

# 北京城区空气污染浓度长期预测

魏生生 林学范

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

通过分析北京城区4种主要空气污染物( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO、TSP)浓度的月、季变化特征,建立起均生函数预测模型。拟合及预报试验表明,这些预测模型不但可以很好地拟合空气污染浓度的变化趋势,而且还能够对未来几个月的空气污染浓度做出较准确的预测。

**关键词:**空气污染 污染物浓度 预测

## 引 言

随着工业的发展,大气环境质量越来越成为世人关注的问题。对空气污染的治理,根本途径在于城市工业化的合理布局,改变能源结构、燃烧方式,采取减少污染物排放等工程技术措施和加强立法及严格执法等。

同时,由于污染物质在大气中的输送扩散受气象条件的影响和支配,因此,可以充分利用气象条件进行合理排放。空气污染预报,就是执行合理排放的重要手段之一。当预报某时段、某区域有严重污染或污染物质将严重超标时,有关部门可根据预测,采取必要措

施,控制与减少污染物的排放,避免或减少危险污染事件的发生。

空气污染预报在我国一些城市正在起步,北京市气象局专业气象台从1998年1月正式发布北京地区未来36小时空气污染潜势预报及未来一周的空气污染潜势预报展望。所谓潜势预报,就是指可能出现的严重污染的天气尺度气象条件。当前的空气污染预报具有两个特征,一是空气污染预报依赖于天气预报,是以天气预报为基础,二是预报时效较短,一般为1~3天,最多5~7天。

空气污染浓度的长期预测,除用于污染

合理排放之外,也应用于我们环境影响评价中某些项目大气环境背景值的预测及空气污染浓度估算。同时,也可避免采样时间短,特殊天气,局地小气候等影响而使数据缺少代表性的问题。

### 1 资料选取

本文所用资料为北京市环保监测中心地面自动监测系统2号子站1994年1月~1997年6月的监测资料。该监测站气态污染

物的监测由微机控制,自动采样、监测、打印监测结果。颗粒物的监测为手工置膜、称重。24小时连续采样,每月中旬采样10天。

2号子站位于车公庄西大街、北京市环保局院内,是西城区和海淀区连接的甘家口地区。以机关、住宅为主,人口密度居中,分散供暖。监测站北侧15m为交通干线(车公庄大街)。

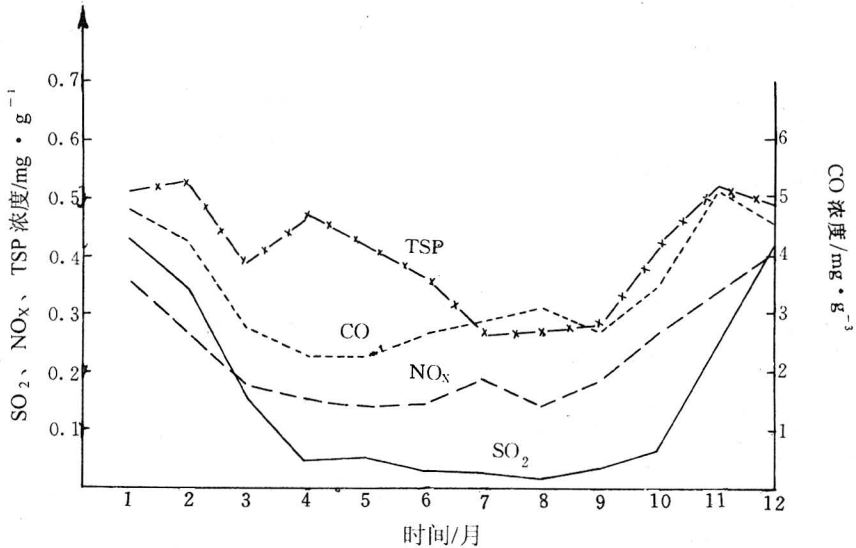


图1 2号站各月平均空气污染浓度分布

### 2 空气污染物浓度的月、季变化

图1给出的是北京2号监测子站空气污染物1994年1月~1996年12月各月平均浓度分布。

由图1可以看出:

① SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、TSP 4种大气污染物浓度,在采暖季(11~3月)和非采暖季(4~10月)有明显差异,采暖季是各种污染物高浓度时段。在非采暖季各污染浓度相对较轻。

② 污染浓度最大峰值多集中在11~2月。SO<sub>2</sub>浓度最大峰值为1月;NO<sub>x</sub>峰值在12月;CO峰值在11月;TSP峰值在2月。

③ 浓度谷值多集中在4~9月份。NO<sub>x</sub>、

CO浓度谷值为4、5月份,而SO<sub>2</sub>和TSP为7、8月份。

④ 各污染浓度急剧变化期为冷暖转换的3、4与9、10月份。

冬季空气污染严重,一方面是由于采暖季污染源增多,大气污染物排放量加大,另一方面,采暖季北京地区多被弱高压或静止反气旋控制,以晴到少云天气为主,往往出现逆温层且有下沉运动,其输送扩散能力较差。夏季能源消耗量小,污染源较弱,且低层大气多不稳定,扰动强烈,对流旺盛,有利于污染物质的扩散,因此北京夏季大气污染较冬季轻。

### 3 空气污染浓度长期预报试验

### 3.1 预报模型

用均生函数预测模型做长期天气预报和气候预测已在国内广泛使用<sup>[1,2]</sup>,并收到了很好的效果<sup>[3]</sup>。现在我们把它引用到空气污染浓度的长期预报上来。

设时间序列

$$x(t) = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$$

均生函数为

$$\bar{x}_l(i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=0}^{n_l-1} x(i+jl) \quad \begin{matrix} i = 1 \dots l \\ 1 \leq l \leq M \end{matrix} \quad (1)$$

其中  $n_l$  为满足  $n_l \leq [\frac{N}{l}]$  的最大整数,  $M = [\frac{N}{2}]$  为不超过  $\frac{N}{2}$  的最大整数。对  $\bar{x}_l(i)$  作周期性延拓

$$f_l(t) = \bar{x}_l[t - l \text{INT}(\frac{t-1}{l})] \quad (2)$$

建立原序列  $x(t)$  与  $f_l(t)$  间的回归方程

$$x(t) = a_0 + \sum_{i=1}^q a_i f_i(t) \quad q < M$$

式中  $a_0$  为回归常数,  $q$  为回归阶数,  $a_i$  为回归系数;通过双评分准则<sup>[4]</sup> 筛选  $f_i(t)$ , 为达到最优,运用最佳子集回归技术。

在天气和气候预测中,常用的是月(季)的逐年序列(YY 序列),实际上切断了气象要素的自然变化,可能会影响预报效果。在做空气污染浓度预报时,我们改用自然月-年序列(MY 序列),这样既弥补了资料年代短缺的不足,又延续了污染物质浓度的自然变化。

本预报以北京 2 号子站 1994 年 1 月~1996 年 12 月逐月  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO、TSP 平均浓度值为样本,样本容量  $N = 36$ ,  $M = 36/2 = 18$ ,作 6 步外推,得到 1997 年 1 月~6 月的逐月预报。

具体预报步骤是:先将数据作标准差标准化,随后用式(1)对原序列  $x(t)$ 、一阶差分序列  $x^{(1)}(t)$ 、二阶差分序列  $x^{(2)}(t)$  计算均生函数;再用式(2)作延拓,得序列  $f_l(t)$ ,

$f_l^{(1)}(t), f_l^{(2)}(t)$ ;用  $f_l^{(3)}(t) = x_{(1)} + \sum_{i=1}^{l-1} f_l^{(1)}(i+1), t = 2, \dots, N; l = 1, 2, \dots, M$ ,求得累加延拓序列  $f_l^{(3)}(t)$ 。这样总共得到  $4M = 72$  个序列,即备选因子,用双评分标准(CSC)对因子进行粗选,对粗选出的因子计算所有可能的子集回归,就可得到各污染物质浓度的预报方程。

### 3.2 模型拟合情况

#### 3.2.1 $\text{SO}_2$ 浓度的预报方程为:

$$x(t) = -0.05 + 1.002f_8^{(0)}(t)$$

式中  $f_8^{(0)}$  表示原序列 8 个月周期长度的均生函数。方程的拟合均方根误差 RMSE 为 0.03,拟合序列与实况序列之间的相关系数  $R$  为 0.978,达到  $\alpha = 0.001$  显著性水平。拟合与实测曲线见图 2。

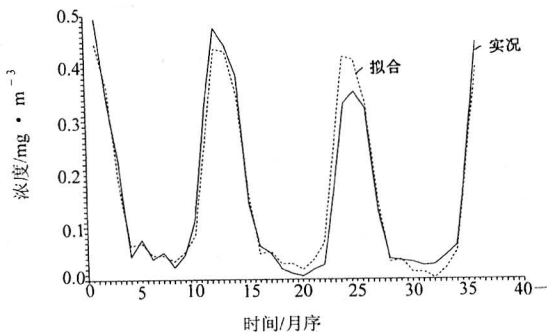


图 2  $\text{SO}_2$  拟合与实况曲线

#### 3.2.2 $\text{NO}_x$ 浓度的预报方程为:

$$x(t) = -0.197 + 1.159f_8^{(0)}(t) - 0.35f_9^{(0)}(t) + 0.265f_{12}^{(0)}(t) - 0.131f_{11}^{(1)}(t) + 0.693f_{12}^{(3)}(t)$$

式中  $f_{11}^{(1)}$  表示一阶差分序列周期长度为 11 个月的均生函数,  $f_{12}^{(3)}$  表示累加序列周期长度为 12 个月的均生函数。方程的拟合均方根误差 RMSE 为 0.03,相关系数  $R$  为 0.951;达到  $\alpha = 0.001$  显著性水平。拟合与实况曲线见图 3。

#### 3.2.3 CO 浓度的预报方程为:

$$x(t) = -1.038 + 0.730f_6^{(0)}(t) + 0.592f_{11}^{(1)}(t) - 0.347f_6^{(3)}(t) - 0.116f_{12}^{(3)}(t)$$

方程的拟合均方根误差 RMSE 为 0.55; 相关系数  $R$  为 0.881, 达到  $\alpha=0.001$  显著水平。拟合与实况曲线见图 4。

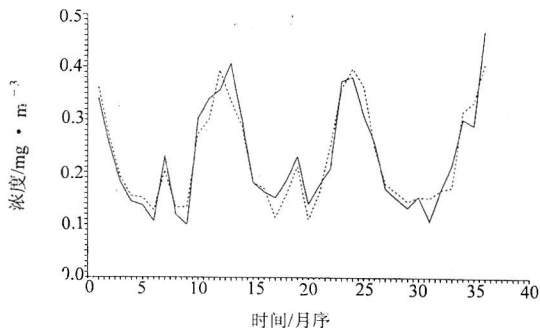


图 3 NO<sub>x</sub> 拟合(虚线)与实况(实线)曲线

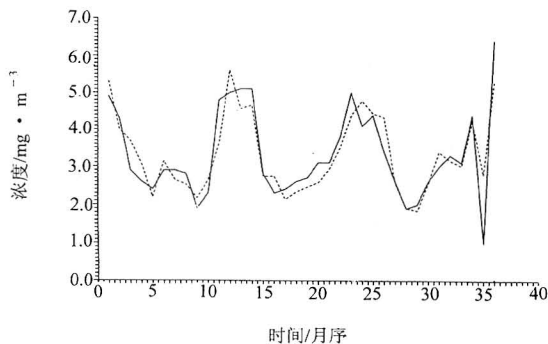


图 4 CO 拟合(虚线)与实况(实线)曲线

### 3.2.4 TSP 的预报方程为:

$$x(t) = -0.060 + 0.457f_{10}^{(0)}(t) + 0.652f_{11}^{(0)}(t)$$

方程的拟合均方根误差 RMSE 为 0.06, 相关系数  $R$  为 0.890; 相关系数也达到 0.001 显著性水平。拟合与实测曲线见图 5。

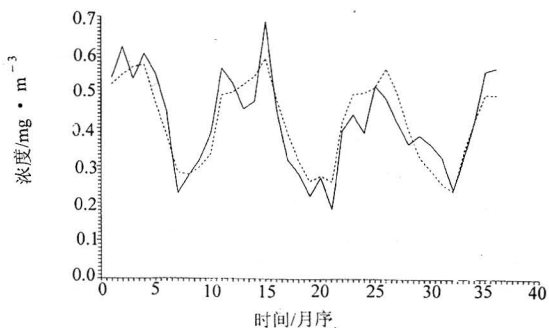


图 5 TSP 拟合(虚线)与实况(实线)曲线

从空气污染物浓度监测值与拟合值序列曲线(图 2~图 5)可见, 均生函数模型可以将空气污染物浓度很好地拟合出来。特别是对极值有十分准确的拟合。

### 3.3 预报试验

用建立的 4 个预报方程对 1997 年 1~6 月逐月 4 种大气污染物浓度进行独立样本的预报试验。预报值与实况值对照如附表。

附表 大气污染物浓度预报值与实况值对照(单位:  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

月份	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		CO		TSP	
	预报	实况	预报	实况	预报	实况	预报	实况
1	0.397+	0.566+	0.355+	0.368+	4.9+	6.1+	0.537+	0.558+
2	0.315+	0.381+	0.248+	0.234+	3.4+	4.3+	0.471+	0.412-
3	0.136-	0.218+	0.159-	0.205-	2.3-	4.1+	0.417+	0.538+
4	0.016-	0.060-	0.159-	0.163-	2.0-	2.4-	0.332-	0.541+
5	0.021-	0.040-	0.170-	0.145-	3.0-	2.5-	0.299-	0.355-
6	0.003-	0.038-	0.126-	0.146-	3.3-	2.9-	0.287-	0.353-
平均绝对误差	0.069		0.020		0.87		0.177	
符号拟合率	5/6		6/6		5/6		3/6	

从附表可看出预报方程对4种大气污染物浓度的预报趋势与实测变化趋势十分吻合,特别是对峰值、谷值均可较准确地预报出来。其中对 $\text{NO}_x$ 的预报与实况最贴近,6个月的平均绝对误差仅为0.02,低于拟合与实况的均方根误差。另外,1997年4月份CO出现6个月以来的最低值,预报亦为最低值,1月出现最大值,预报也是在1月份为最大值。预报与实况距平符号吻合率为79%(19/24),其中 $\text{NO}_x$ 为6/6。总之预报结果令人满意。对于空气污染浓度的预报具有参考价值。

#### 4 场模型

如果要作较大范围的空气污染浓度预报,可以借助于均生函数的场模型。若干监测站组成一个场,某一空气污染物浓度的数据序列采用逐月-年或逐日逐时连续资料构成。先用经验正交函数对标准化的污染场进行展开,生成前几个特征向量的主分量序列的均生函数及其外延序列,分别建立各主分量序列的预测模型,用主分量预报值与特征向量相乘,即可得到某一区域若干监测站空气污染物之浓度的预报。

#### 5 小结

① 北京甘家口地区空气污染浓度具有明显的月、季变化特征,采暖季各污染物浓度明显高于非采暖季。

② 均生函数预测模型对空气污染浓度有很好的拟合和预报效果。

③ 作较大范围的空气污染长期预报,可以借助场模型。

④ 本预测模型没有涉及污染源的变化影响(如新增污染项目,燃煤改为燃天然气等),因此,本模型仅适合于污染源相对稳定的情况。

#### 参考文献

- 1 魏凤英,曹鸿兴. 长期预测的数学模型及其应用. 北京:气象出版社,1990:9~90.
- 2 曹鸿兴,魏凤英. 多步预测的降水时序模型. 应用气象学报,1993;4(2).
- 3 魏生生,曹鸿兴,魏凤英. 均生函数预测模型检验. 气象,1997,23(5)
- 4 曹鸿兴. 统计模型的双评分准则及其在气象水文预报中的应用. 数理统计与应用概率. 1989,(1).

## The Long-term Forecast of the Air Pollution Density in Beijing City

Wei Shensheng Lin Xuefan

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

#### Abstract

A model of mean generating function prediction has been set up by analyzing characteristics of the monthly and seasonally change in the densities of four main pollution agents ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , CO, TSP) in Beijing city. The model fitting and forecast show that the model not only can fit the changing tendency of air pollution, but also can forecast air pollution density quite accurately.

**Key Words:** air pollution pollution density forecast