

文章编号: 2096 - 5389(2018)05 - 0047 - 05

## 多模式温度集成预报的检验分析

张玉荣

(内蒙古自治区巴彦淖尔市气象局, 内蒙古 临河 015000)

**摘要:** 该文利用 C# 程序语言逐日读取欧洲数值预报模式 (Ec)、中国数值预报模式 (T639)、德国天气在线 (ZX)、美国天气 (MG)、中国天气 (ZG)、中央气象台指导预报 (ZY) 6 家模式预报的日最高气温 (Tg) 和日最低气温 (Td) 预报值, 建立预报数据库。使用 LINEST 函数对 Tg 和 Td 做多元回归分析, 得出 6 家模式的集成预报结果, 结果表明: 集成预报 (JC) 比 6 家模式预报准确率都高; 同时, 建立本地化订正方法, 将原 6 家模式 Tg 和 Td 进行订正后再集成, 结果表明: 订正后的集成比直接集成准确率提高了 0% ~ 4%, 说明订正方法的使用对提高气温预报准确率有一定的效果。另外, 通过对各家模式预报结果和集成预报结果的检验分析, 不仅为预报员择优使用数值预报产品提供参考依据, 也为数值预报产品释用提供一定的参考方法。

**关键词:** 日最高气温; 日最低气温; LINEST 函数; 数值预报产品; 多元线性回归

**中图分类号:** P457.3 **文献标识码:** B

## Test and analysis of Multi - model consensus forecast for temperature

ZHANG Yurong

(Bayannaoer Meteorological Bureau of Inner Mongolia, Linhe 015000, China)

**Abstract:** A program written in C# programming language was used to obtain the maximum and minimum temperature forecast from EC model, T639, WetterOnline, AccuWeather, Weather China and National Meteorological Center of CMA, which formed a prediction database. the consensus forecast results of the six models were obtained by using the multiple linear regression method of Tg and Td based on the LINEST function. The results show that: the accuracy of the consensus forecast is higher than the six models; Meanwhile, the six models of the maximum and minimum temperature were corrected by the local correction method. The accuracy rate of the consensus forecast increases by 0 ~ 4%, which indicates that the correction method could improve the forecast accuracy of maximum and minimum temperature; Besides, the analysis of the verification from six models forecast and the consensus forecast will provide forecasters reference to choose the most optimal numerical weather forecasting products and methods to interpret the products.

**Key words:** daily maximum temperature; daily minimum temperature; LINEST function; numerical forecast product; multiple linear regression

### 1 引言

数值天气预报发展至今, 已具备了很高的预报准确率, 并成为天气分析预报的有力工具, 它延长了预报时效, 还能给出各物理量的定量结果<sup>[1]</sup>。随着国内外数值天气预报模式的快速发展, 数值模式

预报使预报产品类型更加丰富, 有效提高了预报准确率和精细化水平, 其稳定性和预报质量也逐步提高, 预报员对数值预报产品的应用越来越广泛。然而, 预报员每天面对各类数值模式产品, 如何用好模式产品就成为预报的关键<sup>[2]</sup>。陈丽娟<sup>[3]</sup>等基于集合的思想对降水预测的各模式预报结果进行集

收稿日期: 2018 - 04 - 24

第一作者简介: 张玉荣 (1989—), 女, 助工, 主要从事短期天气预报工作, E - mail: bsqxj - zyr@163.com。

成,发现集合预报大多数情况下优于单成员预报。马清<sup>[4]</sup>等针对全球 5 个气象中心的区域集合模式的地面温度预报,发现集成预报的平均绝对误差小于单一模式预报。Hagedorn<sup>[5]</sup>基于多模式集成预报思想,发现多模式集成预报确实能优化预报结果。

内蒙古巴彦淖尔市地处阴山山脉西段,阴山及以北地区隆起,阴山南部断陷,形成比较明显的 3 种地貌,即北部高原、中部山地丘陵和南部河套平原<sup>[6]</sup>。阴山横亘于中部,成为中温带大陆性气候与季风气候的交界区。因为南北海拔高度的不同及阴山的作用,山前与山后的各项气象要素有明显的差异,预报难度较大,尤其是日最高气温和日最低气温预报,成了影响预报服务质量的主要因素<sup>[7]</sup>。

## 2 数据来源

逐日选取 08 时和 20 时起报的 6 家数值模式 (Ec、T639、ZX、MG、ZG、ZY) 中日最高气温和日最低气温预报值,时效为 24 ~ 120 h。其中, Ec 模式选用 ecmwf\_thin \ mx2t6 产品; T639 模式选用 T639 \ T2M\_4 产品。其中, Ec 模式和 T639 模式格点资料通过双线性插值方法插到预报站点; 中国天气、美

国天气、德国天气在线、中央气象台指导预报选用模式预报的 Tg 和 Td。利用 C# 程序语言将 6 家模式逐日预报值写入 Excel 中, 建立回归分析数据库。

## 3 原模式集成

选择上述 6 家模式的日最高气温和日最低气温预报值, 使用 Excel 的 LINEST (known\_y's known\_x's const stats) 函数进行回归分析, 其基础数据如下所示:

Known\_y's 中输入 D4:D35 实况数据即因变量 (注: D 列的第 4 ~ 35 行的实况温度数据);

Known\_x's 中输入 BA4:BF35 各家模式预报值即自变量 (注: BA 列到 BF 列的第 4 ~ 35 行 6 家模式最高、最低气温预报值);

Const 中输入 True, 如果 Const 为 True 或省略, b0 (截距) 将被正常计算。如果 Const 为 False, b0 将被自动设为 0;

Stats 中输入 True, 如果 Stats 为 True, 返回附加回归统计值, 如果 Stats 为 False 或省略, 只返回系数。回归分析结果输出 (如表 1):

表 1 LINEST 函数做回归分析得出的各项系数

Tab. 1 Various coefficients obtained by regression analysis by LINEST function

	A	B	C	D	E	F	G
1	0.041 731	-0.043 61	-0.045 21	0.039 287	0.122 509	0.727 064	2.668 734
2	0.376 975	0.474 701	0.413 62	0.219 36	0.379 837	0.250 242	2.063 847
3	0.791 738	1.258 632	-	-	-	-	-
4	15.206 54	24.000 00	-	-	-	-	-
5	144.537 1	38.019 71	-	-	-	-	-

各输出值的意义: A1、B1、C1、D1、E1、F1 分别为  $Td_{ZY}$ 、 $Td_{MG}$ 、 $Td_{ZX}$ 、 $Td_{ZG}$ 、 $Td_{T639}$ 、 $Td_{Ec}$  的系数, G1 为常数项; A2、B2、C2、D2、E2、F2、G2 分别为相应的系数及常数项的标准差; A3 为复相关系数, B3 为 y 的标准误差; A4 为计算出的 F 值, B4 为离回归自由度; A5、B5 分别为回归平方和及离回归平方和。

将上述各项参数保留两位小数代入  $y = A1x1 + B1x2 + \dots + G1$ , 得到回归方程:

$$y = 0.04 \times Td_{Ec} + (-0.04) \times Td_{T639} + (-0.04) \times Td_{ZG} + 0.04 \times Td_{ZX} + 0.12 \times Td_{MG} + 0.73 \times Td_{ZY} + 2.67$$

式中, y 即为 6 家模式的最低气温集成预报结果。

上述方程示例仅作为解释说明回归分析的过程, 实际业务中使用 2017 年 1 月—2017 年 12 月的数据, 逐日对 08 时和 20 时预报场的日最高气温和

日最低气温预报分别做回归分析, 得出集成预报结果并按月开展检验分析。

## 4 模式订正后集成

### 4.1 订正预报的意义

上述多元回归分析只是用最小二乘法对各模式日最高气温和日最低气温预报进行的最佳直线拟合, 与实况仍存在一定的误差。导致误差产生的主要原因有两个: 一是数值预报场本身不可避免存在的误差; 二是预报站点风向风速变化、云覆盖度、降水的影响, 或者是其它气象要素的变化, 使局地热量混合交换而造成温度差异。

### 4.2 订正要素的选取

经过巴彦淖尔市气象台预报员多年统计、分析、检验, 发现与温度预报相关性较好的是近地面风向风速、相对湿度以及降水量等因子。因此, 选

取 Ec 和 T639 模式预报场中的 10 m 风向风速, 500 hPa、700 hPa、850 hPa 3 个层次中的最大相对湿度, 12 h 降水量作为最高、最低气温预报的订正因子; 德国天气在线、美国天气、中国天气选用风向风速、天空状况、低云量(降水量)的预报值作为订正因子; 中央气象台指导预报选用风向风速、低云量、

24 h 降水量的预报值作为订正因子。

订正值的设定是依据一年多的检验而设的初始订正值(见表 2~表 6), 使用该订正方法将 6 家模式气温预报值进行订正, 得出模式预报订正后的日最高气温和日最低气温预报值, 然后再进行一次回归分析, 最后得到模式订正后的集成预报结果。

表 2 10 m 风向订正值设定

Tab. 2 10 m wind direction correction setting

风向	N	NW/NE	E	W	SW/SE	S	C
订正值/℃	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0

表 3 10 m 风速订正值设定

Tab. 3 10 m wind setting

风力(级)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Td 订正/℃	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	3.0
Tg 订正/℃	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-2.0	-3.0

表 4 低云量订正值设定

Tab. 4 Low cloud setting

低云量(成)	10 或 10 -	9	8	7	6	5	4	<4
Td 订正值/℃	2.0	1.6	1.2	0.8	0.6	0.4	0.1	0
Tg 订正值/℃	-2.0	-1.6	-1.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0

表 5 最大相对湿度订正值设定

Tab. 5 Setting of maximum relative humidity setting value

相对湿度/%	100	90~99	80~89	70~79	60~69	50~59	40~49	<40
Td 订正值/℃	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0
Tg 订正值/℃	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0

表 6 雨(雪)订正值设定

Tab. 6 Setting of rain (snow) setting

降水量	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨	小雪	中雪	大雪
Td 订正/℃	0.3	1	2	3	4	0.1	1	2
Tg 订正/℃	-0.3	-1	-2	-3	-4	-0.1	-1	-2

## 5 集成预报检验分析

### 5.1 温度预报检验方法

根据中国气象局关于《中短期天气预报质量检验办法(试行)》的规定, 其标准如下:

$$\text{平均绝对误差: } T_{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

$$\text{均方根误差: } T_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

$$\text{温度预报准确率: } TT_K = \frac{Nr_K}{Nf_K} \times 100\%$$

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。温度预报准确率的实际含义是温度预报绝对误差  $\leq 1^\circ\text{C}$  ( $2^\circ\text{C}$ ) 的百分率。  $K$  为 1、2, 分别代表  $\leq 1^\circ\text{C}$ 、 $\leq 2^\circ\text{C}$ 。

### 5.2 集成预报 24 h 质量检验

对 24 h 集成预报的最高温度预报检验(表 7) 知, 从 2017 年 1—12 月平均预报准确率为 84.8%, 其中 53513(临河区)站准确率最高: 88.5%, 53324(乌拉特后旗)准确率最低: 81.0%。平均绝对误差均  $< 2^\circ\text{C}$ , 最大为乌拉特后旗  $1.371^\circ\text{C}$ 。均方根误差均  $< 2^\circ\text{C}$ , 最大为磴口县  $1.935^\circ\text{C}$ 。从偏高率和偏低率可以看出, 对于最高气温的预报, 集成预报的偏高率比偏低率略更加明显。

表 7 24 h 最高气温集成预报各旗(县)检验

Tab. 7 24 h maximum temperature integrated forecast for each flag ( county) test

站号(站名)	准确率/%	偏高率/%	偏低率/%	平均绝对误差/℃	均方根误差/℃
53513(临河区)	88.5	6.3	5.2	1.129	1.396
53419(磴口县)	86.9	7.7	5.4	1.167	1.935
53420(杭锦后旗)	84.1	6.7	9.2	1.182	1.653
53337(五原县)	82.3	10.2	7.5	1.286	1.295
53433(乌拉特前旗)	87.5	5.9	6.6	1.135	1.631
53336(乌拉特中旗)	83.8	7.6	8.6	1.206	1.452
53324(乌拉特后旗)	81.0	6.3	12.7	1.371	1.765
53231(海力素)	83.6	9.5	6.9	1.258	1.566
53348(大余太)	85.9	8.7	5.4	1.187	1.429
平均	84.8	9.8	5.4	1.210	1.570

对 24 h 集成预报的最低温度预报检验(表 8) 知,从 2017 年 1—12 月平均预报准确率为 66.3%, 其中 53419(磴口县)站准确率最高:70.9%,53337 (五原县)准确率最低:62.3%。平均绝对误差均 <

2℃,最大为五原县 1.502℃。均方根误差基本都 <2℃,只有五原县 >2℃,值为 2.016℃。从偏高率和偏低率可以看出,对于最低温度的预报,集成预报的偏低率比偏高率略明显。

表 8 24 h 最低气温集成预报各旗(县)检验

Tab. 8 24 h minimum temperature integrated forecast for each flag ( county) test

站号(站名)	准确率/%	偏高率/%	偏低率/%	平均绝对误差/℃	均方根误差/℃
53513(临河区)	68.5	13.8	17.7	1.328	1.546
53419(磴口县)	70.9	15.3	13.8	1.265	1.335
53420(杭锦后旗)	67.1	12.5	20.4	1.371	1.823
53337(五原县)	62.3	16.1	21.6	1.502	2.016
53433(乌拉特前旗)	67.5	9.9	22.6	1.374	1.675
53336(乌拉特中旗)	65.8	12.6	21.6	1.426	1.582
53324(乌拉特后旗)	63.3	14.3	22.4	1.441	1.449
53231(海力素)	66.6	18.2	15.2	1.309	1.873
53348(大余太)	64.9	14.1	21.0	1.399	1.763
平均	66.3	14.0	19.6	1.379	1.674

从 2017 年 1—12 月集成预报 24 h 最低气温和最高气温准确率区域分布图(图 1 和图 2)看,最高温度区域分布中,套区偏南地区预报准确率比北部牧区预报准确率要高,其中临河区预报准确率最高;最低温度区域分布中,巴彦淖尔市西南部和东南部的预报准确率比其他区域预报准确率要高,其中磴口县报准确率最高。

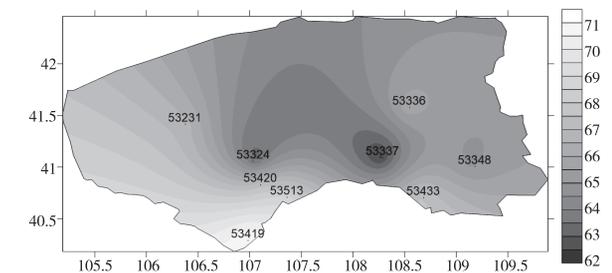


图 2 集成预报最低气温 24 h 预报准确率区域分布  
Fig. 2 Regional distribution of accuracy of integrated forecast of 24 h minimum air temperature

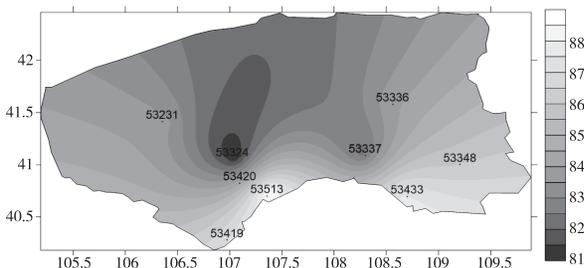


图 1 集成预报最高气温 24 h 预报准确率区域分布  
Fig. 1 Regional distribution of accuracy of integrated forecast of maximum temperature 24 h

### 5.3 模式订正后集成检验

从模式订正后集成检验结果可以看出,各家模式订正后集成比原模式集成的准确率有所提高(图略),其中最高气温准确率提高了 1%~3%,最低气温误差率降低了 0.5%~4%,说明订正方法的使用对提高最高、最低气温预报准确率有一定的效果,

对温度预报具有参考价值。

## 6 小结

①本文的主要目的是使用 LINEST 函数对各家数值模式预报进行多元回归分析,得出模式集成预报结果,检验集成预报结果的准确率。结果表明:集成预报比 6 家模式的预报准确率都高,这对巴彦淖尔市温度预报具有很好的参考价值。

②在原模式的基础上,建立本地化订正方法,将原 6 家模式最高最低气温预报值进行订正后再集成。检验结果表明:订正后的集成预报比直接集成预报准确率又提高了 0% ~ 4%,说明订正方法的使用对提高最高、最低气温预报准确率有一定的效果。

③本文不但对模式集成进行了检验,还对单一数值模式预报进行了检验,为预报员择优使用数值预报产品提供依据,同时也为研究数值模式预报产品释用提供一定的参考方法,具有一定的推广价值。

## 参考文献

- [1] 孙向明. 数值预报模式及其产品的业务化应用[J]. 广东气象, 2015(1):34-35.
- [2] 程正泉, 廖代强. 数值天气预报模式产品在预报业务中的应用[J]. 广东气象, 2015, 34(4):1-4.
- [3] 陈丽娟, 许力, 王永光. 超级集合思想在汛期降水预测集成中的应用[J]. 气象, 2005, 31(5):52-54.
- [4] 马清, 龚建东, 李莉, 等. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象, 2008, 34(3):42-48.
- [5] Hagedorn R, Doblas - Reyes F J, Palmer T N. The rationale behind the success of multi - model ensembles in seasonal forecasting - I. Basic concept[J]. Tellus, 2005, 57A:219-233.
- [6] 张喜林, 刘俊林, 杨松, 等. 巴彦淖尔市气象灾害防御规划[M]. 北京:科学普及出版社, 2012:12-13.
- [7] 王永清, 张喜林, 刘俊林, 等. 内蒙古巴彦淖尔市气象服务手册[M]. 北京:科学普及出版社, 2012:76.