

西安市灰霾天气下 $PM_{2.5}$ 浓度与气象条件分析

韩 婧¹ 代志光² 李文韬¹

(1. 西安市环境监测站, 陕西 西安 710054; 2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要 分析了2013年1—3月西安市12个空气监测子站监测的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 以及相关气象参数;绘制了不同月的主城区浓度分布等值线图。运用单样本K-S非参数检验法检验表明, $PM_{2.5}$ 浓度符合对数正态分布;各站点间的 $PM_{2.5}$ 浓度相关性非常高,变化趋势一致; PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的变化规律呈现“W”型三峰分布; $PM_{2.5}$ 日均值与能见度、净辐射量、平均气温、最高气温、最低气温均呈现显著负相关,且相关性较强;与平均湿度、最大湿度、最小湿度呈现显著正相关;与总辐射量、日照时数、气压、露点温度的相关性较弱;节日烟花燃放、沙尘天气容易造成严重大气污染,其中节日烟花燃放、沙尘天气对 PM_{10} 的贡献量大于对 $PM_{2.5}$ 的贡献。

关键词 $PM_{2.5}$ 灰霾 气象因素 相关分析

Analysis of $PM_{2.5}$ concentration and meteorological conditions in haze weather of Xi'an city HAN Jing¹, DAI Zhiguang², LI Wentao¹. (1. Environmental Monitoring Station of Xi'an, Xi'an Shaanxi 710054; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi 710055)

Abstract: PM_{10} , $PM_{2.5}$ and related meteorological parameters were monitored from 12 air monitoring stations of Xi'an during January to March of 2013. Base on which, the intuitive contour lines of $PM_{2.5}$ concentrations in different months were drawn to describe the $PM_{2.5}$ distribution in main urban area of Xi'an. One-sample K-S non-parametric test showed that the $PM_{2.5}$ concentration obeyed the lognormal distribution; the $PM_{2.5}$ concentration of different sampling point presented the same change trend and their correlation was very high. The daily variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} showed a “W” shaped triple peak distribution. The daily average $PM_{2.5}$ concentration was obviously negative correlated with visibility, net radiation, average temperature, maximum temperature, minimum temperature, while it was significantly positive correlated with average relative humidity, maximum humidity and minimum humidity. The correlation between daily average $PM_{2.5}$ concentration and total radiation, sunshine duration, pressure, dew point temperature was relative weak. The instantaneous fireworks during holiday and dust weather would cause serious air pollution, and their contribution to PM_{10} was greater than to $PM_{2.5}$.

Keywords: $PM_{2.5}$; dust-haze; meteorological factors; correlation analysis

2012年底至2013年初受逆温、静风等不利气象条件影响,西安市出现连续的严重灰霾天气,空气污染指数多次“爆表”,空气污染状况非常严重,其中的首要污染物—— $PM_{2.5}$ 受到社会的广泛关注。霾的危害不仅使大气能见度降低,而且霾颗粒及其组成成分对人体多器官有毒理作用^[1]。《霾的观测与等级预报》(QX/T 113—2010)中灰霾的定义:空气中的粉尘、硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、黑炭、有机碳氢化合物等粒子使大气浑浊、视野模糊,并导致能见度恶化,如果水平能见度小于10.0 km,将这种不是由水滴、冰晶组成的气溶胶系统造成的视程障碍称为灰霾天气。具有高散射率的 $PM_{2.5}$ 是造成大气能见度剧烈下降的主要影响因子之一^[2-3]。由此可见, $PM_{2.5}$ 是造成灰霾天气的重要原因。

此外,不利的气象条件是加剧灰霾天气的另一重要原因。灰霾天气的形成一般有以下3个原因:(1)在城市的水平方向,静风现象显著增多;(2)在城市的垂直方向,逆温现象显著增多;(3)悬浮颗粒物、气体污染物的浓度显著增加。霾颗粒物主要是人为源和自然源排放的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} ,其中作为主要来源的人为源有化石燃料、机动车尾气、工业粉尘、废弃物焚烧等。

1 实验部分

1.1 采样点分布

西安(34°16'N, 108°54'E)位于关中平原腹地,属于温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,气候温和,雨量适中。春季温暖、干燥、多风;夏季炎热多

第一作者:韩 婧,女,1982年生,本科,工程师,研究方向为空气质量自动监测。

雨,多雷雨大风天气;秋季凉爽,气温速降,秋淋明显;冬季寒冷,多雾、少雨雪。主导风向为东北风,次主导风向为西南风。平均风速较低,静风频率较高,不利于污染物的扩散。

采样点共计 12 个,分布于西安的不同区,市区内采样点的具体分布位置如图 1 所示。此外,长安区、临潼区、阎良区各设一个采样点。

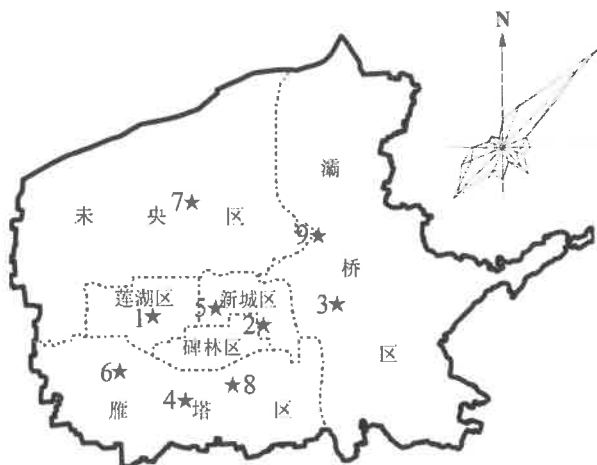


图 1 西安市区内采样点的具体分布位置

Fig. 1 Distribution map of monitoring points in main urban area of Xi'an

注:1—高压开关厂;2—兴庆小区;3—纺织城;4—小寨;
5—市体育场;6—高新西区;7—经开区;
8—曲江文化产业集团;9—广运潭。

1.2 采样仪器

FH 62 C-14 连续式 Beta 射线法;5030Beta 射线光浊度法;Thermofisher 1405 微量振荡天平法。所有仪器均符合国家相关标准要求,定期进行了仪器校准,以确保数据准确有效。

1.3 数据采集及分析方法

2012 年 12 月至 2013 年 3 月是近几年西安市灰霾天气最严重的一段时间,本研究针对这段时间西安市 12 个空气监测子站监测的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 以及相关气象参数进行了分析。 $PM_{2.5}$ 浓度分布检验采用单样本 K-S 非参数检验法。该方法能利用样本数据推断样本来自的总体是否与某一理论分布有显著性差异,是一种拟合优度的检验方法,适用于探索连续性随机变量的分布。运用 surfer 软件绘制不同月的

主城区 $PM_{2.5}$ 日均值分布等值线图,运用数理统计学的方法检验颗粒物浓度的总体分布,针对各站点变化规律以及不同时段 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化进行分析。为了检验各站点 $PM_{2.5}$ 浓度变化情况,本研究采用了 Spearman 等级相关系数来判断,它是用来度量定序变量间线性相关关系的。在分析气象因素与 $PM_{2.5}$ 浓度的关系时,采用了多元线性回归模型来揭示 $PM_{2.5}$ 浓度与各气象要素之间的线性关系。此外,本研究还运用了 Pearson 相关系数法分析气象参数与 $PM_{2.5}$ 浓度的相关性,Pearson 相关系数是用来分析两个正态总体相关性的方法。

2 结果及讨论

2.1 $PM_{2.5}$ 浓度分布检验

本研究将各站点 $PM_{2.5}$ 质量浓度经过自然对数转换后进行了单样本 K-S 正态性检验,结果见表 1。由表 1 可知,渐进显著性(双侧)均大于 0.05,故无法拒绝原假设,即各样本所属的总体与正态总体无显著差别,符合正态统计特征。所以,各站点的 $PM_{2.5}$ 浓度符合对数正态分布。

2.2 $PM_{2.5}$ 日均值变化

由图 2 可见,1、2、3 月 $PM_{2.5}$ 月平均日均值分别为 206、203、125 $\mu g/m^3$, PM_{10} 月平均日均值分别为 300、263、337 $\mu g/m^3$ 。可以看出,1、2 月的 $PM_{2.5}$ 月平均日均值相当,污染水平较高,3 月 $PM_{2.5}$ 月平均日均值有很大改善,而 1、2 月是灰霾天气最严重的月份,进入 3 月随着天气条件的转好, $PM_{2.5}$ 污染水平下降明显;3 月 PM_{10} 月平均日均值有升高的趋势,这主要是由于 3 月沙尘天天气的影响,而沙尘天气对 PM_{10} 的贡献量要远大于 $PM_{2.5}$ 。

2.3 $PM_{2.5}$ 时空分布特征

根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012),由图 3 至图 5 可见:(1)1 月 $PM_{2.5}$ 总体污染较严重,主城区内 $PM_{2.5}$ 日均值都在 180 $\mu g/m^3$ 以上,属于四级中度污染和五级重度污

表 1 各站点 $PM_{2.5}$ 质量浓度自然对数的单样本 K-S 正态性检验结果
Table 1 K-S test of the natural logarithm of each point's $PM_{2.5}$ mass concentration

站点	高压开关厂	兴庆小区	纺织城	小寨	市体育场	高新西区
K-S 检验 Z 统计量	0.625	0.719	0.927	0.755	0.900	0.758
渐进显著性(双侧)	0.829	0.679	0.356	0.619	0.392	0.615
站点	经开区	长安区	阎良区	临潼区	曲江文化产业集团	广运潭
K-S 检验 Z 统计量	0.659	0.814	0.689	0.761	0.885	1.155
渐进显著性(双侧)	0.778	0.521	0.729	0.608	0.413	0.139

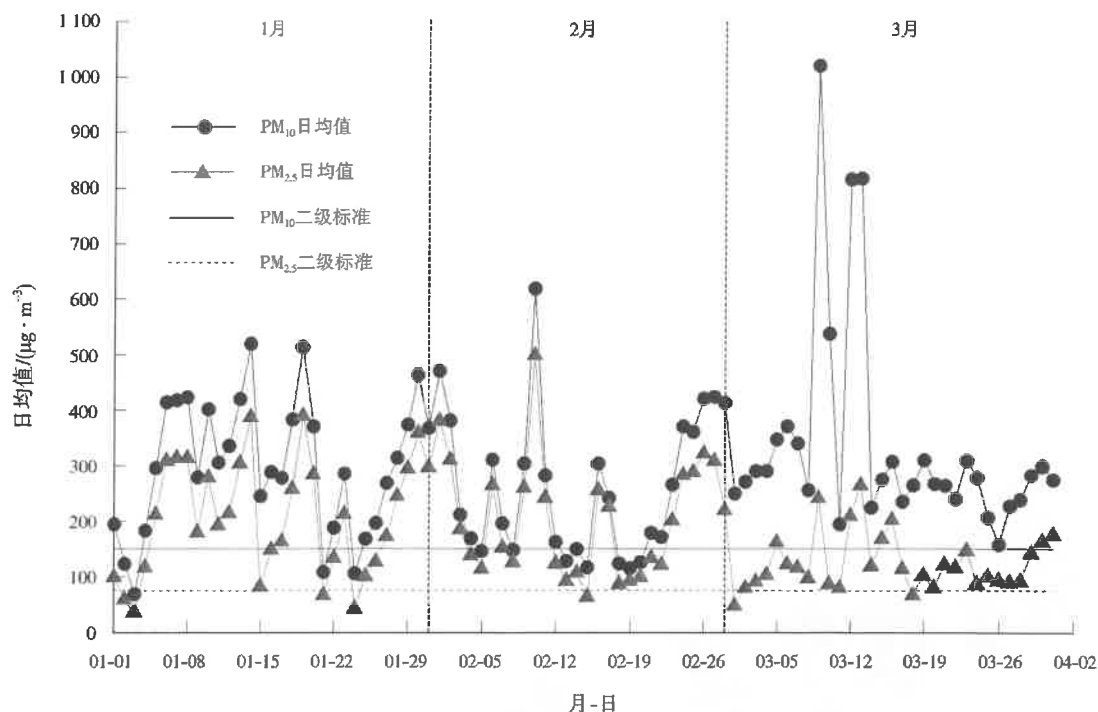


图2 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 日均值变化

Fig. 2 The variation of daily mean mass concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10}

注:根据《环境空气质量标准》(GB 3095—2012), $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 日均值二级标准限值分别为75、150 $\mu g/m^3$ 。

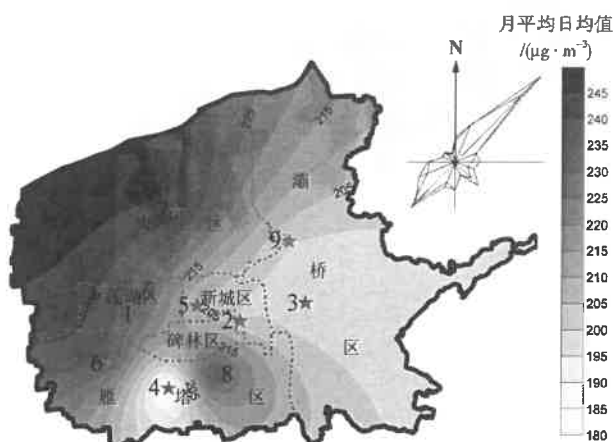


图3 1月西安市主城区 $PM_{2.5}$ 月平均日均值分布

Fig. 3 The distribution of $PM_{2.5}$ mass concentration in main urban area of Xi'an in January

染,污染较重的地区是未央区、莲湖区、高新西区、曲江文化产业集团及灞桥区北部,小寨及灞桥区南部污染相对较轻。(2)2月 $PM_{2.5}$ 总体污染水平与1月相当,所不同的是污染较重地区向市中心集中,新城区、莲湖区、高新西区污染严重,曲江文化产业区的污染较1月减轻,但也达到了四级中度污染,未央区的重污染区南移,灞桥区的污染状况与1月相当。(3)3月是3个月中污染最轻的月份,所有地区都属于三级轻度污染,污染较重的区域位于灞桥区、未央区、莲湖区以及高新西区,小寨污染最轻。

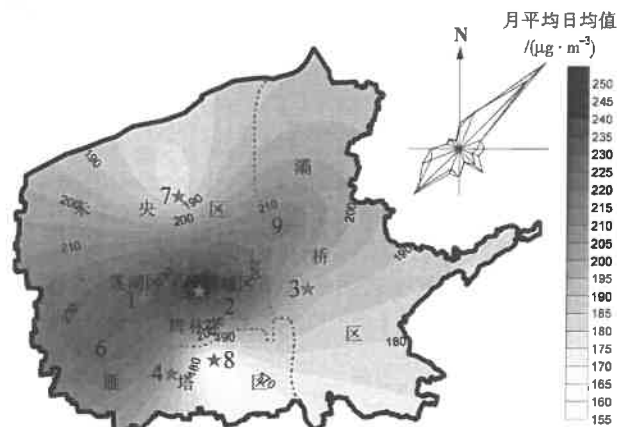


图4 2月西安市主城区 $PM_{2.5}$ 月平均日均值分布

Fig. 4 The distribution of $PM_{2.5}$ mass concentration in main urban area of Xi'an in February

2.4 各站点 $PM_{2.5}$ 浓度变化趋势分析

各站点的 $PM_{2.5}$ 浓度变化趋势基本保持一致,通过计算各站点 $PM_{2.5}$ 日均值的 Spearman 等级相关系数(见表2)发现,除广运潭和曲江文化产业集团相关系数为0.78外,其他各站点之间的相关性均达到了0.8以上,即各站点间的相关程度非常高,说明西安市主城区以及长安区、阎良区、临潼区的 $PM_{2.5}$ 来源无明显的差异。随着城市化进程的推进,污染严重的工业区逐步迁移到远离城区的地区,城区内各个地区的功能区逐渐模糊, $PM_{2.5}$ 的主要来源为机动车尾气排放、取暖排放、二次污染、扬尘等,

表 2 各站点 Spearman 等级相关系数矩阵
Table 2 The spearman correlation coefficient matrix of each point

站点	高压开关厂	兴庆小区	纺织城	小寨	市体育场	高新西区	经开区	长安区	阎良区	临潼区	曲江文化产业集团	广运潭
高压开关厂	1.00											
兴庆小区	0.96	1.00										
纺织城	0.91	0.95	1.00									
小寨	0.95	0.97	0.90	1.00								
市体育场	0.96	0.97	0.90	0.96	1.00							
高新西区	0.96	0.96	0.90	0.98	0.96	1.00						
经开区	0.93	0.95	0.93	0.92	0.92	0.93	1.00					
长安区	0.95	0.98	0.94	0.97	0.97	0.94	0.91	1.00				
阎良区	0.95	0.95	0.91	0.95	0.94	0.93	0.90	0.97	1.00			
临潼区	0.92	0.92	0.86	0.89	0.90	0.87	0.84	0.93	0.90	1.00		
曲江文化产业集团	0.89	0.94	0.89	0.97	0.92	0.92	0.86	0.92	0.90	0.84	1.00	
广运潭	0.92	0.89	0.85	0.90	0.90	0.90	0.91	0.88	0.86	0.85	0.78	1.00

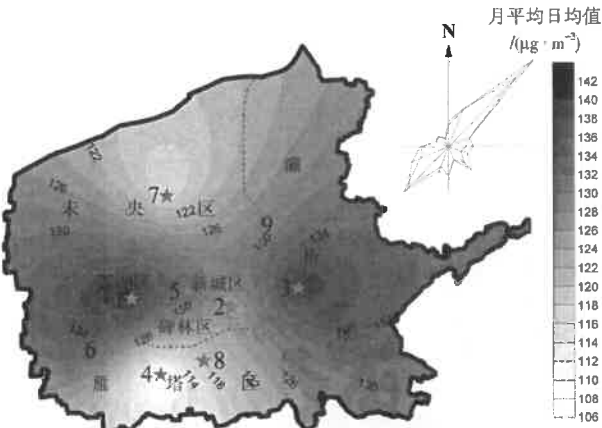


图 5 3 月西安市主城区 PM_{2.5} 日均值分布
Fig. 5 The distribution of PM_{2.5} mass concentration in main urban area of Xi'an in March
以往地域性特征明显的工业区污染已经在主城区内

消失。

2.5 日变化规律

由图 6 可见,各站点一天中 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的变化规律呈现“W”型的三峰分布,这与陶李等^[4]研究的双峰分布不同。在 0:00~6:00 存在一个浓度峰值,在峰值过后呈下降趋势;6:00 后浓度逐渐上升,在中午时分达到峰值,随后下降趋势显著;在 16:00~18:00 达到一天中的最低值,此后浓度显著上升并在午夜时分到达峰值。这一规律的产生与人们的生活方式有极大的关系,早晨 7:00~8:00 是上班的高峰期,此时机动车的尾气排放量是一天中的高峰时期,此时大气逆温状态尚未消除,机动车尾气排放对颗粒物的贡献在大气中开始积累造成颗粒物浓度的升高,该积累过程一直持续至中午时分并达

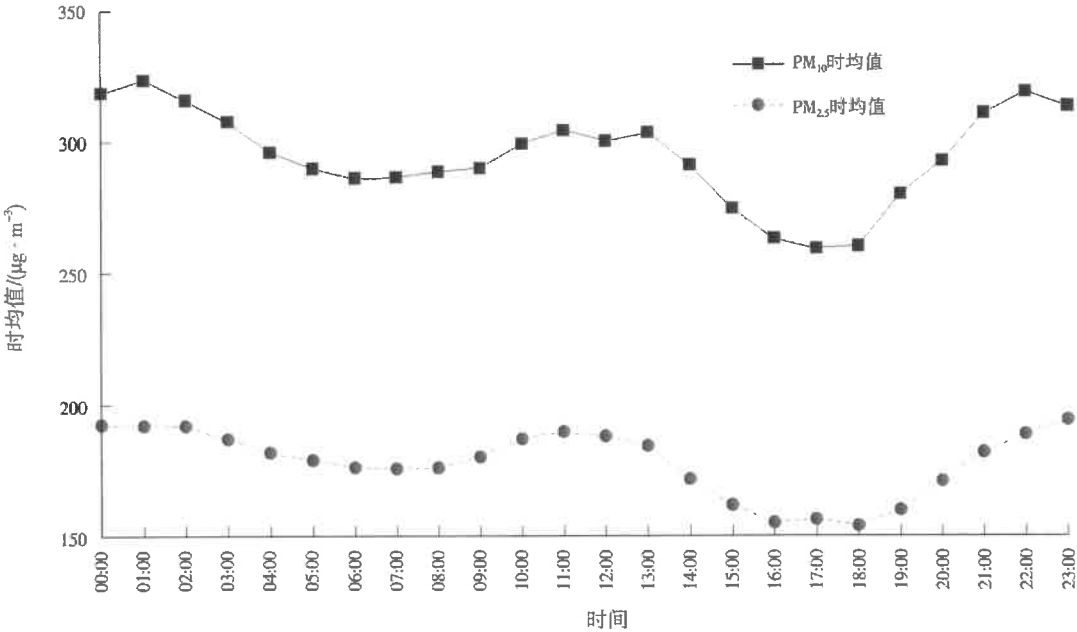


图 6 PM_{2.5}、PM₁₀ 时均值变化规律
Fig. 6 The change rule of mean value of PM_{2.5} and PM₁₀ mass concentration per hour

到峰值,此后随着气温的升高,逆温现象减弱,有利于污染物的扩散,颗粒物浓度开始下降,直到16:00~18:00达到一天的最低值,18:00左右随着下班高峰期的到来机动车尾气排放量的增加以及气温下降逆温现象的出现,又一次将颗粒物浓度推高。

2.6 $PM_{2.5}$ 日均值与气象参数的关系

由表3可知, $PM_{2.5}$ 日均值与能见度、净辐射量、平均气温、最高气温、最低气温均呈现显著负相关,且相关性较强;与平均湿度、最大湿度、最小湿度呈现显著正相关;与总辐射量、日照时数、气压、露点温度的相关性较弱。

表3 $PM_{2.5}$ 日均值与各气象参数的相关性¹⁾
Table 3 The correlation between $PM_{2.5}$ mass concentration and meteorological parameters

气象参数	指标	数值
平均气温	Pearson 相关系数	-0.306 *
	显著性(双侧)	0.003
最高气温	Pearson 相关系数	-0.238 *
	显著性(双侧)	0.024
最低气温	Pearson 相关系数	-0.297 *
	显著性(双侧)	0.004
露点气温	Pearson 相关系数	0.035
	显著性(双侧)	0.747
平均湿度	Pearson 相关系数	0.383 *
	显著性(双侧)	0
最大湿度	Pearson 相关系数	0.368 *
	显著性(双侧)	0
最小湿度	Pearson 相关系数	0.292 *
	显著性(双侧)	0.005
气压	Pearson 相关系数	-0.074
	显著性(双侧)	0.488
能见度	Pearson 相关系数	-0.729 *
	显著性(双侧)	0
日照时数	Pearson 相关系数	-0.029
	显著性(双侧)	0.786
总辐射量	Pearson 相关系数	-0.136
	显著性(双侧)	0.205
净辐射量	Pearson 相关系数	-0.317 *
	显著性(双侧)	0.003

注:1) *表示在置信度是0.01水平(双侧)上显著; *表示在置信度是0.05水平(双侧)上显著。

2.7 特殊天气与正常日 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 分析

由表4可知,在天气情况良好(蓝天)的情况下,大气中 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度、 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 都低于1—3月平均值,对比重污染天气下的浓度及比值可以看出, $PM_{2.5}$ 是造成严重灰霾天的主要因素;2月24日同属于严重灰霾天气,但是 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 要比2月10日偏低,这说明烟花的燃放,对大气中 PM_{10} 的贡献要大于对 $PM_{2.5}$ 的贡献;沙尘天气情况下, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度都大于1—3月平均值,其中 PM_{10} 是1—3

月平均值的3倍多, $PM_{2.5}$ 是1—3月平均值的1.36倍, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 不到1—3月平均值的1/2,说明沙尘过境对大气中 PM_{10} 带来的影响要远大于对 $PM_{2.5}$ 的影响。

表4 特殊天气与正常日的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及 $PM_{2.5}/PM_{10}$
Table 4 The comparison of $PM_{2.5}$, PM_{10} and $PM_{2.5}/PM_{10}$ value between typical weather and normal weather

指标	PM_{10} /($\mu g \cdot m^{-3}$)	$PM_{2.5}$ /($\mu g \cdot m^{-3}$)	$PM_{2.5}/PM_{10}$ /%
1月24日(蓝天)	106	42	39.62
2月10日(重污染)	619	499	80.61
2月24日(元宵节)	371	283	76.28
3月9日(沙尘)	1 020	241	23.63
1—3月平均值	301	177	58.80

3 结论

(1) 1、2月污染较重,主城区均处于四级中度污染和五级重度污染,其中1月未央区、莲湖区、高新西区、曲江文化产业集团及灞桥区北部污染严重;2月新城区、莲湖区、高新西区污染严重。3月污染较轻,主城区均处于三级轻度污染,污染较重的区域位于灞桥区、未央区、莲湖区以及高新西区。

(2) 各站点间的 $PM_{2.5}$ 浓度相关性非常高,变化趋势一致,表明西安市主城区及长安区、阎良区、临潼区的 $PM_{2.5}$ 来源变化无明显的差异。

(3) PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的变化规律呈现“W”型的三峰分布,3个峰值出现在凌晨、中午、午夜,谷值出现在6:00左右和16:00~18:00。

(4) $PM_{2.5}$ 日均值与能见度、净辐射量、平均气温、最高气温、最低气温均呈现显著负相关,且相关性较强;与平均湿度、最大湿度、最小湿度呈现显著正相关;与总辐射量、日照时数、气压、露点温度的相关性较弱。

(5) 天气情况良好的情况下, $PM_{2.5}$ 浓度和 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 低于正常日水平;节假日烟花燃放对 $PM_{2.5}$ 瞬时浓度的贡献量特别是 PM_{10} 的贡献量较大;沙尘过境对 PM_{10} 的贡献量要远大于对 $PM_{2.5}$ 的贡献量。

参考文献:

- [1] 孟燕军,王淑英,赵习方.北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析[J].气象,2000,26(3):40-42.
- [2] 于凤莲,刘东贤,胡英.有关气溶胶细粒子对城市能见度影响的研究[J].气象科技,2002,30(6):379-383.
- [3] 宋宇,唐孝炎,方晨,等.北京市能见度下降与颗粒物的关系[J].环境科学学报,2003,23(4):468-471.
- [4] 陶李,张承中,周变红,等.西安市高分辨率 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化特征分析[J].环境科技,2011,24(Z1):63-64.

编辑:黄苇 (修改稿收到日期:2013-08-28)

