

# 大气消光系数的透过率迭代法求解研究

张敬斌

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

胡欢陵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥, 230026)

摘要: 通过激光雷达对近地面层大气探测, 利用透过率迭代法导出了大气消光系数的求解公式。

关键词: 消光系数 激光雷达 透过率

## Solution of atmosphere extinction coefficient by transmittance iteration method

Zhang Jingbin

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Hu Huanling

(Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** By means of lidar measurement of near-ground atmosphere and transmittance iteration method, a formula about the atmosphere extinction coefficient is established. This method is original and easy to apply.

**Key words:** extinction coefficient lidar transmittance

实验结果表明, 这一腔结构的输出模式, 在非稳方向远场发散角为 2.25mrad; 在波导方向是 TE<sub>0</sub> 波导模, 远场发散角为 4.7mrad。实验还发现, 12mm 波导腔的非稳方向远场主峰侧有一较大次峰, 认为这是由于侧边壁的影响增强的缘故, 因而这种结构不宜采用较窄的波导腔。

### 参 考 文 献

- 1 Abramski K M, Colley A D, Baker H J *et al.* A P L, 1989; 54(19): 1833
- 2 Jackson P E, Baker H J, Hall D R. A P L, 1989; 54(20): 1950
- 3 Nowack R, Opower H, Wessel K *et al.* L & O, 1991; 23(3): 68
- 4 兰 戈, 赵 刚, 顾彦华 *et al.* 激光技术, 1993; 17(2): 90

作者简介: 兰 戈, 男, 1962 年 8 月出生。工程师, 工学硕士。现从事 CO<sub>2</sub> 激光器的研究工作。

收稿日期: 1993-07-28

## 一、引言

激光雷达是一种很好的遥感工具,它具有很高的空间和时间分辨率。用它可探测诸多大气参数,如:大气消光及后向散射系数,气溶胶模式研究,大气能见度等,但由于激光雷达方程中含有两个未知数,因此,须借助于其它手段方可反演出有关上述参数的信息。我们通过激光雷达对近地面层大气的水平测量,利用透过率迭代法导出了大气消光系数的迭代求解公式,该方法可通过计算机对测量数据进行自动处理,进而得出所需参数。

## 二、透过率迭代法

大气探测激光雷达方程为<sup>[1]</sup>

$$V(r) = [C_A E \beta(r) / r^2] T^2(r) \quad (1)$$

式中,  $V(r)$  为接收到的探测距离  $r$  处的激光大气回波电压。

$$T^2(r) = \exp\left[-2 \int_0^r \sigma(r') dr'\right] \quad (2)$$

为大气双程透过率。  $C_A$  为激光雷达仪器常数,  $E$  为激光脉冲能量,  $\beta(r)$ ,  $\sigma(r)$  分别为大气后向散射及消光系数。

在水平均匀的假设条件下,可利用最小二乘法求出大气消光系数。由于大气后向散射的小尺度起伏及量子噪声的影响,在大气消光系数很小时,用最小二乘法求出的该参数的误差有时可高达几十到一百。鉴于此,我们利用大气双程透过率导出了水平方向上的大气消光系数求解公式。

对(2)式进行距离微分得:

$$dT^2(r)/dr = -2\sigma(r)T^2(r) \quad (3)$$

一般情况下设大气消光与后向散射系数间满足关系式:

$$\sigma(r) = R(r) \cdot \beta(r) \quad (4)$$

式中,  $R(r)$  为大气消光后向散射之比,它是距离的函数,则(3)式变为

$$dT^2(r)/dr = -2r^2 V(r) R(r) / (C_A E) \quad (5)$$

对(5)式进行距离积分得:

$$T^2(r) - T^2(r_{m_2}) = 2 \int_{r_{m_2}}^r \frac{R(r')}{C_A E} r'^2 V(r') dr' \quad (6)$$

$$T^2(r_{m_1}) - T^2(r_{m_2}) = 2 \int_{r_{m_1}}^{r_{m_2}} \frac{R(r)}{C_A E} r^2 V(r) dr \quad (7)$$

(6), (7)两式联立得:

$$T^2(I) = T^2(m_2) + [T^2(m_1) - T^2(m_2)] \frac{\int_{r(I)}^{r(m_2)} R(r') r'^2 V(r') dr'}{\int_{r(m_1)}^{r(m_2)} R(r') r'^2 V(r') dr'} \quad (8)$$

式中,  $r(I) = r = 0.18 + 0.015I$ ,  $I$  为大气分层序数,  $T^2(I) = T^2(r(I))$ ,  $T^2(m_1) = T^2(r(m_1))$ ,  $T^2(m_2) = T^2(r(m_2))$ 。假定大气水平均匀,则大气消光系数与后向散射系数之比与探测距离无关,为一常数。由(2)式得:

$$T^2(I) = \exp[-2\sigma r(I)] \quad (9)$$

由(8),(9)两式求得大气消光系数及大气透过率分别为:

$$T^2(I) = T^2(m_2) + [T^2(m_1) - T^2(m_2)] \frac{\int_{r(m_1)}^{r(I)} r^2 V(r) dr}{\int_{r(m_1)}^{r(m_2)} r^2 V(r) dr} \quad (10)$$

$$\sigma(I) = -\ln T^2(I) / [2r(I)] \quad (11)$$

利用(10),(11)两式,结合斜率法<sup>[2]</sup>,通过迭代确定出水平方向上的气溶胶消光系数,具体迭代过程如下:

1. 由斜率法求出水平方向上的大气消光系数,作为迭代过程的初值  $\sigma^{(0)}$ 。

对激光雷达进行距离订正,令:

$$S(r) = \ln[r^2 V(r)] = \ln C_A E \beta(r) - 2 \int_0^r \sigma(r') dr' \quad (12)$$

上式进行距离微分得:

$$ds(r)/dr = [1/\beta(r)] [d\beta(r)/dr] - 2\sigma(r) \quad (13)$$

在水平均匀的假设条件下,  $d\beta(r)/dr=0$ ,由(13)式可求出大气消光系数的初值  $\sigma^{(0)}$ 为:

$$\sigma^{(0)} = -\frac{1}{2} \frac{S(m_2) - S(m_1)}{r(m_2) - r(m_1)}$$

式中:  $S(m_1) = S(r(m_1))$

$S(m_2) = S(r(m_2))$

2. 由(2)式得出探测距离  $r(m_1), r(m_2)$  处大气双程透过率表达式:

$$T^2(m_1) = \exp[-2\sigma^{(0)}r(m_1)]$$

$$T^2(m_2) = \exp[-2\sigma^{(0)}r(m_2)]$$

3. 由(10)式求出任一探测距离  $r=r(I)$  处的大气双程透过率  $T^2(I), (I=m_1, \dots, m_2)$ 。

4. 由(11)式求出任一探测距离  $r=r(I)$  处的大气消光系数  $\sigma(I), (I=m_1, \dots, m_2)$ 。

5. 求出探测距离  $r(m_1) - r(m_2)$  距离区间内大气消光系数及均方根误差。

$$\sigma^{(1)} = \bar{\sigma} = \frac{1}{m} \sum_{m_1}^{m_2} \sigma(I)$$

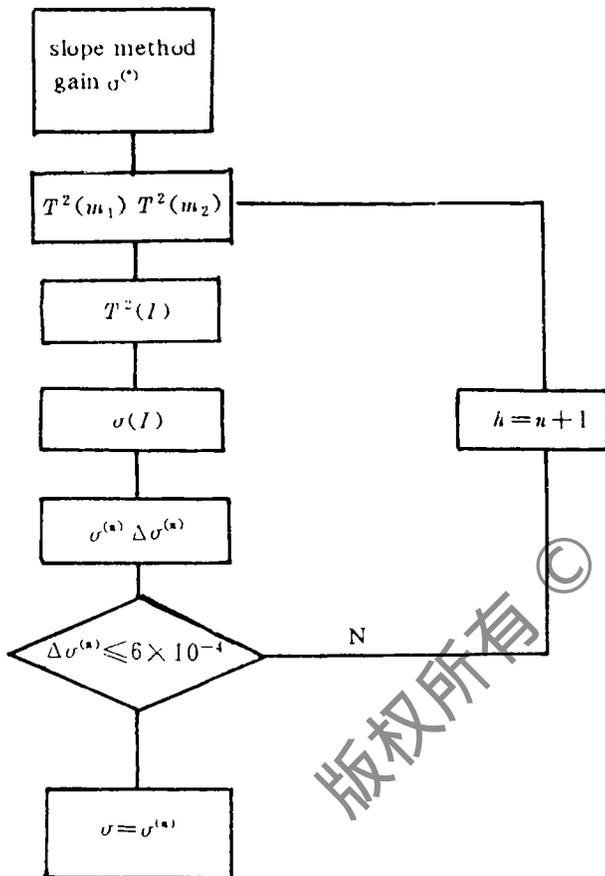


Fig. 1 Transmittance iteration block diagram solution of  $\sigma(0)$  by slope method

$$\Delta\sigma^{(1)} = \left\{ \frac{1}{m-1} \sum_{m_1}^{m_2} [\sigma(I) - \sigma^{(1)}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

6. 将  $\sigma^{(1)}$  代入 (2)~(5) 式中循环计算。

7. 当满足条件:  $\Delta\sigma^{(n)} \leq 6 \times 10^{-4}$  ( $n \geq 1$ ) 或迭代次数  $n \geq 20$  时, 即以  $\sigma^{(n)}$  作为水平方向上大气消光系数。

利用此迭代法计算大气消光系数, 能很快地收敛到稳定值, 这主要是由于在迭代过程中引入了比值:

$$\alpha(I) = \int_{r(I)}^{r(m_2)} r^2 V(r) dr / \int_{r(m_1)}^{r(m_2)} r^2 V(r) dr$$

它消除了量子噪声及后向散射引起的小尺度起伏。迭代法的精确与否完全依赖于  $\alpha(I)$  值的精度, 其精度又与积分  $\int r^2 V(r) dr$  的精度有关, 该积分精度取决于回波电压  $V(r)$  及距离  $r$  的精度。

以上迭代过程可绘成如框图 1。由计算机自动处理数据, 实现透过迭代获取水平方向大气消光系数。

### 三、结果与分析

我们利用激光雷达 Lidar-625, 对近地层大气进行探测, 距离订正回波如图 2 所示, 为对比起见, 我们也利用最小二乘法对距离订正回波进行了拟合, 拟合直线如图 2 中给出的。

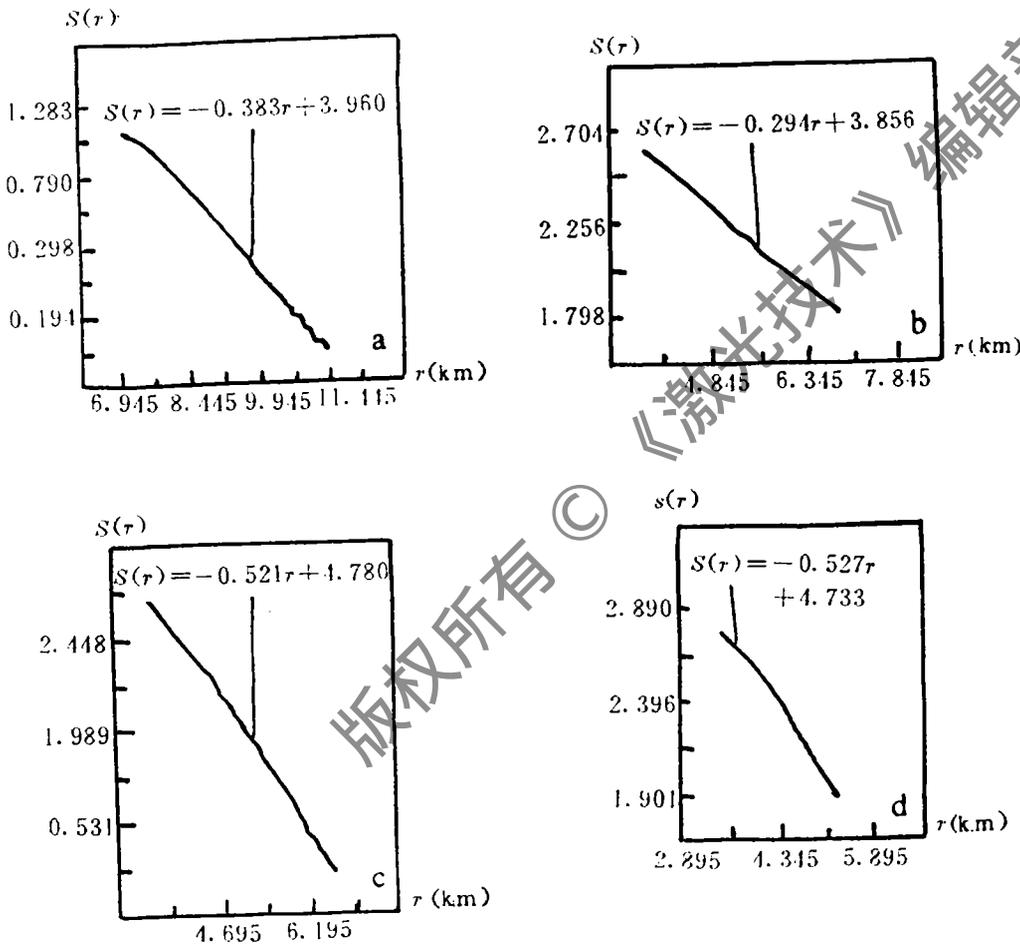


Fig. 2 Lidar echo range correct curves at different time

从上图可以看出:不同时刻的回波曲线并不重合,这与当时的天气条件有关,在测量过程中有大风,造成近地面层气溶胶粒子浓度的不均匀,从而使激光在水平方向上的衰减与后向散射随时间发生变化;曲线不重合的另一原因是由于激光能量输出的不稳定造成的。

由于探测器噪声及后向散射的起伏,使不同时刻所对应的回波曲线的范围不同,可以看出,不同时刻的回波曲线上都存在一距离区间,在该区间内,距离订正回波  $S(r)$  随  $r$  的增加而线性递减,因此可假定大气水平均匀,分别用最小二乘法 and 透过率迭代法求出不同时刻的大气消光系数,计算结果如附表所示:

Table Atmosphere extinction coefficient in horizontal direction

No.	distance range (km)	least square method		iteration method
		$\sigma$	correlation coefficient	$\sigma$
a	7.395~11.58	0.1915±0.0006	0.998	0.1833±0.0003
b	3.885~7.095	0.1470±0.0013	0.998	0.1420±0.0003
c	3.795~6.780	0.2605±0.0033	0.998	0.2439±0.0006
d	3.645~5.280	0.2635±0.0007	0.992	0.2654±0.0003

通过对比发现用两种方法求出的大气消光系数相差不大,说明利用透过率迭代法求水平方向上大气消光系数的方法是可行的,值得扩大,该方法只需通过编程,由计算机即可实现,所需机时很少。

## 参 考 文 献

- 1 周诗健,陶丽君,朱文琴. 大气科学, 1981;5(4):444
- 2 James D K. Appl Opt. 1981;20(2):211

作者简介:张敬斌,男,1964年5月1日出生。助教。现从事激光偏光技术工作。

收稿日期:1993-05-08 收到修改稿日期:1993-09-17

## · 产品简讯 ·

## 整装的激光二极管系统

整装的高功率激光二极管系统包含激光二极管阵列、热控器件和光纤输出。应用包括:医学治疗、工业热处理、软硬焊操作以及用于雕刻工艺工作的材料烧蚀技术。这种系统可直接通入普通的110V电源,可提供达18W的连续功率。

译自 L F World, 1994;30(1):153 张贤义 译 巩马理 校