

贵阳市大气颗粒物(PM_{2.5})污染特征及气象参数的影响

刘娜¹, 冯新斌¹, Landis Matthew², 陈卓³, 仇广乐^{1,*}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. US EPA, Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC 27709, USA; 3. 贵州师范大学化学与材料学院, 贵阳 550001)

摘要:运用连续颗粒物采样仪(URG Model 2000-01J)对贵阳市城区大气颗粒物 PM_{2.5}进行了连续3个月(9~11月)的采集与分析,探讨了 PM_{2.5}的浓度分布特征、气象条件的影响。结果显示,贵阳市大气颗粒物 PM_{2.5}的平均质量浓度为 $53 \pm 27 \mu\text{g}/\text{m}^3$,变化范围为 $3.7 \sim 186 \mu\text{g}/\text{m}^3$;初步推断大气颗粒物 PM_{2.5}的污染来源主要是燃料燃烧、生物质燃烧、汽车尾气等人为源;相对湿度、风速、风向、温度等气象条件是影响大气颗粒物浓度及分布的重要因素。

关键词:大气颗粒物(PM_{2.5});分布特征;影响因素;贵阳市

中图分类号:X51 文献标识码:A 文章编号:1672-9250(2014)03-0311-05

大气颗粒物污染已经成为大气污染的重要问题,并一直威胁着人类的健康。研究表明,颗粒物粒径越小对人体健康的威胁程度越高^[1,2]。大气颗粒物是一种重要的复合型大气污染物,其成分非常复杂,由多种化学成分组成。大气颗粒物的来源有自然源和人为源。自工业革命以来,人为源对工业区、城市等人类密集区的贡献大幅增加^[3]。影响和决定大气颗粒物化学组成的基本因素是排放源和气象条件。在气象条件中,风向直接影响受体地区的大气组分浓度水平、化学组成和污染特征,由此可以研究排放源的特征和属性。大气颗粒物 PM_{2.5}因其对人体健康、能见度及气候等的影响,引起了人们越来越广泛的重视。

本文对贵阳市城区大气颗粒物(PM_{2.5})进行了为期3个月的连续采集,探讨其含量特征及变化规律,初步解析其来源,以期对制定区域大气颗粒物污染的治理对策提供科学依据。

1 材料与方法

采样点位于贵阳市南明区青云路($106^{\circ}43'3''\text{E}$;

$26^{\circ}33'56''\text{N}$),采样仪(URG Model 2000-01J)设在楼顶部,距地面约25 m,采样时间为2008年9月1日至11月31日。采样流速控制在10 L/min(标准状况下),采样时间为12 h,开始于8:00/20:00持续到次日20:00/8:00。PM_{2.5}富集在Teflon滤膜(2 μm , Millipore)上,富集样品的滤膜存放在干净的滤膜盒内,在低温避光条件下密封保存。滤膜在采样前后需进行称重,两次称量结果的差值为采集样品 PM_{2.5}的质量。

2 结果与分析

2.1 浓度分布特征

贵阳市大气 PM_{2.5}监测期内的平均含量为 $53 \pm 27 \mu\text{g}/\text{m}^3$,在 $3.7 \sim 186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间变化。3个月份之间的平均含量变化不大,表现为9月份大气中 PM_{2.5}的平均含量为 $53 \pm 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$;10月份大气中 PM_{2.5}的平均含量为 $52 \pm 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$;11月份大气中 PM_{2.5}的平均含量为 $53 \pm 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。图1可知,9月、10月、11月测定的大气中 PM_{2.5}的昼夜浓度差异不大,三个月的月平均浓度基本持平,昼夜平均浓

收稿日期:2013-10-11; 改回日期:2013-12-15

基金项目:贵阳市科技计划(筑科合同[2011401]社6-3号,筑科合同[2012303]14号);国家自然科学基金(40773067)。

第一作者简介:刘娜(1983-),女,硕士,主要从事环境地球化学研究。E-mail: liuna@vip.gyig.ac.cn.

* 通讯作者:仇广乐,男,博士,研究员。E-mail: qiuguangle@vip.skleg.cn.

度分别为 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以及 $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在 9 月份、11 月份白天大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度略小于夜晚,而在 10 月份大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的昼夜浓度基本相当。

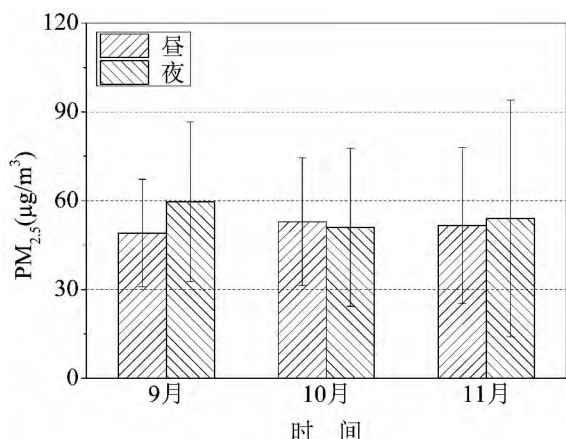


图 1 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的昼夜分布图

Fig. 1 Diurnal variation of $\text{PM}_{2.5}$

与国内其它发达及工业城市相比,本研究中 $\text{PM}_{2.5}$ 含量偏低,如:2004 年至 2005 年我国台湾 $\text{PM}_{2.5}$ 平均质量浓度为 $113.6 \pm 31.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[4];银燕等对南京市城区和工业区的 $\text{PM}_{2.5}$ 进行研究,其质量浓度变化范围分别为 $35 \sim 190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $79 \sim 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[5];北京市海淀区的大气 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度平均值达到 $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[6];武汉市城区的大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的含量研究结果为 $127 \pm 48.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[7];而贵阳市与我国一些沿海城市和非工业城市及一些发达国家城市相比,大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的含量相当^[8-11]。

以目前世界发达国家和世界卫生组织发布的大气 $\text{PM}_{2.5}$ 空气质量标准来衡量(表 1),贵阳市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均质量浓度处于世界卫生组织 2005 年发布的 WHO 过渡期目标 2 的标准($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$),而低于我国新发布的居民区 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 1 世界不同国家/组织的 $\text{PM}_{2.5}$ 空气质量标准

Table 1 $\text{PM}_{2.5}$ air quality standards of several countries/organizations $\mu\text{g}/\text{m}^3$

国家/组织	日平均	年平均	备注
WHO 过渡期目标 1	75	35	
WHO 过渡期目标 2	50	25	2005 年发布
WHO 过渡期目标 3	37.5	15	
美国	35	15	2006 年生效
日本	35	15	2009 年发布
中国	75	35	2012 年发布

贵阳市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的含量特征与城市排放源和

气象条件的影响密不可分。由于城市化和工业化的迅速发展,贵阳市机动车量迅速增加,同时工业及居民化石燃料的燃烧导致大气颗粒物的释放量增加。另外,贵阳市阴雨潮湿的特殊气候,一方面不利于大气污染物的扩散,而另一方面因降水的作用又会对大气污染物起到了清除作用。

2.2 气象参数的影响

表 2 列出了采样期间高时间频率气象参数。数据显示,9 月份平均气温为 21°C ,相对湿度达到 78%,降雨频率为 20%;10 月份的平均温度为 17°C ,相对湿度有所升高达到 82%,降雨频率也达到 42%;11 月份的平均气温降到 10°C ,相对湿度为 78%,降雨频率为 37%。在采样期间温度总体上呈下降趋势,平均温度在 16°C ,变化范围为 $5.0^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$;相对湿度各月间变化不大,平均在 80%左右;风速平均达到 2.5 m/s ,在 $1.1 \sim 5.7 \text{ m/s}$ 间变化;降雨频率总体为 33%。

表 2 采样期间气象参数统计

Table 2 Meteorological parameters during the sampling period

时间	数值	气温 ($^\circ\text{C}$)	相对 湿度(%)	风速 (m/s)	降雨 频率(%)
09 月	最小值	15	56	1.4	
	最大值	27	99	5.2	
	平均值	21	78	2.5	20
10 月	最小值	9	56	1.4	
	最大值	22	100	4	
	平均值	17	82	2.5	42
11 月	最小值	5	51	1.1	
	最大值	18	99	3.7	
	平均值	10	78	2.4	37
09 月~11 月	最小值	5	51	1.1	
	最大值	27	100	5.2	
	平均值	16	79	2.5	33

2.2.1 相对湿度

一般干燥的空气条件比较有利于颗粒物的输送扩散,而高湿的空气比较有利于颗粒物凝聚沉降,降水对悬浮于空气中的颗粒物具有明显的“冲刷”作用,可以自然净化大气质量。降水时段越长,颗粒物浓度降低幅度越大。水汽对大气颗粒物具有吸附作用,在空气湿度较大而未发生沉降的情况下,颗粒物附着在水汽中,悬浮在低空不易扩散,从而造成颗粒物高浓度污染^[12]。孙俊玲等对北京市海淀区大气颗粒物的研究显示 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度与相对湿度呈现很好的正线性相关性^[13];而在本研究中也发现 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度和相对湿度有一定的相关性(R^2

=0.1478)。

贵阳市大气相对湿度的范围在 56%~99% 之间,平均高达 78%。由于贵阳市大气相对湿度维持较高水平,在一定的相对湿度范围内,大气颗粒物吸湿涨化不宜扩散,导致 PM_{2.5} 的浓度和相对湿度的相关性不是很显著。高湿度气候导致贵阳市大气 PM_{2.5} 不宜扩散,而在发生湿沉降的情况下,特别是强降水和长时间降水之后,大气 PM_{2.5} 的浓度明显降低,湿沉降对去除大气 PM_{2.5} 的作用显著。

在研究期间,贵阳市的降水频率高达 33%。通过分析降水期和非降水期大气中 PM_{2.5} 的含量,发现降水期间大气中 PM_{2.5} 的平均含量为 31.9 μg/m³,而非降水期间大气中 PM_{2.5} 的平均含量高达 61.3 μg/m³。贵阳市雨水充沛,湿沉降对大气中的 PM_{2.5} 起到很好的净化作用。

2.2.2 风速、风向

图 2 是采样期间贵阳市不同风向的概率分布图,该风向的分布规律比较明显。从图 2 中可以看出,该期间的主导风向主要在东北方向上(NNE、NE、NEE),约占全部风向的 57%;另外在东南方向上(EES、ES、ESS、S)的分布约占全部风向的 27%;其次是西南风(SW、S),约占全部风向的 11%。不同风向上风速的差异比较明显,见图 3。在主导风向东北风(NE)的风速明显高于其它风向,在东北方向上的风速平均达到 3.5 m/s;除在西南方向上的风速平均达到 2.8 m/s 外,其他风向上的风速主要分布在 2.5 m/s 左右。贵阳市大气中 PM_{2.5} 在不同风向上的含量分布如图 4:超过 100 μg/m³ 的高浓度

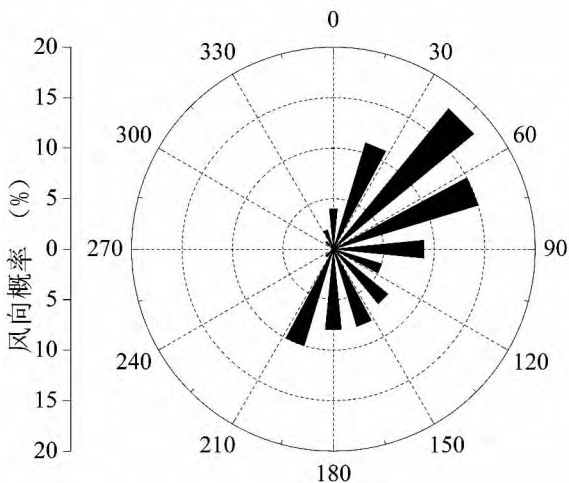


图 2 贵阳市 2008 年 9 月至 11 月风向的概率分布
Fig. 2 The probability distribution of wind direction frequency from Sep. to Nov. 2008

大气 PM_{2.5} 主要分布在风速较小的东南方向上;在采样期间 64% 的高浓度大气 PM_{2.5} 样品集中在此方向上;主导风向东北风(NNE、NE、NEE)上的大气 PM_{2.5} 含量分布比较均匀,集中在 50~80 μg/m³ 之间;而在西南方向(WS)上大气中 PM_{2.5} 平均含量较低。经调查在采样点的东北方向上,散布着小型燃煤释放点,另外贵阳市机动车的密度比较大,由此推断人为释放源是大气中 PM_{2.5} 的主要来源。

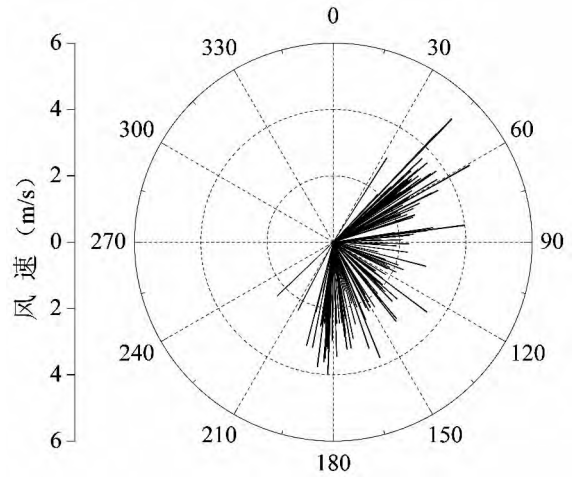


图 3 贵阳市 2008 年 9 月至 11 月风速分布特征
Fig. 3 The distribution characteristics of wind speed frequency from Sep. to Nov. 2008

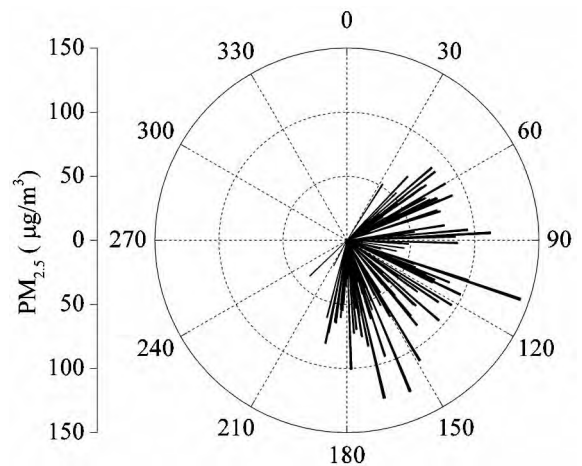


图 4 贵阳市大气中 PM_{2.5} 浓度的风玫瑰图
Fig. 4 The wind-rose diagram of PM_{2.5} concentrations in Guiyang from Sep. to Nov. 2008

风力对大气颗粒物的影响方式是风速大时,污染物稀释能力强,PM_{2.5} 浓度低;风速小时,水平输送能力差,扩散能力差,易造成污染物的局部堆积,从而造成污染^[12]。在一定的风速范围内,污染源确定的情况下,大气 PM_{2.5} 浓度与风速呈负相关性,风速越大,越有利于大气颗粒物的扩散,PM_{2.5} 浓度低;反

之,PM_{2.5}浓度高^[13,14]。

通过分析贵阳市城区大气中PM_{2.5}与风速之间的相关性发现,两者呈现很好的线性相关性($R^2 = 0.5248$),见图5。

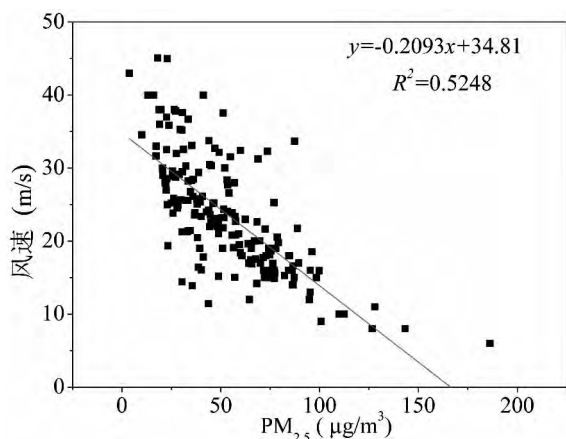


图5 大气颗粒物浓度与风速的相关性

Fig. 5 The correlation between PM_{2.5} and wind speed

2.2.3 温度

刘大锰等研究指出温度越高大气颗粒物浓度呈下降趋势,气温较高时有利于大气垂直对流,加快颗粒物扩散,颗粒物的质量浓度低,而温度较低时,近地面大气形成逆温层,不利于大气颗粒物的扩散,颗粒物浓度增加^[15]。不同研究之间因污染源种类、强弱级采样点位置不同,研究结果也存在差异。在本研究中,分析PM_{2.5}浓度与温度之间的关系,不存在明显的相关性($R^2 = 0.042$),与宋宇、孙俊玲等研究

结果相似^[6,16]。

综上所述,由于化石燃料的燃烧等人为污染源是城市大气颗粒物污染的决定因素,因此在污染源稳定的条件下,气象条件对大气污染物的扩散、稀释和累积其重要作用。我们的调查结果也表明了相对湿度、风速、风向等气象参数对影响大气颗粒物浓度及分布特征起到了重要的作用。

3 结论

通过对贵阳市城区大气颗粒物PM_{2.5}的含量特征分析,得出以下结论:

1)在研究期间,贵阳市大气PM_{2.5}的平均含量为 $53 \pm 27 \mu\text{g}/\text{m}^3$,在 $3.7 \sim 186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间变化。大气PM_{2.5}的昼夜浓度相差不大,夜晚略低于白天;月份间无明显变化;降雨期大气PM_{2.5}的含量低于非降雨期。与我国发达城市及工业城市相比,贵阳市大气PM_{2.5}的平均含量偏低,而与沿海城市如厦门等大气中PM_{2.5}的含量相当。

2)气象条件如湿沉降、风速、风向、温度等是影响PM_{2.5}浓度分布的重要影响因素。贵阳市大气PM_{2.5}的含量分布特征与贵阳市特殊的气候条件密切相关。贵阳市湿润温和的特殊气候,不利于大气污染物的扩散,导致贵阳市区大气颗粒物的污染比较严重,而多次降水的作用又对大气PM_{2.5}起到了清除作用。贵阳市城区大气中PM_{2.5}与风速两者呈现很好的线性相关性,与温度无明显相关性。

参 考 文 献

- [1] Emily P, Delbert J E. Indoor/Outdoor Relationships for Ambient PM_{2.5} and Associated Pollutants: Epidemiological Implications in London, Utah[J]. Journal of Air & Waste Management Association, 2000, 50:103-110.
- [2] WHO, Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. World Health Organization. WHO Regional Office for Europe. 2006.
- [3] Tucker W G. An overview of PM_{2.5} Sources and Control Strategies[J]. Fuel Processing Technology, 2000, 65:379-392.
- [4] Fang G C, Wu Y S, Chen J C, et al. Concentrations of ambient air particulates (TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10}) and ionic species at offshore areas near Taiwan Strait[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, B132: 269-276.
- [5] 银燕,童尧青,魏玉香,等.南京市大气细颗粒物化学成分分析[J].大气科学学报,2009,32:723-733.
- [6] 孙俊玲,刘大锰,扬雪.北京市海淀区大气颗粒物污染水平及其影响因素[J].资源与产业,2009,11:96-100.
- [7] 成海容,王祖武,冯家良,等.武汉市城区大气PM_{2.5}的碳组分与源解析[J].生态环境学报,2012,21(9):1574-1579.
- [8] 何宗健,袁胜林,肖美.夏季南昌市大气颗粒物PM₁₀/PM_{2.5}污染研究水平[J].安徽农业科学,2010,38:1336-1338,1384.
- [9] Zhang F W, Zhao J P, Chen J S, et al. Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} in Xiamen, China[J]. Journal of Environmental Sciences-China, 2011, 23(8): 1342-1349.

- [10] Koo Y S, Kim S T, Yun H Y, *et al.* The simulation of aerosol transport over East Asia region[J]. *Atmospheric Research*, 2008, 90: 264–271.
- [11] Akyüz M, Cabuk H. Meteorological variations of PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 170: 13–21.
- [12] 王明星. 大气化学[M]. 北京: 气象出版社. 1999, 178–180.
- [13] 王淑英, 张小玲. 北京地区 PM₁₀ 污染的气象特征[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(增刊): 177–184.
- [14] 张国琰, 甄新蓉, 谈建国, 等. 2010. 影响上海市空气质量的地面天气类型及气象要素分析[J]. *热带气象学报*, 26(1): 124–128.
- [15] 刘大猛, 马永胜, 高少鹏, 等. 北京市区春季燃烧源大气颗粒物的污染水平和影响因素[J]. *现代地质*, 2005, 19(4): 621–633.
- [16] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 夏季持续高温天气对北京市大气细颗粒物的影响[J]. *环境科学*, 2002, 23(4): 33–36.

Pollution Characteristics of PM_{2.5} in Guiyang and Its Influence on Meteorological Parameters

LIU Na¹, FENG Xin-bin¹, Landis Matthew², CHEN Zhuo³, QIU Guang-le^{1,*}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. US EPA, Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC 27709, USA; 3. College of Chemistry and Materials Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: Atmospheric particles (PM_{2.5}) over Guiyang City had been collected and analyzed from September to November 2008. The mass concentrations of PM_{2.5} were $53 \pm 27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ranging from 3.7 to 186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The possible sources were artificial sources such as fossil fuel burning, biomass burning, etc. The meteorological parameters, such as humidity, wind speed and temperature, play a key role in controlling atmospheric particles' concentrations.

Key words: PM_{2.5}; meteorological parameter; Guiyang