

文章编号: 1001-3806(2008)01-0092-03

米散射激光雷达系统的校准与调试

杨 昭

(连云港师范高等专科学校 物理系, 连云港 222006)

摘要: 为了研究大气米散射激光雷达系统的光学结构参数对探测结果的影响, 采用模拟计算方法得到各种参数条件下相对接收信号强度随距离的分布图, 并对相应的校准与调试方法做出探讨。结果表明, 为达到设计要求, 100m 处激光束的光斑须调整到不超过 25mm。对 1000m 处的硬目标校准时, 发射与接收轴间夹角误差为 2×10^{-4} rad。此时激光束发散角包含于望远镜的接收视场范围内。

关键词: 激光技术; 米散射激光雷达; 光学校准; 调试方法; 气溶胶

中图分类号: TN958.98 **文献标识码:** A

Adjustment and alignment of Mie-scattering lidar system

YANG Zhao

(Department of Physics, Lianyungang High Normal University, Lianyungang 222006, China)

Abstract To study the influence of the system optical parameters on the received signal, the profile of signal-to-range under several parameters were given after simulation. It turned out that the laser beam must be adjusted to be smaller than 25mm. Aiming at an object 1000m away, when the error of the angle between the transmitter and receiver axes was 2×10^{-4} rad, the emission angle was included in the received field of view of the telescope.

Key words laser technique; Mie-scattering lidar; optical correction; adjustment; aerosol

引 言

米散射激光雷达是一种主动式光学遥感设备, 由于使用探测束的波长较短且定向性强, 它具有很高的空间、时间分辨能力及探测灵敏度, 目前已经成为探测大气气溶胶物理、光学性质的一个重要手段^[1-2]。通过对回波信号的探测和反演处理, 可得到许多大气参数的分布特征。回波信号虽然直接决定于大气成分、气溶胶及云层的即时分布, 但激光雷达系统相关参数的变化也会对回波信号产生较大影响, 导致反演精度降低。本文中通过模拟计算给出各种不同参数对相对接收信号强度的影响, 并对系统光学结构的调试方法做出探讨。

1 米散射激光雷达系统

大气米散射激光雷达系统主要包括激光发射单元、接收单元、信号探测单元和数据采集单元^[3], 发射及接收单元的光学结构参数见表 1。发射单元中采用二极管抽运 Nd:YVO₄ 固体激光器作激光光源, 它通过

Table 1 Parameters of Mie-scattering lidar system

name	parameter
transmitter	
laser scattering angle	4.3mrad
diameter of laser	0.35mm
angle of beam divergence	≈ 0.11 mrad
diameter of emission beam	≈ 14 mm
receiver	
primary aperture of telescope	254mm
secondary aperture of telescope	94mm
diameter of receiver fiber	100 μ m
field of view	0.12mrad
distance of emission and receiver axis	22mm

声光 Q 开关输出波长 1064nm、脉宽 100ns 以下的短脉冲激光束。此外, 该单元中有一个 40 倍率扩束镜, 可以对窄脉冲激光束进行扩束, 使其达到 ANSI^[4] Z136.1-1986 中对人眼激光曝光量的安全要求标准。接收单元的主要部分是一台美国 MEADE 公司生产的施密特-卡塞格林型反射式望远镜, 主镜为直径 254mm 的抛物面; 副镜为直径 94mm 的双曲面; 组合焦距 85cm。组合焦点处有一直径可变的小孔光阑使望远镜视场角在 0.1mrad~0.5mrad 之间可调。回波光信

作者简介: 杨 昭 (1974-), 女, 讲师, 从事普通物理光学课程及光学实验的教学工作。

Email: yangzhao8195@126.com

收稿日期: 2006-11-17; 收到修改稿日期: 2007-01-21

号通过光纤传送到探测单元,即 SiAPD 单光子计数器,其动态范围约 10 个数量级,满足了米散射激光雷达对远距离气溶胶信号的探测要求,量子效率可达 70%。

2 影响激光雷达回波信号的参数

2.1 激光束发散角对回波信号的影响

本系统激光发射与接收单元不同轴,导致在一定范围内发射激光束只能逐渐进入接收望远镜的视场,故接收信号强度必须受系统重叠因子 $Y(r)$ 的修正^[4]。

根据激光雷达方程,接收的信号光子数为^[5]:

$$N(r) = \frac{\eta N E_0}{hc} \cdot \frac{A_r}{r^2} Y(r) \cdot T_s \cdot \Delta r \cdot \beta_b(r) \times \exp[-2 \int_0^r \sigma(r') dr'] \quad (1)$$

式中, η 是探测器量子效率; λ 是激光波长 (nm); E_0 是激光发射脉冲能量 (J); h 是普朗克常数; c 是光速 (m/s); A_r 是望远镜有效接收面积 (m^2); $Y(r)$ 是重叠因子; T_s 是系统光学总透过率; Δr 是激光雷达距离分辨率 (m); $\beta_b(r)$ 是距离 r 处大气后向散射系数 ($km^{-1} \cdot sr^{-1}$); $\sigma(r)$ 是距离 r 处的大气消光系数 (km^{-1})。对于确定的激光雷达系统及其参数,在水平激光发射和均匀大气情况下, (1) 式可以简化为:

$$N(r) = N_0 \cdot \frac{1}{r} \cdot Y(r) \cdot \exp(-2\sigma r) \quad (2)$$

一般远场激光束波面为高斯分布^[6]。根据表 1 中的参数可得出接收相对光子数 $N(r)/N_0$ 的分布曲线。但是,经过 40 倍率扩束镜的出射光束发散角不一定压缩了 40 倍,需要调整扩束镜筒长才能达到最佳效果。过

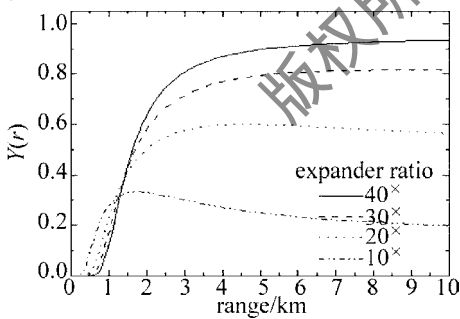


Fig 1 Overlap function vs different ratio

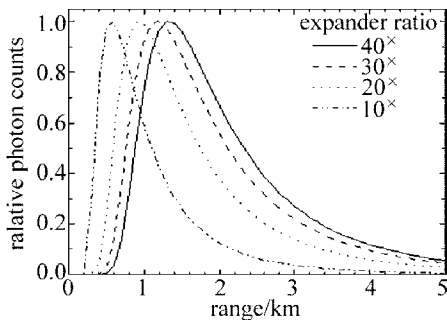


Fig 2 Relative photon counts vs different ratio

大的发散角会对 $Y(r)$ 及相对接收光子数 $N(r)/N_0$ 的分布产生影响,如图 1 和图 2 所示。图中可以看出,随着发散角的增大,重叠因子及接收相对光子数分布形状变化也较大。当扩束倍率为 10 时,其相对误差达到 60% 以上。

2.2 大气能见度对接收信号的影响

大气的能见度与大气平均消光系数之间存在近似的经验关系:

$$\sigma(\lambda) \approx \frac{3.9}{V_m} \left[\frac{550}{\lambda} \right]^q km^{-1} \quad (3)$$

式中, $\sigma(\lambda)$ 是水平大气平均消光系数; λ 是激光波长; V_m 是大气能见度,且:

$$q = \begin{cases} 0.585 V_m^{1/3}, & (V_m \leq 6km) \\ 1.3 & (\text{averaging seeing condition}) \end{cases} \quad (4)$$

根据大气平均消光系数的大小,可以分类大气所处的能见度状态^[7]。图 3 中给出不同能见度状态对相对接收信号产生的影响。

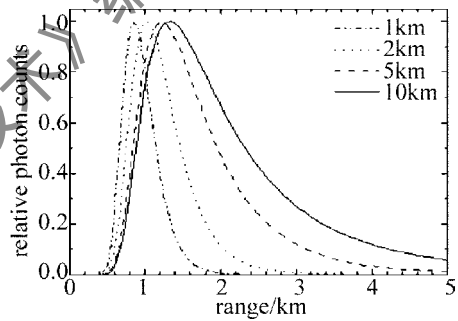


Fig 3 Distribution of relative photon counts on different visibility

2.3 光纤接收单元对回波信号的影响

本系统采用光纤收集回波信号,光纤应位于望远镜系统的焦点。但是,对于所采用的 Meade 光学望远镜系统,其焦点位置可调,光纤相对于望远镜焦点的中心会产生轴向或横向偏离。轴向偏离使接收视场变化,横向偏离使收发光轴重叠,二者都会影响相对接收信号的分布。

2.3.1 轴向偏离 即使是最好的成像光学系统,焦点处最小光斑也是有限的。计算可得在散射信号完全进入光纤时光纤轴向位置变动的范围约为 $\pm 300 \mu m$,该变化量与望远镜的焦距相比非常小,引起的光束接收视场变化约为 $4 \mu rad$ 一般情况下可以忽略。但是,光纤位置超过这个区域时,不但接收视场发生较大变化,相对接收信号也会改变。假设光纤相对于焦点的位移为 z 通过计算得到不同 z 值对应的重叠因子和相对光强的变化曲线,见图 4 和图 5 其中,光纤相对于焦点向上偏离时 z 为正;向下偏离时 z 为负。

2.3.2 横向偏离 当光纤沿垂直轴向产生偏差时,根据几何光学原理,相当于接收光轴与发射激光光轴之

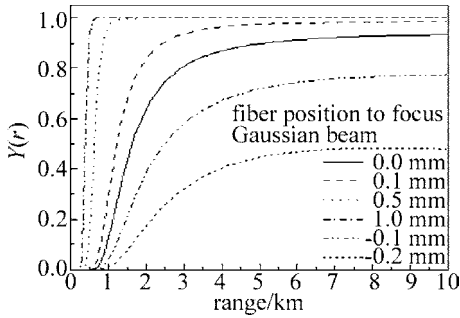


Fig 4 Overlap function vs different position of the fiber

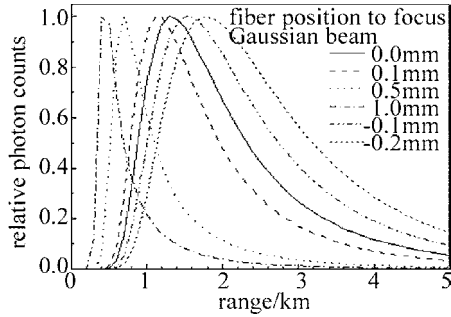


Fig 5 Relative photon counts vs different position of the fiber

间产生一夹角 δ 。 δ 有正负之分, 由光轴算起, 顺时针方向为正, 逆时针方向为负。考虑不同夹角 δ 对应的重叠因子及相对信号光子数分布情况见图 6 和图 7。

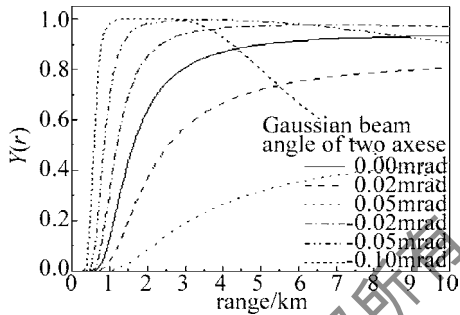


Fig 6 Overlap function vs different angle between two axes

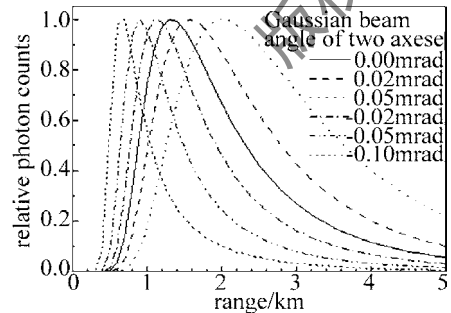


Fig 7 Relative photon counts vs different angle between two axes

δ 取正、负都会导致光轴失调。正失调使重叠因子的最大值变小, 相对光子数峰值距离变长; 负失调使重叠因子在某一范围内取得较大值, 相对光子数峰值距离缩短。可从对比实验中得到的相对光子数分布对光纤位置进行适当调整, 以期最大限度减少由 δ 引入的误差。

3 校准调试方法

根据以上分析可以对激光雷达系统进行相应地校

准调试。激光束发散角采用实验测量方式检验, 即检验发射出口处的光斑大小 D_1 和位于 r 处的光斑 D_2 的大小, 则光束发散角为:

$$\theta = (D_2 - D_1) / r \quad (5)$$

当 $D_1 = 14\text{mm}$, $r = 100\text{m}$ 时, 为达到设计 $\theta = 0.11\text{mrad}$ 的要求, D_2 须调整到不超过 25mm 。

光轴之间的夹角可以采用硬目标进行校准, 即调整接收光信号最大, 这时收发光轴之间的夹角与距离成反比。可以选择尽量远的目标, 如对 1000m 处的硬目标进行校准, 轴间夹角的误差为 $2.2\mu\text{rad}$ 。这个角度误差下, 激光束发散角包含于望远镜的接收视场范围内。

由于实验过程中的大气消光可以认为不变, 大气消光的影响只与天气有关, 与光学系统的调整无关。因此, 可以通过解激光雷达方程决定大气消光的大小^[8], 确定该状态下的相对信号光子数分布。同时, 通过调整光纤位置即可使接收信号相对光子数分布达到该大气条件下计算得到的分布结果。

4 结论

考虑米散射激光雷达系统收发单元的光学结构及其探测原理, 得出影响接收信号相对光子数分布的系统参数有 4 个, 即发射激光发散角、收发光学系统的光轴夹角、光纤相对于焦点位置的偏离和水平大气消光系数的选取。文中模拟了各种不同参数状态下接收信号相对光子数的分布曲线, 在利用激光雷达探测大气气溶胶和云雾粒子的实际应用中, 可以参照模拟结果确定系统光学结构的偏差并做出相应的校准调试, 以获得较为可靠的反演结果。

参考文献

- [1] ZHOU J YUE G M, QI F D. Optical properties of aerosol derived from lidar measurements [J]. Quantum Electron 1998 15(2): 138-145 (in Chinese).
- [2] QIU J H, ZHENG S P, HUANG Q R. Lidar measurements of cloud and aerosol in the upper troposphere in Beijing [J]. Atmospheric Sciences 2003 27(1): 1-7 (in Chinese).
- [3] YANG Zh LI Q, SUN D S. Study about atmosphere extinction coefficient based on 1064nm Mie scattering lidar [J]. Laser Technology 2006 30(2): 170-173 (in Chinese).
- [4] ZHONG Zh Q, ZHOU J. Calculation of detect signal on micro-pulse lidar [J]. Quantum Electron 2003 20(5): 618-622 (in Chinese).
- [5] YANG Ch H, SUN D S, LIH J. Photon counting applied to imaging lidar [J]. Infrared and Laser Engineering 2005 34(5): 517-520 (in Chinese).
- [6] ZHOU B K, GAO Y Zh, CHEN T R. Laser principle [M]. Beijing National Defence Industry Press 2000 212-215 (in Chinese).
- [7] YU F L, LIU D X, HU Y. Studies of the influence on city visibility from minor aerosol particles [J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(6): 379-383 (in Chinese).
- [8] FREDERICK G F. Analysis of atmospheric lidar observations some comments [J]. Appl Opt 1984 35(23): 652