

王勇, 刘严萍, 李江波, 等. 水汽和风速对雾霾中  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化的影响[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 5-7. [Wang Yong, Liu Yanping, Li Jiangbo, et al. The Effect of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  Variation based on Precipitable Water Vapor and Wind Speed [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 5-7.]

## 水汽和风速对雾霾中 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化的影响<sup>\*</sup>

王 勇<sup>1,2</sup>, 刘严萍<sup>3</sup>, 李江波<sup>4</sup>, 柳林涛<sup>2</sup>

(1. 天津城建大学地质与测绘学院, 天津 300384; 2. 大地测量与地球动力学国家重点实验室, 湖北 武汉 430077;  
3. 天津城建大学 经济与管理学院, 天津 300384; 4. 河北省气象局, 河北 石家庄 050022)

**摘 要:** 依据北京 2013 年  $PM_{2.5}/PM_{10}$ 、GPS 水汽和无线电探空风速资料, 发现水汽变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化呈正相关, 风速变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化呈负相关。在风速较小情况下, 水汽变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化呈显著正相关, 水汽上升对应了 GPS 水汽变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度的上升, 水汽下降则对应了  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度的下降。分析了水汽与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化显著正相关的原因。

**关键词:**  $PM_{2.5}/PM_{10}$ ; 水汽; GPS; 风速; 北京

**中图分类号:** P426.615; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)01-0005-03

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.01.002

雾霾是空气污染和气象因素共同作用的结果, 雾霾天气发生时, 大气能见度下降, 大气中的颗粒物( $PM_{2.5}/PM_{10}$ )是导致能见度降低的主要因素<sup>[1]</sup>, 城市大气  $PM_{2.5}/PM_{10}$  污染影响空气质量, 威胁人群健康, 是具有区域性特征、危害严重的大气污染物。我国区域灰霾污染日益严重, 区域大气能见度逐年下降, 细颗粒物浓度超标。Yuanyuan Fang 以美国东北部为例研究了夏季  $PM_{2.5}$  空气质量的物理气候模型<sup>[2]</sup>; Anne Boynard 利用 IASI (红外大气探测干涉仪) 卫星测量技术探测了中国华北地区的冬季空气污染<sup>[3]</sup>。近年来我国部分学者针对北京、广州、深圳和天津等城市开展了城市  $PM_{2.5}$  浓度特征及其影响因素的分析研究<sup>[4-7]</sup>。郭洁以成都为例研究了 GPS 水汽与大雾天气变化的关系, 通过水汽变化分析雾形成原因<sup>[8]</sup>。

风是影响  $PM_{2.5}/PM_{10}$  横向水平移动的关键要素, 水汽(可降水量)是影响  $PM_{2.5}/PM_{10}$  垂直运动的因素。我们针对雾霾天气过程研究了 GPS 可降水量和天顶对流层延迟的变化, 发现 GPS 可降水量在雾霾过程前后有较大的变动<sup>[9]</sup>。水汽和风速的变化如何影响空气中的微颗粒物( $PM_{2.5}/PM_{10}$ )的质量浓度变化? 本文拟利用 2013 年的北京市  $PM_{2.5}/PM_{10}$  观测资料, 结合 GPS 水汽资料、无线电探空风速资料, 进行北京地表  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化与水汽、风速变化的比较研究, 并对比较结果进行分析。

## 1 实验数据与方法

本文研究数据主要包含 3 类数据: GPS 水汽 (GPS Precipitable Water Vapor, GPS PWV)、无线电探空风速、 $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度观测数据。

### 1.1 GPS 水汽

利用 GPS 观测资料可以反演出高时间分辨率的对流层延迟序列, 结合气象观测资料(气压、温度), 可以获得时值 GPS 水汽序列<sup>[10]</sup>。国际 GNSS 服务 (International GNSS Service, IGS) 提供国际 GPS 站点的对流层延迟解算资料和气象观测数据, 通过下载 BJNM 站点对流层延迟和气象资料, 按照文献[10]中提供的方法可以获得时值 GPS 水汽序列。GPS 水汽与无线电探空/水汽辐射计水汽具有接近(1~2 mm)的精度<sup>[11-12]</sup>, IGS 提供的 GPS 对流层延迟产品精度最为可靠, 因而本文解算的 GPS 水汽数值可靠。GPS 水汽的单位为 mm。

### 1.2 无线电探空风速

无线电探空是气象领域探测水汽的一种常用手段, 利用该方法可探测各层气压、高度、温度、风速和风向等要素, 本文选择无线电探空观测的地表风速进行  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化分析。无线电探空在每天的 08:00 和 20:00 (北京时间)进行观测。无线电探空风速的单位为 m/s。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014-05-28 修回日期: 2014-07-13

基金项目: 国家自然科学基金创新群体“现代大地测量及其地学应用的研究”(41021003); 大地测量与地球动力学国家重点实验室开放基金 (SKLGED2013-5-5-E); 湖南省研究生科研创新课题 (CX2012B061)

作者简介: 王勇(1978-), 男, 江西宁都人, 博士, 教授, 主要从事 GPS 气象学研究. E-mail: wangyongjz@126.com

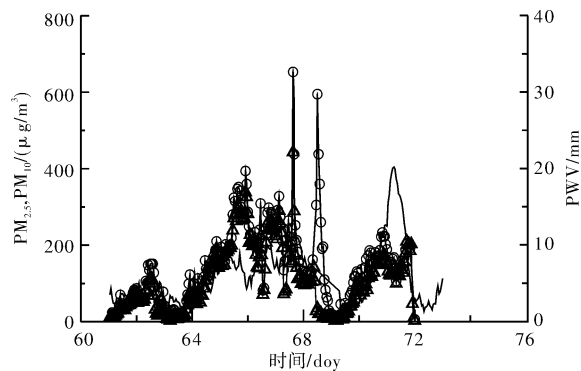
### 1.3 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 质量浓度

$PM_{2.5}$ , 即细颗粒物, 是指环境空气中空气动力学当量直径小于等于  $2.5 \mu m$  的颗粒物。 $PM_{10}$  是指环境空气中空气动力学当量直径小于等于  $10 \mu m$  的颗粒物, 是可在大气中长期飘浮的悬浮微粒, 也称可吸入微粒、可吸入尘或飘尘。 $PM_{2.5}/PM_{10}$  能较长时间悬浮于空气中, 它们在空气中含量浓度越高, 代表空气污染越严重。 $PM_{2.5}/PM_{10}$  对空气质量和能见度等有重要的影响。北京有多个  $PM_{2.5}/PM_{10}$  观测站点, 本文选择了昌平站点的  $PM_{2.5}/PM_{10}$  观测资料, 该资料为时值观测数据。 $PM_{2.5}/PM_{10}$  观测数据的单位为  $\mu g/m^3$ 。

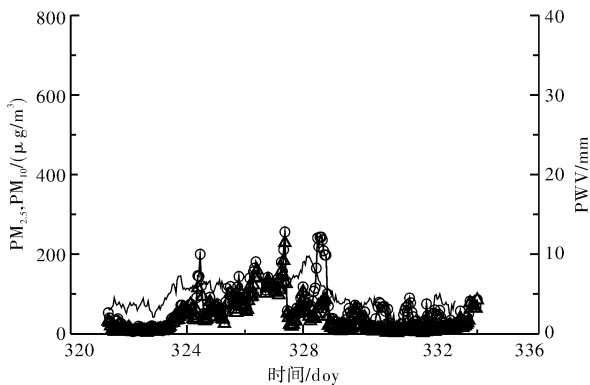
## 2 水汽、风速变化对 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化的影响

### 2.1 GPS 水汽变化与 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化的比较

冬春季节是北京霾天气的高发时节, 本文选择 2013 年春季 (第 061 - 072 日) 和冬季 (第 321 - 333 日) 各一时段数据进行水汽/风速变化对  $PM_{2.5}/PM_{10}$  变化的影响研究。图 1 所示为 GPS 水汽变化对  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化的影响。



(a) 061 - 072



(b) 321 - 333

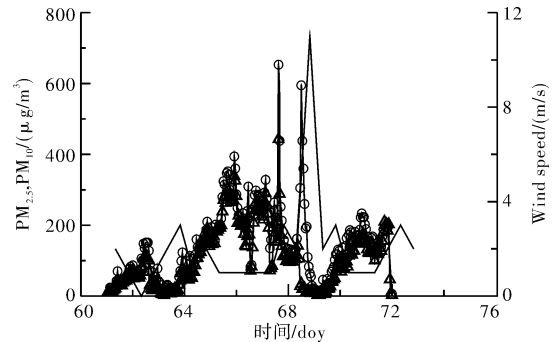
图 1 GPS PWV 与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的比较

(注: 图中三角形曲线为  $PM_{2.5}$  质量浓度序列, 圆形曲线为  $PM_{10}$  质量浓度序列, 实线为 GPS PWV 序列, 横轴为时间/年积日。)

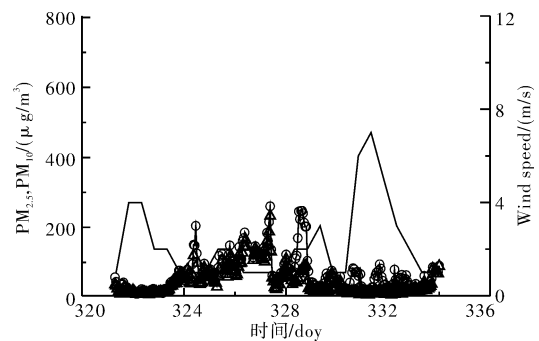
由图 1 可见, GPS 水汽变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化趋势较为一致, 两者具有较好的正相关特性。表 1 中统计了 GPS 水汽与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的相关性。

### 2.2 风速变化与 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化的比较

图 2 所示风速变化对  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化的影响。由图 2 可见, 风速变化与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化趋势相反, 两者呈负相关特性。表 1 中统计了风速与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的相关性。



(a) 061 - 072



(b) 321 - 333

图 2 风速与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的比较

(注: 图中三角形曲线为  $PM_{2.5}$  质量浓度序列, 圆形曲线为  $PM_{10}$  质量浓度序列, 实线为风速序列, 横轴为时间/年积日。)

表 1 GPS PWV、风速与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  的相关性

| 时间        | $PM_{2.5}$ & PWV | $PM_{10}$ & PWV | $PM_{2.5}$ & 风速 | $PM_{10}$ & 风速 |
|-----------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 061 - 072 | 0.483 5          | 0.507 3         | -0.310 4        | -0.095 2       |
| 321 - 333 | 0.511 7          | 0.435 8         | -0.414 8        | -0.327 1       |

由图 1 和图 2 可以看出, 在年积日第 068 日 20 时无线电探空观测风速达到  $11 m/s$ , 此时  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度处于低值, 仅有  $10 \mu g/m^3$ , 而 GPS 水汽在年积日第 069 日 16 时处于期间的最低值, 由图 1、图 2 和表 1 推断, 风速和水汽是影响  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度的关键因素, 风速与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度呈负相关, 而水汽与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度呈显著正相关。

### 2.3 风速较小时 GPS 水汽变化与 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 变化的比较

由图 2 可见, 在年积日第 061 - 066 日风速较小, 因而选择该时间段进行风速较小情况下水汽对  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化的影响研究 (图 3)。

统计图 3 中的 GPS 水汽与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度的相关性, GPS 水汽与  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度的相关系数分别为 0.676 6 和 0.704 0。在风速较小情况下, 水汽是影响  $PM_{2.5}/PM_{10}$  质量浓度变化的一个

关键要素, 两者呈显著正相关。水汽的上升对应了  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度的上升, 原因分析如下:

(1) 水汽的增加能促进二氧化硫、氮氧化物被氧化成 SOA (SOA 是指直接排放的污染物与大气中物质反应后生成的二次污染的颗粒), 从而提高  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  浓度。

(2) 当水汽上升时, 臭氧与有机物发生化学反应生成大量的微颗粒, 而该微颗粒属于  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 。因此, 在水汽上升时, 臭氧浓度下降,  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  浓度上升。

(3) 北京  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  污染源的组成中, 煤燃烧所占比重最大, 尤其是到了冬季, 燃煤供暖, 煤燃烧占的比重会更大。燃煤  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  微粒大多为难溶于水且吸湿性较差的球形硅铝质矿物颗粒, 润湿性较差。因而  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  颗粒不因水汽的增加而减少。

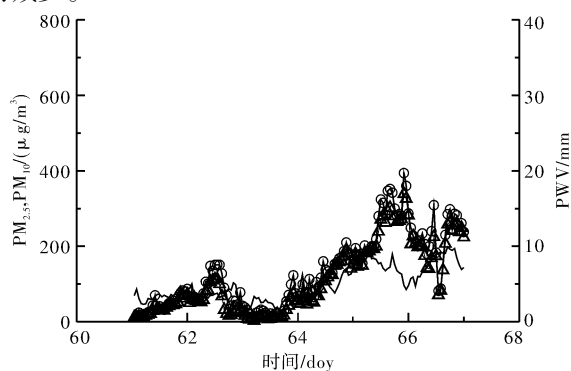


图3 GPS PWV 与  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  的比较 (年积日第 061 ~ 066 日)

(注: 图中三角形曲线为  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度序列, 圆形曲线为  $\text{PM}_{10}$  质量浓度序列, 实线为 GPS PWV 序列, 横轴为时间/年积日。)

### 3 结论与讨论

本文利用北京市 GPS 水汽、无线电探空观测的地表风速与  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度观测资料, 进行了水汽和风速变化对  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度变化的影响研究, 结论如下:

响研究, 结论如下:

(1) 风速变化与  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度变化呈负相关。

(2) GPS 水汽变化与  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度变化呈显著正相关, 在风速较小情况下, 水汽与  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  质量浓度变化的相关性更为显著。

### 参考文献:

- [1] 王秦, 陈曦, 何公理, 等. 北京市城区冬季雾霾天气  $\text{PM}_{2.5}$  中元素特征研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(6): 1441-1445.
- [2] Fang Yuanyuan, Arlene M Fiore, Jean-François Lamarque. Using synthetic tracers as a proxy for summertime  $\text{PM}_{2.5}$  air quality over the Northeastern United States in physical climate models [J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40(4): 755-760.
- [3] Anne Boynard, Cathy Clerbaux, Lieven Clarisse, et al. First simultaneous space measurements of atmospheric pollutants in the boundary layer from IASI: A case study in the North China Plain [J]. Geophysical Research Letters, 2014, 41(2): 645-651.
- [4] 谷金霞, 吴丽萍, 霍光耀, 等. 天津市  $\text{PM}_{2.5}$  中水溶性无机离子污染特征及来源分析 [J]. 中国环境监测, 2013, 29(3): 30-34.
- [5] 黄晓锋, 云慧, 官照恒, 等. 深圳大气  $\text{PM}_{2.5}$  来源解析与二次有机气溶胶估算 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(4): 723-734.
- [6] 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 等. 北京地区秋季雾霾天  $\text{PM}_{2.5}$  污染与气溶胶光学特征分析 [J]. 2013, 34(2): 416-423.
- [7] 朱倩茹, 刘永红, 徐伟嘉, 等. 广州  $\text{PM}_{2.5}$  污染特征及影响因素分析 [J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 15-21.
- [8] 郭洁, 李国平, 黄文诗. GPS 可降水量与大雾天气关系的初步分析 [J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 142-146.
- [9] 王勇, 闻德保, 刘严萍, 等. 雾霾天气对 GPS 天顶对流层延迟与可降水量影响研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34(2): 120-123.
- [10] 王勇, 刘严萍. 地基 GPS 气象学原理与应用研究 [M]. 北京: 测绘出版社, 2012.
- [11] Emardson T, Range G E, Johansson J M. Three months of continuous monitoring of atmospheric water vapor with a network of Global Positioning System receiver [J]. Journal of Geophysical research, 1998, 103(D2): 1807-1820.
- [12] Rocken C, Hove T, Johnson J, et al. GPS/STROM-GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology [J]. Journal of Applied Meteorology, 1995, 12: 468-478.

## The Effect of $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ Variation based on Precipitable Water Vapor and Wind Speed

Wang Yong<sup>1,2</sup>, Liu Yanping<sup>3</sup>, Li Jiangbo<sup>4</sup> and Liu Lintao<sup>2</sup>

(1. School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China;

2. State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Wuhan 430077, China; 3. School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China;

4. Hebei Province Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050022, China)

**Abstract:** Based on the observation data of  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ , GPS PWV (Precipitable Water Vapor) and Radiosonde wind speed in Beijing in 2013, it is found that there is positive correlation between  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation and GPS PWV change; while negative correlation between  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation and Radiosonde wind speed change. During the period of less wind speed, the PWV changes are significantly positive correlated to  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation. The rising of PWV is corresponding to the rising of  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation; while the decreasing of PWV is corresponding to the decreasing of  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation. It is analyzed the cause of significantly positive correlation between  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  variation and PWV change.

**Key words:**  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ; Precipitable Water Vapor; GPS; wind speed; Beijing