)及山东省超级计算科技专项项目“精细化集合数值天气预报平台”(2011YD01106)共同资助

作者简介:肖明静(1978-),女,山东平原人,硕士,工程师,主要从事数值模拟研究工作。E-mail:maggishaw@126.com

引进开发的中尺度模式 MM5、WRF - RUC (WRF 快速循环同化系统), 其中 T639 模式格距为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , 输出间隔为 3 h; MM5 模式格距为 6 km, 输出间隔为 1 h; WRF - RUC 模式格距为 4 km, 输出间隔为 1 h。

### 1.2 实况资料

实况资料为 2010 年 6 月 1 日至 2011 年 5 月 31 日山东省 17 个地级市本站逐小时的 2 m 温度数据。

### 1.3 检验方法

首先, 为了考虑各模式结果检验的公平性统一采用双线性插值法将各模式格点资料插值到山东省 17 个地级市本站上。然后, 对各模式和实况资料求 0 ~ 24 h 内最高最低温度, 对模式而言, 将 24 h 预报时效内的整点温度的最大(小)值作为该模式预报的日最高(低)温度; 对实况而言, 将 24 h 内的逐小时最高(低)温度的最大(小)值作为日最高(低)温度。

主要采用目前气象部门应用比较广泛的“中短期天气预报质量检验办法”中温度预报的准确率 ( $TT_k$ )、平均绝对误差 ( $MAE$ ) 和相对误差 ( $ME$ ), 对上述数值模式 2 m 温度预报产品进行检验分析, 具体计算公式如下:

$$TT_k = \frac{Nr_k}{Nf_k} \times 100\% \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |f_i - O_i| \quad (2)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum (f_i - O_i) \quad (3)$$

其中,  $F_i$  为第  $i$  站(次)预报温度,  $O_i$  为第  $i$  站(次)实况温度,  $K$  为 1, 2, 分别代表  $|F_i - O_i| \leq 1^{\circ}\text{C}$ 、 $|F_i - O_i| \leq 2^{\circ}\text{C}$ ,  $Nr_k$  为预报正确的站(次)数,  $Nf_k$  为预报的总站(次)数。

## 2 误差分析

利用 MM5、WRF - RUC、T639 模式 2 m 温度预报产品对 2010 年 6 月至 2011 年 5 月逐日的 2 m 日最高最低温度进行准确率、平均绝对误差、相对误差进行计算, 分析海陆分布、季节变化对温度预报的影响。

### 2.1 海陆分布对温度预报的影响

山东省共有滨州、东营、潍坊、烟台、威海、青岛、日照 7 个地级市滨海, 但由于滨州站、东营站和潍坊站离海较远, 所以, 将其余 4 个滨海地级市定义为沿海地区, 滨州、东营和潍坊以及其他 10 个内陆地级

市定义为内陆地区, 如图 1 所示。为了了解山东地区海陆分布对温度预报的影响, 以站点分布均匀, 样本数量一致, 站点具有代表性为原则, 选取山东 17 个地级市本站 2 m 日最高最低温度作为检验对象, 对 MM5、WRF - RUC、T639 模式 2010 年 6 月至 2011 年 5 月的 24 h 温度预报产品进行准确率评分, 结果如图 2 所示。

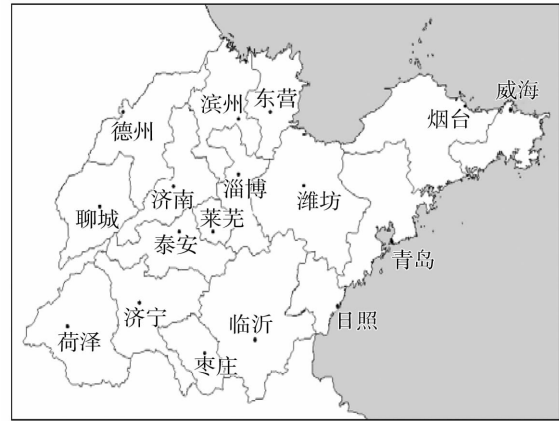


图 1 山东省 17 个地级市本站分布

Fig. 1 Distribution of 17 stations in Shandong Province

对比不同阈值的日最高最低温度预报准确率, 各模式阈值  $K = 2^{\circ}\text{C}$  的预报准确率比  $K = 1^{\circ}\text{C}$  的提高 20% ~ 40% 左右。对于 2 m 日最高温度预报准确率来说, 除沿海地区的 5 个地级市本站各模式互有高低外, 内陆地区均是 WRF - RUC 模式最高, 预报效果最好, MM5 模式预报效果最差; 而对于 2 m 日最低温度预报准确率而言, 除个别站点外, WRF - RUC 模式预报效果最好, MM5 和 T639 模式则互有高低。

从图 3 给出的 2 m 日最高最低温度平均绝对误差曲线可以看出, 结论基本与图 2 的预报准确率曲线一致。分析图 3c 给出的 2 m 日最高温度相对误差曲线, 各模式预报基本偏低, 内陆地区 MM5 模式偏低较明显; 沿海地区则各模式互有高低。图 3d 给出了各模式 2 m 日最低温度相对误差曲线, 内陆地区 T639 模式偏低最多; 沿海地区则在  $-1^{\circ}\text{C}$  至  $1^{\circ}\text{C}$  间摆动。

总体而言, 除沿海地区的 2 m 日最高温度外, WRF - RUC 模式预报效果最好, 相对误差最小。对 2010 年 6 月至 2011 年 5 月各模式 2 m 日最高最低温度 24 h 预报产品分别进行订正, 即将模式预报结果去除相对误差后的值作为订正后的预报结果进行预报准确率评分(图略), 结果与图 2 相差不大, 原

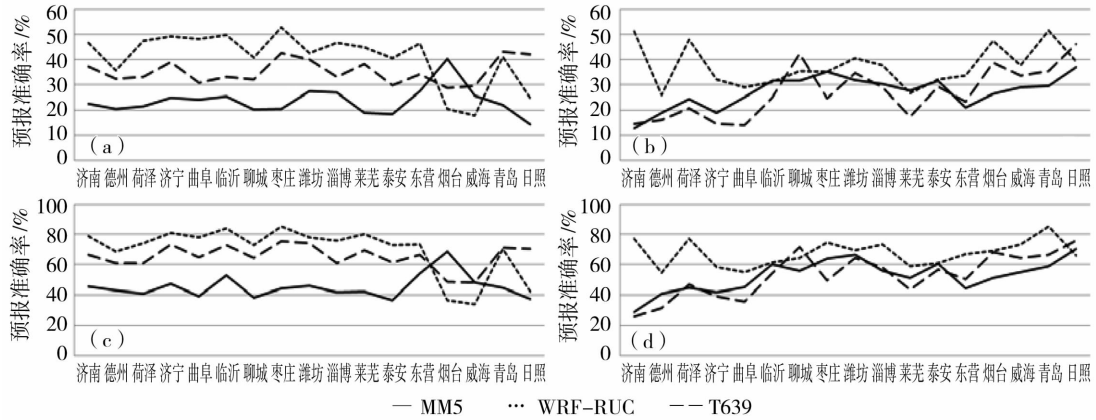


图2 2010年6月至2011年5月MM5、WRF-RUC、T639模式不同地区不同阈值2 m日最高最低温度24 h预报准确率  
 (a)日最高温度,  $K=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (b)日最低温度,  $K=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 (c)日最高温度,  $K=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (d)日最低温度,  $K=2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig.2 Forecast correct rate on 2 meter daily maximum, minimum temperature of MM5, WRF-RUC, T639 models' 24 h forecast products with different threshold at different areas from June 2010 to May 2011  
 (a) daily maximum temperature,  $K=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (b) daily minimum temperature,  $K=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 (c) daily maximum temperature,  $K=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (d) daily minimum temperature,  $K=2\text{ }^{\circ}\text{C}$

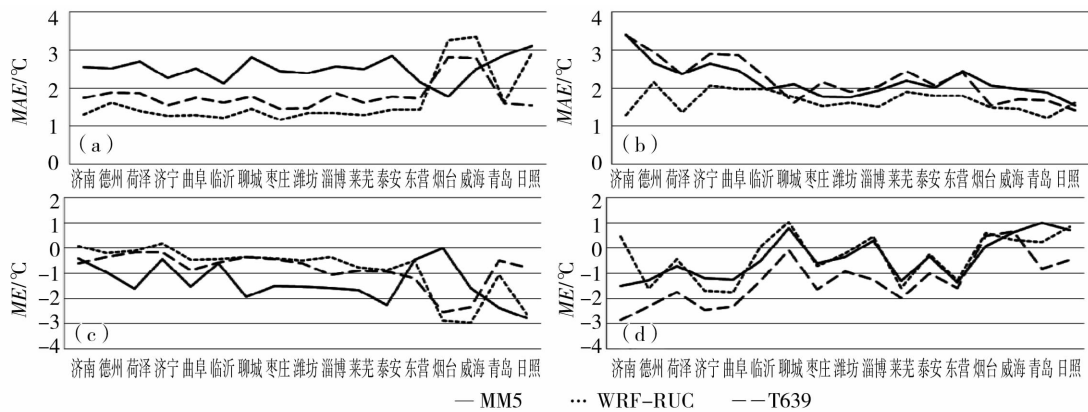


图3 2010年6月至2011年5月MM5、WRF-RUC、T639模式不同地区2 m日最高最低温度平均绝对误差和平均误差  
 (a)日最高温度, 平均绝对误差; (b)日最低温度, 平均绝对误差;  
 (c)日最高温度, 平均误差; (d)日最低温度, 平均误差

Fig.3 Mean absolute error and systematic error on 2 meter daily maximum, minimum temperature of MM5, WRF-RUC, T639 models' 24 h forecast products at different areas from June 2010 to May 2011  
 (a) daily maximum temperature, MAE; (b) daily minimum temperature, MAE;  
 (c) daily maximum temperature, ME; (d) daily minimum temperature, ME

因之一可能是对于整年的逐日最高最低温度计算相对误差,掩盖了季节变化对相对误差的影响。下面就不同季节分别计算3种模式的相对误差。

2.2 季节变化对温度预报的影响

将2010年6月至2011年5月按季节划分为4段:2010年6~8月夏季,2010年9~11月秋季,2010年12月至2011年2月冬季,2011年3

~5月春季,分别计算相对误差。结果如图4、图5所示。

图4给出了MM5、WRF-RUC、T639模式17个地级市本站不同季节2 m日最高温度相对误差。由图4可以看出,冬半年(图4b,4c)2个时间段(2010年9~11月和2010年12月至2011年2月,下同)相对误差趋势相同,而夏半年(图4a,4d)2个时间

段(2010年6~8月和2011年3~5月,下同)趋势相同。

冬半年各模式2 m日最高温度相对误差基本为负值,即各模式预报基本偏低,内陆地区MM5模式偏低最多,误差最大;沿海地区各模式相对误差互有高低。夏半年各模式2 m日最高温度相对误差,内陆地区在-2℃~2℃之间;沿海地区基本为负偏差,即夏半年沿海地区日最高温度预报偏低。MM5模式对半岛北部(烟台、威海)沿海的2 m日最高温

度具有较好的预报能力。

从图5给出的MM5、WRF-RUC、T639模式17个地级市本站不同季节2 m日最低温度相对误差来看,冬半年(图5b,5c)内陆地区,秋季T639偏低明显,冬季MM5偏低明显;沿海地区,各模式预报基本偏高。夏半年(图5a,5d)内陆地区,春季T639模式偏低较为明显,夏季MM5模式预报偏高,WRF-RUC和T639模式偏低;沿海地区,各模式无明显偏差。

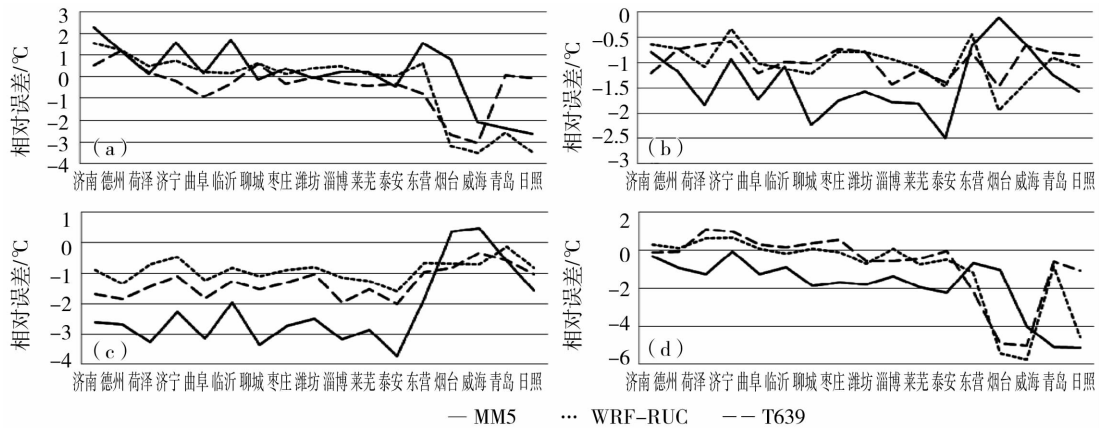


图4 MM5、WRF-RUC、T639模式17个地级市本站不同季节2 m日最高温度相对误差 (a)2010年6~8月;(b)2010年9~11月;(c)2010年12月至2011年2月;(d)2011年3~5月

Fig.4 Relative error on 2 meter daily maximum temperature of MM5, WRF-RUC, T639 models' 24 h forecast products at 17 stations in different seasons (a) June to August 2010; (b) September to November 2010; (c) December 2010 to February 2011; (d) March to May 2011

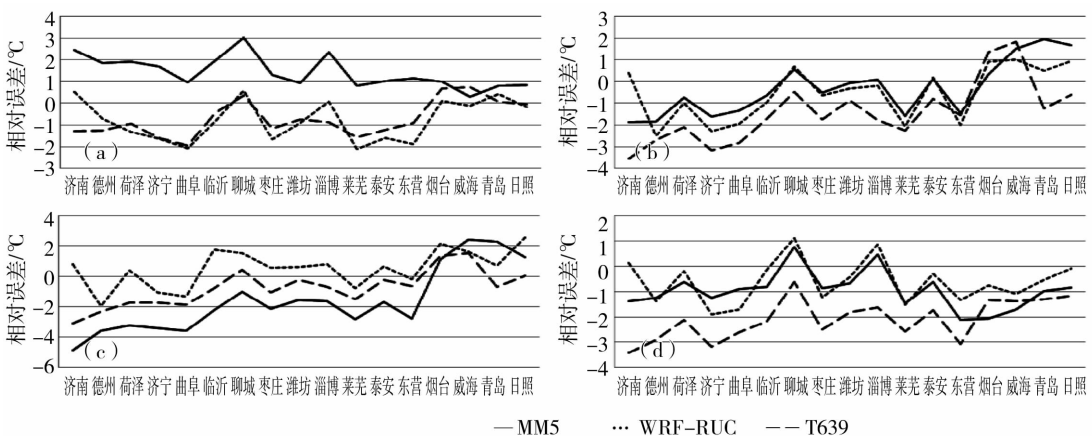


图5 MM5、WRF-RUC、T639模式17个地级市本站不同季节2 m日最低温度相对误差 (a)2010年6~8月;(b)2010年9~11月;(c)2010年12月至2011年2月;(d)2011年3~5月

Fig.5 Relative error on 2 meter daily minimum temperature of MM5, WRF-RUC, T639 models' 24 h forecast products at 17 stations in different seasons (a) June to August 2010; (b) September to November 2010; (c) December 2010 to February 2011; (d) March to May 2011

沿海地区日最高最低温度相对误差与内陆地区有较大区别,大概是插值方法导致的,4点插值法是取插值站点周围4个最近的模式格点进行双线性插值,在沿海地区,4个格点中可能有一个或多个在海上。夏半年,海洋属于冷区,导致沿海站点温度预报偏低,冬半年,海洋属于暖区,导致沿海站点温度预报偏高。

### 3 误差订正

对2010年6月至2011年5月MM5、WRF-RUC、T639模式2m日最高最低温度24h预报产品按季节分别进行订正,即将模式预报结果去除季节性误差作为订正后的预报结果进行准确率评分,并对一年的评分结果进行统计,结果如图6所示。

从误差订正后2m日最高温度预报准确率来看,内陆地区准确率比订正前提高10%~20%左右,其中MM5和T639模式提高较为明显,但是订正后预报准确率还是WRF-RUC模式最高,阈值2℃时的预报准确率均达到了80%以上;沿海地区除

MM5模式在烟台、威海的预报准确率提高不明显外,其它均有一定幅度的提高,但订正后预报准确率各模式依然是互有高低,没有哪个模式具有绝对的优势。

误差订正后的2m日最低温度预报准确率,无论内陆地区还是沿海地区各模式均有一定程度的提高,尤其是济南、德州、菏泽、济宁、曲阜、莱芜等几个站的MM5和T639模式预报准确率均有大幅度的提高,曲阜站T639模式的升幅达到了38.99%,但无论内陆地区还是沿海地区订正后的各模式2m日最低温度预报准确率互有高低,总体来看,WRF-RUC模式准确率稍高。

结合图3给出的全年2m日最高最低温度平均绝对误差和平均误差来看,订正后预报准确率提升较为明显的是相对误差较大的MM5和T639模式,说明这些模式预报的趋势是可信的,只是系统误差较大。无论是订正前还是订正后,MM5模式预报准确率基本最低,这可能与MM5模式较粗糙的下垫面数据有关。

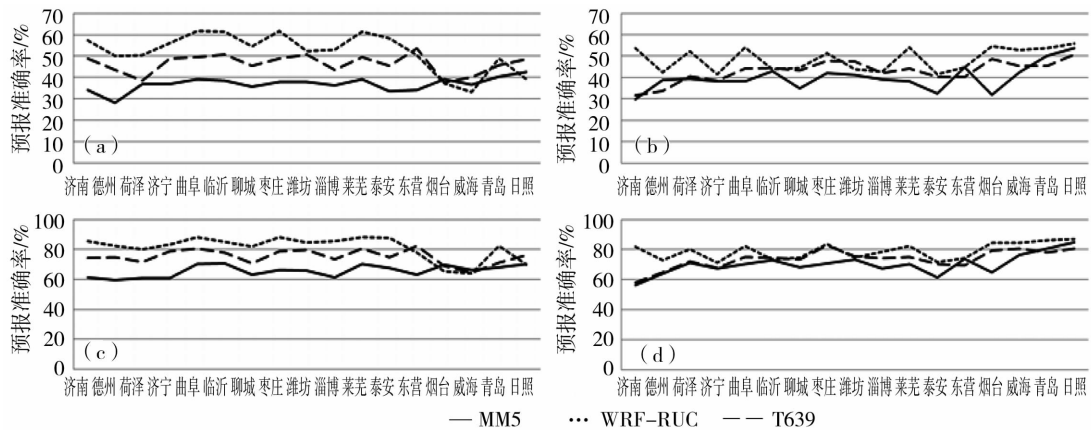


图6 2010年6月至2011年5月MM5、WRF-RUC、T639模式误差订正后不同阈值2m日最高最低温度24h预报准确率

- (a)日最高温度,  $K=1\text{ }^\circ\text{C}$ ; (b)日最低温度,  $K=1\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- (c)日最高温度,  $K=2\text{ }^\circ\text{C}$ ; (d)日最低温度,  $K=2\text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 6 Correct rate on 2 meter daily maximum, minimum temperature of MM5, WRF-RUC, T639 models' 24 h forecast products after reduction with different threshold from June 2010 to May 2011

- (a) daily maximum temperature,  $K=1\text{ }^\circ\text{C}$ ; (b) daily minimum temperature,  $K=1\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- (c) daily maximum temperature,  $K=2\text{ }^\circ\text{C}$ ; (d) daily minimum temperature,  $K=2\text{ }^\circ\text{C}$

### 4 结论

(1)误差订正前后,各模式阈值为 $K=2\text{ }^\circ\text{C}$ 的预报准确率均比 $K=1\text{ }^\circ\text{C}$ 的高20%~40%左右。

(2)从海陆分布对各模式温度预报影响来看,2

m日最高温度预报准确率,内陆地区均是WRF-RUC模式最高,MM5模式最低,沿海地区各模式互有高低;而2m日最低温度预报准确率,除个别站点外,WRF-RUC模式预报效果最好,MM5和T639模式则互有高低。

(3)从季节变化对各模式温度预报影响来看,2 m 日最高温度相对误差,冬半年各模式内陆和沿海地区基本为负偏差,夏半年沿海地区基本为负偏差;2 m 日最低温度相对误差,冬半年内陆地区各模式预报基本为负偏差,夏半年各模式2个季节相对误差呈不同的趋势。

(4)误差订正后,除沿海地区的2 m 日最高温度预报准确率外,WRF-RUC模式基本最高,MM5模式最低;订正后预报准确率提升较为明显的是相对误差较大的MM5和T639模式;无论是订正前还是订正后,MM5模式预报准确率基本最低,这可能与MM5模式较粗糙的下垫面数据有关。

#### 参考文献:

- [1] 曹钢锋,张善君,朱官忠,等. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988. 1-4.
- [2] 蔡新玲,贺皓,高红燕,等. 中尺度数值预报模式输出产品温度和相对湿度的检验[J]. 陕西气象,2006(1):4-8.
- [3] 胡江凯,王雨,王毅涛. 国家气象中心 T213L31 数值预报运行监控方案及预报效果评估[J]. 应用气象学报,2005,16(2):249-259.
- [4] 张冰,魏建芬,裴海英. 2006年 T213 模式在江苏的降水和温度检验评估[J]. 气象科学,2008,28(4):468-472.
- [5] 佟华,姚明明,王雨,等. T213L31 全球中期数值天气预报系统 2m 温度预报误差源分析[J]. 气象,2006,32(2):52-57.
- [6] 蔡迪花,郭锐,李崇伟. 基于 DEM 的气温插值方法研究[J]. 干旱气象,2009,27(1):10-18.
- [7] 屠妮妮,何光碧,张利红. 成都区域气象中心业务数值预报产品检验分析[J]. 高原山地气象研究,2010,30(1):21-28.
- [8] 吴爱敏,路亚奇,李祥科,等. 利用 ECMWF 产品对庆阳极端气温释用效果分析[J]. 干旱气象,2009,27(3):288-293.
- [9] 陈豫英,陈晓光,马金仁. 基于 MM5 模式的精细化 MOS 温度预报. 干旱气象,2005,23(4):52-56.

## Error Analysis About Temperature Forecast Products of Three Models Applied in Shandong Province

XIAO Mingjing<sup>1</sup>, SUI Ming<sup>2</sup>, FAN Sudan<sup>1</sup>, QU Qiaona<sup>1</sup>, HAN Yongqing<sup>3</sup>

(1. Shandong Meteorological Institute, Ji'nan 250031, China; 2. Fushun Meteorological Bureau of Liaoning Province, Fushun 113006, China; 3. Shandong Meteorological Observatory, Ji'nan 250031, China)

**Abstract:** Correct rate, mean absolute error and relative error about two meters daily maximum and minimum temperature of MM5, WRF-RUC and T639 models' 24 h forecast products from June 2010 to May 2011 were analyzed and error correction was made. The conclusions are as follows: Both before and after error revision, correct rates of all models are 20%~40% higher when threshold temperature is 2 °C than those when threshold temperature is 1 °C; After error correction, the correct rate of MM5 and T639 models' products improved more obviously; Both before and after error correction, the forecast effect of WRF-RUC model was best and its relative error was smallest except 2 meter daily maximum temperature forecasted by the MM5 model in coastal areas; The relative errors of three models presented different trends in summer and winter.

**Key words:** 2 meter temperature; forecast correct rate; relative error; evaluation