

北京地区气溶胶变化特征分析

李学彬, 徐青山, 胡欢陵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所大气光学研究中心, 安徽 合肥 230031)

摘要: 2004年冬季和夏秋季, 用光学粒子计数器、能见度仪和颗粒物质量监测器对北京市大兴区黄村以及北京大气物理研究所铁塔部近地面大气气溶胶粒子数密度、数密度谱, 能见度、颗粒物质量浓度等进行了测量. 对不同天气条件下的谱分布特征进行了统计分析, 对谱分布进行了 Junge 谱拟合, 对拟合参数 v , N_0 , 数密度与厦门地区的进行了比较. 最后还讨论了风和烟花燃放过程对粒子数密度的影响, 以及它们对 PM_{10} , $PM_{2.5}$ 和能见度的影响.

关键词: 大气光学; 大气气溶胶; 光学粒子计数器; 谱分布; 粒子数密度

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-606X(2006)S2-0114-05

1 前言

大气气溶胶是大气的重要组成部分, 它对大气环境、大气辐射、气候等有很大的影响. 随着工业经济的迅速发展, 大气污染问题变得越来越严重, 空气中的颗粒物给人们的身体健康带来了严重的危害^[1,2]. 大气气溶胶谱分布和数密度是大气气溶胶的重要特征. 笔者对北京地区不同季节大气气溶胶谱分布、数密度等昼夜变化规律和它们之间的相关性进行了分析研究, 并与厦门地区做了比较. 另外还讨论了典型天气条件下大气气溶胶粒子数密度谱、能见度、颗粒物质量浓度的演变过程.

2 仪器和实验

为了研究北京地区不同季节气溶胶的谱分布及其特征, 2004年1月9日至2月5日和2004年8月20日至2004年9月19日在北京市大兴区黄村, 2004年9月20日至10月6日在北京大气物理研究所铁塔部, 对大气气溶胶进行了测量. 使用的仪器主要有 DLJ-92 多道光学粒子计数器^[3,4](OPC)、能见度仪^[5](FD12 U21208)

和颗粒物质量监测器^[6] PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ (TEOM 1400系列). 其中 OPC 的测量数据样本 2004年1~2月有 458 h, 2004年8~10月有 774 h 的数据样本. 能见度仪和颗粒物质量监测器 24 h 连续测量. 能见度仪测量的数据分别为 1 min 的平均值, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 都是 1 h 的平均值.

3 北京地区夏秋季和冬季大气气溶胶粒子数密度谱

大气气溶胶粒子数密度谱的日变化, 受地区、季节、粒子来源、湿度和风等气象条件的影响. 为了研究北京市夏秋季和冬季不同天气情况下大气气溶胶粒子数密度谱的日变化情况, 分别给出夏秋季和冬季晴天和阴天粒子谱平均日变化, 数密度的日变化. 其中夏秋季晴天的数据样本 504 h 时, 阴天有 270 h 时; 冬季晴天的数据样本有 360 h 时, 阴天有 98 h 时.

图 1 是在北京测量的粒子平均谱分布的一些比较. 可以看出粒子谱基本上可以分为三段, 在小于 $0.6 \mu m$ 时类似 Junge 谱的指数分布, 而在 $1.0 \mu m$ 附近有一个峰值, 在大于 $1.7 \mu m$ 时类似正态分布.

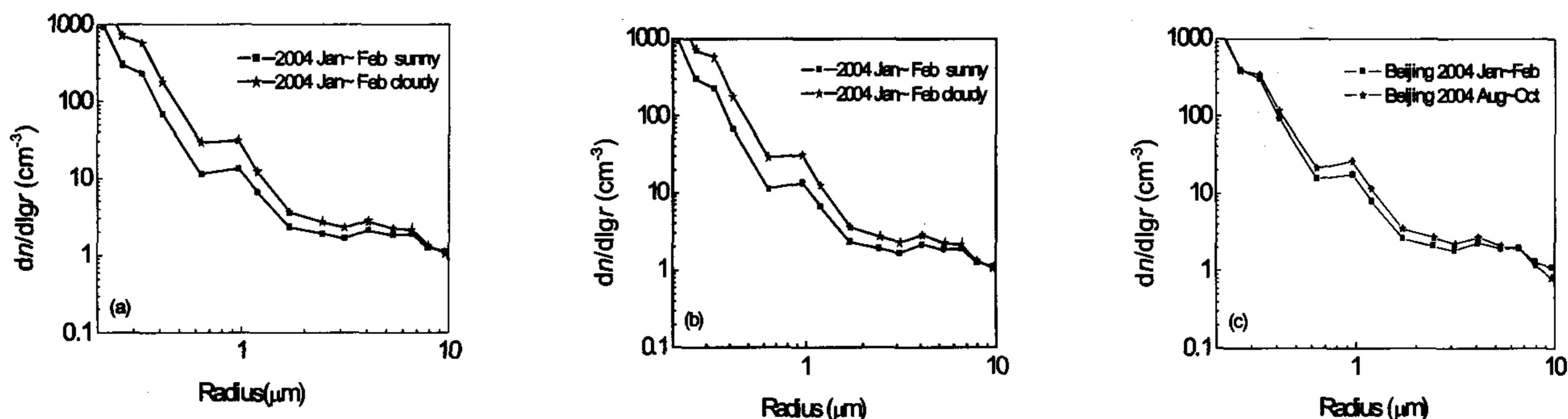


图 1 2004年北京夏秋季和冬季粒子谱的季节平均

Fig.1 Atmospheric aerosol size distributions for different seasons and weathers

图 1(a)和 1(b)是北京夏冬季晴天和阴天的平均谱分布图. 可以看出, 在北京不管是冬季还是夏季, 阴天的粒子数密度总是比晴天多. 由图 1(c)可以看出北京地区夏冬季粒子谱变化不明显, 说明其粒子源比较稳定, 只是夏季粒子数密度在 $r < 6 \mu\text{m}$ 时略大于冬季的, 在 $r > 6 \mu\text{m}$ 时稍小于冬季.

4 北京地区不同季节平均谱分布的拟合以及与厦门的比较

为了分析北京地区平均谱分布的特征, 用 Junge 谱^[7]对北京的测量结果进行拟合. Junge 谱的表达式如下:

$$n(r) = dN(r)/dr = N_0 r^{-(\nu+1)}, \quad (1)$$

这里, ν 表示用 Junge 谱拟合的气溶胶粒子数密度谱的 Junge 指数, 它反映了大气中不同粒径的气溶胶粒子的比例, 即大 ν 值表示大粒子所占比例较小, 小 ν 值表示大粒子所占比例较大; N_0 是 Junge 系数, 表示单位体积空气内, 单位半径间隔, 半径为 $1 \mu\text{m}$ 的粒子浓度, N_0 的变化主要反映以 $1 \mu\text{m}$ 粒子为代表的相对较大粒子浓度的变化. RR 是拟合的相关系数. 下图中 RR 的值都接近

1, 表示用 Junge 谱分布拟合是相对合理的.

由图 2 给出了北京不同季节平均谱的拟合结果, 可以看出: (1) 北京冬季的 Junge 指数 ν 有白天小夜晚大的明显的日变化(ν 值大于 1.5 小于 2.0), 表明白天大粒子的比例明显增大. 夏季的 Junge 指数 ν 值日变化不大, 没有明显的日变化(ν 值在 2.0 附近). 这说明北京夏秋季白天和夜晚气溶胶大小粒子的比例没有明显变化. (2) 在北京冬季, N_0 有明显的日变化. 以半径 $1 \mu\text{m}$ 为代表的大粒子, 在后半夜特别少, 而在 9:00~14:00 有大幅度的增加. 在夏季, N_0 也有明显的日变化. 以半径 $1 \mu\text{m}$ 为代表的大粒子, 在下午 14:00~17:00 相对较少.

图 3 是北京地区和厦门地区拟合参数结果的比较, 由图 3(a)可以看出, 大部分 Junge 指数分布在 2.0 附近, 北京冬季的和厦门冬季的波动较大. 并且 ν 值的最小值(1.5)和最大值(2.8)出现在北京冬季和厦门冬季, 这说明在冬季, 北京地区的气溶胶中粗粒子所占的比例远大于厦门地区. 由图 3(b)可以看出, 北京的 N_0 值分布在 1.0~3.0 之间, 冬季白天的大于夏季白天的, 冬季的变化范围大于夏季的; 厦门夏季 8 月份的 N_0 值非常大, 这说明厦门地区夏季半径在 $1 \mu\text{m}$ 处的粒子非常丰富.

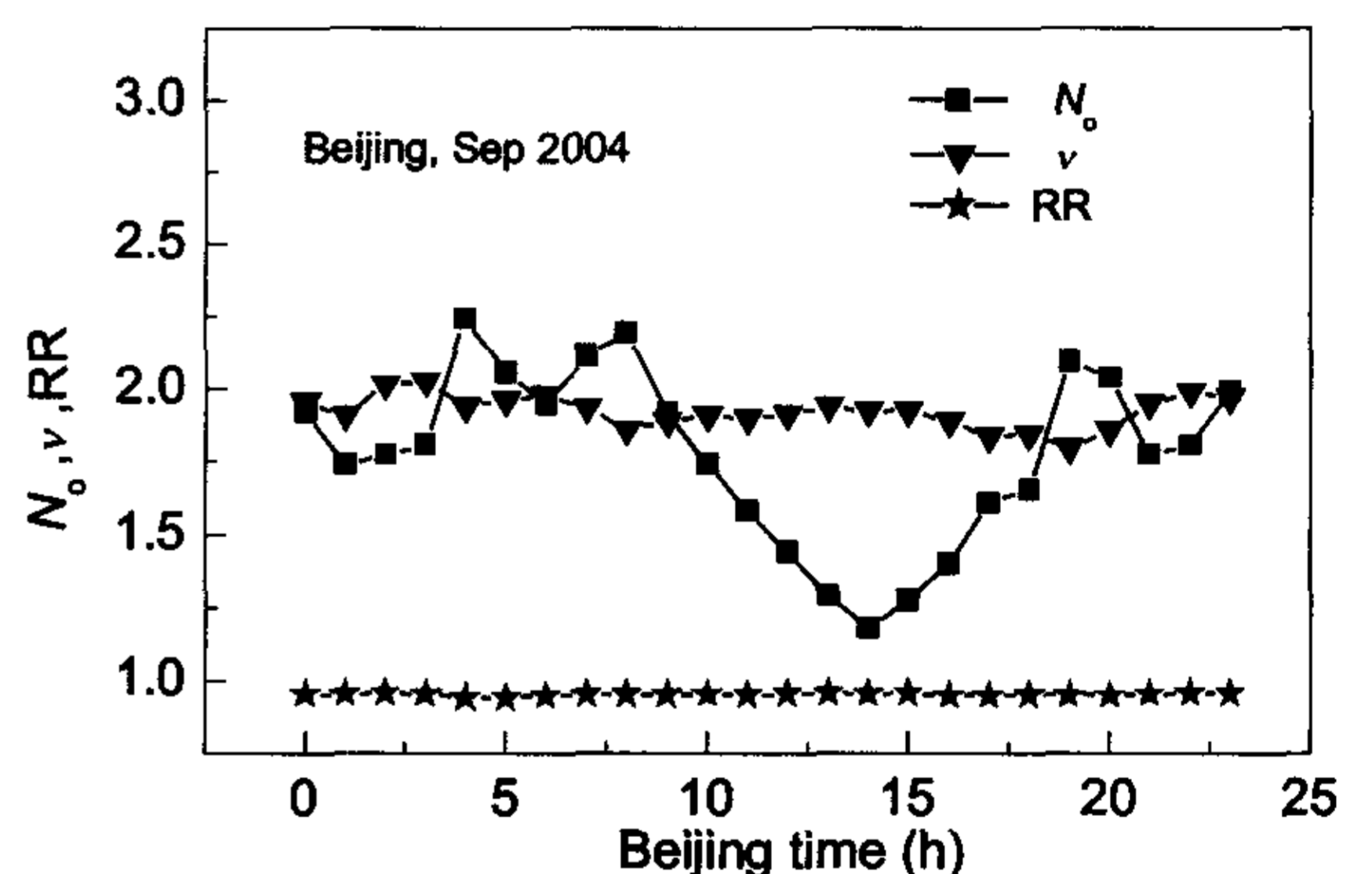
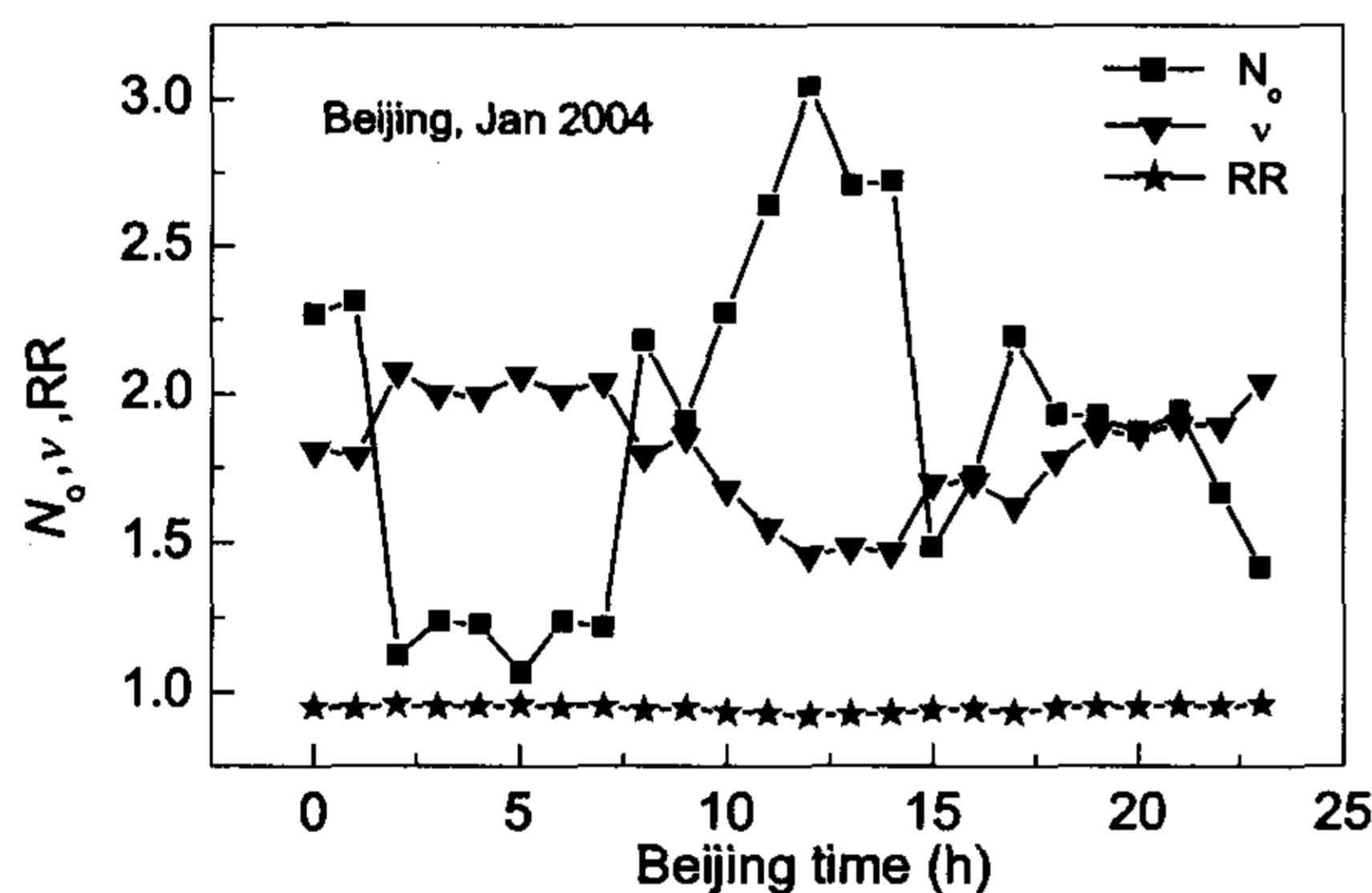


图 2 北京气溶胶粒子平均谱 Junge 参数 ν , N_0 在 1 和 9 月的拟合结果
Fig.2 Average diurnal variations of ν and N_0 in January and September 2004 in Beijing

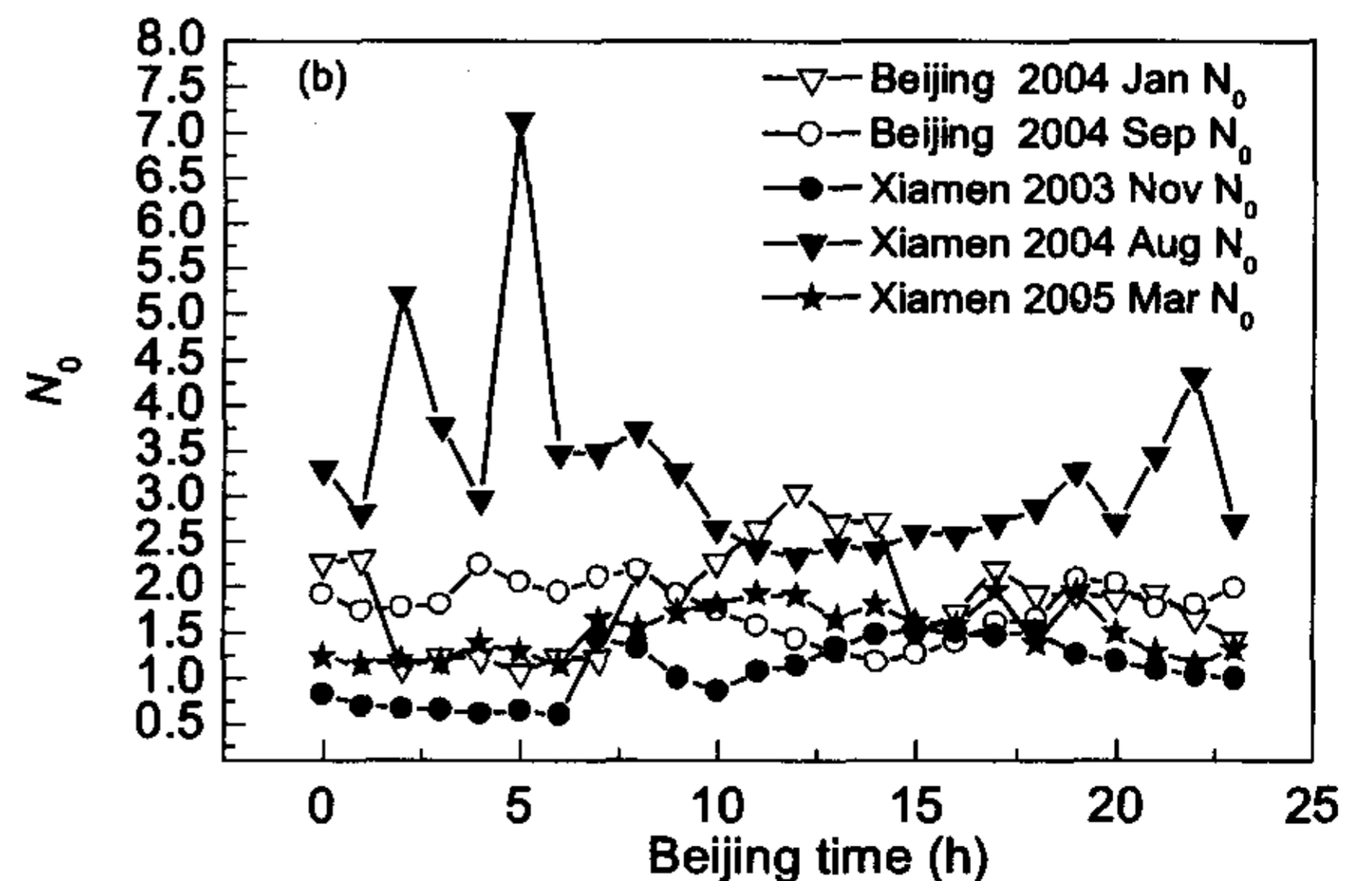
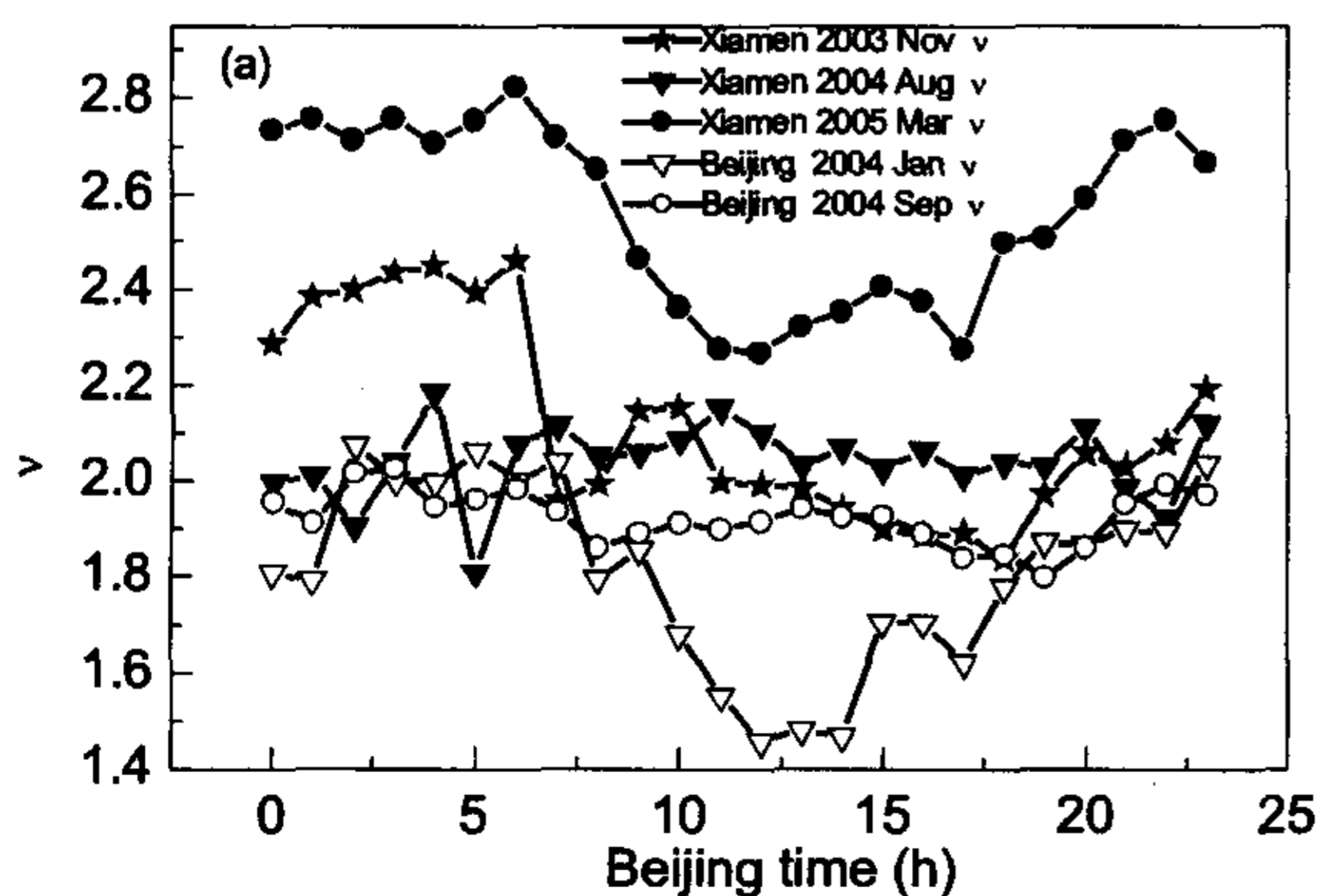


图 3 北京和厦门地区平均气溶胶谱拟合参数的比较
Fig.3 Comparisons of ν and N_0 in different seasons in Beijing and Xiamen

图4是厦门和北京不同季节粒子数密度的比较. 由图可看出, (1) 在冬季, 两地的粒子数密度变化有相同的特点: 都是白天小夜晚大的明显日变化, 除了在午夜有一个极大值外, 在早晨7~8点还有一个极大值. 但是, 北京的粒子数密度比厦门的大得多. (2) 在夏季, 厦门的粒子数密度没有明显的日变化, 北京的 N_{opc} 比厦门大的多, 且有明显的日变化. 可见与厦门相比北京的污染严重的多.

5 不同的天气条件对气溶胶谱分布的影响

5.1 风对空气中气溶胶粒子浓度的影响

在稳定的状态下形成的气溶胶粒子浓度的增加, 风的出现可以对近地面气溶胶的浓度产生混合稀释作用. 但在大风天气下, 特别是地面沙化, 它又是近地面气溶胶的主要来源, 它携带大量的尘土和沙尘, 形成扬沙天气.

图5(a)是记录一次风对气溶胶的稀释作用, 北京

2004年9月25日气晴朗, 实验场所在大气所铁塔部的草坪上, 周围树木比较多. 上午无风, 粒子很多, 中午12:00左右开始起风, 18点以后结束; 在起风前, 如9点的粒子数密度最大, 下午1点以后, 粒子数密度迅速下降, 到下午4点, 粒子数密度最小, 下午5点以后风速减小, 变弱, 气溶胶粒子数开始积聚上升. 若风很大, 地面又沙化, 扬沙便开始了. 图5(b)和5(c)记录了一次扬沙过程. 表1是扬沙过程中数密度、PM、Vis的变化. 北京2004年1月20号有一次典型的扬沙过程, 20日凌晨3点开始起风, 早晨8点开始扬沙, 10, 11, 12, 13点风力最大, 下午3点左右风力减弱, 扬沙结束. 扬沙过程有如下特征: (1) 扬沙前后粒子数密度明显减小, 而大粒子含量却明显增加, 粒子谱分布变化很大. (2) 扬沙前小粒子很多, 而大粒子很少, $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比例达80%, 而扬沙后虽然 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 都增加, 但 PM_{10} 增加的更加剧烈, 在扬沙最剧烈时 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比例仅占4.1%. (3) 扬沙前后大气水平能见度剧烈减小, 这是大粒子含量增加造成的.

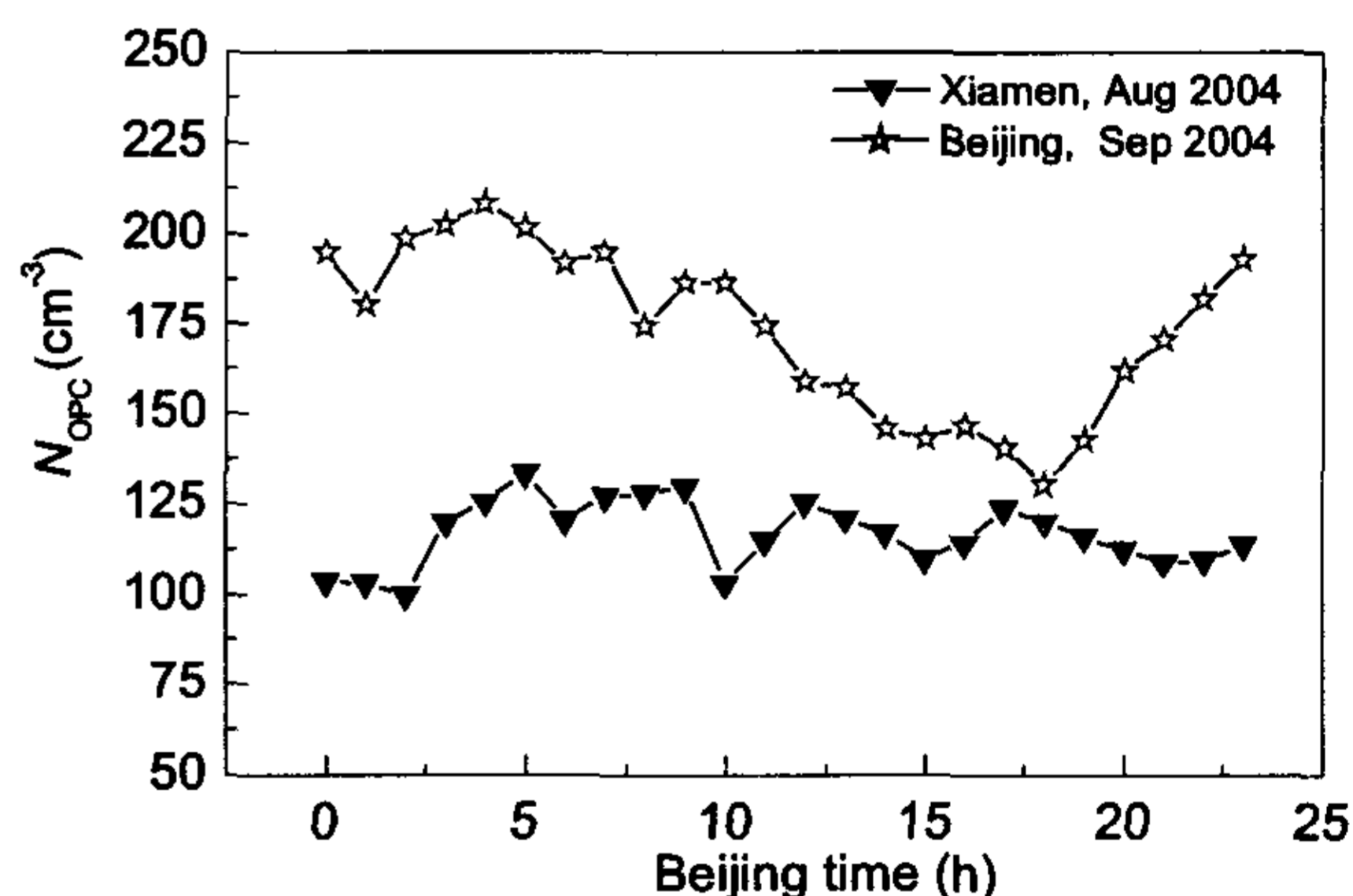
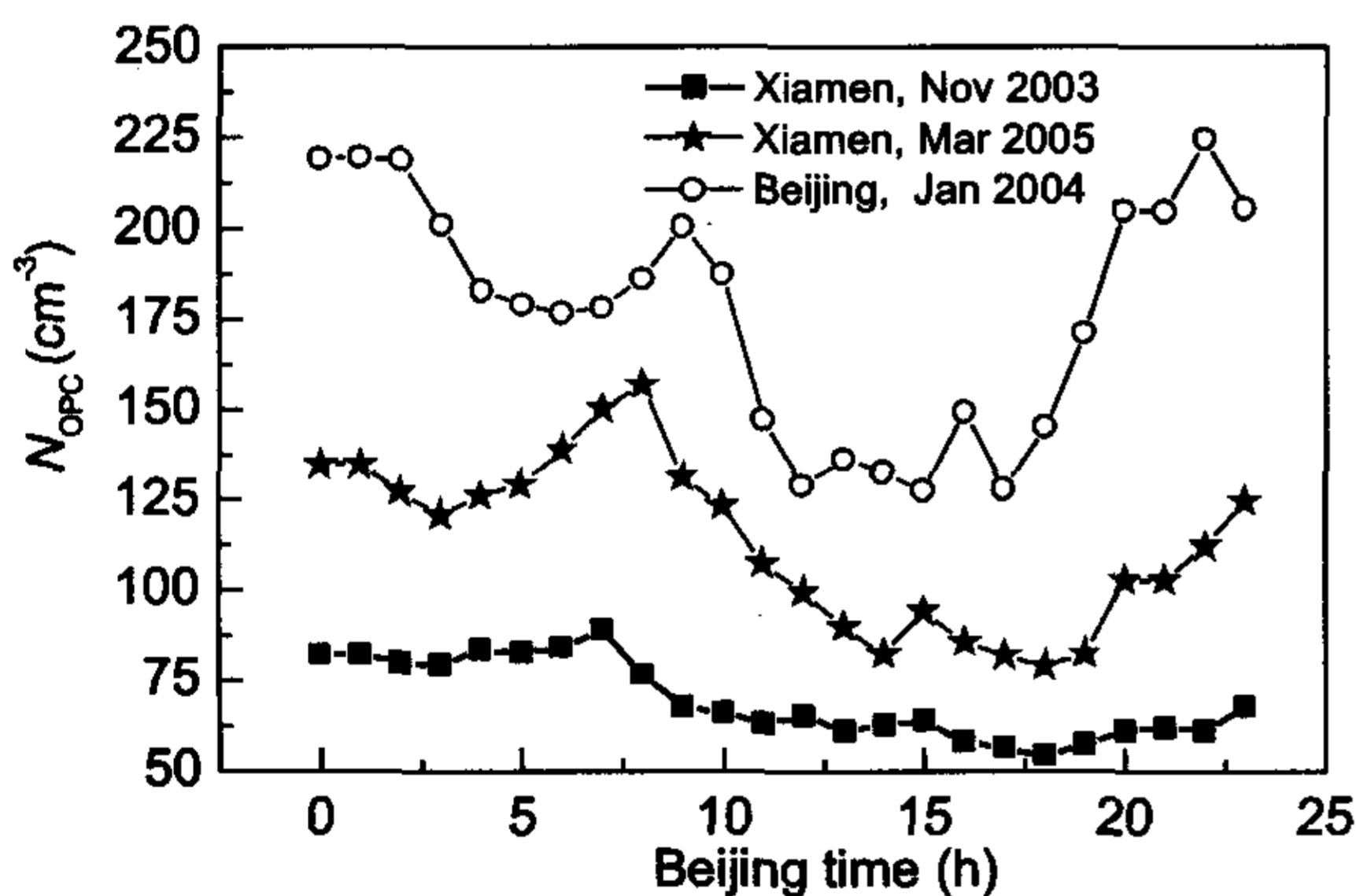


图4 北京和厦门不同季节粒子数密度的比较

Fig.4 Comparison of number density in different seasons in Beijing and Xiamen

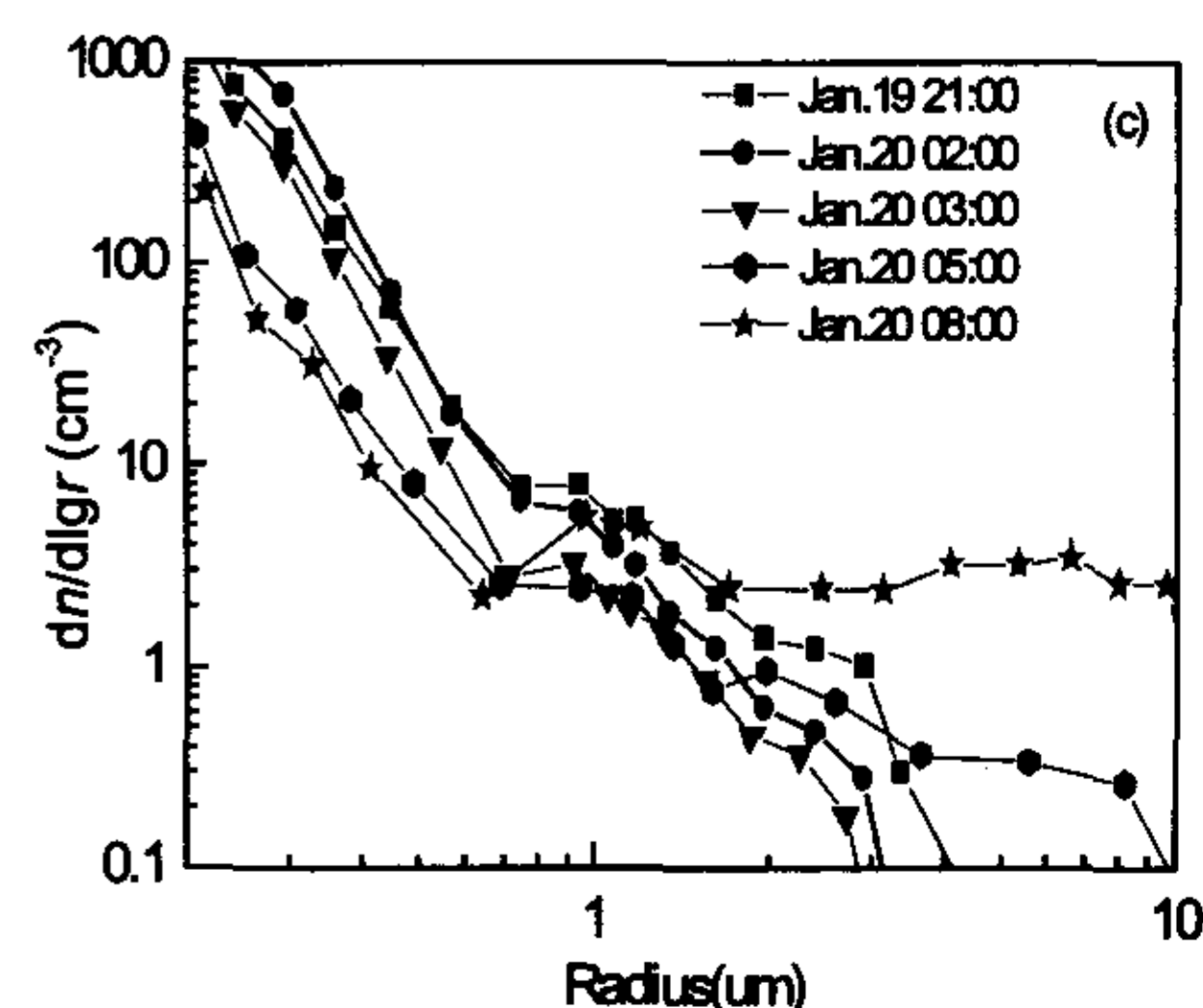
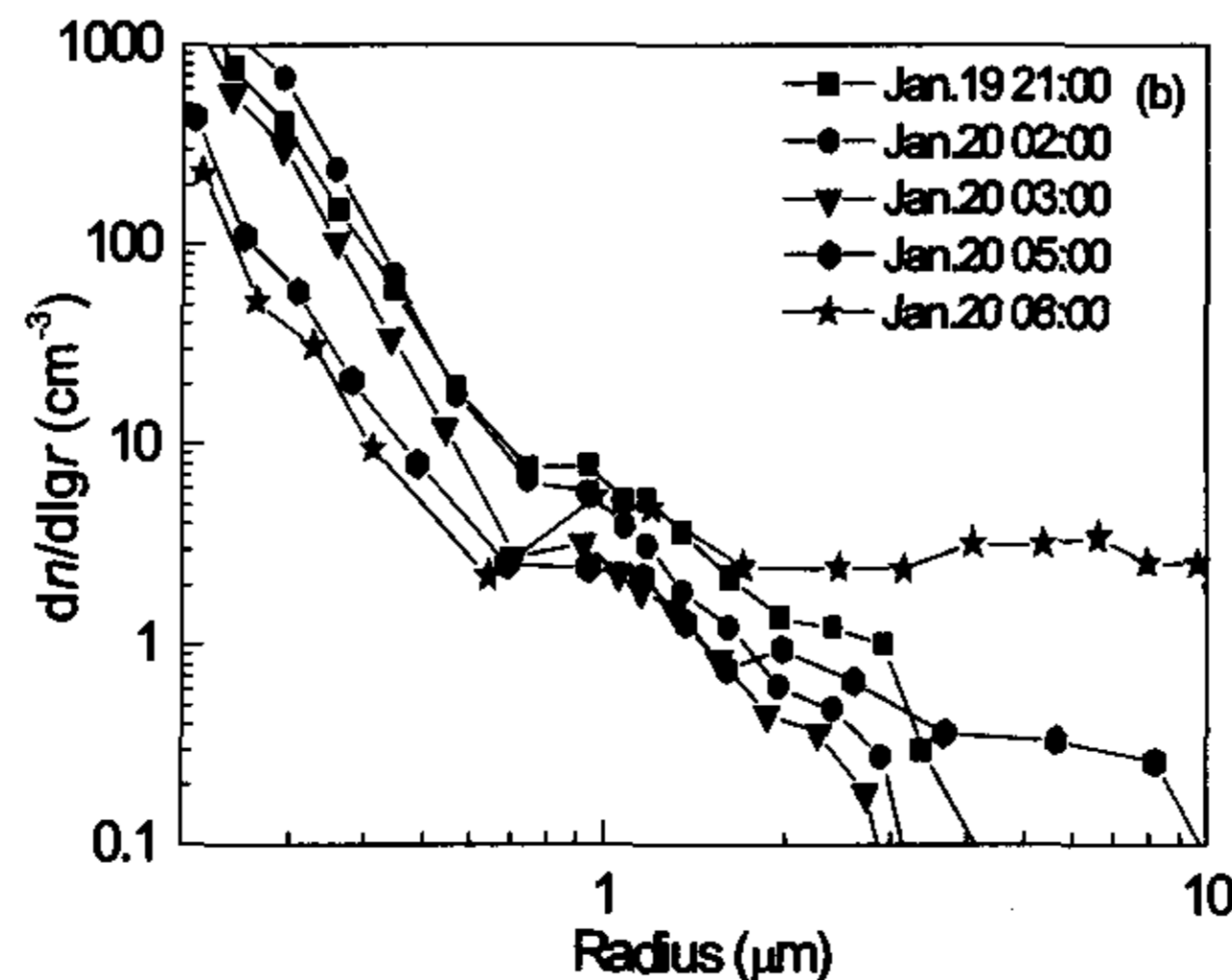
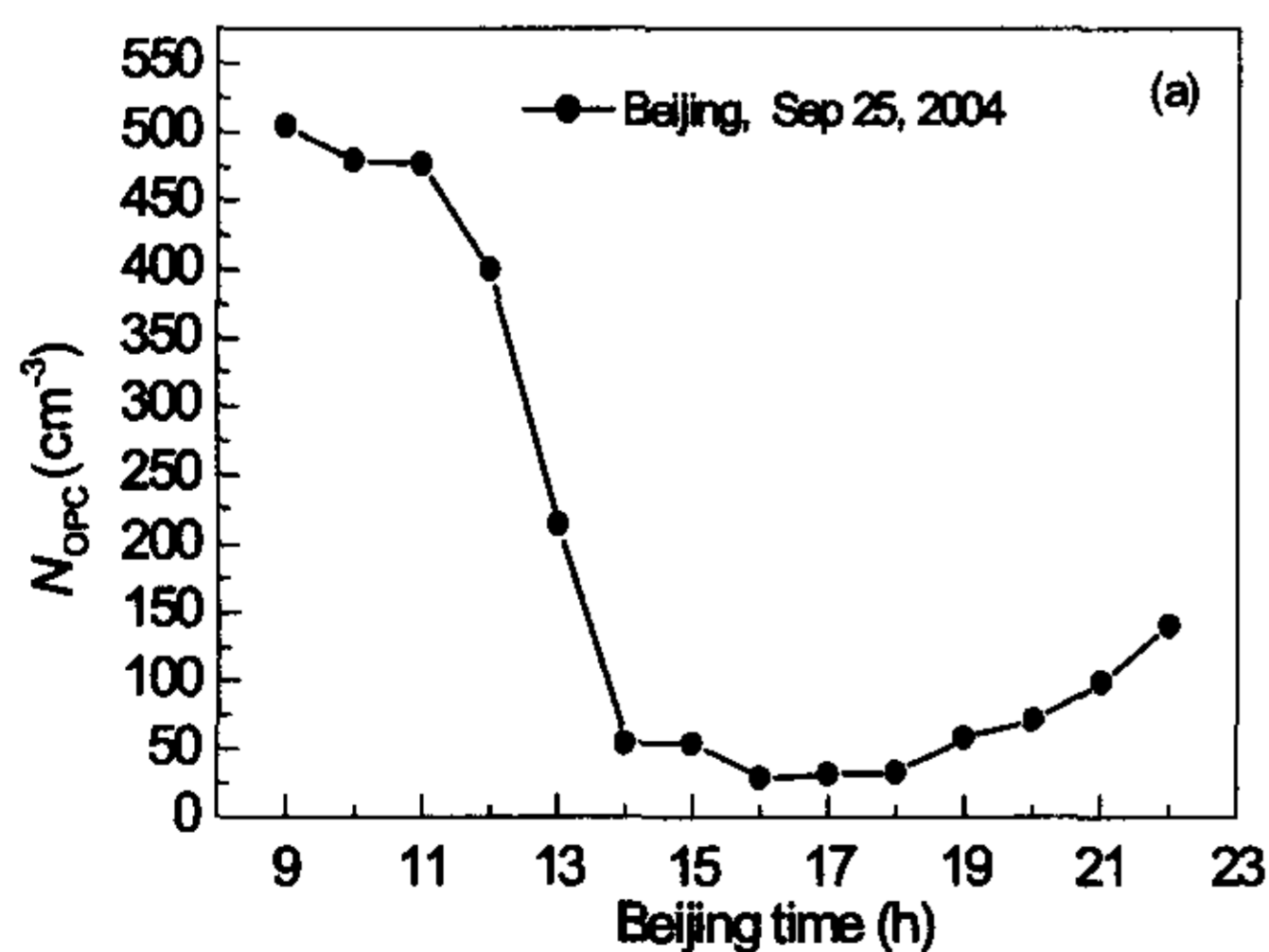


图5 风对粒子谱分布和粒子数密度的影响

Fig.5 The effect of wind and storm on number density of aerosol

表 1 扬沙过程中数密度, PM, Vis 的变化

Table 1 The variations of number density, PM, Vis in the dust storm

Time	21:00, 19th	02:00, 20th	03:00, 20th	05:00, 20th	08:00, 20th	10:00, 20th	12:00, 20th	13:00, 20th	14:00, 20th	15:00, 20th	16:00, 20th	20:00, 20th
Number density (cm ⁻³)	257.3	368.2	188.3	49.5	30.4	59.2	99.7	96.9	90.1	30.5	28.4	56.9
Vis (km)	7.5	5.2	23	20	10	2.2	1.0	0.8	1.5	6.3	12	18
PM ₁₀ (μg/m ³)	91.7	100.9	94.9	22.4	92.4	716.0	3071.7	4442.6	4832.1	2988.8	208.6	28.4
PM _{2.5} (μg/m ³)	57.8	80.7	79.3	10.4	12.3	29.1	131.6	184.0	200.5	175.2	29.4	10.0
PM _{2.5} /PM ₁₀	63	80	83.6	46.4	13.3	4.1	4.3	4.1	4.1	5.9	14.1	35.2

5.2 燃放烟花爆竹的大气污染

2004 年 1 月 22 日是春节, 烟花爆竹大量燃放给大气造成很大的污染. 图 6 是烟花燃放过程对粒子数密度的影响.

表 2 反映了当时燃放烟花的过程中数密度、PM、Vis 的变化. 可以看到, (1) 从晚上 5 点开始, 6 点 7 点和 8 点是燃放烟花最集中的时间, 不管是大粒子还是小粒子都有很大的增加, 但 PM_{2.5} 的增加更剧烈, PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中的比例也大大增加. 由于冬季夜晚逆温层的存在不利于粒子的扩散, 再加上第二天早晨 7 点和 8 点钟也是烟花集中燃放的时间, 到上午 10 点, PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中的比例达到最大值 83.2%; (2) 从 21 日下午 5 点开始粒子数密度一直在增加, 又由于逆温层的形成, 使近地面气溶胶粒子开始积累, 再加上第二天早晨 7 点和 8 点钟也是烟花集中燃放的时间, 所以到上午 10 点

中, 粒子数密度达到最大值. 随着逆温层的破坏和粒子的扩散, 上午 11 点, 粒子数密度下降, 能见度上升.

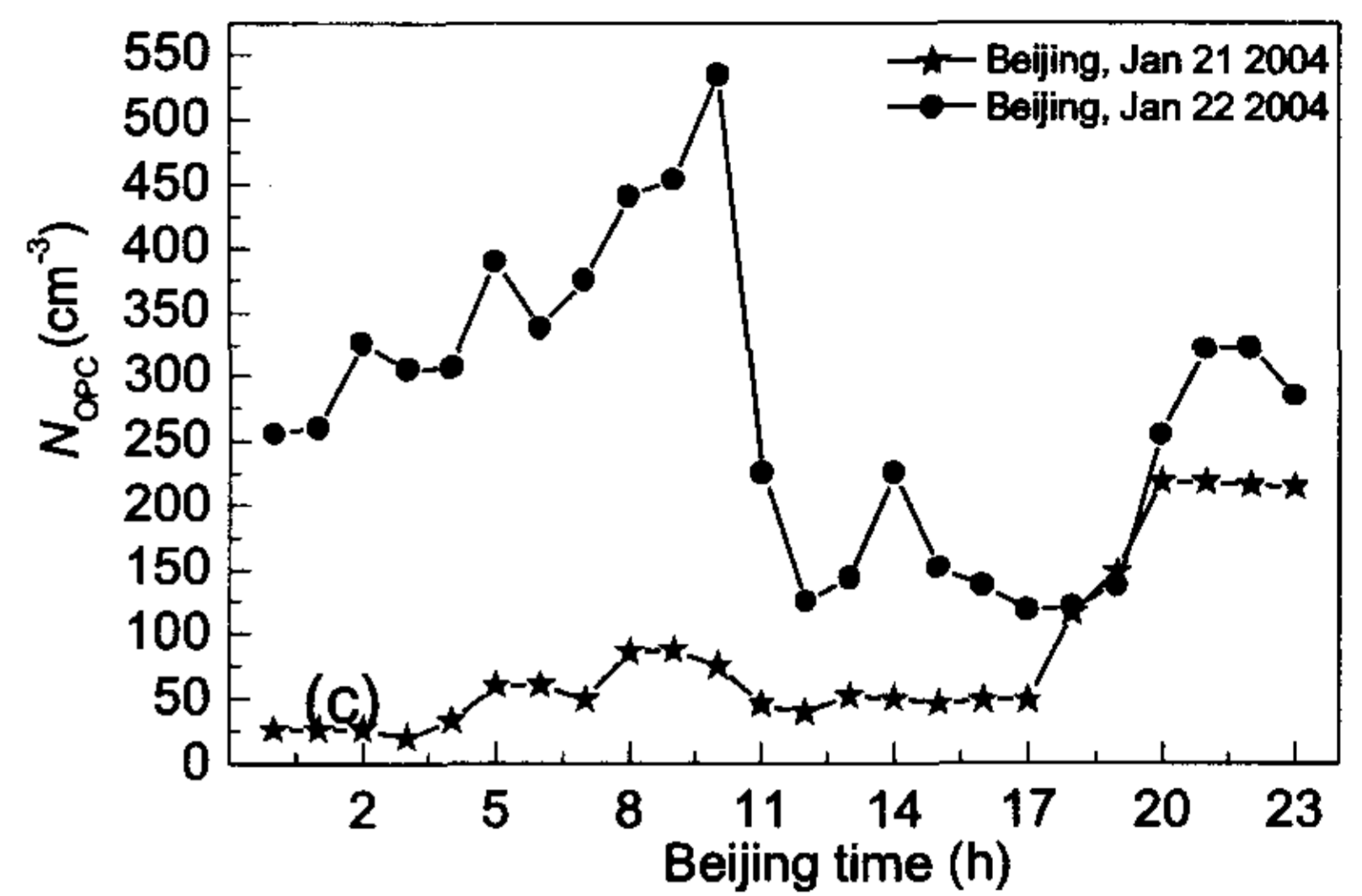


图 6 烟花燃放对粒子数密度的影响

Fig.6 The effect of burning firecracker on number density of aerosol

表 2 烟花燃放过程中数密度, PM, Vis 的变化

Table 2 The variations of number density, PM, Vis in the burning of firecracker

Time	18:00 21st	19:00 21st	20:00 21st	21:00 21st	22:00 21st	23:00 21st	04:00 22nd	07:00 22nd	10:00 22nd	11:00 2nd
Number density (cm ⁻³)	136.3	290.9	217.4	213.3	216.4	220.9	390.4	432.2	531.9	177.1
Vis (km)	7.8	5.1	6.5	6.8	7.4	7.3	4.7	3.9	2.6	7.1
PM ₁₀ (μg/m ³)	76.1	175.7	283.3	159.4	157.4	137.7	225.9	277.1	599.8	164.5
PM _{2.5} (μg/m ³)	34.4	71.6	207.0	134.4	99.5	109.6	184.2	223.1	499.3	122.9
PM _{2.5} /PM ₁₀	45.1	40.7	73.1	84.3	63.2	79.6	81.5	80.5	83.2	74.7

6 结论

(1) 北京地区气溶胶粒子是阴天多、晴天少, 平均粒子谱夏季和冬季变化不明显, 其粒子源比较稳定.

(2) 北京冬季的 Junge 指数 v 有明显的日变化 (v 值大于 1.5 小于 2.0), 夏季的 Junge 指数 v 值没有明显的日变化 (v 值在 2.0 附近). 在北京冬季, N_0 有明显的日变化. 以半径 1 微米为代表的大粒子, 在后半夜特别少, 而在 9:00~14:00 有大幅度的增加. 在夏季, N_0 也有明显的日变化. 以半径 1 μm 为代表的大粒子, 在下午 14:00~17:00 相对较少. 比较北京和厦门地区的粒子数密度, 可以看出北京的污染比厦门严重的多.

(3) 扬沙前后粒子数密度明显减小, 而大粒子含量却明显增加, 粒子谱分布变化很大. 扬沙前小粒子很多, 而大粒子很少, PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中的比例达 80%, 而扬沙后虽然 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 都增加, 但 PM₁₀ 增加的更加剧烈, 在扬沙最剧烈时 PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中的比例仅占 4.1%. 扬沙前后大气水平能见度剧烈减小, 这是大粒子含量增加造成的.

(4) 燃放烟花过程中, 不管是大粒子还是小粒子都有很大的增加, 但 PM_{2.5} 的增加更剧烈, PM_{2.5} 在 PM₁₀ 中的比例也大大增加, 由燃放前的 43.1% 增加到 83.2%.

参考文献:

[1] 董雪玲. 大气可吸入颗粒物对环境和人体健康的危害 [J]. 资源产业, 2004, 6(5): 50-53.

- [2] 赵德山, 汤大钢, 周舟, 等. 北京市区冬季大气气溶胶空气动力学尺度谱分布研究 [J]. 大气科学, 1988, 12(2): 140-146.
- [3] 谭锬, 胡欢陵. 光学粒子计数器测量结果的订正 [J]. 光学学报, 1984, 4(1): 55-60.
- [4] 胡欢陵, 李学彬, 李琛. 双散射角光学粒子计数器测量气溶胶折射率 [J]. 过程工程学报, 2004, 4(增刊): 827-832.
- [5] 孙惠洁. 能见度测量仪器综述 [J]. 气象水文海洋仪器, 1994, 1: 32-40.
- [6] 于建华, 虞统, 魏强, 等. 北京地区 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度的变化特征 [J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 45-47.
- [7] 周秀骥, 陶善昌, 姚克亚. 高等大气物理学(第一版) [M]. 北京: 气象出版社, 1991. 37.

Variation of Aerosol Parameters in Beijing

LI Xue-bin, XU Qing-shan, HU Huan-ling

(Center for Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, CAS, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract: Atmospheric aerosol particulate size distribution, number density of aerosol, atmospheric visibility and particulate mass concentrations were detected by an optical particle counter, a visibility meter and ambient particulate monitors respectively at the same time in Beijing during the winter and summer of 2004. This paper analyzed the aerosol particulate size distributions of different weathers, and simulated them with Junge, and compared Junge index, Junge coefficient N_0 and number density of aerosol with that of Xiamen. This paper also discussed the effects of storm and heavy pollution on number density of aerosol, atmospheric visibility and particulate mass concentrations (PM_{10} , $PM_{2.5}$)

Key words: atmospheric optics; aerosol; optical particle counter; size distribution; number density of aerosol