文章编号: 1001-5078(2006)09-0850-04

小型 Mie散射激光雷达系统设计与装校

丁红星[1],戴丽莉[1],薛国刚[2],孙东松[3],闫长春[2]
(1. 连云港师范高等专科学校物理系,江苏 连云港 222006;徐州师范大学物理系,江苏 徐州 221009;
3. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院,北京 100083)

摘 要:介绍了一台直接探测的用于大气气溶胶测量的 1064nm小型 Mie散射激光雷达系统,详细论述了系统的设计、加工、建造和系统装配调试过程。解决了信号采集所需要的控制电路,实现了激光雷达的收发同步。实验结果表明:系统的几何重叠因子稳定可靠,校准误差为 0. 00143。这同时也说明了系统设计、装校的合理性。

关键词:激光雷达;Mie散射;装校;校准
中图分类号: TN958. 98 **文献标识码**: A

Study of Compact Mie Scattering Lidar and Its Designing, Assembling and Debugging Processes

DING Hong-xing[1], DAI Li-li[1], XUE Guo-gang[2], SUN Dong-song[3], YAN Chang-chun[2]
(1. The Department of Physics, Lianyungang Teachers College, Lianyungang 222006, China;
2. Department of Physics, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China;
3. School of Instrumentation Science & Opto-electronics Engineering, BeiHang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A compact 1064nm Mie Scattering Lidar working with immediate detection is introduced. The processes of designing, machining, constructing, assembling and debugging the demonstration system of Compact Mie Scattering Lidar are described in detail. The control circuit of signal collection is solved, and the lidar's synchronization of receiving and transmitting is realized. The experimental results indicate that the geometric overlap factor is reliable and its calibration error is 0. 00143. This also indicates that the system's designing, assembling and debugging are reasonable.

Key words: lidar; Mie scattering; assembling and debugging; calibration

1 引 言

激光雷达自 20世纪 60年代初露端倪,至今已经发展了 40年。其中大气气溶胶激光雷达[1]主要用于探测气溶胶和云层在大气垂直高度上的分布。近十年来,光电探测器件和光子探测技术发展迅速,硅雪崩光电二极管(Si-APD)在 1064nm上的量子效率已达 18%[2]。这些进展促进了采用直接探测方式工作的激光雷达的发展,在一些应用上,该类激光

基金项目:江苏省教育厅自然科学基金(04KJD140196);徐州师范大学自然科学基金(04XLB09)。
作者简介:丁红星(1975-),男,讲师,硕士,主要从事激光雷达以及微弱信号检测研究。
收稿日期: 2006-04-17;修订日期: 2006-05-22

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

雷达凭借其结构简单、经济高效已占主流。本文提出的小型 Mie散射激光雷达采用直接探测工作方式,所要实现的功能是对对流层内的大气气溶胶和云层进行长期、实时的观测,获得精确数据对大气及环境的研究具有重要价值。近年,相关的研究有:美国宇航局 (NASA)在 1993年开发了微脉冲激光雷达系统 (MPL)[3],如今已在全世界形成一个微脉冲激光雷达网络 (MPL Net),在相关地区进行着日常的测量;国内中科院安徽光机所于 1997年建立了双波长 Mie散射激光雷达 L300系统[4]。本文详细论述了自行研制的一套 1064nm Mie散射激光雷达系统的设计、加工、建造和系统装校工作。

2 小型 Mie散射激光雷达系统

小型 Mie散射激光雷达系统采用收发分置且离轴结构。整机分为激光发射系统、接收光学系统、光机扫描系统、信号采集和控制系统四个部分。表 1为小型 Mie散射激光雷达的主要技术参数。

表 1 小型 Mie散射激光雷达的主要技术参数

激光发射系统参数	
激光器	二极管泵浦 Nd:YVO_4激光器
激光波长 (nm)	1064
脉冲重复频率 (kHz)	12.38
激光平均功率 (W)	1.8
扩束镜倍率	40X
光束发散角 (mrad)	0.1
接收光学系统参数	
光学天线类型	卡塞格伦反射式望远镜
接收孔径 (mm)	254
接收视场 (mrad)	0.12
信号采集和控制系统参数	
光电探测器	SPCM-AQR-15-FC (PerkinElemer)
量子效率 (1064nm)	18%
暗计数 (c/s)	<50
增益	500
多通道数据采集卡	MCS-pci card
最高采样率 (MHz)	150
单通道采样时间 (ns)	400

3 系统光学机械设计

图 1给出了小型 Mie散射激光雷达演示系统的光路,光机设计在此基础上进行。光机设计要符合该激光雷达的结构,即收发分置且离轴。因此,激光发射系统安装在光学天线上,而且两者轴平行。考虑到激光雷达的轻便性,光机组件 (包括底座支架、底座和光学天线后部圆筒)都采用铝材。为了使激光雷达紧凑,激光器、扩束器和单光子计数器都固定在底座上。光学天线后部圆筒是为了连接光学天线的后端和光纤,望远镜的焦点落在圆筒后端小孔中心,而此处正是光纤所在。

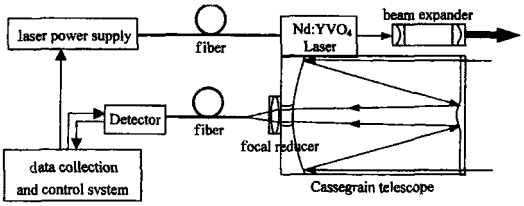


图 1 小型 Mie散射激光雷达演示系统光路图

4 收发同步实现方法

一台激光雷达系统,激光发射与信号探测及数据采集必须同步进行,即激光器、光电探测器、数据采集卡要保持同步工作,这关系到激光雷达整体的性能和后续数据处理的方便。保持同步是因为激光器的发射和探测器的接收都是瞬时的,激光出射后,一到空气中,就会受到软目标 (大气分子和气溶胶)的散射作用,此时就应该有回波信号了。小型 Mie散射激光雷达演示系统的同步方案如图 2所示。

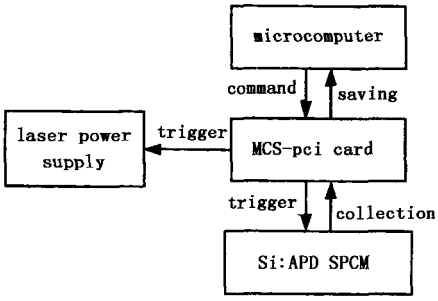


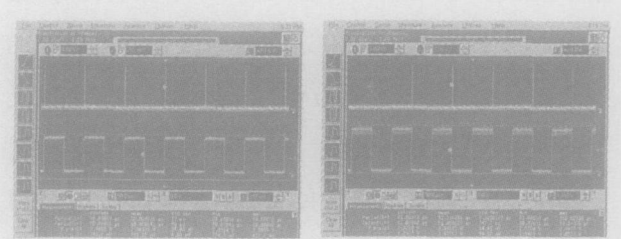
图 2 同步方案

MCS-pci card提供了多路触发信号,其本身采用内触发,由微机通过 MCS-32软件控制。Si:APD SPCM的触发使用 MCS-pci card的 START OUT输

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出端信号,用同轴电缆接上 Si-APD SPCM的 GATE INPUT端;START OUT输出的触发信号的高电平是160ns,而 Si-APD SPCM的 Gate Enable的高电平典型 45ns,最大 55ns,两者是相配的[2,5]。激光电源的触发使用 MCS-pci card的 MDPASSOUT输出端信号;此时激光器使用单次发射工作方式,触发由 QS I/O的第三管脚输入,但要求 TTL 高电平不小于0.5μs,而 MDPASSOUT的高电平正是 MCS-pci card一个采样周期的一半,能保证其大于0.5μs[5-6]。另一个问题:MDPASSOUT的输出高电平是 MCS-pci card一个采样周期的后一半,其上升沿与 START OUT输出信号的上升沿不一致,要慢半个采样周期。为了让两者的上升沿一致,让 MDPASSOUT的输出经过一个反相器(CD74HCT04)即可。最后,Si-APD SPCM的 TTL OUTPUT的探测信号用同轴电缆输入 MCS-pci card的 IN端口。

激光器和单光子计数模块的触发都采用 TTL 上升沿,只要两个触发信号的上升沿一致,则两者同步工作。



(a)未使用反相器 (b)使用反相器

图3 同步触发信号

图3为用双踪示波器观察到的 START OUT和 MDPASSOUT的输出 TTL 信号。从图3(b)可以看到两触发信号基本同步,MDPASSOUT的上升沿比 STARTOUT的上升沿落后约36ns,这是由 MCS-pci card本身和反相器的延迟时间所决定的,但这不会影响整体同步的效果。至此,该激光雷达的收发同步得以实现,亦即信号采集的控制电路得以实现。

5 系统装校

5.1 装校目的

激光雷达系统在运行之前,要经过严格的装校。由于该激光雷达演示系统是收发分置且离轴的系统,所以对其装校主要是准直,使激光发射系统与光学接收系统轴平行。装校之后能保证回波信号顺利被接收,到达光电探测器的光敏面;能缩小激光束的发散角,使激光能量集中,在大气中能传输到更远的距离(相对于未加扩束器);能获得一个好的几何重叠因子,极大地降低近程强信号,压缩信号动态范围,有效保护光电探测器。

5.2 装校方案及具体过程

整个装校的过程是在光学精密平台上进行的。装校方案分为两步:第一步,调激光器与卡塞格伦望远镜轴平行;第二步,调扩束器与激光器同轴。

第一步装校中,首先使出射光在沿其传播方向的任意位置处上下、左右都不偏离,以便后续光路的搭建。其次继续调节光路,把接收信号(近似于平行光)耦合进光纤,再通过光纤传到光电探测器的光敏面上,并使射向望远镜的两束光平行入射。最后用代替 Nd:YVO_4激光束的 He-Ne激光束与射向望远镜的两束光相比较,微调光路使激光器的中心与望远镜的中心轴平行。

第二步装校在以上所述工作基础上进行,调节光路,使扩束器前后两个透镜的透射光和表面反射光的干涉条纹的圆心,分别在激光器的发射孔中心和光敏纸上的小孔(激光束经过光敏纸处)。为了使第二步装调更为精确,还可以同时用主动装调。打开激光器电源,发射激光,用激光可视仪(photo view)在光敏纸上看透过扩束器的激光光斑是否完整,光斑中心是否在光敏纸上的小孔;且透过该处的光要通过另一光敏纸的相应位置。主、被动装调都达到要求,则可以保证激光器与扩束器完全同轴了,因为光的干涉精度是波长量级的。以上装校为该激光雷达演示系统下一步的校准实验提供了先决条件。

5.3 装校的误差估计

装校过程中一定存在误差,尤其是第一步装校,整个过程是用人眼来判断的,而人眼的分辨率有限。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

第二步装校是用光的干涉来判断的,而干涉的误差在微米量级上,可以不予考虑。因此,整个装校过程只考虑第一步的误差。现作如下误差估计,见图 4。图中,1064nm激光已被 He-Ne激光所替代,用凸透镜 L代表望远镜物镜,f代表其焦距,l为前后两次测量的间距。

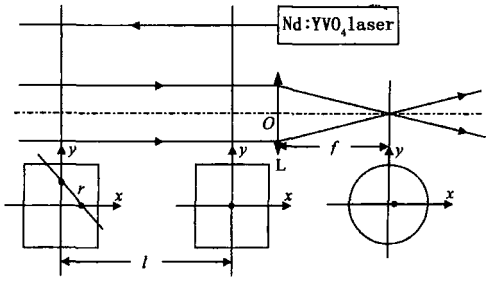


图 4 误差估计示意图

第一步装校会产生两方面的误差:一是接收视场误差;二是激光发射系统与光学接收系统的轴平行误差。焦点对准时会产生误差,这导致接收视场误差。对于 He-Ne激光光斑,人眼的分辨线宽估计为 0.5mm,则接收视场误差为:

$$\delta_{FOV} = \frac{0.5\text{mm}}{f} = \frac{0.5\text{mm}}{838\text{mm}} = 0.597\text{mrad} \qquad (1)$$

在调轴平行时,先在靠近激光雷达处测一次;后在稍远处再测一次,会在 x和 y两个方向产生误差,皆为 0.5mm,那么在 r方向的误差为 0.707mm,则轴平行误差为:

$$\delta_{axis} = \frac{0.707\text{mm}}{l} = \frac{0.707\text{mm}}{1200\text{mm}} = 0.589\text{mrad} \qquad (2)$$

以上两个装校误差是在精度允许范围以内的,对整体的装调效果不会产生大的影响,符合设计的要求。

6 系统接收信号的校准

装校工作结束后,对系统接收信号进行了一系列严格的校准。图 5显示了几何重叠因子 $Y(r)$的处理过程,另外线性拟合中存在误差,其均方根误差为 0.00143。图中信号不平滑是由于该水平程信号是在城市中心得到的,受到市内各种建筑物的影响,水平层内大气气溶胶的分布会局部不均匀。从图 6中可以看到,小型 Mie散射激光雷达演示系统的几何重叠因子随日期基本不变,稍许变化是由大气的复杂性引起。系统几何重叠因子的不变性,说明该型激光雷达设计、装调的合理性,同时也表明了其稳定性。

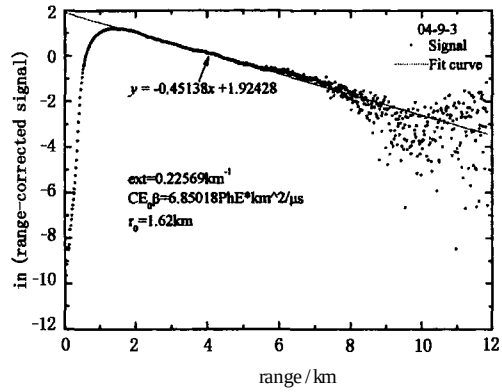


图 5 几何重叠因子处理图

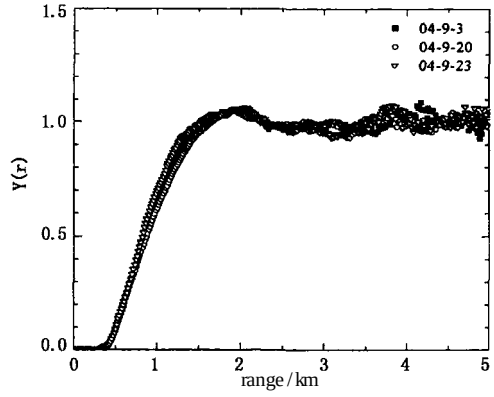


图 6 几何重叠因子

参考文献:

[1] G Fiocco, G Grams. Observations of the aerosol layer at 20 km by optical radar[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1964, 21(3): 323 - 324.

[2] Single Photon Counting Module SPCM-AQR Series Data Sheet[Z]. PerkinElmer Optoelectronics, Canada, 2001.

[3] James D Spinhirne. Micro pulse lidar[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1993, 31(1): 48 - 55.

[4] 周军,岳古明,等. 大气气溶胶光学特性激光雷达探测[J]. 量子电子学报, 1998, 15(2): 140 - 148.

[5] MCS-pci with MCS-32 Operating Software for Microsoft Windows 98 and Windows NT Version 4 (A73-B32) Hardware and Software User's Manual[Z]. ORTEC, Printed in U. S. A.

[6] Operator's Manual-VECTOR Diode-pumped Q-Switched Lasers[Z]. Coherent, Inc. 3/2001, Printed in the U. S. A.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net