

# 温度客观预报自动化业务系统

朱正心

周述学

(江苏省气象局, 南京 210008) (安徽省芜湖市气象局, 241000)

## 提 要

介绍了一个以 T63 数值预报产品为因子, 用卡尔曼滤波方法作 48 小时最高、最低温度客观预报方法及其自动化业务系统, 能补充目前地市台温度预报主要依靠主观预报的不足, 对温度有一定的预报能力。

**关键词:** T63 产品 卡尔曼滤波 温度客观预报

## 引 言

做好温度预报是气象人员的日常工作之一; 鉴于该因子受诸多因素影响, 预报难度大, 目前基层台站主要依靠主观预报方法预报温度, 必然存在人为误差。本文介绍了一种以 T63 数值预报产品为因子、用卡尔曼滤波方法做温度客观预报的方法; 并设计了“温度客观预报自动化业务系统”。

## 1 技术方法

目前在局地天气预报中<sup>[1]</sup>, 数值预报产品的释用, 通常使用数值模式中输出的动力物理量作为预报因子, 收集若干时刻的样本, 用回归分析或判别分析等统计方法, 建立预报模型预报未来的某些要素。但是预报模型并不是一成不变的, 随着资料的增加模型也会随之变化; 另一方面, 由于数值模式的不断更新、改进, 也使得原先所建立的 MOS 预报模式发生变化, 这给预报带来了不必要的误差。我国现行数值预报模式(T63)使用时间不长, 由模式产生的输出物理量资料不多, 由此而建立的要素预报模型不太稳定。因此有必要建立一个随着资料的更新所引起的变化而变化参数的预报方程, 以减少释用时的预报误差。

卡尔曼滤波方法则可以建立可变的预报模型, 能十分方便地根据增加的资料修正原模式中的参数, 并已广泛应用于温度、湿度和风速等连续性要素预报中<sup>[2]</sup>。本文以芜湖市为例, 介绍用卡尔曼滤波方法做芜湖市一市三县 48 小时最高、最低温度预报。方法不受主观因素影响, 系统做到了完全客观化, 业务化程度高。

## 2 温度预报

### 2.1 卡尔曼滤波预报模型的建立

在 MOS 预报中, 多元线性回归方程为:

$$Y = X \times B + V \quad (1)$$

式中,  $Y(m \times 1)$  为要素向量,  $X(m \times n)$  为预报因子资料阵,  $B(n \times 1)$  为回归系数向量, 通常不随时间变化,  $V(m \times 1)$  为误差向量, 它遵从均值向量为零、协方差阵为  $R$  的正态分布, 并设它与回归系数向量变化无关。用  $t-1$  时刻的因子值代入方程, 即可求得下一时刻  $t$  的估计值。

然而卡尔曼滤波方法则采用迭代算法估计一个随机动力系统随时间变化的状态, 以减小状态误差, 并且不需全部的历史资料, 当得到新的观测值时, 就可逐步估计出系统的状态。

下面首先建立动态变化预报方程:

$$\bar{Y}(t) = X(t) \times \bar{B}(t) + V(t) \quad (2)$$

$\bar{B}(t)$  为卡尔曼滤波方程系数向量,它是随时间变化的未知系数阵。

$$X^T(t) = (X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots, X_n(t))$$

$$B^T(t) = (B(0), B(1), B(2), \dots, B(n))$$

$t=1, 2, 3, 4, \dots, m, T$  表示转置。

式(2)称为系统的量测方程,由于方程回归系数向量随样本状态的变化而变化,这种状态变化控制着预报量的变化,因此称描述回归系数向量  $\bar{B}(t)$  的方程为状态方程是:

$$\bar{B}(t) = \bar{B}(t-1) + W(t) \quad (3)$$

式(2)、(3)中  $V(t), W(t)$  分别为观测噪声和模型噪声,遵从均值向量为零,协方差阵为  $R$  和  $Q$  服从正态分布。设估计误差协方差为  $P$ ,用初值  $P(0), R(0), Q(0)$  以及  $B(0) = (0, 0, 0, \dots, 0)$ , 进入卡尔曼滤波递推系统计算出动态向量  $B(t)$ 。

$$G(t) = P(t)X^T[X(t)P(t)X^T(t) + R(t)]^{-1}$$

$$B(t) = B(t-1) + G(t)$$

$$[Y(t) - X(t) \times B(t-1)]$$

$$P(t+1) = [I - G(t)X(t)]P(t) + Q(t)$$

(4)

则  $(t+1)$  时刻的预报值为:

$$Y(t+1) = X(t+1) \times B(t) \quad (5)$$

## 2.2 温度预报方程

用前一天 20 时(北京时间)T63 数值产品 48 小时 850hPa 温度场(选取对应芜湖上空的 4 个格点值  $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) 作为预报因子,建立 5 参数温度预报方程:

$$T(t) = B_0(t) + \sum_{i=1}^4 B_i(t)X_i \quad (6)$$

用 4 个站点前一天实测温度作实况资料,采用上述模型分别预报本市及下属三县第二天最高、最低温度。

## 2.3 卡尔曼滤波过程初值

确定卡尔曼滤波过程初值是进行递推计算必须的前提,通常有使用人工经验方法和客观方法两种。有对比实验证明:递推系统无论从什么初值出发,经一定时间迭代后均趋于系统回归值;也就是说:随机变量  $V$  及随机向量  $W$  的方差和协方差的初值对回归系数修正并不敏感<sup>[1,3]</sup>。本文采用逐步统计回归分析方法,用 1995 年 6—8 月份资料计算出预报方程回归系数作为卡尔曼滤波过程的回归系数向量的初始值,即:

$$B(0) = [2.68, 0.57, 0.61, 0.38, 0.41];$$

同时根据经验方法估计:

$$R(0) = 5$$

$$Q(0) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$P(0/0) = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 \end{bmatrix}$$

从同一初值出发,经过 1996 年 6—8 月份计 75 次递推过程得到 4 个站点的最高、最低温度预报方程回归系数向量分别为:

	最高温度					最低温度				
	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
芜湖市	7.65	0.21	-0.47	-0.29	1.22	5.67	0.20	-0.42	-0.20	0.22
芜湖县	6.98	0.31	-0.39	-0.26	1.21	5.53	0.33	-0.40	-0.17	0.20
繁昌县	7.26	0.27	-0.41	-0.31	1.19	6.01	0.21	-0.36	-0.23	0.17
南陵县	7.74	0.29	-0.44	-0.28	1.27	5.44	0.34	-0.43	-0.19	0.26

### 3 效果检验

为检验预报准确率,本文将芜湖市本站7月份的系统温度预报情况与其它方法进行了比较分析(见图1、图2)。由图可以看出,系统预报温度和实况温度平均误差 $2.12^{\circ}\text{C}$ ,接近主观预报水平,因此认为,有条件的台站可以用客观预报方法代替主观方法作温度预报。

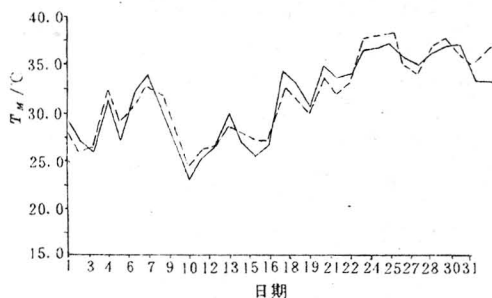


图1 7月份48小时最高温度预报  
实线:实况 虚线:T63 预报

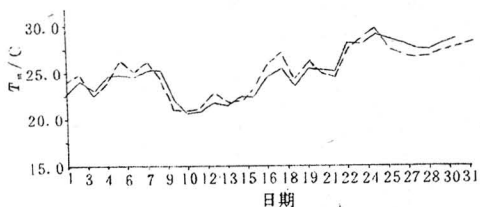


图2 7月份48小时最低温度预报  
实线:实况 虚线:T63 预报

### 4 预报系统介绍

#### 4.1 软件介绍

温度客观预报自动化业务系统用C语言和FORTRAN语言联合编制而成,在DOS5.0以上操作系统下调用UCDOS软环境,系统主框架用C编写,卡尔曼递推过程用FORTRAN编写。一般在下午15时启动系统,无需人工干预,系统即可自动输出预报

结论。

#### 4.2 预报业务流程

系统由资料采集、资料预处理、卡尔曼递推、预报集成和预报结论输出5个部分组成。为了实现温度预报客观、自动化,我们把以上5个部分联成一个整体,完全让计算机自行完成。系统预报业务流程如图3所示。

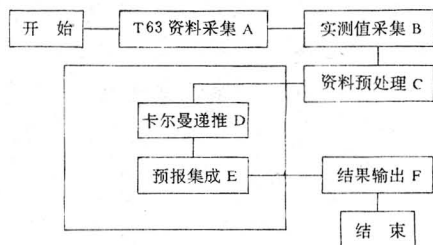


图3 系统预报流程

4.2.1 资料采集:通过X.25通信网从省台获取T63格点资料,并将现行的二进制数码转换为十进制数,建立预报因子文件;通过计算机网络获取本站和下属三县站02、14时地面报文中的前一天的最高、最低气温并进行保留,递推时自动向前推三天,建立实测资料文件。

4.2.2 资料预处理:从T63格点资料中读取规定范围850hPa温度资料重新写文件并进行保存。

4.2.3 卡尔曼递推:采用卡尔曼滤波方法,用新增加的资料修正原预报方程中的参数,从而得出新的预报方程。

4.2.4 预报集成:将预报因子分别代入对应的最新预报方程,作本次48小时最高、最低温度预报。

4.2.5 结果输出:系统屏幕或通过外设格式输出站点名称、日期、时效及最高最低温度,并进行自动保存。

### 5 结论与讨论

5.1 以 T63 产品为因子、用卡尔曼滤波方法作温度预报能做到客观化自动化。本文介绍业务化系统预报的最高最低温度和实况温度平均误差  $2.12^{\circ}\text{C}$ , 比用 T42 产品作预报精度提高  $0.35^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 系统具有运行速度快、操作简便、运行稳定等特点。只要输入本站相对经纬度及本站实测资料就能进行平稳移植,并能同时做多种类型温度预报,具有很好的开发应用价值。

5.3 方法没有考虑与温度密切有关的因子,如天空中的云、湿度、风等因子。今后将进一步优化和改进,以提高预报质量。

5.4 针对卡尔曼滤波方法原理要求预报对

象为连续性变量的特点,可探讨把降水划分等级后作预报,并对单站风速、气压、湿度、能见度等要素也可进行试报,从而可建立一个主要依靠 T63 产品作因子的多种气象要素客观预报自动工作站。

致谢:本方法研究过程中得到芜湖市局徐竞平高工和安徽省台王署东、沈伟等同志的热心帮助,在此表示感谢。

### 参考文献

- 1 黄嘉佑等. 卡尔曼滤波在天气预报中的应用. 气象, 1993, 19(4): 3—6.
- 2 陆如华. 卡尔曼递推滤波系统的气象应用技术. 数值预报产品评价公报, 1995, 11—12: 25—30.
- 3 朱正心等. 用 T42 产品为因子用卡尔曼滤波方法作温度预报. 气象科学, 15(1): 85—88.

## The Objective Method and Automatic Operational System of the Temperature Forecasting

Zhu Zhengxin

(Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008)

Zhou Shuxue

(Wuhu Meteorological Observatory, 241000)

### Abstract

A objective method and automatic operational system by using Kalman filter technique based on the factors of T63 output products for forecasting the 48hours' maximum and minimum temperature are given. The results show that the forecasting method can complement the defect that the temperature forecasting in prefecture observatory mainly depends on subjective method and has a certain ability to forecast the temperature.

**Key Words:** T63 products Kalman filter temperature objective forecasting automatic operational system