

都很大。冬季大气能见度 (V_H) 的日变化大体上呈双峰结构, 峰值分别出现在 4:30—6:00 和 13:00—16:30。北京市夏冬季空气相对湿度 (H_R) 的平均日变

化结构类似:15:00 左右最小, 之后逐渐增大, 于 6:00—8:00 达到峰值, 随后又逐渐减小。

从图 1(d) 和图 1(e) 可以看出, 北京市夏季 0:00—

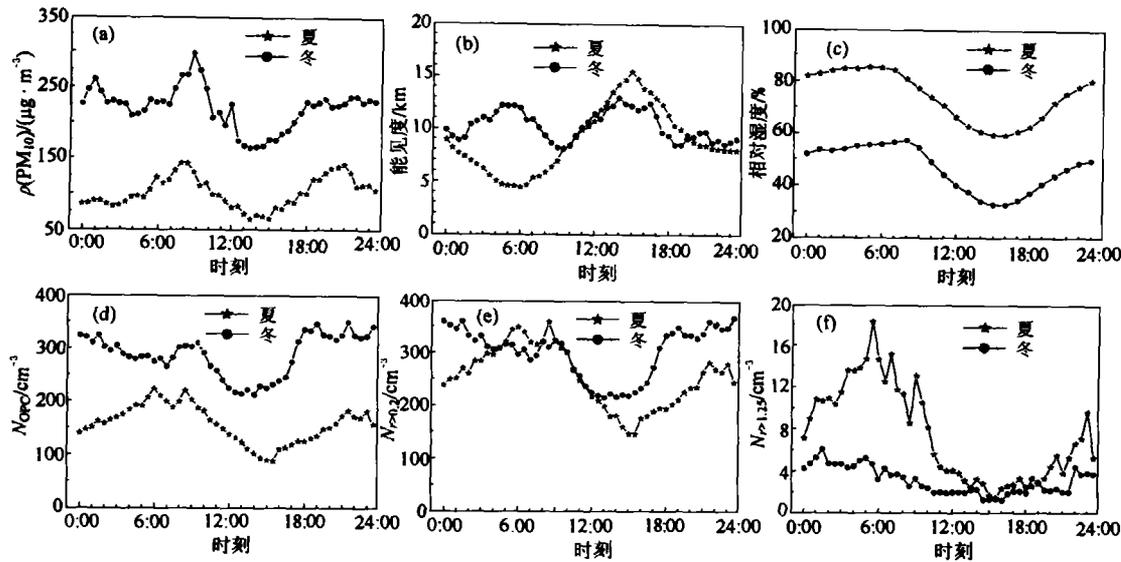


图 1 北京市夏冬季 $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} , $N_{r>0.2}$, $N_{r>1.25}$, V_H 和 H_R 的平均日变化

Fig. 1 Average diurnal variations of $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} , $N_{r>0.2}$, $N_{r>1.25}$, V_H and H_R in the summer and winter in Beijing

23:30 各时刻平均 N_{OPC} 都比冬季的小, $N_{r>0.2}$ 则不然。这种现象是由于夏冬季 N_{OPC} 包含的最小粒子不同造成的。DLJ-92 多道 OPC 采用 60° 的散射光学系统, 气溶胶粒子通过光照区时所散射的光信号被光电倍增管接收并转换为电脉冲(称为响应量, R), 以电脉冲的幅度来确定粒子的大小, 以电脉冲的计数来确定粒子的浓度。气溶胶粒子的折射率 $m (= n_r - in_r, n_r$ 和 n_i 分别是折射率的实部和虚部)不同时, 相同尺寸的粒子的响应量不同^[4]: n_r 相同时, n_i 越大, R 越小; n_i 相同时, n_r 越大, R 越大。可见, 折射率不同时 OPC 探测的最小粒子尺寸 (r_{min}) 不同。一般情况下, 北京夏季的 n_r 和 n_i 都比冬季的小。OPC 在北京市夏季测量的 r_{min} 比冬季的大, 冬季的 r_{min} 接近于 $0.20 \mu\text{m}$, 因此夏季的 N_{OPC} 与 $N_{r>0.2}$ 存在较大差异, 冬季的差别相对较小。

从图 1(b) 可以看出, 0:00—9:00 各时刻北京市夏冬季大气能见度平均值存在较大差别, 4:00—6:00 差别最大。从图 1(e) 和图 1(f) 可以看到, 虽然 0:00—3:00 夏季的 $N_{r>0.2}$ 比冬季的小, 3:00—9:00 夏季的 $N_{r>0.2}$ 与冬季的近似, 但夏季的 $N_{r>1.25}$ 明显比冬季的大。比如, 夏冬季 5:00 时的 $N_{r>0.2}$ 分别为 321.5 和 316.0 cm^{-3} , $N_{r>1.25}$ 分别为 14.7 和 5.2 cm^{-3} 。单个大粒子的消光比单个小粒子的消光要大得多, 因此北京市夏冬季 0:00—9:00 各时刻平均大气能见度的明显差别主要是由大粒子 ($r > 1.25 \mu\text{m}$) 的数密度不同造成

的。夏季大粒子的数密度较大主要与夏季空气的 H_R 较高有关。

夏季早上地面辐射冷却使近地层大气对流较弱^[5], 经常有逆温现象, 这对大气气溶胶粒子的垂直扩散很不利。此外, 地面风力小(约 2 级), 也不利于气溶胶粒子的水平扩散。图 2 给出了 2001-07-27—31T08:00 北京市大气温度的垂直廓线。从图 2 可以看出, 除 7 月 31 日外, 其他 4 d 的早晨都有逆温层结。取若干天早晨有逆温现象和没有逆温现象的 $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} 和大气能见度数据分别进行平均, 结果如图 3 所示。不论逆温是否存在, $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} 和大气能见度的峰-谷型日变化是一致的, 但有逆温时 N_{OPC} 和 $\rho(\text{PM}_{10})$ 明显变大, 大气能见度变小。如在 6:00, 有逆

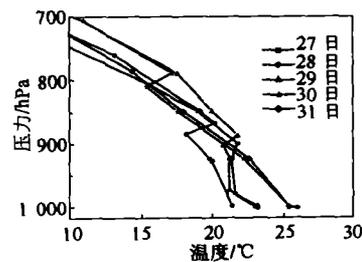


图 2 2001-07-27—31T08:00 温度垂直廓线

Fig. 2 Vertical temperature profile at 8:00 from 27 to 31 July, 2001

温时 $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} 和大气能见度分别为 $149.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 257.4cm^{-3} 和 3.8km , 而没有逆温时则分别为 $78.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 166cm^{-3} 和 5.4km 。这些气象条件造成北京夏季早晨 $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 N_{OPC} 的极大值和能见度的最小值。

15:00 近地面层温度高, 湍流较强, 同时近地面平均风速较大(约 3 级), 对流比较充分, 有利于大气气溶胶粒子的扩散。因此, $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 N_{OPC} 出现最小值, 同时大气能见度出现最大值。

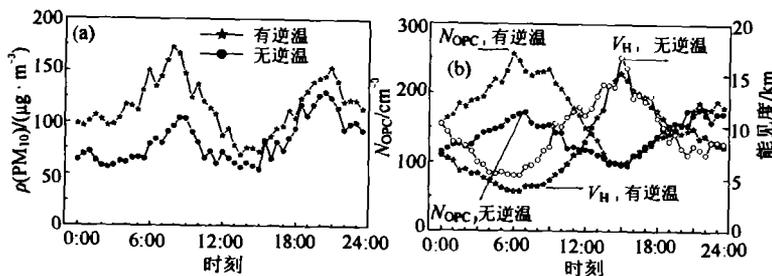


图 3 有、无逆温时 $\rho(\text{PM}_{10})$, N_{OPC} 和 V_H 的平均日变化

Fig. 3 Average diurnal variations of PM_{10} , N_{OPC} and V_H with and without inversion

2.2 夏冬季三参数的平均

将夏季和冬季实验测量期间采集到的 $\rho(\text{PM}_{10})$, $\rho(\text{PM}_{2.5})$, N_{OPC} , $N_{r>0.2}$, $N_{r>1.25}$, 大气能见度和空气的相对湿度分别进行平均, 结果见表 1。从表 1 可以看出: 夏季(8 月份) $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 占 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的 75.4%, 冬季(1 月份)为 50.0%, 可见夏季大气气溶胶粒子中细粒子所占的比例明显比冬季的大; 夏季平均 $N_{r>0.2}$ 比冬季的稍小, 而夏季平均 $N_{r>1.25}$ 明显比冬季的大。

表 1 北京市夏冬季颗粒物质量浓度、粒子数密度、 V_H 和 H_R 的平均值

Table 1 Average particulate mass concentration, aerosol number concentration, V_H and H_R in the summer and winter in Beijing

季节	$\rho(\text{PM}_{10})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{PM}_{2.5})/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	$N_{\text{OPC}}/(\text{cm}^{-3})$	$N_{r>0.2}/(\text{cm}^{-3})$	$N_{r>1.25}/(\text{cm}^{-3})$	V_H/km	$H_R/\%$
夏季	107.6	81.1	181.3	301.6	9.0	8.7	74.1
冬季	221.3	110.8	294.0	308.2	3.2	10.3	46.5

北京市冬季平均 $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 $\rho(\text{PM}_{2.5})$ 分别比夏季的大 105.7% 和 36.6%, 这主要与冬季采暖等造成的空气污染较为严重和夏季颗粒物质量浓度的测量值偏小较多有关。颗粒物质量浓度的测量流程如下: 采样气体进入监测器后, 先通过可以除去部分水分的旋流器和 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 的加热区才到达滤膜, 进行质量浓度测量。大气气溶胶粒子包括悬浮在大气中的各种固体和液体微粒。直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的大气气溶胶细粒子大多是吸湿性的。相对湿度增大, 水分的含量增加。当相对湿度大于 80% 时, 水分占细粒子质量浓度的一半以上^[6]。可见空气湿度越大, 测量质量浓度时失去的水分就越多, 测量值就越小于真实值。北京市 2001-07-20-08-20 的平均相对湿度为 74.1%, 2001-12-26-2002-01-26 的平均相对湿度为 46.5%。夏

季空气比冬季空气潮湿得多, 因此夏季实测颗粒物质量浓度比冬季的相对误差要大。现在通过大气气溶胶粒子质量密度的计算对此进行验证。

DLJ-92 多道光学粒子计数器将名义半径大于 $0.15 \mu\text{m}$ 的粒子分成 17 档, 利用综合法^[7] 反演得到的折射率对大气气溶胶粒子数密度谱进行订正。利用式 (1) 计算出半径小于 $5.0 \mu\text{m}$ 的粒子的体积密度 (PV_{10}):

$$PV_{10} = \frac{4}{3} \pi \sum_{k=1}^n N_k r_k^3 \quad (1)$$

式中, N_k 和 r_k 分别是单位体积空气中第 k 档的气溶胶粒子数和第 k 档的粒子半径, n 是粒子半径为 $5.0 \mu\text{m}$ 的档数。考虑到 PM_{10} 测量中干燥流程的影响, 将 $\rho(\text{PM}_{10})$ 除以 PV_{10} 计算出的 ρ 称为大气气溶胶粒子的名义质量密度。

北京市夏冬季平均名义质量密度 ρ 的计算值及空气的平均相对湿度如图 4 所示。图 4 中的 ρ 为近似值, 因为 $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 PV_{10} 分别是 30 和 10 min 的平均

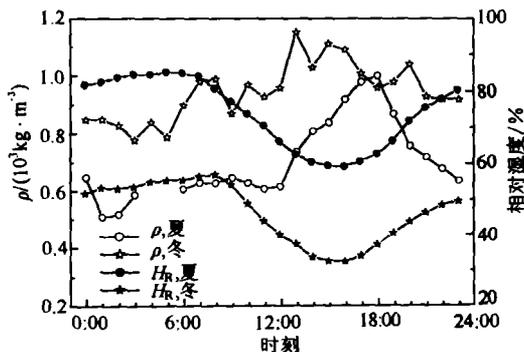


图 4 北京市夏冬季大气气溶胶粒子名义质量密度

Fig. 4 Nominal mass density of atmospheric aerosol in the summer and winter in Beijing

值。从图 4 可以看出:①空气相对湿度 H_R 与 ρ 近似成反向变化,即 H_R 大时, ρ 小, H_R 小时, ρ 大;②平均 ρ 的计算值日变化较大:夏季平均 ρ 的最大值与最小值之差为 $0.49 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,冬季的为 $0.37 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。大气气溶胶粒子的密度一般在 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 左右。这里所示的名义质量密度 ρ 之所以有较大的变化,是因为测量质量浓度过程中相对湿度变化时粒子失去水分的质量不同而引起 PM_{10} 偏小量不同所致。同时,冬季空气干燥,平均相对湿度比夏季的小得多,所以 $\rho(\text{PM}_{10})$ 的误差较小,计算出的 ρ 的昼夜变化也没有夏季的明显。

北京市夏冬季的平均大气能见度分别约为 8.7 和 10.3 km,冬季比夏季大 17.7%。这与王继志^[8]等的研究结果——1980—2000 年北京夏季大气能见度逐年转差,冬季大气能见度转好一致。夏冬季平均大气能见度的差别主要来自于 0:00—9:00 各时刻北京市大气能见度的较大差别,这是由前面分析的 $N_{r>1.25}$ 的差异造成的。北京市夏季 0:00—9:00 各时刻的平均 H_R 在 80% 以上,而冬季的则于小 60%。大气能见度与 H_R 存在很好的负相关性^[7], $H_R > 80\%$ 时,大气能见度往往较小。

3 结论

a. 北京市夏季 $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 N_{OPC} 的平均日变化呈明显的双峰结构: $\rho(\text{PM}_{10})$ 的 2 个峰值分别出现在 8:00 和 21:00 前后,13:00—15:00 最小; N_{OPC} 的 2 个峰值分别出现在 6:00 和 21:30 前后,14:00—15:30 最小;冬季 $\rho(\text{PM}_{10})$ 和 N_{OPC} 除 12:30—15:00 相对较小外,其余时间都很大。

(上接第 25 页)

的风向在某一固定地区,也有北转南或南转北的风向转换,当在市区停滞或南北摆动时,将使市区污染物日增量迅速增大,对北京环境质量的影响程度与输送汇在市区连续停滞和摆动的时间及外来污染物的通道风的输入量等有关。

g. 由激光雷达及探空资料分析,污染边界层输送汇形成的主要天气背景,是持续的高空干暖盖下部,污染物输送系统和辐合系统相配置的边界层复合型天气系统。

b. 北京市夏季平均大气能见度日变化近似呈单峰结构:最小值和最大值分别出现在 6:00 和 15:00;21:00—23:30 大气能见度变化不大;冬季的大体上呈双峰结构,峰值分别出现在 4:30—6:00 和 13:00—16:30,最小值分别出现在 9:00 左右和 19:00—1:00。

c. 北京市夏季的平均大气能见度比冬季的小,主要原因在于夏季空气相对湿度大,大粒子(比如 $r > 1.25 \mu\text{m}$)数密度较大。夏冬季 0:00—9:00 各时刻的平均能见度存在较大差别,其余时间的差别不大。

d. TEOM 系列颗粒物质量监测器测得的颗粒物质量浓度小于真实值,空气相对湿度越大,误差越大。

参考文献:

- [1] Buzorius G, Hameri K, Pekkanen J, et al. Spatial variation of aerosol number concentration in Helsinki city [J]. Atmos Environ, 1999, 33: 553 - 565.
- [2] Peters A, Wichmann H E, Tuch T, et al. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 1997, 155(4): 1376 - 1383.
- [3] 谭锐,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] 阎逢旗,胡欢陵,周军.大气气溶胶粒子数密度谱和折射率虚部的测量[J].光学学报, 2003, 23(7): 855 - 859.
- [5] YOU R G, HONG Z X, LV W X, et al. Variation of atmospheric aerosol concentration and size distribution in the boundary layer with time and altitude [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1983, 7(1): 88 - 94.
- [6] McMurtry P H. A review of atmospheric aerosol measurements [J]. Atmos Environ, 2000, 34: 1959 - 1999.
- [7] 胡欢陵,阎逢旗,虞统.综合法反演气溶胶折射指数及其在北京夏冬季的日变化[J].过程工程学报, 2002, 2(增刊): 297 - 299.
- [8] 王继志,徐祥德,杨元琴.北京城市能见度及雾特征分析[J].应用气象学报, 2001, 13(特刊): 160 - 169.

参考文献:

- [1] 任阵海.浅谈我国的生存环境问题[J].气候与环境研究, 1999, 4(1): 1 - 4.
- [2] 任阵海,苏福庆.大气输送的背景场[J].大气科学, 1998, 22(9): 454 - 459.
- [3] 任阵海,苏福庆,董保群,等.我国近地大气层中污染物含量的控制研究[A].寒潮、台风、灾害[C].北京:气象出版社, 2001. 612 - 619.
- [4] 任阵海,高庆先,苏福庆,等.北京大气环境的区域特征与沙尘影响[J].中国工程科学, 2003, 5(2): 49 - 56.
- [5] 王耀庭,缪启龙,高庆先,等.北京秋季一次先污染后沙尘现象成因分析[J].环境科学研究, 2003, 16(2): 1 - 5.