

# 合肥地区低层大气后向散射特性参数的 测量与分析\*

许 冰 姜文汉

(中国科学院光电技术研究所 成都 610209)

吴永华 胡欢陵

(中国科学院安徽光机所 合肥 230031)

**提要** 报道了于 1997 年 3 月和 5 月在安徽光机所进行的低层大气后向散射特性参数测量, 获得了对 532 nm 光的低层大气后向散射特性参数数据, 并对测量结果进行了分析。

**关键词** 大气后向散射, 自适应光学, 激光导引星

## 1 引 言

自适应光学技术是一种光学反馈控制技术。可用于补偿静态和动态像差对光学系统的影响, 使系统始终处于最好的工作状态。

长期以来, 困扰自适应光学技术广泛应用的主要问题是在自适应光学系统要补偿的光路中, 难以找到提供整个光路像差信息(或称误差信号)的信标, 使其不能闭环工作。近年来, 随着激光导引星概念的提出, 对于自适应光学在天文观测和大气传输补偿等应用领域找到了一条可行的解决途径<sup>[1]</sup>。

激光导引星原理是将一束激光发射到要补偿的大气光路中, 利用大气对光的各种散射产生返回光, 在返回途中携带有所需光路像差信息的特点, 可以探测出自适应光学系统闭环工作所需的误差信号。在这种信标中, 大气后向散射特性是影响信标亮度的重要参数之一, 也是影响自适应光学系统补偿精度的重要因素。因此, 掌握大气后向散射特性的实测数据对进行激光导引星的研究是十分必要的。

1997 年 3 月和 5 月中国科学院光电技术研究所和安徽光机所合作, 用其激光雷达进行了低层大气后向散射特性测量实验, 获得了一批数据, 下面将详细说明实验过程, 并对结果进行初步分析。

## 2 实验原理

实验原理如图 1 所示。由发射望远镜将一束激光发射进入大气层, 由于大气对光的散射, 光在传输的途径上均有后向散射光返回。在发射望远镜旁安装一台接收望远镜, 其上安装一

\* 国家 863 高技术资助项目。

收稿日期: 1998-11-02; 收到修改稿日期: 1999-01-26

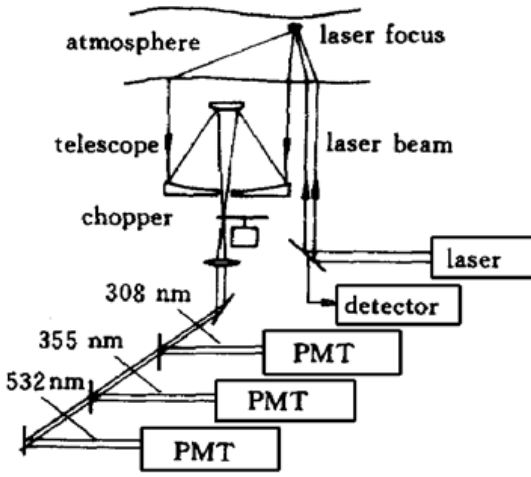


图 1 大气后向散射特性测量原理示意图

Fig. 1 Schematic of the measurement system for the atmospheric scattering

个光开关, 通过控制光开关的延时时间和开门时间来选择探测不同高度和厚度上的大气散射光, 同时用能量计检测发射激光的能量, 就可根据激光雷达方程, 计算出大气在各高度上对光的后向散射特性参数。

由激光雷达方程可知, 当发射出一束能量为  $E$  (J) 的激光, 在大气层高度  $z$  (m) 上, 收集到  $\Delta z$  (m) 厚度的散射光子数  $N$  为

$$N = A_r \eta T^2(z, \lambda) \Delta z \mathcal{N} E \beta(z, \lambda) / z^2 hc = A_r \eta \Delta z \mathcal{N} E B(z, \lambda) / z^2 hc \quad (1)$$

其中,  $A_r$  为接收系统的探测面积;  $\eta$  为发射和接收光学系统的总效率, 包括探测器的光电转换量子效率;  $\lambda$  为发射激光波长 (nm);  $T(z, \lambda)$  为在高度  $z$  处, 对  $\lambda$  波长光的单程大气透过率;  $\beta(z, \lambda)$  为在高度  $z$  处, 对波长  $\lambda$  光的大气后向散射系数 ( $\text{m}^{-1} \text{Sr}^{-1}$ );  $h$  为普朗克常数;  $c$

为光速。将  $B(z, \lambda) = T^2(z, \lambda) \beta(z, \lambda)$  命名为大气后向散射特性参数, 用于综合反映大气吸收和散射对激光导引星亮度的影响。这样既简化了对大气各影响因素的研究, 又满足了研究激光导引星的需要, 所以, 测量  $B(z, \lambda)$  随高度的变化情况对研究激光导引星是十分必要的。

### 3 光电测试系统

图 1 是光电测试系统构成示意图。由脉冲 YAG 倍频激光器发射出 532 nm 激光, 经 45° 反射镜将激光引入发射望远镜; 同时, 为准确知道各激光脉冲的能量, 在图 1 的 45° 反射镜后放置一激光能量探测器, 探测透射光能量, 用反射镜的透反比可以换算出发射激光的能量; 将望远镜对准天顶发射激光, 并在其镜筒外架一台口径为 625 mm 的接收望远镜接收散射回光, 下面接选通型光电倍增管光子计数器, 实现对探测大气高度和厚度的选通测量。系统的详细性能见表 1。

表 1 光电测试系统性能

Table 1 Characteristic of the Lidar

Receiver	
Diameter	625 mm
Transmittance at 0.532 $\mu\text{m}$ wavelength	8.3%
Nd: YAG laser	
Repeat frequency	5 Hz
Pulse width	18 ns
Energy per pulse	~ 70 mJ
EMI	
Model	9817B
Efficiency at 0.532 $\mu\text{m}$ wavelength	0.13
Max data grabbing rate	
For period signal	150 MHz
For random signal	15 MHz
Sampling time	1 $\mu\text{s}$
Distance resolution	150 m

由于接收系统在弱光测量中采取了一系列降低噪声影响的措施,如选用低噪声的光电倍增管、窄带滤光片和采用光子计数技术等,有效地抑制了噪声计数,提高了回波信号的信噪比,扩展了测量的动态范围。

### 4 结果与分析

在测量中,通过改变采样的延时时间选择测量高度,改变采样时间宽度选择采样厚度,在每个采样高度和采样厚度上,采集 2000 到 3000 组回波光光子数,再对其求和平均作为该条件下的测量数据,同时监测发射激光脉冲能量的变化,最后由激光雷达方程(1)计算出大气后向散射特性参数  $B(z, \lambda)$  随高度的变化情况,结果如图 2(a), (b)。图中各点分别是 1997 年 3 月 29 日和 5 月 2 日傍晚测量得到的,天气条件均为晴天,大气透过率均满足天文观测要求;两条直线是用  $B(z, \lambda) = B_0 \exp(-z/H)$  对其拟合的结果。在测量中由于采取了如窄带滤波、选用低噪声光电探测器件等多种降低噪声的措施,提高了信噪比,加上对每个采样点进行大数组统计平均,使得实验数据误差保证在 10% 以内。

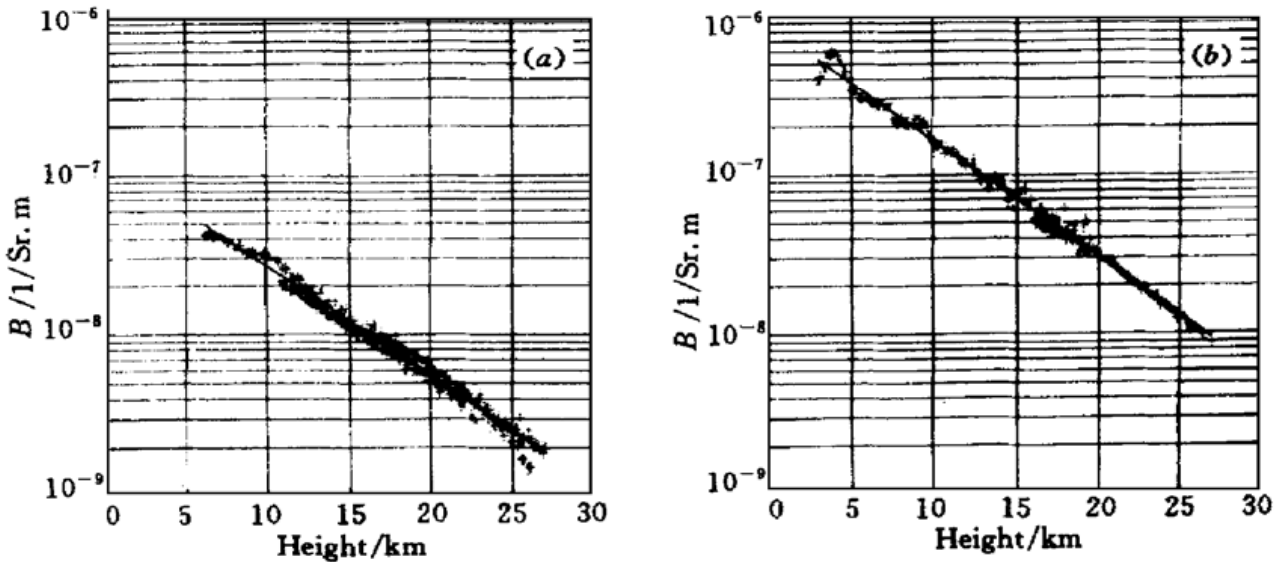


图 2 大气后向散射特性参数随高度的变化。直线是拟合线

(a) 1997 年 3 月 29 日测量; (b) 1997 年 5 月 2 日测量

Fig. 2 The relation between  $B$  and  $H$ . The line is the fitting curve

(a) on Mar. 29, 1997; (b) on May 2, 1997

从测量的结果看,大气后向散射特性参数满足  $B(z, \lambda) = B_0 \exp(-z/H)$  的规律,其中  $H$  是一常数,称为特征高度。由于  $B_0$  和  $H$  实际是随气溶胶浓度及大气透射率等因素的变化而变化,与气候条件密切相关,因此,不同的时间和季节测量所获的数据应有所不同。从测量的这两天的数据来看,它们的差别也是比较大的,有必要对其进行长期监测,才能总结出全年的变化规律。

图 3 是用 Elterman 模型计算的大气后向散射特性参数随高度变化的情况。与测得的结果比较,可以看出它们的变化规律基本一致,均满足  $B(z, \lambda) = B_0 \exp(-z/H)$  方程,但其值比我们测得的大,从表 2 中可以看出  $B_0$  小时,  $H$  值就大。从曲线的变化规律看,  $B_0$  小时,后向散射特性参数随高度增加下降的速度要慢一些,当  $B_0$  增大时,  $B$  随高度的增高下降的速度也

增大,这是由于大气吸收和散射共同作用的结果。

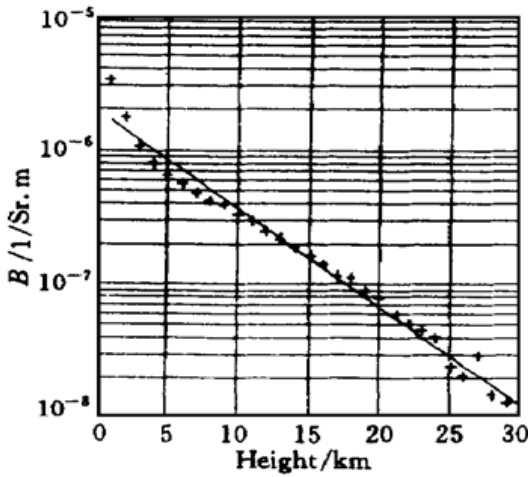


图3 Elterman 模型计算的  $B$  随高度的变化。直线是拟合线

Fig. 3 The relation between  $B$  and  $H$  with the Elterman model. The line is the fitting curve

表 2  $B(z, \lambda) = B_0 \exp(-z/H)$  中的  $B_0$  和  $H$  值

Table 2  $B_0$  and  $H$  in the  $B(z, \lambda) = B_0 \exp(-z/H)$

	$B_0 / 1/\text{Sr}^* \text{ m}$	$H / \text{km}$
On Mar. 29	$1.28e-7$	6.39
On May 2	$8.89e-7$	5.95
Elterman model	$1.98e-6$	5.924

由  $B$  的定义知,大气透过率的影响是双程的,大气透过率低,  $B_0$  就小,此时虽然大气中的气溶胶等散射粒子丰富,大气透过率高的大气有更多的散射粒子,产生的散射光也增加,但由于它还不足以弥补大气吸收的影响,使得曲线的下降减缓。相反,大气中的气溶胶等散射粒子减少,大气吸收和散射均减少,大气吸收减少得更快,使  $B_0$  增加,曲线下落速度增大。

从本次实验的结果看基本符合指数降低规律,合肥的大气后向散射特性参数比 Elterman 模型的结果要低。主要原因是合肥的大气能见度较低一些,虽然低的能见度增加了散射粒子的密度,但是,大气对该波长光的消光抵消了它们的贡献,使得能探测到后向散射光的距离缩短了,并且在各高度上的大气后向散射特性参数均有所下降。

**致谢** 本工作得到了中国科学院光电技术研究所自适应光学研究室和安徽光机所二室的许多同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

1 C. S. Gardner, B. M. Welsh, L. A. Thompson. Design and performance analysis of adaptive optical telescopes using laser guide stars. *Proceeding of the IEEE*, 1990, **78**(11): 1721~ 1743

## Measurement and Analysis of the Low Layer Atmospheric Back-scattering Parameter at Hefei

Xu Bing Jiang Wenhan

(Institute of Optics and Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209)

Wu Yonghua Hu Huanling

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

**Abstract** The atmospheric back-scattering parameters at 532 nm wavelength in low layer were measured by using AIOFM's L625 Lidar at Hefei in March and May of 1997. The measured data are analyzed in the paper.

**Key words** atmospheric back-scattering, adaptive optics, laser beacon