

长春市空气污染潜势预报的统计模型研究^①

刘 实 王 宁 朱其文 王新国 胡中明 陈长胜

(吉林省气象台, 长春 130062)

提 要

通过分析 TSP 污染指数与气象条件的关系, 特别是一些非线性关系, 建立了长春市空气污染潜势预报统计模型, 借助 T106 及日本数值预报产品进行试报, 效果较为理想。

关键词: 空气污染潜势预报 统计模型 非线性 总悬浮颗粒物

引 言

污染与气象条件的关系作为空气污染研究中的重要一环, 受到广泛重视并有一些成果不断问世^[1-3]。分析这些成果可知, 各地的空气污染与气象条件的关系有相近的一面; 但由于环境、气象、气候条件各异, 季节特点不同, 首要污染物种类的差别, 因此两者间的关系也必然存在地域差异。为此, 我们对重点工业城市长春的污染潜势预报方法进行了研究, 以期对煤烟型污染的气象条件预报进行探索。

1 资料来源与方法

1.1 资料来源及处理方法

本文所用污染资料来源于吉林省环境监测中心站, 选取长春市内 4 个站点常年首要污染物 TSP(总悬浮颗粒物)浓度的日均值作平均, 代表市区的日平均 TSP 浓度, 按空气污染指数(API)的计算方法将其转化成指数。气象资料来源于吉林省气象台, 包括高空及地面的各种逐日数据。两类资料的年代均为 1991~1996 年, 选取的具体日期以有 TSP 观测值的日期为准。

1.2 季节的划分

为使建立的统计模型更能反映出客观情况, 这里考虑分季进行研究。依据采暖期及地表覆盖状况、各月 TSP 浓度平均值的差异及气候状况特点等, 确定按前春(3、4 月)、春

末夏初(5、6 月)、盛夏(7、8 月)、秋季(9、10 月)、初冬(11、12 月)和隆冬(1、2 月)等六个季节分别研究。

2 各季 TSP 污染指数与气象条件关系的分析

2.1 前春 TSP 污染指数与气象条件的关系

考虑当降水达一定的数值 R_c 后, 足以通过其冲刷作用使 TSP 指数恒定于一个近乎不再降低的水平上。这里构造了一个降水指数 R_{qc} , 通过对 R_c 的连续取值与 TSP 指数计算相关确定, 当 $R_c = 1.4\text{mm}$ 时, 相关系数为 -0.30 ($n=40$), 其绝对值达最大, 接近 0.05 显著性水平。 R_{qc} 可表达为:

$$R_{qc} = \begin{cases} r & (r < 1.4\text{mm}) \\ 1.4 & (r \geq 1.4\text{mm}) \end{cases}$$

地面风速与 TSP 指数的关系应从两个方面去理解: 风速较小时, 污染物不易扩散, 因而浓度较大; 而当风速足够大时, 对于东北地区地表裸露的初春来说, 大风可将地表的干土吹卷到空中, 造成 TSP 增多。因此, 这里构造了能反映这两方面特点的地面风指数 FS_{qc} :

$$FS_{qc} = |f_{14} - f_c|$$

f_{14} 为当日 14 时的地面风速, f_c 为 TSP 指数达最小时的风速临界值。分析发现, 当 $f_c = 4.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, FS_{qc} 与 TSP 指数的相关达最

^① 本文得到吉林省气象局“长春市空气污染气象条件预报方法的研究”课题的资助。

大,为0.50($n=40$),达0.001的显著性水平。

同理构造了850hPa风指数 $F8_{QC}$:

$$F8_{QC} = |f_{850} - 8.8|$$

f_{850} 为08时850hPa的风速, $F8_{QC}$ 与TSP指数的相关系数也达0.001的显著性水平,为0.59($n=40$)。

初春出现逆温时,通常是925hPa的气温有明显升高的迹象。因此,可否以925hPa的气温变化来反映逆温乃至TSP指数的变化趋势呢?分析发现,08时925hPa气温与TSP指数的相关系数为0.30($n=40$),接近0.05的显著性水平。即近地层气温高时,污染加重,反之减轻。

大气湍流的变化对污染物的扩散应有重要的影响,通过比较理查逊数等几种稳定度指数与TSP指数的相关程度,选取关系最好的稳定度比值 $SR^{[4]}$ 作为TSP指数的影响因子:

$$SR = \frac{t(Z_3) - t(Z_1)}{u^2(Z_2)}$$

t 为气温, Z_1 为地面高度, Z_3 为925hPa高度, Z_2 为中间层高度。 SR 的物理意义为: $SR < 0$ 时,湍流发展,大气处于不稳定状态; $SR = 0$ 时,湍流稳定,大气处于中性状态; $SR > 0$ 时,湍流被抑制,大气处于稳定状态。考虑到排除分母为0的情况,及中间层平均风速 $u(Z_2)$ 只能以850hPa风速和地面风速近似代替,这里令 $u(Z_2) = (3 * f_{14} + f_{850})/4 + 1$ 。分析可知, SR 与TSP指数的相关系数为0.24($n=40$),接近0.1的显著性水平。表明湍流被抑制时,污染较重,反之较轻。

2.2 春末夏初TSP污染指数与气象条件的关系

分析表明,TSP指数与降水的有无关系密切,有降水时,污染较轻,反之较重。两者的相关系数为-0.35($n=40$),达0.05显著性水平。

TSP指数与地面风速的相关以倒数形式表示更显著,取 $FS_{CM} = 1/(f_{14} + 1)$,两者的相关系数可达-0.29($n=40$),接近0.05的显著性水平。说明地表已有覆盖的5、6月

份,风速对污染物的扩散作用更占优势。

分析TSP指数与08时地面至925hPa有无逆温的相关可知,其相关系数达0.49($n=40$),接近0.001的显著性水平。可见有逆温时,污染明显加大,反之较小。

850hPa的 $t - t_d$ 是反映大气湿度状况的指标,这里构造一个湿度指数 T_{8d} :

$$T_{8d} = 1/(t_{850} - t_{d850} + 0.1)$$

08时该指数与TSP指数的相关系数为-0.27($n=40$),达0.1的显著性水平。说明当大气中湿度较大时,往往易成云致雨,TSP浓度较小,反之较大。

TSP指数与湍流指数 SR 的相关系数为0.36($n=40$),显著性水平达0.05。这也体现了湍流抑制对污染加剧的影响。

2.3 盛夏TSP污染指数与气象条件的关系

考虑到当日的降水达到一定量后其冲刷作用几乎不再进一步加强,以及前日的降水低于一定量时,对来日污染指数的前期积累影响不大,这里构造了两个降水指数 R_{SX} 和 R_{SX-1} :

$$\text{当日降水指数 } R_{SX} = \begin{cases} 15 & (r \geq 15\text{mm}) \\ r & (r < 15\text{mm}) \end{cases}$$

$$\text{前一日降水指数 } R_{SX-1} = \begin{cases} r & (r \geq 13.2\text{mm}) \\ 0 & (r < 13.2\text{mm}) \end{cases}$$

两者与TSP指数的相关系数分别为-0.40和-0.24($n=40$),显著性水平接近0.01和0.1。

2.4 秋季TSP污染指数与气象条件的关系

秋季TSP指数也与当日及前一日的降水有一定的关系:

$$\text{当日降水指数 } R_{QI} = \begin{cases} 1 & (\text{有降水}) \\ 0 & (\text{无降水}) \end{cases}$$

$$\text{前一日降水指数 } R_{QI-1} = \begin{cases} 1 & (\text{有降水}) \\ 0 & (\text{无降水}) \end{cases}$$

TSP指数与前者的相关系数为-0.49($n=42$),达0.001显著性水平,与后者的相关系数接近0.1的显著性水平。

TSP指数与08时850hPa风速的相关系数为-0.25($n=42$),接近0.1显著性水平。说明低空风速对污染的扩散作用占主导地位,因地表尚未裸露。

2.5 初冬 TSP 污染指数与气象条件的关系

这里构造了 08 时 850hPa 的风速指数 $F8_{CD}$:

$$F8_{CD} = 1/(f_{850} + 1)$$

它与 TSP 指数的相关系数为 -0.27 ($n=47$), 显著性水平接近 0.05。说明 850hPa 风速较大时, 导致地面风力加强, 已无覆盖的地表尘土被卷起, 污染加剧。

冬季的采暖是长春市的又一与环保关系密切的问题。这里构造了 925hPa 温度指数 T_{925} 来反映采暖对污染的影响:

$$T_{925} = \begin{cases} 1 & (t > -10^{\circ}\text{C}) \\ 0 & (-17^{\circ}\text{C} < t \leq -10^{\circ}\text{C}) \\ -1 & (-21^{\circ}\text{C} \leq t \leq -17^{\circ}\text{C}) \\ -2 & (-21^{\circ}\text{C} > t) \end{cases}$$

t 为 08 时 925hPa 的气温。这一指数表明, 当气温高于某一指标时, 燃煤量减少, 污染减轻, 反之加重。该指数与 TSP 指数的相关系数为 -0.32 ($n=47$), 显著性水平达 0.05。

2.6 隆冬 TSP 污染指数与气象条件的关系

TSP 指数与 14 时地面风速的相关系数为 -0.28 ($n=45$), 接近 0.05 显著性水平。可见在地表多雪被覆盖或土壤已封冻的隆冬, 地面风速的加大更主要的是对污染物的扩散作用。

选用 08 时 850hPa 与地面的温差来反映逆温状况, 它与 TSP 指数的相关系数为 0.28 ($n=45$), 说明了逆温对污染物扩散的抑制作用。

08 时 850hPa 的气温与 TSP 指数的相关系数为 0.35 ($n=45$), 显著性水平达 0.05。这也主要体现了上层空气升温对地面污染扩散的抑制作用。

此外, 08 时 700hPa 温度露点差指数 T_{7d} 与 TSP 指数的相关系数为 -0.28 ($n=45$)。这里 T_{7d} 表达为:

$$T_{7d} = \begin{cases} 1 & (t - t_d)_{700} \leq 5^{\circ}\text{C} \\ 0 & (t - t_d)_{700} > 5^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

说明当 $t - t_d \leq 5^{\circ}\text{C}$ 即湿度较大时, 因降水导致污染减轻, 反之加重。

3 长春市空气污染潜势预报统计模型的建立

3.1 统计模型

采用多元回归分析方法, 利用前面筛选出的各个因子, 我们分别建立了各季的 TSP 指数的统计预报模型。

前春:

$$y_1 = -62.02x_1 + 11.11x_2 + 10.72x_3 + 4.12x_4 + 218.42x_5 + 150.04$$

其中, x_1 : R_{QC} 指数, x_2 : FS_{QC} 指数, x_3 : $F8_{QC}$ 指数, x_4 : 925hPa 气温, x_5 : SR 指数。

春末夏初:

$$y_2 = -17.12x_1 - 73.34x_2 + 68.30x_3 - 1.75x_4 + 43.58x_5 + 146.77$$

其中, x_1 : 降水指数, x_2 : FS_{CM} 指数, x_3 : 逆温指数, x_4 : 湿度指数 T_{8d} , x_5 : SR 指数。

盛夏:

$$y_3 = -2.11x_1 - 0.48x_2 + 117.82$$

其中, x_1 : R_{SX} 指数, x_2 : R_{SX-1} 指数。

秋季:

$$y_4 = -29.52x_1 - 14.13x_2 - 0.63x_3 + 150.11$$

其中, x_1 : R_{QI} 指数, x_2 : R_{QI-1} 指数, x_3 : 850hPa 风速。

初冬:

$$y_5 = -116.93x_1 - 28.00x_2 + 175.18$$

其中, x_1 : $F8_{CD}$ 指数, x_2 : T_{925} 指数。

隆冬:

$$y_6 = -7.17x_1 + 1.28x_2 + 2.99x_3 - 28.64x_4 + 271.71$$

其中, x_1 : 地面风速, x_2 : 逆温指数, x_3 : 850hPa 气温, x_4 : T_{7d} 指数。

上述各季的统计模型回归效果总的来看较好, 详见表 1。

3.2 统计模型的拟合效果

按中国气象局的空气污染气象条件的五级划分及我国空气质量的五级划分标准, 将统计模型的拟合值与污染指数实况分别换算成等级值进行比较。按 TS 评分标准分析可知(见表 2), 六个模型的拟合效果普遍较好, 拟合率多在 85% 以上, 最差的盛夏季节为 75%, 平均达 89.28%。各季模型的逐日拟合情况见图 1。因 TSP 的浓度资料为隔日采

集,且每月观测日数一般不超过10天,所以在图中不便标出观测日期,仅按观测日期的先后顺序以“时间序号”表示观测日期。总的来看,六个模型的逐日拟合效果较为理想,基本反映了TSP浓度的变化趋势。但受统计方法所限,对峰谷值的拟合误差相对较大。另外,盛夏预报模型因入选因子较少,对高浓度值的拟合效果不够理想,这有赖于今后积累更多的资料做进一步的研究。

表1 长春市TSP污染潜势预报统计模型的回归效果

季节	样本数	复相关系数	F 检验的显著性水平
前春	40	0.70	0.01
春末夏初	40	0.65	0.01
盛夏	40	0.44	0.05
秋季	42	0.55	0.01
初冬	47	0.40	0.05
隆冬	45	0.51	0.05

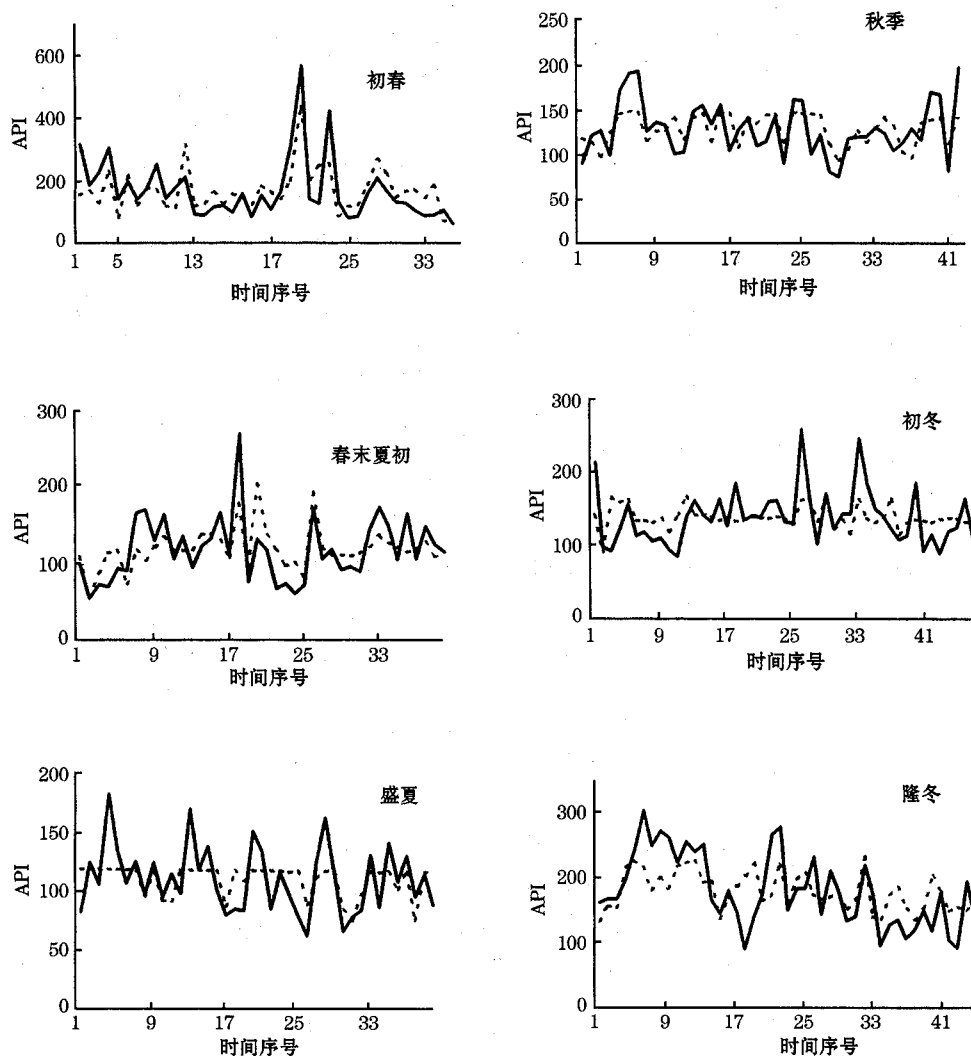


图1 冬季统计模型的拟合情况
实线:实测线 虚线:拟合值

3.3 统计模型的试报效果

该套模型借助 T106 及日本数值预报产品于 2000 年 8 月下旬开始进行试报。试报效果的检验应考虑近年来长春市空气质量有稳定、明显改善的客观事实(见表 3),因此应用近期(1999 年 7 月~2000 年 6 月)的 API 平均值对利用 1991~1996 年资料建立的统计模型进行订正。这里在原模型中加入订正常量 ΔI , 以便于模型在目前空气质量水平下试报效果的检验。

表 2 长春市各季空气污染潜势预报统计模型的拟合效果

季节	TS 评分/%
初春	85.00
春末夏初	100.00
盛夏	75.00
秋季	97.62
初冬	93.62
隆冬	84.44

表 3 1991~1996 年及目前各季 API 的平均值及 ΔI

季节	建模年代 API 平均值	近期 API 平均值	ΔI
初春	175.9	102.1	-73.8
春末夏初	120.3	84.3	-36.0
盛夏	111.2	63.0	-48.2
秋季	130.7	67.7	-63.0
初冬	140.0	100.9	-39.1
隆冬	183.2	117.1	-66.1

2000 年 8 月下旬~12 月下旬的试报情况见图 2。总的来看效果较理想。用前述标准对有观测记录的 45 天的试报效果评定,级别试报的 TS 评分为 71.11%。分析可知,个别误差较大的情况主要与 2000 年冬季的异常低温及部分数值预报产品预报误差较大有关。可通过积累足够的异常低温时的样本对

模型加以改进,并做好数值预报产品的释用工作加以克服。

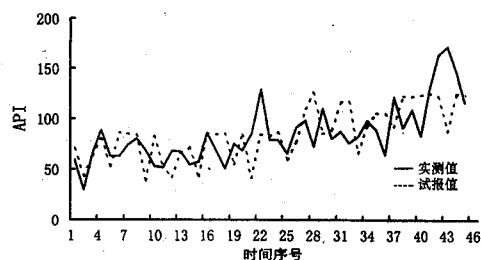


图 2 统计模型试报值与 API 实况值的对比

4 小 结

通过深入地分析 TSP 污染指数与各种气象条件的关系,特别是一些非线性关系,发现长春市空气污染气象条件有与其它地域一致的特点,同时又有其地方特色。即使是在长春市本地,同一因子不同季节对 TSP 指数也有不同方式的影响,如降水、逆温、特别是地面或低空风速等。在这些分析的基础上,建立了效果较好的长春市空气污染潜势预报统计模型,同时开发了自动化预报软件。经与长春市空气质量日报对比,目前对空气污染气象条件等级的试报效果较为理想,但仍须更长时间的检验。

参考文献

- 1 王润鹿等. 实用污染气象学. 北京:气象出版社,1981.
- 2 李宗恺等. 空气污染气象学原理及应用. 北京:气象出版社,1985.
- 3 徐家骝. 空气污染若干问题的研究. 北京:中国环境科学出版社,1994.
- 4 朱瑞兆. 应用气候手册. 北京:气象出版社,1991:167~169.

Statistical Models for Air Pollution Potential Forecasting in Changchun City

Liu Shi Wang Ning Zhu Qiwen Wang Xinguo Hu Zhongming Chen Changsheng
(Jilin Meteorological Observatory, Changchun 130062)

Abstract

By analyzing the relationship between the air pollution index of TSP and meteorological condition over Changchun city, including nonlinear correlation, the statistical models for air pollution potential forecasting were developed. These models were used based on some numerical weather prediction products such as T106 etc., and the forecasting effect was satisfactory.

Key Words: air pollution potential forecasting statistical model nonlinearity TSP