

两种粒子计数器相结合测量大气气溶胶粒子折射率虚部

李学彬, 韩永, 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: 研究了两种粒子计数器, 其中以光散射为原理的粒子计数器测量的是光学等效直径, 测量结果受折射率的影响很大; 以粒子飞行时间为原理的粒子计数器测量的是空气动力学直径, 测量结果不受折射率的影响. 利用两种仪器的同时测量结果来计算大气的折射率, 并给出计算结果.

关键词: 大气气溶胶; 粒子计数器; 折射率虚部

中图分类号: P402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-606X(2006)S2-0001-04

1 前言

大气气溶胶是大气物理化学过程中的一个重要因素, 大气科学的很多领域都与气溶胶有关. 大气气溶胶对气候变化有重要的直接和间接的影响, 通过气溶胶粒子吸收和散射太阳辐射, 直接改变地-气系统的能量收支. 大气气溶胶粒子的折射指数虚部 n_i 是大气气溶胶吸收特性的一个重要参数, 它决定了大气气溶胶在辐射和气候效应中的作用是加热还是冷却. 在实际大气中, 由于气溶胶粒子化学成分的不同, 导致 n_i 的变化范围相当大. 近年来, 对大气气溶胶粒子折射率虚部的测量研究越来越引起广泛的重视.

本研究介绍一种测量大气气溶胶粒子折射率虚部的新方法. 首先简要介绍两种光学粒子计数器的工作原理(安徽光机所研制的 DLJ-92 光学粒子计数器和 TSI 公司的 APS3321 粒子计数器), 然后对两种粒子计数器相结合测量大气气溶胶粒子折射率虚部进行理论分析, 最后利用此方法对合肥地区测量的数据进行分析处理, 并论证了此方法的可行性.

2 仪器和测量原理

2.1 APS3321 粒子计数器

APS3321 粒子计数器采用双束激光的空气动力学粒径测量方法测量气溶胶粒子的粒径, 原理如图 1, 这种方法使用两束连续激光, 两激光束之间相距一定的距离 d , 将这两束激光平行并垂直于粒子飞行路径的轴线照射到沿着轴线飞行的气溶胶粒子上, 粒子与激光束碰撞产生的散射光分别被两个光电倍增管(PMT)接收, PMT 产生的电信号经过放大和整形, 再输入设计好的时标电路, 通过该时标电路就可以测出气溶胶粒子在这

两束激光间飞行所用的时间, 由此即可计算出粒子的飞行速度. 而气溶胶粒子的飞行速度与其粒径大小是紧密相关的, 气溶胶粒子束在发生绝热膨胀过程中, 由于气溶胶粒子惯性的不同, 气溶胶粒子将获得一个速度分布(一般在几百米/秒的数量级), 较小的粒子获得较大的速度, 而较大的粒子获得较小的速度. 利用这个性质, 先用已知粒径的标准粒子得到粒子飞行速度与粒径大小之间关系的定标曲线^[1](如图 2), 有了此定标曲线, 以后只要测出待测气溶胶粒子的飞行时间即可得到该粒子粒径的大小. 这种方法因不受气溶胶粒子本身所固有的性质如折射率、非球型等因素的影响, 从而大大提高了粒子粒径测量的精度.

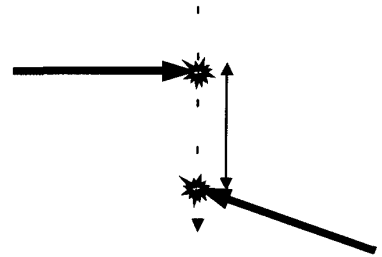


图 1 空气动力学粒径测量方法原理图
Fig.1 Sketch of APS3321 particle counter

2.2 光学粒子计数器

DLJ-92 多道光学粒子计数器(OPC)是利用粒子的光散射特性来测量粒子的数密度谱和浓度的. 由于它直接抽取环境空气, 不破坏粒子的悬浮状态, 所以测量结果能真实反映气溶胶粒子谱分布特征. 该仪器采用 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化为电脉冲, 以电脉冲的幅

收稿日期: 2006-08-17, 修回日期: 2006-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 40475019)

作者简介: 李学彬(1980-), 男, 安徽省太和县人, 博士研究生, 主要从事大气气溶胶光学特性方面的研究, E-mail: Lixuebin8011@yahoo.com.cn.

度来确定粒子的大小,以电脉冲的计数来确定粒子的浓度.它将半径为0.15~6.0 μm的粒子分成17档,其分档

半径如表1所示.标定仪器使用的标准粒子是折射率 $m=1.59$,直径为 (0.71 ± 0.05) μm的聚苯乙烯小球.

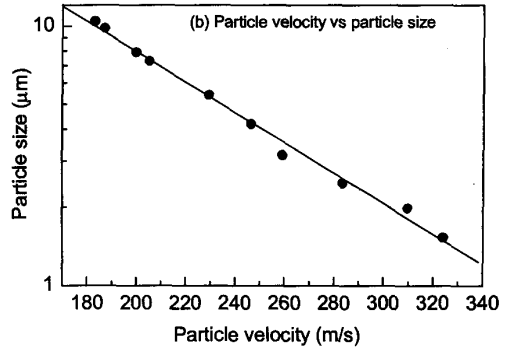
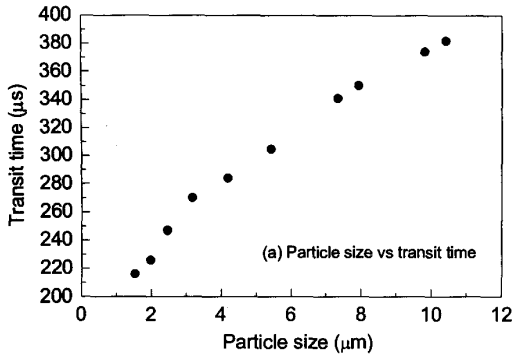


图2 颗粒飞行速度与粒径关系的标定
Fig.2 Calibration of particle velocity with particle size

表1 DLJ-92多道光学粒子计数器
Table 1 The channel radii of DLJ-92 OPC

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
r (m)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	6.00

3 理论分析

3.1 折射率对光学粒子计数器响应曲线的影响

根据球形粒子的Mie散射理论,分别计算了折射率实部和虚部对光学粒子计数器响应曲线的影响.由于对流层大气气溶胶实部 n_r 在1.50左右,所以首先假定折射率虚部不变($n_i=0.0$),改变折射率实部($n_r=1.30\sim 1.65$),以研究 n_r 对响应曲线的影响;然后假定折射率实部不变

($n_r=1.50$),改变折射率虚部($n_i=0.0\sim 0.07$),以研究 n_i 对响应曲线的影响.计算结果分别如图3(a)和3(b).由图3可以看出,虽然折射率实部从1.30到1.65有较大的变化,但响应曲线的变化并不明显;而折射率虚部变化时,光学粒子计数器的响应量的变化却很明显.可见光学粒子计数器响应曲线对大气气溶胶粒子折射率实部不敏感,而对折射率虚部非常敏感^[2].

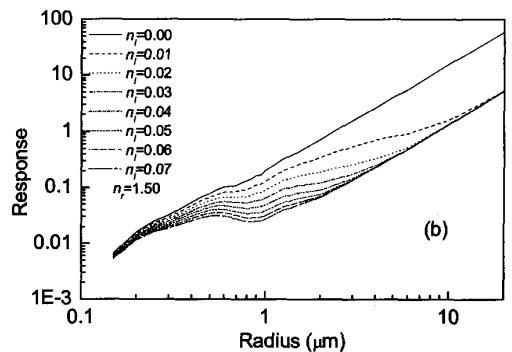
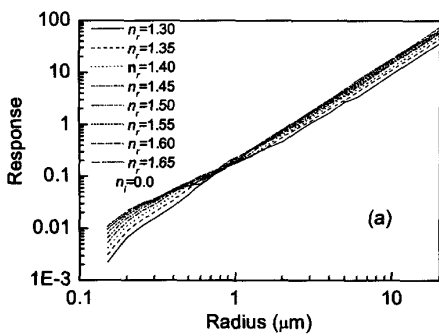


图3 折射率对DLJ-92多道光学粒子计数器响应曲线的影响
Fig.3 The response of OPC with different refractive index

3.2 n_i 的计算方法

这里的思路是找到某一个半径范围($R_a\sim R_b$),在半径 R_b 处折射率对响应量的影响很小,即 R_b 处不论粒子折射率如何变化,其响应量只有一个或两个固定值,而在 R_a 处,折射率对响应量的影响却非常大,不同折射率对

应的响应量值不同,这样不同半径处才能体现出差别.由图3可以看出,在半径为13 μm处,响应量只有两个值,所以在此处折射率虚部的影响是很小的;而在半径为1.38 μm处折射率对响应曲线的影响非常大.选用不同折射率虚部的响应曲线,所得到的在1.38~13 μm之

间的粒子数 N_i ($i=1, 2, \dots, 9$) 会有很大的差异. 设由 APS 3321 粒子计数器测量的 $1.38\sim 13\ \mu\text{m}$ 的粒子数为 N , 由于其不受折射率的影响, 所以在某一时刻测量的半径在 $1.38\sim 13\ \mu\text{m}$ 之间的粒子数 N 是固定的. 当 $N_i=N$ 时, N_i 所对应的折射率指数虚部就是当时所测大气气溶胶真实的折射率指数虚部.

确定 N_i 的具体步骤: 先选择折射率指数虚部 $n_i=0.0$ 的响应曲线作为粒子计数器的响应曲线, 对于不同折射率的响应曲线, 经标准粒子标定后, 在半径 R_a 处对应的纵坐标为 V_{ai} , 在半径 R_b 处对应的纵坐标为 V_{bi} , 粒子散射信号大于 V_{ai} 小于 V_{bi} 的粒子数即为 N_i .

4 测量结果

2005 年 7 月在合肥安徽光机所四楼实验室, 用

DLJ-92 多道光学粒子计数器和 APS3321 粒子计数器进行同步测量. 取 1 h 的平均(2005 年 7 月 17 日 10 点)的数据作为例子, 当粒子折射率虚部变化时, 两种仪器所测量的每立方厘米大气中 $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ (半径大于 $1.38\ \mu\text{m}$ 的粒子数) 如表 2.

由表 2 可以看出, 随着大气气溶胶粒子折射率虚部的增大, 由 DLJ-92 所测量的 $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ 也在增大, 而由 APS3321 所测量的 $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ 是不随粒子折射率变化的, 由图 4 可知, $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ 为 3.3 时对应的折射率虚部为 0.032. 图 5 是利用此方法计算合肥 3 d 的大气气溶胶折射率虚部, 由图 5 可以看出折射率虚部在 0.02~0.04 之间变化, 与胡欢陵等^[4,5]利用直接取样和积分片法的测量结果是一致的.

表 2 DLJ-92 OPC and APS3321 测量到的不同虚部下的 $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$

n_i	0.0	0.005	0.009	0.013	0.021	0.031	0.039	0.055	0.098
DLJ-92	0.26	0.45	0.61	0.81	1.50	2.80	6.40	17.10	42.20
APS3321	3.3								

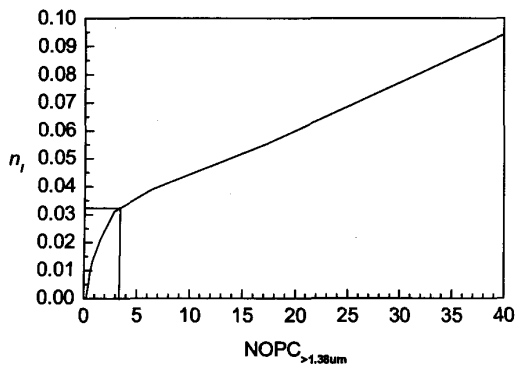


图 4 折射率虚部对 $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ 的影响
Fig.4 The $\text{NOPC}_{>1.38\mu\text{m}}$ curve for different n_i

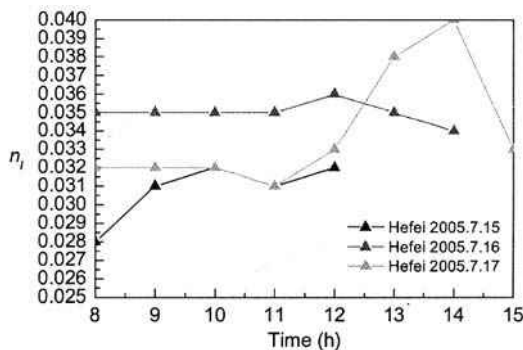


图 5 折射率虚部随时间的变化
Fig.5 The n_i curves for different time

5 结论

本研究详细介绍了利用两种不同原理的粒子计数器测量气溶胶粒子折射率虚部的原理、方法及一些实际测量结果. 与其他方法和以前的测量结果对比, 证明此方法是合理的. 这种方法的主要特点是可以实时测量大气气溶胶粒子的折射率虚部. 由于粒子表面不均匀和其他属性, 空气动力学直径与光学等效直径是存在差别的, 折射率实部也有一点影响, 所以此方法存在一定的测量误差, 还有待于进一步研究.

参考文献

- [1] 夏柱红, 方黎, 郑海洋, 等. 气溶胶单粒子粒径的实时测量方法研究 [J]. 物理学报, 2004, 53(01): 320-325.
- [2] 阎逢棋, 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.
- [3] Gerber H E, Hindman E E. First International Workshop on Light Absorption by Aerosol Particles: Background, Activities and Preliminary Results [J]. Bull. Am. Meteor. Soc., 1981, 62(9): 1321-1327.
- [4] 胡欢陵, 许军, 黄正. 中国东部若干地区大气气溶胶虚折射指数特征 [J]. 大气科学, 1991, 15(3): 18-24.
- [5] 胡欢陵, 阎峰旗, 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.

Measurement of Refractive Imaginary Part of Aerosol Particles with Two Particle Counters

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

*(Center for Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Heifei, Anhui 230031, China)*

Abstract: Two types of particle counters are described in this paper. The one measuring optical sizing of aerosol particles is greatly influenced by refractive imaginary part. The other one measuring aerodynamic sizing of aerosol particles is not influenced by refractive imaginary part. Based on the measurements with two types of particle counters, calculation of inverse refractive imaginary part is given.

Key words: aerosol; particle counter; refractive imaginary part