

1 064 nm 波长大气气溶胶光吸收特性

陈杰^{1,2,3}, 钱仙妹^{1,3}, 刘强^{1,3*}, 郑健捷^{1,2,3}, 朱文越^{1,3}, 李学彬^{1,3}

1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 中国科学院大气光学重点实验室, 安徽 合肥 230031
2. 中国科学技术大学研究生院科学岛分院, 安徽 合肥 230026
3. 先进激光技术安徽省实验室, 安徽 合肥 230037

摘要 大气气溶胶的光吸收特性是全球气候变化和区域天气的重要影响因素。随着国家重大光电工程技术的快速发展, 近红外波段的大气气溶胶光吸收特性受到越来越多的关注。基于光声光谱技术, 自行搭建了一套 1 064 nm 波长气溶胶光学吸收系数测量装置, 结合扫描电迁移率粒径谱仪对合肥近郊科学岛附近的大气气溶胶的光吸收系数和粒径谱进行了 9 d 的连续测量, 获取了气溶胶的光学吸收系数、粒子数浓度及粒径谱的长时间测量数据。基于测得的光吸收系数与粒子数浓度进行相关性分析。结果表明, 当气溶胶粒径谱相对稳定时, 气溶胶光吸收系数与数浓度之间具有很好的相关性, 相关系数为 0.62~0.99。此外, 还观测到了夜间粒子的粒径增长过程。在该时段内粒子数浓度相对稳定, 气溶胶粒子的平均粒径从 120 nm 左右增长到 175 nm 附近, 其吸收系数随着粒径的增长从 6 Mm^{-1} 增加到 17 Mm^{-1} 。通过对吸收截面和粒子平均粒径之间的相关性进行理论拟合和分析可知, 该时段内的气溶胶粒子更接近于面吸收体。最后, 结合环境质量观测站点给出的空气质量监测数据, 对测量期间出现的雾霾天、晴天、阴雨天等三种典型天气条件下的气溶胶粒子的光吸收系数和粒径谱的日变化测量数据进行对比分析。分析结果表明, 三种天气条件下吸收系数和粒子数浓度的日变化趋势具有明显的气象特征: 雾霾时段, 环境中的粒子数浓度及其中的大粒子浓度逐渐增多, 光吸收系数增大; 晴天时, 附近道路上的机动车在交通繁忙时段的尾气排放使得大气中的细粒子在短时间内急剧增多, 导致光吸收系数显著增强; 雨天时, 降水对大气中的气溶胶粒子具有明显的清洗作用, 使得环境中的粒子数浓度显著减少, 导致其吸收系数变小。实际大气气溶胶光吸收系数的观测与相关测量数据的比对和分析结果验证了所建立测量装置的可靠性, 也为近红外波段气溶胶光吸收特性的深入研究积累了经验。

关键词 光声光谱; 大气气溶胶; 光学吸收系数; 1 064 nm 波长

中图分类号: O433.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)10-2989-07

引言

大气气溶胶是指悬浮在空气中的微粒, 对地球辐射平衡、激光大气传输、能见度以及人类健康有着重要的影响^[1]。目前, 可用于实际大气气溶胶光吸收系数测量的技术主要有滤膜技术, 差分技术以及光声光谱技术。滤膜技术发展较早, 技术较为成熟, 已广泛用于仪器设备中。差分技术灵敏度高、原理简单, 近年来也受到广泛关注^[2]。但前者存在多次散射、光学阴影等问题, 后者由于传递误差和积分球的截断角限制, 对于弱吸收强散射的气溶胶的吸收测量, 需

要进一步改进才能满足测量需求。光声光谱技术是一种高灵敏的光谱技术, 在大气气溶胶的光学吸收特性测量、大气痕量气体探测等领域得到了广泛的应用^[3]。2002年, 美国 Rice 大学的 Frank. Tittel 教授等发明了石英音叉增强型光声光谱技术(QEPAS), 在痕量气体探测方面表现出了很好的探测能力和应用前景。国内的中科院安光所^[4-5]、山西大学^[6-8]、哈尔滨工业大学^[9]等单位在该技术的应用上做了很多出色的工作。光声光谱技术在气溶胶的测量研究中不改变气溶胶粒子的自然悬浮状态, 对气溶胶进行原位测量, 测量过程不受光散射的影响, 系统体积较小, 易于制成工业化设备。美国沙漠研究所和内华达州立大学利用建立的光声光谱

收稿日期: 2019-08-23, 修订日期: 2019-12-30

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA17010104)资助

作者简介: 陈杰, 1994年生, 中国科学院安徽光学精密机械研究所硕士研究生 e-mail: jiechen@mail.ustc.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: liuq@aiofm.ac.cn

气溶胶测量装置对实验室产生的气溶胶和冬季城镇地区的实际大气气溶胶光学吸收系数的波长依赖特性进行了研究^[10]；匈牙利赛格德大学的 Tibor Ajtai 小组利用 Nd:YAG 1 064 nm 及其高次谐波(266/355/532/1 064 nm)光源建立的光声光谱测量装置对实验室模拟燃烧产生的碳质气溶胶的波长依赖性进行了研究^[11]，并通过对冬季城市气溶胶光吸收的测量探索了其在城市污染物溯源方面的应用^[12]；美国密歇根理工大学的 Sharma 小组^[13]和国家标准与技术研究院的 Zangmeister^[14]利用超连续激光器作为光声光谱测量装置的激发光源分别开展了实验室产生的气溶胶在可见和近红外波段的光吸收特性测量工作；国内中国科学院安徽光学精密机械研究所刘强等也开展了单波长(532 nm)和多波长(405/532/780 nm)气溶胶光声测量装置的研制，并对合肥郊区的气溶胶光学特性进行了观测^[15]，他们利用差分光声光谱技术实现了存在水汽干扰的近红外波段(1 342 nm)气溶胶吸收系数的测量，外场观测结果与模式计算结果取得了很好的一致性^[16]；中国计量学院的张建峰^[17]随后也研制出 532 nm 波长的气溶胶吸收光声测量装置并对实际大气气溶胶进行了测量。由于气溶胶吸收测量研究大多用于环境观测和气候变化等研究领域，因此，相关的测量技术和观测结果大多集中在可见光波段。气溶胶对入射光的吸收强弱有显著的波长相关性，理论上，随波长的增大气溶胶的吸收呈指数(Ångström 指数)衰减，然而，受气溶胶化学成分、粒径大小等物化特性及测量技术等因素的影响，该指数存在很大的不确定性。针对近红外波段的气溶胶光吸收特性研究受到的关注相对较少。随着现代光电工程技术的快速发展，近红外波段气溶胶的光学特性受到越来越多的关注，其光吸收特性的观测需求也越来越大。

为研究近红外波段气溶胶的光吸收特性，自行搭建了 1 064 nm 波长的光声光谱测量装置，并结合气溶胶粒径谱仪对合肥科学岛的大气气溶胶的 OAC 和粒径分布进行了一段时间的观测。利用观测数据，对气溶胶吸收系数与粒子数浓度、粒径大小之间的相关性进行了定量分析，并对天气条件及环境污染源对气溶胶吸收的影响进行了探讨。

1 实验部分

一束调制的光通过气溶胶粒子，气溶胶粒子将吸收的调制光能量转化为热能，使得气溶胶粒子周围空气产生周期性的热变化，从而产生压力的改变，即声波^[18]。通过麦克风测量声共振腔中的的声波强弱来反演出气溶胶粒子的光吸收系数。麦克风测量得到的光声信号幅值可以用式(1)表述^[15]

$$S = P \times M \times (C \times \alpha_0 \times c) + S_b \quad (1)$$

式(1)中， S 为光声信号强度， V ； P 为激光调制频率下的激光功率， W ； M 为麦克风灵敏度， $mV \cdot Pa^{-1}$ ； C_{cell} 为光声池的池常数， $Pa \cdot (cm^{-1} \cdot W)^{-1}$ ； α_0 为单位浓度样品的吸收系数，即吸收效率， $Mm^{-1}/g \cdot m^{-1}$ ； c 为样品的浓度， $g \cdot m^{-3}$ ， $\alpha_0 \times c$ 为样品的吸收系数(OAC)； S_b 为背景噪声。

测量装置与文献^[15,19]中所述类似，如图 1 所示。与文献中不同的是：本文采用输出功率为 2 W 的 1 064 nm

YAG: Nd 固体激光器(长春新产业，MIL-H-1064-2W)作为光源，信号经锁相放大器(Femto, LIA-BVD-150-L)进行解调。实验室内温度由空调控制约 26 °C。气溶胶样品流经光声吸收池后，进入扫描迁移率粒径谱仪(SMPS, TSI, 3936)，完成对粒径谱的同步测量。气溶胶的采样由 SMPS 内置的采样泵完成。为了分析系统的稳定性和探测灵敏度，将吸收池内充入 300 mL · min⁻¹ 高纯氮气对背景噪声进行长时间测量。图 2(a)所示为 1 小时测得的背景信号，图 2(b)是利用 Allan 方差对系统稳定性和灵敏度的分析结果。结果显示系统的稳定性较好，装置在 60 s 积分时间内的探测灵敏度约为 0.3 Mm⁻¹。

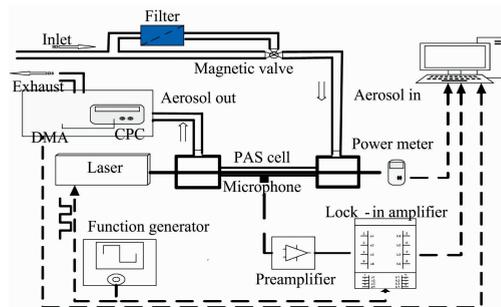


图 1 实验测量装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental measurement device

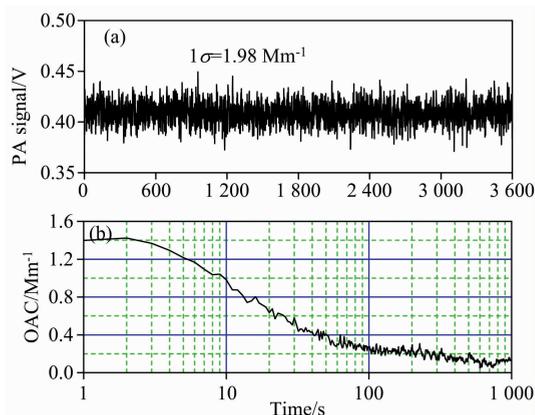


图 2 系统稳定性及灵敏度分析结果

Fig. 2 Analysis results of system stability and sensitivity

2 结果与讨论

2.1 OAC 与粒子数浓度的关系

利用测量装置对大气气溶胶的吸收系数和粒径谱进行了约 9 天的连续测量，测量点位于合肥市郊区的科学岛，整个测量过程获取的气溶胶吸收系数(红色)和粒子数浓度(蓝色)数据如图 3 所示，图中右上方为一次本底信号测量数据。通过图 3 可以看出 OAC 和粒子数浓度的日变化规律具有较高的相关性。为了分析 OAC 和粒子数浓度的规律，对每天 OAC 和粒子数浓度间的相关性进行了计算分析，相关性计

算结果和每天的天气情况如表 1 所示, 通常认为当气溶胶粒子的吸收波长和粒径分布不变时, OAC 与粒子数浓度呈线性相关。在表 1 中, 除 1 月 22 日之外, OAC 和粒子数浓度都呈现出较高的相关性。1 月 22 日 OAC 和粒子数浓度间的相

关性较低一方面是由于当天出现了明显的粒子粒径增长现象; 另一方面, 测量当天出现的 3~4 级大风引起采样管短时间松动导致采集的数据出现短暂波动。前者出现的粒径增长现象将在 2.2 节进行详细分析。

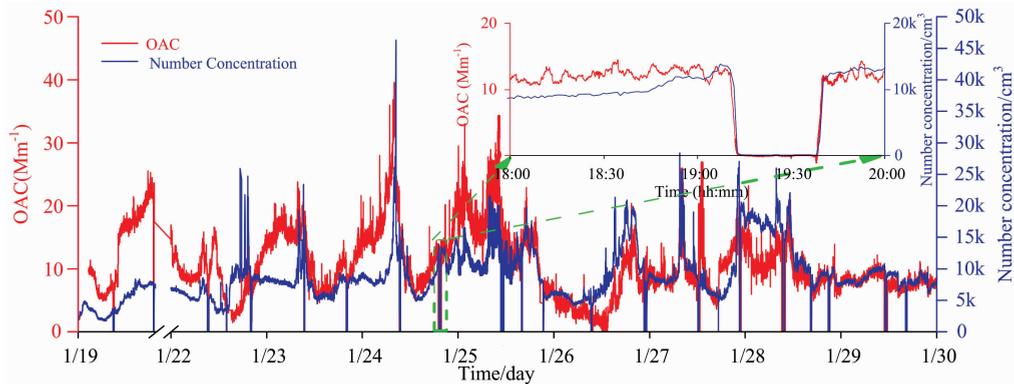


图 3 实时测量 1 064 nm 处环境气溶胶的 OAC 和数浓度

Fig. 3 Real-time measurement of OAC and number concentration of the ambient aerosol at 1 064 nm

表 1 采样期间的天气情况以及 OAC 与粒子数浓度之间相关系数

Table 1 Weather conditions and correlation coefficients between OAC and particle number concentration during sampling

时间	天气	相关系数
Jan. 19 /Sat	阴, 午后开始出现雾	0.837 67
Jan. 22 /Tues	晴, 伴有 3~4 级大风	0.192 33
Jan. 23/Wed	晴	0.678 83
Jan. 24 /Thur	晴	0.742 75
Jan. 25 /Fri	晴, 早晨有雾, 10 时左右雾逐渐散去	0.625 87
Jan. 26 /Sat	晴, 空气比较干净	0.817 58
Jan. 27 /Sun	晴	0.644 61
Jan. 28 /Mon	阴转小雨	0.835 42
Jan. 29 /Tues	阴	0.997 56

图 3 中的测量结果不仅体现了气溶胶吸收系数和粒子数浓度之间的相关性, 还呈现出明显的日变化规律。从图中数据可以看到周一至周五的上午八时左右粒子数浓度和吸收系数都会出现短时间增长现象。该现象是由于早晨上班高峰期时段, 测量点附近科学岛主干道上的车流量增加, 交通排放致使大气中黑碳等强吸收性污染物的浓度升高, 进而导致测量得到的气溶胶吸收增强。由于测量点距主干道约有 350 m 的直线距离, 颗粒物需要一定的时间才能扩散至测量点, 因此测量数据相对交通高峰期有一定的延时。

2.2 OAC 与平均粒径的关系

粒子大小作为气溶胶粒子的重要物理特征, 也是决定其光学吸收特性的关键参数。下面将对实验期间观测到的一次粒子粒径增长过程中 OAC 与粒径变化的相关性进行分析, 并尝试从理论上进行解释。

实验观测到的粒子粒径增长过程发生在 1 月 22 日 20 时至 23 日 4 时之间, 图 4(a)给出了 22 日至 23 日 48 小时内粒径随时间的变化, 红色方框所示为粒子粒径增长过程中粒

径谱的变化, 可以看出在该时段内粒径谱的峰值呈现出逐渐变大的趋势。图 4(b)为粒径增长过程中 OAC、粒子平均粒径和粒子数浓度的时间变化。经计算, 该粒径增长过程中粒子数浓度的平均大小为 $8\ 297.7\ \text{cm}^{-3}$, 1 倍标准偏差为 $318.5\ \text{cm}^{-3}$, 粒子平均粒径从 120 nm 左右增大到 175 nm 附近。即在整個粒径增长过程中粒子数浓度的波动很小, 且随着时间的推移, 粒子数浓度有小幅的下降趋势, 而吸收系数从 $6\ \text{Mm}^{-1}$ 增大到 $17\ \text{Mm}^{-1}$, 这一点与表 1 中给出的 22 日 OAC 和粒子数浓度的低相关性相符。为了进一步研究粒径大小对粒子吸收的影响, 根据粒度参数 $x(x = \pi D_p / \lambda)$, D_p 为粒子直径, λ 为波长^[20]的大小对粒子的尺寸进行划分。当 x 远小于 1 时, 可将粒子看作是小粒子, 粒子的吸收属于体吸收; 当 x 接近或者大于 1 时, 可将粒子看作是大粒子, 粒子的吸收属于面吸收。假设大气气溶胶粒子为球形粒子, 对于 1 064 nm 的入射光, 粒径在 120~175 nm 范围内时, 根据 x 的定义计算出对应的值在 0.35~0.52 之间, 该值在 1 附近, 需进一步确认该粒子系统为面吸收体还是体吸收体。

大气气溶胶光吸收系数等于粒子数浓度和吸收截面的乘积, 为了消除粒子数浓度对光吸收系数的影响, 将吸收系数除以粒子数浓度获得吸收截面。图 4(c)给出了实际测量过程中获取的不同粒径粒子的吸收截面数据, 二者的线性拟合结果为: $y = 2.433\ 98 \times 10^{-13} x - 2.166\ 95 \times 10^{-11}$ 。对于面吸收粒子和体吸收粒子而言, 吸收截面与粒径大小分别存在关系: $\sigma_s = \sigma_{sc} D_{sp}^2$, $\sigma_v = \sigma_{vc} D_{vp}^3$, 其中 σ_{sc} 和 σ_{vc} 分别为高阶项系数, σ_s 和 σ_v 为面吸收和体吸收截面。

根据以上两式对图 4(c)中的数据分别进行了二次和三次曲线拟合, 结果如图 4(d)所示, 从拟合结果可以看出, 两个拟合曲线与测量数据的相关性基本一致, 仍无法判断粒子系统的吸收类型。然而根据吸收截面和粒径大小的关系, 当粒径变化很小时, 在某一粒径 D_0 附近存在一阶线性近似关系:

面吸收体

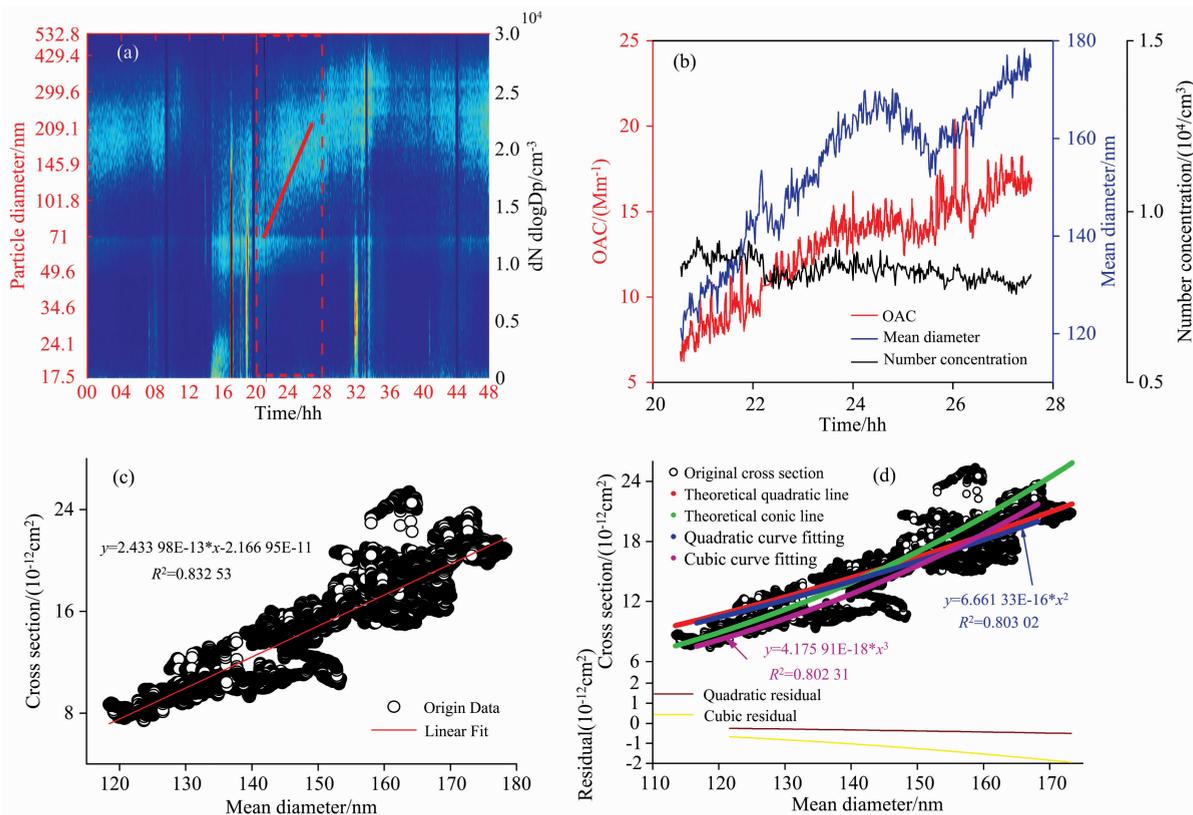


图 4 粒径增长过程粒径对光吸收特性的影响

Fig. 4 Effect of particle diameter on light absorption during the process of particles size growth

$$\sigma_s \approx 2\sigma_{sc} D_{s0} D_{sp} - \sigma_{sc} D_{s0}^2 \quad (2)$$

体吸收体

$$\sigma_v \approx 3\sigma_{wc} D_{v0}^2 D_{vp} - 2\sigma_{vc} D_{v0}^3 \quad (3)$$

将式(2)和式(3)与图 4(c)中的线性拟合相结合, 可得出面吸收体: $D_{s0} \approx 178 \text{ nm}$, $\sigma_{sc} \approx 6.83 \times 10^{-16}$, 体吸收体: $D_{v0} \approx 134 \text{ nm}$, $\sigma_{vc} \approx 4.55 \times 10^{-18}$. 计算结果代入吸收截面和粒径大小关系中可得面吸收体: $\sigma_s \approx 6.83 \times 10^{-16} D_{sp}^2$, 体吸收体: $\sigma_v \approx 4.55 \times 10^{-18} D_{vp}^3$.

在图 4(d)中绘出这两条曲线, 通过对比可以看出面吸收体的计算结果与原二次拟合结果更贴近。所以可认为图 4(c)中存在的线性关系是通过二次近似得到, 吸收截面与平均粒径具有二次非线性关系。即在实际大气中, 夜间粒子数浓度相对稳定时, 气溶胶粒子更接近于面吸收体, 光吸收系数和平均粒径间呈现二次非线性关系, 气溶胶的光吸收特性主要取决于粒径大小。

2.3 OAC 在不同天气条件的日变化特征

天气条件变化、周围环境的污染源排放和外部输入也会改变气溶胶的粒径谱、吸收成分等物理化学特性, 进而导致气溶胶光吸收能力的增强或减弱。实验中, 我们观测到了雾霾、晴朗、降水三种天气条件下的气溶胶吸收系数、粒径谱的日变化规律。下面我们将对观测到的测量数据进行详细分析。

图 5(a), (b)和(c)为雾霾、晴朗、雨天三种天气条件下的 OAC 和粒子数浓度的日变化趋势, 图 5(e), (f)和(g)为

国控站点合肥董铺水库空气质量监测站监测到的空气质量指数(AQI)以及 PM_{2.5} 质量浓度比变化数据。从图 5(a)和(e)可以看出, 中午 12 时左右开始随着雾霾的持续大气中的粒子数浓度及其吸收系数逐渐增大, AQI 指数和 PM_{2.5} 质量浓度也表现出同样的变化趋势, 二者呈现出很好的一致性。同样, 在图 5(b)和(f)中所示的晴朗天气(周三)的早晨 8 时左右 OAC 和粒子数浓度均达到峰值, AQI 指数和 PM_{2.5} 质量浓度也在该时段达到当日的峰值。由于测量点附近主要的颗粒物排放源为附近道路上的机动车尾气排放, 早晨 8 时左右是上班高峰交通繁忙时段, 且机动车尾气排放产生的气溶胶主要成分为强吸收型的黑碳, 这是该时段 OAC 和粒子数浓度在短时间内同时增长的主要原因。图 5(c)是雨天的 OAC 和粒子数浓度的日变化趋势, 二者在午后 13 时至 19 时之间缓慢下降。对比图 5(g)观察到同时段 AQI 指数和 PM_{2.5} 质量浓度也出现缓慢降低的现象, 这主要是由于该时段内的降水过程使得大气中的粒子数浓度减少, 环境中的 PM_{2.5} 浓度降低, OAC 也随之减小。

图 6 给出了三种天气条件下的粒径谱的日变化趋势。如图 6(a)所示, 粒径范围在 200~430 nm 的粒子在中午 12 时开始逐渐增加, 这与我们上述观察到的雾霾兴起的时间相吻合。由此可知, 雾霾主要导致大气中的大粒子显著增多。图 6(b)为晴朗天气下的粒径谱的日变化, 从图中可以看出, 早晨 8 时左右, 粒径范围在 17.5~71 nm 的小粒子出现短时间爆发, 这与前述的机动车尾气排放相吻合。同样, 从图 6(c)

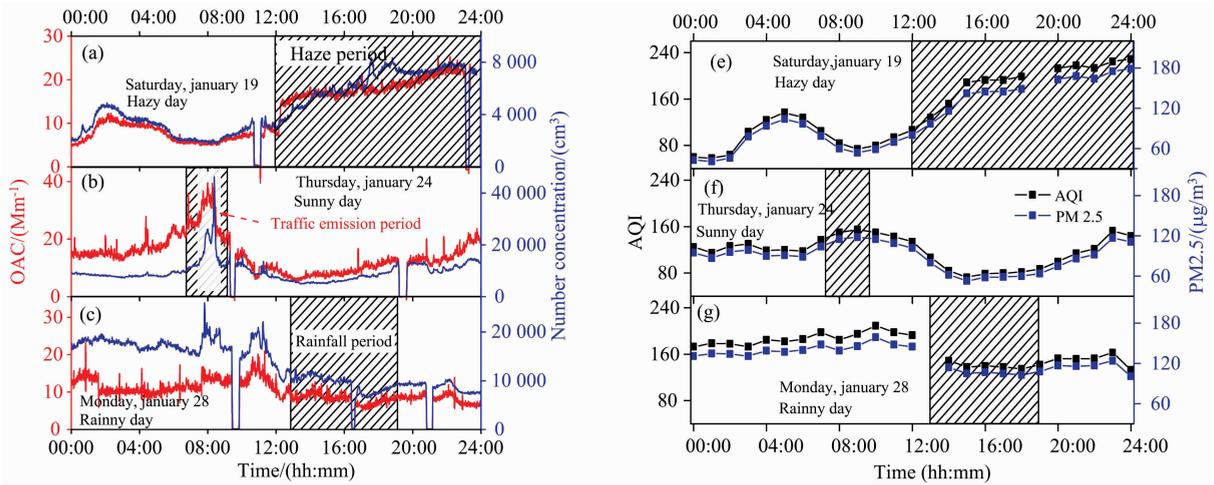


图 5 雾霾天、晴天、雨天天气条件下的 OAC 和空气质量的日变化趋势

Fig. 5 Diurnal variation trends of the OAC and air quality in hazy, sunny and rainy weather conditions

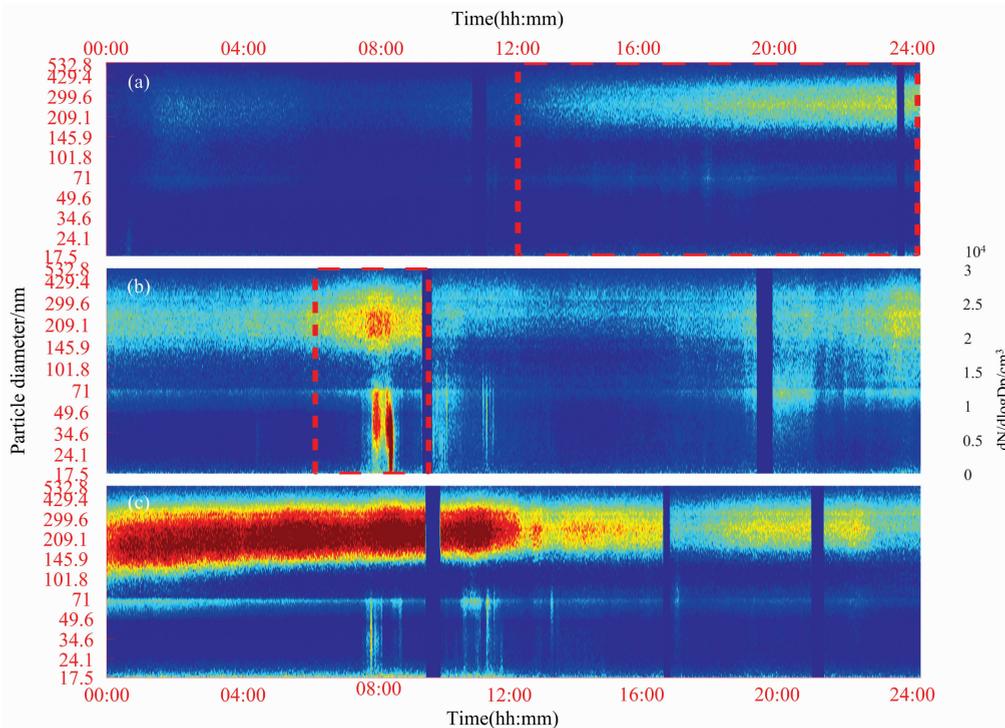


图 6 (a) 雾霾天、(b) 晴天、(c) 雨天天气条件下的粒径谱的日变化趋势

Fig. 6 Diurnal variation trend of particle size spectrum in hazy (a), sunny (b) and rainy (c) weather conditions

中可以看出降水时段大气中的粒子，特别是 101.8~429.4 nm 粒径范围内的大粒子明显减少，由此可见，降水对大粒子的清洗作用更为显著。

3 结论

自行搭建了一套 1 064 nm 波长的光声光谱气溶胶吸收系数测量装置，探测灵敏度达到了 0.3 Mm⁻¹ (60 s)。利用该测量装置，结合 SMPS 对实际大气的 OAC 和粒径分布进行

了连续测量。通过对测量数据的分析及与空气质量监测站点发布的 AQI 指数和 PM 2.5 质量浓度对比发现：对于相对稳定的大气环境，OAC 的大小主要取决于大气中气溶胶粒子的多少，即粒子数浓度；在粒子粒径增长过程中，OAC 的大小主要取决于增长过程中的粒径增长；雾霾和机动车尾气排放引起大气中气溶胶粒子的长时间缓慢增多或短时间急剧爆发都会导致 OAC 的显著增大，而降水对大气中的大粒子具有明显的清洗作用，OAC 也会随之降低。

实验验证了我们建立的测量装置的可靠性，也为近红外

波段大气气溶胶光吸收特性的深入研究积累了经验。但我们仅对所观测气溶胶的成分进行了一些定性的分析,然而,定量分析大气中碳质气溶胶的成分及元素组成将更有助于深入

了解其光学吸收特性和排放源的追溯,这将是未来工作中的主要内容之一。

References

- [1] Ke X S, Sheng L F, Kong J, et al. *Environmental Science*, 2014, 35(1): 15.
- [2] Xu X, Zhao W, Fang B, et al. *Optics Express*, 2018, 26(25): 3384.
- [3] Dong L, Kosterev A A, Thomazy D, et al. *Applied Physics B Lasers & Optics*, 2010, 100(3): 627.
- [4] Yi H, Liu K, Chen W, et al. *Optics Letters*, 2011, 36(4): 481.
- [5] Liu Kun, Mei Jiaoxu, Zhang Weijun, et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2017, 251: 632.
- [6] Wu H, Dong L, Zheng H, et al. *Nature Communications*, 2017, 8: 15331.
- [7] Zheng H, Dong L, Wu H, et al. *Chemical Physics Letters*, 2018, 691: 462.
- [8] Wu H, Dong L, Yin X, et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2019, 8: 126753.
- [9] Yufei M B, Hea Y, Yua X, et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, 233: 388.
- [10] Gyawali M, Arnott W P, Zaveri R A, et al. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, 12(5): 2587.
- [11] Ajtai T, Ágnes Filep, Martin Schnaiter, et al. *Journal of Aerosol Science*, 2010, 41(11): 1020.
- [12] Utry N, Ajtai T, Pintér M, et al. *Atmospheric Environment*, 2017, 152: 553.
- [13] Sharma N, Arnold I J, Moosmüller, H, et al. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2013, 6(4): 3501.
- [14] Radney J G, Zangmeister C D. *Analytical Chemistry*, 2015, 87(14): 7356.
- [15] Liu Q, Huang H H, Wang Y, et al. *Chinese Physics B*, 2014, 23(6): 064205.
- [16] Zhu Wenyue, Liu Qiang, Wu Yi. *Optics Express*, 2015, 23(18): 23108.
- [17] ZHANG Jian-feng, PAN Sun-qiang, CHEN Zhe-min, et al(张建锋, 潘孙强, 陈哲敏, 等). *Journal of Optoelectronics Laser(光电子·激光)*, 2017, (2): 76.
- [18] Harren F J M, Cotti G, Oomens J, et al. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [19] Langridge J M, Richardson M S, Lack D A, et al. *Aerosol Science and Technology*, 2013, 47(11): 1163.
- [20] Moosmüller H, Chakrabarty R K, Arnott W P. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2009, 110(11): 844.

Research on Optical Absorption Characteristics of Atmospheric Aerosols at 1 064 nm Wavelength

CHEN Jie^{1,2,3}, QIAN Xian-mei^{1,3}, LIU Qiang^{1,3*}, ZHENG Jian-jie^{1,2,3}, ZHU Wen-yue^{1,3}, LI Xue-bin^{1,3}

1. Key Laboratory of Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China
2. Science Island Branch of Graduate School, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
3. Advanced Laser Technology Laboratory of Anhui Province, Hefei 230037, China

Abstract Absorption of atmospheric aerosol is an important factor affecting global climate change and local weather. Characteristics of aerosol optical absorption in the near infrared wavelength have attracted more and more attention to the development of optoelectronic engineering. Based on photoacoustic spectroscopy (PAS), a set of optical absorption coefficient (OAC) measurement device for aerosol at 1 064 nm wavelength was built. OAC and particle size distribution have obtained by the photoacoustic spectrometer and scanning mobility particle sizer spectrometer (SMPS) on Science Island (near suburban of Hefei) for 9 days. Firstly, the correlation between OAC and particle number concentration was analyzed based on the measured data. The results show that the OAC had a strong correlation with number concentration and the correlation coefficient varied between 0.62 and 0.99 while the aerosol particle size distribution was relatively stable. Secondly, the particle size growth process was observed at night time. In this process, the number concentration of aerosol was varied slightly (less than 4%), but OAC increased from 6 Mm^{-1} to 17 Mm^{-1} with the growth of aerosol particles size from $\sim 120 \text{ nm}$ to $\sim 175 \text{ nm}$. With the results of the theoretical fitting and analysis of the correlation between the absorption cross section and the average particle diameter, aerosol particles in this process were found to be surface absorbers approximately. Finally, combined with the air quality index (AQI) released by environmental protection administration, the diurnal variation of the OAC and particle size distribution of

aerosol particles in different weather, were compared and analyzed. OAC and particle number concentration indicates a strong correlation with the weather and environmental condition, such as haze, traffic, rain. In haze day, OAC increased gradually with the increase of larger portion and the total particle number concentration in the air. In sunny days, the exhaust emission of vehicles on nearby roads during traffic busy caused sharply growth of the fine particles in the air in a short period of time, resulting in a significant increase in the OAC. In a rainy day, precipitation has a clear cleaning effect on aerosol particles, which reduces the number of particles in the air dramatically, leading to a decrease in the OAC. This observation experiment and the analysis verified the reliability of the photoacoustic spectrometer. It also accumulates experience for the future study on the aerosol optical absorption characteristics in near infrared wavelength.

Keywords Photoacoustic spectroscopy; Atmospheric aerosol; Optical absorption coefficient ; 1 064 nm wavelength

* Corresponding author

(Received Aug. 23, 2019; accepted Dec. 30, 2019)

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告

《光谱学与光谱分析》2021年征订启事

国内邮发代码：82-68

国外发行代码：M905

《光谱学与光谱分析》1981年创刊，国内统一刊号：CN 11-2200/O4，国际标准刊号：ISSN 1000-0593，CODEN码：GYGFED，国内外公开发行人，大16开本，332页，月刊；是中国科协主管，中国光学学会主办，钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的学术性刊物。北京大学出版社出版，每期售价95元，全年1140元。刊登主要内容：激光光谱测量、红外、拉曼、紫外、可见光谱、发射光谱、吸收光谱、X射线荧光光谱、激光显微光谱、光谱化学分析、国内外光谱化学分析领域内的最新研究成果、开创性研究论文、学科发展前沿和最新进展、综合评述、研究简报、问题讨论、书刊评述。

《光谱学与光谱分析》适用于冶金、地质、机械、环境保护、国防、天文、医药、农林、化学化工、商检等各领域的科学研究单位、高等院校、制造厂家、从事光谱学与光谱分析的研究人员、高校有关专业的师生、管理干部。

《光谱学与光谱分析》为我国首批自然科学核心期刊，中国科协优秀科技期刊，中国科协择优支持基础性、高科技学术期刊，中国科技论文统计源刊，“中国科学引文数据库”，“中国物理文摘”，“中国学术期刊文摘”，同时被国内外的CJCR, CNKI, CSCD, SCI, AA, CA, Ei, AJ, PJK, MEDLINE, Scopus等文献机构收录。根据中国科学技术信息研究所发布信息，中国科技期刊物理类影响因子、引文量及综合评价总分《光谱学与光谱分析》都居前几位。欢迎国内外厂商在《光谱学与光谱分析》发布广告（广告经营许可证：京海市监广登字20170260号）。

《光谱学与光谱分析》的主编为高松院士。

欢迎新老客户到全国各地邮局订阅，若有漏订者可直接与《光谱学与光谱分析》期刊社联系。

联系地址：北京市海淀区学院南路76号（南院），

《光谱学与光谱分析》期刊社

邮政编码：100081

联系电话：010-62181070, 62182998

电子信箱：chnghxygpfx@vip.sina.com

修改稿专用邮箱：gp2008@vip.sina.com

网 址：<http://www.gpxygpfx.com>

