

光散射和消光参量对气溶胶折射系数的敏感性分析

李国华 张敬斌

胡欢陵 龚知本

(山东曲阜师范大学激光研究所, (中国科学院安徽光学精密机械研究所,
曲阜 273165) 合肥 230031)

摘 要 利用米氏理论,对满足不同 Junge 谱型气溶胶的后向散射、消光以及两者之比对其折射系数实部和虚部的敏感性进行了数值计算,得出了有益的结论.

关键词 气溶胶, 消光, 后向散射, 敏感性分析.

1 引 言

为进行理论分析,人们曾把气溶胶理想化为组成均一的多色散射球体^[1],事实上,气溶胶的组成比较复杂,它随地区的不同气象条件,地理位置等诸因素,而不同,且有各种不同的模式组合,每种模式都可由不同的折射系数和粒子谱来表示.由于对单一模式描述的多组分气溶胶,其粒子谱和折射系数的变化对散射及消光参数的影响是比较有效的分析方法.其次,由于可见及近红外波段气溶胶粒子折射系数和谱分布难以准确测量,利用敏感性分析,可揭示由折射系数及粒子谱分布的不确定和测量误差对光散射和消光参数的影响.此外,现代工业发展使大气气溶胶含量增加,这对地-气系统的影响,是增温效应还是冷却效应,主要取决于气溶胶折射系数的虚部^[2].但气溶胶折射系数的取样测量比较困难,而且探索遥感测量法的关键就是找出对气溶胶折射率最敏感的光散射和消光参量.这些,正是敏感性分析试图解决的问题.

2 理论计算

按 Mie 光散射理论,气溶胶消光系数 σ 和后向散射系数 β 分别表示为

$$\sigma = \pi \int_0^{\infty} r^2 n(r) Q_{ext}(n, r, \lambda) dr, \quad \beta = \pi \int_0^{\infty} r^2 n(r) Q_{back}(n, r, \lambda) dr \quad (1)$$

式中的 n 为气溶胶粒子复折射系数,可写为 $n = n_r - jn_i$, n_r , n_i 分别为折射系数实部和虚部, $n(r)$ 为气溶胶粒子谱分布, λ 为光波长, r 为气溶胶粒子半径, $Q_{ext}(n, r, \lambda)$ 和 $Q_{back}(n, r, \lambda)$ 分别为气溶胶粒子的消光因子和后向散射因子.其消光后向散射比 R 为:

$$R = \frac{\sigma}{\beta} = \frac{\int_{r_1}^{r_2} r^2 n(r) Q_{ext}(n, r, \lambda) dr}{\int_{r_1}^{r_2} r^2 n(r) Q_{back}(n, r, \lambda) dr} \quad (2)$$

式中 r_1, r_2 分别为粒子谱分布的上下限粒子半径. 当研究消光系数 σ 与折射指数 n 的变化关系时, 对 σ 的对数求微分得

$$d \ln \sigma = (d\sigma)/\sigma = S_{\sigma r} dn_r + S_{\sigma i} dn_i \quad (3)$$

$$S_{\sigma r} = (\partial \ln \sigma)/(\partial n_r), \quad S_{\sigma i} = (\partial \ln \sigma)/(\partial n_i)$$

式中 $S_{\sigma r}$ 和 $S_{\sigma i}$ 为气溶胶消光系数对折射系数实部和虚部敏感函数. 类似地对 β 和 R 的对数求微分, 得

$$S_{\beta r} = (\partial \ln \beta)/(\partial n_r), \quad S_{\beta i} = (\partial \ln \beta)/(\partial n_i) \quad (4)$$

$$S_{Rr} = (\partial \ln R)/(\partial n_r), \quad S_{Ri} = (\partial \ln R)/(\partial n_i)$$

式中 $S_{\beta r}; S_{\beta i}$ 及 $S_{Rr}; S_{Ri}$ 分别为气溶胶后向散射系数 β 及消光、后向散射比 R 对折射系数实部和虚部敏感函数.

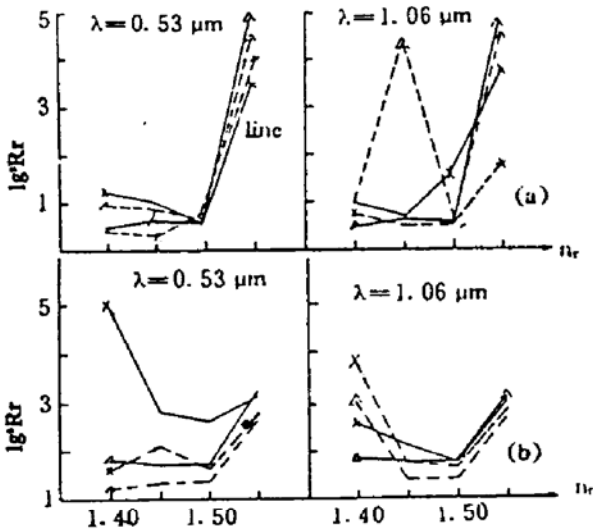


Fig. 1 The absolute sensitivity of the ratio of aerosol extinction to backscatter about real and imaginary parts of its refractive index. here (a) about real parts (b) about imaginary parts

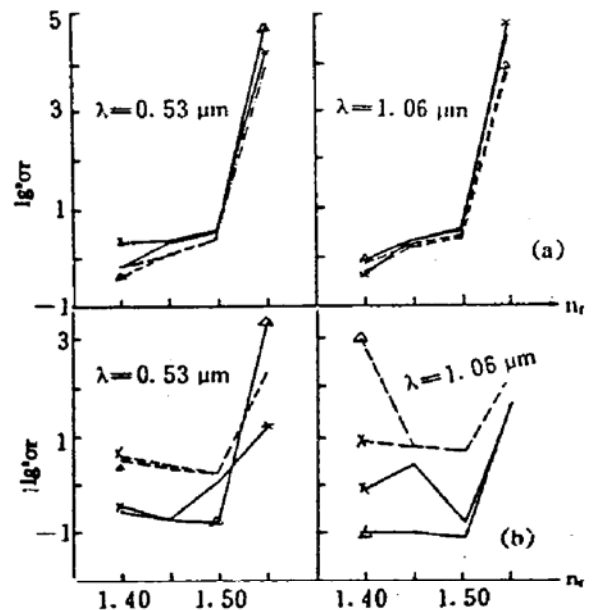


Fig. 2 The absolute sensitivity of aerosol extinction coefficient about real and imaginary parts of its refractive index. here (a) about real parts (b) about imaginary parts

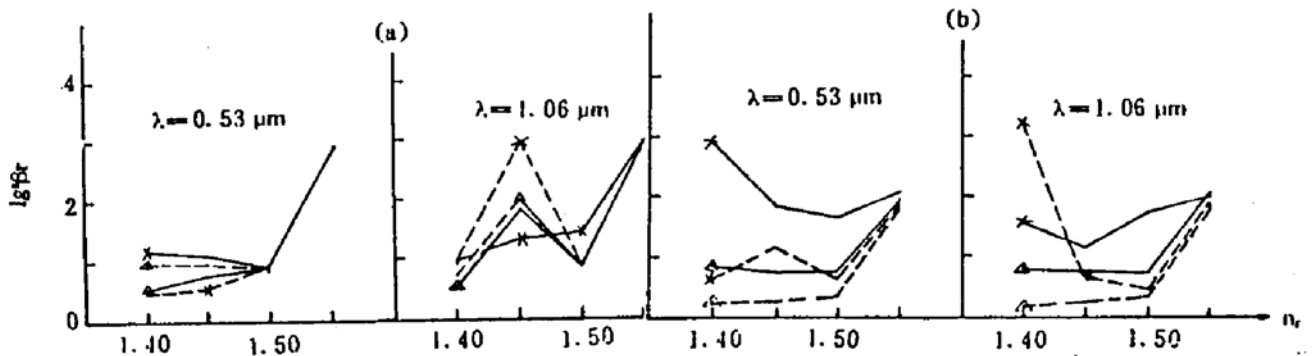


Fig. 3 The absolute sensitivity of aerosol backscatter coefficient about real and imaginary parts of its refractive index. here (a) about real parts (b) about imaginary parts

在敏感函数的计算过程中, 设气溶胶粒子谱分布为 Junge 谱, 在粒子区间 $0.1 \sim 30$

μm 范围内, 取 $n(r) = r^{-(\nu+1)}$; 在 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 内, 取 $n(r) = 0.1^{-(\nu+1)}$, 对于实际的大气气溶胶谱, 若以 Junge 谱拟合, 其 ν 值变化区间是 $2 \sim 4$. 为考察谱型对 σ , β , R 三个参数敏感函数的影响, ν 值取 2, 3, 4. 折射系数实部取 1.40, 1.45, 1.50, 1.55; 虚部取 0.0, 0.005, 0.01. 当前空间激光遥感技术, 测全球气溶胶和云的光学特性多选用 YAG 激光, 波长为 $1.064 \mu\text{m}$, 倍频后为 $0.532 \mu\text{m}$. 本文对这两个波长对应的敏感函数进行计算, 以考察波长对敏感函数的影响. 计算结果如图 1、图 2、图 3 所示. 给出了波长折射系数实部及虚部; 不同粒子谱型对三个参量敏感函数的影响.

讨 论 1) 气溶胶消光系数对折射系数实部和虚部的变化一般不太敏感, 当实部为 1.55 时, 消光系数对实、虚部敏感函数有一突变, 其绝对值比其它实部要大 $2 \sim 4$ 个量级. 波长和粒子谱型对消光敏感函数影响较小.

2) 后向散射系数对折射系数实、虚部的变化都较敏感, 其中对虚部的敏感函数绝对值在 $10 \sim 10^5$ 量级内变化, 要比对实部的敏感函数绝对值大 $1 \sim 2$ 个数量级. 随着粒子谱分布中大粒子的增加, 后向散射系数对虚部敏感性增强, 而对实部的敏感性变化较小. 波长对敏感函数的影响不大.

3) 消光后向散射比对折射系数实部和虚部的变化都比较敏感, 且对虚部的敏感函数绝对值要比对实部的大 $1 \sim 2$ 个数量级. 随着粒子谱中大粒子的相对增加 (ν 减小), 消光后向散射比, 对虚部的敏感性增强, 对实部的敏感性变化较小.

实测气溶胶折射系数时, 其实部一般取到 1.50^[3]. 而通过对其敏感函数的分析可知, 当消光系数实部为 1.55 时, 其对实部及虚部的敏感函数; R 对实部的敏感函数, 其绝对值都较其它实部大 $2 \sim 4$ 个量级, 这一结果为进一步对气溶胶折射指数研究提供了理论依据.

参 考 文 献

- [1] S. G. Jennings, P. G. Pinnick, H. J. Auvermann, Effects of particulate complex refractive index and particle size distribution variations on atmospheric extinction and absorption for visible through middle ir wavelengths. *Appl. Opt.*, 1978, 17(24): 3922~3929
- [2] 邱金桓, 周秀骥, 赵燕曾, 角散射法遥感气胶折射率的理论分析. *中国科学(B)*, 1984, 10: 961~970
- [3] 谭锬, 胡欢陵, 光学粒子计数器测量结果的订正, *光学学报*, 1984, 4(1): 55~60

Sensitivity Analyses of Light Scattering and Extinction Parameters to the Aerosol Refractive Index

Li Guohua Zhang Jingbin

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu 273165)

Hu Huanling Gong Zhiben

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

(Received 22 April 1993; revised 22 June 1993)

Abstract By using Mie theory of light scattering, under different type of the Junge size distribution, the numerical calculations were carried out about the sensitivity of the ratio of aerosol extinction to backscatter, extinction and backscatter to real and imaginary parts of aerosol refractive index. Some useful conclusions were obtained.

Key words Aerosol, extinction, backscatter, sensitivity analyses.