

文章编号: 1007-5461(2006)03-0303-04

基于 FP 标准具的直接探测多普勒测风激光雷达

孙东松¹, 钟志庆¹, 王邦新¹, 夏海云², 董晶晶¹, 周小林¹, 周军¹

(1 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031;

2 苏州大学物理科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘要: 已研制成功一台 1064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达, 采用 Fabry-Perot(FP) 标准具的双边缘技术, 用于探测对流层三维风场廓线分布。介绍了多普勒测风激光雷达的基本工作原理、总体结构和技术参数, 较为详细地叙述了各部分的结构及其功能, 并给出了合肥地区对流层风场廓线分布的初步探测结果。结果表明, 该激光雷达性能稳定, 达到了设计指标。

关键词: 大气光学; 激光雷达; 风; 多普勒效应; FP 标准具; 直接探测

中图分类号: TN958.2 **文献标识码:** A

1 引言

气候研究主要依靠全球标准大气变量的分析, 其中包括大气的风场分布。早期研究已经强调了精确的垂直风场和温度分布的重要性, 这些分布在很大程度上决定了很多其它重要气象领域的好坏。为了更好地认识气候系统的动力学和自然的变化特性, 特别需要包括风在内的大气数据; 需要大气数据监视目前的气候状态, 探测气候变化和验证用于季节预报的模型, 模拟气候并给出由于人类活动引起的气候变化的依据。

目前, 确定全球大气风场分布的主要手段包括卫星云图和多普勒天气雷达等。就当前技术而言, 仅多普勒测风激光雷达有能力给出所需要的三维风场数据, 它具有实用性、高分辨率和三维观测等优点, 是其它手段难以比拟的探测方式^[1~4]。多普勒测风激光雷达不仅能获得风场分布信息, 也可以得到云顶高度、云的垂直分布、气溶胶特性以及风场变化的附带数据。高精度的风场分布数据将有利于改进大气模型、提高大气分析能力、提高数值天气预报的准确性; 长期的天气预报数据是气候研究和气候模型的基础, 气候模型和气候变化离不开精确的数值天气预报。因此, 可以说全天候的三维风场数据将推动大气动力学的发展。世界气象组织指出: 迄今为止, 多普勒测风激光雷达是唯一能够获得直接三维风场廓线的工具, 具有提供全球所需数据的发展潜力^[5]。

已研制成功的 1064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达 (简称 DWL), 采用 Fabry-Perot 标准具 (简称 FP 标准具) 的双边缘技术对低对流层三维风场进行探测^[6]。介绍了该激光雷达的基本原理、总体结构及其系统参数, 对其探测对流层风场的初步结果进行了分析和讨论。

2 DWL 激光雷达的工作原理

DWL 激光雷达采用双边缘技术, 测量的灵敏度比单边缘技术相比提高近一倍。利用双边缘技术的米散射信号的多普勒测量原理如图 1。当米散射信号存在多普勒频移时, 通过两个标准具的输出信号强度就会有差别, 比较它们之间的差别大小就可以直接得到多普勒频移。例如, 当两个信号通道的信号强度相同

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目资助、中国科学院知识创新工程资助项目 (CX0201)

收稿日期: 2005-12-10

E-mail: dssun@aiofm.ac.cn

时,即发射激光的频率位于两个干涉仪频谱的相交点时,两个干涉仪的输出信号相平衡或相等,多普勒频移为零,径向速度为零;当两个信号相差大时,多普勒频移量或径向速度也大。由于散射信号谱中的瑞利散射信号谱相对于多普勒频移宽很多,因此在测量的动态范围内可以看成是近似均匀分布的,即可以看成是一种背景均匀噪声信号,于是这种瑞利散射信号对测量精度的影响可以忽略。

DWL 激光雷达通过光学天线向大气发射一束窄带(几十 MHz)激光脉冲,如图 2。激光被气溶胶粒子和大气分子散射,其中一小部分散射光沿发射方向返回 DWL 激光雷达的接收望远镜。由于大气风的作用或大气粒子的运动,接收信号光频率相对于发射激光存在多普勒频移,利用 FP 标准具测量多普勒频率,于是可以由下式直接得到径向风速: $V = \frac{\lambda}{2} f_d$,其中 V 是径向风速, λ 是激光波长, f_d 是多普勒频移。激光脉冲在经过一系列脉冲发射后进行平均可以减小探测噪声。激光扫描装置可以沿预先选定的 4 个正交方向分量交替发射测量,在每个方向上信号采样过程中方位固定以减小由于连续扫描带来的方位改变引起的速度误差。

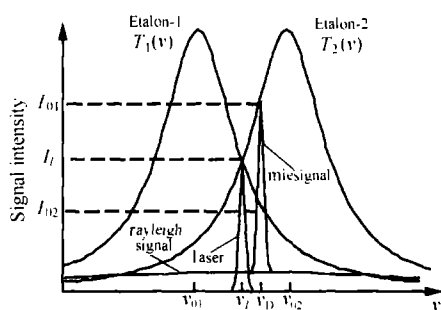


Fig.1 Principle Doppler measurement of mie signal with the double edge technique

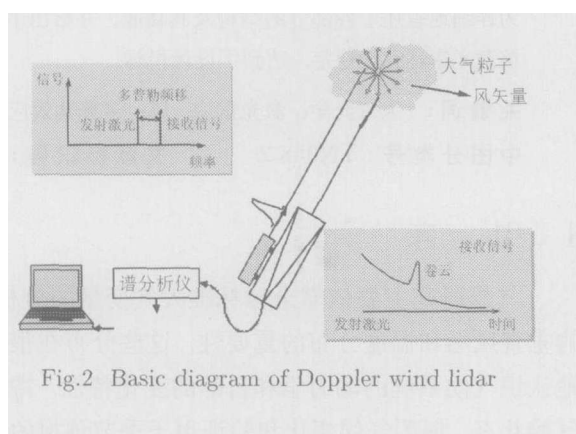


Fig.2 Basic diagram of Doppler wind lidar

3 DWL 激光雷达的总体结构和技术参数

DWL 激光雷达的基本单元包括光学收发系统、发射机、接收机、信号处理和显示系统等,如图 3,主要的技术参数见表 1。

Table 1 System parameters of Doppler wind lidar

名称	参数值
Nd:YAG 波长 /nm	1064
最大脉冲能量 /mJ	500
脉冲重复频率 /Hz	50
工作仰角 /°	45
望远镜直径 /mm	300
望远镜视场角 /μrad	150
滤光片带宽 /nm	0.55
标准具半宽 /MHz	170
标准具中心间隔 /MHz	200
探测器量子效率 /%	2
MCA 采样速率 /ns	200

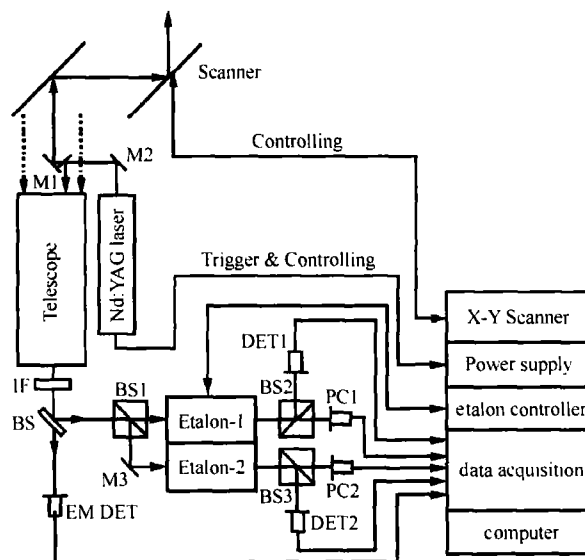


Fig.3 Schematic diagram of the Doppler wind lidar breadboard system

发射机采用种子激光注入锁定的 Nd:YAG 激光器,即基波 1064 nm。发射光束通过一个激光束扩束镜

压缩发散角，然后通过一个二维扫描系统以 45° 天顶角发射。运动的气溶胶或的大气分子后向散射光经过与发射激光相同的扫描系统入射到 Cassegrain 反射式接收望远镜，它将接收的散射光耦合到孔径为 100 μm 的多模光纤。接收的后向散射光信号的 20% 作为能量监测，80% 的后向散射光通过双 F-P 标准具的两个通道进行频谱分析。对于 1064 nm 波长的光信号采用高量子效率的 Si:APD 光子计数探测组件探测，四个光子探测器的信号经过数据采集送入计算机进行处理。

双 FP 标准具以及对应的干涉滤光片和探测器将置于同一个温度控制的容器内，以保证 FP 标准具的温度漂移性能一致，这样有利于系统校准。为保证测量精度，接收信号处理单元应具有稳定的防震系统。激光雷达系统的所有单元包括：激光器控制、扫描仪控制、探测器的采集控制、双 FP 标准具的 PZT 控制、容器的温度控制等均通过 RS232 由计算机控制。

4 DWL 激光雷达探测对流层风场的初步结果

双 FP 标准具的透过率曲线的测量是通过系统运行控制软件的 CS100 控制子程序对其腔长大小的控制，从而得到频率与透过率的对应曲线。图 4 和图 5 分别是采用连续光和脉冲光测量得到的双 FP 标准具的透过率曲线，图 4 中透过率曲线的峰值透过率达到了 90%，频谱中心间隔为 204.1 MHz，半宽度分别为 196.7 MHz 和 190.6 MHz。图 5 由于采用脉冲光测量，频谱宽度增加，峰值透过率下降为 75% 左右，频谱中心间隔为 196.2 MHz，半宽度稍有增加，两个通道分别为 211.5 MHz 和 222.3 MHz。测量结果与表 1 对应的技术参数基本一致。

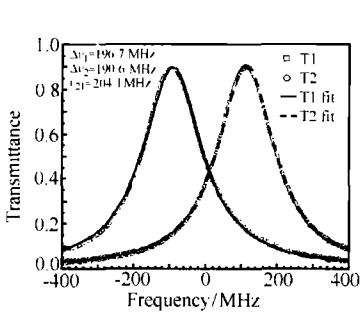


Fig.4 Measured transmittance of the dual Fabry-Perot etalon with cw laser

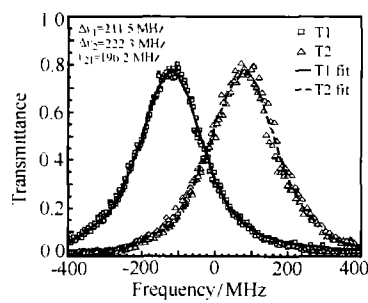


Fig.5 Measured transmittance of the dual Fabry-Perot etalon with pulsed laser

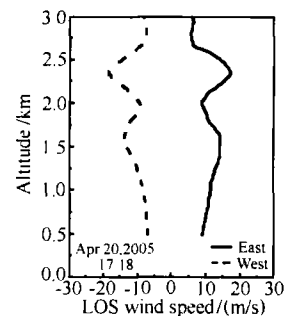


Fig.6 Radial wind profile detected by the Doppler wind lidar on Apr.20,2005

图 6 给出了 DWL 激光雷达 2005 年 4 月 20 日 17:18 在合肥地区测量到的 0.48 km 至 3 km 的风廓线。图中虚圆点和实圆点线分别是二维扫描单元指向东和西测量得到的风廓线，由于当天是东风，向东方向测量得到的多普勒频移为正值，对应的风速亦为正值；向西方向测量得到的多普勒频移为负值，对应的风速则为负值，且二者在不同高度上的风速体现了较好的一致性，这表明大气风场在测风激光雷达探测时间内不同高度上的风向和风速都没有什么大的变化。

DWL 激光雷达在 2005 年 11 月 30 日 21:00 至 12 月 1 日 4:00 进行了 8 个小时连续测量，获得了径向风速随时间变化的分布图，如图 7。该激光雷达的二维扫描单元工作仰角 45°，距离分辨率为 30 m，每组数据进行 5000 个脉冲累加平均。从图中可以看出 11 月 30 日晚从 2 km 至 4 km 风速变化较大，大气相对运动剧烈。12 月 1 日从 0.36 km 至 4 km 风速变化不大，可见凌晨大气相

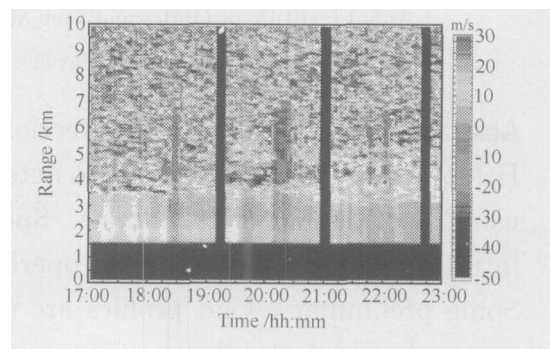


Fig.7 Distribution of line-of-sight wind detected by the Doppler wind lidar from 21:00 Nov.30 to 4:00 Dec.1, 2005

对运动比较稳定。

5 结 论

介绍了自行研制的 DWL 系统的基本工作原理、总体结构和技术参数,较详细地叙述了各部分的结构和功能。该激光雷达正在合肥进行对流层径向风速的初步探测,并取得了初步的测量结果。实验结果表明该激光雷达系统达到了设计指标,且性能稳定。该 DWL 激光雷达系统将与微波雷达、无线电探空测风仪等测风仪器进行对比实验,验证 DWL 探测风速的可靠性。系统的稳定与数据的可靠为推动测风激光雷达产业化生产提供了依据,它的成功研制为进一步开展各领域内测风激光雷达的应用奠定了坚实的技术基础,将有利于大气动力学的研究。

参考文献:

- [1] Souprayen C, Garnier A, Hertzog A, *et al.* Rayleigh-Mie Doppler wind lidar for atmospheric measurements. I. Instrumental setup, validation and first climatological results [J]. *Appl. Opt.*, 1999, 38: 2410-2421.
- [2] Chanin M L, Garnier A, *et al.* A Doppler lidar for measuring winds in the middle atmosphere [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 1989, 16: 1273-1276.
- [3] McGill M J, Skinner W R, Irgang T D. Validation of wind profiles measured using incoherent Doppler lidar [J]. *Appl. Opt.*, 1997, 36: 1928-1939.
- [4] Friedman J S, Tepley C, *et al.* Middle-atmosphere Doppler lidar using a iodine-vapor edge filter [J]. *Opt. Lett.*, 1997, 22: 1648-1650.
- [5] Ingmann, Status of the Doppler wind Lidar profiling mission ADM-aeolus [R]. *ESA Report*, July, 1999, (4): SP-1233.
- [6] Sun Dongsong, Zhong Zhiqing, Chi Ruli. Performance and analysis of 1.06 μm direct detection wind Lidar[J]. *Laser and Infrared* (激光与红外), 2004, 34(6): 412-514 (in Chinese).

Direct detection Doppler wind lidar based on dual FP etalon

SUN Dong-song¹, ZHONG Zhi-qing¹, WANG Bang-xin¹, XIA Hai-yun²

DONG Jing-jing¹, ZHOU Xiao-lin¹, ZHOU Jun¹

(¹ Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

² Department of Physics, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: A 1064 nm direct detection Doppler wind lidar has been completed successfully in Hefei, China. It was developed to detect three-dimensional wind profile in the low troposphere using the double-edge technique. Specification and overall structure of the lidar system are introduced. The structure and operation principle of its main subassemblies are presented. Some preliminary wind profiles are shown and discussed. The results show that this lidar system has high stability.

Key words: atmospheric optics; lidar; wind; Doppler effect; FP etalon; direct detection

作者简介: 孙东松 (1962-), 男, 中国科学院合肥物质科学研究院安徽光学精密机械研究所研究员, 理学博士, 2003 年获得中国科学院“百人计划”荣誉称号。曾先后赴瑞士 Leica 公司光物理实验室、奥地利维也纳大气与物理研究所、日本福井大学电气电子工程系工作, 主要从事光电探测、激光雷达遥感、成像激光雷达等方面的研究。