

## 微脉冲激光雷达的技术

张大毛<sup>1,2</sup>, 王孟禄<sup>1</sup>, 纪玉峰<sup>2</sup>, 徐赤东<sup>2</sup>, 尹国盛<sup>1</sup>

(1. 河南大学 物理与信息光电子学院, 河南 开封 475001;

2. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 探讨了用微脉冲激光雷达探测大气分布的原理和技术特点, 预测了微脉冲激光雷达的发展方向和应用前景.**关键词:** 微脉冲; 激光雷达; 气溶胶分布

中图分类号: TN249:P426.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-4978(2004)04-0019-03

## The Technique and Development of Micro Pulse Lidar

ZHANG Da-mao<sup>1,2</sup>, WANG Meng-lu<sup>1</sup>, JI Yu-feng<sup>2</sup>, XU Chi-dong<sup>2</sup>, YIN Guo-sheng<sup>1</sup>

(1. Physics and Information Optoelectronics College, Henan University, Henan Kaifeng 475001, China;

2. The Anhui Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Anhui Hefei 230031, China)

**Abstract:** The article discusses the technical characteristics of employing Micro Pulse Lidar (MPL) to detect aerosol extinction. It also predicts the future and application of MPL.**Key words:** Micro Pulse; Lidar; aerosol extinction

光辐射与大气中的原子、分子以及气溶胶粒子之间的散射分为米散射、瑞利散射和拉曼散射。其中米散射是一种散射波长与入射波长可以比拟的弹性散射, 主要集中在前向, 后向散射的强度相对小些, 但是气散射截面仍比其他机理的散射截面大  $10 \sim 20$  个量级<sup>[1]</sup>, 因此米散射激光雷达成为探测大气气溶胶和云的主要手段。本文探讨微脉冲激光雷达探测大气分布的工作原理和关键技术。

## 1 微脉冲激光雷达的工作原理

米散射激光雷达可产生一束单色、准直、相干和能量高度集中的脉冲光, 经发射望远镜以准平行光束的形式发射出去。激光光束在大气传播过程中, 如遇大气分子、气溶胶粒子、烟尘和云雾、降水等观测目标时, 将产生光散射。其中后向散射光束又返回激光雷达, 被接收系统所接收。其基本原理如图 1 所示, 发射机

发射一束波长为  $\lambda_0$ , 能量为  $Q_0$ , 宽度为  $t_0$  的脉冲进入大气, 光脉冲在通过大气时受到散射和衰减, 在散射角  $\theta = 180^\circ$  的方向上的散射辐射被接收面积为  $A_0$  的接收系统所接收。可得激光大气回波电压  $V(R)$  所满足的

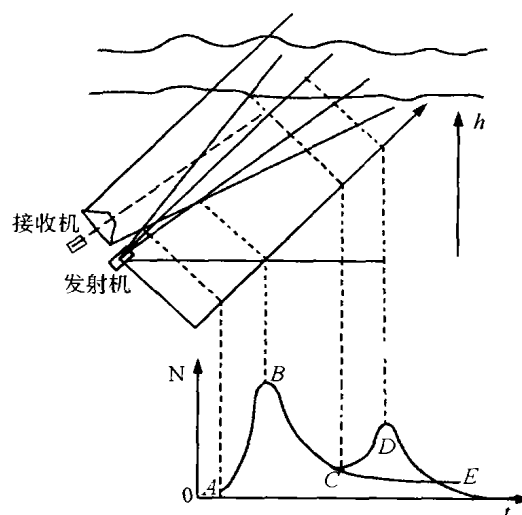


图1 激光雷达基本原理

收稿日期: 2004-06-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10274019); 河南省自然科学基金资助项目(0211010100)

作者简介: 张大毛(1982-), 男, 河南省泌阳市人, 硕士研究生。

雷达方程

$$V(R) = \frac{C_A \beta(R)}{R^2} \exp\left[-2 \int_0^R \sigma(r) dr\right].$$

其中,  $C_A = \frac{AE_0 c \eta(R) \chi k_0 r_0}{2}$  称为仪器常数, 可以通过测量来获得;  $\beta(R)$  为体后向散射微分截面,  $R$  为探测距离,  $\sigma(r)$  为大气的消光系数.

激光雷达方程提供了激光回波信号与被测目标的光学性质之间的定量关系, 因此有可能根据激光雷达方程的测量中获得有关大气性质的定量信息. 常用的解激光雷达方程的方法包括斜率法, 积分法等.

上述激光雷达方程及其解的推导是在理想情况下进行的, 实际情况要复杂得多. 对于激光雷达方程解的影响包括非矩形脉冲、光束强度分布、散射介质不均匀、大气湍流、多次散射等.

## 2 微脉冲激光雷达的发展过程及关键技术

米散射激光雷达作为探测大气分布的工具已经有 30 年了, 理论上讲有着巨大的应用潜力, 但常规的米散射激光雷达有三个明显的不足, 阻碍了它的广泛应用. 首先是存在其脉冲激光对操作人员和地面人员眼睛的安全问题, 从安全角度考虑, 这就要求对激光雷达进行不停的监护. 其次, 米散射激光雷达系统比较复杂、体积大、价格也较昂贵. 第三, 传统的米散射激光雷达长时间连续运行时往往可靠性较差.

近些年来, 随着激光技术、光电子技术和计算机控制技术的进步, 有望制造出一种对眼睛安全、系统构造简单、造价低并且可以实现长时间连续运转的新型激光雷达. 微脉冲激光雷达 (Micro Plus Lidar, 简称 MPL) 的概念在 1993 年被 D. Spinhirne 提出<sup>[2]</sup>, 其基本思想是: ①发射系统采用轻小型全固化二极管泵浦的激光器, 获得能量在  $\mu\text{J}$  量级的输出, 重复频率为几千 Hz, 这样低能量的输出可以基本上满足对人体没有危害<sup>[3]</sup>. 而高的重复频率可以极大的增加回波信号在单位时间内的累加激光脉冲数. ②接收系统中探测器选用低噪声、高量子效应 (约 50%)、可单光子计数的全固化雪崩二极管模块 (GAPD). 这样的全固化结构和模块化结构确保了系统工作的稳定性和探测数据的可靠性. ③使用带宽为 1 ~ 2nm 的超窄带滤光片减少所接受的天空背景辐射, 从而提高白天测量的信噪比 (SNR), 实现昼夜 24 小时连续运转.

决定微脉冲激光雷达性能的两个基本因素为激光雷达的输出能量和接收孔径. 20 年前 D. Spinhirne 曾采用功率为 0.05W, 接收孔径为 0.2m 的红宝石激光雷达系统探测对流层及其以下大气气溶胶散射情况. 试验证明其探测结果可靠<sup>[4]</sup>. 微脉冲激光雷达采用输出脉冲光能量为  $10\mu\text{J}$ , 重复频率为 5kHz 的发射系统, 其输出功率也可以达到 0.05W, 因此能产生足够的能量探测大气. 然而, 低能量脉冲光回波信号也相对弱, 噪声尤其是背景辐射噪声对于

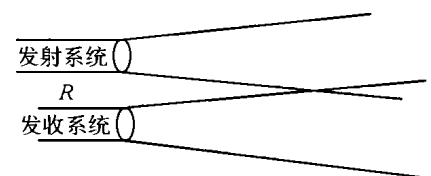


图2 激光探测大气回波的示意图

接收信号的影响很大, 从而影响了激光大气探测的精度, 因此要选择合适的接收视场角. 如图2所示, 对于发射和接收系统非同轴的激光雷达, 若接收视场角太大, 虽然发射光束与接收视场角相交的距离较近, 即接收不到激光大气回波信号的探测盲区较近, 但却接收了更多的大气背景辐射, 从而使信噪比下降. 反之, 若接收视场角较小, 虽可降低大气背景辐射噪声, 提高了信噪比, 但却又使探测盲区增大. 因此, 在微脉冲激光雷达的设计中, 应根据实际探测需要, 采用与激光发散角相匹配的接收视场角, 以获得最佳效果.

美国 NASA Goddard Space Flight Center 于 1993 年首次研制成功 MPL<sup>[2]</sup>, 并在随后的两年观测中, MPL 有效探测了大气中云的结构、云边界高度、云的光学厚度、大气边界层高度和气溶胶散射廓线等. 近年来日本千叶大学、法国 Pierre 大学等也先后研制成功类似的微脉冲激光雷达并应用到他们的大气气溶胶和云的探测研究中. 为了满足我国激光大气探测的需求, 我国由中国科学院安徽光机所 2001 首次研制成功国产的 MPL-A1 型微脉冲激光雷达.

## 3 国产 MPL-A1 型微脉冲激光雷达的总体结构和性能指标

### 3.1 MPL-A1 型微脉冲激光雷达的总体结构

图3是安徽光机所研制的 MPL-A1 型微脉冲激光雷达的总体结构示意图. 激光发射单元主要由激光器

和扩束器组成。光学接收单元包括接收望远镜、微孔光阑、目镜、窄带滤光片和聚焦透镜。信号探测和数据采集单元由探测器和多道光子计数器组成。运行控制和测量数据的存储、显示由一台小型工控计算机执行。

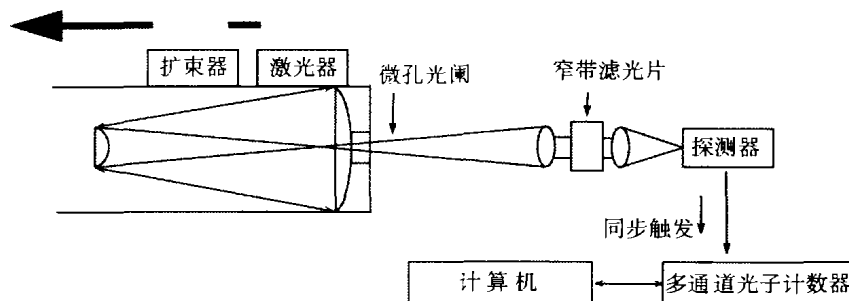


图3 MPL-A1型微脉冲激光雷达结构示意图

### 3.2 MPL-A1型微脉冲激光雷达的技术参数和性能指标

MPL-A1型微脉冲激光雷达的技术参数和性能指标如下:

(1)激光器(二极管泵浦Nd:YLF)。工作波长,523.5nm;单脉冲输出能量,10 $\mu$ J;脉冲重复频率,1000~2500Hz;脉冲宽度,10ns;扩束后的光束发散角,50 $\mu$ rad。

(2)接收望远镜(卡塞格林型)。直径,200mm;微孔直径,0.2mm;视场,100 $\mu$ rad;滤光片带宽,0.2nm。

(3)探测器(SPCM-AQR-12APD)。量子效率,约40%;暗计数,500CPS。

(4)数据采集,采用TP914P多道光子计数器。

(5)数据传输和处理,采用小型工控机。探测高度,白天6km,夜晚15km;空间分辨率(最小),30m;工作方式,24小时连续观测,可连网;重60kg。

### 3.3 法三章MPL-A1型微脉冲激光雷达初步实验结果

图4给出了2001年5月3日晚该激光雷达探测的对流层气溶胶消光系数的垂直廓线(实线)。作为比较,图中一并给出了另外一台经运行多年的L300米散射激光雷达的同步探测结果(虚线)。可以看出两个激光雷达测量的气溶胶消光系数的垂直廓线相当吻合,这说明了MPL-A1型微脉冲激光雷达测量数据的可靠性。图5给出了2001年7月9日晚MPL-A1测量的大气和云的后向散射回波信号垂直廓线。可以看出它对高层云和多层云的探测能力。

## 4 结语

由于微脉冲激光雷达对眼睛安全、系统构造简单、造价低并且可以实现长时间连续运转,可以期望,微脉冲激光雷达大气探测将成为很有前途的大气遥感探测新分支。

### 参考文献:

- [1] 孙景群,赵徐懿,谭卫. 激光大气探测[M]. 北京:科学出版社,1986:27-28.
- [2] Spinhirne J D. Micropulse lidar[J]. Ieee Trans. Geosci. Remote Sensing,1993,31(1):48-55.
- [3] American National Standards Institute. American national standard for the safe use of lasers[S]. Ansizll, 1986,36(1):1-96.
- [4] Spinhirne J D. Vertical distribution of aerosol extinction cross section and inference of aerosol imaginary index in the troposphere by lidar technique[J]. J Apple Meteor,1986,19(4):426-438.

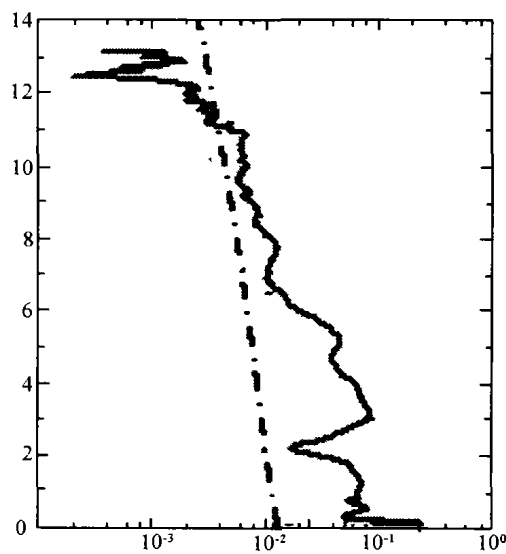


图4 MPL-A1和L300测量的气溶胶图

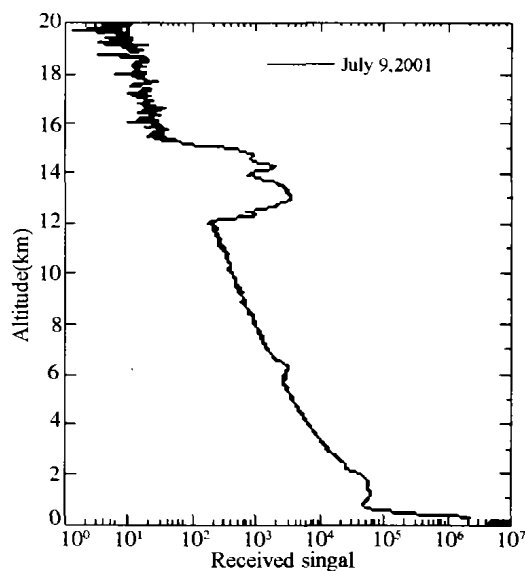


图5 大气和云的回波信号曲线