

孙翠梅¹ 沈兴建¹ 马俊峰² 田永飞¹ 孔启亮¹ 孙慧¹

基于 T639 数值预报产品的气温本地化应用及检验

摘要

基于 T639 数值预报产品下发的多个物理量资料,利用多元回归方法,开展本地化的分县气温客观预报方法研究,结合常规气象观测资料、美国 NCEP/NCAR $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 网格点逐 6 h 再分析资料,开展业务应用并进行了效果检验,得出以下结论:最低气温预报准确率要好于最高气温,同时夏季的气温预报也明显好于其他季节;在最高气温中对扬中的预报准确率高其他站点,在最低气温中对丹阳的预报效果相对比较好;客观预报方法存在明显的系统性负偏差,通过使用每个预报时效预报误差的 7 d 滑动平均进行订正,结果表明通过订正,预报效果有所提高,特别是最高气温订正效果较明显;通过主客观预报准确率的对比分析,发现虽然客观预报对最高气温的预报效果比较差,但是在气温趋势预报上具有一定的参考价值;最低气温客观预报准确率明显高于江苏省的平均水平,和主观预报相比,虽然仍然低于主观预报水平,但是差距不大,基本上可以替代主观预报;分县气温客观预报方法对高温、寒潮等灾害性天气具有一定的预报能力,但是和实况相比,预报强度偏弱。

关键词

T639 模式;客观预报;分县气温预报;多元回归

中图分类号 P457.3

文献标志码 A

收稿日期 2013-01-25

资助项目 2011 年度江苏省青年气象科研基金(Q201116)

作者简介

孙翠梅,女,硕士,工程师,主要从事中短期气象预报预测研究.scml212_0@126.com

1 江苏省镇江市气象局,镇江,212001

2 江苏省句容市气象局,句容,212004

0 引言

全球中期数值预报系统 T639L60 经过 1 a 多的预报试验^[1]后,于 2008 年通过准业务化验收,开始准业务运行.此后国家气象中心的研究人员定期对其中期预报性能进行检验^[2-5],主要有亚洲中高纬度环流形势西风指数、500 hPa 环流形势、850 hPa 温度趋势检验等,另外根据季节进行针对性的检验工作,如春季沙尘天气预报能力检验,夏秋季的西太平洋副热带高压、热带气旋预报能力的检验,冬季南支槽、地面高压的预报检验等.对于模式的短期预报效果,郑婧等^[6]指出江西 4—6 月 11 次暴雨期间 T639 模式能准确反映亚洲中、高纬度大尺度环流的演变趋势和调整,对重大天气过程有较强的预报能力.和 T213 相比,T639L60 在温度、风场预报上有很大改进,降水预报的改进尤为明显,对极端天气过程的预报能力明显提高^[1].因此很多业务人员应用 T639 模式资料针对暴雨、雷电等强对流天气开展科学研究,如廖胜石等^[7]、郭金强等^[8]均利用 T639 数值预报产品的初始场以及预报产品分析发生暴雨、强对流天气的物理成因,王新敏等^[9]根据雷暴活动特征和雷暴天气产生的环境场条件,采用 ADTD 地闪定位资料和 T213/T639 数值模式输出产品,分别建立雷电潜势预报模型,其技术方法可以为河南省雷电天气的落区预报提供客观定量的参考和依据.但是针对气温的释用方面的研究报道则较少.

现代气象业务对天气预报的准确率要求越来越高,对气温也是如此.考虑镇江市气温预报完全依靠预报员的主观订正,耗费大量的精力,还没有一套可供参考的气温客观预报方法,因此本文利用 T639 模式下发的多个预报产品,开展镇江本地化的分县气温客观预报方法研究并进行预报检验,为预报人员的温度预报提供参考,从而在一定程度上提高镇江地区气温预报的准确率和精细化程度,也为其他地区开展气温客观预报提供参考.

1 资料和方法

1.1 资料

T639 数值预报产品的空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,时间分辨率 0~60 h 为 3 h 间隔,60~120 h 为 6 h 间隔,120~168 h 为 12 h 间隔,168~192 h 为 24 h 间隔.最高最低气温实况采用镇江、扬中、丹阳和句容 4 站气象报表中的资料.天气形势场分析资料来源于常规气象观测资料、

美国 NCEP/NCAR 1°×1°网格点逐 6 h 再分析资料.

将模式空间点插值到各站点采用直接平均插值方法.

1.2 多元回归方法介绍

在线性相关条件下,2 个或 2 个以上自变量对因变量的数量变化关系叫多元线性回归分析.多元线性回归模型是一元线性回归模型的扩展,其基本原理与一元线性回归模型类似.回归模型为

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon, \quad (1)$$

式(1)中 y 为因变量, x_1, \dots, x_n 为自变量, β_0 为常数项, β_1, \dots, β_n 为偏回归系数, ε 为随机误差, 又称残差, 它是 y 变化中不能用自变量解释的部分. 本文中因变量 y 为预报的最低和最高气温, 自变量 x_1, \dots, x_n 为模式场的各物理量, 预报模型中常数项和偏回归系数采用逐步回归方法^[10]确定.

1.3 预报因子的选择和方程的建立

根据朱乾根等^[11]的理论,影响气温变化的因素很多,也很复杂.冷暖平流的强度决定气温升降的程度,系统性垂直运动如下沉运动可使局地气温增高、上升运动可使局地气温下降,非绝热因子对气温变化的作用也很大,如晴天、阴雨、风、雾以及地表等,都会对气温产生影响.综合考虑本文选取 T639 模式的物理量有地面 2 m 的气温即 T_{2m} , 500、700 和 850 hPa 3 层气温和相对湿度即 T_{500} 、 T_{700} 、 T_{850} 、 RH_{500} 、 RH_{700} 、 RH_{850} 以及 1 000 hPa 相对湿度 RH_{1000} 和地面 2 m 相对湿度即 RH_{2m} 共 9 个自变量,而非绝热变化项如云系、风向风速、日照等因子数值模式场难以得出,本文暂时未考虑,因此预报模型中 ε 为 0.

利用 2008—2009 年模式每天 20 时的起报场资料和最高最低气温实况建立镇江、扬中、丹阳和句容 24~48、48~72、72~96、96~120、120~144、144~168 以及 168~192 h 7 d 预报时效内的最高气温和最低气温的多元回归方程,为预报人员下午 3 时的气温预报提供参考.考虑到季节因素对气温预报的影响,将资料进行四季划分(冬季 2008 年 12 月—2009 年 2 月,春季 2009 年 3—5 月,夏季 2009 年 6—8 月,秋季 2009 年 9—11 月),每季又分最高气温和最低气温,因此 4 个站共 $4 \times 7 \times 4 \times 2 = 224$ 个预报方程.下发的 T639 模式的 T_{2m} 产品是相对于海拔高度而言的,考虑到镇江地区海拔高度不高,所以在进行统计回归时直接用模式的 T_{2m} 替代了站点的 T_{2m} ^[12].表 1 仅列出镇江气象站春夏秋冬四季最高气温 T_k 的 24~48 h 时效的气温客观预报方程,方程中右下标均表

示时效.

表 1 镇江气象站最高气温 T_k 客观预报方程

Table 1 Objective forecast equations of maximum temperature

季节	回归方程式
春	$T_{k48} = 5.187 + 0.779T_{2m39} + 0.303T_{85030} - 0.03RH_{50048}$
夏	$T_{k48} = 2.943 + 0.831T_{2m36} + 0.295T_{2m45} - 0.024RH_{70036}$
秋	$T_{k48} = 10.929 + 0.588T_{2m29} + 0.526T_{85048} - 0.101RH_{2m45}$
冬	$T_{k48} = 9.815 + 0.759T_{2m42} - 0.160RH_{2m36} + 0.479T_{85027} - 0.374T_{50033}$

2 分县气温客观预报效果检验

利用以上 224 个回归方程对 2010 年气温进行试报,评估其预报效果主要有 $|T_{\text{预报}} - T_{\text{实况}}| \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 预报准确率(下文预报准确率分析均以此为标准)、平均绝对误差(多次 $|T_{\text{预报}} - T_{\text{实况}}|$ 的平均值),计算结果如图 1、图 2 所示.这里仅对镇江站的气温预报效果进行分析.由图 1 可见:预报准确率随着时效的延长呈现波动下降,48 h 预报准确率最高气温中冬季的最高,为 71.7%,其次是夏季,春季最低,只有 44.7%,最低气温中夏季最高,为 86.2%,其次是春季,冬季最低,只有 67.3%;72 h 预报准确率最高气温中夏季最高,为 62.5%,秋季次之,最差的是春季,只有 44.3%,最低气温中秋季最高,为 83.0%,春季

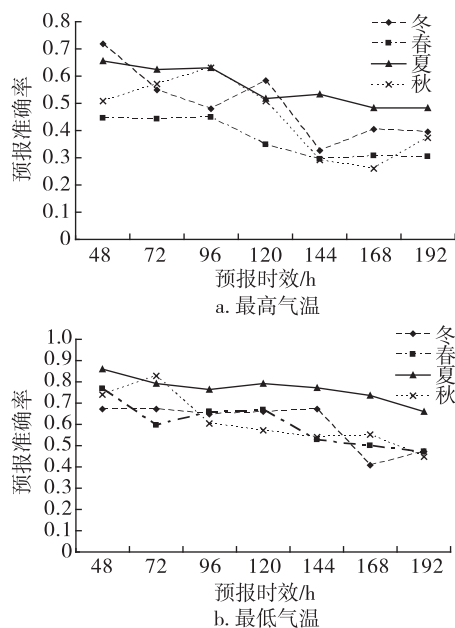


图 1 四季 $|T_{\text{预报}} - T_{\text{实况}}| \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 预报准确率曲线

Fig. 1 Forecast accuracy of $|T_{\text{forecast}} - T_{\text{live}}| \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ for maximum temperature, minimum temperature of four seasons

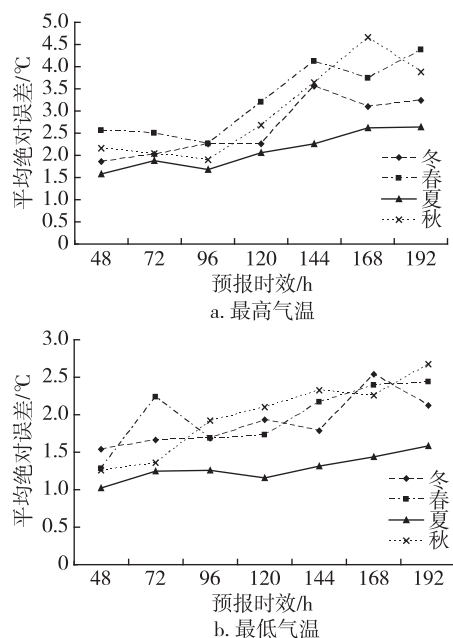


图2 四季平均绝对误差曲线

Fig. 2 The mean absolute error of maximum temperature, minimum temperature forecast of four seasons

最低,只有 59.8%;96 h 预报准确率最高气温夏季和秋季相同,最高为 63.2%,春季最低,为 44.8%,最低气温中夏季最高,为 76.3%,春季最低,只有 60.4%。从预报稳定性上来看,最高气温中夏季预报最为稳定,春季次之,秋季和冬季的预报随着时效的增加准确率起伏比较大。最低气温中也是夏季预报最为稳

定,其次是冬季,春季和秋季则波动较大。由平均绝对误差曲线(图 2)分析可见:随着时效的增加平均绝对误差是增大的,最高气温中夏季的平均绝对误差在整个预报时效区间内都最小,春季误差最大;最低气温夏季在整个预报时效区间内平均绝对误差也都明显小于其他季节。

通过对 $|T_{\text{预报}} - T_{\text{实况}}| \leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预报准确率、平均绝对误差曲线对比可以看到,48~196 h 预报时效总体情况下最低气温预报准确率要好于最高气温,同时夏季的气温预报也明显好于其他季节,其原因除了模式本身的系统误差影响外^[13],主要是风向风速、天空状况、日照时数等非绝热项对最低气温的干扰低于最高气温,在夏季影响镇江的天气系统中副高控制的晴热少雨天气比重较大,气温预报相对容易。

3 分县气温客观预报方法的业务应用

3.1 客观预报方法的预报效果检验

为了检验分县气温预报方程的效果,进一步完善方程,2011年7月1日开始到2012年10月31日气温预报方程一直在进行业务应用,除去资料不完整的缺报情况,以 $|T_{\text{预报}} - T_{\text{实况}}| \leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预报准确率为标准对镇江、扬中、丹阳和句容 4 站 24~48、48~72、72~96、96~120、120~144、144~168 以及 168~192 h 7 d 预报时效内最高气温和最低气温的预报效果进行评估。表 2 为 4 站 7 d 预报时效内的预报准确率,可以看出,整体上预报准确率随着时效的增加是减

表 2 7 d 预报时效内分县气温客观预报准确率对比
Table 2 Objective forecast accuracy of county temperature valid for 7 days period %

区域	最高气温预报准确率						
	24~48 h	48~72 h	72~96 h	96~120 h	120~144 h	144~168 h	168~192 h
镇江	67	64	61	60	43	45	44
扬中	68	66	63	61	49	48	43
丹阳	64	63	61	59	44	44	42
句容	65	62	58	57	43	44	44
平均	66	64	61	59	45	45	43
订正后平均	75	73	70	68	62	58	52
区域	最低气温预报准确率						
	24~48 h	48~72 h	72~96 h	96~120 h	120~144 h	144~168 h	168~192 h
镇江	86	80	76	67	60	61	57
扬中	83	76	75	68	61	61	58
丹阳	86	82	75	72	61	64	42
句容	84	79	78	67	62	63	56
平均	85	79	76	69	61	62	53
订正后平均	87	80	78	70	63	62	55

少的,同时最低气温的预报准确率远远高于最高气温的准确率,就24 h时效平均预报准确率看,最低气温高达85%,最高气温仅有66%.在最高气温中对扬中的预报准确率高于其他站点1~4个百分点,在最低气温中对丹阳的预报效果相对比较好.

通过计算4站的平均绝对误差,发现方程存在明显的系统性负偏差,这同T639模式本身的温度预报存在系统性负偏差有密切的关系^[14].为了提高客观预报方程的可用性,本文以日最高、最低温度为实况场对其预报结果进行误差分析,同时用每个预报时效预报误差的7 d滑动平均进行订正,结果表明通过订正,预报效果有所提高,特别是最高气温订正效果较明显.

自2012年4月开始,镇江市预报员5 d主观预报评分系统开始运行,为进一步检验分县气温客观预报的效果,本文将4—10月期间5 d预报时效内的客观预报同主观预报以及江苏全省平均气温预报准确率进行了对比分析,结果如图3所示.图3a中24~96 h时效里最高气温客观预报准确率低于主观预报,但高于全省的平均水平,只有120 h时效的准确率低于主观预报和全省平均水平.为了进一步验证客观预报对最高气温的预报能力,本文将4—10月期间最高气温预报值和实况进行了对比分析(图略),发现虽然客观预报对最高气温的预报效果比较差,但是在气温趋势预报上具有一定的参考价值.图3b最低气温客观预报准确率明显高于全省的平均水平,和主观预报相比,虽然仍然低于主观预报水平,但是差距不大,基本上可以替代主观预报.

3.2 气温客观预报对本地影响天气系统的把握

3.2.1 高温预报中的效果检验

2011年7月、2012年7月出梅后,镇江市均出现了连续性的高温天气,2012年7月21—31日出现了连续11 d的35℃左右的持续性高温天气,特别是2012年7月29、30日镇江市最高气温突破了37℃,镇江气象台连续发布了7期高温黄色预警信号,2期高温橙色预警信号.从这2年7月下旬500 hPa平均高度场(图略)看,120°E副高脊线稳定维持在32°N左右,镇江市处于副高脊线西南侧的东南急流控制下,同时850 hPa气温在20℃以上,因此形成了镇江市7月下旬的持续晴热高温天气.从图4客观气温预报效果看,镇江站2011年7月、2012年7月共23 d的24 h最高气温预报准确率在±2℃范围内的天数为18 d,预报准确率为78.3%,为高温灾害性天气的准确预报提供

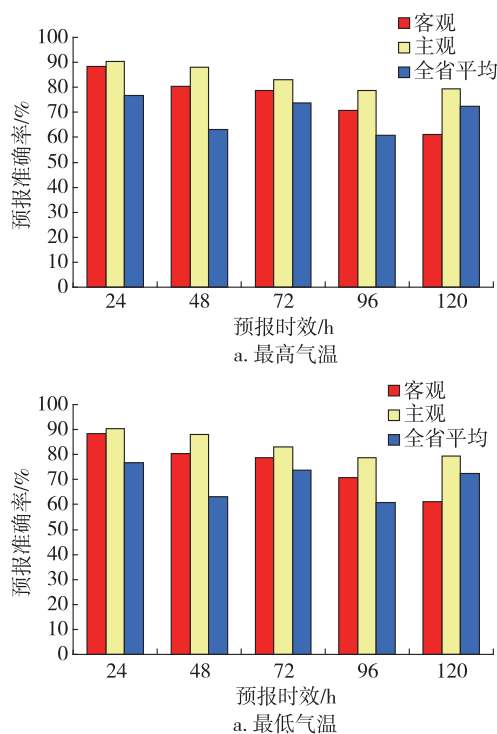


图3 气温客观预报准确率同主观预报、全省平均预报对比
Fig. 3 Temperature forecast accuracy comparison between objective forecast, subjective forecast and Jiangsu provincial average prediction accuracy, with for maximum air temperature and for minimum air temperature

了较高的参考价值,但是其预报对实况的平均相对误差值为-1.148,存在负偏差,特别是对2012年7月29、30日2 d 37℃以上的高温天气预报值偏低.

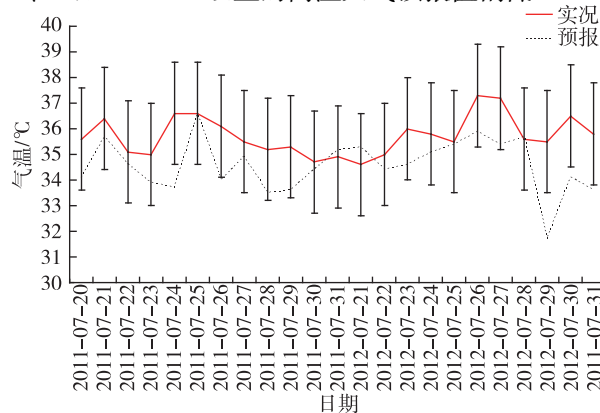


图4 镇江站2011和2012年7月下旬最高气温实况和24 h预报对比

Fig. 4 Maximum air temperature comparison between 24 h forecast result and measured value for late July of 2011 and 2012

3.2.2 首次寒潮预报中的效果检验

受西路冷空气南下影响,2012年11月10—12

日镇江出现了首次寒潮天气过程,全市各站 48 h 最低气温降温幅度均达 10 ℃,12 日最低气温各站均在 4 ℃ 以下,具体结果如表 3 所示.从预报准确率看,这次过程 10、12 日最低气温预报是准确的,48 h 最低气温降幅达到了 8 ℃ 以上,可以预报未来将出现寒潮天气.但是对冷空气来之前的锋前增温估计不足,导致 10 日最低气温预报偏低,而对冷空气影响后 12 日早晨的最低气温预报偏高,使得 48 h 的降温幅度和实况比偏低了 3~4 ℃,针对本次寒潮天气过程预报偏弱.

表 3 2012 年 11 月 10—12 日寒潮天气实况和预报对比
Table 3 Comparison between forecast and measured value for cold weather during 10—12 of Nov, 2012 ℃

区域	实况			24 h 预报		
	10 日	12 日	48 h 降幅	10 日	12 日	48 h 降幅
镇江	13.8	2.7	11.1	11.9	3.9	8.0
扬中	13.8	2.8	11.0	12.1	4.5	7.6
丹阳	13.8	3.9	9.9	12.2	4.2	8.0
句容	13.6	2.9	10.7	11.5	2.1	9.4

4 结论与讨论

通过以上对分县气温客观预报效果的检验,得出以下结论:

1) 在 2010 年气温客观预报方法试报中发现,在 120 h 预报时效内,总体情况是最低气温预报准确率要好于最高气温,同时夏季的气温预报也明显好于其他季节.

2) 在近一年半的业务应用中发现,对扬中的最高气温预报准确率高于其他站点,对丹阳的最低气温预报效果相对比较好;通过计算 4 站的平均绝对误差,发现客观预报存在明显的系统性负偏差,因此使用每个预报时效预报误差的 7 d 滑动平均进行订正,表明预报效果有所提高,特别是最高气温订正效果较明显.

3) 通过主客观预报准确率的对比分析,发现虽然客观预报对最高气温的预报效果比较差,但是在气温趋势预报上具有一定的参考价值.最低气温客观预报准确率明显高于全省的平均水平,和主观预报相比,虽然仍然低于主观预报水平,但是差距不大,基本上可以替代主观预报.分县气温客观预报方法对高温、寒潮等灾害性天气具有一定的预报能力,但是和实况相比,预报强度偏弱.

4) 由于 T639 模式每天产品下发时间的限制,

只能使用 48 h 以后的预报产品,这在一定程度上影响了客观预报的预报准确率,气温客观模型的建立是基于线性考虑的,在实际情况下,气温受风向风速、天空状况等诸多非绝热项的影响,这也影响了方程的预报效果.

参考文献

References

- [1] 管成功,陈起英,佟华,等.T639L60 全球中期预报系统预报试验和性能评估[J].气象,2008,34(6):11-16
GUAN Chenggong, CHEN Qiying, TONG Hua, et al. Experiments and evaluations of global medium range forecast system of T639L60[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(6): 11-16
- [2] 蔡芴宁.2011 年 3—5 月 T639、ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2011,37(8):1026-1030
CAI Xiangning. Performance verification of the medium range forecasting for T639, ECMWF and Japan models from March to May 2011 [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(8): 1026-1030
- [3] 于超.2010 年 6—8 月 T639、ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2010,36(11):104-108
YU Chao. The performance verification of the medium range forecasting for T639, ECMWF and Japan models from June to August 2010 [J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(11): 104-108
- [4] 周宁芳.2010 年 9—11 月 T639、ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2011,37(2):237-241
ZHOU Ningfang. Performance verification of the medium-range forecasting for T639, ECMWF and Japan models from September to November in 2010 [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(2): 237-241
- [5] 张亚妮,张金艳.2010 年 12 月至 2011 年 2 月 T639 与 ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2011,37(5):633-638
ZHANG Yani, ZHANG Jinyan. The performance verification of medium range forecast for T639 and ECMWF and Japan models from Dec 2010 to Feb 2011 [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(5): 633-638
- [6] 郑婧,丁治英,刘波,等.江西暴雨期间 T639 模式的短期预报效果检验[J].气象与减灾研究,2011,34(1):40-47
ZHENG Jing, DING Zhiying, LIU Bo, et al. The synoptic verification of short-range forecast from T639 model during heavy rainfalls of Jiangxi [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2011, 34(1): 40-47
- [7] 廖胜石,罗建英,张洁婷,等.T639 数值预报产品对一次广西秋季暴雨的诊断分析[J].气象研究与应用,2010,31(4):27-31
LIAO Shengshi, LUO Jianying, ZHANG Jieting, et al. Diagnostic analysis on a heavy rain in Guangxi autumn based on T639 output data [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2010, 31(4): 27-31
- [8] 郭金强,王肖娟,张治雄.T639 数值预报产品在天山中的一次强降水过程的应用分析[J].干旱气象,2011,

- 29(2):236-239
 GUO Jinqiang, WANG Xiaojuan, ZHANG Zhixiong. Application analysis of T639 product on a heavy rainfall process in central Tianshan Mountain[J]. Journal of Arid Meteorology, 2011, 29(2): 236-239
- [9] 王新敏,张霞,徐文明,等.T213/T639数值产品在河南省雷电潜势预报中的释用[J].气象,2011,37(5):576-582
 WANG Xinmin, ZHANG Xia, XU Wenming, et al. Interpretation and use of T213 and T639 output products on the lightning potential forecast in Henan [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(5): 576-582
- [10] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:37-50
 SHI Neng. Multivariate analysis method in weather research and forecast [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: 37-50
- [11] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理与方法[M].北京:气象出版社,2000:221-224
 ZHU Qiangen, LIN Jinrui, SHOU Shaowen, et al. Principle and methods of synoptic meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000: 221-224
- [12] 张冰,魏建苏,裴海瑛.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):468-471
 ZHANG Bing, WEI Jiansu, PEI Haiying. Verification and evaluation of rainfall and temperature forecasting for T213L31 global numerical model in Jiangsu area in 2006 [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2008, 28(4): 468-471
- [13] 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):149-159
 HU Jiangkai, WANG Yu, WANG Yitao. T213L31 operation scheme and forecast effect evaluation in national meteorological center [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2005, 16(2): 149-159
- [14] 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
 TONG Hua, YAO Mingming, WANG Yu, et al. Analysis of error sources of 2 m temperature prediction in global medium-range NWF system T213L31, NMC [J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(2): 52-57

Localized temperature forecast technique based on T639 numerical forecast product

SUN Cuimei¹ SHEN Xingjian¹ MA Junfeng² TIAN Yongfei¹ KONG Qiliang¹ SUN Hui¹

¹ Zhenjiang Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Zhenjiang 212001

² Jurong Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Jurong 212004

Abstract Based on multiple physical quantity data issued by the T639 numerical forecast product, the localized temperature forecasting equations for counties and cities are established using multiple regression method, which are applied to forecast temperature in Zhenjiang of Jiangsu province. Combined with conventional meteorological observation data and the 6 h reanalysis data of United States NCEP/NCAR1 in $1^\circ \times 1^\circ$ grid point, the localized temperature forecast results are comparatively tested and analyzed. The results indicate that the proposed temperature forecast technique based on T639 is more accurate in minimum temperature prediction than in maximum temperature prediction, and more accurate in summer temperature forecast than in other seasons. Yangzhong and Danyang have the most accurate prediction result in maximum temperature and minimum temperature, respectively, compared with other counties or cities in Zhenjiang. Systemic negative deviation existed in objective forecast methods, which can be corrected through the use of seven day moving average of prediction error for corresponding forecast time-length. The correction results show that the prediction performance is improved, especially the maximum temperature prediction. The comparative analysis between subjective and objective prediction methods show that the objective one is weak in maximum temperature forecast, yet is of some value in temperature trend forecasting; the objective one is roughly similar in prediction accuracy for minimum temperature and thus can replace the subjective forecast. The objective prediction method in county level is valuable for forecast of disastrous weathers like high temperature and cold wave, yet is still weak in forecast performance compared with real-time weather data.

Key words T639 model; objective forecasting; county temperature forecast; multiple regression