

2002年北京PM₁₀时间序列及其成因分析

孙杰¹, 高庆先^{2*}, 周锁铨¹

1. 南京信息工程大学 气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044

2. 中国环境科学研究院 气候变化影响中心, 北京 100012

摘要: 以北京2002年的 $\rho(\text{PM}_{10})$ 日平均值和气象要素观测资料为例, 根据小波分析的原理, 利用Matlab小波分析工具, 对逐日 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列进行分解和重构, 分析了该地区 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的年变化规律和突变特征。结果表明: 2002年北京PM₁₀污染季节性变化强, 春季最严重, 冬季次之, 夏、秋季节较好; 全年共有4个突变点, 均出现在沙尘暴或强沙尘暴期间, 并指出沙尘天气是北京 $\rho(\text{PM}_{10})$ 发生突变的主要影响因素。在此基础上, 根据形成原因及气象资料分析, 将2002年PM₁₀重污染天气过程分为沙尘型和排放累积型2类, 并阐述了形成各类PM₁₀重污染天气的气象原因。

关键词: PM₁₀; 时间序列; 小波分析; 沙尘

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2007)06-0083-04

Analysis for PM₁₀ Concentration Using Time Series Method and Its Formation in Beijing, 2002

SUN Jie¹, GAO Qing-xian², ZHOU Suo-quan¹

1. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

2. The Center for Climate Impact Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: Based on average daily PM₁₀ mass concentrations and meteorological elements of Beijing in 2002, the daily PM₁₀ time series were decomposed and reconstructed, and yearly change trend of PM₁₀ time series and the jump features of the variations analyzed, according to wavelet analysis principle and using Matlab wavelet analysis tool. The results indicated that PM₁₀ pollution has significant seasonal variations in Beijing in 2002; and four mutation points were found, all of which were during the sandstorms or strong sandstorms, and so the dust weather should be the main factor for mutations of PM₁₀ mass concentration. According to the formation and meteorological data, the process of heavy PM₁₀ pollution in 2002 is divided into two types, i.e. dust pollution type and emissions accumulation type. The reasons for formation of the two types were briefly discussed.

Key words: PM₁₀; time series; wavelet analysis; sand dust

目前我国主要的大气污染物已由SO₂和TSP转变为PM₁₀^[1]。据2002年《环境状况公报》统计, 我国有63.2%的城市颗粒物超过国家环境空气质量二级标准(GB 3095-1996), 且以PM₁₀为主。PM₁₀成分复杂, 来源广泛, 其人为源包括燃料燃烧、汽车尾气和建筑施工等; 自然源为沙尘等, 特别是在沙尘天气条件下, PM₁₀的主要组分为沙尘粒子。影响 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的气候因素有土地利用类型、地表植被的覆盖度, 以

及天气和气候因素等^[2]。研究表明, 大气中 $\rho(\text{PM}_{10})$ 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^[3]。

对PM₁₀时间序列的研究主要通过分析其浓度时间曲线^[4], 程承旗等^[5]利用谱分析和滑动平均法分析了厦门市2001—2002年的PM₁₀时间序列。对 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的变化趋势及突变特征的研究尚缺乏快速直观的分析方法^[6]。小波分析被认为是近年来工具及方法上的重大突破。利用Matlab小波分析工具可以对时间序列的局部进行分析, 获得时间序列的变化特征, 但是其在大气污染物的研究上尚不多见^[7]。

根据中国环境监测总站的监测数据, 笔者利用

收稿日期: 2007-07-13 修订日期: 2007-05-10

基金项目: 中国气象局气候变化专项资助项目(CCSF2006-27)

作者简介: 孙杰 (1981-), 男, 江苏大丰人, 硕士研究生, sunjief19811217@126.com.

* 责任作者, gaoqx@caes.org.cn

Matlab 小波分析工具对 2002 年北京市大气中 $\rho(\text{PM}_{10})$ 变化的趋势和突变特征进行分析与讨论，并结合气象资料分析 PM_{10} 重污染的成因。

1 原理

小波分析是泛函分析、Fourier 分析、样条分析、调和分析和数值分析的结合。在近 20 年的发展中，小波变换作为一种应用数学技术，在信号处理、图像处理、语音分析、模式识别、量子物理及众多非线性科学等领域应用广泛。

利用小波分解时间序列，随着层次的增加，低频部分含有的高频成分信息随之减少，余下的为时间序列变化规律，即对应着最大尺度小波变换的低频系数。因此，通过对小波分解后的最高层低频系数进行重构，对所得序列的判断即可获取时间序列的变化规律。

小波分析的第 1 层和第 2 层高频系数均包含信号的高频成分，所以能清楚地反映出时间序列突变特性。由于在信号中突变的时间间隔非常短，包含高频成分，因此在捕捉高频成分的前 2 层的重构系数中，在突变点的位置，系数幅值较大^[8]。

Daubechies 小波由于具有良好的时频分析性能，目前已在许多工程领域中得到应用。因此，笔者研究时采用 Daubechies (db) 小波。

2 PM_{10} 污染

根据《北京环境状况公报》，1999—2002 年的 $\rho(\text{PM}_{10})$ 年均值分别为 180, 162, 165 和 166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，远超过国家空气质量 (GB3095—1996) 二级标准，且改善不大。

由图 1 可知，北京 2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 年均值超标 66%，处于较高的污染水平；超标最大的月份为 4 月，超标 109%。区域背景站 (定陵) $\rho(\text{PM}_{10})$ 年均值为 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，已超标 15%。

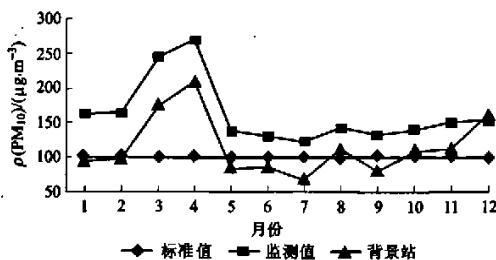


图 1 2002 年北京 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的年变化趋势

Fig. 1 Trend of $\rho(\text{PM}_{10})$ in Beijing, 2002

$\rho(\text{PM}_{10})$ 存在夏季低，秋冬季高的规律^[9]。从北京市 2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的数据可知，该地区也基本符合该规律，表现为 6—8 月低，10—12 月有所上升，这种上升趋势约持续到次年 5 月。

3 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的时间序列分析

3.1 年变化规律

$\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列具有一定的年、日变化规律^[10]。陈柳等^[4] 利用 Matlab 小波分析工具对 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的研究结果表明：小波分析对 PM_{10} 时间序列的研究有效、可行，与传统方法相比，其直观性更强、计算速度更快。笔者采用 db1 小波对北京 2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列进行 4 层小波分解，利用小波系数重建公式，对第 4 层低频系数进行重构，通过所得序列即可判断 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的年变化规律。

2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列散点图和第 4 层低频系数的重构序列见图 2。由图 2 可知，2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的年变化规律为：1—4 月大，5—10 月小，11—12 月大。其中 $\rho(\text{PM}_{10})$ 1—2 月变化较平稳，3—4 月有所上升，4—5 月呈下降趋势，5—10 月变化平稳，11—12 月先上升后下降。

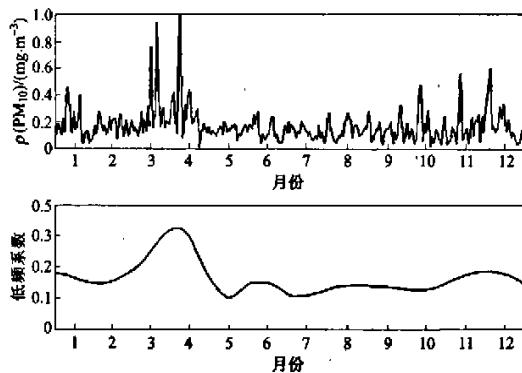


图 2 2002 年北京 $\rho(\text{PM}_{10})$ 变化散点图及年变化规律

Fig. 2 The scattering plot and its annual trend of PM_{10} mass concentration in Beijing, 2002

3.2 突变特性

$\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的突变部分是比较重要的信息，其往往是严重空气污染的状态点，其对分析 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的突变特性具有重要意义。突变的主要特征是序列在时间和空间存在着局部变化。根据序列变化的速度快慢，选择合适的分解尺度，就能充分发挥小波变换良好的局部分析功能，从而方便

地解决 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列突变的问题.为检测出 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列的突变,所选的小波必须很正则(有规律),这时的小波可实现更长的冲击滤波器.笔者选用 db1 小波具有很好的正则性^[5].用 db1 小波对 2002 年北京市 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列分解 3 次,所得第 1 层和第 2 层高频系数的重构信号曲线图见图 3.

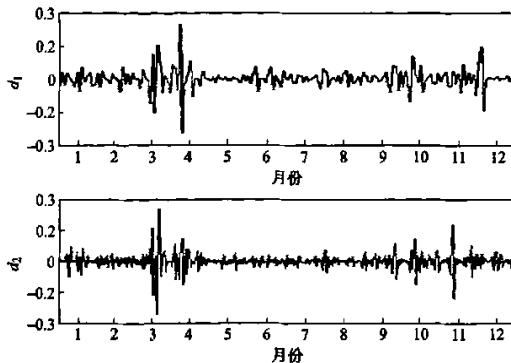


图 3 北京 2002 年 $\rho(\text{PM}_{10})$ 突变特性

Fig.3 The mutation characteristic of PM_{10} mass concentrations in Beijing, 2002

在 d_1 和 d_2 的重构系数中,系数幅值大的点为突变点.从图 3 可知,有 4 个明显的突变点,即 3 月 16 日,3 月 21 日,4 月 8 日和 12 月 4 日, $\rho(\text{PM}_{10})$ 依次为 0.757, 0.942, 0.995 和 0.598 mg/m^3 , 均为严重污染.据 2002 年的《沙尘天气年鉴》可知, PM_{10} 发生突变的这几天均处于沙尘暴或强沙尘暴发生期间.因此,沙尘暴的发生是影响北京大气中的 $\rho(\text{PM}_{10})$ 发生突变的重要因素.

4 PM₁₀ 重污染天气过程原因分析

重污染天气是指空气污染指数 (API) ≥ 201 , 即空气质量达到 4 级及 4 级以上污染程度的统称.根据重污染天气的不同成因和污染特征可分为沙尘型和排放累积型.排放累积型重污染是指在持续不利于扩散气象条件下,人为排放污染物大范围积累,最终 PM_{10} 达到重污染水平.沙尘型重污染天气是指在沙尘暴或大风扬沙天气下造成的重污染.这 2 种污染型是北京重污染天气的主要成因.

2002 年重污染天气共出现 19 d, 占全年总天数的 5.2%.且主要集中在 3—4 月.污染最严重的为 3 月 21 日和 4 月 8 日, 均出现在 2 次强沙尘暴期间.

4.1 重污染天气季节分布特征

2002 年北京 PM_{10} 重污染天气发生具有季节分布特征.排放累积型重污染天气主要出现在 10—12

月,1 月有时也会出现.沙尘型重污染天气主要集中出现在 3—5 月,11 月偶有发生,其余月份没有.6—9 月没有重污染天气发生.

春季是沙尘型重污染天气高发季节,也是一年中重污染出现最多的时期.2002 年北京 $\rho(\text{PM}_{10})$ 年均值为 $0.165 \text{ mg}/\text{m}^3$, 而春季平均值为 $0.217 \text{ mg}/\text{m}^3$, 高出全年平均值 31.5%;秋末冬初是排放累积型重污染天气高发季节,也是一年中重污染发生的第二高峰期.

4.2 重污染天气的形成原因

4.2.1 沙尘型重污染天气成因

北京 2002 年沙尘型重污染的地面天气形势主要为 2 种:地面冷锋型和冷高压前部偏北大风型.这 2 种天气形势很容易将外地沙尘输送到北京.因此,北京沙尘型重污染天气的形成主要受到外来沙尘影响,其次也受到本地扬沙的影响.春季是沙尘型重污染天气的高发季节,由于春季北方地区的植被覆盖稀疏,土壤干燥疏松,遇到较频繁的气旋和锋面系统活动,易给北京带来沙尘粒子并引起本地地面扬沙,引发重污染天气.夏季由于雨水多,对空气颗粒物的冲刷作用明显,并且土壤较湿润,植被茂盛,很难产生局地地面扬沙,同时有利于形成沙尘的天气形势很少,因此基本没有沙尘天气.秋季由于尚有植被覆盖,而且气旋和锋面系统不强,冷空气强度不大,也不易发生沙尘天气.冬季虽然冷空气较强,气旋和锋面系统活动频繁,但由于上风向沙漠地区和北京周边地区土壤封冻,且有冰雪覆盖,也较少发生沙尘天气.

4.2.2 排放累积型重污染天气成因

排放累积型重污染天气的出现主要归结于:①人为排放污染物的强度大;②持续不利于扩散的气象条件.污染物排放强度大是重污染形成的根本原因.京津地区作为我国三大城市群之一,具有利于污染物局地累积而形成高浓度的潜在条件;其次,在不利于扩散的天气条件下,在合适的大气环流背景下,其他地区(山西和河北等)累积的污染物通过边界层输送到北京,与本地累积的污染物一起形成重污染^[11].孟燕军等^[12]对影响北京大气污染物扩散的地面天气系统进行了分类,分析了北京排放累积型天气形势发现,其地面主要天气类型为均压场和鞍型场.陈朝晖等^[13]对 2000 年一次 PM_{10} 重污染过程的气象分析发现,均压是造成 $\rho(\text{PM}_{10})$ 累积的主要天气形势.对 2002 年排放累积型重污染天气形势进行分

析,得到了相同结论,典型日为 10 月 10 日和 11 日的污染;同时,如华北地形槽和华北倒槽等也是北京出现重污染天气的主要天气形势之一,这主要是由于北京特殊的地理和地形条件决定的^[12]。

5 结论

a. 利用 Matlab 中的小波分析工具分析 2002 年北京 $\rho(\text{PM}_{10})$ 时间序列,得到其年内变化规律为:1—2 月较平稳,3—4 月上升,4—5 月下降,5—10 月平稳,11—12 月先上升后下降。全年共有 4 个突变点,均出现在沙尘暴或强沙尘暴期间。

b. 北京 PM_{10} 污染有着明显的季节变化,春季污染最严重,冬季次之,夏秋季节较好。

c. 北京重污染天气主要有沙尘型和排放累积型 2 类。前者主要发生在春季(3—5 月),后者主要出现在冬季。

参考文献:

- [1] 任阵海,高庆先,苏福庆,等.北京大气环境的区域特征与沙尘影响[J].中国工程科学,2003,5(2):49-56.
- [2] Xavier Querol,Andres Alastuey,Sergio Rodriguez,et al. PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain[J].Atmos Environ,2001,35:6407-6419.
- [3] 范长荣,尚广萍.合肥市城市 PM_{10} 污染成因及控制对策[J].

安徽大学学报(自然科学版),2005,29(4):87-92.

- [4] 陈柳,马广大.小波分析在 PM_{10} 时间序列分析中的应用[J].环境工程,2006,24(1):61-64.
- [5] 程承旗,何华伟,马廷.厦门市 2001—2002 年 PM_{10} 浓度时间序列变化分析[J].水土保持研究,2005,12(6):11-13.
- [6] 郑美琴,卢振礼.日照市区 PM_{10} 污染物特征及其与气象要素的关系[J].南京气象学院学报,2006,29(3):414-417.
- [7] 陶澍.应用数理统计方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994.
- [8] 胡昌华,李国华,刘涛,等.基于 MATLAB 6.x 的系统分析与设计——小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [9] Yang Kuangling. Spatial and seasonal variation of PM_{10} mass concentrations in Taiwan [J]. Atmos Environ, 2002,36(21):3403-3411.
- [10] М.Е.верлянд.大气污染预报与控制[M].申亿铭译,北京:气象出版社,1991.
- [11] 牛仁亮,任阵海.大气污染跨区影响研究:山西大气污染影响北京的案例分析[M].北京:科学出版社,2006.
- [12] 孟燕军,程从兰.影响北京大气污染物变化的地而天气形势分[J].气象与环境,2002(4):42-47.
- [13] 陈朝晖,程水源,苏福庆,等.北京一次重污染过程的大尺度天气型分析[J].环境科学研究,2007,20(2):99-105.

(责任编辑:孙彩萍)