

气溶胶粒径区间对其消光、后向散射及消光后向散射比影响的数值分析

张敬斌* 胡欢陵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 230031)

提 要

我们利用 Junge 谱对多道光电粒子计数器的测量谱进行了模拟, 根据光散射的米氏理论, 考察了气溶胶小粒子对其消光、后向散射及消光后向散射比的影响情况, 对估计由实测谱及折射指数计算以上三个参量所带来的误差具有一定参考价值。

关键词: 气溶胶; 消光; 后向散射。

一、引 言

激光雷达为探测大气气溶胶光学特性提供了一种良好工具, 然而正是在定量描述气溶胶光学特性方面, 一些理论上的困难至今尚未很好解决。主要困难在于激光雷达方程具有两个未知数, 为了得到唯一的数值解, 必须引入新的信息^[1]。普遍的做法就是假定大气消光系数与后向散射系数之比为常数, 在此假设条件下如何确定该比值及激光雷达方程的边界条件成为主要问题。气溶胶消光后向散射比可由气溶胶粒子谱分布及折射指数利用米氏理论计算得出, 进而求出大气消光后向散射比。由于多道光电粒子计数器性能的限制, 其测量的气溶胶粒子谱分布的粒径区间一般为 $0.2 - 20\mu\text{m}$ 左右, 而大气中气溶胶粒子半径一般处于 $0.01 - 30\mu\text{m}$ 之间, 况且小粒子在谱分布中所占的相对比例较大, 因此, 有必要研究粒径处于 $0.01 - 0.2\mu\text{m}$ 之间的小粒子对气溶胶消光、后向散射及消光后向散射比的影响。

我们利用 Junge 谱对 18 道光电粒子计数器的测量谱进行了模拟, 并对模拟测量谱进行了外推, 研究了气溶胶粒子谱形及折射率变化条件下, 小粒子对于气溶胶消光、后向散射及两者之比的影响情况, 以此来估计利用实测气溶胶粒子谱及对应的折射率计算以上三个参量所产生的计算误差的大小。

二、测量谱的模拟与参数计算

以往的测量表明: 气溶胶粒子谱很好地遵循 Junge 谱分布, 而粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的粒谱分布满足 $0.1\mu\text{m}$ 处的 Junge 谱分布。因此我们采用 Junge 谱 $n(r) = r^{-(1+\alpha)}$ 对多

1991年12月20日收到, 1992年4月20日收到修改稿。

* 张敬斌同志现在曲阜师范大学激光研究所工作。

道光电粒子计数器的测量谱进行模拟,而粒径位于 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 之间的粒谱分布取 $n(r) = 0.1^{-(v+1)}$.

首先对不同折射率所对应的18道光电粒子计数器的名义分档半径进行订正,设 $r_i (i=1 \dots 18)$ 为订正后的分档半径.

假定对应于折射率 m , 位于粒径区间 $\Delta r_i = r_{i+1} - r_i (i=1 \dots 17)$ 内的气溶胶粒子数密度为 $\Delta N_i (i=1 \dots 17)$, 并且约定 Δr_i 区间内粒子谱分布为常数, 其值等于 r_i 与 r_{i+1} 算术平均值 r'_i 处的粒子谱分布, 即

$$\left(\frac{\Delta N}{\Delta r} \right)_i = r_i^{-(v+1)} \quad (i=1 \dots 17), \quad (1)$$

其中

$$r'_i = \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \quad (i=1 \dots 17). \quad (2)$$

利用(1)式就可模拟18道光电粒子计数器的测量谱. 在模拟过程中, 令 Junge 谱参数 v 取 2, 3, 4 三个数值, 而折射率实部和虚部分别取不同值.

由米氏理论可知, 气溶胶消光系数 σ 及后向散射系数 β 可分别表示为

$$\sigma = \int_0^\infty \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) n(r) dr, \quad (3)$$

$$\beta = \int_0^\infty \pi r^2 Q_{\text{back}}(m, r, \lambda) n(r) dr. \quad (4)$$

式中 $Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda)$ 和 $Q_{\text{back}}(m, r, \lambda)$ 分别为气溶胶粒子的消光效率因子和后向散射效率因子, $m = n_r - in_i$ 为气溶胶粒子复折射率, n_r 为折射率实部, n_i 为虚部, r 为气溶胶粒子半径, λ 为光波长, 在我们的研究中, λ 取 $0.53 \mu\text{m}$, $n(r)$ 为气溶胶粒子谱分布.

由于实际大气中气溶胶粒径上、下限不可能为零和无穷大, 通常取与折射率 m 相对应的测量谱 $n(r)$ 的粒径上、下限 r_1, r_2 作为积分上、下限. 假定在粒径区间 $\Delta r_i (i=1 \dots 17)$ 内气溶胶粒子谱分布为常数, (3), (4) 两式变为

$$\begin{aligned} \sigma &= \int_{0.01}^{r_{18}} \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) n(r) dr \\ &= 0.1^{-(v+1)} \int_{0.01}^{0.1} \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) dr + \sum_{i=1}^{17} \left(\frac{\Delta N}{\Delta r} \right)_i \int_{r_i}^{r'_{i+1}} \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) dr \\ &= 0.1^{-(v+1)} \int_{0.01}^{0.1} \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) dr + \sum_{i=1}^{17} \left(\frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^{-(v+1)} \int_{r_i}^{r'_{i+1}} \pi r^2 Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) dr, \quad (5) \end{aligned}$$

$$\beta = 0.1^{-(v+1)} \int_{0.01}^{0.1} \pi r^2 Q_{\text{back}}(m, r, \lambda) dr + \sum_{i=1}^{17} \left(\frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^{-(v+1)} \int_{r_i}^{r'_{i+1}} \pi r^2 Q_{\text{back}}(m, r, \lambda) dr. \quad (6)$$

气溶胶消光后向散射比 R 可表示为

$$R = \frac{\sigma}{\beta} . \tag{7}$$

令在外推粒径区间内计算出的消光及后向散射系数分别为 σ_0 和 β_0 , 未外推计算出的消光、后向散射及消光后向散射之比分别为 σ' , β' 和 R' , 则

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma' , \tag{8}$$

$$\beta = \beta_0 + \beta' , \tag{9}$$

$$R' = \frac{\sigma'}{\beta'} . \tag{10}$$

我们以 σ 、 β 和 R 作为真值, 那么未经外推计算出的该三个参量的相对误差分别表示为

$$\delta_{\sigma} = \frac{\Delta \sigma}{\sigma} = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} = \frac{\sigma_0}{\sigma} , \tag{11}$$

$$\delta_{\beta} = \frac{\Delta \beta}{\beta} = \frac{\beta - \beta'}{\beta} = \frac{\beta_0}{\beta} , \tag{12}$$

$$\delta_R = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R - R'}{R} = 1 - \frac{1 - \delta_{\sigma}}{1 - \delta_{\beta}} . \tag{13}$$

以 δ_{σ} 、 δ_{β} 和 δ_R 三个参量来估计粒径区间对气溶胶消光、后向散射及消光后向散射比的影响效果.

三、结果与分析

利用多道光电粒子计数器的模拟测量谱及假定的气溶胶粒子折射率得出计算结果如表所示.

气溶胶粒径区间对其消光、后向散射及消光后向散射比的影响结果 (%)

谱参数		$v=2$			$v=3$			$v=4$		
折射率	n	δ_{σ}	δ_{β}	δ_R	δ_{σ}	δ_{β}	δ_R	δ_{σ}	δ_{β}	δ_R
	n_r									
1.40	0.007	8.8	0.12	8.7	34.0	2.66	33.0	59.0	21.2	52.9
1.50		8.5	0.04	8.5	32.4	0.80	31.8	55.6	5.6	52.9
1.60		9.1	0.04	9.1	32.9	0.63	32.7	54.9	4.8	53.7
1.40	0.03	11.6	0.2	11.5	42.5	6.2	40.3	67.9	36.5	57.6
1.50		10.6	0.08	10.5	38.9	2.6	37.2	63.1	17.7	55.2
1.60		10.2	0.1	10.2	36.7	2.3	35.8	59.5	13.6	56.2
1.40	0.06	17.1	0.2	17.0	56.0	6.3	54.1	79.9	48.8	68.0
1.50		13.2	0.08	13.0	46.8	3.4	44.9	71.3	32.5	57.5
1.60		13.1	0.1	13.0	46.5	4.2	45.4	71.1	25.4	66.2

从表中的计算结果可以看出：

1. 对于同一折射率 m , 随着谱参数 ν 的变大, 即粒谱分布中小粒子所占相对比例增加, 气溶胶消光及后向散射的相对误差增加。这是因为 ν 增加时, 外推区间内气溶胶消光及后向散射相对增加, 而未经外推的粒径区间内气溶胶消光及后向散射却相对减小, 即小粒子对气溶胶总的消光及后向散射贡献不大。因此随着粒谱分布中小粒子所占相对比例增加, 粒径区间对气溶胶消光及后向散射的影响变大, 且消光比后向散射所受的影响大1—2个数量级。

2. 谱参数 ν 一定时, 同一折射率实部, 随着虚部的增加, 小粒子对气溶胶消光及后向散射的影响都变大, 但变化程度不同, 后向散射较消光所受的影响程度大一些, 这主要由于气溶胶后向散射对折射率虚部的敏感性比消光强的缘故。同一折射率虚部, 随着实部的增加, 消光所受小粒子的影响逐渐减弱, 而后向散射所受影响的变化趋势不明显, 与粒谱分布有关。

3. 小粒子对气溶胶消光及后向散射的影响决定了两者之比变化情况, 随着小粒子在粒谱分布中所占相对比例以及折射率虚部的增加, 气溶胶消光后向散射比受小粒子的影响程度变大。

四、结 论

由于气溶胶消光、后向散射及两者之比受小粒子的影响程度不同, 因此在利用实测气溶胶粒子谱及折射率计算此三个参量时, 应对造成的误差予以适当的估计。气溶胶消光后向散射之比仅与粒子谱形及粒子构成(折射率)有关, 与气溶胶粒子的绝对浓度无关, 因此计算该参量时避免了因测量浓度的不准确性造成的计算误差。但当折射率虚部较高且小粒子在粒谱分布中所占相对比例较大时, 计算气溶胶消光后向散射比所带来的相对误差较大, 必须予以考虑。我们仅用有代表性的 Junge 谱对多道光电粒子计数器的测量谱进行了模拟, 如用其它谱型也会得出同样的结果。

参 考 文 献

- [1] 吕达仁等, 1977, 低层大气消光系数分布的激光探测, 大气科学, 1(3), 199—205.

Numerical Analyses of the Effects of Size-Interval on Aerosol Extinction, Backscatter and the Ratio of Extinction to Backscatter

Zhang Jingbin Hu Huanling

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Using Junge spectrum approximation we simulated the measured particle size distribution

with a multiple-channel-optoelectronic counter. On the basis of Mie theory of light scattering, we studied the effects of size-interval on aerosol extinction, backscatter and the ratio of extinction to backscatter. The results are useful to estimate the errors caused by the calculations by using measured particle size distribution and refractive index.

Key words: Aerosol; Extinction; Backscatter.

(上接第 554 页)

于受夏季风的影响, 有很大的年际变化, 这种年际变化在很大程度上影响着我国的旱涝。(2) 在气候模式和气候模拟方面的研究, 取得了很大进展, 建立了我国自己的 2 层、9 层大气环流模式和 4 层、8 层、14 层海洋环流模式, 并建立了海气耦合的气候模式。并已在把生态过程初步引进到气候模式中, 这些模式都带有我国研究成果的鲜明特色而受到国际的重视。利用这些模式已对气候的年际、季节和季节内的变化及异常进行了数值模拟, 模拟了海洋的季节和年际变化, 特别是对 1983—1989 年 ENSO 循环的模拟很令人满意。用气候模式还模拟了二氧化碳倍增时全球的增温效应, 并用气候模式进行了季度和跨季度的即所谓短期气候变程的预测, 取得了与实况较接近的预测结果。目前, 我国的气候模式也加入了国际气候模式的比较计划之中。(3) 研究了关于气候变化的成因及其机制, 提出了一些新的见解, 得到了一些新的理论结果。指出亚洲季风中存在着东亚季风和南亚季风两个子系统, 提出北方涛动的概念, 发现季风在 ENSO 形成中的作用以及暖池与高原对东亚夏季风的影响。在气候动力理论方面, 提出了连续谱对西风气流的滋养机制; 东亚北美型遥相关及其可能的解释; 低频波对阻高形成与维持的作用; 不稳定海—气相互作用。(4) 对热带西太平洋区域的海—气相互作用和黑河地区的陆地相互作用的物理参数进行了较系统的观测研究; 为 TOGA COARE 计划的形成以及世界西太平洋暖池的研究作出了重要贡献。(5) 整理、收集了我国和全球一些重要的气候资料, 建立了为气候研究服务的气候资料数据信息库。

与会专家一致认为, 目前国际上关于气候研究的进展迅速, 不断提出新的重大的国际气候研究合作计划。为了我国气候研究能够持续发展, 使我国的气候研究加入到国际先进行列, 迫切需要解决如下几个问题:

(1) 目前气候研究经费严重不足, 许多对国民经济有重大意义的研究无法进行, 对气候变化的许多基本理论问题难于进行深入的研究, 希望国家有关部门在“九五”期间能够给予更大的资助, 如气候动力学和气候预测的基本理论问题、华北干旱和东亚季风研究等, 国家应该予以重视并给予足够的经费支持。

(2) 为了加强我国各气候研究项目之间的交流和气候研究单位的合作以及提出与国际气候研究计划相对应的我国气候研究计划, 应该充分发挥并进一步加强气候研究委员会的作用, 我国国家级和部级有关气候研究的项目可以说是不少的, 但由于缺乏统一的计划和协调, 出现了经费分散、研究工作重复和重点不够突出等问题, 这是需要认真加以解决的。另外, 气候研究委员会本身的活动, 有关方面应给予必要的经费支持。

(3) 希望各气候研究项目能够充分利用国际合作和交流的机会, 扩大我国气候研究成果在世界大气科学界的影响, 使我国在世界气候研究计划中得到应有的地位。

(张人禾、郭裕福、黄荣辉供稿)