

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2010.06.002

大气光学

合肥、岳西气溶胶光学特性的测量与对比分析

倪志波^{1,2}, 黄印博¹, 郭凤霞^{1,2}, 黄宏华¹, 饶瑞中¹

(1 中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院大气成分与光学重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 为分析城市型气溶胶对其周边地区的影响, 同时为华东地区大气参数的测量积累数据, 利用空气动力学粒度仪和碳黑度仪于 2009 年 10 月先后在合肥、岳西两地开展了实验测量。结果表明: 两地气溶胶粒子的平均谱分布服从对数正态分布, 合肥地区气溶胶粒子模式直径约为 $0.710 \mu\text{m}$, 岳西地区约为 $0.683 \mu\text{m}$ 。气溶胶粒子数浓度的日变化和概率统计结果显示, 两地气溶胶数浓度都有明显的日变化过程, 其中合肥实验数据中 80% 的结果分布在 $200\sim 800/\text{cm}^3$ 范围内, 岳西 90% 以上集中在 $100\sim 450/\text{cm}^3$ 。两地气溶胶在 450 nm 、 550 nm 和 700 nm 三波长下的吸收系数都有明显的日变化, 只是合肥地区吸收系数的量级为 10^{-5} , 而岳西为 10^{-6} 。

关键词: 大气光学; 气溶胶; 光学特性; 谱分布; 吸收系数

中图分类号: P427

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2010)06-0414-07

Measurement and Analysis of Optical Characteristics of Aerosol in Hefei and Yuexi

NI Zhi-bo^{1,2}, HUANG Yin-bo¹, GUO Feng-xia^{1,2}, HUANG Hong-hua¹, RAO Rui-zhong¹

(1 Key Laboratory of Atmospheric Composition and Optical Radiation, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to analyze the effect of urban aerosol to marginal areas, and provide data for measurement of atmospheric parameters in Huadong area, experiments are performed in Hefei and Yuexi successively. The main equipments are aerodynamic particle sizer spectrometer (APS 3321) and aethalometer (AE 31). The characteristic diameter of aerosol in Hefei testing point is $0.710 \mu\text{m}$, and $0.683 \mu\text{m}$ in Yuexi, and the average size of aerosol follows logarithmic normal distribution. Statistic results of total number concentration of aerosol

收稿日期: 2010-04-19; 修改日期: 2010-06-03

基金项目: 国家自然科学基金 (40905009)、科技部基础性研究工作专项重点项目 (2007FY110700) 资助

E-mail: nzhib@126.com

in Hefei and Yuexi show that the diurnal variation is obvious. The probability is larger than 80% when total number concentration in Hefei appears during 200~800/cm³, and 90% during 100~450 /cm³ in Yuexi. In both areas, Absorption coefficients of aerosol at 450 nm, 550 nm and 700 nm have obvious diurnal variation, and the differences are their magnitude. In Hefei, the magnitude of absorption coefficient is 10⁻⁵, but 10⁻⁶ in Yuexi.

Key words: atmospheric optics; aerosol; optical characteristic; size distribution; absorption coefficient

1 引言

地球大气是一个复杂的光学系统, 主要由浑浊大气介质和湍流大气介质构成, 其中混浊大气介质主要成分是气溶胶, 它的存在不仅直接影响到光学遥感、自由空间光通信和激光大气传输等工程应用的质量^[1-5], 还会影响到气候的变化^[6]。2009年12月, 世界气候大会在哥本哈根召开, 会议的中心议题就是温室气体的减排。但实际上很多排放温室气体的人类活动同时也排放气溶胶。虽然气溶胶对气候变化的影响目前还没有定论, 但大部分研究表明其综合作用仅次于温室气体。人类活动排放的气溶胶主要包括硫酸盐、碳黑和生物气溶胶等几种类型, 其中碳黑气溶胶能够吸收阳光辐射加热大气^[7]。硫酸盐气溶胶则能够反射太阳辐射引起降温, 同时增加云的亮度和持续时间^[8]。人类活动产生的气溶胶一般只存在于大气低层, 维持时间在几天到几周不等, 通常不足以像温室气体那样对全球造成影响, 但它对局部地区的影响非常明显, 可以使该地区气溶胶的吸收和散射系数、谱分布和数浓度等光学特性发生明显改变。

为研究华东地区城市型气溶胶对局部地区的影响, 并与本底数据进行对比, 我们利用空气动力学粒度仪和碳黑度仪等设备, 分别在合肥的科学岛和岳西县菖蒲镇水畈村两个典型地区分别进行了实验, 并比较两地气溶胶粒子谱分布、数浓度和吸收系数等的异同。之所以选择这两个地区, 是因为合肥的科学岛距城区约 6 km, 处于城乡结合部, 易于受到城市型气溶胶的影响; 岳西县水畈村远离城市, 周围有群山环绕, 大气污染程度

较轻, 此地的实验数据基本可以认为是气溶胶的本底数据。通过对比分析获得的规律性认识, 可以为研究华东地区大气光学性质提供参考。

2 实验测量地点及仪器简介

合肥实验点位于合肥市西郊科学岛上的办公楼内, 该岛海拔高度约为 30 m, 实验采样高度为 10 m。岳西实验点位于菖蒲镇水畈村, 该村位于大别山腹地, 海拔高度约为 500 m, 实验采样高度为 1 m。两地直线距离约为 160 km。

实验设备包括: 空气动力学粒度仪(简称 APS 3321), 能够高精度实时观测粒径在 0.5~20.0 μm 范围内气溶胶粒子的谱分布和数浓度; 碳黑度仪(简称 AE 31), 可实时监测 370 nm, 470 nm, 520 nm, 590 nm, 660 nm, 880 nm 和 950 nm 七波长碳黑气溶胶的质量浓度, 为便于分析, 利用碳黑气溶胶对光的吸收特性计算了 450 nm, 550 nm 和 700 nm 三波长气溶胶的吸收系数。APS 3321 和 AE 31 均为连续采集 5 min 得到一组平均数据, 间隔 10 min 后再进行下一次 5 min 的连续采集^[4]。

3 气溶胶粒子谱分布和数浓度的统计分析

2009年10月12~16日和18~24日, 利用 APS 3321 和 AE 31 分别在合肥和岳西进行了 5 天和 7 天的连续实验。实验期间没有特别明显的天气变化过程。APS 3321 实测的从 0.532~19.81 μm 共 51 个通道的粒径平均谱分布如图 1 所示, 同时给出的还有实验期间谱分布的最大值和最小值。通过对比可以看出: 在合肥地区, APS 3321 测得的

气溶胶粒子模式直径介于 $0.692 \mu\text{m}$ 和 $0.735 \mu\text{m}$ 之间, 粒子数约为 $2000/\text{cm}^3$, 岳西地区的气溶胶的模式直径要小一些, 约为 $0.683 \mu\text{m}$, 粒子数只有合肥地区的 $1/3$ 左右。从两地对应通道上气溶胶平均谱分布的最大值、最小值以及标准偏差可以看出, 岳西实验数据起伏更小, 说明当地空气质量

较好。原因可能是: 岳西县水畈村身处大别山腹地, 人口稀少, 远离城市, 且群山环抱, 来自污染地区的气溶胶一般很难到达; 合肥市科学岛处于城市边缘的城乡结合部, 人口密度和现代化程度远高于岳西山区, 且周围地势比较平坦, 比较容易受到城市型气溶胶的影响。

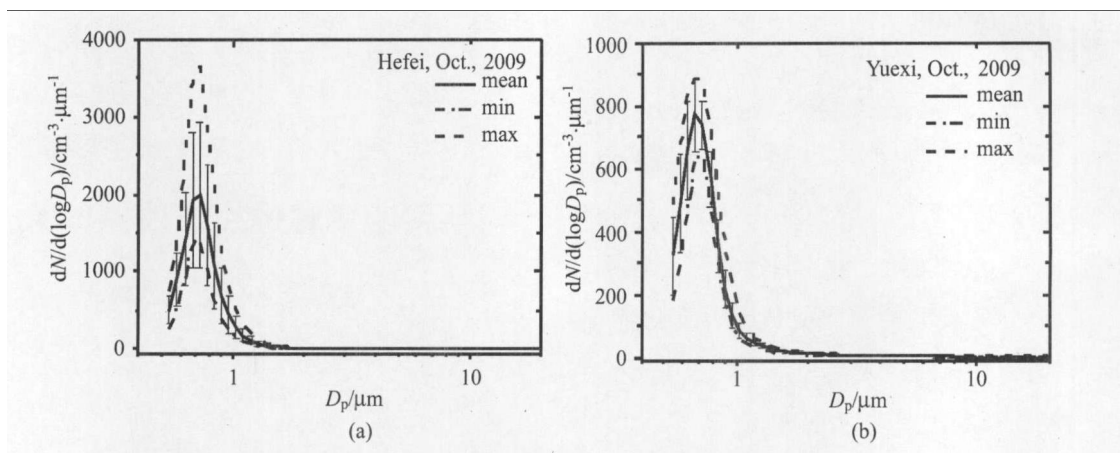


图1 合肥、岳西两地的气溶胶粒子平均谱分布

Fig.1 Measuring curves of size distributions of aerosol particles in Hefei and Yuexi

两地气溶胶粒子谱分布也有一些共同点, 即它们的形状基本一致, 非常接近对数正态分布, 因此我们用函数^[8]

$$n(\lg d) = \frac{dN}{d(\lg d)} = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln d - \ln d_{\text{mod}}}{\ln \sigma} \right)^2 \right] \quad (1)$$

对结果进行了拟合, 各拟合参数数值如表1所示。

表1 合肥、岳西两地气溶胶粒子平均谱分布拟合参数

Table 1 Fitting parameters of size distributions of aerosol particles in Hefei and Yuexi

Date	$N_0(\text{cm}^{-3})$	σ	$d_{\text{mod}}(\mu\text{m})$
Oct., 2009, Hefei	803	0.847	0.710
Oct., 2009, Yuexi	331	0.840	0.683

为了分析合肥、岳西两地气溶胶平均谱分布起伏差别较大的原因, 在图2中给出了51个通道上气溶胶谱分布的日变化特征, 其中图2(a)和图

2(b) 分别是合肥和岳西的实验结果。经过对 APS 3321 实时数据的分析发现, 合肥地区气溶胶谱分布的最大值出现在10月13日上午, 而最小值出现在14日和15日的午后时段。对比当天的天气记录发现: 合肥地区13日出现了大雾天气, 能见度只有1 km左右, 直至中午才逐渐散去, 这使得当天整个上午气溶胶的谱分布数值都比较大, 最大值甚至超过了 $6760/\text{cm}^3$; 14日、15日两天早晨有薄雾, 但10:00左右基本散尽, 因此午后时段出现了谱分布的最小值; 16日是多云转晴的天气, 从图中可以看出当天00:00~06:00的谱分布数值比前几天小。虽然岳西地区的气溶胶粒子谱分布也有日变化趋势, 但不如合肥地区的实验数据变化明显, 图1(b)中反映出来就是谱分布的最大和最小值相差不大。

图3给出的是合肥、岳西两地气溶胶数浓度的日变化过程。在11:00前, 合肥地区的气溶胶粒子数浓度的数值基本在 $600/\text{cm}^3$ 以上, 此后迅速

下降, 14:00 左右达到最低值, 约为 $200/\text{cm}^3$, 17:00 后又开始回升。岳西地区气溶胶粒子数浓度的日

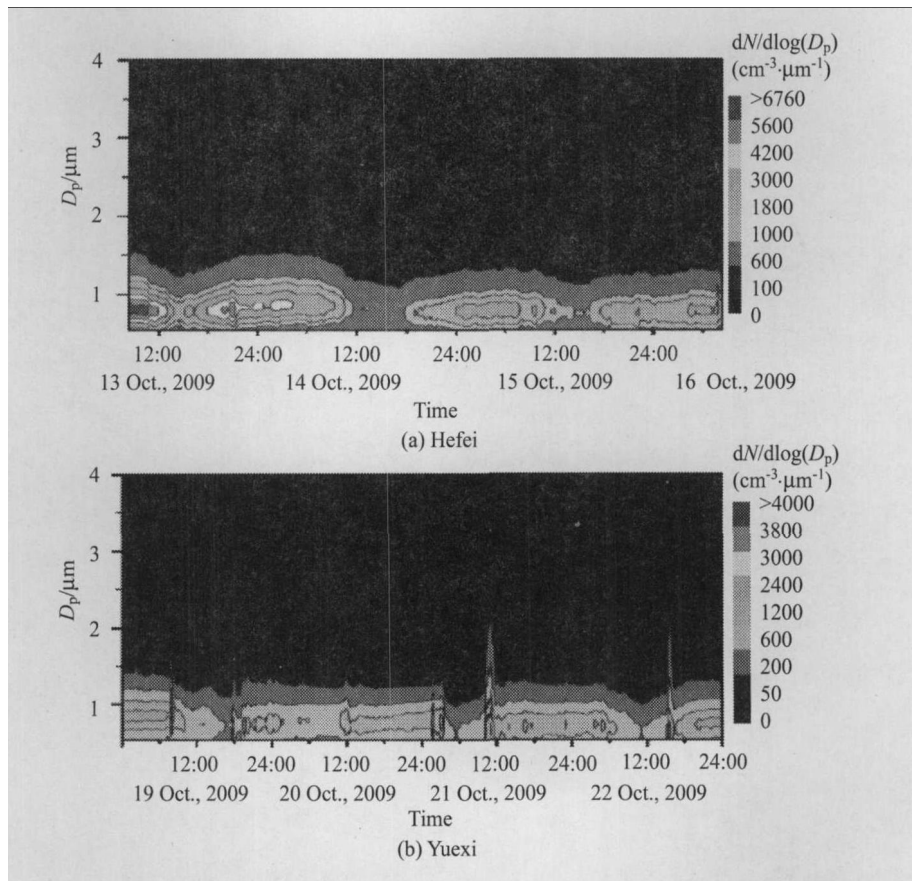


图 2 APS 3321 各通道上气溶胶粒子谱分布的日变化

Fig.2 Contour plot of the size distribution of number concentration

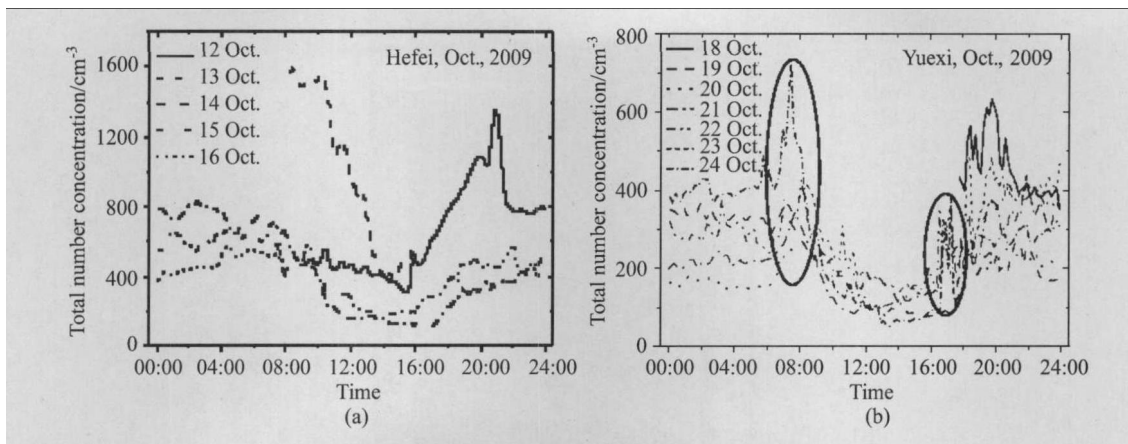


图 3 气溶胶粒子数浓度的日变化

Fig.3 Measuring curves of total number concentration of aerosol particles

变化趋势与合肥非常相似, 只是对应时刻的值一般只有合肥地区的一半。如图 2(b), 岳西地区的气溶胶粒子数浓度在一些特殊的时间段内也有明显

的增强。

气溶胶粒子数浓度的概率统计结果如图 4 所示。可以看出: 合肥地区粒子数浓度在

150~1700/cm³ 的范围内变化, 分布较广, 但 80% 的结果主要分布在 200~800/cm³ 范围内, 出现的概率均在 10% 左右, 其中 450/cm³ 出现的概率最大, 超过了 20%; 岳西地区气溶胶粒子数浓度变化范围相对较小, 在 50~750/cm³ 之间, 90% 以上集中在 100~450/cm³, 其中 175/cm³、225/cm³ 和 325/cm³ 出现的概率均超过了 15%。

4 气溶胶吸收系数统计分析

利用 AE 31 计算得到的 450 nm、550 nm 和 700 nm 三个波长下, 合肥和岳西两地气溶胶吸收系数的日变化趋势如图 5 所示。两者有很多相似的特征, 例如最小值都出现在每天午后时段, 早

上和夜晚时段数值较大, 而且全天吸收系数的起伏也集中在这两个时段。随着波长的增加, 气溶胶的吸收系数都逐渐减弱。两地的吸收系数在每天正午之前都会出现突然的增长, 岳西地区尤其明显。对比图 2、图 3 和图 5 中岳西地区的实验结果, 基本可以确定这种增长是由燃烧木柴产生的气溶胶引起的, 合肥地区出现这一现象的原因尚不明确。对比图 2(a) 和图 5(a) 可以看出, 14 日凌晨前后的气溶胶粒子数量和模式直径均大于 15 日对应时刻的结果, 吸收系数的大小关系却相反, 这可能是因为 15 日凌晨前后, 碳黑气溶胶所占比例更大。

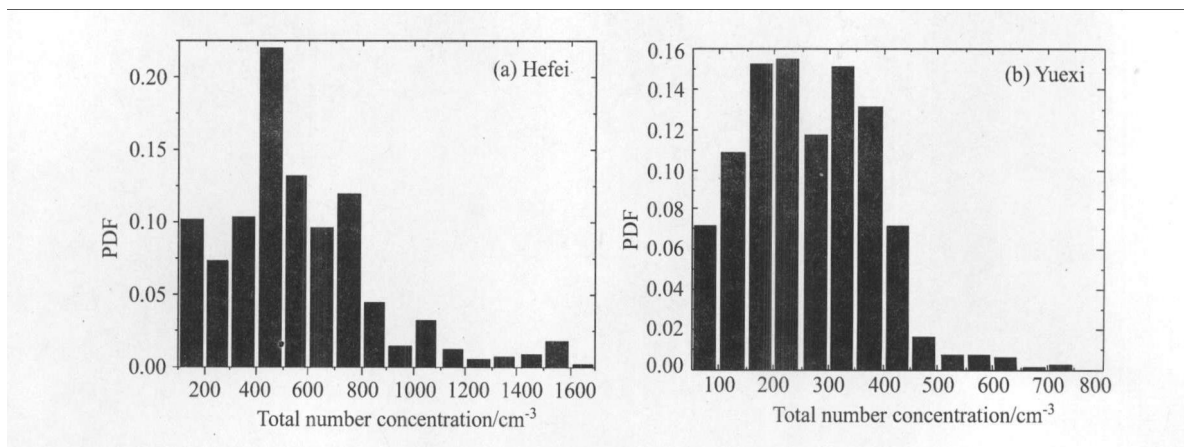


图 4 气溶胶粒子数浓度的概率统计

Fig.4 Probability statistics of total number concentration of aerosol particles

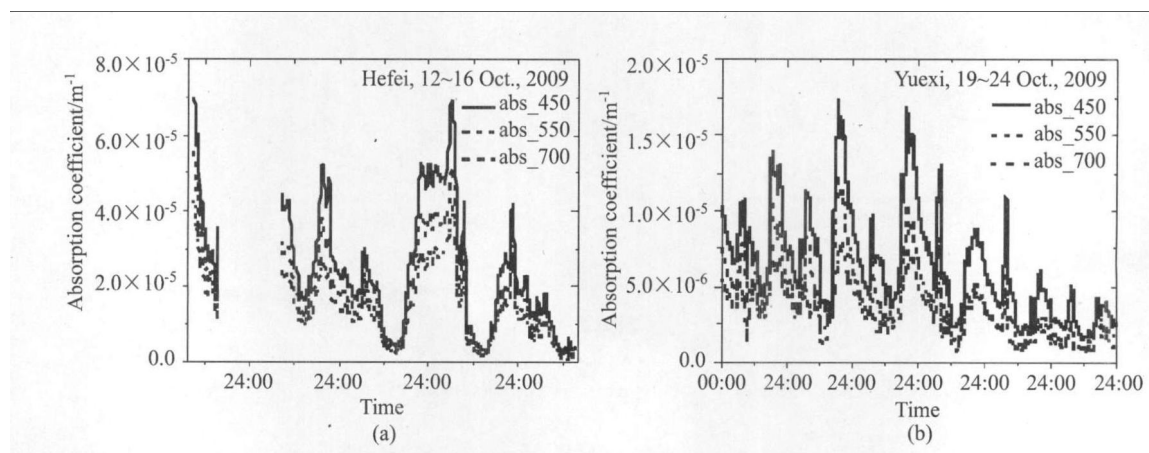


图 5 气溶胶粒子吸收系数的日变化

Fig.5 Diurnal variations of absorption coefficient of aerosol particles

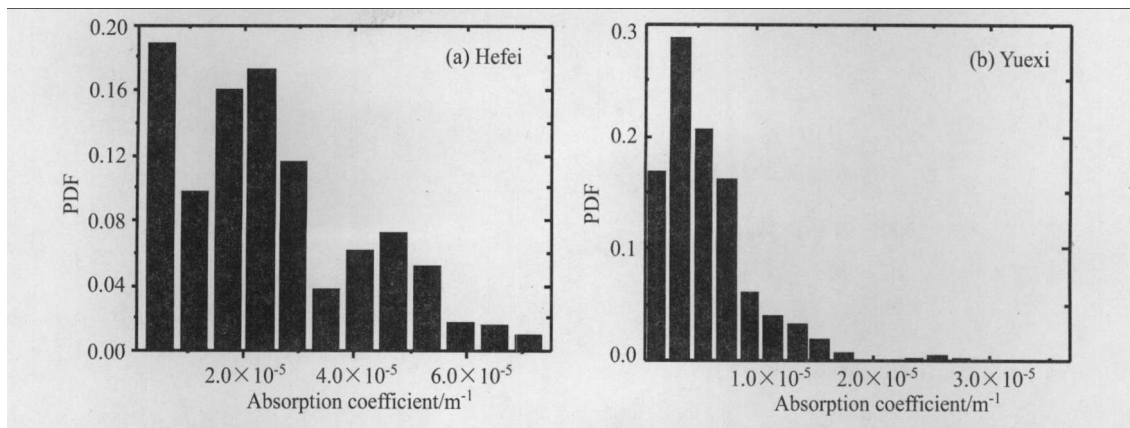


图 6 合肥、岳西两地气溶胶吸收系数的概率统计

Fig.6 Probability statistics of absorption coefficient in Hefei and Yuexi

以 450 nm 波长为例, 统计得到的两地吸收系数概率分布结果在图 6 中给出。结合图 5 和图 6 可以看出: 合肥和岳西气溶胶数浓度的差异直接导致两地吸收系数的差异, 其中合肥地区气溶胶数浓度较大, 因此吸收系数较强, 量级一般在 10^{-5} , 而岳西地区一般在 10^{-6} 。

5 结 论

利用空气动力学粒度仪和碳黑度仪, 对合肥、岳西两地气溶胶的谱分布、粒子数浓度和吸收系数等参数测量, 研究了两地气溶胶的光学特性。从测量结果可以看出, 两实验点气溶胶粒子平均谱分布的形状基本满足对数正态分布。由于受到地理位置、地形、人口密度、现代化程度等的影响, 两地气溶胶谱分布的细节又存在较大差异, 合肥地区的气溶胶模式直径、各通道上粒子数及其变化范围都略大于岳西地区。两次实验获得的气溶胶数浓度和吸收系数都有明显的日变化过程, 最小值一般出现在午后时段, 早上和夜晚时段数值较大。气溶胶数浓度的不同导致合肥、岳西两地的吸收系数具有不同的量级, 分别为 10^{-5} 和 10^{-6} 。通过两地的对比实验分析, 获得了华东地区城市型气溶胶对其周边地区影响的初步认识, 但如果要得到以上两个地区气溶胶光学特性的普适规律, 还需要进行长时间测量。

参考文献:

- [1] Liou K N. *An Introduction to Atmospheric Radiation* [M]. 2nd edition, Beijing: China Meteorological Press, 2004: 454-472(in Chinese).
Liou K N. 大气辐射导论 [M]. 第 2 版, 北京: 气象出版社, 2004: 454-472.
- [2] Huang Honglian, Huang Yinbo, Han Yong, et al. Light extinction properties of marine aerosol particles in internal mixing state [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2007, 2(3): 179-183(in Chinese).
黄红莲, 黄印博, 韩永, 等. 内混合海洋型气溶胶粒子消光特性的分析 [J]. *大气与环境光学学报*, 2007, 2(3): 179-183.
- [3] Rao Ruizhong, Qiao Yanli, Wei Heli, et al. Research and application on optical properties of atmosphere in typical regions of China [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2007, 2(6): 401-408(in Chinese).
饶瑞中, 乔延利, 魏合理, 等. 中国典型地区大气光学特性及其应用 [J]. *大气与环境光学学报*, 2007, 2(6): 401-408.
- [4] Huang Yinbo, Huang Honglian, Han Yong, et al. Measurement and model analysis of the aerosol optical properties in the regions of Hefei and southeast coast [J]. *Journal of Atmospheric and*

- Environmental Optics*, 2007, 2(6): 423-433(in Chinese).
- 黄印博, 黄红莲, 韩永, 等. 合肥、东南沿海地区气溶胶光学特性测量及模式分析 [J]. 大气与环境光学学报, 2007, 2(6): 423-433.
- [5] Huang Honglian, Huang Yinbo, Rao Ruizhong. Observational study on the concentration and size distribution of atmospheric aerosol over the Hefei area [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(supplement): 390-395(in Chinese).
- 黄红莲, 黄印博, 饶瑞中. 合肥地区气溶胶数浓度和谱分布特征的观测研究 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(增刊): 390-395.
- [6] Li Xinzhou, Liu Xiaodong. A numerical study of the aerosol influence on climate change over the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2009, 27(1): 1-7(in Chinese).
- 李新周, 刘晓东. 气溶胶对青藏高原气候变化影响的数值模拟分析 [J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 1-7.
- [7] Qin Shiguang. *Observational Study on Black Carbon Aerosols in Ruraland Remote Sites of China* [D]. Beijing: Master's Thesis of Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2001: 13-17(in Chinese).
- 秦世广. 我国大陆地区大气碳黑气溶胶观测研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院硕士论文, 2001: 13-17.
- [8] Zhang Lisheng, Shi Guangyu. The simulation and estimation of radiative properties and radiative forcing due to sulfate and soot aerosols [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2001, 25(2): 231-242(in Chinese).
- 张立盛, 石广玉. 硫酸盐和烟尘气溶胶辐射特性及辐射强迫的模拟估算 [J]. 大气科学, 2001, 25(2): 231-242.

作者简介: 倪志波 (1981-), 男, 山东胶州人, 博士研究生, 主要从事湍流大气光学特性研究。