

以数值产品为基础的省级分县 温度预报方法

苗爱梅 胡永祥 郭玉玺 梁明珠 闫美芳

(山西省气象台,太原 030006) (山西省气象局)

陆如华

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

将国家气象中心 T63、T106 和欧洲中心数值模式中温度预报场、湿度预报场、 u 、 v 分量预报场分别插值到 108 个测站上,以此作为预报因子,运用 PPM、MOS、KF (卡尔曼滤波法)等方法分别建立最低、最高气温预报方程,用以上预报方法所得的预报结果作为预报因子,进行二次滤波集成和全集成预报,并建立了“数值产品省级分县温度预报系统”。1997 年 6~11 月将该预报系统投入业务运行,取得了良好的预报效果。

关键词: 数值产品 二次滤波集成 全集成 分县温度预报

1 预报方法研究

1.1 完全预报法

1.1.1 资料的选取

选用 1995~1996 年全省 108 个站点的逐日最低、最高气温实况值和同年份相对应的 T63 格点资料、T106 格点资料、欧洲中心格点资料。

1.1.2 预报因子的选取和插值处理

1.1.2.1 预报因子

本方法选用 T63 格点资料中 850hPa 的温度、 v 分量分析场、1000hPa 的温度分析场、700hPa 的 $T - Td$ 分析场、欧洲中心格点资料的 850hPa 温度和 v 分量分析场作为预报因子。

1.1.2.2 预报因子的插值处理

山西共有 108 个气象观测站,建方程时各测站的温度预报因子取自与各测站 T_{\min} 、 T_{\max} 相对应的北京 T63、欧洲中心模式的分析场。实际运行时各测站的温度预报因子取自国家气象中心模式(T106)、欧洲中心模式的预报产品中与 24 小时预报时段(20~20 时)相对应的预报场。分别将不同预报因子的格点资料插值到各个站点上,其插值方法采取了四点平面距离权重法。

针对任一测站,取与其最近的 4 个网格点,该测站的插值结果由这 4 个格点的格点值和权重大小决定;而每个格点的权重系数大小同这 4 个格点与该测站的距离有关,距离越大,权重越小,反之亦然。其插值公式为

$$T(N, E) = \frac{1}{3L} \sum_{i=1}^4 (L - M(i)) T(i)$$

其中, $L = \sum_{i=1}^4 M(i)$

$$M^2(i) = X^2(i) + Y^2(i), \text{ 而}$$

$$X(i) = (E - E(i)) \times T \times \pi \times \cos N(i) / 180$$

和

$$Y(i) = (N - N(i)) \times T \times \pi / 180$$

式中, $T(N, E)$ 为某一测站的插值结果, N, E 分别为该测站的纬度和经度; $T(i), i = 1, 2, \dots, 4$ 为距离测站最近的 4 个格点的预报值, $N(i), E(i), i = 1, 2, \dots, 4$ 为对应的 4 个网格点的纬度和经度。

1.1.3 方程的建立

1.1.3.1 全部用 T63 格点资料建方程

将一年分为四个季节, 根据历史资料(最低、最高气温实况, 850hPa 温度、1000hPa 温度)计算相关系数。通过计算发现, 有 63% 的日期为正相关, 有 37% 的日期为负相关。根据这一事实, 分别建立两类方程。进一步考察得知: 正相关时天空状况为晴到少云, 且风力不大; 而反相关时, 多为阴雨天气或风力较大。因此, 用 850hPa 的 v 分量和 700hPa 的 $T - Td$ 这两个物理量进行判别。当某一测站上空, 850hPa 的 $|v| \geq 8m \cdot s^{-1}$ 或 700hPa 的 $T - Td \leq 4^{\circ}C$ 时, 选用第二类预报方程, 反之, 选择第一类预报方程进行计算。

第一类回归方程:

$$T_{\min}(i) = A_1 + B_1 \times T_{850}(i) + C_1 \times T_{1000}(i) + e_1$$

$$T_{\max}(i) = A_2 + B_2 \times T_{850}(i) + C_2 \times T_{1000}(i) + e_1 + e_2$$

第二类回归方程:

$$T_{\min}(i) = a_1 + b_1 \times T_{850}(i) + c_1 \times T_{1000}(i) + e_1$$

$$T_{\max}(i) = a_2 + b_2 \times T_{850}(i) + c_2 \times T_{1000}(i) + e_1 + e_2$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 108$$

用已建立的方程再去试报历史最低、最高气温。对比实况得到平均拟合误差 e_1 ; 对于最高气温由于起报日下午做预报时得不到, 用当天 14 时气温取代, 而后分季节求得订

正系数 e_2 。

1.1.3.2 两种模式混合使用建立方程

由于欧洲中心的数值模式没有湿度场输出, 而欧洲中心的温度场预报又好于国家气象中心的模式(T63), 因此, 用上述同样方法, 采用两种模式混合使用, 建立了另一套预报方程。

1.2 模式输出统计预报法

用欧洲中心格点资料中 850hPa 的温度和 v 分量预报场分别与各测站的 T_{\min}, T_{\max} 相对应分类、分季节建立回归方程。插值方法仍选用距离权重法。

1.3 卡尔曼滤波法

用 1997 年 7~8 月 T106 资料山西地面图上 59 个发报站的最低、最高气温值, 采用卡尔曼滤波法建立预报方程(非汛期时只用 15 个发报站的预报方程)。

1.3.1 资料选取与处理

选用国家气象中心模式(T106)逐日 24、48 小时预报产品中的 1000hPa 温度、850hPa 温度和 v 分量、700hPa 的 $T - Td$ 作为预报因子。预报因子的插值采用四点平面距离权重法。

1.3.2 确定起步参数和建立回归方程

首先确定 4 个递推起步参数 b_0, c_0, w, v (b_0 为起始时刻的回归系数, c_0 为 b_0 的误差方差阵, w 为随机扰动的方差, v 是量测噪声的方差), 并采用多元回归方程建立最低、最高气温预报方程。

1.3.3 预报结果输出处理

由于卡尔曼滤波法的中心思想是根据递推公式中预报值与实况值的误差来修正回归系数, 因此, 做预报时首先要取得起报日该测站的实况值。汛期时, 我们可以得到 59 个站的实况值, 而非汛期时, 我们只能得到 15 个发报站的实况值。要输出 108 站的预报值, 只能通过插值进行。为了减小不发报站的预报结果误差, 采用倒算求得平均误差。具体采取了用

T63格点资料的分析场建立方程并计算,求得不发报站的平均误差。

1.4 集成预报法

1.4.1 权重集成

此方法的要点是对各种预报方法根据其准确率的优劣不同配以不同的权重,组成简单的线性组合作为集成预报结果。用公式表示为:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^m W_i \times y_i$$

式中 m 为预报方法种类数,分别是 y_1, y_2, \dots, y_m ; W_i 为各相应预报方法的权重,并有:

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1$$

由于不发报站无法统计其准确率,因此,我们采用倒算的方式来统计各站的准确率,以此来确定权重系数。由此方法确定的权重系数大小反映的是一种平均状况,且一经确定在运行过程中就不能变化,除非重新计算各种预报方法的准确率,重新给定权重系数,但无论如何它不能发生动态变化。

1.4.2 滤波集成

将 T106 资料完全预报法、欧洲中心资料完全预报法、欧洲中心资料模式输出统计预报法、KF(卡尔曼滤波法)所计算出的四种预报结果作为四个预报因子建立多元回归方程,进行二次滤波集成。由于用此方法建立的回归方程的回归系数可以通过实况值与预报值的误差进行逐日修正,因此,二次滤波集成方程的回归系数可以发生动态变化,这是二次滤波集成与权重集成的根本区别。

1.4.3 全集成

在权重集成或滤波集成的基础上,选用实时资料库中山西省周围站点的实测值,按温度梯度和风切变判断起报日冷空气前锋;再选用 T106 模式和欧洲中心模式中 850hPa 的温度预报场和 u, v 分量预报场,确定预报日冷空气前锋,以此判断冷空气的入侵方向,

根据起报日 14 时的地面资料计算上游降温幅度,考虑冷空气移动过程中变性,确定未来 24 小时 850hPa 锋区后山西省站点的降温幅度和降温范围,并核实经过权重集成或滤波集成后 850hPa 锋区后站点的预报值。若某站预报值达到降温幅度,该站的预报值不做订正;若该站预报值误差较大,则做降温幅度订正。

全集成方法既包括了多元回归系数的动态变化,又抓住了气温的突变。只要所选的两种数值模式其中有一种模式冷空气活动的趋势预报正确,不论降温幅度预报是否准确,根据地面实况全集成方法都会做出较准确的预报,因此,使用全集成预报将使预报准确率有明显的提高,尤其是对突变性气温的预报。汛期时以滤波集成为基础进行全集成,非汛期时以权重集成为基础进行全集成。

2 数值产品省级分县温度预报综合释用系统

2.1 系统简介

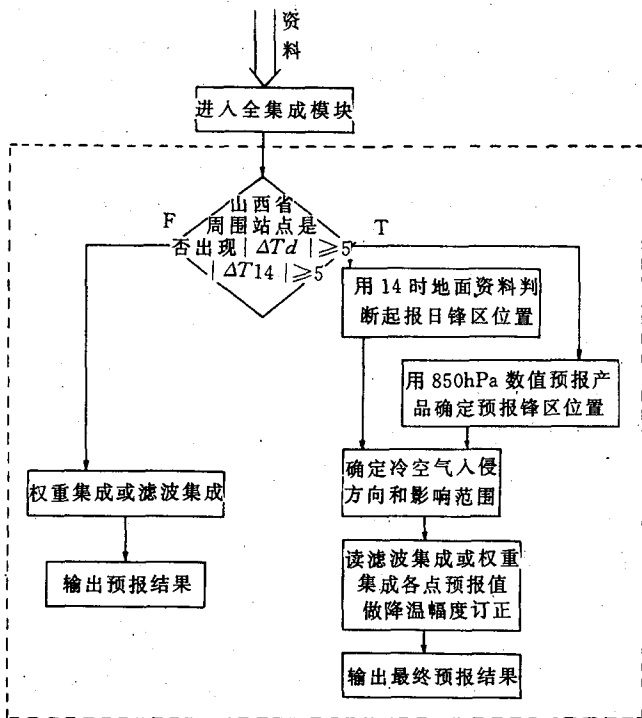
基于上述预报方法的研究,我们自行设计了“数值产品省级分县温度预报综合释用系统”。本系统主要有 7 个子系统和一个历史资料库构成,分别为:资料采集子系统、KF(卡尔曼滤波)子系统、MOS 预报子系统、PPM 预报子系统、集成预报子系统、图形显示子系统、系统咨询子系统。其中集成预报子系统是该综合释用系统的核心,下面介绍集成预报子系统(总体工作流程图略)。

2.2 集成预报子系统

集成预报子系统是省级分县温度预报综合释用系统的核心(集成预报子系统运行框图略)。它包括 3 个部分:① 权重集成预报部分。该集成方法使得在一般天气形势下系统有准确稳定的输出结果。② 二次滤波集成部分。该集成方法是将各种独立预报方法的预报结果作为预报因子进行二次滤波集成,使得回归系数发生动态变化,进而在提高预报准确率的同时也使预报结果的绝对误差减

小。此方法是该综合释用系统的特色和创新之处。③ 全集成预报部分。该预报方法是在二次滤波集成或权重集成的基础上,叠加了强冷空气降温幅度的订正。该方法不仅可以

使预报结果的绝对误差减小,最关键的是对强冷空气活动有较强的预报能力。这一部分是该综合释用系统的重中之重。附图即为全集成示意图。



附图 全集成示意图

2.3 系统的特点、特色与创新

2.3.1 系统在 Visual Basic 3.0 for Windows 环境下开发。界面友好、操作简单,业务人员或非计算机人员可迅速、快捷地得到预报结果。

2.3.2 软件设计采用多层模块化,系统中的每一功能都形成一个模块,便于整体改进和完善。

2.3.3 集成预报子系统是该综合释用系统的核心,其中二次滤波集成和全集成是该系统所具有的特色和所作的创新。

2.3.4 图形显示子系统为寒潮、冰冻、霜冻、干热风、夏季高温等灾害性天气的预报提供了可靠的依据和具体的落点落区。

2.3.5 系统咨询子系统的存在为该综合释用系统增设了预报服务的功能。

3 试报和业务运行

3.1 日常预报效果检验

利用上述预报系统,1997年6~10月,我们进行了逐日试报(表1)。1997年11月1日起,该系统所做的预报结果正式上网对下指导。

表1 1997年6~11月各种预报方法准确率

| | 6月 | | 7月 | | 8月 | | 9月 | | 10月 | | 11月 | | 平均 | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} |
| 欧洲资料 MOS | 63.5 | 60.1 | 66.1 | 61.7 | 70.1 | 64.0 | 69.6 | 62.6 | 67.4 | 65.6 | 68.3 | 67.6 | 67.5 | 63.6 |
| 欧洲资料 PPM | | | 62.5 | 59.8 | 69.6 | 61.7 | 67.1 | 61.3 | 66.7 | 67.1 | 67.1 | 63.4 | 66.6 | 62.7 |
| T106资料 PPM | | | 65.7 | 62.6 | 72.2 | 70.1 | 71.1 | 68.0 | 70.3 | 70.6 | 69.9 | 68.8 | 69.8 | 68.0 |
| 卡尔曼滤波 | | | 63.0 | 60.1 | 66.7 | 64.1 | 68.4 | 65.1 | 69.3 | 66.7 | 70.2 | 68.6 | 67.5 | 64.9 |
| 权重集成法 | | | | | | | | | 72.4 | 70.9 | 73.7 | 71.7 | 73.1 | 71.3 |
| 滤波集成法 | | | | | | | | | 73.7 | 71.7 | 74.3 | 72.3 | 74.0 | 71.7 |
| 全集成预报法 | | | | | | | | | 78.8 | 75.0 | 80.1 | 74.4 | 79.5 | 74.9 |

注:误差绝对值 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 为正确

表1中各种预报方法的月准确率是由每天的预报准确率累加,然后除以预报天数所得。每天的预报准确率由下式计算:

$$T_i = \frac{H}{F}$$

式中 T 为某一天的预报准确率; H 为误差绝对值 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的站数(即正确站数); F 为参加评分的总站数。6~9月各月参加评分的总站数为59站,10~11月各月参加评分的总站数15站(6~9月,省地面汛图上可得到逐日59个站的 T_{min} 、 T_{max} ,因此,参加评分站数可达到59站)。对于地面汛图以外的49个不发报站,因无法得到其实况值,故无法进行实时准确率计算,但可以通过倒算来订正不发报站的

误差,将温度预报做到108个站点。

由表1可看出,各种独立预报方法预报准确率稳定在60%~70%之间,其中集成预报方法预报准确率约在70%~80%之间。由此可见,集成预报准确率明显高于各种独立预报方法准确率,尤以二次滤波集成和全集成预报效果最好。

表2为1997年6~11月各预报方法绝对误差表,由其可知,各种独立预报方法的绝对误差明显高于滤波集成和全集成预报法,权重集成的绝对误差较大,且集成效果不太稳定,这主要是由于其集成方程的回归系统不能发生动态变化所至。

表2 1997年6~11月各种预报方法绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$

| | 6月 | | 7月 | | 8月 | | 9月 | | 10月 | | 11月 | | 平均 | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} | T_{min} | T_{max} |
| 欧洲资料 MOS | 1.14 | 1.64 | 1.18 | 1.17 | 1.01 | 1.23 | 1.06 | 1.47 | 1.71 | 1.56 | 1.27 | 1.90 | 1.22 | 1.46 |
| 欧洲资料 PPM | | | 1.71 | 1.83 | 1.64 | 1.91 | 1.26 | 1.51 | 1.49 | 1.67 | 1.19 | 1.89 | 1.44 | 1.76 |
| T106资料 PPM | | | 1.69 | 1.78 | 1.18 | 1.34 | 1.59 | 1.83 | 1.92 | 1.87 | 1.75 | 1.98 | 1.63 | 1.76 |
| 卡尔曼滤波 | | | 1.94 | 2.01 | 1.15 | 1.09 | 1.03 | 1.38 | 1.19 | 1.41 | 1.18 | 1.76 | 1.30 | 1.55 |
| 权重集成法 | | | | | | | | | 1.89 | 1.51 | 1.32 | 1.43 | 1.61 | 1.47 |
| 滤波集成法 | | | | | | | | | 1.09 | 1.37 | 1.01 | 1.39 | 1.05 | 1.38 |
| 全集成预报法 | | | | | | | | | 0.83 | 0.97 | 0.64 | 0.99 | 0.74 | 0.98 |

3.2 特殊天气条件下预报效果检验

考察逐日试报结果进一步得知,该系统不仅在一般形势下有稳定的预报结果输出,对于明显的冷暖平流也有较强的预报能力。考察15个全年发报站,8月全月系统较准确地

预报了本省中、南部的高温天气。对于温度突变在 5°C 以上的天气,统计其预报准确率达71.7%,尤其是10月25~27日,11月15~16日、11月30日~12月1日几次强冷空气,该系统预报服务效果极好(表略)。

Study of Temperature Forecasting method at the County level based on the NWP Product

Miao aimei Hu Yongxiang Guo Yuxi Liang Mingzhu Yan Meifang

(Shanxi meteorological Bureau, Taiyuan 030002)

Lu Ruhua

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The NWP fields of T, H, U, V, of NMC's T63, T106 and ECMWF's numerical model were separately interpolated into 108 meteorological stations. The interpolated results were used as predicting factors to establish predicting equations of max. and min. temperature by means of PPM, MOS and KF filter methods. With the above predicted results, the second filter consensus forecast and perfect consensus forecast were made, and the Temperature Forecasting System for Every County by the provincial meteorological observatory based on the NWP product was developed. The operational practice from June to November in 1997 proved that the system showed good predicting results.

Key Words: NWP product second filter consensus perfect consensus temperature forecast for every county

① 山东省气象局气象青年科研基金资助。