

基于 Fabry-Perot 标准具的多普勒测风激光雷达

钟志庆, 孙东松, 王邦新, 夏海云, 董晶晶, 周小林, 周 军

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:研制了 1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达, 采用 Fabry-Perot 标准具的双边缘技术, 探测了对流层三维风场分布。介绍了多普勒测风激光雷达的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径向风速的初步探测结果。结果表明, 该激光雷达系统性能稳定, 夜晚的探测高度可以达到 9 km。

关键词: 激光; 雷达; 风; 多普勒; Fabry-Perot 标准具

中图分类号: TN958.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2006)06-0687-04

Doppler wind lidar based on Fabry-Perot etalon

ZHONG Zhi-qing, SUN Dong-song, WANG Bang-xin, XIA Hai-yun, DONG Jing-jing,
ZHOU Xiao-lin, ZHOU Jun

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

Abstract: A 1 064 nm direct detection Doppler wind lidar based on the double-edge technique of Fabry-Perot etalon is developed to detect three-dimensional wind field in the troposphere. Specification and overall structure of the lidar are introduced. The structure and operation principle of its main subassemblies are presented. Some preliminary wind profiles over Hefei, China are given and discussed. The results show that this lidar system has high stability, and signals detected by this lidar can reach about 9 km at night.

Key words: Lidar; Wind; Doppler; Fabry-Perot etalon

0 引言

风是研究大气动力学和气候变化的一个重要参量, 利用其数据, 可以得到大气的变化规律, 并预见其变化趋势, 帮助人类了解能量、水、气溶胶、化学和其他空气物质圈, 从而提高人们对气象和全球气候变化的分析能力。目前的风场数据主要来源于无线电探空测风仪、地面站、海洋浮标、观测船、飞行器以及卫星, 但它们在覆盖范围和观测频率上都存在很大的局限。

世界气象组织迫切需要全球范围的高分辨率大气风场数据, 因此, 对全球进行直接三维风场测量已经提上了工作日程。迄今为止, 多普勒测风激光雷达 (DWL) 是唯一能够获得直接三维风场廓线的工具, 且极具提供全球所需数据的发展潜力^[1]。

激光雷达是探测大气的有力工具, 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和, 激光雷达技术的发展也日新月异。多普勒测风激光雷达具有实用性强、分辨率高和三维观测

收稿日期: 2006-01-25; 修订日期: 2006-03-01

基金项目: 中国科学院百人计划资助项目(202032403130); 中国科学院知识创新工程资助项目(CX0201)

作者简介: 钟志庆(1976-), 女, 江西新余人, 博士, 主要从事多普勒测风激光雷达的研究工作。Email: zqzhong@aiofm.ac.cn

等优点, 是其他探测手段难以比拟的^[2-5]。

新研制的 1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达, 利用双边缘技术对对流层三维风场进行探测^[6-8]。文中介绍了该系统的总体结构及其各部分的功能, 并对其探测对流层风场的初步结果进行了分析和讨论。

1 系统的总体结构和技术参数

1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达由激光发射单元、二维扫描单元, 回波信号接收单元、信号探测和数据采集单元及控制单元五部分组成, 其结构示意图和外观照片分别见图 1 和图 2, 主要的技术参数见表 1。

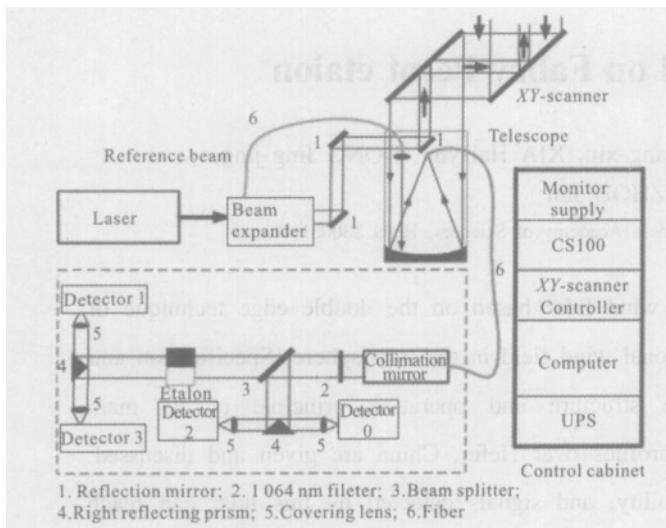


图 1 1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达结构示意图

Fig.1 Basic diagram of DWL breadboard system

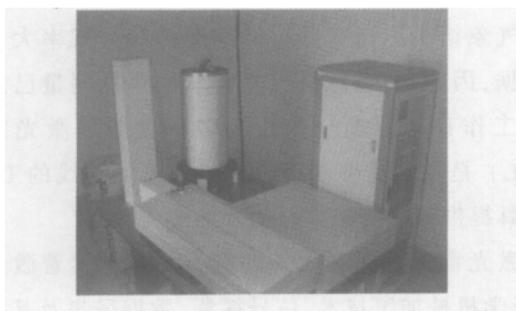


图 2 1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达外观照片

Fig.2 Photograph of DWL including control cabinet

激光发射单元、回波信号接收单元、信号探测和数据采集单元放置在光学平台上, 保证其光学稳定性。Nd:YAG 激光器的中心波长是 1 064 nm, 可以得

表 1 系统技术参数

Tab.1 System parameters of DWL

System parameters	Value
Nd:YAG wavelength/nm	1 064
Max pulse energy/mJ	550
Pulse repetition rate/Hz	50
Scanning angle/(°)	45
Receiver diameter /mm	300
Receiver full FOV/μrad	150
Filter bandwidth/nm	0.55
Etalon bandwidth/MHz	170
Etalon central distance/MHz	200
Quantum efficiency/%	2
MCA sampling resolution/ns	200

到较大的激光输出功率, 并且气溶胶的后向散射截面比较大。脉冲重复频率为 50 Hz, 既节省探测的时间, 又能捕捉短时间内风速的变化, 有利于提高风速探测的准确度。同时, 激光器内部注入种子激光保证了激光器的频率稳定。

二维扫描单元安置在实验房的房顶、接收望远镜的上方。有两个镀有 1 064 nm 波长全反的介质膜的平面反射镜、水平旋转机构和垂直旋转机构组成的大口径光学潜望式结构。通过软件控制或者手动调节能够全方位扫描, 水平方向可以旋转 0°~360°; 垂直方向可以旋转 0°~180°; 进行常规探测时采用四波束法, 水平方位依次按照 0°、90°、180°、270° 四个方位探测, 即东、南、西、北四个方位, 工作仰角为 45°。

接收望远镜在二维扫描单元的正下方, 有效通光口径为 300 mm, 如图 1 所示。主镜镀有 1 064 nm 波长全反的介质膜, 反射率高达 99%。望远镜接收的大气后向散射回波信号耦合至光纤, 由光纤导入到准直镜后成为平行光, 经过压制背景光的窄带滤光片后, 由 20%反射、80%透射的分束片分成两部分。20%的反射信号作为能量探测, 由直角反射棱镜分成两束, 分别被光子计数探测器接收; 80%的透射信号作为信号探测, 经过双 Fabry-Perot 标准具的两个通道后, 由于透过率不一样, 得到强度不等的两束光信号, 由直角反射棱镜分为两束, 由相应的光子计数探测器接

收。四个光子计数探测器分别将光信号转换为电信号后, 输入光子计数卡内, 最后由工控机中的主程序对采集的数据进行储存和处理, 并实时显示测量的信号强度廓线、风速和风向。

控制柜内安装有工控机, 其内安装的系统运行控制软件通过 RS232 串口控制激光器、二位扫描单元和双 Fabry-Perot 标准具工作, 起着系统的整体协调作用。控制柜内还有双 Fabry-Perot 标准具的控制器 CS100、二位扫描单元的控制装置、门控装置以及同轴系统对光时使用的监视器和各部件的电源。

2 双 Fabry-Perot 标准具的透过率响应曲线的测量

1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达的关键技术之一就是采用高分辨率的双 Fabry-Perot 标准具, 其结构如图 3 所示。它在一对基板上通过镀膜或沉积方式形成两个面积和大小相同的半圆形干涉仪, 根据镀膜的厚度可以形成标准具的两个通道频谱中心分离, 形成透过率响应曲线的交叠。由于它们固定在一个基板上, 双 Fabry-Perot 标准具的两个通道的中心频率的相对位置受温度的漂移变化相同, 可以保证标准具的频谱中心间隔大小恒定。

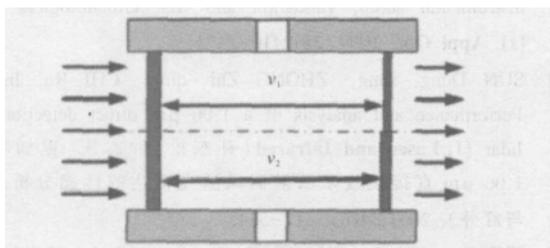


图 3 双 Fabry-Perot 标准具结构示意图
Fig.3 Diagram of dual Fabry-Perot etalon

双 Fabry-Perot 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 是 2005 年 4 月 27 日 19:04, 500 个脉冲累加平均测量得到的双 Fabry-Perot 标准具的透过率曲线, 通道一 (实圆点) 与通道二 (虚圆点) 的频谱中心间隔 v_{21} 为 228.2 MHz, 半宽度 w_{11} 、 w_{12} 分别为 205.0 MHz 和 224.3 MHz, 实曲线与虚曲线分别为两通道的相应拟

合曲线, 其峰值透过率分别为 73.7% 和 70.8%, 测量结果与表 1 对应的技术参数基本一致。

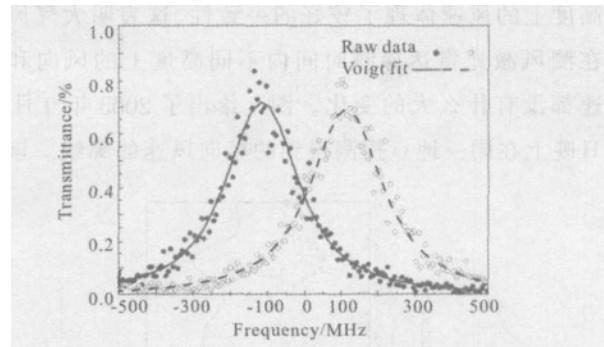


图 4 双 Fabry-Perot 标准具透过率响应曲线
Fig.4 Spectral scan of the etalon transmissim

由于环境因素引起光学单元和电子器件的漂移, 操作人员的活动可能引起接收机部件的振动而造成双 Fabry-Perot 标准具的腔长漂移, 以及激光器长时间工作引起频率的漂移, 都会对标准具透过率曲线的测量产生影响。为了检验双 Fabry-Perot 标准具的性能, 从 2005 年 4 月 24 日 ~5 月 15 日内, 进行了八次测量, 透过率响应曲线如图 5 所示, 实线和虚线分别对应通道一和通道二的透过率响应曲线。从图中可以看出, 虽然时间相距 21 天, 但是八组透过率响应曲线的重合度很好, 说明系统的稳定性很好。

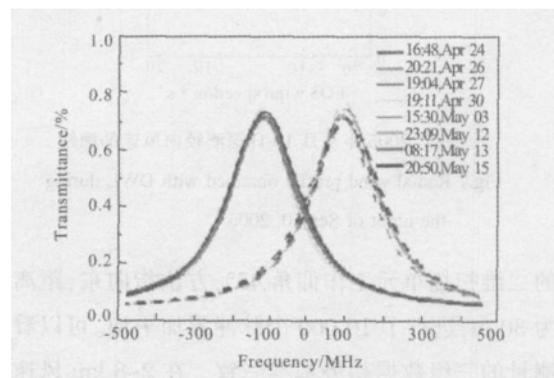


图 5 双 Fabry-Perot 标准具透过率响应曲线
Fig.5 Spectral scan of the etalon transmission

3 雷达探测对流层风场的初步结果

图 6 给出了该激光雷达 2005 年 4 月 20 日 17:18 在合肥地区测量到的 0.48 ~3 km 的风廓线。图中虚线和实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。图 7 给出了 2005 年 9 月 10 日晚上在同一地点探测得到的径向风速的廓线。该激

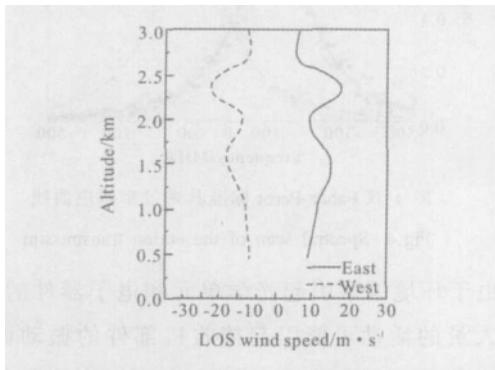


图 6 2005 年 4 月 20 日 17:18 探测得到的风廓线
Fig.6 Wind profile obtained with DWL on Apr.20, 2005

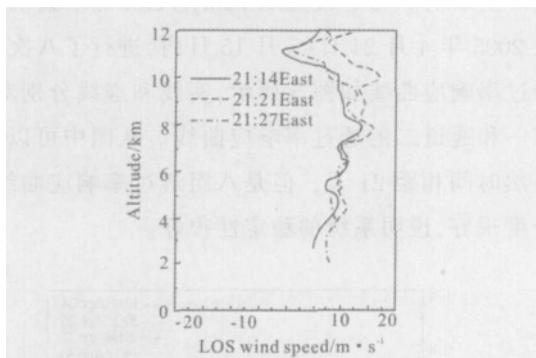


图 7 2005 年 9 月 10 日探测径向风速的廓线
Fig.7 Radial wind profile obtained with DWL during the night of Sep.10, 2005

雷达的二维扫描单元工作仰角 45° ;方位指向东,距离分辨率为 30 m,进行了 10 000 个脉冲累加平均。可以看出连续测量的三组数据趋势基本一致,在 2~8 km 风速变化不大,大气相对运动比较稳定,大体呈现增加趋势;在 8 km 左右达到一个最大风速约 15 m/s;8 km 以上,风速呈现递减趋势。夜晚的探测距离可以达到 9 km。

4 结 论

介绍了自行研制的 1 064 nm 直接探测多普勒测风激光雷达的总体结构和技术参数,系统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。实验结果表明该系统性能稳定,夜晚的探测高度可以达到 9 km。它的成功研制为进一步开展各领域内测风激光雷达的开发与应用奠定了坚实的技术基础。

参考文献:

- [1] INGMANN P. Status of the Doppler wind lidar profiling mission adm-æolus[C]//ESA Report,1999,SP- 1233(4).
- [2] CHANIN M L, GARNIER A, HAUCHECORNE 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, TEPLY C, CASTLEBERG P, et al. Middle-atmosphere Doppler lidar using a iodine-vapor edge filter[J].Opt Lett,1997,22:1648- 1650.
- [5] 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.
- [6] SUN Dong-song, ZHONG Zhi-qing, CHI Ru-li, et al. Performance and analysis of a 1.06 μm direct detection wind lidar [J].Laser and Infrared(孙东松,钟志庆,迟如利,等. 1.06 μm 直接接收米散射测风激光雷达的性能分析. 激光与红外), 2004,34(6): 412- 514.
- [7] CHI R, SUN D, ZHONG Z, et al. Analysis of the direct detection wind lidar with a dual Fabry-Perot etalon [C]// Proceedings of SPIE, Optical Technologies for Atmospheric, Ocean, and Environmental Studies,2005, 5832:140- 147.
- [8] SUN Dong-song, ZHONG Zhi-qing, ZHOU Jun, et al. Accuracy analysis of the fabry-perot etalon based doppler wind lidar [J]. Optical Review, 2005, 12(5):409- 414.