

文章编号: 1001-4322(2003)12-1145-03

探测大气气溶胶消光系数的便携式米散射激光雷达^{*}钟志庆^{1,2}, 周 军¹, 戚福弟¹, 范爱媛¹, 岳古明¹, 兰举生¹, 江庆伍¹

(1. 中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 介绍了一种新型的便携式米散射激光雷达的总体结构及其各部分的功能, 分析讨论了该激光雷达在夜晚与白天探测大气气溶胶消光系数垂直廓线的性能。其夜晚的探测高度达到 15km 左右, 白天的探测高度达到 10km 左右。还可对卷云进行探测, 获得卷云的厚度及其峰值消光系数。该激光雷达具有结构紧凑、体积小、重量轻、自动化程度高、探测速度快等优点。

关键词: 便携式米散射激光雷达; 气溶胶; 消光系数; 卷云

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

激光雷达作为一种主动遥感探测工具已经有 30 多年的历史^[1], 已广泛应用于激光大气传输、全球气候预测、气溶胶辐射效应及大气环境等研究领域^[2,3]。随着激光技术、光学机械加工技术、信号探测、数据采集及其控制技术的发展, 激光雷达技术的发展也日新月异。

我们研制出一种新型的便携式米散射激光雷达, 其关键器件都采用轻小型全固化结构或模块化结构, 加上独特的发射和接收光学单元, 具有结构紧凑、体积小、重量轻、自动化程度高、探测速度快等优点, 可应用于大气水平能见度探测^[4]和大气气溶胶消光系数垂直廓线的探测。

本文介绍了该激光雷达的总体结构及其各部分的功能, 对其探测的 532nm 波长大气气溶胶消光系数垂直廓线结果进行了分析和讨论。

1 便携式米散射激光雷达的结构

便携式米散射激光雷达结构示意图见图 1。它由激光发射单元、回波信号接收单元、后继光学单元、信号探测和数据采集单元及控制单元五部分组成。其主要技术参数见表 1。

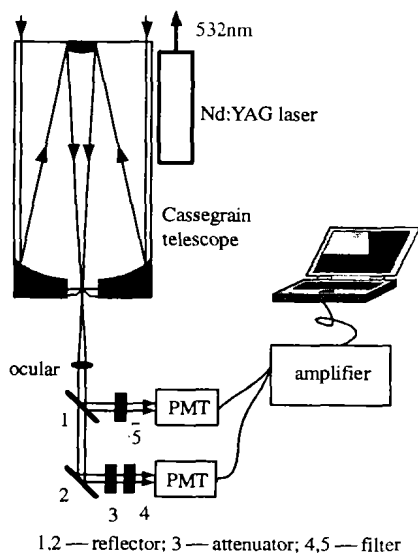


Fig. 1 Schematic diagram of portable Mie lidar

图 1 便携式米散射激光雷达系统结构示意图

水平或垂直方向上的测量。

接收望远镜是由中国科学院安徽光学精密机械研究所生产的直径为 200mm 的 Cassegrain 型望远镜, 主

表 1 便携式米散射激光雷达系统参数

Table 1 Specifications of portable Mie lidar

system parameters	value
Nd: YAG wavelength/nm	532
pulse energy/mJ	180
pulse repetition rate/Hz	10
receiver diameter/mm	200
receiver full FOV/ μ rad	300
overlap function	0.8
filter bandwidth/nm	0.3
quantum efficiency of detector	0.1
gain of preamplifier	40
A/D accuracy/bit	12
A/D sampling rate/MHz	5

激光器是法国 Quantel 公司生产的 Brilliant 型 Nd: YAG 激光器, 将它背负在接收望远镜外方箱的上部, 可随着接收望远镜进行俯仰和方位的转动, 以进行

* 第七届全国激光科学技术青年学术交流会优秀论文。

收稿日期: 2003-09-12; 修订日期: 2003-10-17

作者简介: 钟志庆(1976-), 女, 博士研究生, 从事 Doppler 测风激光雷达的研究; 合肥市 1125 信箱二室; E-mail: zqzhong@aiofm.ac.cn.

镜和副镜均镀 532nm 波长全反的介质膜,反射率达 99%。

后继光学单元中的目镜由 K9 玻璃制成,镀有 532nm 增透膜,它将来自接收望远镜焦点后的发散光会聚成平行光,光斑直径 10mm。由于在整个对流层的高度范围里,激光雷达接收到的 532nm 波长大气后向散射回波信号的动态范围达到 7 个数量级以上,而 A/D 卡的精度是 12bit,不能采集这么大的动态范围的信号;同时,近距离的大气后向散射光很强,会导致光电倍增管饱和引起信号失真,所以通过分束片 1 将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测。

对于远距离探测通道,被分束片 1 反射的 90% 的大气后向散射光通过滤光片 5 进入带门控的光电倍增管进行光电转换。对于近距离探测通道,从分束片 1 透过的 10% 的大气后向散射光经全反镜 2 反射,再通过衰减片 3、滤光片 4 后进入光电倍增管进行光电转换。

两个通道的电信号经过双通道放大器放大后由双通道 A/D 卡采集,最后由工控机对采集的数据进行储存,并实时显示测量数据。

2 便携式米散射激光雷达的几何重叠因子

便携式米散射激光雷达是一个双轴系统,发射的激光光束是逐步进入激光雷达的接收视场,近距离大气后向散射光并不是完全被接收,所以需要几何重叠因子来修正近距离的大气后向散射光。使用合适的几何重叠因子对解决激光雷达探测信号动态范围大的问题是非常有利的。几何重叠因子可通过实验获得^[5,6]。选择大气干净,能见度高并且水平大气均匀的夜晚,激光雷达呈水平指向,发射 2 000 发激光脉冲,对采集的大气回波信号进行处理后得到该激光雷达的几何重叠因子如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,该激光雷达有比较长的几何重叠因子,到 0.8km 处,几何重叠因子才等于 1,表明发射的激光光束开始全部进入接收望远镜的视场内。在远距离处,由于接收的大气后向散射回波信号的信噪比小,回波信号的起伏较大,但几何重叠因子基本上围绕 1 上下变化。

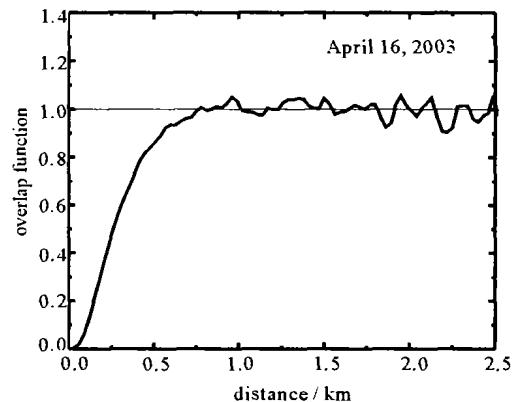


Fig. 2 Overlap function of the portable Mie lidar

图 2 便携式米散射激光雷达的几何重叠因子

3 大气气溶胶消光系数垂直廓线的探测

为了检验便携式米散射激光雷达探测大气气溶胶消光系数的性能及其可靠性,2003 年 1 月 23 日晚 20:00,我们进行了大气气溶胶消光系数垂直廓线的探测,并与另一台 L300 米散射激光雷达在同一时间的探测结果进行了比较。

图 3 给出了便携式米散射激光雷达(实曲线)和 L300 米散射激光雷达(虚曲线)同时探测的 532nm 波长气溶胶消光系数垂直廓线。图中的点划线是大气分子 Rayleigh 消光系数垂直廓线。可以看出,两台激光雷达探测的对流层气溶胶消光系数垂直廓线是较为一致的,同一高度区域上细微的结构也基本相似。

图 4 给出了便携式米散射激光雷达于 2003 年 3 月 21 日晚 19:33 探测的 532nm 波长气溶胶和卷云的消光系数垂直廓线。可以看出,当晚的大气具有明显的边界层结构,高度约为 1km;同时可以明显地看到在 9.7km 有一层厚度为 1km 的卷云,云峰值消光系数达到 0.09km^{-1} 。

图 5 也给出了该激光雷达于 2003 年 4 月 16 日上午 10:05 探测的 532nm 波长气溶胶消光系数垂直廓线(实曲

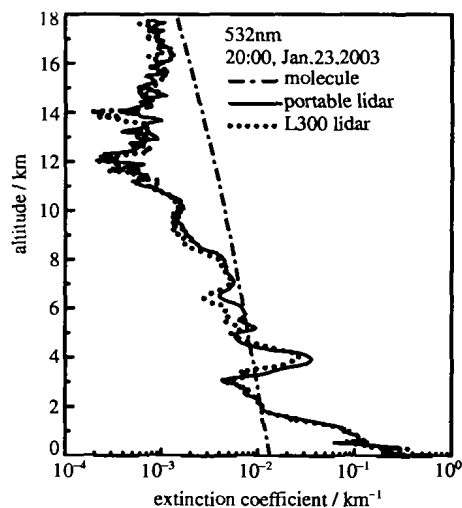


Fig. 3 Comparison of the aerosol extinction profiles measured by portable mie lidar and L300 lidar at night

图 3 便携式米散射激光雷达与 L300 激光雷达夜晚探测的大气气溶胶消光系数的垂直廓线比较

线)。可以看出当天的对流层气溶胶具有相当丰富的多层结构。表明该激光雷达具有很强的白天探测大气气溶胶消光系数垂直分布的能力。该天白天的探测高度达到 10km 左右。

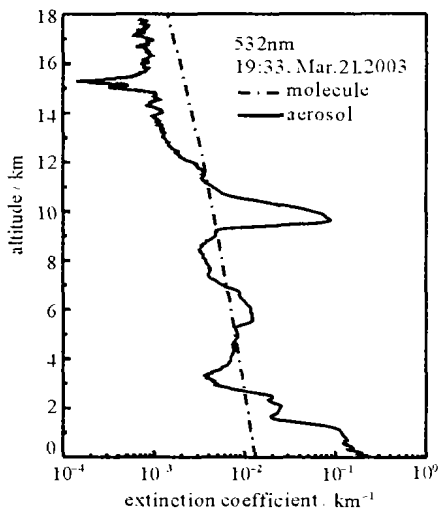


Fig. 4 Aerosol and cirrus extinction profiles measured by portable Mie lidar during nighttime

图 4 便携式米散射激光雷达夜晚探测到的大气气溶胶和卷云消光系数的垂直廓线

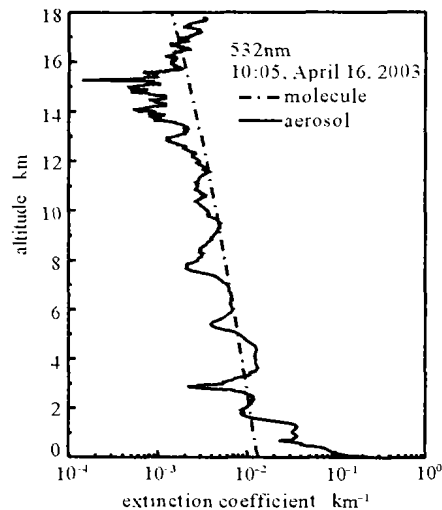


Fig. 5 Aerosol extinction profiles measured by portable Mie lidar during daytime

图 5 便携式米散射激光雷达白天探测到的大气气溶胶消光系数的垂直廓线

4 结 论

新型的便携式米散射激光雷达采用轻小型模块化设计,具有结构紧凑、体积小、重量轻和探测速度快等优点。可以在夜晚和白天进行大气水平能见度的探测和 532nm 波长大气气溶胶消光系数垂直廓线的探测,白天的探测高度达到 10km 左右,夜晚的探测高度达到 15km 左右。

参考文献:

- [1] Spinhrne J D. Micro pulse lidar[J]. *IEEE Trans Remote Sensing*, 1993, **31**: 48—54.
- [2] Zhou J, Yue G M, Jin C J, et al. Lidar observation of asian dust over hefei in the spring of 2000[A]. *Proceedings of Asian Lidar Observation Network Conference 2000*[C]. 2000. 29—32.
- [3] 周军,岳古明,金传佳,等. 探测对流层气溶胶的双波长米氏散射激光雷达[J]. *光学学报*, 2000, **20**(10): 1412—1417. (Zhou J, Yue G M, Jin C J, et al. Two-wavelength Mie lidar for monitoring of tropospheric aerosol. *Acta Optica Sinica*, 2002, **20**(10): 1412—1417)
- [4] Werner C. Slant range visibility determination from lidar signatures by the two-point method [J]. *Optics and Laser Technology*, 1981, 27—36.
- [5] Kikuro T, Chikara H, Kouichiro M, et al. Experimental determination of the crossover function in the laser radar equation for days with a light mist[J]. *Applied Optics*, 1989, **28**: 2194—2196.
- [6] Sasano Y, Shimizu H, Takeuchi N, et al. Geometrical form factor in the laser radar equation; an experimental determination[J]. *Applied Optics*, 1979, **18**: 3908—3910.

Portable Mie lidar for monitoring atmospheric aerosol extinction

ZHONG Zhi-qing^{1,2}, ZHOU Jun¹, QI Fu-di¹, FAN Ai-yuan¹, YUE Gu-ming¹, LAN Ju-sheng¹, JIANG Qing-wu¹
 (1. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 1125, Hefei 230031, China;
 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A portable Mie lidar has been developed for both daytime and nighttime aerosol measurements. The overall structure and specifications of the portable Mie lidar are described. The primary observational aerosol extinction profiles at 532nm are also presented and discussed in this paper. Signals detected by portable Mie lidar can reach about 25km at nighttime and 15km at daytime. It can also be used to measure the thickness and peak extinction value of cirrus.

Key words: Portable Mie lidar; Aerosol; Extinction coefficient; Cirrus