

# 夏季高湿度条件下北京市气溶胶颗粒物粒谱特征研究

黄书华<sup>1,2</sup>, 刘建国<sup>1,2</sup>, 刘文清<sup>1,2</sup>, 陆亦怀<sup>1,2</sup>, 陆钊<sup>1,2</sup>, 伍德侠<sup>1,2</sup>, 董云升<sup>1,2</sup>, 江宇<sup>1,2</sup>, 张玉钧<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学与技术重点实验室, 合肥 230031; 2. 安徽省环境光学与技术重点实验室, 合肥 230031)

摘要: 2007 年 8 月, 利用粒谱分析仪 (APS)、振荡天平颗粒物分析仪 (TEOM) 和碳黑分析仪 (BC) 观测北京市大气气溶胶可吸入颗粒物 (PM<sub>10</sub>), 研究高湿度气象条件对气溶胶颗粒物吸湿长大的影响。结果表明, PM<sub>10</sub> 质量浓度与碳黑质量浓度在静稳天气状况下相关系数达 0.82, 而对于颗粒物数浓度与 PM<sub>10</sub> 质量浓度, 静稳与非静稳天气状况下两者的相关性并不一致, 颗粒物数浓度及 < 1 μm 的细粒子在粒谱分布中所占的比重显著增加。气溶胶颗粒物粒谱变化结果说明, 在高湿度条件下颗粒物粒径明显吸湿增长。

关键词: 气溶胶; 粒谱; 数浓度; 质量浓度; 碳黑

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0253-3301(2010)01-0017-05

## Influence of High Humidity in Summer on the Characteristic of Aerosol's Size Distribution in Beijing

HUANG Shu-hua<sup>1,2</sup>, LIU Jian-guo<sup>1,2</sup>, LIU Wen-qing<sup>1,2</sup>, LU Yi-huai<sup>1,2</sup>, LU Fan<sup>1,2</sup>, WU De-xia<sup>1,2</sup>, DONG Yun-sheng<sup>1,2</sup>, JIANG Yu<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu-jun<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Environment Optical and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. Anhui Key Laboratory of Environment Optical and Technology, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to research the effect of high humidity on the growth of aerosol particles, the APS, TEOM and BC instruments were used to monitor the aerosol in Beijing during August, 2007. The results show that, under steady-state weather condition, the correlation coefficient between the mass concentration of PM<sub>10</sub> and BC aerosol is 0.82, but the correlation between the number concentration and the mass concentration of PM<sub>10</sub> is not in accordance with that under non-steady-state weather condition. The number concentration and the ratio of fine particles less than 1 μm to the whole samples increase obviously. The change of aerosol particles size distribution suggests that the size of aerosol particles increases obviously by moisture absorption under the high humid condition.

Key words: aerosol; size distribution; number concentration; mass concentration; black carbon

北京处于西、北、东三面环山之中, 冬季受大陆季风影响而干燥, 夏季受东南暖湿气流影响而高温高湿。高温高湿的天气状况导致北京市近 2 年来 8 月的大气能见度下降, 颗粒物的浓度偏高, 污染趋于复杂。尽管大气中气溶胶颗粒物的含量很少, 但它在环境、健康、气候等很多方面起着重要作用, 因此, 连续监测气溶胶颗粒物是研究气溶胶颗粒物的主要手段。气溶胶颗粒物在大气环境中的行为取决于其粒径大小及其谱分布特征, 认识大气颗粒物的粒径分布特征是研究气溶胶污染的基础<sup>[1]</sup>。碳黑气溶胶 (black carbon, BC) 在可见、红外波段范围内对太阳辐射均有强烈的吸收, BC 的粒径一般 < 2.5 μm<sup>[2,3]</sup>, 城市地区碳黑气溶胶质量浓度约占 PM<sub>10</sub> 的 5% ~ 10%<sup>[4,5]</sup>。气溶胶颗粒物的数浓度、质量浓度及粒谱分布受气象因素的影响明显。桑建人等<sup>[6]</sup>在对银川市初夏气溶胶粒子谱分布特征的研究中, 结合气象要素给出了气溶胶质量浓度和数浓度的日变化特

征、不同粒径粒子分布特点等; 王蓓等<sup>[7]</sup>利用粒谱分析仪研究了合肥市大气气溶胶颗粒物数浓度和质量浓度之间的关系; Jef 等<sup>[8]</sup>研究发现, ρ(PM<sub>10</sub>) 日变化在很大程度上受气象要素的影响; 阎逢旗等<sup>[9]</sup>对 ρ(PM<sub>10</sub>) 和气溶胶粒子数浓度的平均日变化进行了研究, 并对不同粒径气溶胶粒子数浓度和颗粒物质量浓度与大气能见度进行相关性分析。最近, 伍德侠等<sup>[10]</sup>利用碳黑气溶胶分析仪研究了合肥市秸秆焚烧期的碳黑气溶胶排放及其与 PM<sub>10</sub> 的相互关系; 时宗波等<sup>[11]</sup>分析了雾过程对北京市大气颗粒物理化特征的影响。上述文献大部分是关于气溶胶粒子数浓度与质量浓度之间的相关性或气溶胶的日变化与气象要素中的相对湿度、风的关系的研究, 而较少

收稿日期: 2009-02-27; 修订日期: 2009-06-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2006AA06A302); 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY200806028)

作者简介: 黄书华 (1976~), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为环境监测中的光电子技术, E-mail: hsh@aiofm.ac.cn

涉及在持续高温高湿且风速较小的静稳天气状况下气溶胶颗粒物吸湿长大的粒谱分布特征、数浓度和质量浓度相互关系以及  $PM_{10}$  质量浓度与碳黑气溶胶质量浓度相互关系研究。

## 1 材料与方 法

2007 年 8 月在北京市中国科学院遥感研究所紧临北辰西路的遥感楼楼顶(北纬  $39^{\circ}59'$ , 东经  $116^{\circ}23'$ )进行了大气环境污染监测实验。该地点南距北四环中路约 1.8 km, 西距八达岭高速约 1.5 km,

北距北五环中路约 2 km, 离奥林匹克主体育场的直线距离约 2 km, 实验场地周边的机动车流量大。实验系统主要如图 1 所示: 采用空气动力学粒谱分析仪(APS Model 3321, 美国 TSI 公司生产)、BCA7 型碳黑气溶胶分析仪(中国科学院安徽光学精密机械研究所研制)和微量振荡天平大气气溶胶颗粒物质量浓度分析仪(中国科学院安徽光学精密机械研究所研制)分别测量大气气溶胶空气动力学粒径谱分布(粒径范围为  $0.5\sim 20\ \mu\text{m}$ )、碳黑气溶胶颗粒物质量浓度、 $PM_{10}$  质量浓度。

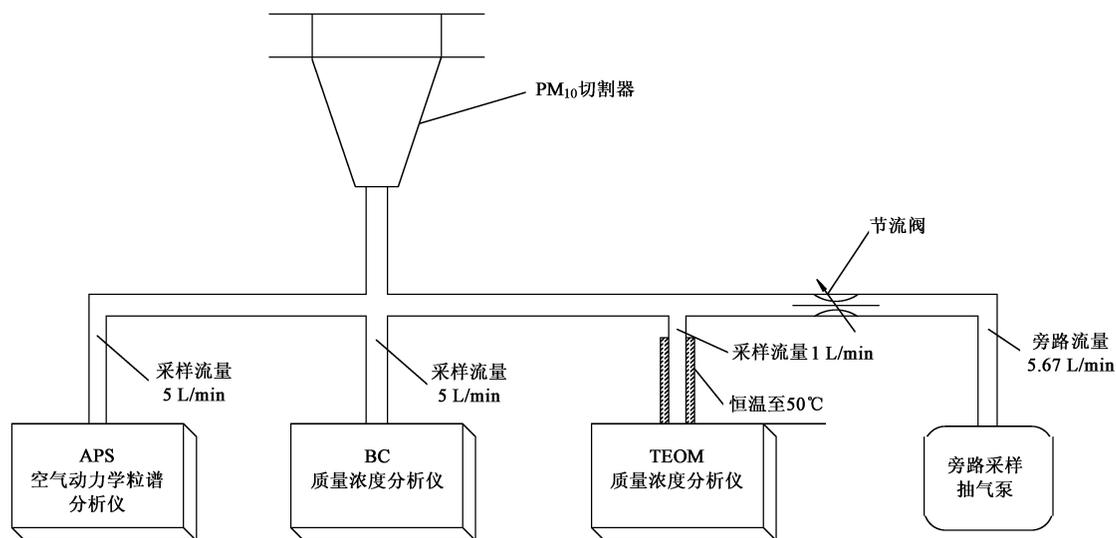


图 1 测量系统原理

Fig. 1 Schematic of monitor system

大气样品经过  $PM_{10}$  采样头采样后, 分成 4 路。其中一路以  $5\ \text{L}/\text{min}$  的流量进入空气动力学粒谱分析仪, 利用飞行时间原理, 测量按粒径分布的颗粒物数浓度(粒径范围为  $0.5\sim 20\ \mu\text{m}$ )。另一路则以  $1\ \text{L}/\text{min}$  流量进入微量振荡天平大气气溶胶颗粒物质量浓度分析仪的采样通道, 经过  $50\ ^{\circ}\text{C}$  恒温加热管道, 利用锥形玻璃管的弹性工作原理, 测量大气气溶胶中非挥发性干燥的颗粒物质量浓度。第三路则以  $5\ \text{L}/\text{min}$  的流量进入碳黑质量浓度分析仪, 利用光学灰度测量法测量碳黑气溶胶对可见到红外波段范围内的强吸收光特性, 从而测得气溶胶颗粒物中碳黑气溶胶的质量浓度。剩余气体经旁路采样抽气泵抽出。

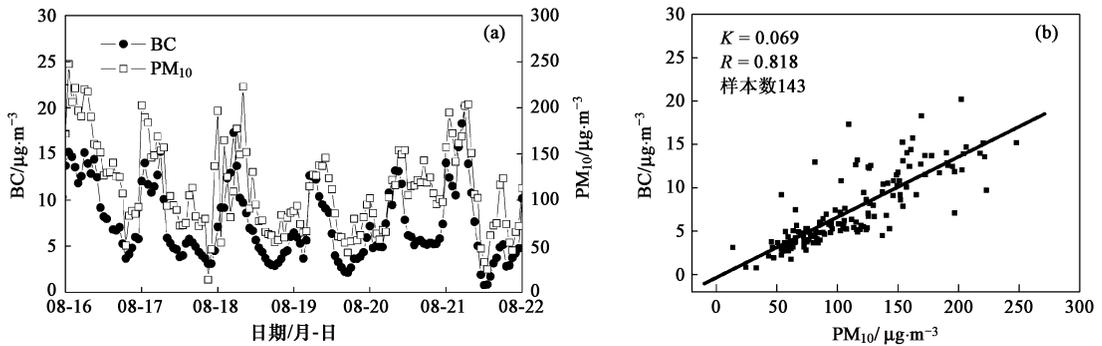
## 2 结果与分析

大气气溶胶颗粒物在夏季高温、高湿及低风速的静稳态天气状况下, 颗粒物极易吸湿而长大, 导致

大气颗粒物中  $< 1.0\ \mu\text{m}$  细粒子数浓度急剧增加且其在粒谱分布中所占的比重也急剧增加。

### 2.1 $PM_{10}$ 与 BC 之间的关系

在 2007 年 8 月 16~ 22 日期间, BC 的高峰值在  $10\sim 15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 峰值主要出现在 23: 00~ 次日 06: 00。  $PM_{10}$  的峰值在  $150\sim 210\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 峰值出现的时间段与 BC 几乎一致。如图 2(a) 所示, BC 和  $PM_{10}$  趋势较为一致, 其相关系数达到 0.82[如图 2(b)]。BC 约占  $PM_{10}$  的 7.1%。由于北京市允许以柴油发动机为主的货车在 23: 00~ 次日 06: 00 通行于附近的四环交通干线, 而且柴油机动车尾气排放是碳黑气溶胶的主要来源之一, 从而直接导致了 BC 及  $PM_{10}$  峰值与此时间段重合。另一方面, 虽然 8 月 16~ 21 日上午北京市呈现典型的高温、高湿及风速小的静稳天气状况, 大气颗粒物扩散条件极为不利, 且大气中的气溶胶颗粒物在此条件下易发生颗粒物

图 2 BC 与  $PM_{10}$  质量浓度的趋势及相关性Fig. 2 Trends of mass concentration of  $PM_{10}$  and BC, and their correlation

因吸湿而粒径涨大的现象. 但是 TEOM 在测量气溶胶颗粒物质量浓度时, 所采样的气溶胶颗粒物经过了  $50^{\circ}\text{C}$  恒温加热, 去除了气溶胶中的水分及挥发性颗粒物, 消除了气溶胶颗粒物的吸湿涨大的因素对测量带来的影响. 碳黑气溶胶分析仪采用了光学灰度法测量碳黑气溶胶颗粒物的质量浓度, 高湿的气象条件对碳黑颗粒物测量的影响也很小. 因此,  $PM_{10}$  与 BC 的相关性较高.

## 2.2 静稳条件和非静稳条件下颗粒物数浓度与质量浓度之间的关系

如图 3 所示, 2008 年 8 月 21 日 12:00 前后天气状况有着明显变化. 前一阶段, 北京市处于高湿度(平均相对湿度在  $80\% \pm 14\%$ )、低风速(平均风速

在  $8.5 \text{ km/h} \pm 3.9 \text{ km/h}$ ) 的典型静稳天气状况, 不利于大气污染物的扩散. 而后一阶段平均相对湿度为  $57.9\% \pm 15\%$ , 平均风速为  $11.2 \text{ km/h} \pm 5.2 \text{ km/h}$ , 风速变化明显, 峰值能达到  $21.6 \text{ km/h}$ . 如图 4 所示, 颗粒物的数浓度与质量浓度的变化趋势在每个阶段内具有一定的相关性, 但是后一阶段的颗粒物数浓度峰值仅为前一阶段峰值的一半左右, 气溶胶颗粒物的质量浓度并没有发生明显的变化. 结合图 3、图 4, 可以看出, 气溶胶颗粒物在高湿度、低风速的典型静稳天气状况下, 颗粒物因吸湿而粒径增大, 导致测量的颗粒物数浓度比后一阶段的数浓度要高出 1 倍以上, 而颗粒物质量浓度因为在采样过程中就经过  $50^{\circ}\text{C}$  加热去湿, 其结果没有显著变化.

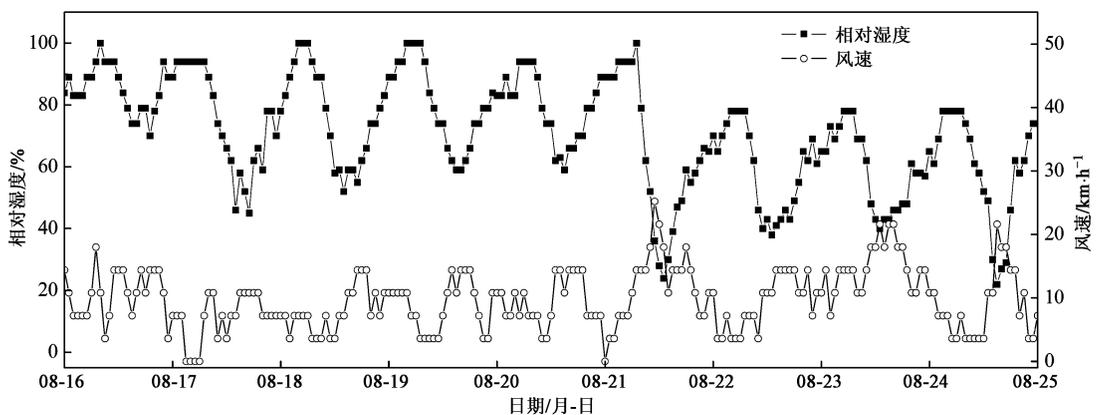


图 3 相对湿度和风速趋势

Fig. 3 Trends of relative humidity and wind speed

## 2.3 静稳天气状况下粒谱分布变化趋势

2007 年 8 月 16 日的天气状况是典型的静稳态, 如图 5 所示, 平均相对湿度为  $85\% \pm 8\%$ , 平均风速为  $10.8 \text{ km/h} \pm 3.8 \text{ km/h}$ . 08:00 及 17:00 左右有短

时小雨.

07:51 的气溶胶颗粒物粒谱分布如图 6 所示, 小雨后, 大气继续处于高温高湿且风速较小的静稳状态, 但湿度开始缓慢下降, 到 14:00, 湿度降为

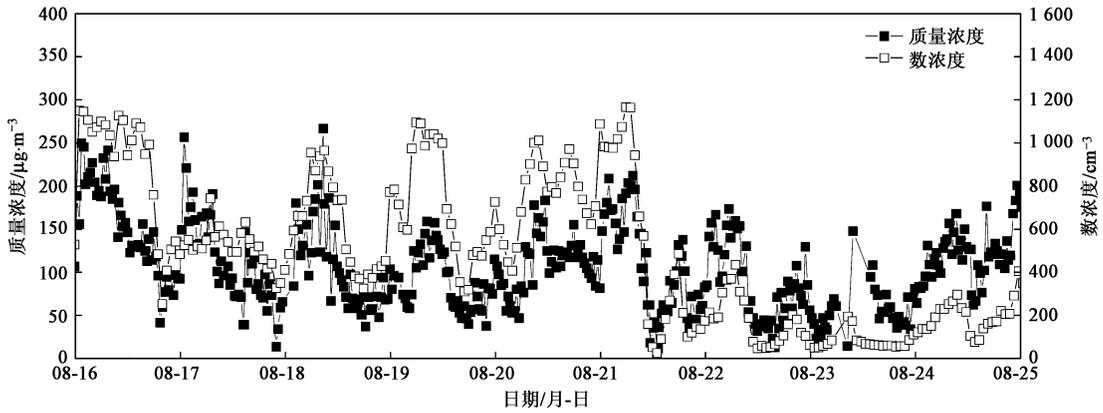


图 4 气溶胶数浓度和质量浓度的趋势图

Fig. 4 Trends of aerosol s number and mass concentration

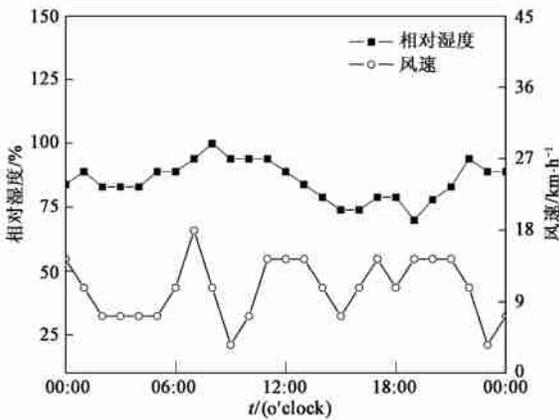


图 5 静稳天气下相对湿度和风速趋势

Fig. 5 Relative humidity and wind speed under steady-state weather condition

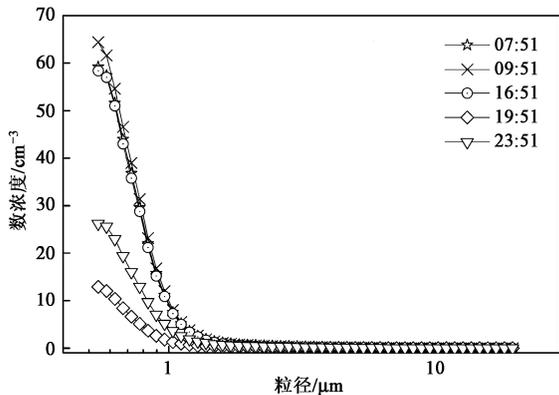


图 6 静稳天气下不同时刻的粒谱分布

Fig. 6 Aerosol size distributions at different time under steady-state weather condition

80%, 颗粒物质量浓度呈缓慢下降的趋势, 而颗粒物数浓度则在下雨前后没有明显的下降趋势, 如图 7 所示. 09: 51 雨后气溶胶粒谱分布如图 6 所示, 和 07: 51 的粒谱相比, 分布形状没有明显变化,  $< 1 \mu\text{m}$  的颗粒物的数浓度还有稍微的上升趋势, 说明这场小雨对气溶胶颗粒物没有起到明显湿沉降作用. 大气中的超细粒子仍然处于吸湿涨大状态, 大气中颗粒物的数浓度仍维持在高浓度. 颗粒物质量浓度呈缓慢下降趋势, 说明这一阶段人为社会活动产生的气溶胶颗粒物排放呈下降趋势, 与不下雨的天气条件下气溶胶颗粒物质量浓度日变化趋势是一致的. 16: 51 所测量的气溶胶粒谱分布如图 6 所示, 谱型和数浓度范围和 09: 51 分的测量结果相差不大, 一直维持在较高水平. 17: 00 左右小雨后, 湿度继续下降, 到 19: 00 左右, 湿度降到全天的最低值 70%. 19: 51 所测量的气溶胶粒谱分布及粒谱的数浓度与雨前 16: 51 的测量结果相比较, 粒谱分布中  $< 1 \mu\text{m}$  的细粒子数浓度及其在粒谱分布中所占比重明显减小, 颗粒物数浓度和质量浓度也降至全天最低值. 因此, 下午的小雨对气溶胶颗粒物起了明显湿沉降作用. 20: 00 以后, 湿度开始逐步上升, 风速也在 21: 00 之后进一步减小, 如图 6 所示, 大气中颗粒物无法有效扩散, 同时, 晚间大型柴油机动车尾气排放的增加, 两者共同导致颗粒物质量浓度和数浓度开始上升, 如图 7 所示. 由于处于高湿度的状况下, 颗粒物又开始吸湿涨大, 颗粒物粒谱分布中  $< 1 \mu\text{m}$  的细粒子数浓度及其在粒谱分布中所占的比例增加, 如图 6 所示.

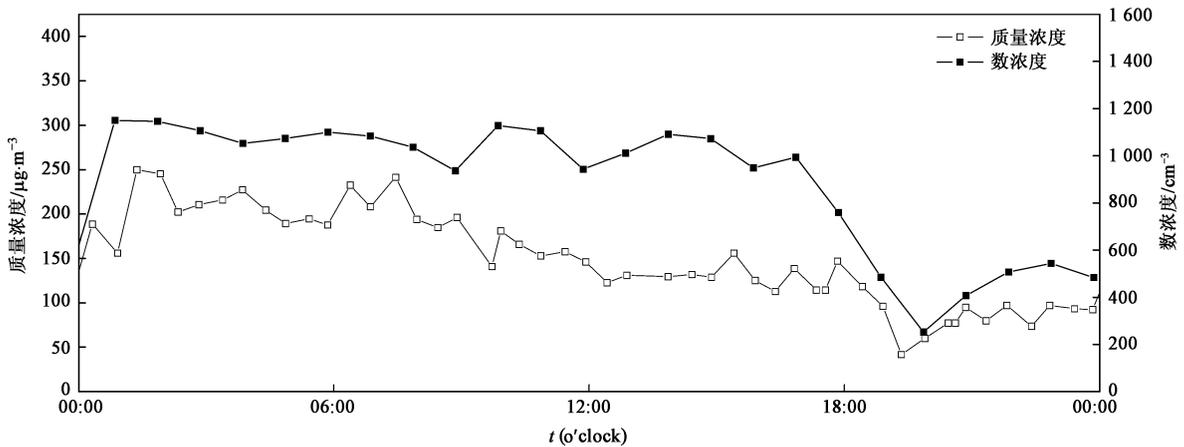


图7 静稳天气下气溶胶数浓度和质量浓度趋势图

Fig. 7 Trends of aerosol's number and mass concentration under steady-state weather condition

### 3 结论

本研究分析了夏季高湿度气象条件下北京市气溶胶颗粒物数浓度、PM<sub>10</sub>质量浓度以及BC浓度的变化趋势以及颗粒物粒谱分布特征. 指出在静稳态天气状况下BC质量浓度和PM<sub>10</sub>质量浓度峰值主要出现在午夜至06:00之间(货车放行时间段), 而颗粒物数浓度与质量浓度由于高湿度气象条件的原, 相关性较差. 在高湿度气象条件下, 气溶胶颗粒物的粒谱分布中, < 1 μm的细粒子的数浓度在整个粒谱中所占的比重显著增加是气溶胶颗粒物吸湿涨大引起的.

#### 参考文献:

[ 1 ] 胡敏, 刘尚, 吴志军, 等. 北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. 环境科学, 2006, 27(11): 2293-2298.  
 [ 2 ] Kirchstetter T W, Novakov T. Controlled generation of blackcarbon particles from a diffusion flame and applications in evaluating black carbon measurement methods [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41: 9.

[ 3 ] 秦世广, 汤洁, 温玉璞, 等. 黑碳气溶胶及其在气候变化中的意义[J]. 气象, 2001, 27(11): 3-7.  
 [ 4 ] Hitzinger R. Absorption coefficients and mass concentrations of the urban aerosol of Vienna, Austria, during the years 1985 and 1986 [J]. Water Air Soil Pollution, 1993, 71: 131-153.  
 [ 5 ] 姜淑娟, 毛节泰, 王美华. 北京地区不同尺度气溶胶中黑碳含量的观测研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 17-22.  
 [ 6 ] 桑建人, 杨有林. 银川市初夏气溶胶粒子谱分布特征[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 328-330.  
 [ 7 ] 王蓓, 刘建国, 刘增东, 等. 利用 APS 分析大气气溶胶数密度和质量浓度[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 711-714.  
 [ 8 ] Jef H, Clemens M, Gerwin D, et al. A neural network forecast for daily average PM<sub>10</sub> concentration in Belgium [J]. Atmos Environ, 2005, 39: 3279-3289.  
 [ 9 ] 阎逢旗, 胡欢陵, 吴永华, 等. 北京地区夏冬季气溶胶变化特征分析[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 30-33.  
 [ 10 ] 伍德侠, 魏庆农, 魏健, 等. 秸秆焚烧期的碳黑气溶胶观测及研究[J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3304-3309.  
 [ 11 ] 时宗波, 贺克斌, 陈雁菊, 等. 雾过程对北京市大气颗粒物理化特征的影响[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 551-556.