

夏季持续高温天气对北京市大气细粒子(PM_{2.5})的影响

宋宇¹, 唐孝炎¹, 张远航¹, 胡敏¹, 方晨¹, 曾立民¹, 王玮² (1. 北京大学环境科学中心 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100871; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 在 1999-06-23 北京市出现长达 13d 的持续高温期间对细粒子(PM_{2.5})质量浓度进行了观测. 数据表明, 持续高温期间细粒子质量浓度比非高温期间要高出 2~3 倍. 但是通过对持续高温期间的气象数据进行分析, 发现还是很利于污染物扩散. 进一步分析同步监测的 O₃ 浓度、颗粒物中 SO₄²⁻ 的粒径范围及其含量等数据, 发现夏季持续高温期间活跃的光化学反应应该是北京市细粒子的主要来源.

关键词: 持续高温; 细粒子(PM_{2.5}); TEOM; 光化学反应; 北京市

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)04-04-0033

Effects on Fine Particles by the Continued High Temperature Weather in Beijing

Song Yu¹, Tang Xiaoyan¹, Zhang Yuanhang¹, Hu Min¹, Fang Chen¹, Zen Liming¹, Wang Wei² (1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Center for Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012)

Abstract: The continued high temperature weather (CHTW) appeared in Beijing since June 23 1999. The measurements showed the PM_{2.5} mass concentrations were 2 to 3 times of that in non-CHTW period. However the diffusion conditions were still fine in these days. Both the highest hourly concentrations of O₃ and the SO₄²⁻ composition in PM_{2.5} can identify that the photochemical action was very active. It is the very reason to produce more fine particles in atmosphere.

Key words: continued high temperature weather; TEOM; fine particles (PM_{2.5}); photochemical action; Beijing

随着近些年的研究,城市大气颗粒物中细粒子部分(指粒径小于 2.5μm 的颗粒物,用 PM_{2.5}表示)带来的环境问题越来越突出.由于细粒子体积小、重量轻和数量多,因此它不容易通过干沉降去除,一般只能由湿沉降方式去除,而且去除效率不高^[1].这样导致细粒子在大气中停留的时间长,输送距离远,影响范围大.细粒子对人民生活的危害远高于粗粒子,它可以通过呼吸作用进入人体肺部并累积下来,在城市大气中它对可见光的消光作用最强,是影响能见度的主要因子^[2].我国目前城市大气中细粒子污染比较严重,自从 80 年代,尤其是近几年来,国内一些学者开始对颗粒物^[3],尤其是细粒子展开了研究^[4-7].

夏季,尤其是持续高温期间,由于日照时间

长,气温高,光化学反应尤其活跃,这是细粒子的重要来源^[1].因此,研究夏季持续高温天气对细粒子的影响,可以探讨夏季细粒子产生的机理,进一步为空气污染评价和预警等提供科学依据.

笔者利用 1999 年夏季对细粒子和 O₃ 的浓度进行持续观测的数据,以及同步采集分析的不同粒径范围颗粒物的化学组分数据,探讨夏季持续高温天气对北京市大气中细粒子的影响.首先对比了细粒子在持续高温期间和非持续高温期间的质量浓度水平,并分析了 2 段时间的气象扩散条件,然后利用当时 O₃ 最大浓度

基金项目:北京市政府基金项目

作者简介:宋宇(1970~),男,博士,主要从事大气环境模拟方面的研究.

收稿日期:2001-06-09;修订日期:2001-11-14

等大气氧化性指标和颗粒物中 SO_4^{2-} 分布和含量等分析光化学对细粒子的影响.

1 背景和实验方法

1999年6月底和7月初,北京市出现了一次历史上罕见的持续高温天气.在6月23日以前,北京市夏季气温一般在 29°C 左右,风力通常较小,一般在 $1 \sim 3 \text{ m/s}$ 左右,相对湿度在 $30\% \sim 70\%$ 之间变化(下雨天除外),大气混合层高度在 $120 \sim 2200 \text{ m}$ 之间(晴天可以达到很高).但从6月24日开始至7月3日,华北地区受上空持续稳定的暖高压脊控制,高压增暖效果十分明显,同时西北气流的下沉也使气温上升.此外,夏季日照强烈且时间长,每天都在 15 h 左右,这些因素决定了北京市一直处于晴朗、高温的天气.白天最高气温基本上都超过 35°C ,其中6月25日有些观测站所测得的气温为30年来的最高记录.这段时间中风力较大,平均风速就可以达到 3 m/s ,而相对湿度则较小,约 40% .混合层发展很好,一般维持在 $1500 \sim 2300 \text{ m}$ 之间.

在这段时间里,北京市首要污染物和非持续高温天气里一样,主要为可吸入颗粒物(PM_{10}),空气污染指数并没有明显升高,一般为3级.

细粒子的质量浓度采样仪为微量震荡天平(Tapered Element Oscillating Microbalance, TEOM),它的采样结果为粒径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 颗粒物的质量浓度,采样时间为 30 min .采样日期为5月28日至7月1日.为了解北京市夏季光化学反应的情况,对 O_3 浓度进行了监测,仪器为TEH MODEL 49C O_3 型.采样时间为 5 min .TEOM采样仪设在城区国安宾馆21层(高度约为 80 m ,可以避免地面扬尘的影响), O_3 采样仪设在国安宾馆8层(高度约为 30 m)和京广大厦52层(高度约为 210 m).以上所有原始数据经平均后得到小时浓度值.

另外,利用分级采样器 Anderson 和 Moudi 对不同粒径范围颗粒物的化学样品进行采集,然后对其中 SO_4^{2-} 的含量进行了室内分析.采样时间为 24 h .采样日期为6月23日至7月1

日,正好处于持续高温期间.

2 结果与讨论

2.1 夏季持续高温期间细粒子水平

图1为从5月28日至7月1日细粒子的日均质量浓度.可以看出,在夏季非持续高温期间(5月28日至6月23日),细粒子的质量浓度较低,约 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.从6月24日开始至7月1日的持续高温期间,细粒子的质量浓度很高,是平时的 $2 \sim 3$ 倍,约为 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

图2为持续高温期间细粒子质量浓度的逐时变化.细粒子出现高峰值的时候一般是在上午和正午时刻($9:00 \sim 13:00$).

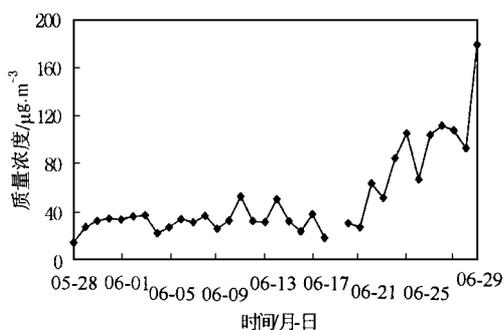


图1 夏季 TEOM 所测的细粒子质量浓度的日均值

Fig. 1 24h averaging concentration of $\text{PM}_{2.5}$ summer in 1999

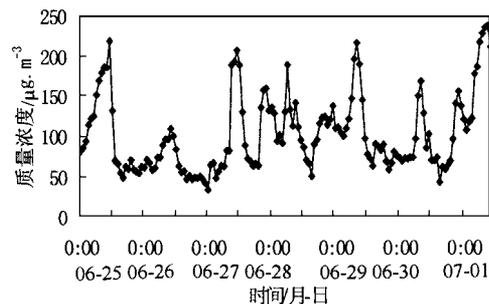


图2 1999年持续高温期间细粒子质量浓度逐时变化

Fig. 2 1h concentration of $\text{PM}_{2.5}$, during the continued high temperature weather

2.2 夏季持续高温期间大气扩散条件

从2段时间的气象条件来看,持续高温期间似乎更有利于大气的扩散.图3为1999年6月北京市南郊观象台测量的日平均风速(地面 10 m 处).可以看出,在6月23日前,平均风速约 1.5 m/s ,而在6月24日后,风速偏大,平均

风速可以超过 3 m/s .

另外由于夏季的太阳辐射很强,混合层发展出现早,消失慢,而且高度较高,因此混合层通风系数一般也很大(见图 4),这很利于污染物的扩散.另外北京市夏季降雨偏多,对颗粒物的雨洗起到一定的作用.这些决定了一般情况下,夏季颗粒物的污染水平较低,此外,北京市夏季天气系统相对比较稳定,这使细粒子污染水平的变化波幅并不大(6月23日前,见图1).

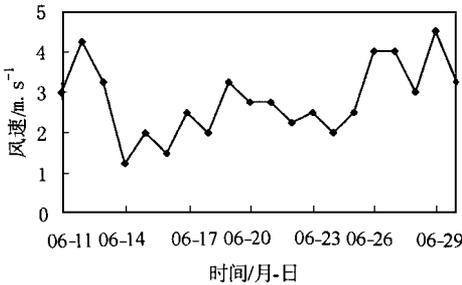


图 3 1999 年 6 月地面风速日均值

Fig. 3 Wind speed above the 10 m ground, June in 1999

但从 6 月 24 日开始出现持续高温的时候,混合层通风系数比非持续高温时候大(见图 4),这应该更有利于污染物的扩散.从北京市空气质量预报来看,污染等级并没有恶化,一般维持在 3 级,而且大部分监测站的首要污染物为 PM₁₀,其中有些监测站的 O₃ 成为首要污染物.

但是从对细粒子的监测结果来看,其质量浓度比非持续高温要大得多(6月24日后,见

图1).这种现象只能从大气中活跃的光化学反应来解释,即大气中的光化学反应异常活跃,生成了更多的二次性气溶胶(以细粒子为主).

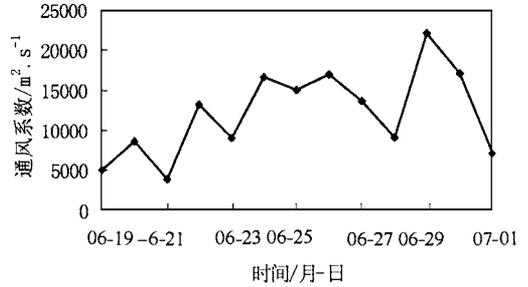


图 4 1999 年夏季混合层通风系数

Fig. 4 Ventilation coefficient within the mixing layer

2.3 夏季持续高温期间 O₃ 的高值以及细粒子中 SO₄²⁻ 的含量

持续高温期间光化学反应尤其活跃,这可以从大气中 O₃(为光化学氧化剂,可以反映光化学反应活跃的程度)的高值浓度得到佐证.图 5 表示从 6 月 21 日至 7 月 1 日,在国安宾馆 8 层(约为 30 m)和京广大厦 52 层(约为 210 m)所测得的 O₃ 小时平均浓度.从 6 月 23 日开始, O₃ 浓度开始上升,到 6 月 24 日,两层的监测都出现了高值,尤其在气温最高和日照最强的中午 O₃ 浓度的峰值(小时平均浓度)超过国家二级标准(160 μg/m³) 2 倍以上.2 个高度上 O₃ 浓度的垂直分布不明显,这也表明了这段时间里大气混合很好.

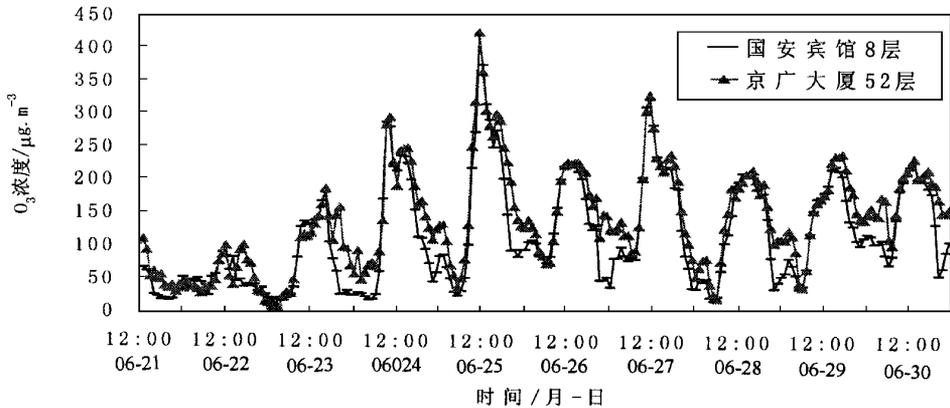


图 5 1999 年 6 月所监测的 O₃ 浓度(小时平均值)

Fig. 5 1 h O₃ concentration

此外,这段时间光化学反应活跃也可以从郊区定陵监测站(为北京市大气监测背景站,氮氧化物的排放量比城区少)同期所测得的“O₃次大小时值”看得出来.在6月25日至7月1日期间,“O₃次大小时值”约220~338μg/m³,明显高于6月其它时间(一般在180μg/m³左右).而且,在城区部分大气监测站O₃成为首要污染物.

SO₄²⁻主要来源于燃煤排放及由SO₂在大气中的氧化.从北京市环境监测站的监测结果来看,夏季SO₂浓度较低.但是颗粒物中SO₄²⁻在持续高温期间的浓度却较高,而且主要分布在细粒子中(见图6).可以高达4.3μg/m³,约为在粗粒径范围内的10倍多.其原因可能是夏季太阳辐射强度大,持续高温使大气光化学反应

异常活跃,SO₂氧化为SO₄²⁻的转化率较高所致.

3 结论

(1)北京市在1999年6月夏季持续高温期间细粒子的质量浓度很高.日均浓度可以高达100μg/m³,是非持续高温期间的2~3倍.

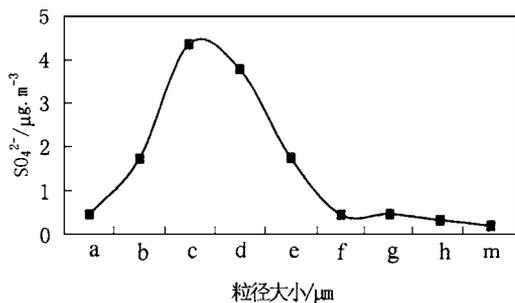
(2)而从气象条件来看,持续高温期间比非持续高温期间更加有利于污染物的扩散.这说明这段时间里活跃的光化学反应对细粒子产生了重要的贡献.

(3)持续高温期间大气中O₃浓度小时最大值可以超过400μg/m³,表明光化学反应十分活跃.

(4)持续高温期间SO₄²⁻主要分布在细粒子中,而且浓度很高,达4.3μg/m³,为粗粒径范围的10倍多.这是由于活跃的光化学反应导致的.

参考文献:

- 1 唐孝炎等. 大气环境化学. 北京: 高等教育出版社, 1990. 343.
- 2 章澄昌等. 大气气溶胶教程. 北京: 气象出版社, 1995. 328.
- 3 赵德山, 王明星. 煤烟型城市污染大气气溶胶. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 404.
- 4 王明星. 用因子分析方法研究大气气溶胶的来源. 大气科学. 1985, 9(1): 73~81.
- 5 王明星, 任丽新, 吕位秀等. 北京市一月大气气溶胶的化学成分及其谱分布. 大气科学. 1986, 10(1): 46~54.
- 6 张晶, 陈宗良, 王玮. 北京市大气小颗粒物的污染源解析. 环境科学学报. 1998, 18(1): 62~67.
- 7 王玮, 汤大纲, 刘红杰等. 中国PM_{2.5}污染状况和污染特征的研究. 环境科学研究. 2000, 13(1): 1~5.



a. <0.205 b. 0.205~0.354 c. 0.354~0.563
d. 0.563~1.0 e. 1.0~1.8 f. 1.8~3.1
g. 3.1~6.2 h. 6.2~9.9 m. 9.9~18

图6 SO₄²⁻在颗粒物中的浓度随粒径的分布(6月持续高温期间平均)

Fig.6 The distribution of SO₄²⁻ concentration vs particle diameter during the continued high temperature weather