

## 邯郸市大气污染特征及变化趋势研究

张霞,孟琛琛,王丽涛,马思萌,魏哲,张芬芬,马笑

(河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**利用邯郸市四个空气质量监测站点,2013~2014连续两年的颗粒物及气态污染物在线观测数据和气象数据对该市大气污染状况进行分析,结果表明:邯郸市大气污染以细颗粒物为主,2013、2014年邯郸市 $PM_{2.5}$ 年均浓度分别为 $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,为国家二级标准( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )的近4倍和近3倍,2014年较2013年有所缓解,浓度下降比例为16.5%,超标率由2013年的74.4%降低到2014年的66.6%;邯郸市 $PM_{2.5}$ 浓度的空间分布并无明显差异; $PM_{2.5}$ 季节变化规律为冬季>秋季>春季>夏季, $PM_{10}$ 季节变化规律为冬季>春季>秋季>夏季;邯郸市 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 在一周内的浓度差异均较小,说明邯郸市污染物排放的周变化不明显,工业等排放较为稳定的行业占其排放的主导地位;与气象条件的相关性分析表明,邯郸市四季中静风频率最高,邯郸市的风向主要集中在从东到南到西这一方向带上,河南、山东、山西三省对于邯郸市颗粒物的贡献较大。

**关键词:** $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; 邯郸; 空气质量

中图分类号:X131.1

文献标识码:A

## Characteristics and trend of air pollution in Handan City

ZHANG Xia, MENG Chen - chen, WANG Li - tao, MA Si - meng, WEI Zhe, ZHANG Fen - fen, MA Xiao  
(College of City Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The status of air pollution in Handan city was based on the online observation data of atmospheric particulate matters and gaseous pollutants at four air quality monitoring stations during 2013 and 2014, as well as the meteorological observation data. It is found that the fine particulate matters were the key air pollutant in Handan. The annual average  $PM_{2.5}$  concentrations in 2013 and 2014 were respectively  $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , which were about 4 and 3 times of the national grade II standard ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Comparing with 2013, the  $PM_{2.5}$  concentrations in 2014 was reduced by 16.5%. In addition, the ratio of the days exceeding the standard dropped to 66.6% in 2014 from 74.4% in 2013. There was no obvious difference in the spacial distribution of  $PM_{2.5}$  concentration in Handan. The  $PM_{2.5}$  concentration was highest in winter, followed by autumn, spring and summer, while the  $PM_{10}$  concentrations were in the order of winter > spring > autumn > summer. There were no clear differences in the concentration of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in a week, indicating that weekly changes are not obvious in the pollutant emissions and the relatively stable pollutant emission sectors, e. g., industries, played a key role. Correlation analysis between the meteorological condition and the pollutant concentrations indicated that the calm wind had the highest frequency in four seasons in Handan, and the wind direction was concentrated in the direction zone from the east to the south and to the west. Henan, Shandong and Shanxi contributed more to particulate matters of Handan.

**Key words:**  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; Handan; air quality

收稿日期:2015-06-15

基金项目:国家自然科学基金(41475131);国家环境保护大气复合污染来源与控制重点实验室开放基金资助项目(SCAPC201307);河北省青年拔尖人才支持计划,河北省教育厅优秀青年基金资助项目(YQ2013031);河北省邯郸市环境保护局项目。

作者简介:张霞(1987-),女,河北衡水人,硕士,从事大气污染控制工程方面的研究。

霾是指大量极细微的干尘颗粒等均匀地浮游在空中,使能见度小于 10 km 的空气普遍浑浊现象<sup>[1-2]</sup>。近年来随着我国经济的飞速发展,霾发生的频率越来越高,导致空气质量逐渐恶化。对霾的研究成为近几年空气污染的研究热点<sup>[3-8]</sup>。邯郸市地处河南、山东、山西和河北 4 省交界地带,面临霾污染频发、排放量大、排放环境复杂的种种挑战。煤炭、钢铁和水泥作为邯郸的支柱产业,不仅能耗高,而且排放量大,导致邯郸市的污染形势非常严峻。国家环保部发布的 2013 年和 2014 年全国污染最严重的 10 个城市中,邯郸均位列其中。因此,邯郸市大气污染特征以及发展趋势的研究,对邯郸市霾污染治理具有重要意义。目前对邯郸地区霾污染问题的研究较少,程丹丹等<sup>[4]</sup>应用 CMAQ 模型对邯郸市霾污染来源进行了模拟研究;魏哲等<sup>[9]</sup>对邯郸市严重霾天气的污染特征进行了分析;另外,Wang<sup>[10-13]</sup>等应用 CMAQ 模型对河北省南部城市群进行了模拟。然而利用长期观测数据对邯郸市大气污染状况进行分析还十分匮乏。本研究利用邯郸市四个空气质量监测站点,2013~2014 连续两年的  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$  等的在线观测数据并结合气象数据对该市颗粒物和气态污染物的浓度水平进行了分析,并进一步分析了颗粒物的时空变化规律和污染特征等,以期深入了解邯郸市大气污染的特征,并对未来的污染控制提供科学依据和技术支持。

## 1 数据来源和分析方法

### 1.1 监测站基本情况

目前邯郸市共有四个空气质量监测站点,分别位于市环保局、东污水处理厂、河北工程大学和丛台公园。其中,市环保局属于商业交通居民混合区,东污水处理厂属于一般工业区,河北工程大学属于典型的文化居民区,丛台公园属于城市绿地。

### 1.2 数据概况和分析方法

本研究所获得数据为上述四个站点 2013~2014 年全年的小时浓度值,污染物包括  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$  六种。

研究首先对各个污染物的平均浓度进行了分析,然后深入探讨了颗粒物污染物的时空变化特征,污染物浓度与风向之间的关系等,通过这些分

析阐释邯郸市大气污染的来源和成因。

## 2 邯郸市大气污染概况

图 1 给出了邯郸市整体的大气污染状况。图 1(a) 表示 2013 和 2014 年的日空气质量级别分布情况,各污染物的空气质量指数由邯郸市环保局提供的浓度数据计算。图 1(b) 表示这两年的日首要污染物分布情况。

从图 1(a) 可以看出,邯郸市空气污染严重,2013 年空气质量为优的天数为 0 天,2014 年空气质量为优的天数为 3 天,仅占全年的 1%;2013 年空气质量为良的天数占全年的 15%,2014 年较 2013 年有所改善,空气质量为良的天数占全年的 25%;2013 年轻度污染天数占全年的 42%,2014 年下降到 35%;2013 年中度污染及以上的占 43%,2014 年中度污染及以上的占 39%。由此表明,2014 年邯郸市整体污染较 2013 年有所减轻,但污染仍旧严重。从图 1(b) 可以看出,2013 年  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  为首要污染物的频率均为 45%,2014 年  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  为首要污染物的频率分别为 22% 和 72%,相比于 2013 年, $PM_{10}$  为首要污染物的天数明显减少,而  $PM_{2.5}$  则大幅增加,由此表明,邯郸市的大气污染仍以颗粒物为主,但更趋向于细颗粒物污染。

表 1 给出了邯郸市主要大气污染物的污染水平,包括 2013 年和 2014 年颗粒物( $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ )、气态污染物( $SO_2$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 、 $NO_x$ 、 $O_3$ 、 $CO$ ) 的年均值。从整体来看,四个站点颗粒物浓度具有以下特征:第一,各站点  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  年均浓度均差别较小,各个站点的局地环境对颗粒物浓度贡献较小;第二,2014 年颗粒物污染水平较 2013 年有所减轻,相较于  $PM_{2.5}$ , $PM_{10}$  的下降更为明显;第三,虽然 2014 年颗粒物污染状况有所减轻,但污染仍然很严重,其中 2013 年  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  四个站点的年均值分别为国家二级标准的近 3 倍和近 4 倍;2014 年  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  四个站点的年均值均为国家二级标准的近 3 倍。

另外,四个站点气态污染物浓度具有以下特征:第一,除  $CO$  外,其余气态污染物的年均质量浓度在各个站点差别较小;第二,除市环保局  $NO_2$  之外,2014 年各站点气态污染物浓度较 2013 年均有所改善,尤其是  $SO_2$ ,其浓度的四站年均值为  $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,在国家二级标准( $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )之内。

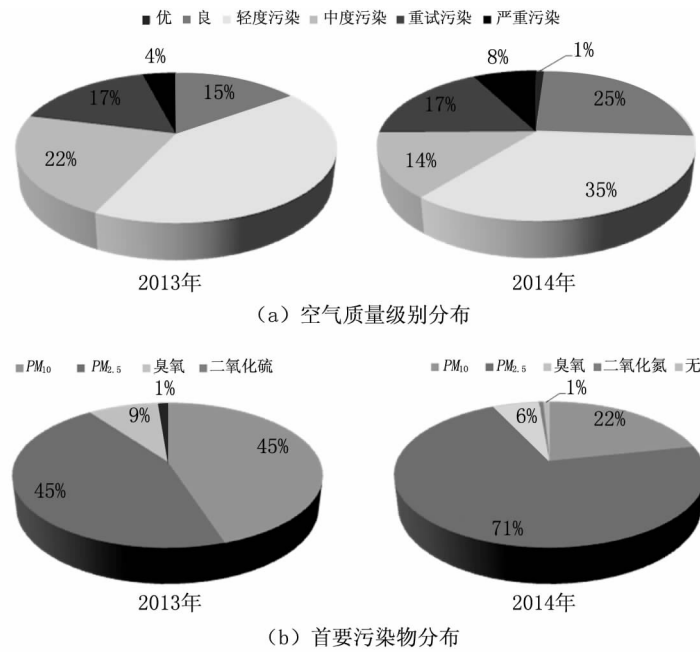


图1 邯郸市大气污染状况

Fig.1 The status of air pollution in Handan

表 1 邯郸市主要大气污染物的污染水平(单位:μg/m<sup>3</sup>)

Tab.1 The pollution level of the major air pollutants in Handan(unit: μg/m<sup>3</sup>)

站点	年份	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub> (平均日最大8h)	CO
市环保局	2013	226	138	78	29	59	86	89	2 345
	2014	177	117	44	15	66	79	89	1 944
	平均	202	128	61	22	63	83	89	2 145
	变化百分比/%	-21.7	-15.3	-43.6	-48.3	11.7	-8.17	0.00	-17.2
东污水处 理厂	2013	262	145	103	30	61	90	79	1 679
	2014	201	113	60	14	42	56	61	1 522
	平均	232	129	82	22	52	73	70	1 601
	变化百分比/%	-23.3	-22.1	-41.8	-53.38	-31.2	-37.8	-22.8	-9.4
河北工程 大学	2013	245	139	90	50	65	114	88	1 762
	2014	184	110	46	30	52	80	88	1 417
	平均	215	125	68	40	59	97	88	1 590
	变化百分比/%	-24.9	-20.9	-48.9	-40.1	-20.1	-29.9	0.1	-19.6
丛台公园	2013	215	139	116	36	47	84	91	2 165
	2014	173	113	72	16	43	60	86	1 610
	平均	194	126	94	26	45	72	89	1 888
	变化百分比/%	-19.6	-18.8	-38.0	-55.6	-8.56	-28.6	-5.5	-25.7
四站平均	2013	237	139	97	36	58	94	87	1 988
	2014	186	116	57	19	51	69	81	1 633
	平均	212	128	77	28	55	82	84	1 811
	变化百分比/%	-21.6	16.5	-41.3	-47.3	-12.1	-26.6	-6.9	-17.9

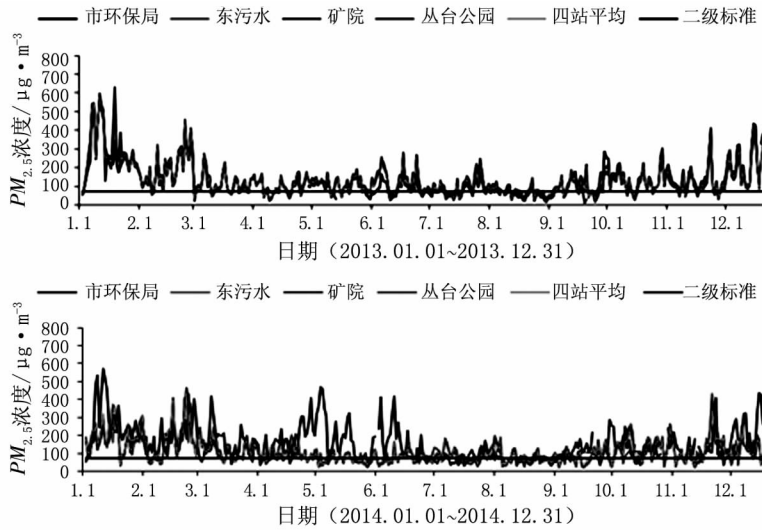
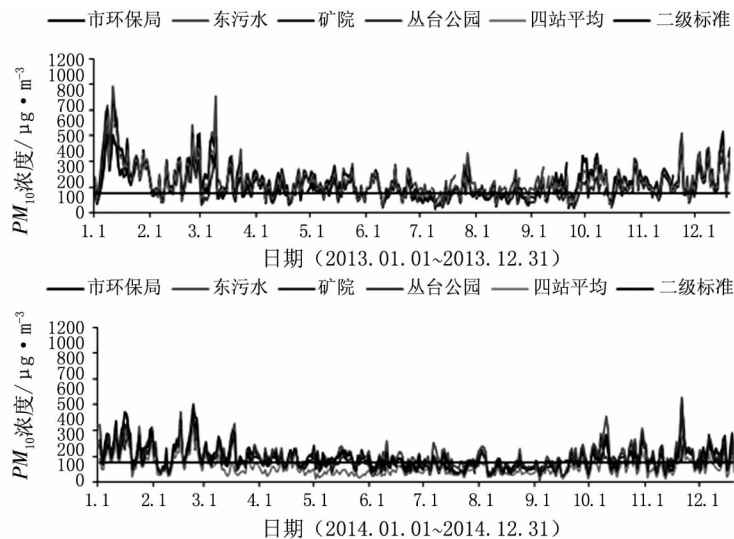
注:表中数据为年均浓度值。

### 3 邯郸市大气颗粒物污染时间变化特征

#### 3.1 季节变化特征

图 2 给出了 2013 年和 2014 年邯郸市四个站

点 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度变化情况。由图可以看出,四个站点 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度变化趋势基本一致,尤其是 2013 年,表明邯郸市 PM<sub>2.5</sub> 浓度空间分布并无明显差异,各采样点周围的局地环境对 PM<sub>2.5</sub> 浓度影响较小。相比较而言,2014 年河北工程大学 PM<sub>2.5</sub> 浓

图2 邯郸市四个站点 $PM_{2.5}$ 日均浓度时间序列Fig.2 The time series of daily average  $PM_{2.5}$  concentrations of four stations in Handan图3 邯郸市四个站点 $PM_{10}$ 日均浓度时间序列Fig.3 The time series of daily average  $PM_{10}$  concentrations of four stations in Handan

度与其他三个站点有一定的差距,这可能与数据的可靠性有关。

季节变化规律显示,四个站点两年均为冬季浓度最高(1、2和12月),尤其是2013年冬季四站均值高达 $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率高达91.6%,2014年冬季虽有所减轻,但四站均值依旧高达 $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率达84.4%;其他三个季节的浓度值和超标率明显低于冬季,夏季浓度最低(6、7和8月),夏季四站 $PM_{2.5}$ 平均浓度由2013年的 $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到2014年的 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率也由2013年的61.5%下降到2014年的52.2%。

综合邯郸市两年的整体污染状况可以看出,四个站点年均浓度大小表现为:河北工程大学( $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 东污水( $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) = 市环保局

( $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 丛台公园( $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),超标率大小表现为:东污水(72.6%) > 河北工程大学(69.6%) > 丛台公园(68.5%) > 市环保局(67.8%)。两年总体季节变化表现为:冬季(平均浓度 $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率88.0%) > 秋季(平均浓度 $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率71.8%) > 春季(平均浓度 $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率68.7%) > 夏季(平均浓度 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率56.9%)。

图3给出了2013年和2014年邯郸市四个站点 $PM_{10}$ 日均浓度变化情况,可以看出,四个站点 $PM_{10}$ 浓度变化趋势基本一致,表明四个站点的局地环境对 $PM_{10}$ 影响并不明显。四季几乎大部分情况 $PM_{10}$ 浓度超过国家二级标准,锯齿形周期变化明显,且表现出与 $PM_{2.5}$ 不同的季节性变化,四个站点两年均为冬季浓度最高(1、2和12月),尤其

是2013年冬季四站均值高达 $341 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率高达90.0%,2014年冬季虽有所减轻,但冬季四站均值依旧高达 $243 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率达77.8%;其次是春季(3、4和5月),2013年春季平均浓度高达 $223 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率高达82.6%,2014年春季稍有减轻(平均浓度 $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率78.3%);秋季(9、10和11月) $PM_{10}$ 污染水平稍低于春季,但明显高于夏季(6、7和8月),两年比较可以看出,2014年秋季 $PM_{10}$ 平均浓度和超标率有很大幅度的降低,平均浓度由2013年的 $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降低到2014年的 $184 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率由2013年的82.4%降低到2014年的56.0%;夏季 $PM_{10}$ 污染最轻。

综合邯郸市两年的整体污染状况可以看出,四个站点 $PM_{10}$ 污染水平表现为:东污水(平均浓度 $232 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率76.0%)>河北工程大学(平均浓度 $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率66.0%)>市环保局(平均浓度 $201 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率60.8%)>丛台

公园(平均浓度 $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率56.1%)。两年总体季节变化表现为:冬季(平均浓度 $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率83.9%)>春季(平均浓度 $206 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率80.5%)>秋季(平均浓度 $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率69.2%)>夏季(平均浓度 $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,超标率39.2%)。

### 3.2 周变化特征

图4为2013、2014年邯郸市颗粒物一周的日均浓度。相对于2013年,2014年 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 浓度一周内变化更明显,相对标准偏差分别由2013年的5.8%和3.9%升高到2014年9.5%和7.3%。整体上,两年 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 污染一周内的浓度差异均较小(相对标准偏差均在10%以下),无明显变化,说明邯郸市的污染物排放的周变化不明显,也就是说,工业等排放较为稳定的行业占其排放的主导地位,机动车排放贡献不占主导地位。

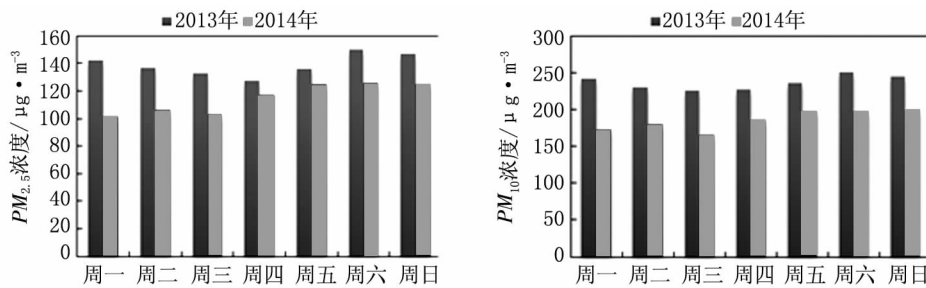


图4 颗粒物的浓度周变化

Fig. 4 The weekly variations of the concentrations of particulate matters

表2 邯郸市各季节风速统计表

Tab. 2 The statistics of the wind speed in each season in Handan

风向	2013年					2014年				
	春	夏	秋	冬	年均	春	夏	秋	冬	年均
N	0.25	0.75	1.38	1.03	0.85	0.90	0.75	0.00	0.00	0.41
NNE	1.83	1.37	1.01	1.33	1.39	2.09	1.37	0.65	1.35	1.36
NE	1.42	1.38	1.06	1.03	1.22	1.49	1.38	0.52	1.05	1.11
ENE	1.69	0.74	0.64	1.06	1.03	0.86	0.74	0.35	0.55	0.62
E	0.78	0.68	0.47	0.92	0.71	0.78	0.68	0.39	0.60	0.62
ESE	1.06	0.75	0.79	0.64	0.81	1.11	0.75	0.85	0.87	0.89
SE	1.24	1.09	0.71	0.67	0.93	1.16	1.09	0.76	0.79	0.95
SSE	1.40	0.90	0.90	0.65	0.96	1.26	0.90	0.79	0.87	0.95
S	1.42	0.89	0.94	0.70	0.99	1.12	0.89	0.87	0.87	0.94
SSW	1.34	0.97	0.86	0.81	0.99	1.18	0.97	0.85	0.91	0.98
SW	0.98	0.70	0.65	0.93	0.82	1.36	0.70	0.64	0.62	0.83
WSW	0.77	0.69	0.84	0.83	0.78	0.87	0.69	0.79	0.79	0.78
W	1.20	0.75	0.61	0.93	0.87	1.10	0.75	0.61	1.12	0.89
WNW	1.32	0.59	0.85	0.98	0.94	1.28	0.59	0.85	1.06	0.94
NW	1.19	0.78	1.28	0.69	0.98	0.60	0.78	0.85	1.38	0.90
NNW	1.12	1.44	1.38	0.97	1.23	1.12	1.44	1.21	1.04	1.20

#### 4 颗粒物浓度与风向的关系

表2给出了各站点的风速,当风速 $<1\text{ m/s}$ 定义为静风。风频统计显示,两年四季中均为静风频率最高,夏、秋、冬三季静风频率均在60%左右。2013年四季静风频率分别为:春季38.9%,夏季59.9%,秋季61.1%,冬季64.1%。2014年四季静风频率分别为:春季46.5%,夏季60.1%,秋季67.6%,冬季61.5%,这种不利的气象条件可能是造成邯郸市四季颗粒物污染均很严重的原因之一。总体而言,邯郸市的风向主要集中在从东到南到西这一方向带上,北风几乎没有,表明了相较于石家庄、邢台等位于邯郸市北方的城市,河南、山东、山西三省对于邯郸市颗粒物的贡献更大。

#### 5 结论

1)邯郸市大气污染严重,以颗粒物尤其是细颗粒物污染为主。2013、2014年邯郸市 $PM_{2.5}$ 年均浓度分别为 $139、116\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,为国家二级标准的近4倍和近3倍。2014年较2013年有所缓解, $PM_{2.5}$ 浓度下降比例为16.5%,超标率由2013年的74.4%降低到2014年的66.6%。与2013年相比,2014年 $PM_{10}$ 为首要污染物的频率由45%下降到22%,而 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的频率则由45%上升为72%。

2)四个站点 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 日均浓度变化趋势基本一致,表明邯郸市颗粒物浓度空间分布并无明显差异,各采样点周围的局地环境对其浓度影响较小。 $PM_{2.5}$ 季节变化表现为:冬季 $>$ 秋季 $>$ 春季 $>$ 夏季, $PM_{10}$ 季节变化表现为冬季 $>$ 春季 $>$ 秋季 $>$ 夏季。 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 污染一周内的浓度差异均较小,无明显变化,说明邯郸市的污染物排放的周变化不明显,工业等排放较为稳定的行业占其排放的主导地位,机动车排放贡献不占据主导地位。

3)邯郸市四季中均为静风频率最高,这种不利的气象条件可能是造成邯郸市四季颗粒物污染均很严重的原因之一。邯郸市的风向主要集中在从东到南到西这一方向带上,北风几乎没有,表明了相较于石家庄、邢台等位于邯郸市北方的城市,

河南、山东、山西三省对邯郸市颗粒物的贡献更大。

#### 参考文献:

- [1] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 1951-2005年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报, 2010, 68(5): 680-688.
- [2] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [3] MALM W C, KREIDENWEIS S M. The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(13): 1965-1976.
- [4] 程丹丹, 王丽涛, 潘雪梅, 等. 基于CMAQ模型的邯郸市霾污染来源的模拟研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(2): 45-48.
- [5] QUINN P K, BATES T S. North American, Asian, and Indian haze: Similar regional impacts on climate[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(11): 1555-1559.
- [6] 魏文秀, 张欣, 田国强. 河北霾分布与地形和风速关系分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 49-52.
- [7] 张素敏. 石家庄市大气能见度变化与大气颗粒物的关系研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2009.
- [8] 王丽涛, 潘雪梅, 郑佳, 等. 河北及周边地区霾污染特征的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2012, 32(4): 925-931.
- [9] 魏哲, 杨晶, 王丽涛, 等. 2013年1月邯郸市严重霾天气的污染特征分析[J]. 环境科学学报, 2014, 34(5): 1181-1124.
- [10] WANG L T, XU J, YANG J, et al. Understanding haze pollution over the southern Hebei area of China using the CMAQ model[J]. Atmospheric Environment, 2012(56): 69-79.
- [11] WANG L T, WEI Z, YANG J, et al. The 2013 severe haze over the southern Hebei, China: model evaluation, source apportionment, and policy implications[J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 2014, 14(6): 3151-3173.
- [12] YANG J, ZHANG P, MENG C C, et al. Quantifying the Sources of the Severe Haze over the Southern Hebei Using the CMAQ Model[J]. The Scientific World Journal, 2013: 1-9.
- [13] 魏巍, 王丽涛, 潘雪梅, 等. 河北城市霾污染来源的模拟研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(2): 116-119.

(责任编辑 王利君)