

北京地区气溶胶粒度谱分布初步研究*

张仁健 王明星 戴淑玲
张 文 王秀玲 李爱国

(中国科学院大气物理研究所大气边界层和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 对北京地区气溶胶数浓度及其谱分布特征进行了初步研究, 重点探讨了气溶胶数浓度分布与相对湿度的关系。研究表明, 气溶胶浓度和谱分布存在明显的日变化和逐日变化, 并在很大程度上受空气相对湿度和里查森数影响。

关键词: 气溶胶; 粒度谱分布; 相对湿度; 里查森数

1 引言

气溶胶浓度是大气环境质量的重要研究内容之一, 城市颗粒污染物正日益引起公众的重视。过去的几十年中, 人们对气溶胶粒度谱分布进行了一些研究^[1~5]。目前, 关于城市大气污染物的研究还处于初始阶段, 关于气溶胶浓度的分布规律还不很清楚。1999年2~5月, 在北京中国科学院大气物理研究所的气象塔院内, 我们对气溶胶粒子浓度谱分布进行了近30天的连续观测, 并结合气象观测资料, 对北京地区春季气溶胶浓度及其与相对湿度的关系进行了一些研究和分析。

2 观测点和采样方法

采样地点位于北京三环外中国科学院大气物理研究所气象观测塔院内东小楼二楼楼顶, 高度约6 m。仪器采用苏州产BCJ-1尘埃粒子计数器, 测量气溶胶粒子分6档: 0.3~0.5、0.5~0.7、0.7~1.0、1.0~2.0、2.0~5.0、>5.0 μm 。采样间隔时间为2 min, 流量为5.66 L/2 min。取得了3月1~23日、4月5~11日、4月26~28日共30天的24小时气溶胶粒子浓度资料。常规气象数据来自气象观测塔的常规观测资料, 包括风速、风向、温度及相对湿度, 气象观测数据各层次的高度为8、15、32、47、63、80、102 m。

3 结果与分析

3.1 气溶胶浓度的变化

观测得到的气溶胶粒子浓度谱分布呈单峰型分布, 峰值出现在0.5~0.7 μm 之间。

1999-08-15 收到, 1999-10-12 收到修改稿

* 中国科学院大气物理研究所所长重点基金项目98-209、知识创新工程基金和国家重点基础研究专项G1999043403资助

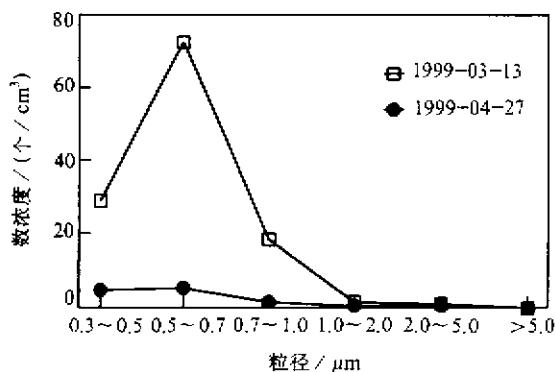


图1 观测的气溶胶粒子浓度谱

图1给出了气溶胶数浓度最大和最小两天(3月13日和4月27日)的粒子谱分布图。3月13日为多云转阴天气,全天相对湿度平均值为81%,粒子浓度为观测到的高大值;4月27日晴转多云,全天相对湿度平均值为36%,粒子浓度为观测到的最低值,其中在小粒子($<1.0\mu\text{m}$)相差幅度较大,达10倍以上;而大粒子的变化幅度相差较小,在 $>5.0\mu\text{m}$ 段,相差不大。这表明气溶胶浓度存在较大的逐日变化。

当相对湿度发生变化时,气溶胶的粒子谱结构会发生变化。当空气中相对湿度较大时,气溶胶数浓度特别是小粒子浓度明显增大。这表明,在空气湿度较大的情况下,气粒转化是大气气溶胶特别是小粒子的一个重要来源。

3.2 气溶胶粒子谱分布

图2给出了不同相对湿度(H_r)条件下气溶胶粒子谱浓度分布。在 $H_r < 75\%$ 时,气溶胶小粒子数浓度随相对湿度增大呈上升趋势;而当 $H_r > 75\%$ 时,气溶胶小粒子数浓度随相对湿度的增大而降低。气粒转化过程作为大气化学中的一类重要的化学物理过程,是大气气溶胶的一种重要来源。相对湿度增大,有利于小粒子的形成^[3]。而当空气湿度大到一定程度时,粒子碰并形成大粒子的机会增多,形成的大粒子沉降到地面,小粒子数目反而减少。这表明气粒转化过程是大气气溶胶小粒子的主要来源。

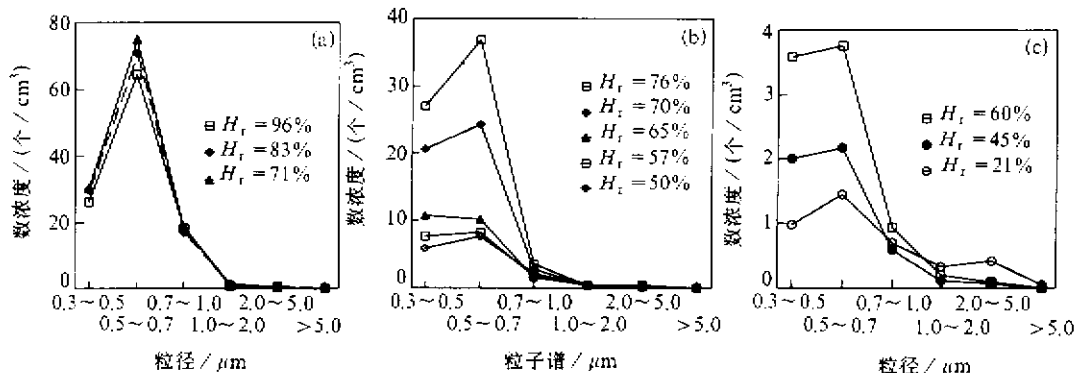


图2 不同相对湿度条件下气溶胶粒子谱浓度分布
(a) $H_r > 70\%$; (b) $50\% < H_r < 75\%$; (c) $20\% < H_r < 60\%$

3.3 气溶胶浓度日变化与相对湿度的关系

气溶胶浓度大小与天气状况密切相关。从取得的资料来看,阴天气溶胶浓度最大,多云次之,晴天最小。气溶胶浓度大小随相对湿度变化而变化。空气相对湿度较小条件下,与相对湿度呈正相关,图3a给出了4月26日18时到4月28日18时2天的气溶

胶浓度和相对湿度的日变化(日平均相对湿度为 39%), 两者呈正相关, 相关系数为 0.65。空气相对湿度较大(日平均相对湿度为 81%) 条件下, 与相对湿度呈负相关, 相关系数为 -0.71 (图 3b)。

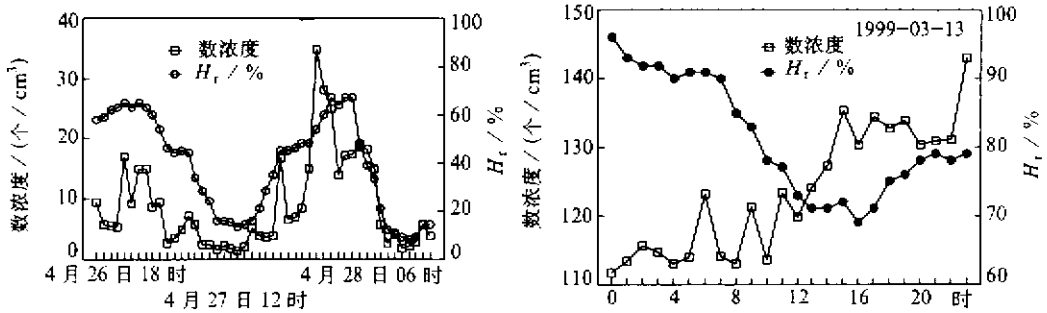


图 3 气溶胶浓度和相对湿度的关系

3.4 气溶胶浓度日变化与梯度里查森数关系

气溶胶数浓度存在日变化。在阴天, 气溶胶浓度较大, 日变化不明显。而晴天气溶胶浓度存在明显的日变化, 白天浓度低, 下午达最小值; 夜间浓度高, 一般是 00:00 时达最大值。气溶胶数浓度日变化与过去的观测结果^[3,5]基本相似。造成这种变化的原因是由于白天湍流交换强烈, 气溶胶粒子易于向上输送, 因此, 地面层浓度低。而晚上由于近地层大气处于层结稳定状态, 湍流的发展受到抑制, 气溶胶粒子不易向上输送, 因此, 浓度较高。下面通过里查森数与粒子数浓度的关系可以看出这种特征。

大气梯度里查森数定义为

$$Ri = \left(\frac{g}{\theta_v} \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} \right) / \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right], \quad (1)$$

根据位温公式可推导出

$$\frac{1}{\theta_v} \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} = \Gamma_d - \Gamma, \quad (2)$$

其中, Γ_d 和 Γ 分别为气块干绝热直减率和大气温度直减率, $\Gamma_d = g/c_p = 0.98$ K/km, $\Gamma = -(1/T)(\partial T/\partial z)$ 。

梯度里查森数判据如下: 当 $Ri < 0.21$ 时, 片流不稳定, 湍流开始; $Ri > 1.0$ 时, 湍流变成片流。根据气象资料, 计算了 100 m 以下的梯度里查森数。 $H_r < 75\%$ 时(多云或晴转多云天气), 气溶胶粒子数浓度呈白天高晚上低, 气溶胶粒子数浓度与里查森数呈正相关, 相关系数为 0.65。晚上, 里查森数一般大于 0.2, 大气处于稳定状态, 地面产生的细粒子不能向上很快扩散, 因此浓度较高; 白天, 里查森数一般小于 0.2, 特别是中午, 里查森数为负, 这表明地面存在湍流, 且活动较为强烈, 气溶胶粒子数浓度由于湍流扩散作用, 浓度较低(图 4a)。而在空气相对湿度较大的条件下($H_r > 75\%$), 里查森数大于 0.25, 此时, 湍流得不到发展, 大气处于稳定状态, 此时气溶胶粒子数浓度与里查森数相关性较差, 相关系数仅为 -0.21 (图 4b)。

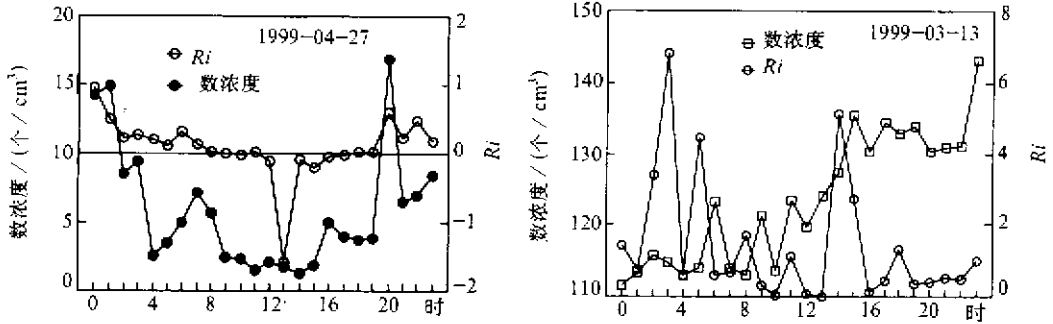


图4 气溶胶浓度与梯度里查森数的关系

4 结论

气溶胶数浓度和谱分布是研究气溶胶物理特性的重要指标。通过分析 30 天气溶胶浓度谱分布资料, 初步得到以下一些结论:

(1) 气溶胶粒子谱浓度变化幅度大, 在小粒子范围相差 10 倍以上。

(2) 气溶胶粒子谱分布呈单峰分布, 峰值出现在 $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ 。其峰的大小与相对湿度有密切关系: 在相对湿度 $< 75\%$ 时, 峰值随相对湿度的增大而增大; 在相对湿度 $> 75\%$ 时, 峰值随相对湿度的增大反而减小。

(3) 气溶胶数浓度存在明显的日变化, 且与相对湿度密切相关。当相对湿度 $< 70\%$ 时, 气溶胶粒子浓度白天高、晚上低, 与相对湿度呈明显的正相关, 相关系数达 0.65 以上; 当相对湿度 $> 70\%$, 气溶胶粒子浓度日变化与相对湿度呈明显的负相关, 相关系数为 -0.71。

(4) 气溶胶数浓度的日变化与大气稳定度有关。当相对湿度 $< 75\%$ 时, 气溶胶数浓度与梯度里查森数的相关系数为 0.65; 当相对湿度 $> 75\%$ 时, 气溶胶数浓度与里查森数相关性较差。

致 谢: 本研究采用的大塔气象资料由中国科学院大气物理研究所大气边界层探测技术部李芸芸高级工程师提供, 罗卫东高级工程师为实验提供了大力帮助, 在此深表感谢

参 考 文 献

- 1 游荣高等, 边界层大气气溶胶浓度与尺度谱分布的时空变化, 大气科学, 1983, 7(1), 88~94.
- 2 王明星等, 大气气溶胶浓度谱分布函数及其随高度的变化, 大气科学, 1984, 8(4), 435~442.
- 3 王庚辰, 大气气溶胶浓度及其谱分布的某些特征, 大气科学, 1982, 6(2), 211~216.
- 4 周明煜等, 北京城区秋冬季气溶胶浓度分布规律及其与天气类型的关系, 大气科学, 1983, 7(4), 450~455.
- 5 游荣高等, 北京采暖期间和采暖期前大气气溶胶物理特性的对比研究, 大气科学, 1990, 14(2), 354~363.
- 6 赵德山, 王明星, 烟煤型城市污染大气气溶胶, 北京: 中国环境科学出版社, 1991.

Preliminary Research on the Size Distribution of Aerosols in Beijing

Zhang Renjian, Wang Mingxing, Dai Shuling,

Zhang Wen, Wang Xiuling and Li Aiguo

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry,

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Particle counter is used to study the size distribution of aerosols in Beijing. The relationship between aerosol size distribution and air density is discussed. The research results show that the size distribution, diel change, daily variation have a good connection with relative humidity and Richardson number.

Key words: aerosol; size distribution; relative humidity; Richardson number