

一种实用的激光雷达系统

薛庆渝

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文介绍了一台三波长米散射激光雷达系统,并用数值模拟计算的方法研究其性能。计算结果表明此系统可进行大气边界层和平流层探测。文中介绍的数值模拟方法,适用于各种米散射激光雷达性能的研究。

平流层气溶胶探测对气候、卫星遥感及平流层动力学研究有重要意义,对流层气溶胶探测可提供大气边界层、逆温层及其结构的信息。为了进行上述研究,我们设计了一台三波长的米散射激光雷达系统。本文将简要介绍该系统的参数选择和性能模拟。

1. 参数选择

激光雷达系统如图1所示,由激光器、望远镜、光路系统、电路系统和计算机组成,详

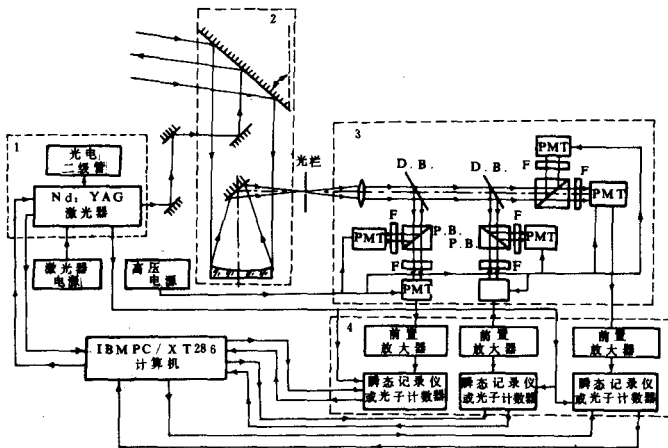


图1 激光雷达示意图

1. 激光器; 2. 望远镜; 3. 光路系统; 4. 电路系统。F: 干涉滤光片; D.B.: 光束分离器;
P.B.: 偏振分束立方晶体

表1 激光雷达性能参数

激光器(Continuum 66C-B-10)			
材料	Nd:YAG(基数)	KDP(二倍频)	KDP(三倍频)
波长(nm)	1060	532	355
输出能量/脉冲(mJ)	320	140	55
重复率(pps)	10	10	10
脉冲宽度(ns)	8~9	8~9	8~9
光束发散角(mrad)	0.45	0.45	0.45
望远镜 (牛顿型)			
孔径(cm)	30	30	30
焦距(m)	1.5	1.5	1.5
接收光路系统			
视场角(mrad)	5	5	5
干涉滤光片带宽(nm)	10	3	3
干涉滤光片透过率(%)	35	45	25
光电倍增管(日本,滨松)	R1767	R943-02	R943-02
量子效率(%)	0.08	15	20
瞬态记录器 (数字式,8bit)			
最小采样率(ns)	10	10	10
贮存	1024字/通道	1024字/通道	1024字/通道

细参数列于表1。由图可见,激光脉冲从激光器发出后,经准直镜、反射镜向空间发射,被大气气溶胶和分子后向散射的回波由望远镜接收并导向光路系统,激光回波在此经光束分离器分解为三束波长不同的激光,它们在电路系统中分别被放大、处理后送至计算机存盘或实时处理。

此系统中的激光器由微机控制,体积小,重量轻、倍频效率高、能量可扩展。望远镜为直立式,牛顿型,发射和接收同轴。光路系统中的偏振立方晶体供后向散射退偏比 δ 测量用,它将激光分解为偏振方向与发射激光偏振面平行和垂直的两部分, $p_{rr}(z)$ 及 $p_{rr}(z)$ 。退偏比由

$$\delta(z) = p_{rr}(z) / p_{rr}(z) \quad (1)$$

决定,其中 z 代表高度。此参数可用于研究气溶胶粒子的非球形特性。各路激光由带光开关的光电倍增管(PMT)接收,光开关用来消除激光诱导噪声。全部测量过程和数据处理由微机控制,自动进行。

2. 性能模拟

为了考核上述系统的性能,我们从激光雷达方程出发,选择适当的大气模式,按照表1选定的参数,分低高度(大气边界层)和高高度(平流层)两种情况。用Fortran程序在计算机上对这台激光雷达的信噪比(S/N)进行了数值模拟试验,其方法和结果如下:

由激光雷达方程,PMT上接收到的激光能量可表示为

$$n(r) = n_0 \cdot L \cdot k \cdot \beta \cdot A_r \cdot Y(r) \cdot \eta \cdot \exp[-2 \int \alpha(r) \cdot dr] / r^2 \quad (2)$$

其中 $n(r)$ 表示距离 r 处后向散射激光在PMT光阴极上激发出的光电子数; L 为距离分辨

率； k 为系统的总光学效率； β 为米氏体散射系数； $\alpha(r)$ 为消光系数； A_r 为望远镜有效孔径； $Y(r)$ 为发射与接收光束间的重叠系数； η 为光电倍增管的量子效率。

激光雷达信噪比方程^[1]为

$$S/N = M^{1/2} \cdot n(r) / [n(r) + 2(n_b + n_t)]^{1/2} \tag{3}$$

其中 M 代表发射的激光脉冲数； n_b 和 n_t 分别表示激光脉冲宽度时间内，由太阳背景辐射和热噪声在 PMT 上产生的发射电子数。

太阳背景噪声可表达为^[2]

$$n_b = 2n_s \cdot \Omega \cdot f \cdot k \cdot A_r \cdot \eta \cdot L/h \cdot v \cdot c \tag{4}$$

其中 n_s 表示单位主体角太阳背景噪声的强度； Ω 为接收立体角； f 为干涉滤光片的带宽； c 为光速； h 为 Plank 常数； $v=c/\lambda$ 。

热噪声可表达为

$$n_t = (i_{dc}/e_q)(2L/c) \tag{5}$$

其中 i_{dc} 表示 PMT 的暗电流； e_q ，电子电荷。

在低高度数值模拟计算中，粒子消光，只考虑米散射。当天气较好时，大气消光用下述经验公式来计算^[1]：

$$\alpha = (3.91/V_m)(0.55/\lambda)^q \tag{6}$$

其中

$$q = 0.585(V_m)^{1/3} \tag{当 } V_m \leq 6 \text{ km 时}$$

$$q = 1.3 \tag{一般能见度时}$$

V_m 是以公里表示的大气能见度； λ 是以微米表示的波长。计算中还假定，后向体散射系数与大气消光有如下关系^[3]： $\beta = \alpha/50$ 。

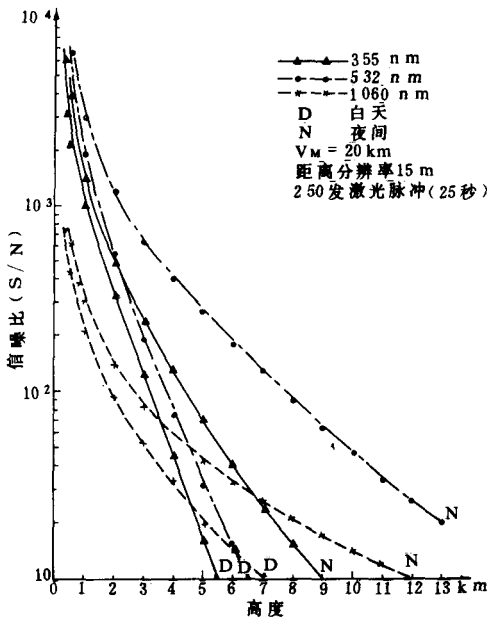


图 2 低高度激光雷达性能的模拟计算

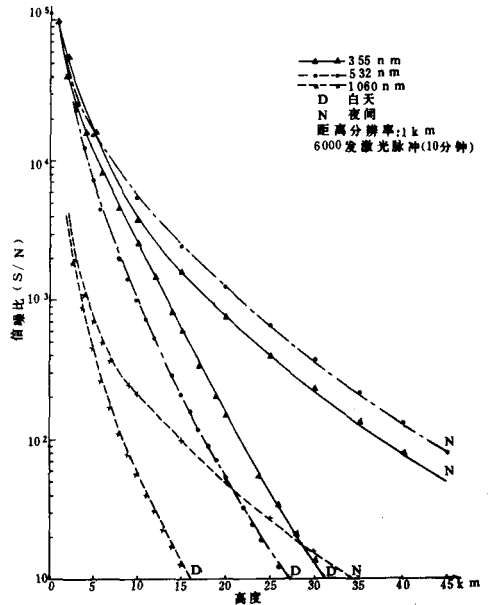


图 3 高高度激光雷达性能的模拟计算

具体计算时,改变大气能见度、采样时间(即距离分辨率)及激光脉冲数作了大量计算,下面仅给出一般能见度条件下($V_m = 20 \text{ km}$),采样时间 100 ns ($L = 15 \text{ m}$)和 250 发激光脉冲(25 s)时,对白天和夜间三种激光波长分别计算的结果(见图 2)。

由图中可以看出,保持信噪比优于 10,各波段白天能探测的最大高度均优于 5 km ,夜间均优于 9 km ,说明此系统能很好地进行大气边界层探测。

在高高度数值模拟计算中,计算大气消光时,瑞利散射和米散射采用 Elterman 模式^[4],臭氧吸收采用 WMO“大气臭氧 1985”所给的数值。后向散射系数由下式计算^[1]

$$\beta = \alpha_a/50 + \alpha_r/8.5 \quad (7)$$

其中 α_a 和 α_r 分别表示气溶胶和瑞利散射产生的消光系数。

具体计算时,对各种采样时间和脉冲数进行了大量计算,下面仅给出了采样时间为 $6.65 \mu\text{s}$ ($L = 1 \text{ km}$),激光脉冲数 6000 发(10 min)时,对白天和夜间三个波长分别计算的结果(见图 3)。

由图中可以看出,保持信噪比优于 10 时,白天各波段能探测的最大高度优于 15 km ,夜间优于 30 km 。若增加激光脉冲数,此性能还可提高。此外,夜间观测的效果比白天好,国外平流层探测多在夜间进行,原因在此。

通过上述计算,可得出如下结论:这台激光雷达无论白天和夜间,均可进行大气边界层探测。此外,白天,除 1060 nm 波段外,其它两波长可进行平流层探测,夜间,三个波长均可进行平流层探测。

参 考 文 献

- [1] Hinkley, E. D., *Laser Monitoring of the Atmosphere*, Springer-Verlag, Berlin, 1976.
- [2] Pratt, W. K., *Laser Communication System*, Wiley, New York, 1969.
- [3] Sasano, Y., H. Nakane, Significance of the extinction/backscatter ratio and the boundary value term in the solution for the two-component lidar equation, *Appl. Opt.*, **23** 11—13, 1984.
- [4] Elterman, L., UV, visible, and IR attenuation for altitude to 50 km , Environmental Research Paper No. 285, AFCRL, Bedford, MA., 1968.

A PRACTICAL LIDAR SYSTEM

Xue Qingyu

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

A three wavelengths lidar system was proposed. Its performance was studied by numerical simulation method. It is shown from the calculated results that the system can be used for atmospheric boundary layer and stratosphere sounding. The numerical simulation method used here can be used in any mie scattering lidar system design.