

厦门市2001- 2002年PM10浓度时间序列变化分析

程承旗<sup>1</sup>,何华伟<sup>1</sup>,马廷<sup>2</sup>,高亮<sup>1</sup>,吴宁<sup>1</sup>

(1. 北京大学遥感所,北京 100871; 2. 中国科学院地理所,北京 100101)

摘要: 在厦门市环境大气污染物中,PM10是其首要的大气污染物。厦门市大气中的日PM10浓度受天气和气候以及土地利用类型、地表植被覆盖度等诸多因素的共同影响而呈现出一定的周期性,应用时间序列方法对厦门市2001~2002年的PM10浓度进行周期性和趋势性的分析,揭示了厦门市大气环境中PM10浓度随时间变化的周期性规律。同时讨论了部分气候因素对PM10浓度年内变化的影响。  
关键词: PM10; 时间序列分析; 周期性; 风向  
中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)06-0011-03

Analysis of PM10 Concentration  
Using Time Series Method in Xiamen City

CHENG Cheng-qi<sup>1</sup>, HE Hua-wei<sup>1</sup>, MA Ting<sup>2</sup>, GAO Liang<sup>1</sup>, WU Ning<sup>1</sup>

(1. Institute of Remote Sensing, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Geographical Sciences, C.A.S., Beijing 100101, China)

**Abstract:** PM10 is the premier pollutant of atmosphere pollution in Xiamen City. Daily PM10 concentration turns out certain periodic property as well as tendency affected by various factors including climate, temperature, land usage type and vegetation coverage comprehensively. Corresponding periodic property and tendency of PM10 concentration from 2001 to 2002 in Xiamen City is revealed and analyzed through applying time series analysis method. At the same time, PM10 concentration variation in one year is discussed.

**Key words:** PM10; time series analysis; periodic property; tendency

1 简介

大气中来自天然海盐、土壤颗粒、车辆、建筑扬尘以及燃烧的烟灰的悬浮颗粒物是由有机质和无机质构成的复杂混合物,其中直径小于10 $\mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物能够随着呼吸进入体内,又称为可吸入颗粒物(PM10)<sup>[1]</sup>。目前,PM10是我国大气污染中一类重要的污染物,它能够对人类健康产生极大的危害,据医学研究,此类颗粒物可以进入呼吸道损害呼吸功能,引起炎症、哮喘等呼吸系统疾病,同时也可以使心脏病的患病率与死亡率危险增加,并具有潜在的致癌性<sup>[2]</sup>。

影响大气PM10浓度的气候因素有很多种,如土地利用类型、地表植被的覆盖度,以及天气和气候因素等<sup>[3]</sup>。其中天气与气候因素包括气温、气压、湿度和风向等。某些研究表明,大气中PM10的浓度随着天气与气候因素以及人为因素的变化呈现明显的时空变化规律<sup>[4]</sup>。本文利用时间序列分析的理论与方法对2001到2002年间厦门市大气中PM10浓度变化的趋势和周期性进行分析与讨论。

2 数据获取及预处理

本文的PM10浓度数据是连续监测厦门市4个站点从

2001年1月1日到2002年12月31日的PM10浓度得到的逐日监测值(各个站点均缺少2001年3月9日至12日以及2002年1月1日5天的数据,71号站点还缺少3月21日的数据)。其中每个记录数据为当日0时0分至23时59分24h连续监测的平均值。4个站点的数据基本统计结果如表1所示。对4个站点的时间序列分析得到了相似的结果,本文选取其中的72号点的数据样本进行分析。在进一步的分析之前,对该点的连续观测数据采用Walsh方法进行异常值检验<sup>[5]</sup>,用相邻项的平均值修正异常值。然后将所有数据中心化,即各项均减去序列的平均值得到PM10浓度的零均值时间序列。

预处理之后的PM10浓度时间序列经过平稳性检验被确定为非平稳的,即2001~2002年725d PM10浓度时间序列存在周期性或者趋势性。

3 分析方法

时间序列分析是一种动态数据参数化分析方法。它对各类型数据用相应的数学模式去近似描述,通过对于相应模式的研究分析,可以更本质地了解数据地内在结构和复杂特征,进一步达到由表及里、控制规律和预测未来地目的<sup>[6]</sup>。对

\* 收稿日期: 2004-11-29  
基金项目: 国家863重点支持项目(2001AA783060)资助  
作者简介: 程承旗(1962-),男,吉林人,北京大学遥感与地理信息系统应用研究所教授,理学博士,研究方向为GIS工程与环境遥感,已发表论文30余篇。

厦门市 2001 ~ 2002 年两年的 PM10 浓度的时间序列分析是通过相应的数学模式近似描述它的周期特性和趋势性。

表 1 厦门市 4 个站点 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度数据的基本统计结果

监测点	样本数	最大值/ ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$ )	最小值/ ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$ )	平均值/ ( $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$ )	标准差
11	725	0.162	0.01	0.0623	0.031
71	724	0.178	0.006	0.057	0.030
72	725	0.178	0.012	0.061	0.030
73	725	0.22	0.011	0.074	0.037

3.1 PM10 浓度时间序列的谱分析

在频域分析中,功率谱是揭示时间序列周期特性的有效工具之一。假定将厦门市 2001 ~ 2002 年两年 725 d 的 PM10 浓度按时间序列  $x_t$  展开为 Fourier 级数,则可表示为

$$y_t = \sum_{i=1}^k (\alpha_i \cos 2\pi f_i t + b_i \sin 2\pi f_i t) + \epsilon_t \tag{1}$$

式中: $f_i$ ——频率,与探索的 PM10 浓度随时间的变化周期互为倒数,基波的频率为  $1/N$  ( $1/725$ ),其余谐波的频率为基波的 2, 3, 4, ... 倍。 $t$ ——时间序号,  $k$ ——周期分量的个数即主周期(基波)及其谐波的个数,  $\epsilon_t$ ——标准误差(白噪声序列)。当频率  $f_i$  给定时,式(1)可以视为多元线性回归模型,可以证明,待定系数  $a_i$ 、 $b_i$  的最小二乘估计为

$$\hat{\alpha}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \cos^2 2\pi f_i t \tag{2}$$

$$\hat{b}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \sin^2 2\pi f_i t \tag{3}$$

这里  $N$  为观测值的个数 725。时间序列的谱强度函数为

$$I(f_i) = \frac{N}{2} (a_i^2 + b_i^2), i = 1, 2, \dots, k$$

式中: $I(f_i)$  为频率  $f_i$  处的强度。 $I(f_i)$  的极大值或者突变点对应的  $f_i$  的倒数被确定为 PM10 浓度时间序列的周期。

3.2 移动平均法用于 PM10 浓度时间序列的趋势分析

移动平均就是以一连串部分重迭的序列平均值组成新序列的方法。由它可以作出一条平滑的趋势曲线。设 PM10 浓度时间序列为  $y_1, y_2, \dots, y_N$ , 一般地说,序列地  $m$  项移动平均为

$$\bar{y}_t = \frac{1}{m} [y_{t-(m-1)/2} + y_{t-(m-3)/2} + \dots + y_t + \dots + y_{t+(m-3)/2} + y_{t+(m-1)/2}] \tag{4}$$

$\bar{y}_t$ ——该平均值对应于  $t$  时刻。当  $t$  依次取  $(m+1)/2, (m-1)/2, \dots, N-(m-1)/2$  时,就得到整个序列地  $m$  项移动平均值。 $t$  时刻的平均值就是该时刻的趋势值  $H^t$  [6]。在对 PM10 浓度时间序列进行移动平均处理之后,可以用多项式等函数来拟合 PM10 浓度的趋势曲线。

$$H_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \dots + \alpha_p t^p \quad p < N \tag{5}$$

此方程所代表的曲线就是  $H_t$  关于  $t$  的曲线回归线,即趋势线。若全部系数即  $\alpha_i$  都不显著则可认为时间序列中无趋势。

如果在对 PM10 浓度时间序列进行移动平均之前根据谱分析的周期分析结果先进行一下周期差分,消除相邻周期间 PM10 浓度值隐含的周期性趋势会更有利于总体的趋势性分析。

4 结果与分析

4.1 厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度周期性分析

厦门市 2001 ~ 2002 年两年 725 d PM10 浓度时间序列谱分析的结果如图 1 所示,以频率  $f_i$  为横坐标,该频率对应的

强度  $I(f_i)$  为纵坐标。在频率为 0.333 793 处,即周期近似为 3 d 时,频率谱强度出现了极大值也是最大值点对应着频率谱的最高值 2 587 804 892。说明厦门市 2001 ~ 2002 年两年 725 d PM10 浓度时间序列最显著的周期为 3 d。

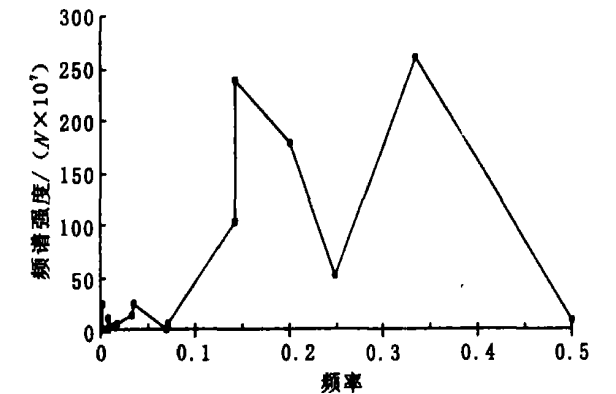


图 1 厦门市 2001 ~ 2002 年大气中 PM10 浓度的谱强度分布

降水是影响大气环境中 PM10 浓度的重要气象气候要素之一。PM10 颗粒物作为降水形成的凝结核条件在降水过程中随雨、雪等一同脱离大气系统降落到地面,会在一定程度上降低空气中的 PM10 浓度。PM10 作为大气颗粒污染物中的飘尘在一般条件下长期停留在大气环境中难以降落,而降水过程中对大气的净化作用是降水在降低 PM10 浓度方面更重要的作用。厦门市属亚热带海洋性气候,年平均降水日数( $>0.1 \text{ mm}$ )为 123.1 d [7],从长期的时间尺度基本上 3 d 形成一次降水过程,故厦门市 PM10 浓度时间序列表现出以 3 d 为周期的显著的周期变化。在频率为 0.143 448 和 0.034 482 处,对应周期为 7 d 和 29 d 时,频率谱强度还有另两个极大值点。通过显著性检验证明厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度还存在 7 d 和 29 d 的周期。

4.2 厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度趋势性分析

在对厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度时间序列进行移动平均处理获得趋势曲线之前,由于已经确定其时间序列最显著的周期为 3 d,可以通过周期差分消除由于隐含周期造成的小的波动。然后进行 3 d 的移动平均,最后用多项式对其趋势曲线进行拟合。相应的 3 次拟合多项式为:

$$y = -2 \times 10^{-11} x^3 + 1 \times 10^{-8} x^2 + 2 \times 10^{-7} x - 0.000 4 \tag{6}$$

$R^2 = 1 \times 10^{-4}$ , 近似于一条直线,各系数均不能通过检验,从而确定厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度时间序列没有明显的趋势性。

厦门市 2001 ~ 2002 年两年 725 d 的 PM10 浓度时间序列没有趋势性,原因在于近两年厦门市空气质量保持较好,环境大气中 PM10 的浓度相对稳定,随着时间变化没有显著变化且总体浓度控制在较低的水平。

经过预处理的厦门市 2001 ~ 2002 年大气中 PM10 浓度时间序列再经过 3 d 的周期差分和一阶普通差分后,得到了该零均值时间序列相应的宽平稳时间序列。

4.3 风向对厦门市年内 PM10 浓度变化趋势的影响

虽然厦门市 2001 ~ 2002 年 PM10 浓度时间序列总体没有明显的趋势性,各个站点的 PM10 浓度在年内却表现出规律的季节性变化,春季和秋季 PM10 浓度较高而夏季浓度较低。其变化趋势见图 4 所示。

根据 J. T. van der Wal 和 L. H. J. M. Janssen 的研究,对于濒海、洋的大陆地区风向对大气环境中 PM10 的浓度有非

常显著的影响<sup>[2]</sup>。当主导风向与从海洋指向陆地的方向基本一致时,由于海洋上方气团的PM10浓度含量一般较陆地地区低,有助于降低空气中PM10的浓度,在该主导风向控制的月份里PM10浓度总体较低。相反,当主导风向与从陆地

指向海洋的方向基本一致时,厦门市大气受到内陆上空PM10浓度含量较高的气团的污染,在相应月份其PM10浓度有一定的上升趋势。

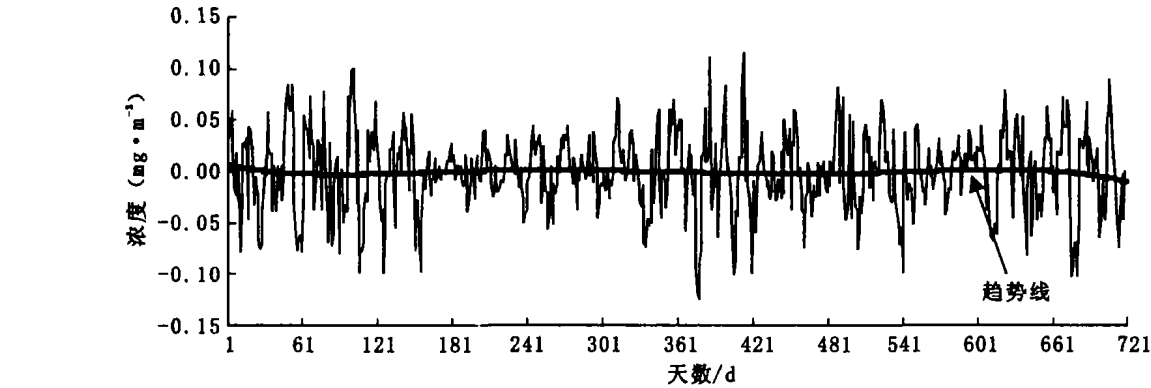


图2 厦门市2001~2002年大气中PM10浓度趋势曲线(经过3d周期差分 and 3d移动平均)

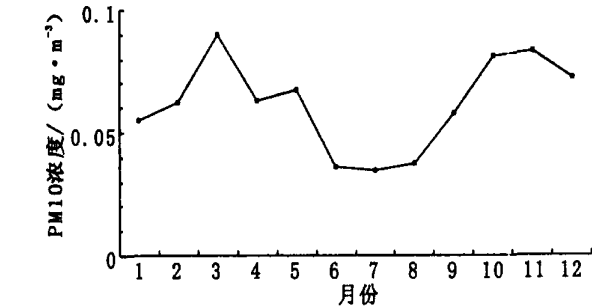


图3 厦门市72号站点2001年PM10浓度月季变化

以正北风向为0°和360°,其它风向度数顺时针递加;将PM10浓度放大1 000倍后得到的厦门市月主导风向与月平均PM10浓度的关系如图4所示。在夏季主导风向为SES风向时,风主要由太平洋吹向厦门市,PM10浓度较低;而在春季和秋季主导风向转变为NEE风向和E风向时,PM10浓度有升高的趋势。

5 结 论

利用时间序列分析方法对厦门市2001~2002年近两年的PM10浓度时间序列进行的分析表明厦门市PM10浓度时间序列具有3d的周期,其主要原因在于厦门市PM10浓度深受3d的降水周期的影响。受其它自然因素和人为因素的共同影响,还表现出7d和29d的周期特征。

厦门市2001~2002年近两年的PM10浓度时间序列经过周期差分和移动平均,曲线拟合的结果表明没有明显的趋势参考文献:

势性,且总体PM10浓度低于国家对城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区以及一般工业区的标准,肯定了厦门市近年来控制环境大气中PM10浓度和保持良好空气质量的措施。

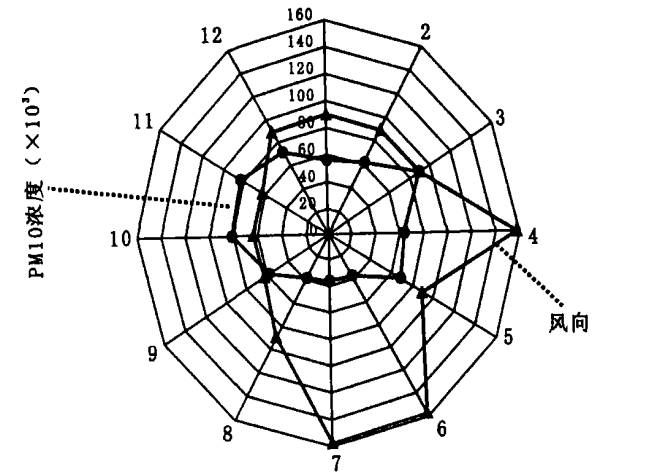


图4 厦门市2001年大气中月PM10浓度均值与该月主导风向关系图

同时,通过对经过预处理的原始时间序列进行3d周期差分和一阶普通差分可以得到厦门市2001~2002年PM10浓度时间序列的近似白噪声的宽平稳时间序列。此零均值宽平稳时间序列为进一步进行厦门市PM10浓度的预测预报提供了基础。

[1] 德利克·埃尔森.烟雾警报城市空气质量管理[M].田学文,朱志辉,韩建国,等译.北京:科学出版社,1999.50-53.

[2] JT van der Wal, L H J M Janssen. Analysis of spatial and temporal variations of PM10 concentrations in the Netherlands using Kalman filtering[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 3 675- 3 687.

[3] Xavier Querola, Andres Alastueya, Sergio Rodriguez, et al. PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 6 407- 6 419.

[4] 陶澍.应用数理统计方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994.

[5] 马开玉,丁裕国,屠其璞.气候统计原理与方法[M].北京:气象出版社,1993.

[6] Peter J Brockwell, Richard A Davis. 时间序列的理论与方法[M].田铮译.北京:高等教育出版社,2001.

[7] 鹿世瑾.福建气候[M].北京:气象出版社,1999.