刘严萍，王勇，李江波. 北京APEC会议期间GPS水汽与$PM_{2.5}/PM_{10}$的相关性比较[J]. 灾害学，2015，30(3)：026-028. [Liu Yanping，Wang Yong and Li Jiangbo. The Comparison between GPS PWV and $PM_{2.5}/PM_{10}$ in Beijing during the Period of APEC [J]. Journal of Catastrophology，2015，30(3)：026-028.]

北京APEC会议期间GPS水汽与$PM_{2.5}/PM_{10}$的相关性比较*

刘严萍[1]，王　勇[2]，李江波[3]

(1. 天津城建大学 经济与管理学院，天津 300384；2. 天津城建大学 地质与测绘学院，天津 300384；3. 河北省气象局，河北 石家庄 050022)

摘　要：北京APEC期间的空气质量优良，GPS水汽变化与$PM_{2.5}/PM_{10}$变化是否存在正相关特性？针对此问题，通过2014年11月4-16日北京GPS水汽数据与$PM_{2.5}/PM_{10}$观测资料的对比分析研究发现，$PM_{2.5}/PM_{10}$与GPS可降水量呈明显的正相关性，相关系数大于0.5，个别时段的相关系数达到了0.91。研究结果表明，在空气质量优良状况下，水汽变化与$PM_{2.5}/PM_{10}$变化存在明显的正相关性。

关键词：$PM_{2.5}/PM_{10}$；水汽；GPS；相关性；APEC；北京

中图分类号：P426.615；X4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000-811X(2015)03-0026-04

doi：10.3969/j.issn.1000-811X.2015.03.005

近年来我国重度雾霾天气事件频发，严重危害公众健康和影响交通出行。我国政府非常重视大气污染防治，近年来连续出台了《大气污染防治行动计划》[1](国十条)、《重点区域大气污染防治"十二五"规划》[2]等相关文件。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[3]；孟晓艳、戴永立等人开展了我国环保重点城市、超大城市的主要污染物浓度变化和霾天气特征及影响因子分析研究[4-5]。X J Zhao等分析了2010年冬季华北地区的重霾天气过程并开展了雾霾形成机理研究[6]。

霾天气过程的监测需要向网络化、立体化发展，目前的监测主要有地面$PM_{2.5}/PM_{10}$、遥感气溶胶等技术，有必要探寻新的霾监测技术。水汽是形成霾天气过程的重要外因，$PM_{2.5}$(particulate matter 2.5)、PM_{10}(particulate matter 10)是形成霾天气过程的重要微颗粒物，针对多次霾天气过程，王勇利用GPS水汽(PWV，precipitable water vapor)序列验证了水汽与$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度存在明显正相关特性[7-8]，为利用GPS水汽进行霾监测提供可行性基础，该结果可为霾灾害治理防治提供参考。本文旨在探讨水汽的变化与$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度变化的相关性。

2014年亚太经合组织(APEC)领导人会议于2014年11月5-11日在北京举行。11月1-12日，北京AQI(空气质量指数)均为优良级别，仅11月4日为轻度污染。为保障会议期间的空气质量，11月1-12日，北京、天津、河北、山东等省市，实行紧急污染控制措施，4 154家工地被停产或者限产；机动车单双号上路，近千万车辆限行。连续几日的3~4级风也加速了空气中污染物的扩散[9]。来自北京市环境监测中心的数据显示，11月1-12日，北京市空气中$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、NO_2浓度分别为43 $\mu g/m^3$、62 $\mu g/m^3$、8 $\mu g/m^3$和46 $\mu g/m^3$，比去年同期分别下降了55%、44%、57%和31%；各项污染物浓度均达到近5年同期最低水平[10]。本文将选择北京APEC会议期间的GPS水汽资料与$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度观测数据开展两者的相关性研究。

1　实验数据与方法

本文研究数据主要包含2类数据：GPS水汽、$PM_{2.5}/PM_{10}$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天顶对流层延迟序列，结合气象观测资料(气压、温度)，可以获得时值GPS水汽序列。国际GNSS服务(Internatianal GNSS Service，IGS)提供国际GPS站点的天顶对流层延迟解算资料和气象观

* 收稿日期：2015-01-20　　修回日期：2015-03-17

基金项目：河北省自然科学基金(D2015209024)

作者简介：刘严萍(1979-)，女，河南汝南人，博士，讲师，主要从事城市灾害管理研究. E-mail：liuxiawy@126.com

通讯作者：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

测数据，通过下载 BJFS(北京房山)、BJNM(北京大兴)站点天顶对流层延迟和气象资料，计算获得两站点的时值 GPS 水汽序列。BJFS 站点天顶对流层延迟和气象资料在 APEC 期间数据不完整，BJNM 站点天顶对流层延迟和气象资料较为完整。GPS 水汽的单位为 mm。

1.2　$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度

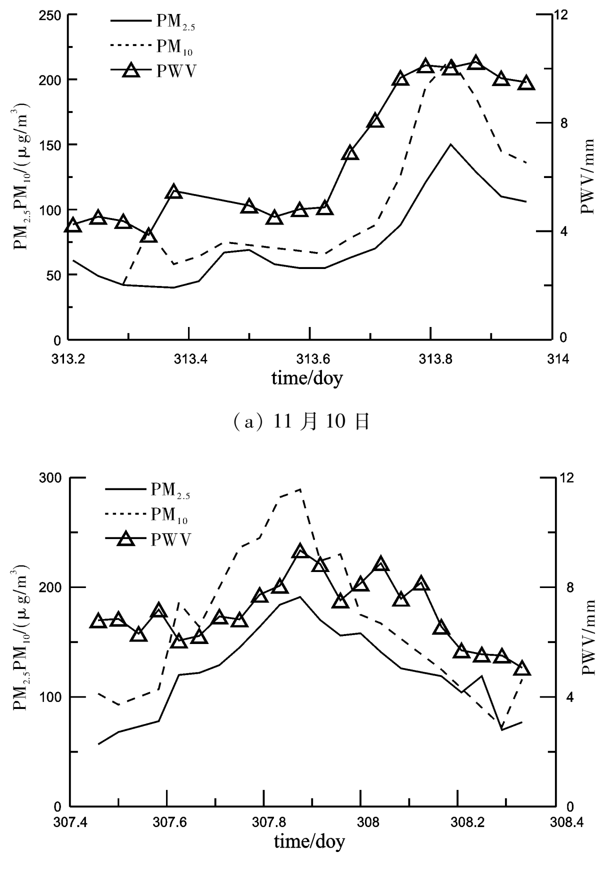
北京有十余个 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 观测站点，对于 BJFS、BJNM 两 GPS 站点，本文分别选择了与两站点最为接近的古城、天坛站点的 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度观测资料，该资料为时值观测数据。$PM_{2.5}/PM_{10}$观测数据的单位为 $\mu g/m^3$。

本文将利用 GPS 水汽数据与 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 观测数据进行相关性比较研究，两类数据均为时值观测数据，相关性图和相关性分析均是时值数据比较和计算获得。

2　APEC 会议期间的 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$的相关性比较

2.1　BJFS 站 GPS 水汽与古城站 $PM_{2.5}/PM_{10}$的比较

根据现有的 BJFS 站 GPS 水汽资料，结合古城站 $PM_{2.5}/PM_{10}$观测数据，选择 2014 年 11 月 4－5 日和 11 月 10 日 2 个时段进行 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$观的比较研究，见图 1(图 1 横轴单位是年积日 doy，即 day of year)。



(a) 11 月 10 日

(b)11 月 4－5 日

图 1　BJFS 站 PWV 与古城站 $PM_{2.5}/PM_{10}$比较

由图 1 可看出，11 月 4－5 日发生了一次轻度污染过程，$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度较高，期间古城站 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度值的上升下降，BJFS 站 GPS 水汽也有一个明显的上升下降过程；同理，11 月 10 日 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度有较为近似的上升过程。计算两次时段 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度的相关系数，结果见表 1。

表 1　BJFS 站 PWV 与古城站 $PM_{2.5}/PM_{10}$的相关性统计结果

时间	$PM_{2.5}$&PWV	PM_{10}&PWV
11 月 4－5 日	0.708	0.636
11 月 10 日	0.898	0.863

根据表 1 所示的 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度的相关性统计结果，可以发现 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度呈现较为明显的正相关特性，相关系数大于 0.6。

2.2　BJNM 站 GPS 水汽与天坛站 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比较

BJNM 站 GPS 水汽资料较为连续，结合天坛站 $PM_{2.5}/PM_{10}$观测数据，选择 2014 年 11 月 4－5 日、11 月 6－8 日、11 月 10－11 日和 11 月 14－16 日 4 个时段进行 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$观的比较研究，见图 2(a～d)。

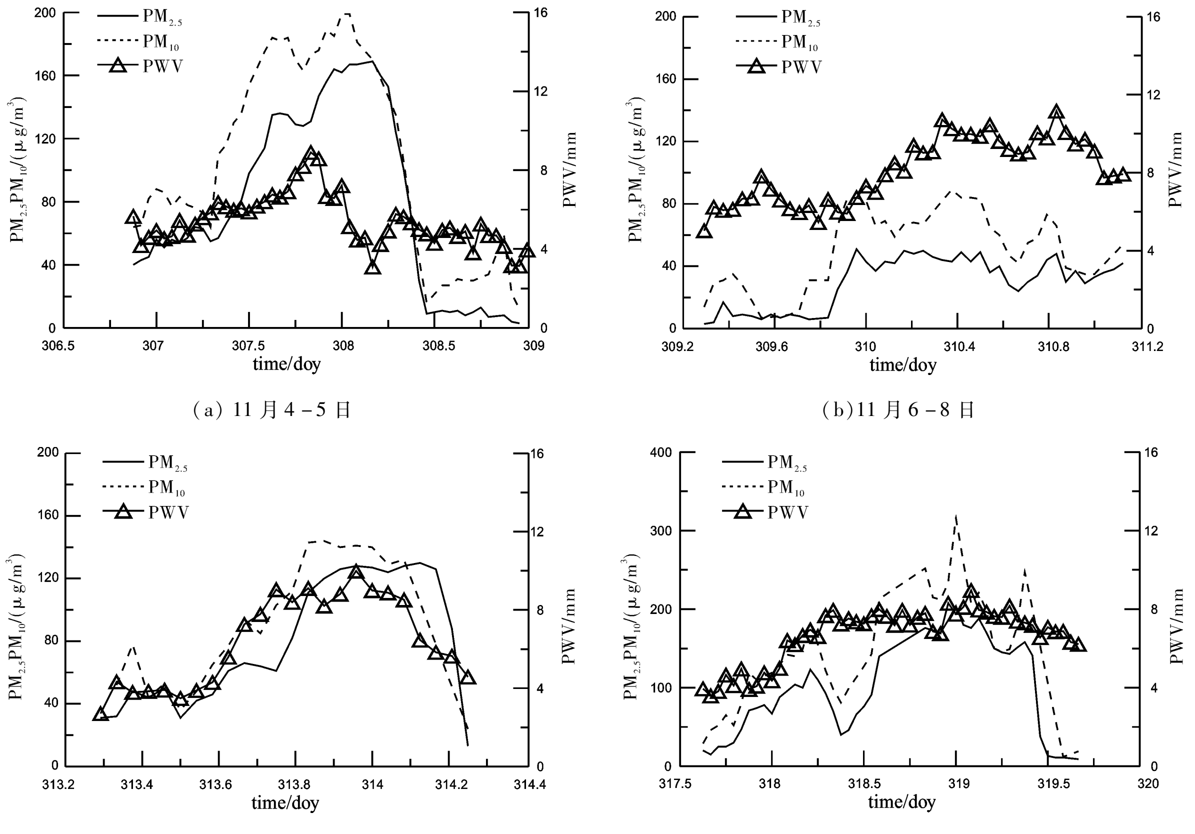
由图 2 可看出，天坛站 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度值的上升下降，对应了 BJNM 站 GPS 水汽的上升下降，两者具有较为一致的变化趋势。在图 2(a)年积日 308(11 月 5 日)$PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度值有一个急速下降过程，而 GPS 水汽变化则表现为上升下降。通过历史天气查询(http://lishi.tianqi.com/)，北京在 11 月 5 日天气为北风 3～4 级，较大风速的变化导致大气污染颗粒发生水平移动，因而 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度值下降。计算 4 个时段 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度的相关系数，见表 2。

表 2　BJNM 站 PWV 与天坛站 $PM_{2.5}/PM_{10}$的相关性统计结果

时间	$PM_{2.5}$&PWV	PM_{10}&PWV
11 月 4－5 日	0.519	0.654
11 月 6－8 日	0.672	0.529
11 月 10－11 日	0.776	0.916
11 月 14－16 日	0.608	0.621

根据表 2 的 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度的相关性统计结果，可以发现 GPS 水汽与 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度呈现较为明显的正相关特性，相关系数大于 0.5，最大相关系数超过 0.91。

在风速较小难以产生空气污染物水平移动的情况下，水汽的上升、下降变化过程对应了 $PM_{2.5}/PM_{10}$质量浓度的上升和下降过程，这是因为：水汽增加促进 SO_2、NO、NO_2 等转化为二次污染颗粒，二次污染颗粒属于 $PM_{2.5}/PM_{10}$，因而 $PM_{2.5}/PM_{10}$浓度增加。



(a) 11 月 4－5 日 (b)11 月 6－8 日

(c) 11 月 10－11 日 (d)11 月 14－16 日

图 2 BJNM 站 PWV 与天坛站 $PM_{2.5}$/PM_{10} 比较

3 结论

APEC 期间北京周边地区工地停工，机动车限行，连续数天的 3～4 级风使得北京空气质量优良。针对 APEC 期间的空气污染较小这一事件，开展 GPS 水汽与 $PM_{2.5}$/PM_{10} 质量浓度的比较研究，研究发现，GPS 水汽与 $PM_{2.5}$/PM_{10} 质量浓度变化存在正相关特性，相关系数大于 0.5。本文研究结果结合之前的研究[7－8]可表明，不论空气质量优良或重度污染，水汽变化与 $PM_{2.5}$/PM_{10} 变化均存在明显的正相关性。

参考文献：

[1] 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知(国发[2013]37 号)[EB/OL].(2013－09－12)[2014－08－01]. http://www.gov.cn/zwgk/2013－09/12/content_ 2486773.htm.

[2] 环境保护部，发展改革委，财政部. 关于印发《重点区域大气污染防治“十二五”规划》的通知(环发[2012]130 号)[EB/OL].(2012－10－29)[2014－08－01]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gwy/201212/t20121205 _ 243271.htm.

[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] 孟晓艳，王瑞斌，张欣，等. 2006－2010 年环保重点城市主要污染物浓度变化特征［J］. 环境科学研究，2012, 25(6): 622－627.

[5] 戴永立，陶俊，林泽健，等. 2006～2009 年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析［J］. 环境科学，2013，34(8): 2925－2932.

[6] Zhao X J, Zhao P S, Xu J, et al. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13: 5685－5696.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 李晓健. 有一种蓝，叫“APEC 蓝”[N]. 民主与法制时报，2015－1－11(008).

[10] 刘晓星，郭文生，周雁凌，等. 区域联动 多措并举 周密部署 全力保障 APEC 空气质量［N］. 中国环境报，2014－11－17 (001).

(下转第 42 页)

坏机制[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(3): 49-52.
[7] 吕美君, 晏鄂川, 程江涛. 近水平岩层滑坡启动的临界水柱高度分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(1): 207-211.
[8] 苏爱军, 刘红星, 孙云志, 等. 三峡库区水平层状滑坡成因研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2004, 28(3): 427-430.
[9] 王兰生, 张倬元. 斜坡岩体变形的动力学机制[M]//水文地质工程地质论丛. 北京: 地质出版社, 1986.
[10] 黄润秋, 赵松江, 颂肖冰, 等. 四川省宣汉县天台乡滑坡形成过程和机理分析[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(1): 13-15.
[11] 许强, 范宣梅, 李园, 等. 板梁状滑坡形成条件、成因机制与防治措施[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(2): 242-250.
[12] 胡泽铭. 四川红层地区缓倾角滑坡成因机理研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
[13] 熊炜, 范文. 秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 228-233.
[14] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0218-2006 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

Dynamic Mechanics Early Warning Model of Rainfall Induced Bedding Rock and Soil Landslide

Qi Xing, Xu Qiang, Zheng Guang and Hu Zeming
(*State Key Laboratory of Geo-hazards Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *China*)

Abstract: For rainfall induced bedding rock slope, when the back landslide has fissures, water leads to softening sliding zone and reduce shearing strength. Because of the influence of fissure water hydrostatic pressure and uplift pressure, the stability of the landslide have dynamic change with rainfall; for the soil landslide induced by rainfall, the slope body weight increase and the shear strength reduction makes the stability of the landslide changing. By considering the dynamic change process of hydrostatic pressure, uplift pressure, soften sliding surface in rock landslide and phreatic surface height, softening effect in soil landslide to establish the stability coefficient early warning model of the two kinds of landslide, and validate the model accuracy in layered rock landslide.

Key words: landslide; rainfall; layered rock; soil mechanical model; early warning

(上接第28页)

The Comparison between GPS PWV and $PM_{2.5}$/PM_{10} in Beijing during the Period of APEC

Liu Yanping[1], Wang Yong[2] and Li Jiangbo[3]
(1. *School of Economics and Management*, *Tianjin Chengjian University*, *Tianjin* 300384, *China*;
2. *School of Geology and Geomatics*, *Tianjin Chengjian University*, *Tianjin* 300384, *China*;
3. *Hebei Meteorological Bureau*, *Shijiazhuang* 050022, *China*)

Abstract: During the period of APEC, the air quality of Beijing was fine. Is the correlation of GPS PWV (Precipitable Water Vapor) and $PM_{2.5}$/PM_{10} positive? The correlation between GPS PWV and $PM_{2.5}$/PM_{10} of Beijing from November 4th to 16th, 2014 is compared. It is concluded that there is significantly positive correlation between GPS PWV and $PM_{2.5}$/PM_{10}, which the correlation coefficient is greater than 0.5 and the best correlation coefficient reached to 0.91. The results indicate that during fine air quality there is obvious positive correlation between GPS PWV and $PM_{2.5}$/PM_{10}.

Key words: $PM_{2.5}$/PM_{10}; Precipitable Water Vapor; GPS; correlation coefficient; APEC; Beijing