

文章编号:1674-6139(2019)09-0066-05

# 2014 年 - 2018 年唐山市大气颗粒物分布特征研究

杨安<sup>1 2</sup> 胡健<sup>3</sup> 延军平<sup>4</sup> 刘海红<sup>1 2</sup> 李军<sup>2</sup>

- ( 1. 天津师范大学 地理与环境科学学院 ,天津 300387;  
2. 天津师范大学天津市水资源与水环境重点实验室 ,天津 300387;  
3. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室 ,贵州 贵阳 550002;  
4. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院 ,陕西 西安 710062)

**摘要:**利用唐山市 2014 年 - 2018 年  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  的监测资料 ,分析了唐山市大气颗粒物在不同时间尺度上的分布特征。结果显示:2014 年 - 2018 年 ,唐山市大气颗粒物污染较为严重 ,但总体呈下降趋势 ,首要污染物为  $PM_{2.5}$  ,其次为  $PM_{10}$ 。  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度由高到低的季节顺序依次为冬季、春季、秋季和夏季 ,且冬季  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  的平均浓度均显著高于其他季节 ,污染期主要集中于供暖期。  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  月浓度变化为 8 月(夏末)最低、12 月(冬初)最高 ,全年呈单谷型分布。  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  周浓度变化符合“周末效应” ,即周六最高。

**关键词:**大气颗粒物; 分布特征; 空气质量; 唐山市

中图分类号:X51

文献标志码:A

## Distribution Characteristics of Atmospheric Particulate Matter in Tangshan during 2014 - 2018

Yang An<sup>1 2</sup> , Hu Jian<sup>3</sup> , Yan Junping<sup>4</sup> , Liu Haihong<sup>1 2</sup> , Li Jun<sup>2</sup>

- ( 1. College of Geography and Environmental Science , Tianjin Normal University , Tianjin 300387 , China;  
2. Tianjin Key Laboratory of Water Resources and Environment , Tianjin Normal University , Tianjin 300387 , China;  
3. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China;  
4. School of Geography and Tourism , Shaanxi Normal University , Xi'an 710062 , China)

**Abstract:** Based on the monitoring data of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in Tangshan City from 2014 to 2018 , the distribution characteristics of atmospheric particulate pollution at different temporal scales were analyzed. The results showed that from 2014 to 2018 , the atmospheric particulate matter pollution in Tangshan City was more serious , but the overall trend was downward. The primary pollutant was  $PM_{2.5}$  followed by  $PM_{10}$ . The order of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  concentrations from high to low was winter , spring , autumn and summer , and the average concentration of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in winter was significantly higher than the other three seasons. In addition , the pollution period was mainly concentrated in the heating period. With a single valley distribution throughout the year , the monthly variations of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  concentration was the lowest in August( late summer) and the highest in December( early winter) . The concentration of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  weekly changes were consistent with the “weekend effect” , and the  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  levels on Saturday were significantly higher than the other six days.

**Key words:** atmospheric particulate matter; distribution characteristics; air quality; Tangshan City

收稿日期:2019-06-14

基金项目:国家重大研究计划(91644104)、国家自然科学基金项目(41172315)和天津市水资源与水环境重点实验室开放基金资助

作者简介:杨安(1996-) ,女 ,硕士研究生 ,主要从事环境地理研究。

2012 年 2 月 ,中国新修订的《环境空气质量标准》(GB 3015-2012)正式增加了细颗粒物( $PM_{2.5}$ )和臭氧 8 h 浓度限值检测指标。在发布的新空气质量评价标准中 ,污染物监测为 6 项:  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、

SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub>。PM<sub>2.5</sub>是大气中空气动力学直径小于或等于 2.5 微米的颗粒物,PM<sub>10</sub>是大气中空气动力学直径小于或等于 10 微米的颗粒物。研究表明<sup>[1]</sup>, 细颗粒物是中国目前所面临的最重要的大气污染物,不但降低大气能见度,同样能够引起心血管和呼吸系统等疾病。

目前,中国京津冀的大气污染较为严重,京津冀 13 个地级以上城市中,空气质量平均达标天数比例为 37.5%,唐山市颗粒物浓度水平一直处于城市排名的中上游,2018 年,唐山市仅次于石家庄市、邢台市位列第三。作为重工业城市之一,唐山市是 2012 年第一批实施新空气质量标准的城市。在此之前中国尚未大范围开展 PM<sub>2.5</sub> 监测,但根据环境公报显示,唐山市空气质量排名在全国处于落后地位,颗粒物浓度一直处于较高水平,不仅易造成交通事故,同样影响人体健康,因此研究唐山市不同时间段大气颗粒物的变化特征具有必要性,以期为唐山市以及国内其他城市大气颗粒物污染控制及其他相关研究提供参考。

## 1 数据来源及评价方法

### 1.1 数据来源

使用的基础数据为唐山市 2013 年 12 月至 2018 年 12 月 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 日均浓度数据,所有数据全部来源于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/historydata/>)。

### 1.2 评价方法

数据均基于日浓度,其中,世界卫生组织(WHO) PM<sub>2.5</sub> 日均值的标准限值为 25 g/m<sup>3</sup>,PM<sub>10</sub> 日均值的标准限值为 50 g/m<sup>3</sup>;《环境空气质量标准》(GB 3015 - 2012) 中 PM<sub>2.5</sub> 日均质量浓度一级标准为 35 g/m<sup>3</sup>,二级标准为 75 g/m<sup>3</sup>,PM<sub>10</sub> 日均质量浓度一级标准为 50 g/m<sup>3</sup>,二级标准为 150 g/m<sup>3</sup>。唐山市供暖期为每年 11 月 15 日至次年 3 月 15 日。

## 2 结果与分析

### 2.1 年际变化

2014 年 - 2018 年,颗粒物低浓度所占百分比增多、高浓度所占百分比减小;由浓度值及出现日期可知,唐山市大气颗粒物污染较为严重且冬季最为明显。同时,PM<sub>10</sub> 浓度较高时,PM<sub>2.5</sub> 浓度也呈现同步增高现象。从时间进程来看,唐山市环境空气质量总体形势向好,PM<sub>2.5</sub> 质量浓度区间为 (77.93 ± 56.35) g/m<sup>3</sup>,PM<sub>10</sub> 质量浓度区间为 (133.98 ± 78.39) g/m<sup>3</sup>,但与世界卫生组织(WHO)和《环境空气质量标准》(GB 3015 - 2012) 标准仍有明显差距。由 AQI 的计算公式分析可知,唐山市贡献最大污染值的一般为 PM<sub>2.5</sub>,因此研究时段内 PM<sub>2.5</sub> 为首要污染物。

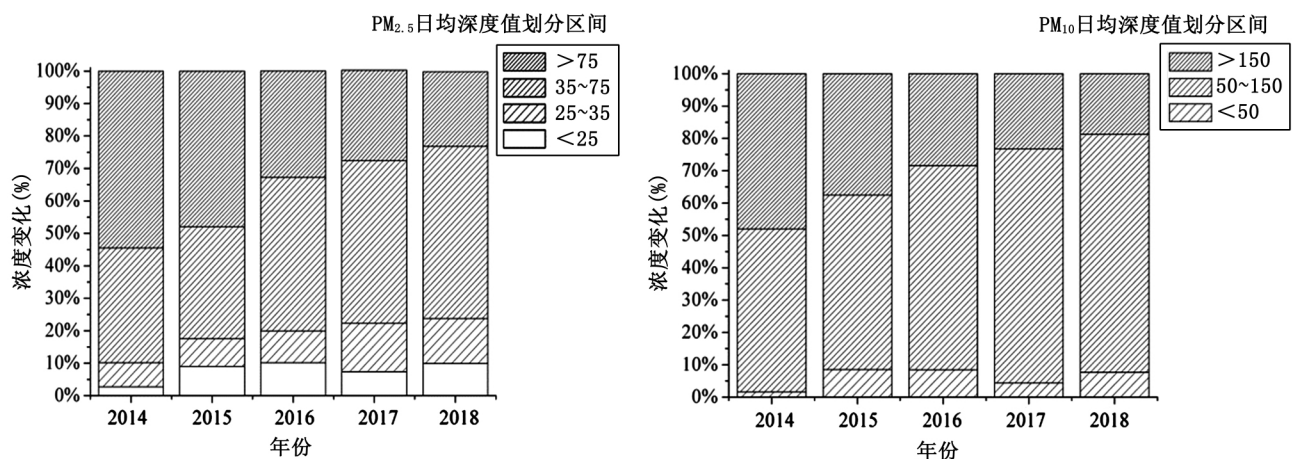


图 1 2014 年 - 2018 年唐山市 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度变化趋势

在中国《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中PM<sub>2.5</sub>日均浓度限值基础上,结合世界卫生组织(WHO)24 h均值的标准限值,划分PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>日均浓度值区间,分析各栅格面积比<sup>[1]</sup>(见图1)。结果表明:(1)PM<sub>2.5</sub>浓度低于35 μg/m<sup>3</sup>、PM<sub>10</sub>低于50 μg/m<sup>3</sup>的比例较低;(2)PM<sub>2.5</sub>浓度处于35~75 μg/m<sup>3</sup>、PM<sub>10</sub>浓度处于50~150 μg/m<sup>3</sup>的比例一直处于上升趋势,逐渐处于主导浓度范围;(3)PM<sub>2.5</sub>浓度高于75 μg/m<sup>3</sup>、PM<sub>10</sub>高于150 μg/m<sup>3</sup>的比例逐渐降低。整体来看,2014年-2018年的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>日均浓度正常值的分布逐渐集中,浓度变化趋于稳定但偶有极端值的出现。机动车保有量及工厂排污会显著影响PM<sub>2.5</sub>,因此唐山市着手对“黄标车”<sup>[2]</sup>以及部分污染工厂进行治理,汽车保有量减小、工业污染降低,故而对大气污染的治理起到了一定成效。

## 2.2 季节变化

唐山市PM<sub>2.5</sub>浓度由高到低依次是冬季、春季、秋季和夏季,平均浓度分别为104.75 μg/m<sup>3</sup>、77.85 μg/m<sup>3</sup>、73.31 μg/m<sup>3</sup>和56.59 μg/m<sup>3</sup>,冬季PM<sub>2.5</sub>浓度明显高于其他三个季节,且标准差(78.12 μg/m<sup>3</sup>)高于其他三个季节。PM<sub>10</sub>与PM<sub>2.5</sub>变化同步,浓度由高到低同样是冬季、春季、秋季和夏季,平均浓度分别为158.54 μg/m<sup>3</sup>、153.26 μg/m<sup>3</sup>、126.22 μg/m<sup>3</sup>

和98.98 μg/m<sup>3</sup>,冬季PM<sub>10</sub>浓度最高,且标准差(99.32 μg/m<sup>3</sup>)亦高于其他三个季节,说明唐山市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度在时间序列上具有非均匀化分布的特点,在短时间内存在较大波动。

为了探究PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度在季节变化上是否存在差异,用LSD方法在α=0.05和α=0.01水平上进行多重比较(见表1、2)。用SNK方法在α=0.05和α=0.01水平上进行差异显著分析。PM<sub>2.5</sub>的LSD方法分析结果表明,唐山市冬季PM<sub>2.5</sub>浓度极显著高于夏季,显著高于春季和秋季;SNK方法的分析结果表明,在α=0.05的水平上,冬季PM<sub>2.5</sub>浓度与其他三个季节有显著差异;在α=0.01水平上,冬季PM<sub>2.5</sub>浓度与其他三个季节有显著差异,且夏季PM<sub>2.5</sub>浓度与其他三个季节同样有显著差异,春季和秋季在两个分组里同时存在,说明春季和秋季与其他季节PM<sub>2.5</sub>浓度差异不明显。PM<sub>10</sub>的LSD方法分析结果表明,唐山市冬季PM<sub>10</sub>浓度极显著高于夏季,显著高于春季,但在SNK方法的分析中,季节差异并不显著。通过上述分析可知,与PM<sub>10</sub>相比PM<sub>2.5</sub>的季节差异性更为显著。夏季降雨量相对于其他季节较大,雨水的冲刷作用可能是导致PM<sub>2.5</sub>浓度较低的原因之一;另外,冬季易产生逆温天气,燃煤量的增加可能是导致PM<sub>2.5</sub>浓度升高的原因<sup>[3]</sup>。

表1 唐山市各季节PM<sub>2.5</sub>浓度多重比较

季节	平均值(μg/m <sup>3</sup> )	均值差-夏	均值差-秋	均值差-春
冬季	104.75	47.722**	31.388*	26.788*
春季	77.85	20.934	4.600	
秋季	73.31	16.334		
夏季	56.59			

(注:\*.均值差的显著性水平为0.05,差异显著;\*\* .均值差的显著性水平为0.01,差异极显著。)

表2 唐山市各季节PM<sub>10</sub>浓度多重比较

季节	平均值(μg/m <sup>3</sup> )	均值差-夏	均值差-秋	均值差-春
冬季	158.54	58.880**	32.882*	5.548
春季	153.26	53.332**	27.334	
秋季	126.22	25.998		
夏季	98.98			

(注:\*.均值差的显著性水平为0.05,差异显著;\*\* .均值差的显著性水平为0.01,差异极显著。)

因冬季燃煤会显著影响大气颗粒物浓度,因而对供暖期与非供暖期的颗粒物浓度进行研究。唐山市供暖期时间为每年 11 月 15 日至次年 3 月 15 日,故只分析 2014 年至 2017 年供暖期、非供暖期数据。表 3 为  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  年均值和标准误以及 24 h 平均浓度超出中国《环境空气质量标准》(GB 3095 - 2012) 二级限值和日均值的百分比。由表 3 可知,非

供暖期  $PM_{2.5}$  浓度与  $PM_{10}$  浓度均低于供暖期,重污染日表现为主要集中在供暖期,且供暖期  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度波动比非供暖期大,但供暖期、非供暖期的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度基本上呈现下降趋势,除 2016 年供暖期  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度突增外,供暖期与非供暖期的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度差距逐渐缩小,说明唐山市在冬季对大气颗粒物浓度的控制和管理逐渐成效。

表 3 供暖期与非供暖期颗粒物质量浓度日均值比较

项目		供暖期			非供暖期		
		均值(标准误)	二级(%)	日均值(%)	均值(标准误)	二级(%)	日均值(%)
$PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	2014	105.84(±6.06)	63.64	50.41	85.36(±3.08)	45.49	54.10
	2015	91.25(±6.65)	45.08	36.07	73.64(±2.69)	42.21	47.95
	2016	111.43(±7.56)	53.72	46.28	62.41(±2.31)	25.41	31.15
	2017	69.51(±4.44)	32.77	20.17	56.86(±2.03)	20.08	24.59
$PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )	2014	173.14(±8.21)	57.02	57.85	149.41(±4.29)	40.98	57.38
	2015	138.93(±8.41)	33.61	33.64	128.97(±4.33)	31.15	45.08
	2016	165.39(±10.02)	44.63	44.63	115.89(±3.77)	25.00	34.42
	2017	119.39(±5.88)	24.37	26.06	117.20(±4.63)	17.21	32.38

### 2.3 月份变化

$PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  浓度的月变化趋势为 8 月份(夏末)最低、12 月份(冬初)最高,全年基本呈单谷型分布,对称轴均在 7、8 月份附近,随季节的变化较明显。 $PM_{2.5}$  浓度在 8 月处于最低值后迅速上升,直至 12 月份,严重污染天气集中在 12 月和 1 月,春季开始减少; $PM_{10}$  浓度在春季依旧处于较高值,至秋季才逐渐降低,但  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  全年相关系数  $r$  高达 0.92,说明两者具有相似的变化规律,基本遵循相同的迁移转化规律。

唐山市  $PM_{2.5}$  浓度在秋季最低,冬季最高的现象与唐山市气象条件以及生产生活因素导致的状况基本吻合。冬季逆温层使大气低层的空气垂直运动受限,从而不利于颗粒物的扩散,同时冬季供暖也将导致颗粒物浓度逐渐增大,使冬季颗粒物浓度较高<sup>[3]</sup>。夏季高温加快  $PM_{2.5}$  扩散,从而减少大气污染程度。秋季秋高气爽的天气增加了颗粒物的输送和扩散,且唐山市属暖温带半湿润季风

型大陆性气候,夏秋湿度较大, $PM_{2.5}$  能够通过雨水的冲刷作用沉降到地面<sup>[1]</sup>,因此夏末秋初时  $PM_{2.5}$  浓度最低,冬季  $PM_{2.5}$  浓度最高。 $PM_{10}$  浓度在春季依旧较高,极大可能是由于不利气象条件影响,致使沙尘天气<sup>[4]</sup>发生,从而使春季  $PM_{10}$  浓度仍处于较高水平。

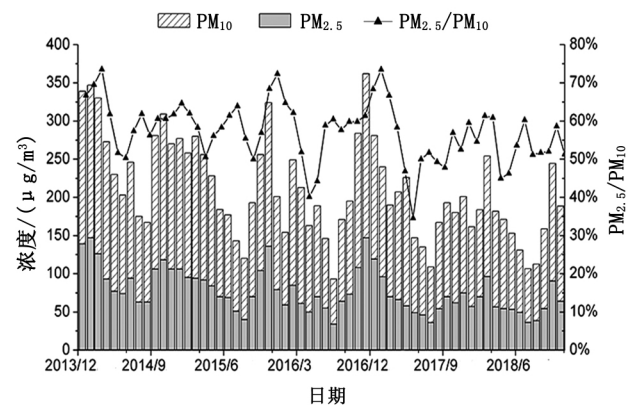


图 2 颗粒物质量浓度逐月变化

图 2 显示了唐山市颗粒物质量浓度比值的月变化,由 2014 年至 2018 年  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的比值分别为

0.61、0.59、0.57、0.54、0.54可知,唐山市大气细颗粒物主要以 $PM_{2.5}$ 为主。研究表明,在 $PM_{2.5}$ 与 $PM_{10}$ 的比值中, $PM_{2.5}$ 占主导地位时,大气颗粒物主要以二次离子为主<sup>[5]</sup>, $PM_{10}$ 占主导地位时,大气颗粒物主要以扬尘为主<sup>[6-7]</sup>。研究时段内唐山市春秋季节大部分时期因相对湿度较小、大风天气较多,气候干燥,故农作物播种以及建筑工地开工常致使扬尘增加,污染以 $PM_{2.5}$ 为主。夏季光化学反应活跃,有利于二次离子的生成,污染以 $PM_{10}$ 为主。2017年春季至今, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的大部分数值小于0.6,是因为唐山市对“黄标车”以及部分工厂进行处理,机动车保有量的减小和工厂排污量的下降显著降低了 $PM_{2.5}$ 浓度<sup>[2]</sup>,故比值呈现减小趋势。但是,虽然唐山市控制了机动车保有量以及工厂排污,但治理力度仍需加强。

#### 2.4 周际变化

计算 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度的周末效应时,因考虑到中国实行的节假日制度,故将节假日的第一天定为周六,将以后的2天或6天都定义为周日,若周末为工作日,将周六定义为周一,周日定义为周二。 $PM_{2.5}$ 浓度:周六>周五>周三>周日>周四>周一>周二, $PM_{10}$ 浓度:周六>周五>周日>周三>周四>周二>周一,尤以周六最为显著。利用双尾t检验测试每周最大值和最小值之间的差异( $PM_{2.5}$ 为周六减周二, $PM_{10}$ 为周六减周一),测试结果表明p值均小于0.1,在置信度为90%的水平下都拒绝原假设,即可认为周六的 $PM_{2.5}$ 浓度比周二大得多,周六的 $PM_{10}$ 浓度比周一大得多, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 均存在明显的周末效应。长期生活经验表明<sup>[3]</sup>,居民周末(尤其是周六)出行、旅游等外出活动增加了交通量从而导致机动车尾气排放增多,因此出现了周末比工作日高的正效应,但是这种效应同样也会受局地污

染物排放、气象条件、监测站点位置以及人类活动规律等因素的影响。

### 3 结语

根据数据分析可知2014年-2018年唐山市大气颗粒物污染较为严重,均高于中国《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)规定的二级标准限值,但浓度逐年呈降低趋势。唐山市 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度由高到低的季节依次为冬季、春季、秋季和夏季,冬季空气质量最差,且冬季 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度显著高于其他季节,重污染期主要集中于供暖期。 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 月浓度同步变化,对称轴在7、8月附近,为8月(夏末)最低、12月(冬初)最高,全年呈单谷型分布。同时, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度变化符合周末效应,即周六 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度最高。

#### 参考文献:

- [1]周亮,周成虎,杨帆,等.2000-2011年中国 $PM_{2.5}$ 时空演化特征及驱动因素解析[J].地理学报,2017,72(11):2079-2092.
- [2]卢亚灵,周佳,程曦,等.京津冀地区黄标车政策的总量减排效益评估[J].环境科学,2018,39(6):2566-2575.
- [3]温佳薇,贺军亮,赵晴,等.京津冀地区 $PM_{2.5}$ 的时空效应研究[J].环境污染与防治,2018,40(9):1033-1043.
- [4]王占山,李云婷,张大伟,等.2014年APEC会议期间北京市空气质量分析[J].环境科学学报,2016,36(2):675-683.
- [5]张连科,鲁尚发,焦坤灵,等.包头城区大气 $PM_{2.5}$ 污染特征及来源解析[J].环境科学与技术,2018,41(3):65-71.
- [6]薛骅.大气颗粒物的化学组成、来源识别和污染评价研究——以合肥市为例[D].安徽:中国科学技术大学,2019.15-17.
- [7]杨安,等.近年来唐山市大气颗粒物分布特征[J].价值工程,2019(25).