

偏振激光雷达系统的设计与实现

朱爱春¹ 孙文汇²

1. 青岛工学院 山东 青岛 266300

2. 潍坊科技学院 山东 潍坊 262700

摘要: 本论文主要介绍一种偏振激光雷达系统的设计, 包括系统的结构和技术参数。系统按功能结构可分为三个部分: 激光发射部分、光学接收部分、控制和处理部分。最后说明测量方法和数据处理方法。本文较为详细的讨论了系统的设计及指标, 说明测量方法和数据处理方法, 包括噪声去除, 最后给出了实际的探测结果及结果分析, 并根据湿度及温度数据, 鉴别云的相态。

关键词: 偏振激光雷达; 退偏振比; 沙尘气溶胶

Design and implementation of polarization Lidar system

Aichun Zhu¹, Wenhui Sun²

1. Qingdao Institute of Technology 266300, Shandong Province;

2. Weifang University of Science and Technology 262700, Shandong Province

Abstract: This paper mainly introduces the design of a polarization lidar system, including its structure and technical parameters. The system can be divided into three parts according to the function structure: laser transmitting part, optical receiving part, control part, and processing part. Finally, the measurement method and data processing method is explained. In this paper, the design and index of the system are discussed in detail, and the measurement methods and data processing methods are described, including noise removal. Finally, it gives the actual detection results and analysis of the results and identifies the cloud phase states according to the humidity and temperature data.

Keywords: Polarization lidar; Depolarization ratio; Dust aerosol

引言

偏振激光雷达, 根据非球形粒子对偏振光的退偏原理, 实现对非球形颗粒物(飘尘、沙尘、冰晶)的探测, 能够有效地区分云和沙尘暴, 也可用来探测高层冰晶组成的卷云。因此, 它的能力不但囊括了普通型激光雷达的功能, 还可以实现观测卷云、沙尘、烟尘等非球形粒子的形态特征和时空演变。

本研究的目的是提供一种新型的昼夜兼用的偏振激光雷达系统, 关键器件都采用全固化结构或模块化结构, 加上接收光学和运行控制软件的设计, 具有结构紧凑、工作稳定可靠、昼夜测量、自动化程度高等优点, 应用于白天和夜晚低空云退偏振比探测。

本文首先介绍偏振激光雷达的工作原理, 然后说明偏振激光雷达系统的结构和技术参数、测量方法、数据处理方法, 最后给出实验结果及分析和讨论。

一、系统设计与实现

偏振激光雷达系统按功能结构可分为三个部分: 激光发射单元、光学接收单元、控制和处理单元。

1.1 激光发射系统

激光发射系统包括脉冲激光器、扩束镜、偏振片、一组高反镜。

1) 激光器

激光器的种类很多, 但其制造原理基本相同。大多由激励系统、激光物质和光学谐振腔三部分组成。脉冲激光器不仅是激光发射系统的主要部分, 也是整个激光雷达系统的主要部件, 在各种散射式激光雷达中, 多使用固定波长的脉冲激光器, 而在利用吸收和荧光方式工作的激光雷达中, 则需要使用可调波长的脉冲激光器。

本系统采用 $Nd:YAG$ 晶体, 综合考虑各方面的整体要求, 我们选择激光器指标及运行中的激光器为 Powerlite 7000 Continuum, 其中相关参数激光器波长 (532 nm), 作方式: $Nd:YAG$ 主动调 Q 脉冲输出; 能量稳定: 3.5%; 脉冲能量 (300 mJ); 脉冲宽度 ($5\sim 7\text{ ns}$); 重复频率 (10 Hz); 线偏振: $>95\%$

光束发散角 (1 mrad); 驱动电源 $220/240\text{ V}$ 。

2) 扩束镜

根据试验需要, 本系统选用 *5 扩束镜。

3) 偏振片

偏振片由二向色性材料制成, 当光波通过偏振片时, 其中正交偏振分量之一被偏振片强烈吸收, 而对另一分量则吸收较弱, 系统选用的偏振片的技术指标如下: 入射光为平行偏振光时的单个偏振片透射率: ($\lambda = 633nm$) > 50%; 消光比 > 100; 视场角 > $\pm 45^\circ$; 通光孔径: 45.0 mm。

4) 高反镜组

安装在扩束镜出光口处的由三块反射镜构成的光路折转装置中的反射镜都以 45 度倾斜, 上面两块相互平行, 经反射镜组反射的激光光路与接收光学望远镜的光轴平行。反射镜是反射率大于 95% 的高反镜。

1.2 光学接收系统

光学接收系统有望远镜、小孔、凸透镜、窄带干涉滤光片、偏振分光棱镜、光电倍增管、A/D 采集卡或光子计数卡。

1) 望远镜

本系统采用 *Cassegrain-celestron* 望远镜, 其技术参数为: 直径: 279 mm; 视场角: 2 mrad; 焦距: 2800 mm

2) 小孔

系统选用的是可调谐的, 根据对回波信号的要求, 最终小孔调节在小于 1 mm 的范围。

3) 窄带干涉滤光片

激光雷达光学接收系统中窄带滤光器的作用是使仅让工作波长的回波光顺利通过而尽量抑制其他各种波长的背景光或杂散光。激光雷达常用的窄带滤光器是干涉滤光片。

4) 偏振分光棱镜

激光器发射的激光被大气中的云或气溶胶所散射, 气溶胶中的球型粒子的后向散射光将不改变激光的偏振方向, 而非球形粒子的后向散射光将改变激光的偏振方向而形成与原激光偏振方向垂直的分量(退偏)。来自球型和非球形粒子的后向散射回波信号由接收光学望远镜接收后需要一偏振分光棱镜将两个不同偏振方向的光分开。

5) 光电探测器

光电倍增管是一种常用的光电探测器, 主要特点是灵敏度高, 增益倍数大, 因而非常适合微弱信号的检测。经过分光的激光雷达回波信号光, 由光电探测器进行光电转换, 将光信号变为电信号。光电倍增管具有高增益、低噪声的优点, 在紫外到近红外光波段, 几乎是激光雷达唯一采用的光电探测器。

6) 信号采样平均器

采样平均器用来对光电倍增管输出的回波电信号进行采

样和记录, 并对在一段时间内所获得的回波信号进行累加平均^[1]。按照被处理回波信号强度的不同, 激光雷达所用的采样平均器有两种: 模拟采样平均器和光子计数采样平均器。

1.3 控制和处理系统

整个系统的控制和处理部分都由计算机完成, 微型计算机主要有下面的作用:

1、参与回波信号的检测: 此系统的检测仪器是计算机通用插板的形式, 直接插入微机机箱进行信号检测工作。此时, 微机还担负探测结果实时显示的任务。

2、回波数据的自动采集控制: 大气探测激光雷达通常以连续探测的方式获取大量数据。大量数据的采集和存储需在微机的控制下自动进行。流程图如图 1 所示。

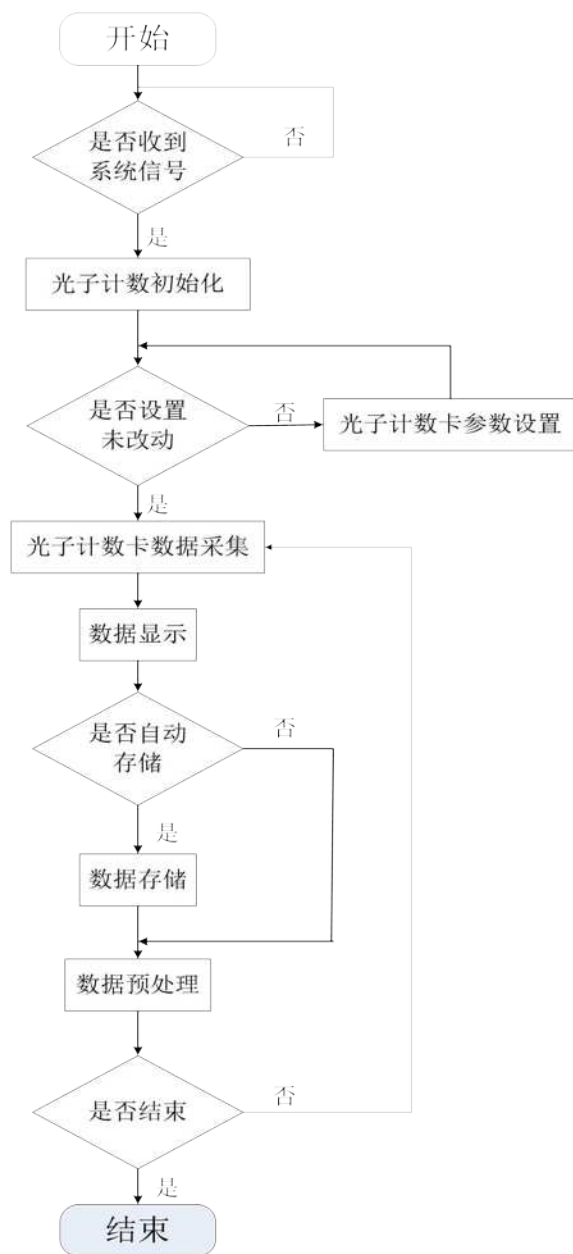


图 1 数据采集和处理流程图

3、激光雷达的自动调整和控制：为了提高其自动化程度和调整精度，对某些关键部件的调整和控制由微机自动完成。此外，在激光雷达的工作间隙，微机还可用来进行激光雷达回波数据的反演处理和各种数据显示方式的处理。

二、原始数据的采集处理

本系统采集卡是双通道的，其中通道一是与入射激光偏振方向相垂直的分量，通道二则是与入射激光偏振方向相平行的分量。在实际数据采集处理过程中无云晴、有雾、阴天、几乎无云无烟、小雨、有雾沙尘，在不同的天气情况下采集的，这样数据比较有代表性。

三、数据处理

噪声：激光雷达的噪声通常包括信号噪声（量子噪声），探测器噪声及背景噪声。

3.1 探测器噪声

光电接收系统的基本限制是各种噪声与干扰，包括光信号的起伏、背景的干扰、光波传播通道带来的调制噪声与干扰、光电信号的放大与处理引起的噪声等。其中最主要的是探测器本身的噪声，如热噪声、散粒噪声、产生-复合噪声、 $1/f$ 噪声等，它们都与光信号的起伏无关。

热噪声是电子元器件中存在最广泛的噪声，由器件中的电荷作无规则运动所引起。人们已经经过一系列的推导得出用均方噪声电流表示的热噪声表达式：

$$\langle i_n^2 \rangle = \frac{4kT\Delta f}{R} \quad (4-1)$$

其中 i 电流， k 为 Boltzmann 常数， T 温度， Δf 辐射模的频带宽度， R 电阻。

3.2 背景噪声

背景噪声又可分为自然背景噪声和由激光引起的噪声。自然背景噪声主要是由日光、月光等引起的噪声。特别是当系统在白天工作时，由天空或地面对太阳光的散射所产生的噪声往往成为起决定作用的噪声。太阳的辐射已被广泛研究过，并在很多文献中有所报道。

3.3 噪声去除

本系统主要采用的是一种完全不同的方法（阎吉祥等，2000c），即从测得的总信号中通过数据处理减去纯背景信号，以获得有用信号。阎吉祥等曾做过此类实验，实验在白天进行，在日光、灯光、散射激光及其他散射光均存在的环境下，实验的目的就是验证这种方法是否对除探测器固有的噪声以外的其他一切噪声均有效。此项工作表明，不管背景光源如何，减背景处理均有明显效果。

沙尘天气测得的信号去除背景噪声后与背景噪声的数据

图。如图左是与偏振方向平行的分量去除此通道的背景噪声后的信号强度和背景噪声数据图；右图是与偏振方向垂直的分量去除此通道的背景噪声后的信号强度和背景噪声数据图。

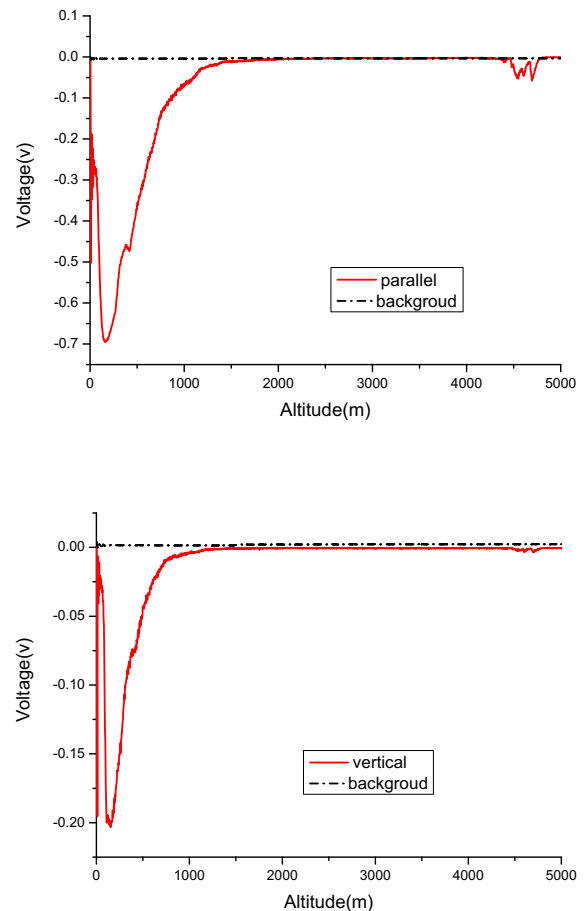


图 4 沙尘天气去除背景噪声的信号与背景噪声

四、测量结果分析

云雾后向散射光的偏振特性，主要取决于云雾粒子的形状和多次散射的影响。若云雾粒子由球形小水滴组成，则云雾后向散射光的退偏振度为零，仅当球形小水滴因云雾中的动力作用等原因而发生畸变时，激光雷达所接收云雾后向散射光的退偏振度才不为零。若云雾粒子由非球形小冰晶组成，则云雾后向散射光的退偏振度明显增大。此外，由于云雾粒子的多次散射效应，激光雷达所接收的云雾散射光还包括了一部分非线偏振的多次散射光，使激光雷达所探测云雾散射光的退偏振度增大。因此，当云雾较为浓密或激光穿透云雾的距离较深时，由于多次散射效应逐渐显著起来，激光雷达所接收云雾散射光的退偏振度亦随之增大。

五、总结及展望

本文主要目的是设计建立一套偏振激光雷达系统，主要用于研究云及沙尘气溶胶的后向散射退偏振比，鉴别云的相态，

区分云粒子是由球形小水滴组成还是非球形小冰晶组成。并且介绍了自行研制的一套偏振激光雷达系统,并利用它对青岛上空的气溶胶的退偏振比进行了实验测量。初步的探测结果表明,青岛上空 3km 左右云的退偏振比在 0.1~0.2 之间,沙尘气溶胶的退偏振比在 0.2~0.4 之间。

参考文献:

[1] 贾文涛、贺文俊、吴凌昊、张磊.偏振激光雷达中望远系统的偏振像差校正[J]光学学报,2022,42(02);

[2] 麻晓敏,陶宗明,单会会,等.激光雷达探测对流层 胶消光系数的统计分布[J].光学学报,2020, 40(11):1101003.

[3] 罗敬.高精度偏振激光雷达关键技术及系统研究 [D].杭州:浙江大学,2018.

[4] 伯广宇,刘东,王邦新,等.探测云和气溶胶的机载双波长偏振激光雷达[J].中国激光,2012,39(10):

[5] Liou.K.N., and H.Lahore, 1974: Laser sensing of cloud composition: A backscatter depolarization technique. J.Appl.Meteor., 13, 257—263

作者简介:

朱爱春(1980.07-)女,汉族,山东即墨人,硕士研究生,讲师,专业方向:通信与信息系统。

孙文汇(1981.09-)男,汉族,山东胶州人,研究生,副教授,专业方向:电子与通信工程。