

文章编号: 0258-7025(2009)09-2341-05

激光雷达光束自动准直系统设计与实现

刘小勤 吴毅 胡顺星 汪建业 翁宁泉

(中国科学院安徽光学精密机械研究所大气光学中心, 安徽 合肥 230031)

摘要 根据激光雷达原理并结合实际实验经验,设计了一套在计算机程序控制下的激光雷达光束自动准直系统。通过控制激光发射导向镜的位置,使激光在东西和南北方向扫描,对接收到的回波信号分析处理,得到最后方位使收发系统平行。操作过程每次只需 10~20 min,精度可达到 0.1 mrad。系统应用到大气温度监测中,将测量计算结果与模式 CIRA86 数据进行对比分析表明,反演高度 30~45 km 处误差 1~3 K,45~65 km 处误差 2~5 K。

关键词 激光雷达;自动准直;接收视场;发散角

中图分类号 TN958.98 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093609.2341

Design and Implementation of Automatic Alignment System for the Lidar

Liu Xiaoqin Wu Yi Hu Shunxin Wang Jianye Weng Ningquan

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

Abstract According to principle of lidar and experiences, the automatic alignment system of lidar beam controlled by computer procedure has been designed. By controlling the position of gimbal-mounted mirror, the direction of light beam scanning was east-west and south-north. Echo signals were analyzed, and final position was obtained to make transmitting and receiving systems parallel. The process needs 10~20 min for once, and accuracy is about 0.1 mrad. In atmospheric temperature monitoring, measuring results compared with CIRA86 data. The error of altitude at 30~45 km is 1~3 K, 2~5 K for 45~65 km.

Key words lidar; automatic alignment; field of view; divergence

1 引 言

在激光雷达系统中由于温度变化、光学平台震动、激光器模式变化或波长变更等原因常常导致激光雷达接收和发射系统光轴偏离。为保证测量精度,在激光雷达每次测量前必须进行收发光路的对准,使收发光路平行,即使接收视场角与发射激光的发散角严格匹配^[1~3]。因为收发系统光轴发生微弱的偏离会引起测量信号产生相当大的误差,而这种误差只能在测量数据被详细处理分析时才会发现,因此会导致大量测量信号无效。

此项工作过去一直是人工操作,需要有专业训

练的高技术人员借助精密光学调整支架和水平仪器进行精细的工作,繁琐费时^[3]。特别是对于拉曼、偏振及平流层、中间层等高层探测的激光雷达系统,为减少天空背景光的干扰往往需要减小接收视场角,使得收发光路的人工对准难度更大。为避免人为误差,保证每次光路调节的有效性,提高激光雷达的工作效率,有效地节省调整光路的时间,本文设计了一套在计算机控制下的激光光束自动准直系统,通过控制激光导向镜使激光在不同方向进行扫描并获取不同方向大气回波信号,分析找到使收发光路平行的最佳位置。

收稿日期: 2008-09-08; 收到修改稿日期: 2008-12-26

作者简介: 刘小勤(1967—),女,博士,副研究员,主要从事激光雷达及计算机应用方面的研究。

E-mail: xqliu@aiofm.ac.cn

2 系统设计原理

激光雷达不论是同轴或非同轴一般都由发射单元、接收单元及信号处理单元组成^[4,5]。接收望远镜在激光雷达系统中相对体积较大,接收光轴不易调整,所以一般使接收望远镜垂直固定。收发光路的对准依靠对发射光轴的调节使发射和接收两光轴平行。发射光轴的调节是通过调节放置在发射平台上的45°全反射镜来改变发射光束的指向,从而使发射光束与接收视场(FOV)相匹配。图1为收发望远镜同轴激光雷达的发射光束与望远镜接收视场示意图。

发射光束在图1中所示南北向(前后向)与东西向(左右向)两个平面内进行扫描调节,当发射光轴与接收光轴平行时,激光雷达接收到空中各高度上的大气后项散射信号最强,发射光束与接收视场相匹配。

图2描述当激光束从左向右扫描时,在空中某一高度处光束指向和回波信号强度之间的关系。图2(a)为当激光束从左向右扫描时,光束穿入接收望远镜视场再移出的过程。图2(b)为被望远镜接收

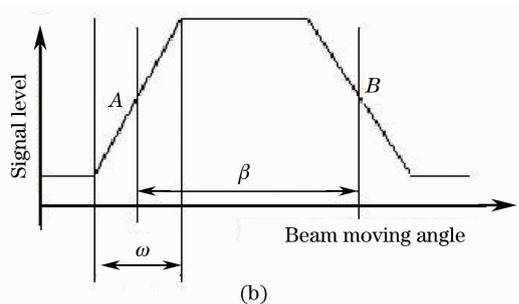
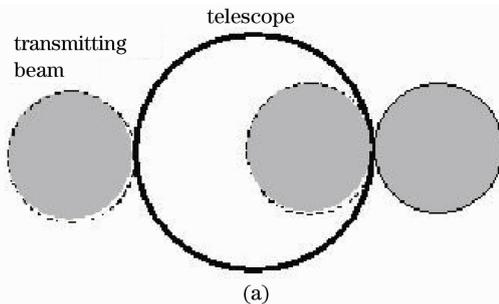


图2 发射光束和望远镜接收视场(a)及信号强度和光束指向角的函数关系(b)

Fig. 2 A light beam and FOV of telescope (a) and signal level as a function of the laser beam direction (b)

确定梯形曲线上平台的中心点,如果梯形曲线轮廓分明,可以通过找到梯形半高度两点再得到其中心点即可(如图2中A,B),但在实际测量中由于光斑的不均匀、望远镜的虚光以及光电倍增管(PMT)空间感应的不均匀等,梯形曲线不可能很正规,不易确定中心位置。通过实验分析,可采用简单有效的方法确定最终步进电机位置,也就是最终要得到的中心位置

$$W = \frac{\sum_i P_i W_i}{\sum_i P_i}$$

式中, P_i 为步进电机位置 W_i 所对应特定高度的回波强度值, $P_i > 2P_b$, P_b 为当时条件下的系统背景值。系统背景值可以用不出光时,天空背景回波信号累积一定脉冲数的平均值,也可以使用任何一组回波中一定高度后不包含任何有效信息的数据平均

到的回波能量与光束指向角构成的梯形函数分布^[3]。图2(b)中梯形的半峰全宽(FWHM)对应于望远镜的视场角 θ ,而梯形的上升沿或下降沿宽度则对应于激光束的发散角 ω ,梯形曲线的平台对应于光束完全进入望远镜接收视场。要使发射光束在空中任何高度与接收视场相匹配,需要调节光束指向,将其调到梯形曲线的上平台的中心位置。

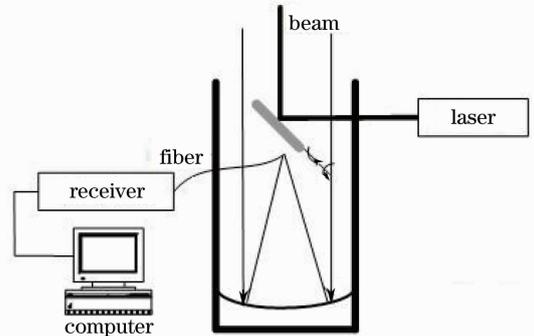


图1 同轴系统发射光束与望远镜接收视场示意图

Fig. 1 Diagram of transmitted laser beam and telescope FOV in coaxial lidar

值。根据实验经验 P_i 的选择范围为大于背景值的2倍为宜。

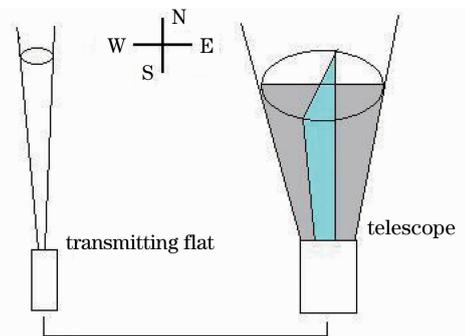


图3 非同轴系统发射光束与望远镜接收视场示意图

Fig. 3 Diagram of transmitted laser beam and telescope FOV in non-coaxial lidar

对于非同轴系统其发射光束与望远镜接收视场如图3所示。与同轴系统原理一致,但由于收发不

同轴,低端受到几何因子影响,在确定发射光束位置时,需考虑高度值的选取。选取测量高度远大于发射端与望远镜的距离,使收发不同轴的影响可忽略不计,同时考虑选取信噪比相对高的测量数据计算出梯形平台,选取中心点。本文以非同轴激光雷达系统为基础设计,其设计方法对同轴系统同样适用。

3 系统结构

激光光束自动准直系统依附于激光雷达系统,除了激光雷达自身包括的激光器、接收望远镜、信号探测采集单元外,还包括 3 个模块:二维导向镜、电动控制单元、测量与控制算法软件模块。总体设计框图如图 4 所示。

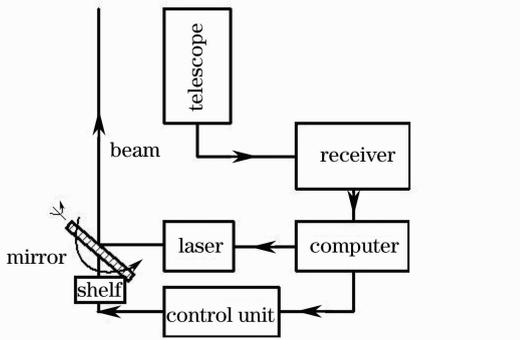


图 4 激光光束自动准直系统结构框图

Fig. 4 Diagram of automatic collimating system for laser beam

3.1 二维导向镜

二维导向镜主要由可调节镜架和一块 45° 全反射镜组成。其中自行设计的可调节镜架在两个电机的控制下,能在 y 和 z 轴方向上进行小范围的移动,同时带动放置在可调节镜架上的 45° 全反射镜移动,当激光射到 45° 全反射镜上被折射入天空时,射入天空的激光束就能在电机控制下在东西和南北两方向上进行 5° 范围的扫描。通过控制两个电机的转动方向和步距来控制激光束的发射方向。

3.2 电机控制单元

电机控制单元由两台步进电机、输入和输出控制卡和微机组成。输入和输出控制卡插在微机中,微机通过输入和输出控制卡指挥电机工作。步进电机每动作一步,可以使发射激光光轴弧度发生改变。例如步进电机最小移动步距可以使发射激光光轴改变 0.01 mrad,那么激光光轴最小移动角度 0.01 mrad。

3.3 测量与控制方法

二维导向镜和电机控制单元是本系统主要硬件部分,将被安装到激光雷达系统中,测量与控制方法

不仅要控制本系统的硬件部分,还需要借助于激光雷达系统中的激光器、信号探测单元、接收望远镜。激光器发出激光经过二维导向镜导入空中,激光雷达的接收望远镜接收天空后向散射回波信号。电机每次带动二维导向镜移动一步距,激光束方向发生相应改变,在此方向通过接收望远镜收集一定数量的天空回波信号,再对各方位回波信号进行计算比较,最终求得二维导向镜最佳方位,使发射光束与接收视场相匹配。图 5 为测量与控制方法的程序流程图。

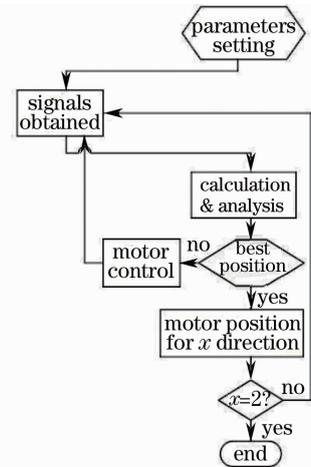


图 5 测量和控制方法流程图

Fig. 5 Flow chart of measurement and control method

计算分析时首先需要选取计算高度,因为对不同发射通道,由于目标测量高度不同,系统几何因子不同等,需要根据实际情况选取计算高度,一般选在信噪比高而且没有几何因子影响的高度点上。首先控制其中一电机转动改变激光发射指向,扫描直到完成上节描述的一个完整梯形,然后对选定高度的回波信号强度进行分析与比较找到此方向上最佳位置,将此电机移至此位置;再换另一电机重复此过程,如此直到找到系统最佳位置。运行时间一般在 $10 \sim 20$ min。

4 实验结果及分析

将系统安装在一台用于平流层大气温度测量的激光雷达上,并进行了测量实验。如图 6 所示,激光雷达使用 Nd:YAG 激光器,波长 532 nm。卡塞格伦(Cassegrain)型接收望远镜与垂直发射光路距离 7 m。接收望远镜用以收集大气后向散射光信号,散射光信号由 PMT 进行光电信号转化,其输出经放大后由安装在计算机中的光子计数卡记录并保存^[6~8]。

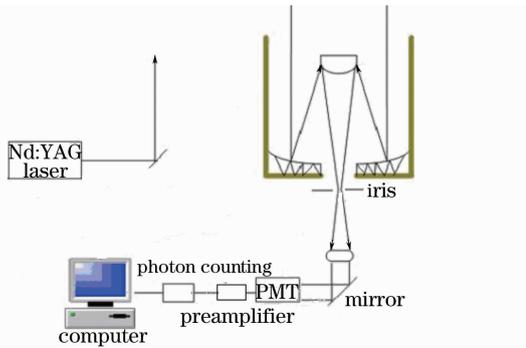


图 6 温度测量激光雷达结构框图

Fig. 6 Schematic diagram of temperture measurement lidar

实验先在南北方向上进行精调。微机控制步进电机使其带动 45° 反射镜将光束自动从南北西扫描,微机信号采集系统记录每一角度(对应的步进电

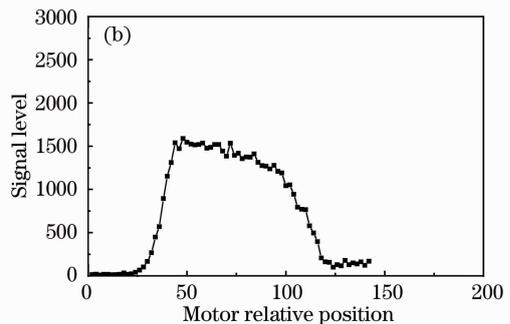
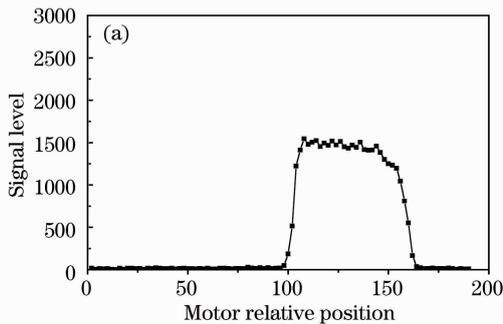


图 7 光束扫描得到的回波梯形曲线。(a)东西;(b)南北

Fig. 7 Trapezoid profile by light beam scanning. (a) East-west directon; (b) south-horth direction

图 8 分别取了 4 个不同高度的数据,计算得到的中心位置全为 73,可见 4 个梯形的中心位置很一致,且位置与计算的相同。从图 8 中还可可见光束进入和退出接收望远镜视场角前后有所差别,但中心位置变化不大(或没变化)。因为找准梯形的中心位置,就可使发射光束完全进入接收视场,而中心位置可以通过实验数据准确地计算得到。经人工验证收发系统光轴完全平行,精度优于 0.1 mrad。

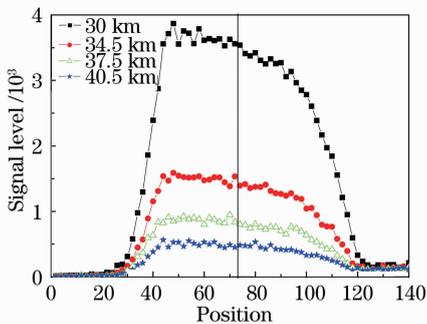


图 8 光束扫描得到的回波曲线

Fig. 8 Echo signal by light beam scanning

机位置 W) 所对应的一定数量的回波信号 P (脉冲次数约 200),微机存储下每组数据以备分析。注意,扫描方向顺序调节时先进行南北方向扫描,再进行东西方向扫描。因为接收望远镜在发射光束的东面,当光束在向东面扫描时,容易使光电倍增管饱和。

步进电机每动作一步,可以使发射光轴改变 0.01 mrad,系统光轴最小移动角度 0.01 mrad,通过计算可以得到中心位置。

计算高度选取应在 45 km 以上,考虑了越往高空信噪比越差,而低空受几何因子的影响大。图 7 为此高度光束分别在两个方向上扫描得到的梯形曲线,此时需确定梯形曲线上平台的中心点,通过计算确定中心位置,然后将光束自动调至中点位置。

2005 年 12 月 6 日晚温度测量结果与大气模式 CIRA 对比如图 9 所示,图中反演高度为 25~65 km。将计算结果与模式 CIRA86 30°N 12 月平均值数据进行对比分析,反演高度 30~45 km 处误差 1~3 K,45~65 km 处误差 2~5 K。可见温度测量结果与模式一致,证明激光光束自动准则系统有效。

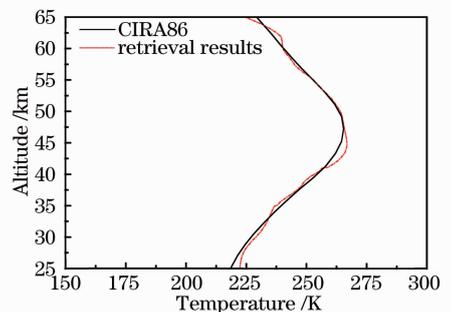


图 9 激光雷达温度探测结果与 CIRA86 模式比较

Fig. 9 Profiles of temperature by the Lidar comparing with CIRA86 model

5 结 论

提出一种程序控制的激光雷达光束自动准直系统。通过电机控制导向镜在东西和南北方向进行扫描,比较了导向镜不同位置接收到的回波信号强弱,得到激光最佳发射位置,使收发系统光轴平行。通过测量实验和分析表明,此方法可有效地使发射光束与接收视场相匹配。需要注意的是收发光轴偏差过大时(如激光雷达系统首次运行或重大变动后),使用系统花费时间较长,建议先进行人工初调,然后运行系统,以后每次实验前只需使用系统即可快速校正收发光轴。

参 考 文 献

- 1 Luca Fiorani, Mario Armenante, Roberta Capobianco. Self-aligning lidar for the continuous monitoring of the atmosphere [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(21): 4758~4764
- 2 Stuart A. Young. Lidar system optical alignment and its verification[J]. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(9): 1612~1616
- 3 Bo Liu, Fan Yi, Chang Mingyu. Methods for optical adjustment in lidar systems[J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(8): 1480~1484
- 4 Sun Jingqun. Laser atmospheric detection[M]. Beijing: Science Press, 1986. 215~256
- 5 孙景群,激光大气探测[M]. 北京: 科学出版社, 1986, 215~256
- 5 Zhan Yinchao, Hu Huanlin, Tan Kun. Development of a mobile lidar system for air pollution monitoring[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(8): 1025~1031
- 张寅超,胡欢陵,谭 锟. AML-1 车载式大气污染监测激光雷达样机研制[J]. 光学学报, 2004, **24**(8): 1025~1031
- 6 A. Hauchecorne, M. Chanin. Density and temperature profiles obtained by lidar between 35 and 75 km [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 1980, **7**(8): 565~568
- 7 W. N. Chen, C. C. Tsao, J. B. Nee. Rayleigh lidar temperature measurements in the upper troposphere and lower stratosphere[J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2004, **66**: 39~49
- 8 Wu Yonghua, Hu Huanling, Hu Shunxing *et al.*. Temperature measurement with Rayleigh scattering lidar in the mid and upper stratosphere[J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(2): 137~140
- 吴永华,胡欢陵,胡顺星 等. 用瑞利散射激光雷达探测平流层中上部温度[J]. 中国激光, 2001, **A28**(2): 137~140