

# Variation of Atmospheric Environment in Guiyang and the Correlation between Pollution Status and Emission Load in Recent Year

Zhihua Su<sup>1,2</sup>, Zhanwu Ma<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>The School of Management Science, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>The Center for Geographical Environment and Earth's Resources, The School of Management Science, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang Guizhou

<sup>3</sup>School of Civil Engineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan Ningxia

Email: \*mazhanwu419@163.com

Received: Apr. 8<sup>th</sup>, 2016; accepted: Apr. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The data of atmosphere pollutant concentration and its emission load from the Guiyang City Environment Gazette were selected during 2008-2014, and the contamination characteristics of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> were analysed by the time-sequential approach, together with correlation analysis was used to assess the interaction between pollutant concentration in air and its emission. Results showed that the annual average concentration of SO<sub>2</sub> gradually reduced, and the NO<sub>2</sub> gradually increased, PM<sub>10</sub> had small fluctuations except the 2013 year. The reducing SO<sub>2</sub> concentrations may be associated with the industrial structure optimization, the increasing NO<sub>2</sub> concentration is mainly influenced by exhaust emissions of motor vehicle, and the impact factors of PM<sub>10</sub> is more complicated. The changes of air quality could be divided into two stages during 2008-2014. Air quality was more stable and comfortable during 2008-2012, the good rate of which maintained at 94% ± 1% level. The air quality had partly decreased in the second stage during 2013-2014. The emissions of pollutants play a key role in controlling atmospheric pollutants' concentrations, which is mainly influenced by terrain and pollutant particle size.

## Keywords

Guiyang, Atmospheric Environment, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>

---

\*通讯作者。

# 近年来贵阳市大气环境质量的演变特征及其与污染源排放的关系

苏志华<sup>1,2</sup>, 马占武<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>贵州财经大学管理科学学院, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>贵州财经大学管理科学学院地理环境与地球资源研究中心, 贵州 贵阳

<sup>3</sup>北方民族大学土木工程学院, 宁夏 银川

Email: \*mazhanwu419@163.com

收稿日期: 2016年4月8日; 录用日期: 2016年4月26日; 发布日期: 2016年4月29日

## 摘要

本研究通过整理2008~2014年《贵阳市环境状况公报》中的空气质量及污染物排放量数据, 运用时间序列分析法和相关性分析法研究2008~2014年贵阳市大气质量的演变特征, 并分析大气中污染物浓度与其排放源强的相关性。结果显示近7年来贵阳市空气环境中的SO<sub>2</sub>年平均浓度逐渐降低, NO<sub>2</sub>年平均浓度逐渐增加, 除2013年外PM<sub>10</sub>波动不大; SO<sub>2</sub>浓度降低可能与产业结构优化有关, NO<sub>2</sub>则主要受到机动车尾气排放的影响, 而PM<sub>10</sub>的影响因素较为复杂; 空气质量变化可分为两个阶段: 2008~2012年空气质量优良率保持在94% ± 1%的水平, 空气质量较好且较为稳定, 第二阶段为2013~2014年, 空气质量有一定程度下降; 大气污染物年平均浓度和相应年份的排放量具有很好的相关性, 相关程度主要受到地形和污染物粒径大小的影响。

## 关键词

贵阳市, 大气环境, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>

## 1. 引言

近年来, 虽然我国大气污染防治工作取得了很大成效, 但由于在快速城市化背景下, 生态严重破坏, 大气污染物排放总量居高不下, 导致了大气环境面临的形势仍然非常严峻。根据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) [1], 大气污染物的基本项目包括二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)、臭氧(O<sub>3</sub>)、颗粒物(粒径小于 10 μm, PM<sub>10</sub>)和颗粒物(粒径小于 2.5 μm, PM<sub>2.5</sub>), 其对人体健康、能见度和气候变化等方面的危害已被国内外学者证实[2]-[4]。鉴于大气污染物的健康、环境和气候效应, 目前在全球范围内已开展了一系列有关大气污染物的观测研究, 主要包括其污染状况和变化趋势[5]、源排放特征[6]、化学组成、理化特征及来源分析[7]-[9]、气象条件的影响[10]-[12]、区域内部传输及城市间的相互影响[13], 这些研究对准确评估大气污染物的影响及制定相应的控制策略具有深远的意义。

贵阳位于贵州的中部, 是贵州省省会, 随着能源结构和产业结构的改变、机动车保有量的快速增加, 贵阳市的空气污染在新时期呈现出与以往不同的特征[14] [15], 空气环境污染状况由以 SO<sub>2</sub> 污染为主转变到以颗粒物污染为主[16]。更关键的是, 贵阳作为全国生态文明建设和首个国家循环经济试点城市, 对空气环境质量具有更高的要求。因此近年来贵阳市加大环境整治力度, 加强环境监测, 已建成空气环境质

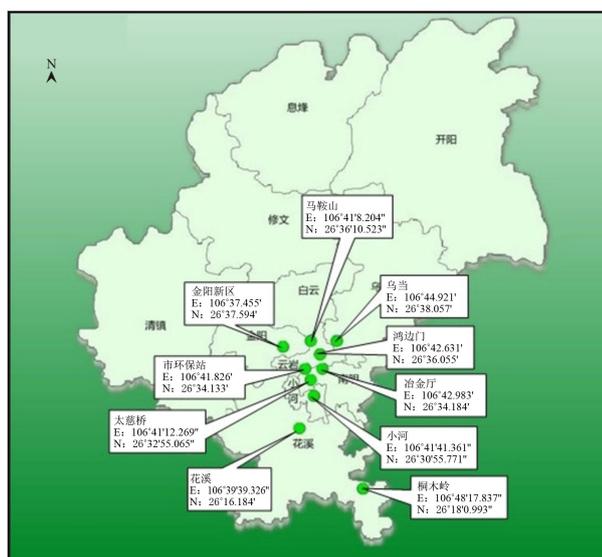


Figure 1. Monitoring sites of air quality in Guiyang  
图 1. 贵阳市空气质量监测站分布图

量监测国控点 9 个(图 1)。然而有关贵阳大气环境的研究记录仍然非常稀少: 张雯婷等[17]根据对建筑和市政施工工程的调查, 估算出贵阳市区 2002 年建筑扬尘的  $PM_{10}$  排放量为 416 t, 建筑扬尘对整个城区  $PM_{10}$  的年均浓度贡献约 12%; 基于 KB-120 型中流量 TSP/ $PM_{10}$  采样器的研究结果指示了贵阳市 2008 年 7 月~2009 年 4 月 TSP 与  $PM_{10}$  日均浓度范围分别为 48.1~985.8 和 32.5~595.4  $g/m^3$ , 两者的超标率分别为 2% 和 45%。4 个采样点 TSP 和  $PM_{10}$  浓度在季节上的变化规律大小顺序为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。在空间上的规律大小顺序为水泥厂 > 蔡家关 > 市中心 > 花溪。 $PM_{10}$  质量浓度与主要气象要素存在一定程度的相关性[18]; 刘娜等[19]和仇广乐等[20]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, 结果显示  $PM_{2.5}$  的平均质量浓度为  $53 \pm 27 \mu g/m^3$ , 变化范围为 3.7~186  $\mu g/m^3$ 。并初步推断出黑炭浓度与  $PM_{2.5}$  浓度的变化特征一致, 确定了  $PM_{2.5}$  主要的污染源, 查明了相对湿度、风速、风向、温度等气象条件是影响大气颗粒物及黑炭浓度及分布的重要因素。肖劲松等[16]应用富集因子法判断出贵阳市于 2011 年 4 月 12~5 月 2 日阶段  $PM_{2.5}$  中不同元素的来源。从前人对贵阳市大气污染的研究资料可以看出, 研究记录仍然非常稀少, 以往的研究局限于贵阳市个别站点, 研究的时间尺度也比较短, 采样分辨率低, 很难对贵阳市大气污染物的分布特征进行较长时间尺度的详细评价, 且以往的记录很少探讨大气环境质量与污染源排放的关系。基于此, 本论文研究贵阳市近 7 年来大气污染特征, 并探讨污染源排放与大气环境质量的关系, 以为贵阳市环保政策制定提供数据支撑和理论支持。

## 2. 材料与方法

本研究通过整理 2008~2014 年《贵阳市环境状况公报》中的空气质量及污染物排放量数据, 包括环境空气中的可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )年平均浓度、二氧化硫( $SO_2$ )年平均浓度、二氧化氮( $NO_2$ )年平均浓度, 一年中的 I 级(优)、II 级(良)、III 级(差)的天数和优良率, 粉尘年排放量(缺少 2013~2014 年)、 $SO_2$  的年排放量和氮氧化物( $NO_x$ )年排放量(缺少 2008-2010 年)。由于《贵阳市环境状况公报》并未统计 2013 年前  $PM_{2.5}$ 、CO 和  $O_3$  数据, 因此本文没有研究这三个指标的变化。然后, 我们运用时间序列分析法对整理好的数据进行分析, 研究贵阳市近 7 年来空气中污染物年平均浓度的变化特征。并基于空气污染物质量浓度和排放源强的相关性分析, 研究空气质量与污染物排放的关系。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 污染物浓度分布及其影响

PM<sub>10</sub>指大气中空气动力学当量直径≤10微米的可吸入颗粒物了,能在环境空气中长期飘浮,对大气能见度影响很大。一部分颗粒物来自污染源的直接排放,比如车辆与烟囱。另一部分则是由环境空气中硫氧化物、氮氧化物、挥发性有机化合物及其它化合物互相作用形成的细小颗粒物,通常来自在未铺沥青、水泥的路面上行使的机动车、材料的破碎碾磨处理过程等[21][22]。它们的化学和物理组成依地点、气候、一年中的季节不同而变化很大。2008~2014贵阳市空气环境中的PM<sub>10</sub>的年均值介于0.073至0.086毫克/立方米之间,平均值是0.077毫克/立方米,从2008~2012年,PM<sub>10</sub>的年均值呈现出缓慢波动的特征,2013年PM<sub>10</sub>的年均值快速增大,由2012年的0.073毫克/立方米增到2013年的0.086毫克/立方米(图2),未达到国家环境空气质量二级标准。2013年PM<sub>10</sub>的年均值快速增加的原因可能是因为在国发二号文件之后,贵州的经济快速发展,贵阳市大规模的基础设施建设和房地产开发增加了扬尘效果,于是导致了空气中颗粒物的含量增加[23]。至2014年,PM<sub>10</sub>的年均值下降到2012年的水平,仅为0.073毫克/立方米,这可能与2014年贵阳市加强工地、道路扬尘污染治理有关,具体表现为加强对施工工地扬尘污染管控,广泛开展绿色文明施工,通过多种途径规范渣土运输车辆管理,有效降低工地扬尘污染。严格按照作业规范对道路开展机械化清扫、洒水降尘、人工保洁等作业,并及时清洗道路护栏、护墙、隔音墙、隧道内侧墙体等,有效控制道路扬尘污染[24]。

城市中的二氧化硫主要来源于工业生产过程中燃料的燃烧,煤和石油通常都含有硫化物,因此燃烧时会生成二氧化硫[25][26]。2008~2014年,贵阳市环境空气中SO<sub>2</sub>的平均浓度范围为0.024~0.064毫克/立方米,平均值是0.045毫克/立方米,SO<sub>2</sub>的平均浓度显示出逐年下降的特征,尤其从2011年至2012年下降幅度最大,从0.049毫克/立方米下降到0.024毫克/立方米(图2)。空气环境中的SO<sub>2</sub>的平均浓度下降可能与贵阳市能源结构的改变有关,2012年,贵阳市城市燃气用户达70.5万户,用气总人口239.7万人,实现用气人口与城镇人口同步增长。全市城市燃气气化率达95%,中心城区气化率达98.5%。加上贵阳市积极发展和引进天然气项目,建成和拥有4300立方米、2500立方米、200立方米液化天然气接收供应站各一座,已置换开通天然气居民用户10万余户,非居民用户120余户,用气人口30万余人。2012年贵阳市公交全面完成“油改气”工程,全市1850辆公交车完成了改造。并积极推进汽车加气站建设,建成汽车加气站7座,每日供应量达13~15万立方米,有效减少了污染物排放,改善了大气环境[23]。另外,贵阳市重点能耗企业的逐渐关闭和停产也对空气环境质量中SO<sub>2</sub>的平均浓度的减少具有重要的贡献作用[23]。至2014年,环境空气中SO<sub>2</sub>的平均浓度下降到0.024毫克/立方米,为近年中的最小值,这可能与贵阳市加快发展清洁能源、加快淘汰落后产能和划定高污染燃料禁燃区等环保政策的实施有关[24]。

城市中的NO<sub>2</sub>主要来源于高温燃烧过程,比如机动车的使用、电厂废气的排放等[26]。2008~2014年贵阳市空气环境中NO<sub>2</sub>的平均浓度总体上呈现出逐年增加的趋势,(图2),从2008年的0.023毫克/立方米增加到2013年的0.033毫克/立方米。尽管近年来贵阳市逐年关闭了大量的能耗污染企业,走上了以低碳和循环经济为特征的生态文明之路,但贵阳市机动车的拥有量仍然快速增加,其不仅引发了道路的拥堵,也导致了环境空气中的NO<sub>2</sub>含量逐渐增加。

#### 3.2. 空气质量变化及其影响

2008~2014年贵阳市一年中的I级、II级天数呈现出波动变化的特征,两者具有反相位关系(图3)。一年中I级天数的变化特征表现为减小-增加-减小-增加,II级天数的变化则相反。III级天数的变化表现

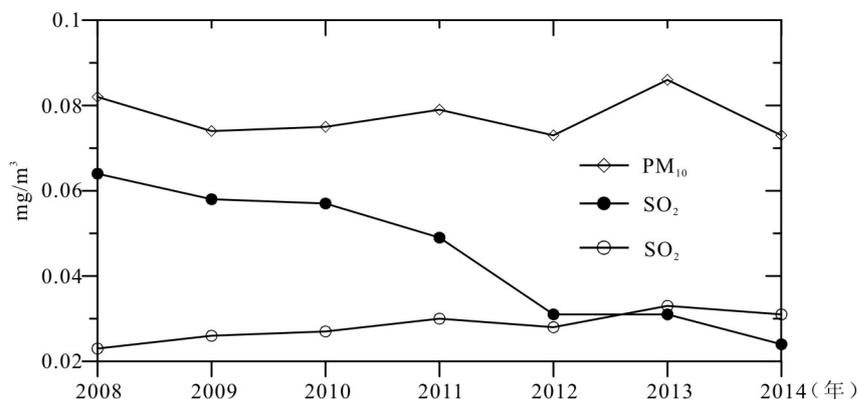


Figure 2. Year variation of PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> during 2008-2014 in Guiyang  
图 2. 2008~2014 年贵阳市 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 年均质量浓度变化特征

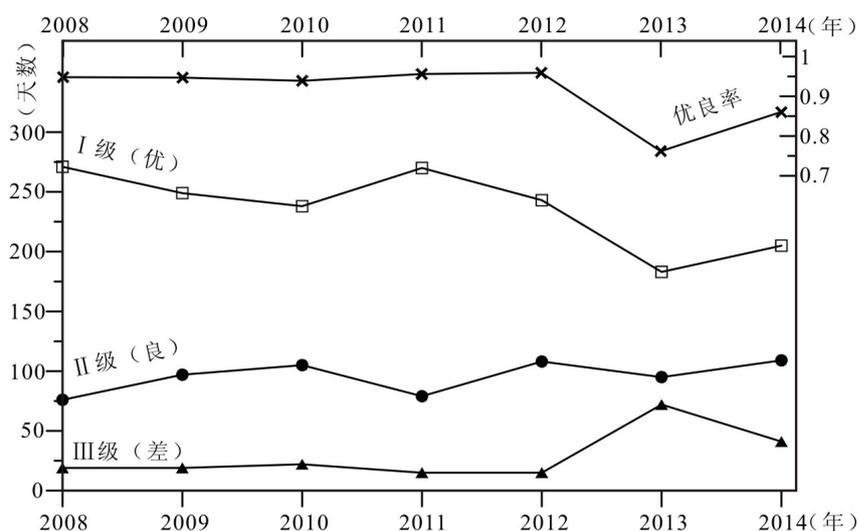


Figure 3. Variation of air quality during 2008-2014 in Guiyang  
图 3. 2008~2014 年贵阳市空气质量变化特征

为显著两阶段的特征, 在 2008~2012 年 III 级天数波动不大, 约为  $17 \pm 2$  天, 但在 2013~2014 年, III 级天数快速增加, 从 2012 年的 15 天增加到 2013 年的 72 天。7 年间空气质量优良率变化与 III 级天数的变化一致(图 3)。因此, III 级天数可作为反映空气质量变化的代用指标, 其数值增加指示空气质量恶化, 减小则相反。2008~2012 年贵阳市空气质量优良率保持在  $94\% \pm 1\%$  的水平, 空气质量较好, 但在 2013~2014 年, 空气质量有一定程度下降, 其中 2013 年优良率最低, 仅为 76.2%。2013 年 PM<sub>10</sub> 平均质量浓度为达到 0.086 毫克/立方米, 为近 7 年中的最大值, 与最低空气质量优良率相对应, 表明 PM<sub>10</sub> 是影响大气质量的首要污染物[16]-[23], 可作为反映空气质量的首要代替指标。

### 3.3. 大气污染物浓度与排放源的关系

在气象条件一定的条件下, 大气污染状况主要由排放源决定[27]。研究结果显示贵阳市 2008~2012 年空气环境中的大气污染物年平均浓度和相应年份的排放量具有很好的相关性(图 4)。SO<sub>2</sub> 的平均浓度和其年排放量的相关系数达到 0.8119, NO<sub>2</sub> 年平均浓度和 NO<sub>x</sub> 年排放量达到 0.7762, PM<sub>10</sub> 和粉尘排放量的相关系数为 0.4515。由此可见空气中的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的年平均浓度受到局地排放的显著影响, 这可能与贵阳市特殊的地形条件有关。贵阳苗岭横延市境, 岗阜起伏, 剥蚀丘陵与盆地、谷地、洼地相间, 相对高

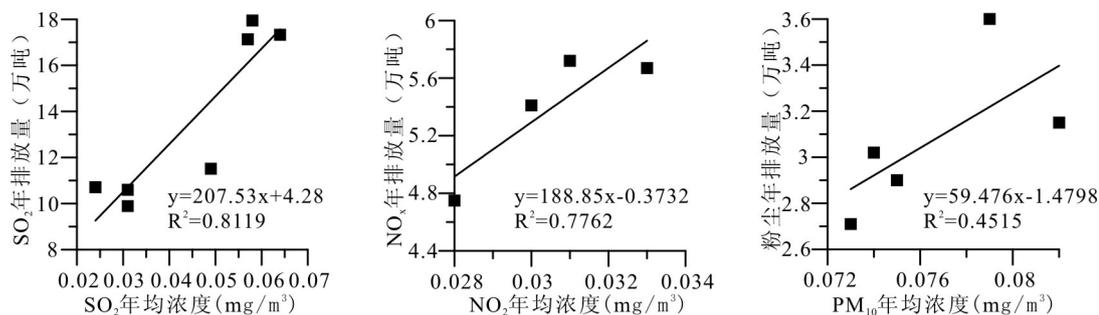


Figure 4. The correlation between pollutant concentration and emission load

图 4. 大气污染物年均浓度与其排放量的相关性

差 100~200 米, 导致了工业及生活排放的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  较难扩散, 而  $\text{PM}_{10}$  和粉尘排放量的相关性相对较小, 这是因为  $\text{PM}_{10}$  粒径较大, 更容易发生沉降。

#### 4. 政策与建议

大气污染程度主要与排放源强和气象条件有关, 在排放源强一定的情况下, 主要受到气象条件的影响[11] [12], 而气象条件受地形影响明显, 以气象条件中的风力为例, 在平原地带由于地势开阔, 风力不受阻挡, 风速大, 易于污染物的迁移扩散, 而山区则相反。贵阳属于山谷中的城市, 地势不够平坦, 相对高差大, 加上高楼大厦较多, 对流经市区的风阻碍和摩擦作用明显, 导致空气中污染物浓度与排放源有很强的相关性。基于此, 我们认为要减轻贵阳市大气污染, 改善空气环境, 首先需要减少污染源排放, 可以通过以下政策实现: 改进产业结构和能源结构, 减少燃煤量以减少  $\text{SO}_2$  的排放量; 进一步加强机动车尾气的污染防治以减少  $\text{NO}_x$  的污染; 增强工地道路扬尘整治, 减少空气中大气颗粒物的含量。

#### 5. 结论

1) 2008~2014 年贵阳市空气环境中的  $\text{SO}_2$  年平均浓度逐渐降低,  $\text{NO}_2$  年平均浓度逐渐增加, 除 2013 年外,  $\text{PM}_{10}$  波动不大;  $\text{SO}_2$  浓度降低可能与产业结构优化有关,  $\text{NO}_2$  浓度则主要受到机动车尾气排放的影响, 而  $\text{PM}_{10}$  的影响因素较为复杂。

2) 近 7 年贵阳市空气质量变化可分为两个阶段, 2008~2012 年贵阳市空气质量较为稳定, 优良率保持在  $94\% \pm 1\%$  的水平, 空气质量较好, 但在 2013~2014 年, 空气质量有一定程度下降; III 级天数可作为反映空气质量变化的代用指标; 2013 年  $\text{PM}_{10}$  成为影响大气质量的首要污染物。

3) 大气污染物年平均浓度和相应年份的排放量具有很好的相关性,  $\text{SO}_2$  的平均浓度和其年排放量的相关系数达到 0.8119,  $\text{NO}_2$  年平均浓度和  $\text{NO}_x$  年排放量达到 0.7762,  $\text{PM}_{10}$  和粉尘排放量的相关系数为 0.4515。

#### 基金项目

贵州省科学技术基金(黔科合 J 字[2014]2048 号); 北方民族大学校级项目(项目编号: 2140012712100827, 2015KJ13)。

#### 参考文献 (References)

- [1] 国家环保总局. GB 3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 国家环保总局, 2012.
- [2] Samet, J.M., Dominici, Currier, C., et al. (2000) Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 US Cities, 1987-1994. *New England Journal of Medicine*, **343**, 1742-1749.
- [3] Watson, J.G. (2002) Visibility: Science and Regulation. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **52**, 628-

713.

- [4] Ramanathan, V., Crutzen, P.J., Kiehl, J.T., *et al.* (2001) Atmosphere-Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. *Science*, **294**, 2119-2124.
- [5] 陈晶, 张礼俊, 钟流举. 珠江三角洲空气质量现状及特征[J]. 广东气象, 2008, 30(4): 15-17.
- [6] Zheng, J., Zhang, L., Che, W., *et al.* (2009) A Highly Resolved Temporal and Spatial Air Pollutant Emission Inventory for the Pearl River Delta region, China and Its Uncertainty Assessment. *Atmospheric Environment*, **43**, 5112-5122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.060>
- [7] Malm, W.C., Schichtel, B.A., Pitchford, M.L., *et al.* (2004) Spatial and Monthly Trends in Speciated Fine Particle Concentration in the United States. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **109**, 1-13.
- [8] Viana, M., Kuhlbusch, T.A.J., Querol, X., *et al.* (2008) Source Apportionment of Particulate Matter in Europe: A Review of Methods and Results. *Journal of Aerosol Science*, **39**, 827-849.
- [9] Song, Y., Dai, W., Wang, X., *et al.* (2008) Identifying Dominant Sources of Respirable Suspended Particulates in Guangzhou. *China Environmental Engineering Science*, **25**, 959-968. <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2007.0146>
- [10] Feng, Y.R., Wang, A.Y., Wu, D., *et al.* (2007) The Influence of Tropical Cyclone Melor on PM<sub>10</sub> Concentrations during an Aerosol Episode over the Pearl River Delta Region of China: Numerical Modeling versus Observational Analysis. *Atmospheric Environment*, **41**, 4349-4365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.055>
- [11] Tai, A.P.K., Mickley, L.J. and Jacob, D.J. (2010) Correlations between Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and Meteorological Variables in the United States: Implications for the Sensitivity of PM<sub>2.5</sub> to Climate Change. *Atmospheric Environment*, **44**, 3976-3984.
- [12] Pateraki, S., Asimakopoulos, D.N., Flocas, H.A., *et al.* (2012) The Role of Meteorology on Different Sized Aerosol Fractions (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub>). *Science of the Total Environment*, **419**, 124-135.
- [13] 胡晓宇, 李云鹏, 李金凤, 等. 珠江三角洲城市群 PM<sub>10</sub> 相互影响研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(3): 519-524.
- [14] 苏志华, 王建华. 贵阳市大气颗粒物的污染特征及其影响因素分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(5): 77-84.
- [15] 苏志华. 近年来贵阳市大气环境质量的演变特征及其影响因素探讨[N]. 城市地质环境与可持续发展论坛论文集, 贵阳, 2014: 200-201.
- [16] 肖劲松, 唐雄, 胡宇. 贵阳市大气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 来源初探[J]. 环保科技, 2014, 20(5): 1-5.
- [17] 张雯婷, 王雪松, 刘兆荣, 张远航, 邵敏, 程群, 吴德刚, 田伟. 贵阳建筑扬尘 PM 排放及环境影响的模拟研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 46(2): 258-264.
- [18] 李金娟, 杨荣师. 贵阳市大气颗粒物的污染特征及其与主要气象要素的相关性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(1): 91-95.
- [19] 刘娜, 冯新斌, Landis Matthew, 陈卓, 仇广乐. 贵阳市大气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 污染特征及气象参数的影响[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 311-315.
- [20] 仇广乐, 刘娜, 冯新斌, Landis Matthew, 商立海, 付学吾. 贵阳市大气黑碳污染特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 1018-1022.
- [21] Tucker, W.G. (2000) An Overview of PM<sub>2.5</sub> Sources and Control Strategies. *Fuel Processing Technology*, **65**, 379-392.
- [22] Heidi, O., Gaarder, P.I. and Johansen, B.V. (1997) Quantification and Characterization of Suspended Particulate Matter in Indoor Air. *The Science of the Total Environment*, **193**, 185-196.
- [23] 贵阳市环保局. 贵阳市 2013 年环境状况公报[R]. 贵阳, 2013.
- [24] 贵阳市环保局. 贵阳市 2013 年环境状况公报[R]. 贵阳, 2014.
- [25] 李瑞智, 钟章成, 黄林. 二氧化硫对作物含硫量和蛋白质含量的影响[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1982(3): 95-99.
- [26] 应波, 李淑敏, 岳银玲. 离子色谱法同时测定空气中的二氧化硫和二氧化氮[J]. 中国预防医学杂志, 2006, 7(2): 137-138.
- [27] Emily, P. and Delbert, J.E. (2000) Indoor/Outdoor Relationships for Ambient PM<sub>2.5</sub> and Associated Pollutants: Epidemiological Implications in London, Utah. *Journal of Air & Waste Management Association*, **50**, 103-110.