

文章编号: 1006-4354 (2007) 01-0015-03

# 卡尔曼滤波在咸阳极端温度预报中的应用

史创社

(咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000)

**摘 要:** 根据影响温度变化的因素选取初选因子, 用 2002 年 7—8 月 T213 资料与咸阳县各县实况气温求相关, 选取相关性好的作为入选因子, 建立各县 24 h 最高、最低温度的卡尔曼滤波模型。通过对 2002 年 7—8 月温度的回报和 2002 年 9 月温度的检验, 该预报方法能较好地反映咸阳县各县温度的变化趋势, 预报效果较好, 已投入业务运行。

**关键词:** 极端温度; T213 资料; 卡尔曼滤波

**中图分类号:** P457.3

**文献标识码:** A

用传统 MOS 方法作释用预报需要积累大量的数值产品历史资料样本 (至少 2 a), 而一般的数值预报模式在 2~3 a 内不断改变, 使 MOS 的预报能力受到限制, 而且 MOS 方程一旦建立, 制作预报过程中, 其预报误差不能及时反馈到 MOS

方程中, 更不能修正系数。卡尔曼滤波方法只需少量的数值产品历史资料, 就能建立适应数值模式变化的统计模型, 及时将预报误差反馈到方程中修正方程系数。本文用 2002 年 7、8 月 T213 资料与咸阳县各县实况温度资料建立咸阳县各县极端温

**收稿日期:** 2006-08-30

**作者简介:** 史创社 (1973-), 男, 陕西武功人, 工程师, 从事天气预报工作。

温度 32~36 °C, 这与此时正值小麦孕穗期地表植被覆盖较好有关; 除延安北部部分地区地表温度在 44 °C 以上外, 省内其余地方地表温度 40~44 °C; 与当日 11 时地面自动气象站观测地表温度相比, 除延安北部部分地区反演的地表温度明显高于自动站观测外, 其余地区地表温度分布与实际情况基本相符。

### 3 结论与讨论

分裂窗方法反演地表温度物理意义明确, 是目前反演地表温度精度较高的方法, 但由于其涉及到的地表比辐射率和卫星过境时的大气透过率较难获取, 需要一系列观测试验与模拟, 才能获得较好的反演结果, 该方法在陕西的应用还需要进一步研究。统计方法虽然不稳定, 但涉及参数较少, 在地表状况不太复杂时也能取得较好的监测效果。利用 EOS/MODIS 资料建立统计模型反演地表温度时, 分季节建立模型的反演精度高于全年使用一个模型的监测精度, 建立模型过程中,

除要用到反映陆地温度的 31、32 通道资料外, 夏季和冬季模型需要考虑水汽通道, 秋季模型需要考虑植被指数。用季节模型反演的 2005 年春季地表温度结果能反映出地表温度的分布, 并与实况较一致。

### 参考文献:

- [1] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 198-232.
- [2] 毛克彪, 覃志豪, 施建成, 等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30 (8): 703-707.
- [3] 毛克彪, 覃志豪, 王建明, 等. 针对数据的大气水汽含量反演及 31 和 32 波段透过率计算 [J]. 国土资源遥感, 2005, 17 (1): 26-29.
- [4] 秦晓敏, 覃志豪, 毛克彪. 基于 MODIS 数据的陕西省地表温度的空间分布研究 [J]. 干旱区地理, 2005, 28 (4): 1-6.

度预报的卡尔曼滤波模型。

## 1 根据影响温度变化的因素选取初选预报因子

某地温度的变化可用热流量方程表示为<sup>[1]</sup>：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -v \cdot \Delta T - w (\gamma_d - \gamma) + \frac{\gamma_d}{\rho_g} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + V \cdot \Delta p \right] + \frac{1}{c_p} \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

方程右端第三项很小忽略不计。由式(1)可知某地温度变化主要是与温度平流、垂直速度、非绝热变化有关。当气温分布不均匀时,空气中冷平流( $v \cdot \Delta T > 0$ )使局地气温下降,暖平流( $v \cdot \Delta T < 0$ )使局地气温上升。垂直运动对局地气温的影响,在稳定大气层结中,上升运动使局地气温下降,下沉运动使局地气温上升;在不稳定的大气层结中,上升运动使局地气温上升,下沉运动使气温下降。非绝热变化主要是用低层的湿度来描述低云和低层水汽状况。因此选取以上3个物理量作为温度预报因子具有明显的物理意义。

利用 T213 资料初选的最高温度预报因子：

$X_1$ —前一天 20 时 850 hPa 温度预报场 42 h 与 18 h 的温差；

$X_2$ —850 hPa 18 h、42 h 垂直速度预报场平均值；

$X_3$ —850 hPa 24 h、42 h 相对湿度预报场平均值；

$X_4$ —当天 14 时实时温度。

利用 T213 资料初选的最低温度预报因子：

$X_1'$ —850 hPa 24 h、00 h 的温差；

$X_2'$ —850 hPa 24 h、36 h 垂直速度预报场平均值；

$X_3'$ —850 hPa 24 h、36 h 相对湿度预报场平均值；

$X_4'$ —当天 02 时实时温度。

由于卡尔曼初始方程建立在少量历史资料基础上,为减少干扰,预报因子一般不超过 4 个。

## 2 相关计算选取入选预报因子

确定了初选因子后,用 2002 年 7—8 月 T213 资料与各县 2002 年 7—8 月温度实况求相关,初选因子保持不变,选取相关系数大的格点,3 个数值预报因子各选一个点,1 个实时温度因子作为必选,确定最终入选因子,它们与实况的相关系数一般都在 0.4 以上。其中 T213 资料选取了

25°~40°N, 95°~110°E 作为关键区,共 256 个格点进行相关计算。不同站点,因选取格点不同,所

以预报因子并不完全相同。

以作咸阳 24 h 最高温度为例如,选取 4 个因子：

$X_1$ —格点 (35°N, 102°E) 850 hPa 24 h 与 00 h 温差；

$X_2$ —格点 (34°N, 107°E) 850 hPa 18 h、42 h 垂直速度预报场平均值；

$X_3$ —格点 (32°N, 99°E) 850 hPa 24 h、42 h 相对湿度预报场平均值；

$X_4$ —各站当天 14 时实时温度。

## 3 卡尔曼滤波方法

实际运算中,卡尔曼滤波方程组为：

$$\hat{y}_t = X_t \beta_{t-1} \quad (3)$$

$$R_t = C_{t-1} + W \quad (4)$$

$$\sigma_t = X_t R_t X_t^T + V \quad (5)$$

$$A_t = R_t X_t^T \sigma_t^{-1} \quad (6)$$

$$C_t = R_t - A_t \sigma_t A_t^T \quad (7)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + A_t (Y_t - \hat{y}_t) \quad (8)$$

各符号物理意义见参考文献 [2]。在实际应用中,只要建立一个初始预报方程  $Y_0 = \beta_0 X$ , 确定递推初始值  $\beta_0$ 、 $C_0$ 、 $W$  和  $V$ , 就可以进行预报计算了。

### 3.1 $\beta_0$ 确定

由第 2 节中选取的最高温度的 4 个因子和 7 月实况温度资料使用回归方法,得到 24 h 最高温度预报回归方程的系数为  $\beta_0 = (0.077, 0.023, -0.009, 0.409)^T$ , 即初始预报方程的系数。同理,8 月回归方程的系数  $\beta_1 = (-0.359, 0.106, -0.005, 0.631)^T$ 。

### 3.2 $C_0$ 的确定

$C_0$  是  $\beta_0$  的误差方差阵,由于  $\beta_0$  是从样本资料精确计算得到的,认为它与理论值相等,所以  $C_0$  为 4 阶零方阵,即  $C_0 = [0]_{4 \times 4}$ 。

### 3.3 $W$ 的确定

$W$  矩阵的非对角线元素均为零,主对角线上的值是:  $\Delta \beta_i / \Delta t$ ,  $i=1, 2, 3, 4$ 。其中  $\Delta \beta_1$ 、 $\Delta \beta_2$ 、 $\Delta \beta_3$ 、 $\Delta \beta_4$  分别为上述  $\beta_0$  与  $\beta_1$  之差对应的 4 个分量。 $\beta_0$  和  $\beta_1$  由 3.1 求出。 $\Delta t=31$ , 是由 8 月样本与 7 月样本时间差为 31 d 而得到。最后计算得到

矩阵  $W$  对角线上的元素值为  $(-0.016, 0.003, 0, 0.008)$ 。

### 3.4 $V$ 的确定

由于预报对象只有一个 (24 h 最高气温), 所以  $V$  为  $1 \times 1$  矩阵, 数值为  $V = q / (k - m - 1) = 6.413$ 。

## 4 极端温度预报方法的建立

用昨天 20 时的 T213 物理量预报场, 计算出 3 个数值预报因子, 加上当天 14 时的实况温度, 得到 4 个预报因子, 代入 (3) 式计算出当天最高气温的预报值  $\hat{y}_t$ , 获取当天各站的最大温度  $Y_t$ , 把预报误差  $Y_t - \hat{y}_t$  代入 (8) 式, 及时修正各站原来预报方程系数  $\hat{\beta}_0$  (计算中  $\hat{\beta}_0$  需保存), 即确定出当天的预报系数向量  $\hat{\beta}$ 。再代入 (3) 式计算出 24 h 后的最高温度。

## 5 业务运行

计算程序用 VB6.0 完成, 预报业务流程分 4 步。

(1) 从前一天 20 时的 T213 中计算 3 个数值预报因子的数值 ( $X_1, X_2, X_3$ ); 获取当天观测值 14 时实况温度 ( $X_4$ )。

(2) 收集当天最高温度  $Y_t$ , 用 (3) 式计算出当天的预报误差  $Y_t - \hat{y}_t$ 。

(3) 将当天的预报误差通过 KLM 滤波 (3) — (8) 式进行迭代, 可及时修正预报方程原来的系数  $\hat{\beta}_0$ , 得到新的方程系数  $\hat{\beta}$ , 再代入 (3) 式计算出 24 h 的最高温度。

(4) 输出 24 h 最高温度, 如此循环反复。

通过对各县 2002 年 7—8 月温度预报的回代和 2002 年 9 月温度预报检验, 各县 24 h 极端温度预报值与实况误差在  $2^\circ\text{C}$  内的预报准确率普遍在 45% 以上, 也有个别站较低。图 1、图 2 是咸阳市区 24 h 最高温度预报和实况对比图。可以看出: 该方法能较好地反映咸阳市各县 (区) 实况温度的变化趋势, 且稳定性较好。咸阳市区 24 h 最高和最低温度预报的平均绝对误差分别为  $1.5^\circ\text{C}$  和  $2.2^\circ\text{C}$ 。

## 6 讨论

预报值和实况变化趋势一致, 但预报值总比实况值滞后, 滞后时间 24 h, 这似乎成为惯性预

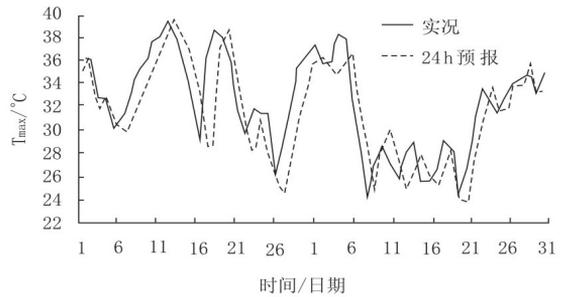


图 1 2002 年 7—8 月咸阳逐日最高气温实况及预报结果

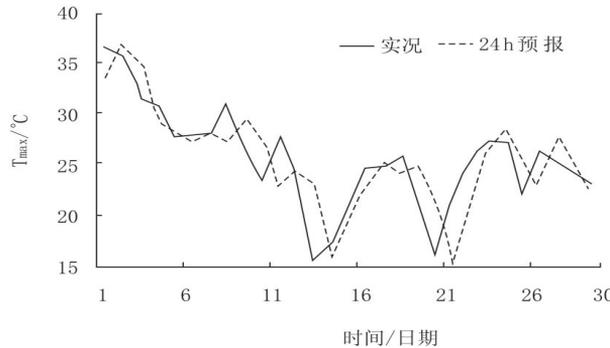


图 2 2002 年 9 月咸阳逐日最高气温实况及预报结果

报。当气温突变时, 递推预报值明显滞后实测值。如果能够结合本地预报经验进行订正, 在气象场突变时配合使用, 气温预报的精度将会提高。例如: 地面图上平凉偏北风速达到  $12 \text{ m/s}$ , 则未来 24 h 咸阳将受空气影响气温下降; 地面图上本地周边地区有暖低压存在, 并且附近有成片负 24 h 变高, 则暖低压可能发展影响本地气温升高。考虑这 2 个因子, 气温预报结果与实况滞后的偏差将会有效减少。另外, 本方法从热流量方程出发确定初选因子, 普查面小, 而气温变化与诸多因素有关, 如果能建立各县气温预报候选因子库, 从中选取预报因子, 效果会更好。

### 参考文献:

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 李绍文. 天气学原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1981: 192-194.
- [2] 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材 [M]. 北京: 气象出版社, 1998: 86-92.