

高碑店市夏季和冬季空气污染物的对比研究

王双兵 黄北荣

河北省保定市高碑店市气象局

DOI:10.32629/eep.v9i7.3260

[摘要] 大气中的空气污染物一般是由痕量气体(CO、O₃、SO₂和NO₂)和颗粒污染(PM_{2.5}和PM₁₀)混合构成。论文围绕太行山东部空气污染问题严峻的高碑店市进行研究,对该市2021–2025年间夏季和冬季空气污染物浓度开展深入对比研究。研究结果表明,造成高碑店市空气污染的污染物夏季主要以O₃为主,冬季以颗粒污染物PM₁₀为主。此外,经过线性拟合的r值判断,高碑店市AQI夏季主要与O₃相关联,关联系数为0.99,冬季主要与PM_{2.5}、PM₁₀相关联,关联系数在0.92–0.94之间。同时通过对Pearson相关系数的计算,主要空气污染物O₃、PM₁₀的浓度与最高温度、相对湿度、风速等气象要素也存在很大的相关性。

[关键词] 空气污染物; 线性拟合; 气象要素; Pearson相关系数; 相关性分析

中图分类号: X511 文献标识码: A

Comparative study on air pollutants in summer and winter in Gaobeidian

Shuangbing Wang Beirong Huang

Gaobeidian Meteorological Bureau, Baoding City, Hebei Province

[Abstract] air pollutants in the atmosphere are generally composed of trace gases (CO, O₃, SO₂ and NO₂) and particulate pollution (PM_{2.5} and PM₁₀). This paper focuses on Gaobeidian City, which has serious air pollution problems in the eastern part of Taihang Mountains, and conducts an in-depth comparative study on the concentration of air pollutants in summer and winter in the city from 2021 to 2025. The results show that the main pollutant causing air pollution in Gaobeidian is O₃ in summer and PM₁₀ in winter. In addition, according to the R value of linear fitting, the AQI in Gaobeidian City is mainly associated with O₃ in summer, with a correlation coefficient of 0.99, and PM_{2.5} and PM₁₀ in winter, with a correlation coefficient of 0.92–0.94. At the same time, through the calculation of Pearson correlation coefficient, the concentrations of the main air pollutants O₃ and PM₁₀ also have a great correlation with the maximum temperature, relative humidity, wind speed and other meteorological elements.

[Key words] air pollutants; Linear fitting; Meteorological elements; Pearson correlation coefficient; correlation analysis

1 引言

高碑店市地处北太行山东部山脚平原地区,受北侧燕山山脉和西侧太行山脉、平原地形的共同影响,空气污染物扩散缓慢。其所在的河北省保定市也常年处于全国空气污染排行倒数地区,大气污染治理工作形势严峻。

空气污染物分为痕量气体和颗粒污染物两种。痕量气体主要有CO、O₃、SO₂和NO₂等,当氮氧化物和碳氢化合物超标后会产生光化学烟雾。颗粒污染物是指空气中悬浮着的离子直径在0.1–100 μm固态和液态颗粒,有些直径较大的微粒可以直接被肉眼观测到,如烟尘、粉尘等。

空气质量的判断主要通过AQI指数与我国环保部门所制定的《环境空气质量标准》(GB 3095–2012)两者综合判断得出。

AQI指数是用来衡量当地空气污染状况的指标,根据AQI指数由小到大可以将空气质量划分为优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染六级。根据《环境空气质量标准》(之后称为《标准》代替)中造成空气污染的六种主要污染物标准(见表1)进行研究,统计其浓度超标天数情况结合当地AQI指数综合分析,可以判断污染主体和污染情况。

2 资料数据

本次通过选取高碑店市2021–2025年夏季和冬季空气污染物数据进行对比研究。在统计的911天当中,夏季和冬季的空气质量状况有所不同(见表2)。总体上高碑店市夏季和冬季空气质量等级均以良为主,冬季出现高污染天气的频率高于夏季,其中在2022年和2023年冬季均出现严重污染等级。

表 1 环境空气污染物标准

污染物项目	选取时间	浓度限值		单位
		一级	二级	
二氧化硫(SO ₂)	年平均	20	60	μg/m ³
	24 小时平均	50	150	
	1 小时平均	150	500	
二氧化氮(NO ₂)	年平均	40	40	
	24 小时平均	80	80	
	1 小时平均	200	200	
一氧化碳(CO)	24 小时平均	4	4	mg/m ³
	1 小时平均	10	10	
臭氧(O ₃)	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m ³
	1 小时平均	160	200	
粒径小于 10 μm 颗粒物(PM ₁₀)	年平均	40	70	
	24 小时平均	50	150	
粒径小于 2.5 μm 颗粒物(PM _{2.5})	年平均	15	35	
	24 小时平均	35	75	

表 2 2021-2025 年高碑店市空气质量等级频次统计(天)

年份	空气质量等级											
	优		良		轻度污染		中度污染		重度污染		严重污染	
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
2021	10	15	44	53	32	14	5	5	1	3	0	0
2022	9	12	45	56	27	12	9	6	2	3	0	1
2023	9	7	41	56	30	14	10	11	2	2	0	1
2024	4	19	51	56	26	13	9	0	2	2	0	0
2025	7	9	58	51	18	20	8	9	1	1	0	0
合计	39	62	239	272	133	73	41	31	8	11	0	2

表 3 2021-2025 年高碑店市六种空气污染物不达标天数

年份	空气污染物												不达标率
	夏季						冬季						
	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	CO	SO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	NQ	CO	SO ₂	O ₃	
2021	0	0	0	0	0	38	21	9	1	0	0	0	32.97%
2022	0	0	0	0	0	38	21	12	1	0	0	0	32.97%
2023	0	0	0	0	0	42	28	11	2	0	0	0	38.25%
2024	0	1	0	0	0	36	15	3	0	0	0	0	28.57%
2025	0	0	0	0	0	27	29	16	0	0	0	0	26.37%
合计	0	1	0	0	0	181	114	51	4	0	0	0	31.83%

按照我国的《标准》所规定的各类污空气污染物浓度超标标准(见表1),对于高碑店市而言,夏季主要的空气污染物为 O_3 ,冬季主要为颗粒污染物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 两种,同时也存在 NO_2 超标的现象(表3)。

3 数据分析结果

3.1 主要空气污染物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 与AQI指数相关性分析

根据上述资料分析可以得出,造成高碑店市空气污染的主要空气污染物为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 ,研究将选取这四种空气污染物按照不达标的季节分布特征着重研究其与AQI指数的相关性(见图1)。拟合的可决系数 r 越接近1拟合效果越好,证明污染物浓度与AQI指数相关性越强。

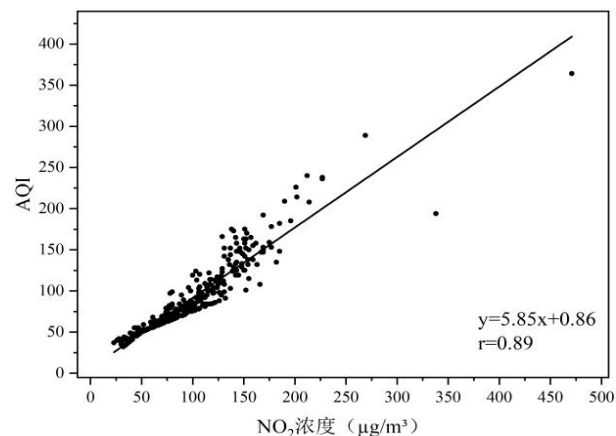
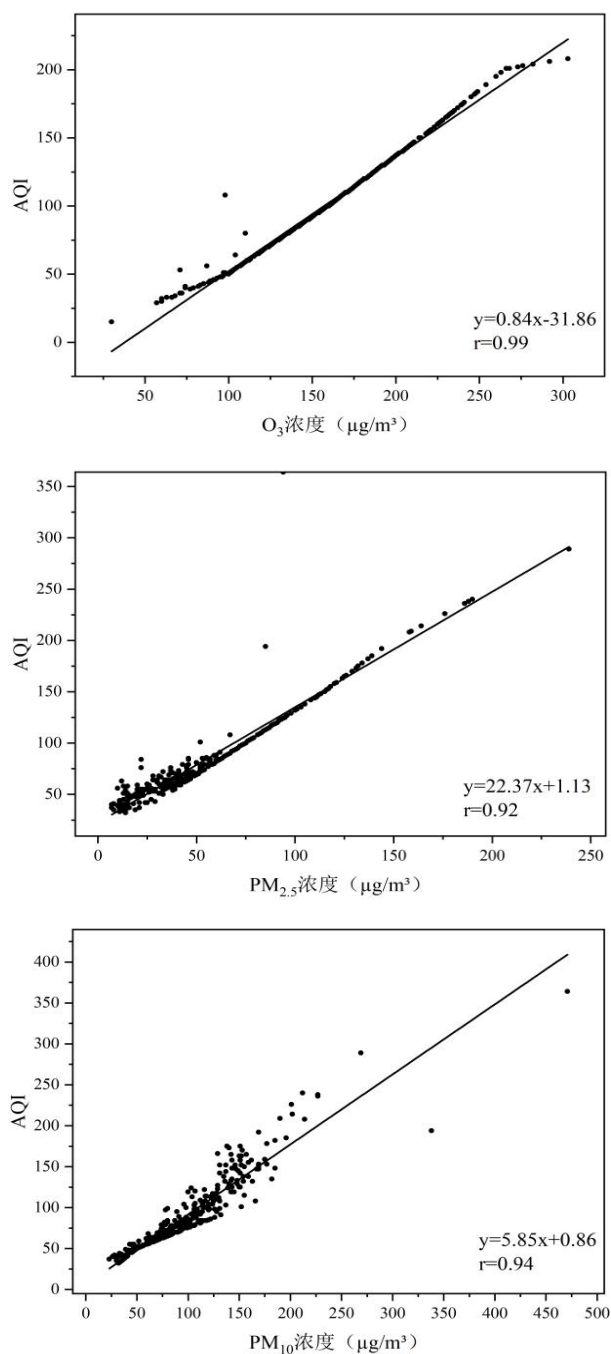


图1 高碑店市夏季 O_3 和冬季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 和空气污染物浓度分别与AQI的相关性

从上述拟合结果(见图1)可知,夏季AQI指数与 O_3 浓度的拟合系数 r 达到了0.99,可以判断,高碑店市夏季AQI污染指数与 O_3 浓度有着绝对的正相关。冬季AQI指数与 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 浓度的拟合系数 r 分别为0.92、0.94、0.89,由此可知,冬季AQI污染指数主要受颗粒污染 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度的影响。

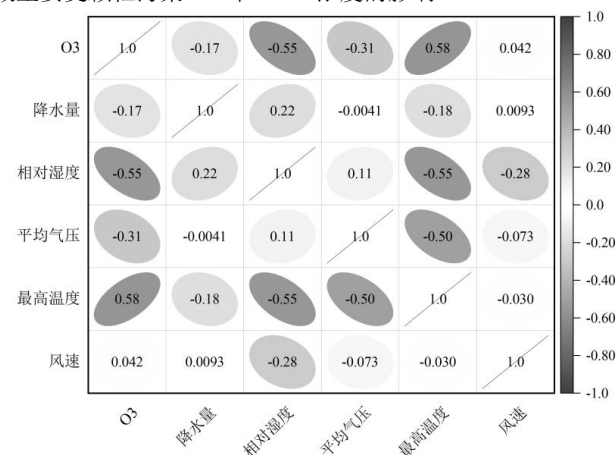


图2 夏季 O_3 浓度超标时气象要素与 O_3 浓度Pearson相关系数

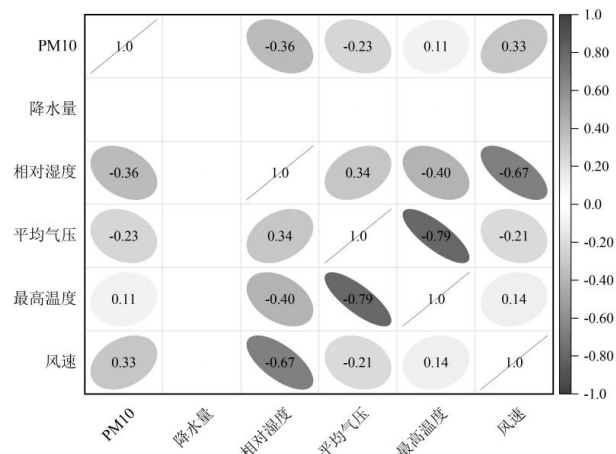


图3 冬季 PM_{10} 浓度超标时气象要素与 PM_{10} 浓度Pearson相关系数

3. 2污染物和气象要素的相关性分析

高碑店市夏季和冬季造成大气污染的污染物种类有着明显的区别,在样本采集过程中发现,空气质量等级为“优”的日期普遍出现降水、大风等天气过程,因此推断空气污染物的浓度与气象要素存在较大关联。相关资料显示,PM_{2.5}与PM₁₀污染基本同源且浓度的增减呈现出一致性^{[1][2]},因此接下来将选取与AQI指数相关性更大的PM₁₀浓度为冬季颗粒污染物代表和夏季主要空气污染物O₃浓度进行气象要素与空气污染物超标时的相关性分析研究。

如图2所示,当夏季主要空气污染物O₃浓度超标时,O₃浓度与最高温度呈现出较强的正相关性,Pearson相关系数为0.58,这表明当O₃浓度超标时,最高温度越高O₃浓度越高;而O₃浓度超标时,O₃浓度与相对湿度呈现出较强的负相关性,Pearson相关系数为-0.55,这表明当O₃浓度超标时,相对湿度越大O₃浓度越低。如图3所示,当冬季主要空气污染物PM₁₀浓度超标时,PM₁₀浓度与风速呈现出较强正相关,Pearson相关系数分别为0.33,表明当PM₁₀浓度超标时,风速越大PM₁₀浓度越高;当PM₁₀浓度超标时,PM₁₀浓度与相对湿度呈现出较强的负相关性,Pearson相关系数为-0.36,这表明当PM₁₀浓度超标时,相对湿度越大PM₁₀浓度越低。

4 总结与讨论

本次研究根据岳推、邱家欣^[3]和Filonchik Mikalai、闫浩文^[4]等人对空气污染物时空分布的研究方法,结合自身的研究内容模拟出适合高碑店市夏季和冬季污染物对比的适宜研究方法。本次研究最终得到高碑店市呈现出夏季污染程度低,冬季污

染程度高的规律。高碑店市夏季的主要空气污染物为O₃,其造成夏季污染的原因是夏季温度偏高有利于O₃的生成,但当相对湿度较大时,受大气中水分子凝结物的折射、反射及热量吸收的影响,O₃的生成受到抑制。冬季空气污染物主要为PM_{2.5}、PM₁₀等颗粒污染物,同时也存在少量NO₂超标的天气出现,造成冬季污染的主要原因是外来风将颗粒污染物带入高碑店市,而相对湿度较大时,湿润的空气有效吸附并沉降大气中的颗粒污染物,因此起到抑制冬季大气污染的效果。

[参考文献]

- [1]王涛,邵田田.2017年上海市PM_{2.5}和PM₁₀变化特征及来源分析[J].河南科学,2018,36(11):1752-1758.
- [2]刘可可.合肥市重污染天气PM_{2.5}和PM₁₀组成特征及来源分析[D].中国科学技术大学,2020.
- [3]Yue T,Jiaxin Q,Ju W,et al.Analysis of Spatio-Temporal Variation Characteristics of Main Air Pollutants in Shijiazhuang City[J].Sustainability,2021,13(2):941-941.
- [4]Mikalai F,Haowen Y,Volha H.Temporal-spatial variations of air pollutants in Lanzhou,Gansu Province,China, during the spring-summer periods,2014-2016[J].Environmental Quality Management,2017,26(4):65-74.

作者简介:

王双兵(2000--),女,河北保定市人,大学本科,助理工程师,从事大气科学研究。

黄北荣(1972--),女,湖南长沙市人,大专,技术员,从事地面气象观测研究。