

合肥市空气质量预报方法

朱红芳 王东勇

(安徽省气象中心,合肥 230061)

提 要

通过对空气污染预报方法的研究,采用 MOS 预报方法、卡尔曼滤波方法分别建立适合于合肥市空气污染特点的预报模式,为开展空气污染预报提供了必要的技术基础。

关键词: 污染预报 MOS 预报 卡尔曼滤波

1 预报方法的确定及资料的处理

目前的空气质量预报方法主要分为统计预报和数值预报两大类。统计预报是根据近年来的气象与污染物浓度资料,通过普查找出与污染物相关较强的气象因子,再将这些因子与相对应的污染物实测数据建立定量关系,从而制作空气污染物浓度预报。数值预报方法目前尚处于科学研究阶段。结合合肥市的具体情况,采用统计预报方法比较合理和现实,因此目前我们确定采用多元回归方法和卡尔曼滤波法来制作预报^[1,2]。

MOS 预报方法是将数值预报的输出结果和观测到的局地天气要素之间建立统计关系,再用当时的数值预报结果代入统计关系得到要素预报。它需要积累较长时间的数值预报产品历史资料才能建立预报方程,方程一旦建立,在制作预报过程中,其预报误差不能反馈到方程中来。此外数值预报模式改变后,预报方程也要随之改变。

卡尔曼滤波方法是一种统计估算方法,用该方法建立的统计模型能适应数值模式的变化。它只需少量的数值产品历史资料即可建立预报方程,在现有情况下我们仅有 2 年完整的空气污染物浓度观测值及数值预报产品资料,采用这种方法比较可行。卡尔曼滤波方法通过修改递推系统的重要参数,即每

加进一次新的量测(Y_i, X_i),则可利用前一时刻预报误差反馈到原来的预报方程,并及时修正预报方程系数,以提高下一时刻的预报精度。

建立空气质量预报方法所需的资料主要是气象资料和环境质量监测数据。具体而言,近两年的气象资料包括温、压、湿、风、降水量、大气稳定度等。本文使用的是 2000 年的各类资料:(1)地面资料:总云量、低云量、地面的相对湿度、地面温度、地面风速(以上各因子均取平均值),20~20 时降水量、日照时数、最高温度、最低温度;(2)高空资料:由于合肥无探空站,用每天 08 时对应合肥单点的 T106 网格资料代替,即 1000hPa、925hPa、850hPa 的风速、温度,再由温度计算出每两层的温度之差,这可大体反映空气的稳定状况。以上两类资料合计有 15 个预报因子。

污染物监测数据资料:近两年即 1999~2000 年的 SO₂、氮化物、悬浮颗粒监测数据。目前合肥市有 4 个探测点,51 号探测点位于东市城建局,52 号位于市工商局,53 号位于西园新村,30 号位于董铺水库。由于 1999 年和 2000 年要求监测的污染物不完全相同,本文仅使用了 2000 年的合肥市 4 个探测点的 SO₂、NO₂、PM₁₀ 的日均浓度值。

2 预报方法的建立

结合 T106 数值预报产品分别用多元回归法和卡尔曼滤波法作定量的空气污染浓度预报。

2.1 多元回归法

回归方程 $y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_m x_{mi} + l_i$, 其中 y_i 是 n 维预报量, x_{mi} 是 m 个 n 维预报因子, b_i 是回归系数, l_i 是残差。

令 \hat{y}_i 为 y_i 的估计值, 使 $\sum_{i=1}^n l_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 达到最小, 则可求 b_0, b_i , 此即为回归系数的最小二乘法估计。在文中使用了 15 个预报因子, 经程序筛选后选出 3~4 个因子。如 51 号探测点 SO_2 的预报方程为:

$$Y_{SO_2} = 0.02672 - 0.00024F_d - 0.00016R + 0.00027\Delta T_{850-1000} - 0.00003T$$

上式中 F_d 为地面平均风速, R 为地面平均相对湿度, $\Delta T_{850-1000}$ 为 850 与 1000hPa 温度差, T 为地面平均温度。

2.2 卡尔曼滤波法

量测方程 $y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_m x_{mi} + l_i$, l_i 为量测噪声。在卡尔曼滤波系统中, 将 b_0, b_i 作为状态向量, 它是变化的, 从 $t-1$ 时刻变化到 t 时刻的过程中有 $b_t = b_{t-1} + l_{t-1}$, 该式表明状态向量从 b_{t-1} 变化到 b_t 受到动态噪声 l_{t-1} 影响。动态噪声 l_{t-1} 与量测噪声 l_i 都是随机向量, 并假定它们是互不相关的、均值为 0、方差分别为 W, V 的白噪声, 应用广义最小二乘法, 可以得到下面一组公式:

$$\hat{Y}_t = X_t \hat{b}_{t-1} \quad (1)$$

$$R_t = C_{t-1} + W \quad (2)$$

$$\sigma_t = X_t R_t X_t^T + V \quad (3)$$

$$A_t = R_t X_t^T \sigma_t^{-1} \quad (4)$$

$$\hat{b}_t = \hat{b}_{t-1} + A_t (Y_t - \hat{Y}_t) \quad (5)$$

$$C_t = R_t - A_t \sigma_t A_t^T \quad (6)$$

式(1)至式(6)组成了递推系统。

其中式(1)是预报方程, \hat{Y}_t 为预报值, X_t 为预报因子, \hat{b}_{t-1} 为回归系数估算值。

式(2)中 R_t 为外推值 \hat{b}_{t-1} 的误差方差阵, C_{t-1} 为滤波值 \hat{b}_{t-1} 的误差方差阵, W 是动态噪声的方差阵。

式(3)中 σ_t 是预报误差方差阵, X_t^T 为预报因子 X_t 的转置矩阵, V 是量测噪声的方差阵。

式(4)中 A_t 是增益矩阵, σ_t^{-1} 是 σ_t 的逆矩阵。

式(5)为系数 \hat{b}_t 的订正方程, Y_t 是预报值的实测值。

由多元回归法确定回归系数初值, 随后, 在用于预报时, 每增加进一次新的量测 (Y_t, X_t) 就应用上述递推系统推算一次方程系数的最佳估值, 及时修正预报方程来提高预报精度。

3 预报结果对比分析

在建立了以上两种预报模式后, 我们制作了一个比较完善的合肥市污染预报操作系统。该系统自 4 月份开始投入使用, 文中取 5 月 1 日~7 月 31 日共 78 天的预报与实况进行比较。51 号探测点位于东市城建局, 是合肥市工业区比较集中的地方, 污染比较严重, 具有代表性, 所以以它为代表, 其比较结果分别见图 1、图 2 和图 3, 误差分析见表 1, 3 种污染物的两种预报方法的预报值与实况值的相关系数见表 2。

由图 1、图 2、图 3 和表 1、表 2 可见, 总体上卡尔曼滤波法要优于多元回归方法。分析表 1, 可知: (1) 3 项污染物浓度的平均误差均是卡尔曼滤波法小于多元回归法, 说明卡尔曼滤波法的预报值更接近实况值, 其预报较为可信。(2) 分析表 2, 可知 3 项污染物浓度的预报值与实况值的相关系数均是卡尔曼

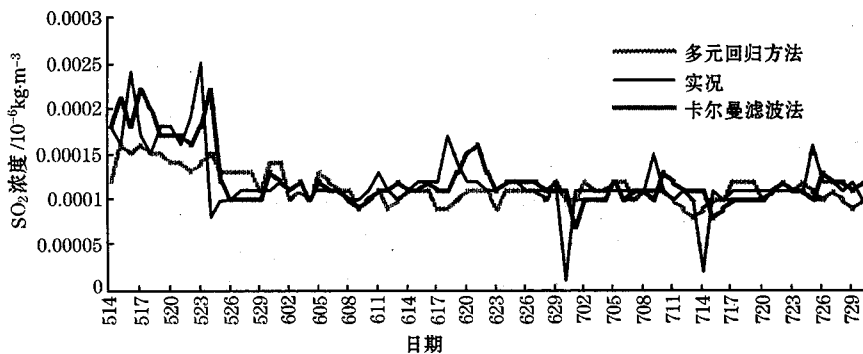


图1 SO₂的两种预报方法与实况的比较曲线

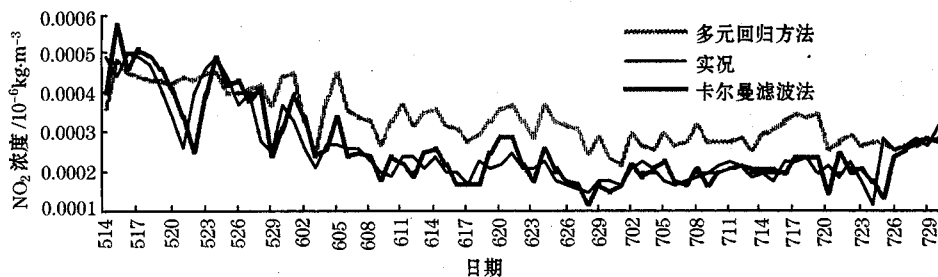


图2 NO₂的两种预报方法与实况的比较曲线

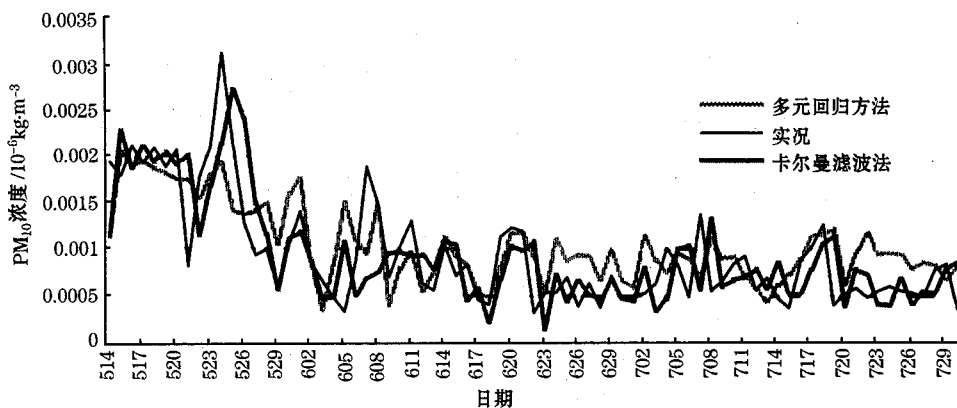


图3 PM₁₀的两种预报方法与实况的比较曲线

表1 两种预报方法与实况的平均误差(预报值与实况值之差)(单位:10⁻⁶kg/m³)

	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
多元回归方法	-6.2×10 ⁻⁴	7.5×10 ⁻³	1.0×10 ⁻²
卡尔曼滤波法	1.9×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁴	-6.6×10 ⁻⁴

表2 两种预报方法预报值与实况值的相关系数

	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
多元回归方法	0.490	0.749	0.702
卡尔曼滤波法	0.539	0.871	0.708

滤波法大于多元回归法,说明卡尔曼滤波法计算所得的预报值与实况值的关系更好,可信度更高。由于SO₂的浓度值较小,多在0.011附近,因而两种预报方法的相关系数都略偏低,但SO₂不是合肥市的主要污染物,关系不大。(3)分析图1~3可知,多元回归法的预报值曲线比较平滑,它反映的是污染物浓度的一种平均状况,而卡尔曼滤波法的预报值曲线变化幅度比较大,能在一定程

度上反映出污染物浓度的日峰值。(4)在一段时间内,若污染物浓度的变化幅度相对比较小,则卡尔曼滤波法的预报值与实况值非常接近,且优于多元回归法。

4 结论

污染物浓度变化受季节变化以及污染源的源高、源强、地理分布等因素的影响,而多元回归方法的不足之处就在于它假设预报区域内的污染源排放是平稳的,浓度与污染源不发生直接联系;相对来说,卡尔曼滤波法通过每天调整预报方程系数,能适应季节的变化以及污染源的源高、源强、地理分布的变

化,再结合上文的数据分析,我们可得到以下的结论:

(1)通过比较这两种预报方法,可知卡尔曼滤波法要优于多元回归方法。

(2)卡尔曼滤波法能预报出污染物浓度的峰值,但有一定的滞后性。

参考文献

- 1 施能.气象科学与预报中的多元分析方法.北京:气象出版社,1995.4.
- 2 陆如华等.卡尔曼滤波的初值计算方法及其应用.应用气象学报,1997,8(1).

Methods of Forecasting Air Quality at Hefei City

Zhu Hongfang Wang Dongyong

(Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230061)

Abstract

By using the methods of MOS and Kalman filter, two forecasting models for Hefei's air pollution are established. The models provide the necessary supporting technology to make the forecast of air pollution at Hefei City.

Key Words: air pollution forecast MOS Kalman filter