

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0300-03

# 复杂地形下激光大气闪烁与衰减同步观测\*

王世鹏 周 毅 饶瑞中

(中国科学院安徽光学精密机械研究所国家 863 计划大气光学重点实验室, 合肥 230031)

**提要** 开展了传输距离 500 m 复杂地形下的激光大气闪烁与衰减的同步实验观测。讨论分析了闪烁强度、概率分布和频谱等特征量随透过率变化的趋势,发现大气闪烁和消光之间有一定的关系。

**关键词** 光传播, 大气湍流, 大气闪烁, 大气衰减

**中图分类号** TN012 **文献标识码** A

## Synchronous Observation of Laser Irradiance Scintillation and Extinction in a Real Turbulent Atmosphere Over Complex Terrain

WANG Shi-peng ZHOU Yi RAO Rui-zhong

(Key Laboratory for Atmosphere Optics of National High Technology Research and Development Plan, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

**Abstract** It is carried out a series of synchronous measurements of the irradiance scintillation and the extinction of a He-Ne laser beam propagating through a real turbulent atmosphere over complex terrain. The relationship between the statistical properties of the irradiance scintillation, such as the scintillation index, the probability distribution and the power spectrum, and the extinction was analysed. There is certain relationship between laser irradiance scintillation and irradiance extinction in a real atmosphere.

**Key words** light propagation, atmospheric turbulence, irradiance scintillation, irradiance extinction

### 1 引 言

湍流大气中传播的激光强度起伏(激光大气闪烁)与衰减(大气消光),作为随机介质中波传播研究的两重要问题,一直受到人们的重视。虽然就这两问题人们已经开展了广泛、深入的研究,得到了一些规律性的结论,但对这两个问题的研究是分别进行的,两者间关系的研究至今未见报道。为此,我们研制出一套激光大气闪烁与大气衰减同步观测测量系统,在合肥地区进行了传输距离为 500 m 复杂地形条件下的系统实验研究。

由实验数据,我们讨论分析了闪烁强度、概率分布和频谱等统计特征量随大气透过率变化的趋势,发现大气闪烁和消光之间有一定的关系。

### 2 实验系统

光源用波长 0.6328  $\mu\text{m}$ 、输出功率 30 mW 的

He-Ne 基模激光,其发射、接收端均置以光电倍增管为探测元件的探测系统,光电倍增管前安置干涉滤光片及大小相同的小孔(0.35 mm)。激光器出口处安装 45°全反镜的无线遥控遮光器。平时遮光器打开,激光通过反射镜下小孔直接发射到远处接收端;遮光器收到接收端发出的信号后闭合,激光通过反射镜反射到一凹透镜上,离透镜一定距离处形成与激光直接发射到接收端处得到的同样大小的光斑。

实测时,将两套光电倍增管调整到光斑中心。远处接收端计算机通过 A/D 数据采集卡 I/O 口发出信号,激光发射端经无线遥控遮光器收到信号,遮光器闭合,接收端探测系统将背景噪声通过 A/D 转换后进行一定时间(8 s)的实时采集,将数据存盘,同时,发射端探测系统进行同样时间的激光信号实时监测,也将数据存盘;而后遮光器打开,接收端进行一定时间(35 s)激光信号的实时采集(采样率 2000 Hz),将数据存盘,完成激光大气闪烁的观测,同时发射端进行一定时间(8 s)的背景噪声采集,也

\* 国家 863 计划激光技术主题资助课题。

将数据存盘。对两探测系统进行简单的定标后,由实验数据就可以得到激光大气透过率。

### 3 实验观测及数据分析

2001年3月至4月,在合肥地区选择晴朗无云天气条件,开展激光大气闪烁与衰减的同步观测研究。实验进行了21天,受天气条件影响,每次观测的持续时间不等,其中连续24h进行的有4天。实测时,相邻两次采集相隔10min。传输地形:前130m草坪,中间320m为埂坝(埂坝两旁为水面),后50m复杂地表,传输距离为500m。

由实验数据,我们对大气闪烁的强度、概率分布和频谱等统计特征量与激光大气透过率间的变化关系进行初步分析。

激光大气闪烁的强度反映激光传播的起伏条件,通常以闪烁指数 $\beta^2$ 来表示:

$$\beta^2 = (\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2) / \langle I \rangle^2 \quad (1)$$

式中 $I$ 为光强, $\langle \rangle$ 为统计平均。

激光大气闪烁概率分布,我们以偏斜度 $\gamma_1$ 和陡峭度 $\gamma_2$ 来表示<sup>[1]</sup>:

$$\gamma_1 = \mu_3 / \mu_2^{3/2}, \quad \gamma_2 = \mu_4 / \mu_2^2 - 3 \quad (2)$$

式中 $\mu_2, \mu_3, \mu_4$ 分别为 $\ln I$ 的二、三、四阶中心矩。 $\gamma_1$ 反映出概率分布相对于均值的非对称性, $\gamma_2$ 反映出概率分布相对于正态分布的集中程度。

激光对数光强功率谱在一定程度上反映出湍流介质折射率场起伏统计特性,一般地将功率谱分为低频段和高频段两个区间。理论上<sup>[2]</sup>,在低频段的大部分范围功率谱呈常数;在高频段的大部分范围,功率谱与频率呈指数变化关系,满足标度不变律。即:

$$W_{\ln I}(f) \propto f^{\alpha_0}, \quad \alpha_0 = -8/3 \quad (3)$$

由实验数据我们通过五线段拟合法<sup>[3]</sup>求得标度指数 $\alpha$ , $\alpha$ 与 $\alpha_0$ 的差别在一定程度上反映出局地均匀各向同性假设对实际湍流大气的适用程度。

由于实验观测期间,每天的天气状况不可能完全相同,激光大气透过率的日变化趋势存在一定差异,为较好地反映激光大气闪烁与消光效应间的关系,我们对每天固定时刻的闪烁与消光的数据进行分析。图1反映9:00,17:00时,闪烁指数与激光大气透过率间的变化趋势。由图看出不同时刻两者的关系明显不同,9:00时闪烁指数随透过率的增大而增大;17:00时闪烁指数先随透过率的增大而减小,当透过率增大到一定时,闪烁指数又随透过率的增大而增大,而后闪烁指数又随透过率的增大而减小。

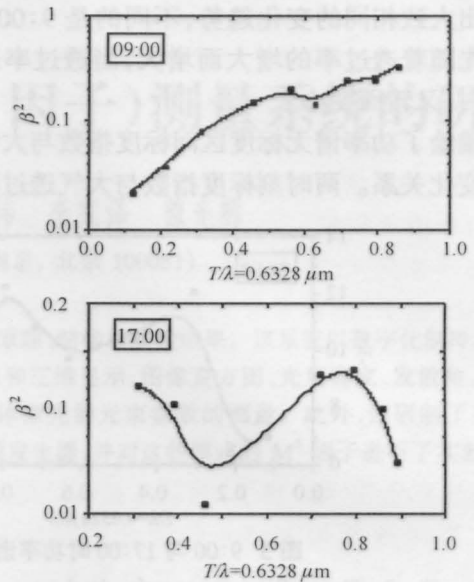


图1 9:00与17:00时闪烁指数与透过率的关系

Fig.1 The scintillation index as a function of the extinction at 9:00 and at 17:00

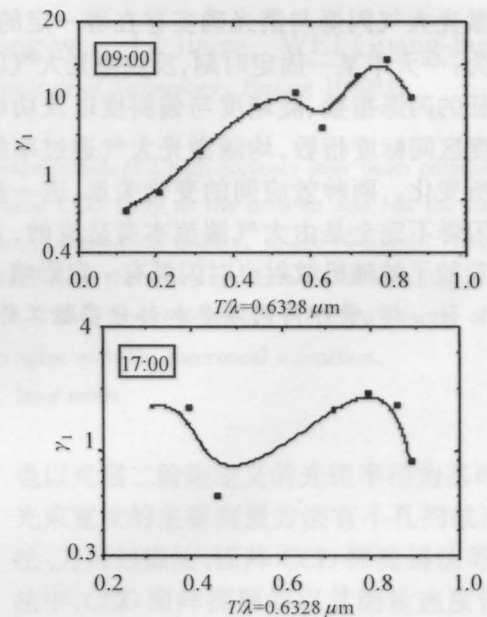


图2 9:00与17:00时激光大气闪烁概率分布的偏斜度与透过率的关系

Fig.2 The skewness of the probability density distribution of the log-intensity as a function of the extinction at 9:00 and at 17:00

图2表示闪烁概率分布的偏斜度与透过率的变化关系。与图1一样,不同时刻两者的关系也存在差异。9:00时,偏斜率几乎是随透过率的增大而增大;17:00时偏斜率先是随着透过率的增大而减小,当透过率达到一定时,又随着透过率的增大而增大,然后又在一开始随着透过率的增大而减小。同样地,激光大气闪烁概率密度分布的陡峭度基本上也

表现出大致相同的变化趋势,不同的是 9:00 时,陡峭度先随着透过率的增大而增大,当透过率达到一定值时,又转而变小。

图 3 描绘了功率谱无标度区间标度指数与大气透过率的变化关系。两时刻标度指数与大气透过率间基

本呈相同的振荡变化趋势,首先标度指数随着透过率的增大而增大,增大到一定值后随着透过率的增大有所减小,标度指数减小到一定值后重复上述变化趋势。

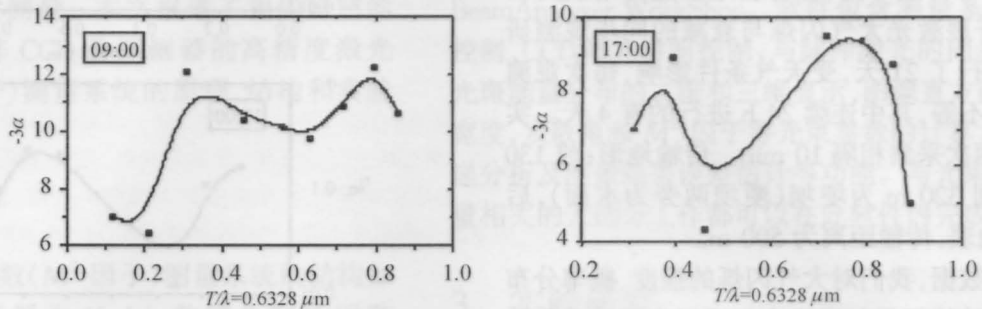


图 3 9:00 与 17:00 时功率谱无标度区间的标度指数(乘以 -3)与透过率的关系

Fig. 3 The scaling exponent (multiplying a factor of -3) of the power spectrum as a function of the extinction at 9:00 and at 17:00 during observation days

结合上述分析,我们可初步得到以下结论:

激光大气闪烁与消光确实存在着一定的关系。表现为:一天中某一固定时刻,反映激光大气闪烁统计特征的闪烁指数、陡峭度与偏斜度以及功率谱的无标度区间标度指数,均随激光大气透过率的变化而有所变化。两种效应间的变化关系,进一步标明大气闪烁不完全是由大气湍流本身造成的,大气中气溶胶粒子的随机散射也对闪烁有一定影响。

感谢 孙 辉、黄印博同学参加部分实验工作

参 考 文 献

- 1 Rao Ruizhong, Wang Shipeng, Liu Xiaochun. Probability distribution of laser irradiance scintillation in a real turbulent atmosphere. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19** (1):81~86 (in Chinese)
- 2 J. W. Strohben. *Laser Beam Propagation in the Atmosphere*. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 129~170
- 3 Rao Ruizhong, Wang Shipeng, Liu Xiaochun. Characteristics of the power spectrum of laser irradiance scintillation in a real atmosphere. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(5):411~414 (in Chinese)