

廊坊市大气污染变化的特征分析

纪诗璇, 高清泉, 吕宜谦

(廊坊市气象局, 河北 廊坊 065000)

摘要: 本文利用廊坊市大气污染物质量浓度的时间序列数据, 研究其在时间序列上的周期特性。结果表明, 2015—2018 年廊坊市空气中主要污染物含量逐渐降低, 空气质量指数逐步上升, 重污染天数逐渐减少。与 2017 年相比, 2018 年可吸入颗粒物 (PM_{10})、细颗粒物 ($PM_{2.5}$)、 SO_2 浓度分别下降 4.90%、13.33%、21.43%。 PM_{10} 日均质量浓度以短期震荡为主, 季节性变化显著。夏季浓度最低, 冬季是一年中污染最严重的季节, 存在显著峰值。

关键词: 大气污染; 变化特征; 空气质量; 周期性; 小波分析; 廊坊市

中图分类号: X513

文献标识码: A

文章编号: 1008-9500(2023)11-0124-03

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9500.2023.11.037

Analysis of the Characteristics of Air Pollution Changes in Langfang City

Ji Shixuan, GAO Qingquan, LYU Yiqian

(Langfang Meteorological Service, Langfang 065000, China)

Abstract: This paper uses time series data of air pollutant mass concentration in Langfang City to study its periodic characteristics in time series. The results indicate that from 2015 to 2018, the content of major pollutants in the air of Langfang City gradually decreased, the air quality index gradually increased, and the number of days with heavy pollution gradually decreased. Compared with 2017, the concentrations of inhalable particulate matter (PM_{10}), fine particulate matter ($PM_{2.5}$), and SO_2 decreased by 4.90%, 13.33%, and 21.43% in 2018, respectively. The daily average mass concentration of PM_{10} is mainly characterized by short-term fluctuations, with significant seasonal changes. Summer has the lowest concentration, while winter is the most polluted season of the year, with significant peaks.

Keywords: air pollution; change characteristics; air quality; periodicity; wavelet analysis; Langfang City

随着经济的发展, 我国城市化进程加快, 城市大气污染问题日益凸显。大气污染对人体健康存在直接或间接的影响, 社会关注度越来越高^[1]。大气污染已经对京津冀城市群产生不容忽视的影响^[2], 廊坊市位于华北地区腹部, 同样受到大气污染的影响, 但近年对华北地区大气污染物的研究主要集中于北京市、天津市等地^[3]。近年来, 华北地区冬季供暖方式发生调整, 重工业企业大量迁移、转型, 大气污染对中小城市的影响不容忽视^[4]。因此, 研究廊坊市大气污染现状, 剖析未来污染发展趋势, 不仅能为廊坊市未来大气污染防治提供参考, 也对进一步研究京津冀地区

大气污染影响具有重要意义。

1 数据来源与处理方法

1.1 数据来源

数据来源于廊坊市气象信息共享平台, 以廊坊市国家气象观测站内大气成分站 SO_2 、细颗粒物 ($PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物 (PM_{10}) 质量浓度的日平均数据为基础, 结合河北省廊坊生态环境监测中心数据, 做综合分析。监测时间为 2015 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日。如表 1 所示, 与 2014 年相比, 2015—2018 年廊坊市空气中主要污染物含量逐渐降低, 空气质量

收稿日期: 2023-09-13

基金项目: 廊坊市科学技术局“关于廊坊地区大气污染变化的特征分析”。

作者简介: 纪诗璇 (1996—), 女, 内蒙古兴安盟人, 助理工程师。研究方向: 天气预报与环境气象。

指数逐步上升,重污染天数逐渐减少。2018 年,廊坊市 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 年均浓度分别为 $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$,与 2017 年相比分别下降 4.90%、13.33%、21.43%。2018 年,廊坊市空气质量指数为 5.94,与 2017 年相比,空气质量有所改善。

表 1 2014—2018 年廊坊市空气质量对比

指标名称	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	二级标准限值
$\text{SO}_2/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	36	24	18	14	11	60
$\text{PM}_{10}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	159	137	112	102	97	70
$\text{PM}_{2.5}/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	100	85	66	60	52	35
空气质量指数	8.86	7.89	7.11	6.61	5.94	—
优良天数/d	153	185	208	214	222	—
重污染天数/d	71	52	30	25	12	—

注:标准是指《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)。

2018 年,廊坊市完成有效监测 357 d。其中,2018 年优良天数共计 222 d,达标率为 62.2%,与 2017 年(214 d)相比,达标天数增加 8 d;2018 年轻度污染天数为 89 d,相比 2017 年(78 d),增加 11 d;2018 年中度污染天数为 34 d,相比 2017 年(44 d),减少 10 d;2018 年重污染天数合计 12 d,与 2017 年(25 d)相比,减少 13 d。

1.2 处理方法

小波分析是大气污染物监测数据的常用处理方法。小波函数是指具有震荡性且能够迅速衰减到 0 的一类函数^[5],能够揭示时间序列(t)中的多种变化周期(L),可以反映系统在不同时间尺度中的变化趋势。数学上,定义小波函数 $\psi(t) \in L^2(R)$ 。其中, R 表示实数集合,表示平方可积的信号空间,函数 $L^2(R)$ 具有有限能量。满足式(1)的 $\psi(t)$ 为小波基函数,小波基函数通过尺度的伸展、缩小和时间轴上的平移可以组成一簇函数系列,如式(2)所示。

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

式中: $\psi_{a,b}(t)$ 为子小波函数; a 为尺度因子,可以反映小波的周期长度; b 为平移因子,可以反映在时间上的平移。

小波变换是一种时域-频域局部化方法,其时间窗和频率窗都可以改变。对于子小波函数 $\psi_{a,b}(t)$,如果定义一个大气污染物质量浓度有限时间序列可积函数 $f(t) \in L^2(R)$,则 $f(t)$ 的连续小波变换函数如式(3)

所示。在大气污染物的实际数据处理过程中,常见的时间序列是离散的。若定义时间序列函数 $f(k\Delta t)$ ($k=1,2,3,\dots,N$),则式(3)的离散函数如式(4)所示。小波变换函数 $W_f(a,b)$ 受参数 a 和 b 的影响而发生变化。若以 b 为横坐标, a 为纵坐标,绘制 $W_f(a,b)$ 的二维等值线图,可得到小波变化系数图。

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \overline{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \overline{\psi}\left(\frac{k\Delta t-b}{a}\right) \quad (4)$$

式中: $W_f(a,b)$ 为小波变换系数; $f(t)$ 为大气污染物质量浓度有限时间序列可积函数 t 的时间序列; a 为污染物质量浓度时间序列尺度因子; b 为污染物质量浓度时间序列平移因子; Δt 为时间间隔;小波变换系数 $W_f(a,b)$ 可以反映时域参数 b 与频域参数 a 的特性。

2 结果分析

2.1 PM_{10} 质量浓度时间序列变化特征

首先利用 Morlet 小波对 2015—2018 年 PM_{10} 日均质量浓度做时间序列变化处理。由于日均质量浓度数据为有限时间序列,为消除或减小数据起点与终点附近可能会产生的边界效应,先用信号延伸功能对两端数据进行延伸处理,最后对边界效应处理后的时间序列(见图 1)进行小波变换。

由图 1 可以发现,2015—2018 年,大气污染物 PM_{10} 日均质量浓度存在周期变化,季节性变化显著。夏季浓度最低,冬季是一年中污染最严重的季节,存在显著峰值。根据日均质量浓度, PM_{10} 污染天数呈逐年下降趋势。

2.2 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度时间序列小波变换

根据式(4),利用小波计算 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度时间序列,得到小波系数模方等值线图,即以 b 为横坐标、 a 为纵坐标的时-频分布图,如图 2 所示。根据小波系数模方等值线图,既可以得到 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度在时间域上的分布规律,也可以获得 PM_{10} 质量浓度时间序列上的周期性变化特征,从而明确 PM_{10} 质量浓度在不同时间尺度上的变化趋势。

图 2 显示, PM_{10} 质量浓度呈现大小交替的变化规律。在不同时间尺度上, PM_{10} 质量浓度也存在显著的变化。根据 a 值,周期变化显著的区间有 [10, 20]、[30, 40] 和 [50, 60]。 a 介于 10 ~ 20 时,2015—2018 年均存在颜色最深的等值线,说明有较

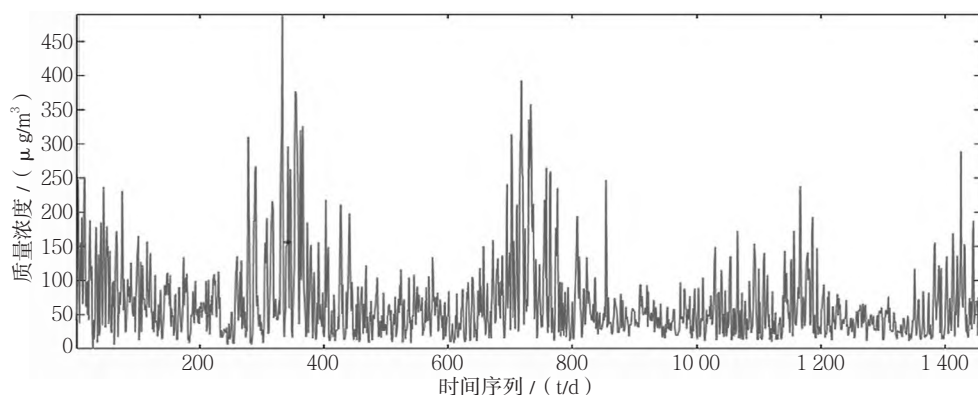


图 1 PM_{10} 质量浓度时间序列变化

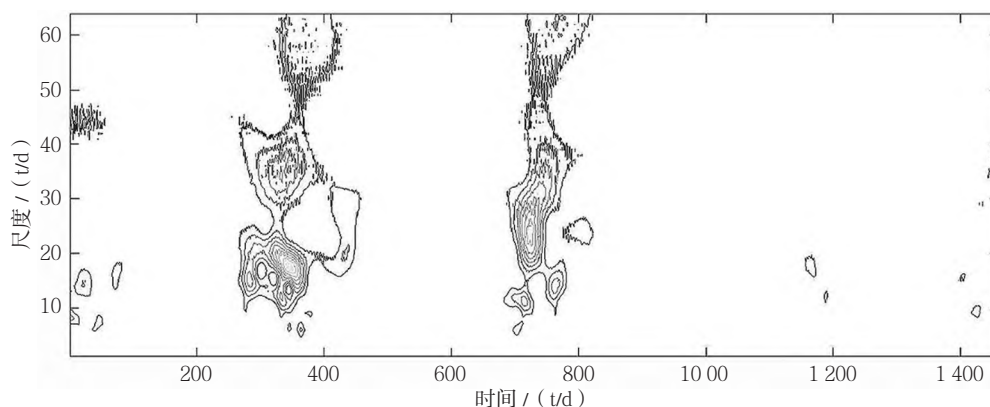


图 2 小波系数模方等值线变化

强的周期变化,周期性明显,具有全域性,波动较大; a 介于 $30 \sim 40$ 时,2015 年、2016 年、2018 年周期性较强,2015 年与 2016 年尤为明显,依然存在明显的周期性;当 a 介于 $50 \sim 60$ 时,2017 年与 2018 年 PM_{10} 质量浓度变化较小,等值线密度及颜色变化不明显,周期性较弱。

3 结论

2015—2018 年,廊坊市空气中主要污染物含量逐渐降低,空气质量指数逐步上升,重污染天数逐渐减少。2018 年,廊坊市空气中 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 的年均浓度分别为 $97 \mu g/m^3$ 、 $52 \mu g/m^3$ 、 $11 \mu g/m^3$,与 2017 年相比,分别下降 4.90%、13.33%、21.43%。 PM_{10} 质量浓度呈现大小交替的变化规律,在不同时间尺度上也存在显著的变化。根据 a 值,周期变化显著的区间有 $[10, 20]$ 、 $[30, 40]$ 和 $[50, 60]$ 。 a 介于 $10 \sim 20$ 时,2015—2018 年均存在颜色最深的等值线,说明有较强的周期变化,周期性明显,具有全域性,波动较大; a 介于 $30 \sim 40$ 时,2015 年、2016 年、2018 年周期性比较强,2015 年与 2016 年尤为明显,

依然存在明显的周期性。

参 考 文 献

- 1 刘晓莉,宋宪强,孟紫强.大气污染对人体心肺功能的影响[J].卫生研究,2008(4):429-432.
- 2 XU W Y, ZHAO C S, RAN L, et al.Characteristics of pollutants and their correlation to meteorological conditions at a suburban site in the North China Plain[J].Atmospheric Chemistry and Physics, 2011(9):4353-4369.
- 3 WANG Y X, HAO J M, MCELROY M B, et al.Ozone air quality during the 2008 Beijing Olympics: Effect-tiveness of emission restrictions[J]. Atmospheric Chemistry & Physics Discussions, 2009(14):5237-5251.
- 4 LIU P, ZHAO C, ZHANG Q, et al.Aircraft study of aerosol vertical distributions over Beijing and their optical properties[J].Tellus, 2009(5):756-767.
- 5 王文圣,丁 晶,李跃清.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005:35-36.