

郑州城区 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度变化特征及其对气象因子的响应

王翠连¹, 张 军², 郑 瑶², 赵同谦¹, 娄亚敏², 郑 华³

(1. 河南理工大学资源与环境学院, 河南 焦作 454000; 2. 河南省环境监测中心, 河南 郑州 450000; 3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 利用郑州城区9个国控监测点位PM₁₀、PM_{2.5}的日监测数据, 研究2013~2016年间郑州城区大气颗粒物质量浓度变化特征及其对气象因素的响应。结果表明, 2013~2016年间郑州城区环境空气污染总体状况改善趋势较为显著, 重度及以上的污染天数占全年有效天数的比例逐年降低, PM₁₀、PM_{2.5}浓度逐年下降; PM₁₀和PM_{2.5}浓度月均值变化基本一致, 浓度变化均呈“U”型分布。PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度变化具有明显的季节性特征, 冬季其质量浓度最高, 春季和秋季次之, 夏季最低。选取气温、气压、风速、相对湿度和降水量等气象因子, 利用Spearman秩相关分析研究各个气象因子对大气PM₁₀、PM_{2.5}浓度的影响。相关性分析结果表明, 与PM₁₀、PM_{2.5}浓度显著相关的气象因素存在季节性差异, 风速、相对湿度和降雨量是影响郑州城区大气颗粒物质量浓度的主要气象因子。

关键词: PM₁₀; PM_{2.5}; 浓度变化; 气象因素; Spearman相关性分析

中图分类号: X823

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2019.06.014

Variation Characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} Mass Concentrations and Their Response to Meteorological Factors in Zhengzhou City

WANG Cuilian¹, ZHANG Jun², ZHENG Yao², ZHAO Tongqian¹, LOU Yamin², ZHENG Hua³

(1. College of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. Henan Province Environmental Monitoring Centre, Zhengzhou 450000, China;

3. Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Based on the daily monitoring data of PM₁₀ and PM_{2.5} from 9 national monitoring sites in Zhengzhou City, mass concentration variation characteristics of particulate matters and the response to meteorological factors from 2013 to 2016 were investigated. The results showed that the overall situation of the air pollution was obviously improved during the period from 2013 to 2016 in Zhengzhou City, and the proportion of heavy and above pollution days in the whole year was decreasing year by year. The concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} decreased yearly. The monthly mean values of PM₁₀ and PM_{2.5} were basically the same, and the concentration changes showed a “U” type distribution. There were obvious seasonal characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} concentration in Zhengzhou City. The atmospheric particulate matter was highest in winter, the second in spring and autumn, and lowest in summer. Meteorological factors such as temperature, atmospheric pressure, wind speed, relative humidity and precipitation were chosen, and their individual effect on concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} were investigated by using Spearman rank correlation analysis. The results of correlation analysis showed that the main meteorological factors affecting concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} were different in different seasons. In general, wind speed, relative humidity and precipitation were the main meteorological factors affecting the mass concentration of atmospheric particles in Zhengzhou City.

Keywords: PM₁₀; PM_{2.5}; Concentration Changes; Meteorological Conditions; Spearman Correlation Analysis

CLC number: X823

收稿日期: 2019-03-06

作者简介: 王翠连(1992-), 女, 硕士研究生。研究方向: 大气污染防治。

通信作者: 赵同谦(1969-), 男, 博士、教授。研究方向: 环境科学、生态学。E-mail: zhaotq@hpu.edu.cn

引用格式: 王翠连, 张 军, 郑 瑶, 等. 郑州城区 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度变化特征及其对气象因子的响应[J]. 环境保护科学, 2019, 45(6): 76-83.

大气颗粒物是大气环境中化学组成最复杂且危害最大的污染物,也是我国大中型城市空气污染中的首要污染物,现已成为城市发生雾霾事件的主要原因^[1]。近年来,我国大气污染的形式日益严峻,可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})作为大气污染的重要指标,已经成为国内外学者重点关注和研究的热点问题。目前,国内学者针对大气污染特征及其污染原因进行了许多研究,主要集中在污染源排放清单的建立^[2-3]、首要污染物^[4]、污染成因^[5]、污染特征分析^[6]、环境空气质量现状评价^[7]和污染物与气象因子相关关系^[8]等方面。研究表明,大气颗粒物污染在不同地域尺度上差异显著,其中,区域污染源排放特征、气象条件等是控制大气颗粒物污染程度的重要因素^[9]。

中国环境监测总站“全国城市空气质量实施发布平台”发布的数据表明,河南省一直是全国大气污染最严重的地区之一,省会城市郑州市的空气环境质量在全国18个省辖市中位于倒数。河南省环境监测中心发布的环境质量报告显示,大气颗粒物是近年来郑州市大气污染的首要污染物。在污染源分布和排放相对稳定的情况下,颗粒物的污染状况主要取决于气象条件。开展郑州市大气颗粒物污染动态变化特征及其与气象条件的相关性研究,不仅可以为郑州城区颗粒物污染防治提供数据支撑和技术依据,也对中原经济区及其周边城市大气颗粒物污染防治和有效管控提供借鉴。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况

郑州市地处华北平原南部、黄河下游,居河南省中部偏北,黄河-海河冲积平原的中西部,介于东经112°42′~114°14′、北纬34°16′~34°58′之间,属于北温带大陆性季风气候,冷暖气团交替频繁,春、夏、秋、冬四季分明,冬季漫长而干冷,不利于污染物的扩散;春季干燥,多风少雨,冷暖多变;夏季炎热,降水高度集中,利于颗粒物的沉降;秋季气候凉爽,时间短促。郑州地区全年日照时间

约2400 h;年平均气温在14.3~14.8℃之间;全年主导风向为东北风;年降水量586.9~668.9 mm,主要集中在每年6~9月。

1.2 数据来源与方法

文章选择郑州市城区9个国控监测点位的PM₁₀、PM_{2.5}的日监测数据为研究对象,研究时段为2013~2016年共4个年度。监测点位分布情况,见图1。

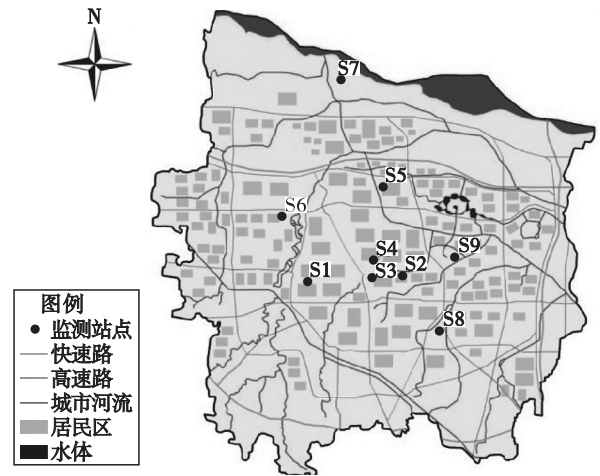


图1 郑州城区9个国控环境空气自动监测点位分布

PM₁₀、PM_{2.5}数据采用自动监测结果。监测仪器分别为美国Thermo Fisher Scientific公司生产的FH62C14和5030i,产生实时监测数据,以9个站点的日均质量浓度为基础数据。根据《环境空气质量标准:GB3095—2012》,PM₁₀日均值和年均值的二级浓度限值分别为150、70 μg/m³,PM_{2.5}日均值和年均值二级浓度限值分别为75、35 μg/m³。监测过程中的实时气象资料,包括气温、气压、湿度、降水、风速等数据,来源于河南省气象局。

处理数据主要采用统计学方法,对PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与气象因素进行Spearman相关性分析。Spearman秩相关系数是非参数性性质(与分布无关)的秩统计参数,是衡量分级定序变量之间的相关程度的统计,能有效克服Pearson相关系数只适合两个变量线性相关的强弱的缺点,Spearman秩相关系数是建立在等级基础上的,计算反映2组随机变量之间关系密切程度的统计指标^[10],研究中秩相关性系数的计算采用软件SPSS 16.0。

2 结果与讨论

2.1 2013~2016 年郑州城区大气颗粒物污染天数

2013~2016 年参与研究的数据共计 1 418 d, 其中污染超标天数共 888 d, 占总有效天数的 62%。2013 年郑州城区 1 月份共有 19 d 处于严重污染状态, 2014 年是总污染天数最低, 较 2013 年减少 35 d; 2015 年总污染天数比 2013 年减少了 6 d, 其中以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的天数较 2013 年减少 32 d, 以 PM_{10} 为首要污染物的天数增加 25 d。2016 年总污染天数较 2015 年少了 22 d, 较 2013 年减少 28 d, 其中以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的天数较 2013 年降低 90 d, 以 PM_{10} 为首要污染物的天数比 2013 年增加 20 d。

2013~2016 年郑州城区污染级别天数分布情况, 见图 2~图 5。

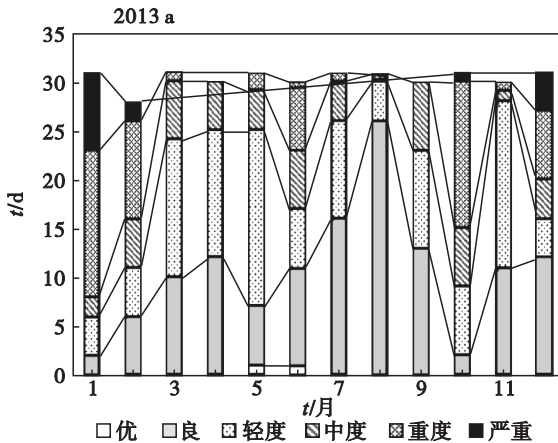


图 2 2013 年郑州城区污染级别天数分布

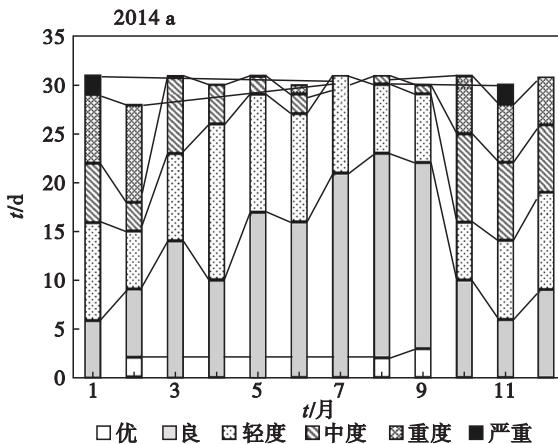


图 3 2014 年郑州城区污染级别天数分布

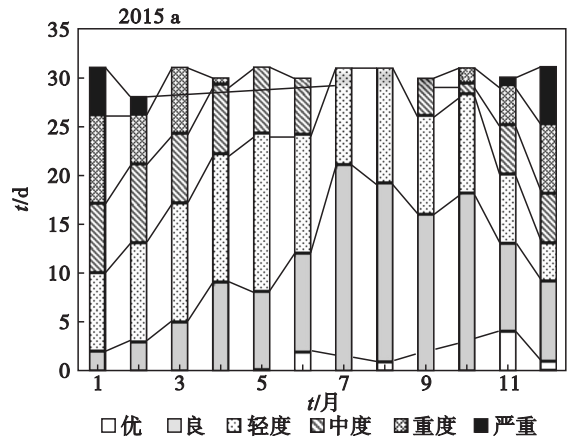


图 4 2015 年郑州城区污染级别天数分布

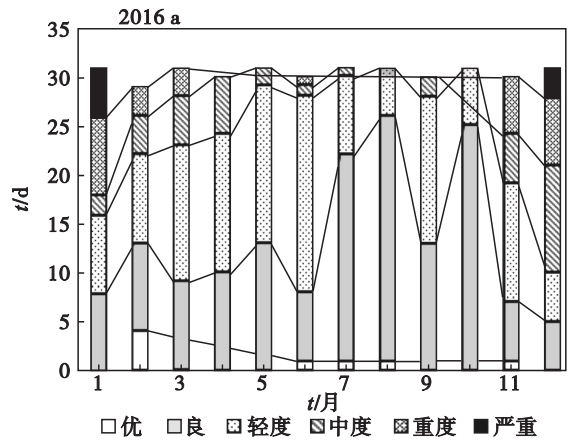


图 5 2016 年郑州城区污染级别天数分布

图 2~5 可见, 2013~2016 年优良天数分别占全年有效天数的 35.07%、44.66%、36.99%、43.45%, 中度和轻度污染天数占全年有效天数的 44.66%、44.66%、49.32%、46.72%, 重度及以上污染天数占全年有效天数的 20.27%、10.68%、13.69%、9.83%。随着年际变化优良天数所占比例缓慢增长, 且优良天气出现的天数由“单峰型”向“双峰型”转化, 10 月份优良天数的增长较为突出; 重度及以上污染天数明显减少, 且月均值分布更为集中, 2016 年高污染天气主要出现在在 1 月、2 月、12 月的供暖期。轻度和中度污染出现的天数占全年有效天数的比例明显高于其他污染程度的比例, 且年际变化不明显, 表明近几年郑州城区的大气污染治理对极端污染天气改善较为显著。

2.2 郑州城区大气颗粒物浓度时间变化特征

2.2.1 月、季变化特征 受气象条件和污染排放等多重因素的影响, 不同月份、不同季节大气颗粒

物质量浓度存在明显差异。2013~2016年郑州城区 PM_{2.5}、PM₁₀质量浓度月均值变化,见图6、7。

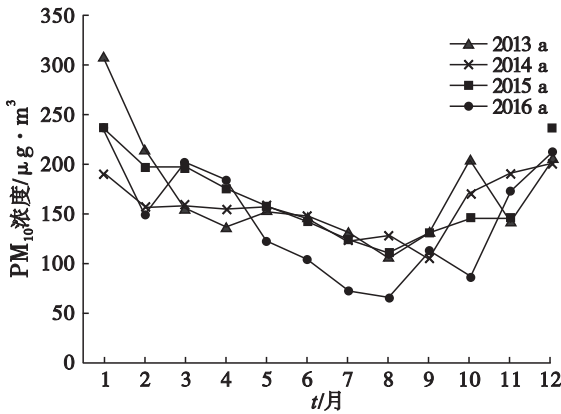


图6 2013~2016年PM₁₀质量浓度月均值变化特征

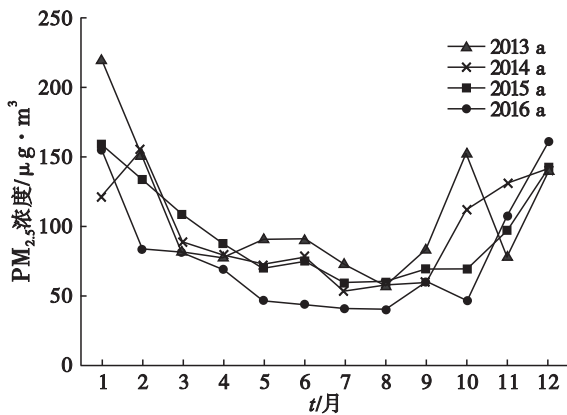


图7 2013~2016年PM_{2.5}质量浓度月均值变化特征

图6、图7可见,郑州城区大气颗粒物质量浓度月际差别显著,具有明显的季节性变化规律。2013~2016年PM₁₀、PM_{2.5}月均浓度变化均呈中间低两头高的“U”型分布,高浓度污染主要集中在11~次年2月,低值出现在7~9月。其中PM₁₀、PM_{2.5}在1月达到全年月均浓度的峰值,此后2~6月月均质量浓度逐渐下降,7~9月达到最低值,10月两者质量浓度又开始呈现上升趋势。

2013~2016年郑州城区PM_{2.5}、PM₁₀质量浓度季节变化,见图8、9。

从季节划分看,3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12~2月为冬季。研究表明,PM₁₀季节质量浓度变化是冬季>春季>秋季>夏季,PM_{2.5}季节质量浓度变化与PM₁₀略有不同,表现为冬季>秋季>春季>夏季,该结果与曹景丽^[11]等的研究结果一致。因为采暖期主要集

中在冬季,燃煤和燃油导致煤粉尘和二氧化硫排

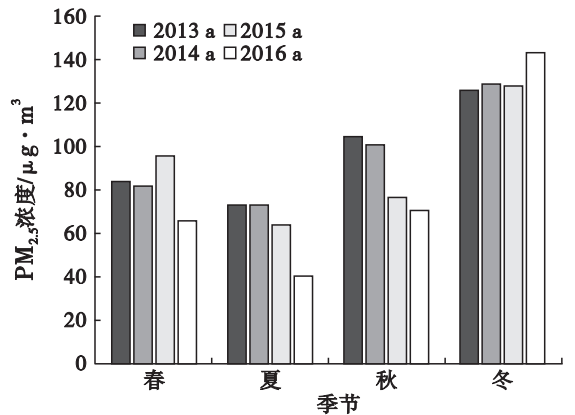


图8 2013~2016年PM_{2.5}质量浓度季节分布

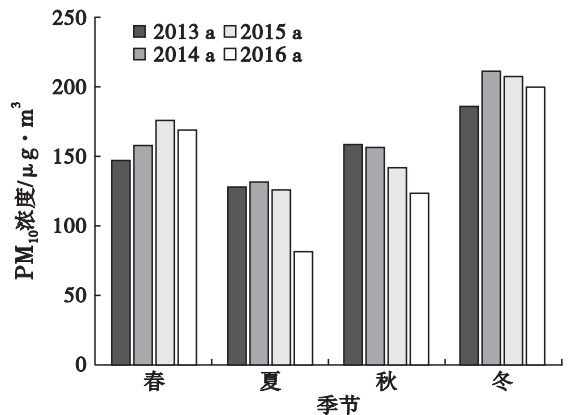


图9 2013~2016年PM₁₀质量浓度季节分布

放增长;同时郑州冬季降雨少、气温低、日照时间短,受冷空气的影响容易产生辐射逆温或低空逆温,极不利于空气中污染物扩散;此外,随着城市建设,地面摩擦系数增大,近地面污染物横向稀释缓慢,容易在城区内形成持续的高浓度污染,因此郑州城区冬季大气颗粒物污染状况最严重。春季多风,植被正处在生长期,地表覆盖较低,容易引起扬尘,多克幸的研究表明春季扬尘是郑州城区颗粒物浓度贡献最大的污染源^[12];此外,春季大气层结构相对稳定,也不利于污染物的扩散^[12],因此,春季郑州城区大气中颗粒物浓度较高。秋季随着秸秆禁燃的强制管控,大气颗粒物浓度逐年下降,但因11月中旬开始进入供暖期,污染物增加;此外,入秋以后,天气湿度大,风速小,且近地面气压渐高,大气活动趋于稳定,造成污染物长期积累不易扩散,最终导致污染天气增多^[13]。夏季雨水频繁,空气流动性强,城区主要街道辅助洒

水降尘,有效降低了扬尘污染,因而郑州城区空气质量多为轻度污染。

2.2.2 年际变化特征 2013~2016年,郑州城区大气颗粒物年均质量浓度,见表1。

表1 郑州城区大气颗粒物年均质量浓度

<i>t/a</i>	污染物	年均值 ± 标准偏差/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	最大值/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	最小值/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	超标倍数/倍
2013	PM ₁₀	169.63 ± 93.05	584	31	1.43
	PM _{2.5}	108.42 ± 73.34	452	19	2.09
2014	PM ₁₀	158.49 ± 65.32	510	17	1.26
	PM _{2.5}	90.77 ± 50.72	380	11	1.6
2015	PM ₁₀	167.22 ± 83.04	544	20	1.39
	PM _{2.5}	96.08 ± 60.48	394	11	1.74
2016	PM ₁₀	143.03 ± 91.32	692	32	1.04
	PM _{2.5}	78.19 ± 70.78	608	14	1.23

表1可知,郑州城区2013~2016年PM₁₀年均浓度均超过国家《环境空气质量标准:GB3095—2012》二级标准限值,分别超标1.43、1.26、1.39及1.04倍;PM_{2.5}分别超标2.09、1.6、1.74及1.23倍。比较而言,2016年的PM₁₀、PM_{2.5}年均浓度与2013~2015年比较均有所降低,其中PM_{2.5}浓度下降显著。2016年受厄尔尼诺影响,冬季风偏弱,冷空气不活跃,强度弱、风度小,温度明显偏高,不利于污染物扩散,但2016年大气颗粒物浓度降低,可以推断,郑州城区空气质量好转与污染减排有关。4个年度的PM₁₀和PM_{2.5}浓度标准差普遍较大,表明该区大气颗粒物的日均浓度波动显著,而PM₁₀和PM_{2.5}浓度最高值均出现在2016年,且较往年显著增加,主要原因为2016年12月下旬发生2次重污染过程,持续时间分别为4和3d,由此可见极端气象条件对颗粒物污染的影响较大。

2.3 PM₁₀与PM_{2.5}质量浓度与气象因素的相关性

气象条件对大气污染物具有扩散、稀释和累积作用。在污染物一定的条件下,温度、相对湿度、气压、风速和降水量等气象条件对PM₁₀与PM_{2.5}的污染程度有着重要影响^[13]。高温期间光化学反应产生的二次粒子增加了PM₁₀和PM_{2.5}等颗粒物的来源,从而导致其浓度升高^[14]。气压通过影响大气对流来影响大气颗粒物浓度^[13]。大

风可以通过稀释扩散和水平输送来降低大气颗粒物浓度^[15]。相对湿度能够通过吸湿增长促使核膜态粒子转化为积聚模态,造成大气颗粒物不断累积^[16]。降水主要通过惯性碰撞过程和布朗扩散作用,捕获颗粒物和气溶胶粒子,将其从大气中清除^[17]。文章通过非参数分析法,利用SPSS软件计算郑州城区PM₁₀和PM_{2.5}与温度、气压、风速、相对湿度等4个气象因素的Spearman秩相关系数,研究分析郑州城区不同季节PM₁₀和PM_{2.5}质量浓度对气象因素的相关关系。

2.3.1 大气颗粒物浓度与温度的关系 大气颗粒物质量浓度与温度的Spearman秩相关性系数,见表2。

表2 大气颗粒物质量浓度与温度(°C)的Spearman秩相关性系数

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
PM ₁₀	-0.038	-0.121	-0.004	0.148*
PM _{2.5}	-0.118	-0.192**	-0.084	0.019
PM _{2.5} /PM ₁₀	-0.149*	-0.187*	-0.302**	-0.177*

注:“*”表示2个变量之间显著相关, $P < 0.05$;“**”表示2个变量之间极显著相关, $P < 0.01$ 。

表2可知,郑州城区夏季PM_{2.5}质量浓度与温度呈极显著负相关,冬季PM₁₀质量浓度与温度呈显著正相关,春季和秋季PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与温度相关性不显著。与前人在石家庄的研究结果相似^[18]。研究结果表明郑州城区夏季气温高有

利于大气颗粒物的扩散,冬季则相反,气温越高,大气颗粒物浓度越高。温度主要通过两个方面影响大气颗粒物的浓度,一是温度越高,气体的扩散速度越快,对大气颗粒物的浓度影响越大,另一方面,气温温差大是气体对流必要的热力条件,温差越大,上升运动越强,越易导致对流的发生,从而加快颗粒物的稀释和输送^[19]。夏季 PM_{2.5}质量浓度与温度呈极显著负相关,表明夏季空气对流运动随着温度升高而明显加快,逆温现象发生的频率少,加速了污染物的扩散,从而有助于 PM_{2.5}浓度降低。冬季气温低,近地面大气形成逆温层,不利于大气颗粒物扩散,反而有利于污染物累积和二次气溶胶形成颗粒污染物,颗粒物浓度增加,因此,冬季气温越高,空气污染越严重。

2.3.2 大气颗粒物浓度与气压的关系 大气颗粒物质量浓度与气压的 Spearman 秩相关性系数,见表3。

表3 大气颗粒物质量浓度与气压(hpa)的 Spearman 秩相关性系数

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
PM ₁₀	0.037	0.014	-0.025	-0.330**
PM _{2.5}	-0.002	-0.090	0.008	-0.278**
PM _{2.5} /PM ₁₀	-0.027	-0.212**	0.133	-0.070

注:“*”表示2个变量之间显著相关, $P < 0.05$;“**”表示2个变量之间极显著相关, $P < 0.01$ 。

表3可知,郑州城区冬季 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与气压呈极显著负相关,其他季节与气压均无显著的相关性。气压是影响大气对流的重要因素,当地面受到低压控制时,四周高压气团流向中心,使中心形成上升气流,形成大风,利于污染物向上扩散,大气颗粒物浓度较低;而当地面受到高压控制,易形成下沉逆温,抑制污染物向上扩散,在稳定高压控制下,污染物积累,颗粒物浓度加剧^[20]。郭利等^[21]对北京市颗粒物污染的研究也表明,冬季颗粒物质量浓度与气压呈显著负相关,与本文研究结果相似。

2.3.3 大气颗粒物浓度与风速的关系 大气颗粒物质量浓度与风速的 Spearman 秩相关性系数,见表4。

表4 大气颗粒物质量浓度与风速的 Spearman 秩相关性系数

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
PM ₁₀	-0.173*	-0.102	-0.451**	-0.562**
PM _{2.5}	-0.393**	-0.258**	-0.480**	-0.608**
PM _{2.5} /PM ₁₀	-0.323**	-0.261**	-0.091	-0.396**

注:“*”表示2个变量之间显著相关, $P < 0.05$;“**”表示2个变量之间极显著相关, $P < 0.01$ 。

表4可知,郑州城区春季 PM₁₀质量浓度与风速呈显著负相关,秋季和冬季与风速呈极显著负相关,夏季与风速负相关性不显著;春、夏、秋、冬4个季节 PM_{2.5}质量浓度与风速呈极显著负相关。风通过物理作用影响颗粒物的传输和分布,风速越大,越有利于大气颗粒物扩散,相应浓度越低,反之,浓度越高^[22]。一方面在低风速情况下颗粒物扩散速度慢,另一方面低风速导致细颗粒物混合均匀,二次生成速率升高^[23]。研究结果表明,风速是影响郑州城区大气颗粒物浓度的主要气象因子,颗粒物浓度与风速变化趋势相反。从表4还可以看出,PM_{2.5}与风速的相关系数比 PM₁₀与风速的大,说明风速对细颗粒物质量浓度的影响比大颗粒物显著。原因可能是由于低风速时,细颗粒物二次生成速率升高所致。

2.3.4 大气颗粒物浓度与相对湿度的关系 大气颗粒物质量浓度与相对湿度的 Spearman 秩相关性系数,见表5。

表5 大气颗粒物质量浓度与相对湿度(%)的 Spearman 秩相关性系数

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
PM ₁₀	-0.034	-0.550**	0.162*	0.430**
PM _{2.5}	0.351**	-0.225**	0.160*	0.646**
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.564**	0.650**	0.771**	0.715**

注:“*”表示2个变量之间显著相关, $P < 0.05$;“**”表示2个变量之间极显著相关, $P < 0.01$ 。

表5可知,郑州城区夏季 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与相对湿度呈极显著负相关,秋季与相对湿度呈显著正相关,冬季与相对湿度呈极显著正相关;春季 PM_{2.5}质量浓度与相对湿度呈极显著正相关。有研究表明,当无降雨空气相对湿度在60%~80%以下时,颗粒物的二次生成作用较强,颗粒物

浓度与相对湿度呈正比关系;当空气相对湿度大于 80% 时,容易形成降雨,对空气中的颗粒物具有冲刷作用,颗粒物浓度与相对湿度呈反比^[24]。郑州城区夏季降雨量大,空气相对湿度高,PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与相对湿度呈极显著负相关;春秋冬季降水较少,空气湿度相对较低,PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与相对湿度呈正相关关系。湿度的增加导致颗粒物中水溶性组分和有机碳中水溶性有机碳的组分比例增加,在无降雨且相对湿度较高的条件下水溶性有机碳和元素碳的比例相应显著升高,也是冬季郑州城区因相对湿度升高而产生重雾霾的主要原因之一。四季中 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度与相对湿度均存在显著相关性,也说明相对湿度是影响郑州城区 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度的主要气象因子。

2.3.5 大气颗粒物浓度与降水量的关系 大气颗粒物质量浓度与降水量的 Spearman 秩相关性系数,见表 6。

表 6 大气颗粒物质量浓度与降水量(mm)的 Spearman 秩相关性系数

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
PM ₁₀	-0.290**	-0.304**	-0.394**	-0.124
PM _{2.5}	-0.059	-0.150*	-0.207**	-0.033
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.259**	0.349**	0.432**	0.358**

注:“*”表示 2 个变量之间显著相关, $P < 0.05$;“**”表示 2 个变量之间极显著相关, $P < 0.01$ 。

表 6 可知,郑州城区春、夏、秋季 PM₁₀质量浓度与降雨量呈极显著负相关,冬季与降雨量负相关关系不显著;秋季 PM_{2.5}质量浓度与降雨量呈极显著负相关,夏季与降雨量呈显著负相关;春、冬季与降雨量负相关关系不显著。降水通过对空气中的污染物进行清除和冲刷来降低污染物浓度。有研究表明,当大气颗粒物浓度远大于大气环境污染物背景质量浓度值时降水对污染物的清除效果很明显,但接近这个背景质量浓度值时降水对污染物的清除效果不明显^[25]。郑州城区秋季降水对大气颗粒物浓度的影响最为显著。从表 6 还可以看出,PM₁₀与降水量的相关系数比 PM_{2.5}与降水量的大,说明降水量对大颗粒物质量浓度的影

响比对细颗粒物显著。春、夏、秋 3 个季节中 PM₁₀质量浓度与相对湿度均存在极显著相关性,也说明降水量是影响郑州城区 PM₁₀质量浓度的主要气象因子。

3 结论

郑州市是我国北方雾霾污染严重区南端主要城市之一,其大气颗粒物污染具有一定的典型性和代表性。利用郑州市城区 9 个国控监测点位 PM₁₀、PM_{2.5}的日监测数据,研究了 2013 ~ 2016 年间郑州城区大气颗粒物质量浓度变化特征及其对气象因素的响应,得出以下主要结论。

(1)2013 ~ 2016 年间郑州城区环境空气污染总体状况改善趋势较为显著,重度及以上的污染天数占全年有效天数的比例逐年降低,PM₁₀、PM_{2.5}浓度逐年下降;全年 60% 以上的天数处于颗粒物污染状态,PM₁₀、PM_{2.5}年均浓度均超过环境空气质量二级标准限值;郑州城区首要污染物为 PM_{2.5},PM_{2.5}超标天数占全年有效污染天数的比例逐年下降,以 PM₁₀为首要污染物的比例则呈现逐年上升趋势。

(2)PM₁₀和 PM_{2.5}质量浓度月均值变化基本一致,浓度变化均呈“U”型分布。PM₁₀和 PM_{2.5}质量浓度变化具有明显的季节性特征,冬季其质量浓度最高,春季和秋季次之,夏季最低。2013 ~ 2016 年 PM₁₀和 PM_{2.5}质量浓度年际变化特征表明,郑州城区空气质量逐渐好转,主要源于污染源减排。

(3)PM₁₀和 PM_{2.5}对气象因素的响应程度有很大差异。其中,夏季温度与 PM_{2.5}质量浓度呈极显著负相关,冬季 PM₁₀质量浓度与温度呈显著正相关;气压仅冬季与 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度呈极显著负相关;春、夏、秋、冬 4 个季节风速与 PM_{2.5}质量浓度呈极显著负相关,春季与 PM₁₀质量浓度呈显著负相关,秋季和冬季与 PM₁₀质量浓度呈极显著负相关;相对湿度夏季与 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度呈极显著负相关,秋季与 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度呈显著正相关,冬季与 PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度呈极显著正相关,春季与 PM_{2.5}质量浓度呈极显著正相关;春、夏、秋季降雨量与 PM₁₀质量浓度呈极显著负相

关,秋季与 PM_{2.5}质量浓度呈极显著负相关,夏季与 PM_{2.5}质量浓度呈显著负相关。由此可见,与 PM₁₀、PM_{2.5}浓度显著相关的气象因素存在季节性差异,风速、相对湿度和降雨量是影响郑州城区大气颗粒物质量浓度的主要气象因子。

参考文献

- [1] 赵文慧,宫辉力,赵文吉,等.基于地统计学的北京市可吸入颗粒物时空变异性及气象因素分析[J].环境科学学报,2010,30(11):2154-2163.
- [2] 李瑞芄,吴琳,毛洪钧,等.廊坊市主要大气污染源排放清单的建立[J].环境科学学报,2016,36(10):3527-3534.
- [3] MORÁN M, FERREIRA J, MARTINS H, et al. Ammonia agriculture emissions: from EMEP to a high resolution inventory[J]. Atmospheric Pollution Research, 2016, 7(5): 786-798.
- [5] 侯亚明.郑州市城区环境空气污染特征分析[J].河南科学,2004,22(2):273-276.
- [6] 王丛梅,杨永胜,李永占,等.2013年1月河北省中南部严重污染的气象条件及成因分析[J].环境科学研究,2013,26(7):695-702.
- [7] 王向锋,黄战胜.2014年宝鸡市大气颗粒物时空分布特征分析[J].环境保护科学,2016,42(1):100-103.
- [8] 周凯,王智芳,曹妮,等.郑州市大气环境质量的评价[J].河南科技学院学报(自然科学版),2013,41(2):46-50.
- [9] 王芳芳,何丽,魏勇.基于GIS的乌鲁木齐PM₁₀时空分布与气象因素分析[J].环境保护科学,2014,40(3):32-35.
- [10] 王嫣然,张学霞,赵静瑶,等.北京地区不同季节PM_{2.5}和PM₁₀浓度对地面气象因素的响应[J].中国环境监测,2017,33(2):34-41.
- [11] 曹景丽,王明仕,韩文生,等.河南省PM_{2.5}时空分布特征研究[J].大气与环境光学学报,2018,13(1):42-51.
- [12] 多克辛.大气灰霾成因与防治对策[M].北京:中国环境出版社,2016.
- [13] 尹延震,王苗,王静远,等.南阳市PM₁₀、PM_{2.5}污染特征及其与气象因子的关系[J].干旱环境监测,2018,32(1):12-18.
- [14] 唐孝炎.大气环境化学[M].北京:高等教育出版社,1990.
- [15] 吴兑.近十年中国灰霾天气研究综述[J].环境科学学报,2012,32(2):257-269.
- [16] 宋明,韩素芹,张敏,等.津大气能见度与相对湿度和PM₁₀及PM_{2.5}的关系[J].气象与环境学报,2013,39(2):34-41.
- [17] HAN L J, ZHOU W Q, LIU F, et al. Impact of urbanization level on urban air quality: A case of fine particles (PM_{2.5}) in Chinese cities[J]. Environmental Pollution, 2014, 194: 163-170.
- [18] LI H, GUO B, HAN M F, et al. Particulate matters pollution characteristic and the correlation between PM (PM_{2.5}, PM₁₀) and meteorological factors during the summer in Shijiazhuang[J]. Journal of Environmental Protection, 2015, 6(1): 457-463.
- [19] ZHANG E Z, YANG Y L, DONG X Y, et al. Analysis of meteorological causes of serious air pollution in Xingtai City based on inversion layer[J]. Meteorological and Environmental Research, 2015(7): 5-9.
- [20] 慕彩芸,屠月青,冯瑶.气象因子对哈密市大气可吸入颗粒物浓度的影响分析[J].气象与环境科学,2011,34(S1):75-79.
- [21] 郭利,张艳昆,刘树华,等.北京地区PM₁₀质量浓度与边界层气象要素相关性分析[J].北京大学学报(自然科学版),2011,47(4):607-612.
- [22] HAN L J, ZHOU W Q, LI W F, et al. Meteorological and urban landscape factors on severe air pollution in Beijing[J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 2015, 65(7): 782-787.
- [23] TAO M H, CHEN L F, SU L, et al. Satellite observation of regional haze pollution over the North China Plain[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2012, 117(D12): 12203.
- [24] 张淑平,韩立建,周伟奇,等.冬季PM_{2.5}的气象影响因素解析[J].生态学报,2016,36(24):7897-7907.
- [25] 赵敬国,王式功,王嘉媛,等.兰州市空气污染与气象条件关系分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2013,49(4):491-496.