

范佳文,谭丽静,王文武,等. 丹东市大气颗粒物质量浓度变化特征及其与气象要素的关系[J]. 陕西气象,2020(3):20-25.
文章编号:1006-4354(2020)03-0020-06

丹东市大气颗粒物质量浓度变化特征及其与气象要素的关系

范佳文¹,谭丽静²,王文武²,樊希彬²,单璐璐²,马云龙²

(1. 丹东市人工影响天气办公室,辽宁丹东 118000;2. 丹东市气象局,辽宁丹东 118000)

摘要:利用2008—2017年大气颗粒物质量浓度资料和逐日地面气象观测资料,统计分析了丹东市大气颗粒物质量浓度时间变化特征及其与气象要素的关系。结果表明:2008—2017年丹东市大气颗粒物质量浓度年际变化具有一定的波动性,其中2015—2017年大气颗粒物污染状况持续改善明显;质量浓度月和季节变化特征明显,1月和12月最高、7月最低,冬季最高、夏季最低,非汛期显著高于汛期,供暖期显著高于非供暖期;非汛期大气颗粒物质量浓度超标日相较达标日,气温和能见度偏低,降水偏少,风速偏小;非汛期 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度与相对湿度呈显著正相关,与风速呈显著负相关,汛期 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度与风速呈显著负相关; $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度春、秋、冬季与风速的负相关性最显著,冬季与相对湿度的正相关性也十分显著。

关键词:大气颗粒物;质量浓度;变化特征;气象要素

中图分类号:X16

文献标识码:A

随着大气污染防治工作的推进,我国大气颗粒物污染问题有所减轻,但大气颗粒物污染依旧影响着绝大多数城市,对人民的身体健康和日常生活造成一定影响^[1-2]。近年来关于大气颗粒物的研究主要集中在京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等经济发达地区^[3-5],而辽宁地区大气颗粒物的研究则多集中于以重工业为主的辽宁中部城市群^[6-8]。丹东市位于辽宁省东南部,是著名的旅游城市,良好的空气质量对发展旅游业十分重要。少数学者^[9-11]对丹东大气颗粒物污染的特征、来源和危害,与能见度的关系等方面进行了一定研究,但研究资料有限,缺乏年际变化特征分析。此外,有不少研究对大气颗粒物质量浓度与气象要素的关系进行了一定的探讨^[8,12-14],但针对丹东地区的相关研究仍处于空白。本文通过分析丹东市大气颗粒物质量浓度的时间变化特征及其与气象要素的关系,为今后丹东市持续改善空气质量提供一定理论依据。

1 资料与方法

所使用的气象资料为2008—2017年逐日地面气象观测资料,来自丹东国家基本气象站;所使用的2008—2017年大气颗粒物质量浓度资料来自丹东中韩沙尘暴监测站,观测仪器为GRIMM180颗粒物监测仪,原始数据资料为5 min间隔的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度观测数据,原始数据资料经过筛选,去除仪器异常或检修造成的异常或不可用的部分数据,剩余数据资料通过算术平均转换为日均值数据,以供进一步统计分析。

大气颗粒物质量浓度限值的分级标准参照《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)^[15],具体见表1。

根据东北气候特征,定义春季为3—5月,夏季为6—8月,秋季为9—11月,冬季为12月—次年2月;汛期为6—9月,非汛期为10月—次年5月;供暖期为11月—次年3月,非供暖期为4—10月。

收稿日期:2020-01-04

作者简介:范佳文(1988—),男,满族,辽宁丹东人,学士,助理工程师,主要从事应用气象研究。

表 1 大气颗粒物质量浓度限值

污染物	平均时间	质量浓度限值/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		一级	二级
PM ₁₀	年	40	70
	24 h	50	150
PM _{2.5}	年	15	35
	24 h	35	75

2 大气颗粒物质量浓度时间变化特征

2.1 年际变化

由图 1 可得,2008—2017 年丹东市大气颗粒物质量浓度年际变化具有一定的波动性,PM₁₀ 质量浓度最高值出现在 2009 年,为 88.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,PM_{2.5} 和 PM₁ 质量浓度最高值均出现在 2015 年,分别为 60.4、54.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;PM₁₀ 质量浓度次高值出现在 2015 年,PM_{2.5} 和 PM₁ 次高值出现在 2009 年;PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁ 质量浓度最低值均出现在 2017 年,分别为 52.4、33.3、29.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2008—2017 年 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 质量浓度比值(以下简称为 PM_{2.5}/PM₁₀)的平均值为 67.1%,说明丹东市大气颗粒物中细颗粒物比例较大;PM_{2.5}/PM₁₀ 最高值、最低值分别出现在 2008、2010 年,分别为 74.9%、53.1%。此外,2015—2017 年大气颗粒物质量浓度持续降低,PM_{2.5}/PM₁₀ 也同步降低,与 2015 年相比,2017 年 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁ 质量浓度分别下降了 33.0、27.1、24.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,降幅分别为 38.6%、44.9%、45.4%。

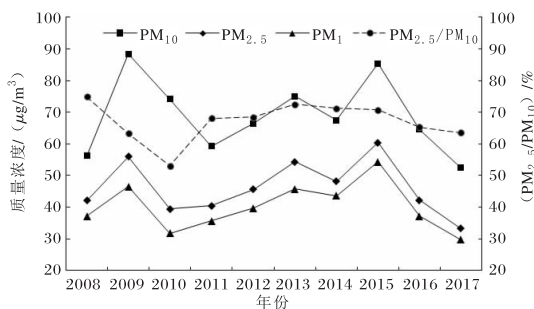


图 1 2008—2017 年丹东市大气颗粒物质量浓度年际变化

根据表 1 中年均质量浓度限值,2009、2010、2013、2015 年 PM₁₀ 年均质量浓度超标,其余年份

均达到二级标准;2017 年 PM_{2.5} 年均质量浓度达到二级标准,其余年份均超标。2015—2017 年丹东市大气颗粒物年均质量浓度达标情况逐年改善。

由表 2 可得出,2008—2017 年 PM₁₀、PM_{2.5} 达到一级标准平均日数分别为 117、128 d,除 2008、2014 年外,其余年份 PM₁₀ 达到一级标准日数均少于 PM_{2.5}。2015 年 PM₁₀、PM_{2.5} 达到一级标准日数最少,分别为 47、57 d,2009 年、2013 年较少,且这 3 年 PM_{2.5} 超标日数最多。2015—2017 年 PM₁₀、PM_{2.5} 达到一级标准日数持续增加,2017 年达到最大值,分别为 192、215 d,且相比 2015 年,PM₁₀、PM_{2.5} 达到一级标准日数分别增加了 145、158 d,增幅分别为 309%、277%。

从达标率(指达到二级标准及以上的天数占全年统计日数的比率)来看,2008—2017 年 PM₁₀、PM_{2.5} 平均达标率分别为 96.5%、88%,除 2010 年外,其余年份 PM₁₀ 达标率均高于 PM_{2.5}。PM₁₀ 达标率最高、最低年份分别是 2008 年和 2010 年,PM_{2.5} 达标率最高、最低年份分别是 2017 年和 2015 年。2015—2017 年 PM₁₀、PM_{2.5} 达标率均呈上升趋势。

综上所述,2009、2013、2015 年丹东市大气颗粒物污染情况较为严重,2015—2017 年污染状况持续改善,其主要原因在于,自 2015 年起丹东市政府逐步加强大气环境整治力度,实施燃煤锅炉淘汰、加强重点工业源监管、加强秸秆禁烧管控、机动车污染防治等多项举措。此外,2008—2017 年丹东市 PM₁₀ 质量浓度与 PM_{2.5} 相比,总体上达标情况更好,但达到一级标准日数略少。

2.2 月、季变化

由图 2、图 3(见第 23 页)可见:丹东市大气颗粒物质量浓度具有明显的月和季节变化特征。大气颗粒物质量浓度 1 月和 12 月最高,7 月最低;冬季最高,夏季最低,春季和秋季基本持平;非汛期显著高于汛期;供暖期显著高于非供暖期。另外,PM_{2.5}/PM₁₀ 也具有一定的季节特征,主要表现为夏季最高,春季最低,汛期显著高于非汛期。上述特征的主要原因可能是汛期(含夏季)降水多,对大气颗粒物尤其是粗颗粒物有较好地清除

表 2 2008—2017 年丹东市大气颗粒物质量浓度达标情况

年份	PM ₁₀ 质量浓度不同等级日数/d			达标率/%	PM _{2.5} 质量浓度不同等级日数/d			达标率/%
	一级标准	二级标准	超标		一级标准	二级标准	超标	
2008	149	166	1	99.7	137	152	27	91.5
2009	60	197	22	92.1	60	161	58	79.2
2010	160	167	38	89.6	188	150	27	92.6
2011	135	199	2	99.4	152	165	19	94.3
2012	115	223	6	98.3	131	178	35	89.8
2013	83	217	10	96.8	90	162	58	81.3
2014	112	203	10	96.9	107	169	49	84.9
2015	47	206	10	96.2	57	138	68	74.1
2016	120	174	10	96.7	142	135	27	91.1
2017	192	148	2	99.4	215	114	13	96.2

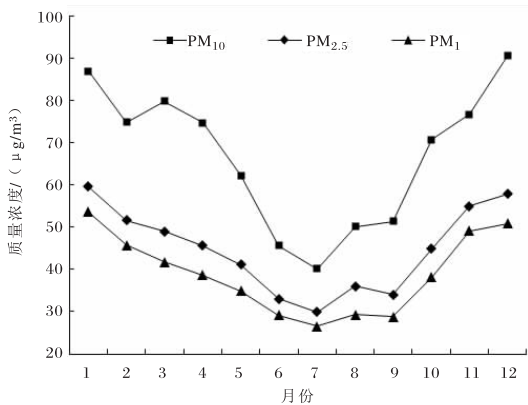


图 2 2008—2017 年丹东市大气颗粒物平均质量浓度月变化

作用,而供暖期(含冬季)煤炭消耗量增加,排放的烟尘等污染物直接导致大气颗粒物浓度整体显著增加^[16]。

由表 3 可得,全年各月 PM₁₀、PM_{2.5} 达到一级标准日数总体先升后降,最多均在 7 月,分别为 177、165 d,最少均在 1 月,分别为 50、55 d;PM₁₀、PM_{2.5} 达到二级标准日数总体先降后升,最多分别出现在 1 月和 12 月,为 227、173 d,最少均在 7 月,分别为 67、74 d;PM₁₀、PM_{2.5} 超标日数最多分别在 1 月和 12 月,为 24、78 d,PM₁₀ 超标日数最少在 6、7 月,均为 0 d,PM_{2.5} 超标日数最少、次少分别出现在 6、7 月。上述分析进一步说明丹东市大气颗粒物质量浓度总体状况 7 月最优,12 月—次年 1 月最差。

3 非汛期大气颗粒物质量浓度超标与达标时期的气象条件对比

从表 3 可以看出 PM₁₀、PM_{2.5} 超标日主要集中在非汛期,考虑到汛期超标日数较少,统计意义不大,故仅将非汛期内大气颗粒物质量浓度超标时期气象条件与达标时期的同类气象条件进行对比。由表 4 可得,非汛期 PM₁₀ 超标日与达标日相比,日均气温降低了 3 ℃,日均降水量减少了 0.5 mm,地面 10 m 日均风速减小了 0.3 m/s,日均最小水平能见度减小了 2 268 m;非汛期 PM_{2.5} 超标日与达标日相比,日均气温降低了 2.8 ℃,日均相对湿度增加了 9.7%,日均降水量减少了 1.0 mm,日均风速减小了 0.9 m/s,日均最小水平能见度减小了 3 988 m。分析表明,非汛期大气颗粒物超标日与达标日相比,日均气温和最小水平能见度明显偏低,日均降水量偏少、风速偏小。这是因为:气温偏低时,气层相对稳定,不利于颗粒物的稀释扩散,导致颗粒物积累质量浓度上升而超标;降水偏少,其对颗粒物的清除作用降低;风是大气污染物扩散的主要动力,风速偏小时,同样不利于颗粒物扩散;而超标日颗粒物质量浓度较高,其产生的消光效应加剧,导致能见度偏低。此外,非汛期 PM_{2.5} 超标日与达标日相比,相对湿度明显偏高,这是由于相对湿度高时,空气中水汽充足,水汽易吸附细颗粒物从而导致其质量浓度升高。

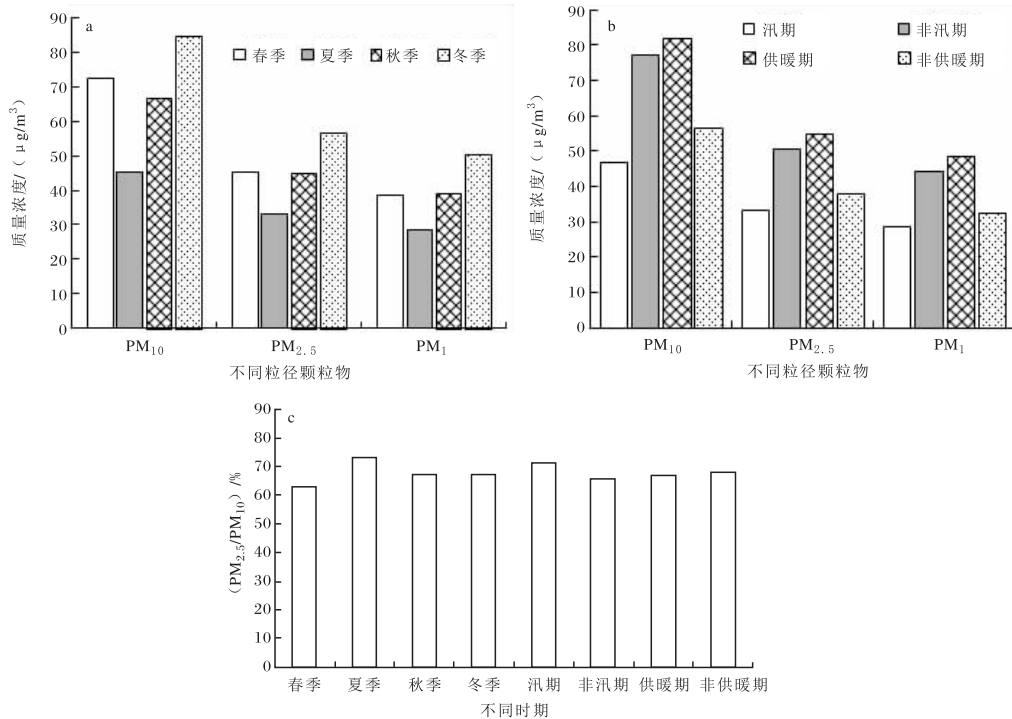
图3 丹东市大气颗粒物四季(a)、特定时期(b)质量浓度对比及不同时期 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ (c)变化特征

表3 2008—2017年丹东市逐月大气颗粒物质量浓度达标情况

月份	PM_{10} 质量浓度不同等级日数/d			$\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度不同等级日数/d			$(\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10})/\%$
	一级标准	二级标准	超标	一级标准	二级标准	超标	
1	50	227	21	55	165	78	68.6
2	62	216	5	80	165	38	68.9
3	80	199	22	97	165	39	61.3
4	72	186	19	89	159	29	61.1
5	112	170	2	125	146	13	66.2
6	160	81	0	151	89	1	72.7
7	177	67	0	165	74	5	74.5
8	155	96	5	158	79	19	71.9
9	109	93	2	121	78	5	66.1
10	68	163	6	93	120	24	63.6
11	70	177	5	81	111	60	71.6
12	58	225	24	64	173	70	63.9

表4 2008—2017年丹东市非汛期大气颗粒物质量浓度超标与达标时期气象要素日均统计值

污染物	达标情况	出现日数/d	气温/ $^{\circ}\text{C}$	相对温度/ $\%$	降水量/mm	风速/(m/s)	最小水平能见度/m
PM_{10}	超标	104	-0.1	61.0	0.8	2.6	8 284
	达标	2 135	2.9	62.1	1.3	2.9	10 552
$\text{PM}_{2.5}$	超标	351	0.4	70.2	0.4	2.1	7 087
	达标	1 888	3.2	60.5	1.4	3.0	11 075

4 大气颗粒物质量浓度与气象要素的相关性分析

由表 5 可知,非汛期 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度与相对湿度呈显著正相关,相关系数分别为 0.267, 0.297;与风速呈显著负相关,相关系数分别为 -0.409 , -0.436 。非汛期气温、相对湿度、降水、风速与 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度的相关性均明显好于 PM_{10} 。表明非汛期气温、相对湿度、降水、风速

对细颗粒物质量浓度影响更显著,且粒径越小越显著。其中相对湿度、风速对细颗粒物质量浓度影响尤为显著,反映出非汛期内与气温相关的动力扩散作用和降水的清除作用对颗粒物质量浓度影响较小,而空气中水汽对颗粒物的吸附作用和风的扩散作用对颗粒物尤其是细颗粒物质量浓度影响较大。

表 5 丹东市不同时期大气颗粒物质量浓度与气象要素的相关系数

时期	颗粒物	气温	相对湿度	降水量	风速
春季	PM_{10}	-0.133^{**}	-0.123^{**}	-0.143^{**}	-0.078^*
	$PM_{2.5}$	-0.077^*	0.129^{**}	-0.179^{**}	-0.315^{**}
	PM_1	-0.072^*	0.181^{**}	-0.178^{**}	-0.357^{**}
夏季	PM_{10}	0.047	-0.016	-0.142^{**}	-0.152^{**}
	$PM_{2.5}$	0.051	0.101^{**}	-0.104^{**}	-0.168^{**}
	PM_1	0.030	0.099^{**}	-0.155^{**}	-0.198^{**}
秋季	PM_{10}	-0.202^{**}	0.075	-0.188^{**}	-0.265^{**}
	$PM_{2.5}$	-0.222^{**}	0.236^{**}	-0.141^{**}	-0.338^{**}
	PM_1	-0.234^{**}	0.259^{**}	-0.125^{**}	-0.333^{**}
冬季	PM_{10}	-0.079^*	0.149^{**}	-0.037	-0.235^{**}
	$PM_{2.5}$	0.070^*	0.464^{**}	-0.030	-0.523^{**}
	PM_1	0.095^{**}	0.503^{**}	-0.035	-0.572^{**}
汛期	PM_{10}	0.001	-0.008	-0.152^{**}	-0.165^{**}
	$PM_{2.5}$	0.054	0.145^{**}	-0.105^{**}	-0.213^{**}
	PM_1	0.052	0.171^{**}	-0.144^{**}	-0.257^{**}
非汛期	PM_{10}	-0.138^{**}	0.028	-0.123^{**}	-0.191^{**}
	$PM_{2.5}$	-0.154^{**}	0.267^{**}	-0.145^{**}	-0.409^{**}
	PM_1	-0.172^{**}	0.297^{**}	-0.144^{**}	-0.436^{**}

注: ** 为通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验(双尾); * 为通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验(双尾)。

汛期 $PM_{2.5}$ 、 PM_1 质量浓度与风速呈显著负相关,相关性明显好于 PM_{10} ,说明汛期风速对细颗粒物质量浓度影响更显著。汛期 PM_{10} 质量浓度与降水量的负相关性好于 $PM_{2.5}$ 、 PM_1 ,说明汛期降水对粗颗粒物的清除作用更强,也进一步解释了汛期 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 高于非汛期的特征。

从四季来看,春季、秋季大气颗粒物质量浓度与气温、降水量、风速均呈不同程度负相关,其中 $PM_{2.5}$ 、 PM_1 质量浓度与风速的相关性最为显著,相关系数春季分别为 -0.315 , -0.357 ,秋季分别

为 -0.338 , -0.333 ,说明春、秋两季风的扩散作用对细颗粒物质量浓度影响十分显著。冬季大气颗粒物质量浓度与相对湿度呈显著正相关,与风速呈显著负相关,其中 $PM_{2.5}$ 、 PM_1 质量浓度与相对湿度(相关系数分别为 0.464 、 0.503)、风速(相关系数分别为 -0.523 、 -0.572)的相关性最好,说明冬季与气温相关的动力扩散作用和降水的清除作用对颗粒物质量浓度影响较小,而空气中水汽对颗粒物的吸附作用和风的扩散作用对颗粒物尤其是细颗粒物质量浓度影响较大。此外,春季

PM₁₀质量浓度与降水量的相关性小于PM_{2.5},说明春季降水对PM_{2.5}的清除作用强于PM₁₀,夏季则相反,这也进一步解释了PM_{2.5}/PM₁₀春季低、夏季高的特征。

5 结论

(1) 2008—2017年丹东市大气颗粒物质量浓度年际变化具有一定的波动性,2009、2013、2015年丹东市大气颗粒物污染情况较为严重,2015—2017年丹东市大气颗粒物污染状况持续改善;PM₁₀质量浓度与PM_{2.5}相比,总体上达标情况更好,但达到一级标准日数略少。

(2) 丹东市大气颗粒物质量浓度具有明显的月和季节变化特征,1月和12月最高,7月最低;冬季最高,夏季最低;非汛期显著高于汛期;供暖期显著高于非供暖期。另外,PM_{2.5}/PM₁₀也具有一定的季节特征,主要表现为夏季最高、春季最低,汛期显著高于非汛期。

(3) 非汛期PM₁₀、PM_{2.5}超标日与达标日相比,气象条件有一定差异,主要表现为气温和能见度偏低,降水偏少,风速偏小。

(4) 非汛期PM_{2.5}、PM₁质量浓度与相对湿度呈显著正相关,与风速呈显著负相关,且气温、相对湿度、降水、风速与PM_{2.5}、PM₁质量浓度的相关性均明显好于PM₁₀;汛期PM_{2.5}、PM₁质量浓度与风速呈显著负相关。春、秋、冬季PM_{2.5}、PM₁质量浓度与风速的负相关性最显著,此外冬季PM_{2.5}、PM₁质量浓度与相对湿度的正相关性也十分显著。

参考文献:

[1] 吴静,宋晓明,刘硕,等. 中国大气颗粒物污染与致癌研究进展[J]. 科技导报,2018,36(15):32-38.
[2] 纪凡华,韩雪蕾,徐娟,等. 聊城市空气质量及相关大气污染事件特征分析[J]. 陕西气象,2019(1):

25-29.

[3] 孟凡胜. 京津冀中部2016年夏季大气颗粒物空间分布特征[D]. 太原:山西大学,2018.
[4] 葛琳琳. 长三角地区典型沿海城市大气细颗粒物污染特征与来源解析[D]. 杭州:浙江大学,2017.
[5] 陈雪芬,刘方舟. 2013—2016年珠三角颗粒物变化趋势分析[J]. 化工管理,2017(23):225+228.
[6] 许万智. 辽宁省中部城市大气颗粒物PM_{2.5}和PM₁₀污染特征研究[C]//中国环境科学学会,2015年中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷). 深圳:中国环境科学学会,2015:1047-1051.
[7] 刘宁微,马雁军,王扬锋,等. 辽宁中部大气可吸入颗粒物浓度与气象要素的相关性[J]. 中国沙漠,2015,35(6):1659-1665.
[8] 李杨,赵胡笛,马雁军,等. 本溪市大气颗粒物变化特征及其与气象要素的关系[J]. 气象与环境学报,2017,33(1):58-65.
[9] 高虹. 丹东市颗粒物污染分析[J]. 辽宁城乡环境科技,2004(6):43-44+47.
[10] 罗云莲. 丹东市大气颗粒物污染水平分析[J]. 辽东学院学报,2006(2):52-54.
[11] 刘宁微,马雁军,王扬锋,等. 丹东市大气颗粒物质量浓度变化特征及其与能见度的关系[J]. 环境科学研究,2010,23(5):642-646.
[12] 李明华,陈芳丽,甘泉,等. 2013—2016年惠州市大气颗粒物质量浓度变化特征和典型污染过程分析[J]. 气象与环境科学,2019,42(2):89-96.
[13] 胡琳,何晓媛,林杨. 西安市区PM₁₀质量浓度时空变化特征及其与气象条件的关系[J]. 陕西气象,2009(1):5-8.
[14] 张文静,胡琳,吴素良,等. 降水对西安市大气污染物质量浓度影响分析[J]. 陕西气象,2013(1):18-21.
[15] 生态环境部. 环境空气质量标准:GB 3095—2012[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.
[16] 徐艳嫻. 冬季供暖对中国北方空气质量的影响[D]. 济南:山东大学,2015.