

安林昌, 孙俊英, 张养梅, 等. 天津武清地区单颗粒黑碳气溶胶特征观测分析. 应用气象学报, 2011, 22(5): 577-583.

天津武清地区单颗粒黑碳气溶胶特征观测分析

安林昌¹⁾ 孙俊英^{1)*} 张养梅¹⁾ 沈小静¹⁾ 王婷婷¹⁾ 梁文德²⁾ 陈丽丽²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院大气化学重点开放实验室, 北京 100081)

²⁾(天津市武清区气象局, 天津 301700)

摘 要

该文介绍了单颗粒黑碳测量仪的观测原理, 该仪器利用红外波段的连续激光束对黑碳粒子加热并使之燃烧, 通过粒子发出的散射光信号和黑碳粒子燃烧时发出的光信号, 来分析每一个黑碳粒子的特性, 并通过两种信号的时间差判断黑碳粒子的混合状态。其原理有别于传统的黑碳气溶胶观测方法, 可以提供单个黑碳气溶胶粒子特性信息。2009 年 12 月使用单颗粒黑碳测量仪在天津市武清地区进行了为期近 1 个月的观测。结果表明: 粒径为 50~500 nm 的气溶胶粒子中, 黑碳气溶胶粒子占 57.2%, 平均数浓度为 1504 cm^{-3} , 黑碳气溶胶粒子的平均质量浓度为 $8.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 包衣较厚的混合型黑碳气溶胶粒子占黑碳气溶胶粒子的 51.5%。

关键词: 黑碳气溶胶; 单颗粒黑碳测量仪; 混合型气溶胶; 空气污染

引 言

黑碳气溶胶(Black Carbon, BC)是大气气溶胶中的一种, 主要是由可燃物特别是化石燃料和生物质不完全燃烧所产生的^[1-2]。黑碳气溶胶粒子一般形状不规则, 直径主要分布在 50~200 nm 之间^[3]。通常, 大气中的黑碳气溶胶粒子表面很多都覆盖有硫酸盐、硝酸盐和有机碳物质^[4-5]。

黑碳气溶胶具有强的光吸收特性, 对大气辐射有较大的贡献^[6-7], 它同时通过改变冰雪的反射率来对气候产生强迫作用^[8]。黑碳气溶胶的光学吸收特性一般由质量吸收截面的大小表示, 与黑碳气溶胶的粒径谱分布高度相关。有很多实验^[9-10]和理论推测^[11-12]表明: 当黑碳气溶胶粒子混合有杂质时(特别是难熔的物质), 吸收截面会增大, 而且内、外混合的形式不同, 对辐射的影响也有很大差异^[13-14]。IPCC 第 4 次评估报告中将化石燃烧产生的黑碳气溶胶列为大气气溶胶研究的重点内容之一^[15]。同时, 黑碳气溶胶也是一种重要的大气污染物, 它的存在将严重影响大气环境、危害人类健康^[16]。我国 2000 年

黑碳气溶胶排放总量为 $149.94 \times 10^4 \text{ t}$ ^[17-19]。

传统的黑碳气溶胶观测方法可以分为光学和热光学两种, 都受到了滤膜和其他气溶胶特别是散射气溶胶粒子的影响, 不同种类仪器的测量结果差异较大^[20]。由于黑碳粒子消光系数无法得出十分准确的值, 估算的质量浓度也有一些不小的误差。黑碳气溶胶的研究还具有很大的不确定性^[21-22], 近年来, 单颗粒黑碳气溶胶的测量技术逐步发展起来。为了能够为气候模式、大气化学模式以及空气质量模式等提供基础数据, 开展单颗粒黑碳气溶胶的实际测量和研究具有重要意义^[23]。

1 单颗粒黑碳测量仪

单颗粒黑碳测量仪(Single Particle Soot Photometer, SP2)是美国 DMT(Droplet Measurement Technology)公司生产的, 基本原理是用连续激光束逐个加热气溶胶粒子使其燃烧, 产生激光诱导燃烧(Laser Induced Incandescence, LII)光信号(LII 光信号), 分析气溶胶粒子的散射信号和 LII 光信号来测量黑碳气溶胶质量和混合状态的仪器^[24-26]。研究

2010-12-13 收到, 2011-06-15 收到再改稿。

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB955608, 2011CB403401), 国家科技部国际合作研究项目(2009DFA22800)

* 通信作者, E-mail: jysun@cams.cma.gov.cn

表明,主要的黑碳气溶胶粒子直径分布在 50~200 nm 之间,峰值在 130 nm 附近^[3]。SP2 的粒径测量范围为 50~500 nm,包含了绝大部分黑碳气溶胶粒子的粒径范围。

1.1 基本原理

SP2 的工作原理前人已经有一些详细的论述^[24,26-28]。在激光腔室的水平方向中央发射钕激光器发出的连续强激光束,激光波长 1064 nm。垂直方向有 1 个气溶胶喷射嘴,气溶胶喷射嘴将粒子逐一导入激光腔,粒子和激光束在激光腔的中间相遇。如果激光照射的气溶胶粒子是黑碳气溶胶粒子,那么它会吸收激光的辐射能量并加热自身,直至温度达到燃点燃烧,发射出 LII 光信号;而如果激光照射的气溶胶粒子不是黑碳粒子,那么它对激光的作用主要是散射,将这些粒子称为非光吸收性粒子,主要有无机盐、沙尘和有机物等粒子。

在激光腔室周围有 4 个探测器,它们分布在一个与气溶胶喷嘴垂直正交的平面 Φ 内。4 个探测器中,两个用于测量散射光信号,另外两个测量 LII 光信号。其中 1 个散射信号探测器可以分别测量粒子通过 Φ 面过程中的散射光强度。测量 LII 光信号的两个探测器使用两个不同的滤镜来分别测量宽通道和窄通道的 LII 光信号,宽通道使用可以通过波长为 350~800 nm 范围光的滤镜(KG-5),窄通道有两个滤镜组合(KG-5 和 RG-630)使通过的光波长在 630~800 nm 之间。

黑碳气溶胶粒子的质量越大,燃烧所产生的光强越大。LII 光信号的峰值强度随着黑碳粒子的质量增加而增加^[26-27],其中宽通道的 LII 光信号用来定量研究黑碳粒子质量^[25]。宽通道和窄通道的 LII 光信号比值理论上可以计算出黑碳粒子燃烧时的峰值温度,可以用来评估粒子的化学成分,例如黑碳、金属和无机盐等^[24,27],但目前缺乏可靠的实验依据作为基础。

1.2 混合型黑碳粒子及其包衣厚度

大部分混合型黑碳粒子都是在外层包裹覆盖有硫酸盐、硝酸盐和有机碳等散射性较强的物质,而其他的混合形式只占一小部分^[4-5]。由于现有的技术很难对各种混合形式都作出准确的观测,本文假设混合型黑碳粒子都是以黑碳为核,散射性物质作为包衣。LII 光信号峰值与散射信号峰值的时间差($\Delta t = t_i - t_s$)是包衣厚度的一个指示。因为混合型黑碳粒子有很大的散射截面^[27],需要更长的时间加

热才能燃烧。

有研究使用甘油和油酸作为包衣在实验室条件下对混合型黑碳粒子进行测量^[29]。结果表明,对于每个黑碳核直径 D_c , Δt 随整个粒子直径 D_p 增加而增加。其中, D_p 为 D_c 与包衣厚度 ΔD_p^* 之和,但并不是线性增加。薄包衣粒子的 Δt 大约为 0~1 μs ,厚包衣的粒子 Δt 大约为 3~4 μs 。跳跃时的 ΔD_p^* 给出了可以测量混合型黑碳粒子包衣厚度的最小值。

1.3 观测前的标定

利用 SP2 开展观测前,需要进行两项标定,即流量标定和黑碳气溶胶质量的标定。流量标定是使用皂泡流量计对仪器的采样流量进行标定,并将拟合曲线置入初始化文件。

黑碳气溶胶的质量标定使用胶体石墨作为标定材料,直径一般都小于 500 nm,能在水中悬浮^[30]。使用气溶胶发生器产生黑碳气溶胶粒子,并使气流通过差分迁移率分析仪(DMA)进行粒径筛分进入 SP2。调节 DMA 的电压,获得 80~500 nm 范围内 13 个不同单一粒径的黑碳气溶胶粒子,分别记录约 1×10^4 个黑碳气溶胶粒子数据。各种粒径粒子对应的 LII 光信号宽通道信号峰值高度与粒子质量建立函数关系。其中,由粒子直径计算质量时,假设粒子为球形。通过这个函数关系,就可以根据观测的信号计算粒子的粒径大小。图 1 为在天津市武清区观测前所做的标定实验结果。胶体石墨和自然环境中的黑碳粒子的可燃成分都是以元素碳为主,以往的研究结果也使用胶体石墨来标定仪器进行自然环境中黑碳气溶胶的测量^[26,30]。

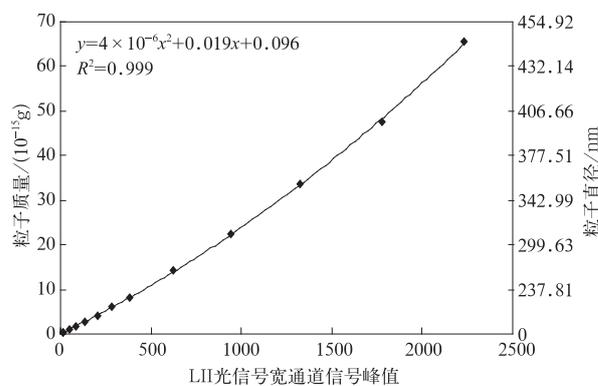


图 1 SP2 LII 光信号宽通道峰值与黑碳粒子质量关系标定结果

Fig. 1 Calibration curve of BC mass and the peak height of LII signal of the broadband channel

2 观测及结果

2009年12月,在天津市武清区进行了为期1个月的观测,这是该仪器第1次外场观测,对仪器的运行环境、数据采集和储存以及后期处理分析都进行了探索和总结。武清区系滨海平原地区,位于天津市西北部,地处京津两市之间,冬季取暖以煤炭为主。该地区黑碳气溶胶特性在华北地区具有一定的代表性^[31]。由武清区气象局提供的气象数据显示,2009年12月该地区平均气温为 -2.9°C ,平均相对湿度为 50.6% ,平均风速为 2.5 m/s ,主要为西北风。观测地点位于天津市武清区气象局(39.24°N , 117.06°E),观测试验使用了具有自动除湿功能的气溶胶共进气系统,共进气系统总流量为 16.7 L/min ,切割粒径为 $10\text{ }\mu\text{m}$,环境大气经过共进气系统中的

硅胶干燥管干燥后进入观测方舱,经过分流器可以给多种气溶胶观测设备提供样气。样气的相对湿度控制在 40% 以内,方舱内温度控制在 $18\sim 21^{\circ}\text{C}$ 范围内。

2.1 粒子数浓度

图2a为2009年12月气溶胶粒子小时平均粒子数浓度变化图。由图2a可见,黑碳气溶胶粒子的数浓度通常要比非光吸收性粒子的数浓度高。从月平均角度来看,2009年12月武清黑碳气溶胶粒子的数浓度为 1504 cm^{-3} ,在污染较严重的情况下,黑碳气溶胶粒子的数浓度可达到 5050 cm^{-3} ,而在空气清洁的情况下数浓度仅为 46.8 cm^{-3} ;非光吸收性粒子数浓度为 1124 cm^{-3} ,最高为 3311 cm^{-3} ,最低为 70.7 cm^{-3} 。黑碳气溶胶粒子平均质量浓度为 $8.15\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 。我国城市地区冬季黑碳的平均质量浓度为 $12.3\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ^[32]。

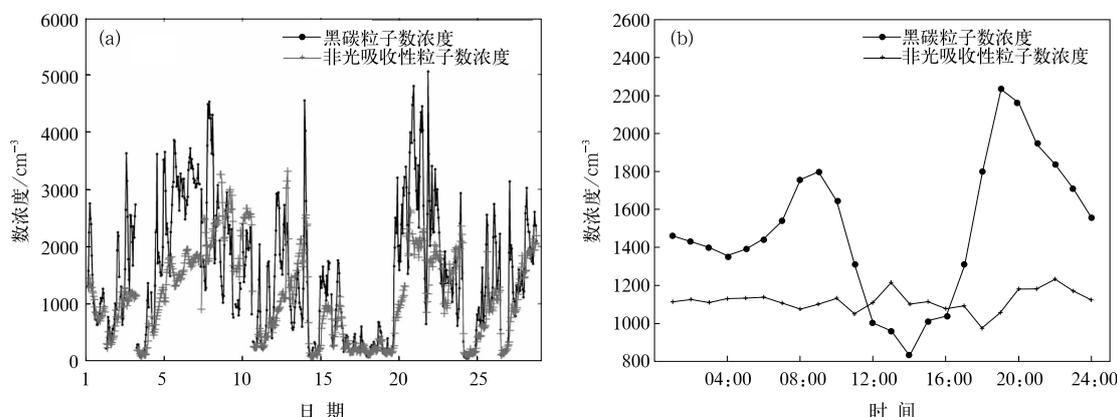


图2 2009年12月武清黑碳气溶胶和非光吸收性气溶胶数浓度变化 (a)逐日变化, (b)日变化

Fig. 2 Number concentrations of BC and non-light absorbing aerosols at Wuqing in Dec 2009 (a) daily variation, (b) diurnal variation

图2b为2009年12月粒子数浓度的平均日变化,黑碳气溶胶的粒子浓度两个峰值出现在 $08:00$ (北京时,下同)和 $19:00$ 前后,其中 $19:00$ 的峰值较大,为 2233 cm^{-3} 。同时在 $03:00$ 和 $13:00$ 前后出现低值, $13:00$ 的最低值为 960 cm^{-3} 。非光吸收性粒子的日变化比黑碳气溶胶粒子小很多,所以在粒径为 $50\sim 500\text{ nm}$ 范围内气溶胶粒子总数浓度的日变化主要是由黑碳气溶胶粒子变化引起的。

2.2 黑碳气溶胶粒径谱分布

由于1个月中观测的粒子的数据量太大,本研究仅从中随机挑选出 4×10^6 个黑碳气溶胶粒子做粒径分析。其中自然界的黑碳气溶胶密度不同于标定使用的胶体黑碳,在数据处理中假定 1.42 g/cm^3 ^[26]为环境大气中的黑碳气溶胶的密度。图3为黑碳气溶

胶粒子粒径分布图,峰值直径出现在 90 nm 。

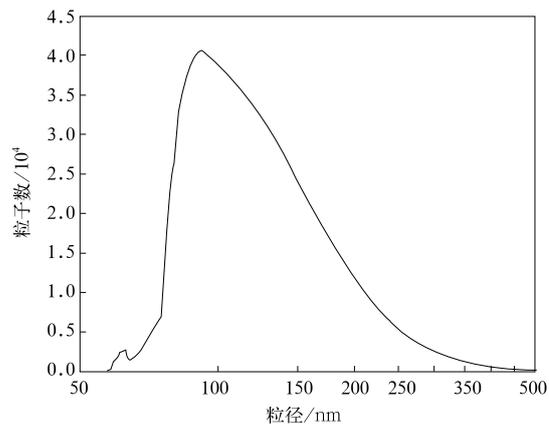


图3 2009年12月武清黑碳气溶胶粒子粒径分布
Fig. 3 Size distribution of BC at Wuqing in Dec 2009

2.3 混合型黑碳气溶胶

图4是黑碳气溶胶粒子宽可燃通道和散射通道都有信号峰值的粒子的峰值时间差 Δt 的分布图。由图4可见,其中的两个峰值在 $1\ \mu\text{s}$ 和 $4\ \mu\text{s}$ 附近,两个峰之间的谷值为 $2.9\ \mu\text{s}$ 。可以设定 $2.9\ \mu\text{s}$ 为界限, Δt 小于 $2.9\ \mu\text{s}$ 的粒子为没有包衣的和包衣较薄的黑碳气溶胶粒子, Δt 大于 $2.9\ \mu\text{s}$ 的粒子是包衣较厚的黑碳气溶胶粒子,且包衣较厚的黑碳气溶胶粒子占全部黑碳气溶胶粒子的51.5%。

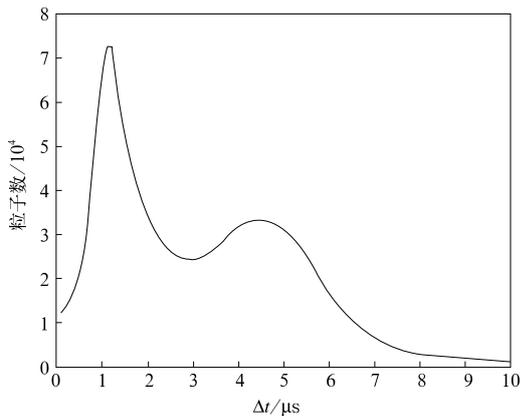


图4 2009年12月武清黑碳气溶胶 Δt 分布

Fig. 4 Δt distribution of BC at Wuqing in Dec 2009

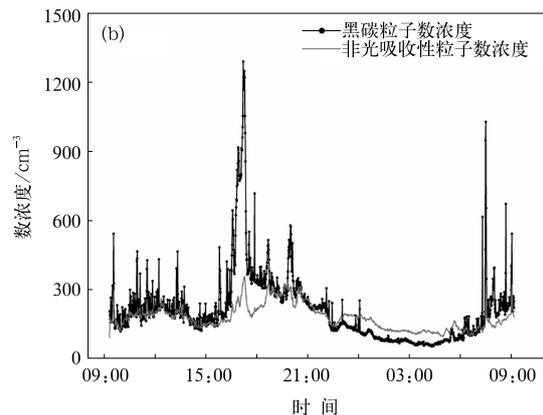
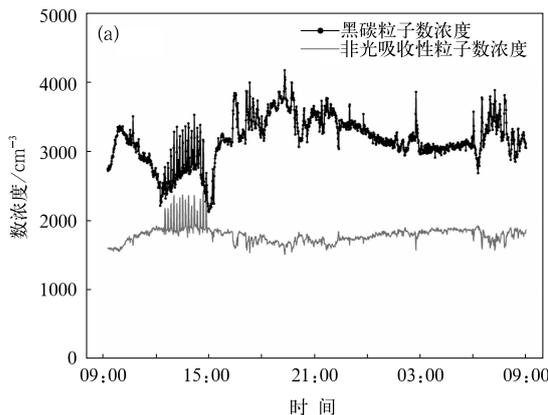


图5 黑碳气溶胶和非光吸收性气溶胶数浓度变化 (a)个例1,(b)个例2

Fig. 5 Number concentrations of BC and non-light absorbing aerosols (a)case 1,(b)case 2

溶胶粒子的数浓度和非光吸收性粒子相差很小,在凌晨非光吸收性粒子的数浓度更是超过了黑碳气溶胶粒子。在个例1中粒子的日变化不明显,在个例2中,就可以明显看到一天中的两个粒子数浓度较大的时段,该特征是由黑碳气溶胶的数浓度变化引起的。

3 不同气象条件下的黑碳气溶胶粒子特性

为了比较分析不同天气条件下的粒子特性,选取了两天比较极端的天气状况下的观测数据进行分析。

个例1为2009年7月09:00至8日09:00,该时段内平均风速为 $0.8\ \text{m/s}$,最大风速为 $3.0\ \text{m/s}$;平均相对湿度为 80.3% ,空气质量非常差,黑碳气溶胶粒子平均为 $3169\ \text{cm}^{-3}$,黑碳气溶胶平均质量浓度为 $17.20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。个例2为2009年18日09:00至19日09:00,该时段内平均风速为 $5.5\ \text{m/s}$,最大风速为 $10.4\ \text{m/s}$;平均相对湿度为 29.3% 。大风对空气污染物的扩散起了很大作用,天空晴朗,能见度高。期间黑碳气溶胶粒子平均为 $215\ \text{cm}^{-3}$,黑碳气溶胶平均质量浓度为 $1.17\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。环境保护部网站显示天津市2009年12月的平均污染指数为 91.55 (7日污染指数为 122 ,8日为 185 ;18日污染指数为 38 ,19日为 43 ^[33])。

图5为两个个例每分钟平均的数浓度变化。个例1中的黑碳气溶胶粒子平均数浓度是非光吸收性粒子的1.78倍,而在个例2中,大部分时间黑碳气

图6a为个例1的粒径分布图,峰值直径为 $120\ \text{nm}$,图7b为个例2的的粒径分布图,峰值直径为 $78\ \text{nm}$ 。可见,在空气污染严重的情况下,黑碳气溶胶粒子的粒径峰值较空气质量良好的情况更大。且个例1中的峰值较宽,而个例2中粒径更密集地集中在峰值附近。

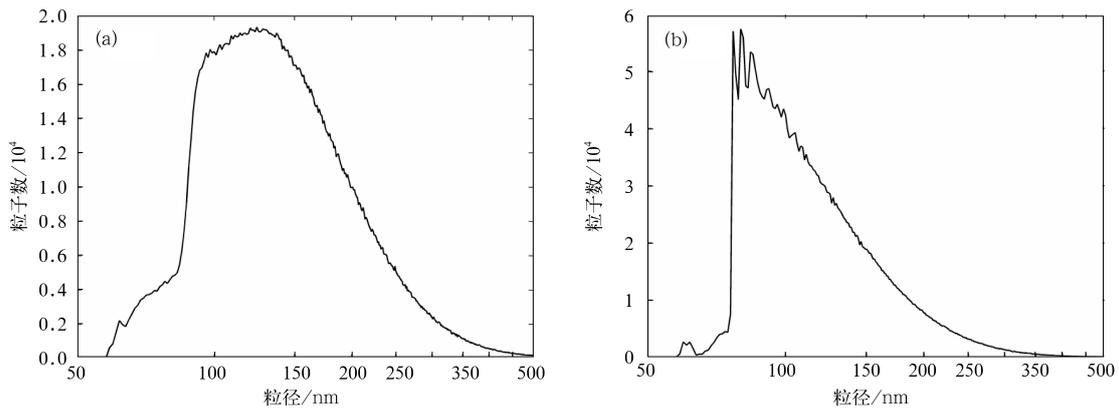


图 6 不同个例黑碳气溶胶粒子粒径分布 (a)个例 1,(b)个例 2

Fig. 6 Size distribution of BC (a)case 1,(b)case 2

图 7a、图 7b 分别为个例 1、个例 2 的峰值时间差 Δt 的分布,步长为 $0.1 \mu\text{s}$ 。两种图仍然保持双峰型,这意味着两个个例中都有 Δt 的跳跃,但是 Δt 跳跃附近的低谷位置个例 1 比个例 2 更小。为了保持

统一,使用月平均的 $\Delta t = 2.9 \mu\text{s}$ 作为判断包衣厚薄的标准,个例 1 黑碳气溶胶粒子中包衣较厚的粒子占 78.7%,个例 2 中黑碳气溶胶粒子中包衣较厚的粒子占 40.2%。

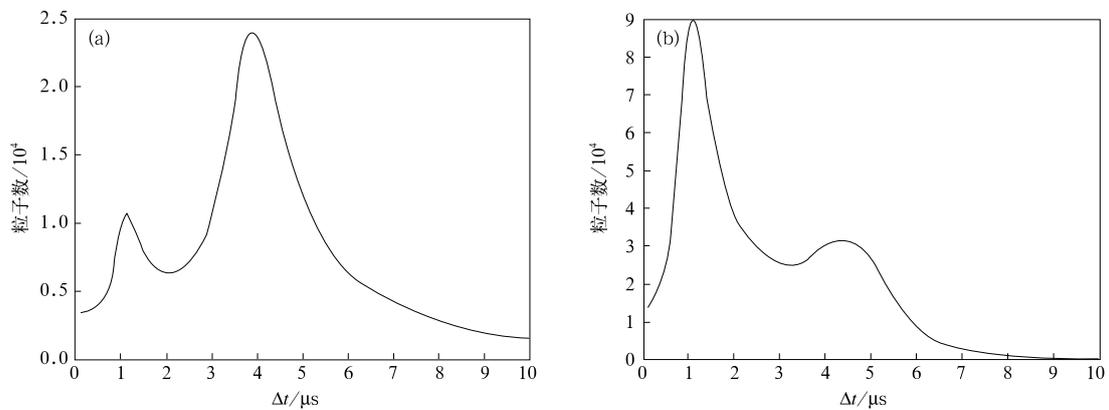


图 7 不同个例黑碳气溶胶 Δt 分布 (a)个例 1,(b)个例 2

Fig. 7 Δt Distribution of BC (a)case 1,(b)case 2

4 小 结

SP2 能够将黑碳气溶胶粒子准确地从其他气溶胶粒子中分辨出来,并逐个观测其粒子特性,可以得出黑碳气溶胶的数浓度、质量浓度和粒径分布信息,并能够初步对混合型黑碳气溶胶所占的比例进行估计。作为一种新的黑碳气溶胶观测设备,观测方法和数据处理都需要进一步摸索与完善,才能充分发挥其观测能力。窄通道 LII 光信号配合宽通道的使用,可以对粒子的成分进行更加详细的分析。同样需要试验研究来确定具体的反算方法。在天津市武

清地区进行的 1 个月观测分析结果初步表明:

- 1) 黑碳气溶胶粒子的数浓度变化比非光吸收性粒子大,是 $50 \sim 500 \text{ nm}$ 粒径之间气溶胶粒子的主要变化项。黑碳气溶胶数浓度日变化有明显的两个峰值,变化较大,最高值是最低值的两倍多。
- 2) 包衣较厚的混合型黑碳气溶胶粒子占黑碳气溶胶粒子的一半左右,也就是说,大部分黑碳气溶胶粒子属于混合型,而不是单纯的元素碳粒子。
- 3) 黑碳气溶胶数浓度和质量浓度在不同天气状况下的变化十分剧烈,污染较重的天气是晴好天气数浓度的十余倍。黑碳气溶胶粒子在污染较严重的天气下,粒径分布的峰值直径变大,且混合型黑碳

气溶胶粒子所占比例更大。

致谢:感谢天津市武清区气象局提供观测场地和气象数据。

参考文献

- [1] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, et al. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. *J Geophys Res*, 2003, 108(D21), 8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- [2] Bond T C, Streets D G, Yarber K F, et al. A technology-based global inventory of black carbon and organic carbon emissions from combustion. *J Geophys Res*, 2004, 109(D14203), doi:10.1029/2003JD003697.
- [3] Kondo Y, Komazaki Y, Miyazaki Y, et al. Temporal variations of elemental carbon in Tokyo. *J Geophys Res*, 2006, 111(12205), doi:10.1029/2005JD006257.
- [4] Park K, Kittelson D B, McMurry P H. Structural properties of diesel exhaust particles measured by transmission electron microscopy (TEM): Relationships to particle mass and mobility. *Aerosol Sci Technol*, 2004, 38: 881-889.
- [5] Park K, Kittelson D B, Zachariah M R, et al. Measurement of inherent material density of nanoparticle agglomerates. *Nanoparticle Res*, 2004, 6:267-272.
- [6] Haywood J M, Roberts D L, Slingo A, et al. General circulation model calculations of the direct radiative forcing by anthropogenic sulfate and fossil-fuel soot aerosol. *J Clim*, 1997, 10: 1562-1577.
- [7] Myhre G, Stordal F, Restad K, et al. Estimation of the direct radiative forcing due to sulfate and soot aerosols. *Tellus*, 1998, 50: 463-477.
- [8] Hansen J, Nazarenko L. Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proc Natl Acad Sci*, 2004, 101:423-428.
- [9] Schnaiter M, Linke C, Mohler O, et al. Absorption amplification of black carbon internally mixed with secondary organic aerosol. *J Geophys Res*, 2005, 110(D19204), doi:10.1029/2005JD006046.
- [10] Mikhailov E F, Vlasenko S S, Podgorny I A, et al. Optical properties of soot-water drop agglomerates: An experimental study. *J Geophys Res*, 2006, 111(D07209), doi:10.1029/2005JD006389.
- [11] Fuller K A, Malm W C, Kreidenweis S M. Effects of mixing on extinction by carbonaceous particles. *J Geophys Res*, 1999, 104(D13):15941-15954.
- [12] Jacobson M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 2005, 409:695-697.
- [13] Robinson L M, Roberts D L. An interactive simulation of the direct radiative effect of black carbon aerosol in a climate model. *J Aerosol Sci*, 1998, 29 (Supp D): 1201-1202.
- [14] 田华, 马建中, 李维亮. 中国中东部地区硫酸盐气溶胶直接辐射强迫及气候效应的数值模拟. *应用气象学报*, 2005, 16(3): 322-333.
- [15] IPCC. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 153-171.
- [16] Weber R W. Short-term temporal variation in PM_{2.5} mass and chemical composition during the Atlanta supersite experiment. *J Air Waste Manag Assoc*, 1999, 52: 1993-2003.
- [17] Streets D G, Gupta S, Waldhoff S D, et al. Black carbon emissions in China. *Atmos Environ*, 2001, 35: 4281-4296.
- [18] 吴润, 符淙斌. 近五年来东亚春季黑炭气溶胶分布输送和辐射效应的模拟研究. *大气科学*, 2005, 29(1): 111-119.
- [19] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 等. 中国大陆黑碳气溶胶排放清单. *气候变化研究进展*, 2006, 2(6): 259-264.
- [20] 汤洁, 温玉璞, 周凌晞. 中国西部大气清洁地区黑碳气溶胶的观测研究. *应用气象学报*, 1999, 10(5): 160-170.
- [21] 许黎, 王亚强, 陈振林, 等. 黑碳气溶胶研究进展 I: 排放、清除和浓度. *地球科学进展*, 2006, 21(4): 352-360.
- [22] 孟昭阳, 张怀德, 蒋晓明, 等. 太原冬季 PM_{2.5} 中有机碳和元素碳的变化特征. *应用气象学报*, 2007, 18(4): 524-531.
- [23] 颜鹏, 李维亮, 秦瑜. 近年来大气气溶胶模式研究综述. *应用气象学报*, 2004, 15(5): 629-640.
- [24] Stephens M, Turner N, Sandberg J. Particle identification by laser-induced incandescence in a solid-state laser cavity. *Appl Opt*, 2003, 42(19): 3726-3736.
- [25] Baumgardner D, Kok G, Raga G. Warming of arctic lower stratosphere by light absorbing particles. *Geophys Res Lett*, 2004, 31(L06117), doi:10.1029/2003GL018883.
- [26] Schwarz J P, Gao R S, Fahey D W, et al. Single-particle measurement of mid latitude black carbon and light-scattering aerosols from the boundary layer to the lower stratosphere. *J Geophys Res*, 2006, 111(D16207), doi:10.1029/2006JD007076.
- [27] Slowik J G, Cross E, Han J, et al. An intercomparison of instruments measuring black carbon content and optical properties of soot particles. *Aerosol Sci Technol*, 2007, 44(3): 295-314.
- [28] Gao R S, Schwarz J P, Kelly K K, et al. A novel method for estimating light-scattering properties of soot aerosols using a modified single-particle soot photometer. *Aerosol Sci Technol*, 2007, 41(2): 125-135.
- [29] Nobuhiro M, Yutaka K. Effects of mixing state on black carbon measurements by laser-induced incandescence. *Aerosol Sci Technol*, 2007, 41(3): 398-417.
- [30] McMeeking G R, Hamburger T. Black carbon measurements in the boundary layer over western and northern Europe. *Atmos Chem Phys*, 2010, 10: 9393-9414.
- [31] 丁国安, 郑向东, 马建中, 等. 近 30 年大气化学和大气环境研究回顾. *应用气象学报*, 2006, 17(6): 796-814.
- [32] Zhang X Y, Wang Y Q, Zhang X C, et al. Carbonaceous aerosol composition over various regions of China during 2006. *J Geophys Res*, 2008, 113(D14111), doi:10.1029/2007JD009525.
- [33] 中华人民共和国环境保护部. 重点城市空气质量日报. [2010-10-21] http://datacenter.mep.gov.cn/report/air_daily/air_dairy.jsp?city=天津&startdate=2009-12-01&enddate=2009-12-31&lang=&page=1.

Characteristics of Black Carbon at Wuqing Observed by Single Particle Soot Photometer

An Linchang¹⁾ Sun Junying¹⁾ Zhang Yangmei¹⁾
Shen Xiaojing¹⁾ Wang Tingting¹⁾ Liang Wende²⁾ Chen Lili²⁾

¹⁾ (Key Laboratory for Atmospheric Chemistry of CMA, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (Wuqing Meteorological Administration of Tianjin, Tianjin 301700)

Abstract

Black carbon (BC) plays a significant role in climate change, which has attracts increasing research interest. Single Particle Soot Photometer (SP2) is used at Wuqing Meteorological Station in Tianjin. SP2 utilizes the high optical power available intra-cavity from a Nd:YAG laser as the analytical technique. Light absorbing particles, mainly BC in atmosphere, absorb sufficient energy and are heated to the point of incandescence. The energy emitted in this incandescence is measured, and quantitatively determine the mass of the particle. SP2 operates in a single particle mode, measuring the light scattering and incandescence of each particle. Through the time delay between the two signals, the mixing state of BC particles can be obtained. SP2 is different from the traditional filter-based method which could provide more accurate information on single BC particle properties. First, SP2 could count the BC particles individually, so BC number concentration could be given; second, SP2 measures the mass of each BC particle, which could be converted to particle size; finally, SP2 could give the information on BC mixing state, which is important for estimating the aerosol effect on climate change.

The observation taken at Wuqing in December 2009 shows that the average number concentration of BC is 1504 cm^{-3} , with the maximum 5050 cm^{-3} and the minimum 46.8 cm^{-3} . The number of BC particles occupies 57.2% of the aerosol particles measured by SP2. The average number concentration of non-absorbing aerosol is 1124 cm^{-3} , with the maximum 3311 cm^{-3} and the minimum 70.7 cm^{-3} . The average mass concentration of BC is $8.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 51.5% of BC particles are thickly coated. On a clear windy day, the daily average number concentration is 215 cm^{-3} , the mass concentration is $1.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and 40.2% of them are mixed. However in the seriously polluted case, the daily average number concentration is 3169 cm^{-3} , the mass concentration reaches $17.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the ratio of mixed BC also increases to 78.7%.

Key words: black carbon; single particle soot photometer; mixing aerosol; air pollution