

气象条件对北京地区一次光化学烟雾与霾复合污染事件的影响

马志强¹ 孟燕军¹ 林伟立²

(1 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 2 中国气象局大气成分观测与服务中心, 北京 100081)

摘要: 2012年6月16—22日, 北京及周边地区出现了一次霾及光化学烟雾复合重污染事件。在这次污染事件中, 首先由特定的气象条件引发光化学污染, 主要表现为臭氧严重超标, 进而通过气粒转化等作用导致PM_{2.5}快速积累, 并引起能见度下降。

关键词: 光化学烟雾, 霾

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.02.008

Influence of Meteorological Factors on an Episode of Photochemical Fog and Haze in Beijing

Ma Zhiqiang¹, Meng Yanjun¹, Lin Weili²

(1 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

2 Centre for Atmosphere Watch and Services, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: There was a combination of photochemical fog and haze during 16–22 June 2012 around Beijing. In the episode, meteorological conditions played an important role in photochemical pollution, which showed high ozone concentration. PM_{2.5} was accumulated by gas-particles conversion and led to low visibility.

Keywords: photochemical fog, haze

1 引言

北京作为我国的首都, 拥有2000多万常驻人口和超过500万辆机动车, 城市化发展对空气质量造成了诸多负面影响。多年来的观测和研究表明^[1-6], 北京地区首要污染物为可吸入颗粒物(PM₁₀), 而随着社会经济发展结构的转型和能源结构调整, 北京的大气污染类型已经从煤烟型污染转为复合型大气污染, 复合型大气污染的代表性污染物为臭氧(O₃)和细颗粒物(PM_{2.5}), 根据目前的研究结果^[7-13], 这两种污染物之间存在密切联系。本文针对2012年6月北京出现的一次大范围的空气污染事件进行了综合分析, 着重探讨了气象条件在这次污染过程的作用。

2 大气成分监测结果

光化学污染是大气中氮氧化物和挥发性有机物在太阳光的照射下发生一系列化学反应, 产生对人体

有害的二次污染物的过程。这些二次污染物以臭氧(O₃)最为重要, 它可危及人体健康, 损害植物生长, 缩短橡胶等材料的使用寿命。严重的光化学污染过程还会直接或间接地改变大气中PM_{2.5}的浓度, 进而能对天气产生影响, 例如大气能见度降低等。

根据北京城区及周边地区7个地面站点(海淀宝联体育公园、中国气象局、顺义区气象局、昌平区气象局、朝阳区气象局、上甸子区域大气本底站和位于河北的固城农业生态站)地面臭氧的观测结果(图1), 臭氧监测仪器采用的是EC9810和TE49C, 自6月16日起北京城区开始出现O₃小时浓度值超过《环境空气质量标准》(GB3095—2012)二级标准的现象, 一直持续到6月22日。整个污染过程中O₃浓度最高值出现在上甸子, 17日16时O₃浓度达到375μg/m³, 接近国家二级标准的两倍。

图2列出了4个观测站点的PM_{2.5}浓度(其中车公庄数据来自北京市环境保护监测中心网站)和南郊观象台监测的大气能见度水平, PM_{2.5}监测仪器采用美国R&P公司RP1400a, 时间分辨率为5min。18—24日期间, 除22日凌晨PM_{2.5}浓度有所下降, 其余时段PM_{2.5}

收稿日期: 2013年1月4日; 修回日期: 2013年2月20日
第一作者: 马志强(1981—), Email: zqma@ium.cn
资助信息: 国家自然科学基金项目(41105092); 北京市自然科学基金重点项目(812100)

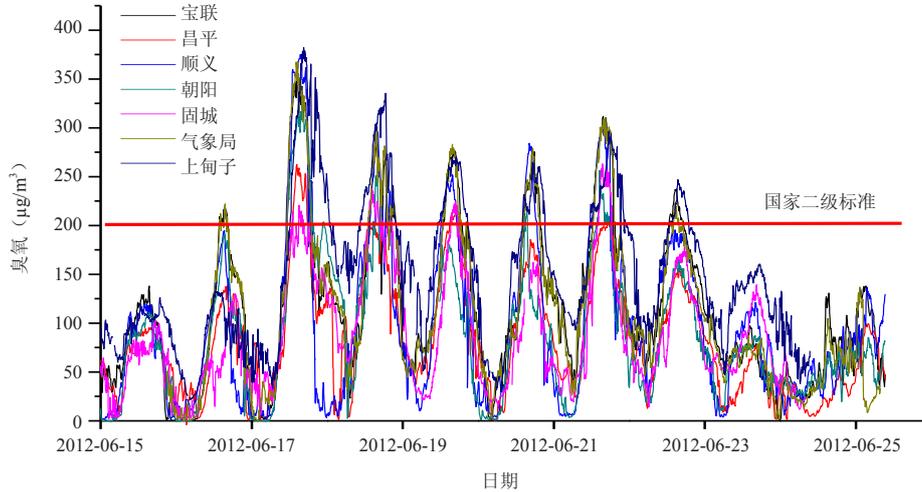


图1 2012年6月15—25日北京及周边地区的O₃浓度变化

均维持在较高浓度，特别是海淀宝联站PM_{2.5}日均浓度持续高于150μg/m³，最高小时浓度甚至达到350μg/m³，而《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中PM_{2.5}二级标准日平均浓度阈值为75μg/m³。能见度与PM_{2.5}存在明显的负相关，PM_{2.5}超标期间能见度持续小于10km，并且南郊观象台观测的日均相对湿度都在90%以下。根据《霾的预报和观测等级》(QX/T113—2010)，能见度小于10km时，PM_{2.5}浓度高于75μg/m³是霾的大气成分判别指标之一。随着PM_{2.5}浓度增加，大气能见度快速下降，很快就达到霾的标准，并且持续时间与PM_{2.5}污染时间相对应。

3 气象条件分析

6月16—17日受暖高压脊控制，北京上空出现明显的下沉气流，且天空晴朗少云，有利于辐射增温，北京地面出现大范围的干热高温天气，根据图3显示15、16和17日逐时气温最高值分别为29.8、35.3和37.8℃，而相对湿度基本维持在60%以下。据自动站

监测资料分析，17日高温范围覆盖了北京昌平、顺义及以南地区，城区和部分区县站均出现了35℃以上的高温(图4)，最大直接辐射甚至达到877W/m²，高温和强烈的辐射为光化学反应提供了有利条件，提高了光化学反应速率，风速持续低于2m/s的偏南风不利于污染的扩散，促进光化学产物的积累，导致O₃浓度达到最高。

随着暖高压脊逐渐减弱，18日开始至23日北京地区高空受不断东移的弱低涡低槽影响，地面位于高压后部，低压前部，处于弱的辐合区。这样的天气形势下，多阵性降水，雨量不大，对污染物的清除作用不明显，反而提高空气湿度，使得大气相对湿度保持在60%以上(图3)，这样的湿度环境为PM_{2.5}中亲水性颗粒物的增长提供了有利条件，二者作用相叠加造成19日开始北京城区PM_{2.5}浓度达到最高。PM_{2.5}的增加略滞后于O₃峰值，这与光化学污染导致的二次粒子增加存在紧密联系，持续的O₃高浓度污染会使一次污染物

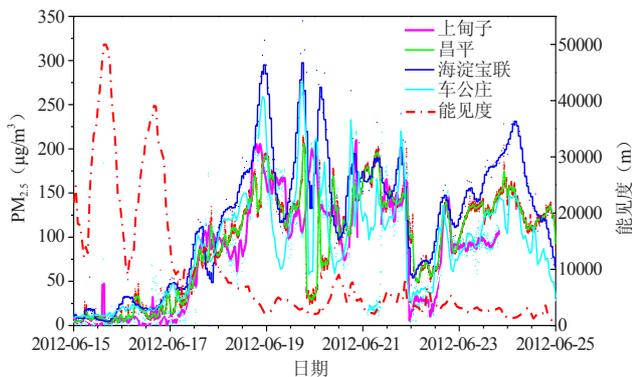


图2 2012年6月15—25日北京地区4个站点PM_{2.5}和能见度变化

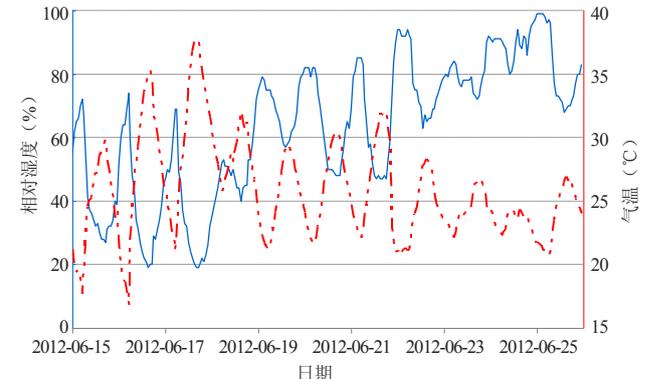
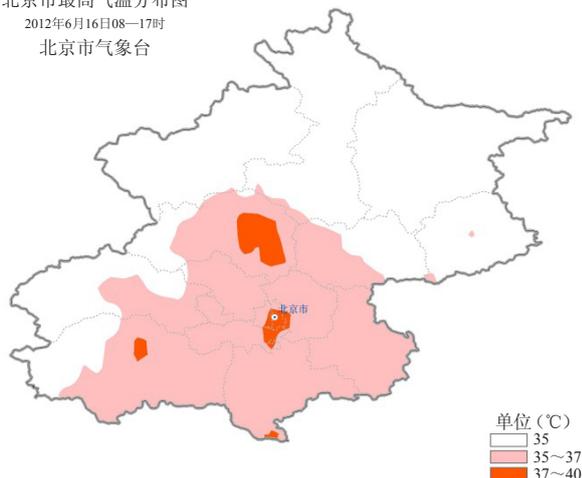


图3 2012年6月15—25日南郊观象台气温和相对湿度逐时变化

北京市最高气温分布图
2012年6月16日08—17时
北京市气象台



北京市最高气温分布图
2012年6月17日08—16时
北京市气象台

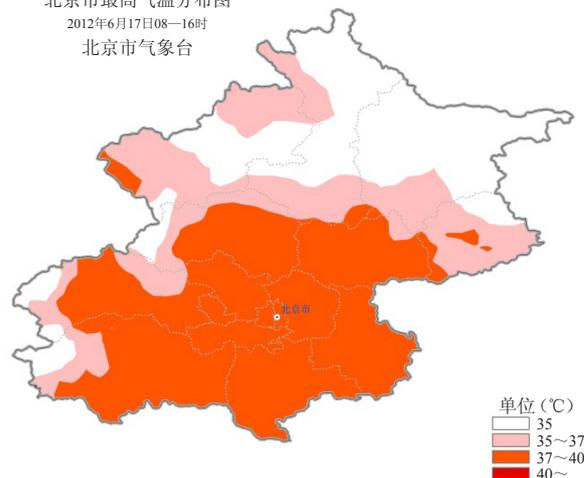


图4 2012年6月16—17日最高气温分布图

(NO_x 、 SO_2 等)迅速氧化为二次气溶胶,这与图2中 $\text{PM}_{2.5}$ 的积累过程完全对应。尽管21日傍晚开始自西南向东北方向先后出现了小雷阵雨伴有局地短时大风,造成22日凌晨观测到的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降,但是22日白天的高温高湿条件又为污染物的迅速积累提供了有利条件。24日受东移的高空槽降雨云带影响,北京地区普降大到暴雨,受到全市连续性降水的影响,此次大范围的霾污染彻底结束。

4 小结与讨论

根据观测结果发现,短时间内大气污染物排放源没有发生明显变化,但空气污染物浓度出现较大波动,唯一的解释就是气象条件在污染过程中起到了决定性的作用。结合北京及周边地区日益突出的大气复合污染特征,可以发现下面一条连锁反应关系:

特殊气象条件→光化学烟雾(高浓度 O_3)→霾污染(高浓度 $\text{PM}_{2.5}$ +能见度下降)

尽管此类气象条件一般不会造成大的气象灾害,但是其导致的空气污染不容忽视。第一阶段的光化学烟雾对人体健康的影响非常严重,却不易察觉,直到进入霾污染阶段,公众才直观地感受到大气环境的恶化。因此,除了深入研究夏季光化学污染与霾污染形成关系外,还应加强对此类天气过程的预报和预警。考虑在特殊的气象背景下,且排放暂时或长期一段时间内不能得到有效削减的情况,人工降雨或可成为一种直接有效降低污染风险和保护健康的手段。

参考文献

- [1] 宋宇,唐孝炎,张远航,等.北京市大气能见度规律及下降原因.环境科学研究,2003,16(2):10-12.
- [2] 宋宇,唐孝炎,方晨,等.北京市能见度下降与颗粒物污染的关系.环境科学学报,2003,23(4):468-471.
- [3] 王京丽,刘旭林.北京市大气细粒子质量浓度与能见度定量关系初探.气象学报,2006,64(2):221-227.
- [4] 颜鹏,潘小乐,汤洁,等.北京市区大气气溶胶散射系数亲水增长的观测研究.气象学报,2008,66(1):111-119.
- [5] Sun Y L, Zhuang G S, Tang A H, et al. Chemical characteristics of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} in haze-fog episodes in Beijing. Environ Sci Technol, 2006, 40: 3148-3155.
- [6] Bergin M, Cass G, Xu J, et al. Measurement of aerosol light scattering and absorption coefficient in Beijing during June, 1999. J Geophys Res, 2001, 106(16): 17969-17980.
- [7] Volkamer R, Jimenez J L, Dzepina K, et al. Secondary organic aerosol formation from anthropogenic air pollution: Rapid and higher than expected. Geophysical Research Letters, 2006, 33: L17811.
- [8] Li G, Zhang R, Fan J, et al. Impacts of black carbon aerosol on photolysis frequencies and ozone in the Houston area. Journal of Geophysical Research, 2005, 110: D23206.
- [9] Sillman S. The use of NO_x , H_2O_2 , and HNO_3 as indicators for ozone- NO_x -hydrocarbon sensitivity in urban locations. Journal of Geophysical Research, 1995, 100: 14175-14188.
- [10] Blando J D, Turpin B J. Secondary organic aerosol formation in cloud and fog droplets: A literature evaluation of plausibility. Atmos Environ, 2000, 34: 1623-1632.
- [11] Kleindienst T E, Smith D F, Edney E O, et al. Secondary organic aerosol formation from the oxidation of aromatic hydrocarbons in the presence of dry submicron ammonium sulfate aerosol. Atmospheric Environment, 1999, 33: 3669-3681.
- [12] Sillman S, Logan J A, Wofsy S C. The sensitivity of ozone to nitrogen oxides and hydrocarbons in regional ozone episodes. Geophys Res, 1990, 95: 1837-1851.
- [13] 薛莲,孙杰,林云,等.深圳冬季霾日的大气污染特征.环境科学研究,2011,24(5):505-511.