

偏振微脉冲激光雷达对一次沙尘过程的探测分析

徐赤东, 纪玉峰

(中国科学院 安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:为研究沙尘暴的垂直分布及变化过程,在介绍偏振微脉冲激光雷达原理的基础上展示了自主研发的雷达系统。利用该系统监测了一次沙尘暴过程,通过分析这次沙尘过程的变化特点,认为此次过程包含有地面扬尘和高空输送两部分。数据分析表明,偏振微脉冲激光雷达具有较强的沙尘探测能力,可以直接反映沙尘垂直结构的分布状况和演变特征。

关键词:沙尘暴;激光雷达;退偏比

中图分类号: TN95, X513 **文献标志码:** A

文章编号: 1008-5548(2009)02-0075-03

Analysis on a Course of Sand and Dust Detected by Polarization Micro-pulse Lidar

Xu Chidong, Ji Yufeng

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

Abstract: To study the vertical distribution of dust storms and changes in process, based on the theoretics of polarization micro-pulse lidar, a new lidar system developed was shown. One course of the sand and dust was observed by the lidar system. The data analysis revealed that the characteristics of the sand and dust contained two parts. One was brought by the wind from ground, the other was brought by the wind from other areas. The data analysis indicated that the polarization micro-pulse lidar possessed great ability on observes the sand and dust, the lidar could be used to detect the vertical profiles and evolution characteristics of the dust storms.

Key words: sand and dust; lidar; depolarization ratio

我国是沙尘暴高发区。每年的冬、春季节,沙尘暴从中国北部的广大区域漫天而过。有些在迁移传输的过程中不断沉降,散落于传输路线上,而有一些细小颗粒则进入到平流层形成了一层稳定的沙尘层,无论哪一种都直接影响到地气辐射和大气气候等。为了解它的变化和特性,对于沙尘暴的监测也就尤为重要。对其监测方法也有很多种,如卫星、雷达、探空等。采用激光雷达监测沙尘是一个有效的手段,它能够从地

面直接监测沙尘暴的变化、沙尘暴的结构等。本文中采用自行研发的偏振微脉冲激光雷达对一次沙尘过程的监测数据进行了分析。

1 偏振微脉冲激光雷达

1.1 偏振微脉冲激光雷达方程

当一束偏振激光束发射到大气中,对于球形粒子,其后向散射光的偏振方向与照射光相同,即没有发生退偏振现象,雷达方程如式(1)^[1]所示。当偏振激光照射到非球形粒子后,其后向散射光的偏振方向将发生变化,产生了与发射光相垂直的分量,即发生退偏振,可以用式(2)表示

$$P_p(z) = P_0 k_p z^{-2} \beta_p(z) \exp(-2 \int_0^z \alpha_p(z') dz'), \quad (1)$$

$$P_s(z) = P_0 k_s z^{-2} \beta_s(z) \exp(-\int_0^z (\alpha_p(z') + \alpha_s(z')) dz'), \quad (2)$$

式中,下标 p 和 s 分别表示与发射激光偏振方向平行和垂直的两个方向; P_0 是激光发射功率, W; $P_p(z)$ 和 $P_s(z)$ 分别为激光雷达接收到的在距离 z 处大气后向散射平行分量和垂直分量的回波功率, W; k_p 和 k_s 分别是接收平行分量通道和垂直分量通道的雷达系统常数, $W \cdot kg^3 \cdot sr$; $\beta_p(z)$ 和 $\beta_s(z)$ 分别表示在距离 z 处大气后向散射系数的平行分量和垂直分量, $km^{-1} \cdot sr^{-1}$; $\alpha_p(z)$ 和 $\alpha_s(z)$ 分别表示在距离 z 处大气消光系数的平行分量和垂直分量, km^{-1} 。

激光雷达一般使用退偏比 δ 来描述非球形粒子,偏振激光雷达探测的退偏振比 $\delta(z)$ 可表示为:

$$\delta(z) = \frac{\beta_s(z)}{\beta_p(z)} = k \frac{P_s(z)}{P_p(z)}, \quad (3)$$

其中, $k = k_p/k_s$ 。这样,通过分析雷达接收到的对应不同高度处两个通道的大气后向散射回波功率以及这两个通道的增益常数比 k ,利用式(3),就可以获得大气退偏振比的垂直分布廓线 $\delta(z)$ 。

1.2 偏振微脉冲激光雷达(PMPL)

中国科学院安徽光学精密机械研究所大气光学中心研制的偏振微脉冲激光雷达外形如图 1 所示。雷达主要由激光发射单元、信号接收单元、采集控制单元和软件组成。雷达可以放置呈任意的角度进行探测。

收稿日期: 2008-11-18。

第一作者简介: 徐赤东(1978-)男,助理研究员,硕士,研究方向为激光雷达技术研究与应用。电话: 0551-5591007 13955164159, E-mail: xcd@aiofm.ac.cn。

激光器发射的激光经过扩束器等进入大气后,受到大气分子和气溶胶粒子的散射与吸收,其中后向散射的光子经望远镜接收后由分光系统将平行和垂直偏振光分别送达对应探测器,而计数器按照时序累加所接收的信号,同时将它们存储到数据存储单元。最后这些存储的数据由计算机读出并实时计算出所需的参数。所有操作通过软件控制,可以实现整个雷达的全自动运行。

PMPL 主要技术指标如表 1 所示。PMPL 采用的是二极管泵浦的全固态激光器,体积小,能量低,重复频率高,这也正是 PMPL 的关键点之一。PMPL 系统的突出特点是:结构简单、体积小、质量轻、眼睛安全、造价低、可连续运行和移动携带方便,关键器件的模块化结构确保了系统工作的稳定性和探测数据的可靠性,能够昼夜自动连续探测^[2]。

表1 偏振微脉冲激光雷达主要技术指标

Tab.1 The parameters of lidar

参数	技术指标
激光器	二极管泵浦 Nd:YAG
波长/nm	532
重复频率/Hz	2500
脉冲宽度/ns	12
脉冲能量/ μ J	10
FOV/ μ rad	50
接收直径/mm	160
过滤器(HW)/nm	0.5
接收距离/km	15(夜晚),6(白天)
分辨率/m	30
工作方式	连续或间歇
质量/kg	30



图1 偏振微脉冲激光雷达
Fig.1 Polarization micro-pulse lidar system

2 沙尘探测与分析

根据原理分析,利用偏振微脉冲激光雷达对沙尘的监测,实质上只要得到退偏比即可。而退偏比测量是偏振微脉冲激光雷达所独有的特性,根据退偏比可以直接判断是水云、冰晶云、沙尘等。在 Sassen(1991)

的综述文章中提供了在实验室获得的大气中不同类型粒子的退偏比^[3]。在不考虑多次散射的情况下,一般洁净大气远小于 0.1,沙尘 0.1~0.3,卷云 0.4~0.7,较重沙尘暴可超过 0.4。

偏振微脉冲激光雷达在工作时同时测量垂直通道和平行通道的回波信号,再根据雷达方程和退偏比计算公式计算得到退偏比的分布廓线。在进行沙尘暴测量时,为了解沙尘暴的垂直分布和变化过程,一般将镜筒垂直放置,直接将激光垂直发射到大气中。

如图 2 是 2006 年 3 月 19 日在沈阳测量的退偏比演变过程,根据以上分析可以认定是沙尘暴天气,数据给出的是从下午 19:40 到 20 日 05:40 共 9 h 的沙尘的演变情况。在 0.6~2.0 km 左右有一个几百米厚的相对沙尘较少的区域,在 1.2 km 以上的区域存在厚度约 1.5 km 的沙土层,而 0.6 km 以下退偏比逐渐变大且区域变厚,而两层之间没有特别明显的连接层,即两层退偏比较大的区域存在有明显的分界线。

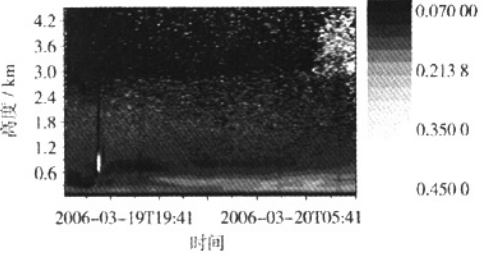


图2 退偏比连续变化过程
Fig.2 The course of the depolarization ratio

在 3 月 19 日 19:40 时底层信号还不是很强,单独提取 19:55 的信号来看(图 3),图中左侧是退偏比,右侧是垂直(s)和平行通道(p)的实测廓线,可以看出底层在开始时只有 0.15 左右,再往上有一个极小点,而在 2006 年 3 月 20 日 04:44 时底层已经增大到 0.2,且最小值点的位置已经发生变化(图 4)。在 1.2 km 以上起始时退偏比就在 0.15 左右,在 20 日时变化非常剧烈,数值明显增大。

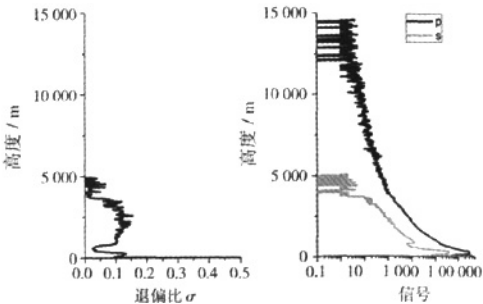


图3 2006 年 3 月 19 日测量信号及退偏比
Fig.3 The received signal and depolarization ratio
in Mar. 19th, 2006

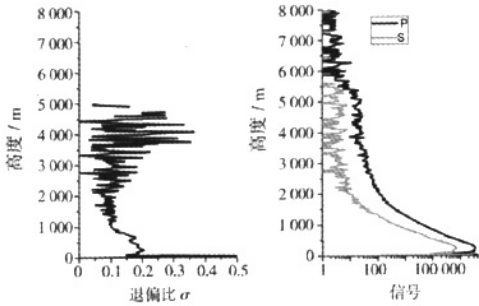


图4 2006年3月20日测量信号及退偏比

Fig.4 The received signal and depolarization ratio
in Mar. 20th, 2006

从图2和起始、结束的数据变化特点来推断,这一次的沙尘包含有地面扬沙和高空外来输入两种。这是因为地面退偏比值在起始时就有明显的沙尘信息,且与高层之间存在明显分界,所以地面的沙尘应该起源于地面扬沙。随着时间的推移地面退偏比增大,这与地面扬沙存留在大气中没有沉降有关,同时与高层沙尘不断降落也有关。由于底层沙尘的增多和加厚,雷达自身回波信号也直接受到影响,如图

3~4,在起始时刻平行通道还可以测到12 km,到第二天时只能测到6 km,沙尘结构对激光信号的衰减还是十分严重的。

3 结论

通过对偏振微脉冲激光雷达的介绍和对一次沙尘过程的监测分析,偏振微脉冲激光雷达可以用于沙尘暴的监测,能够反映出沙尘的分布结构,变化过程等信息。因此,如果采取多区域布点测量的方式应该可以获得更多的沙尘迁移、整层结构变化的信息。

参考文献(References):

- [1] UCHINO O, TABATA I, KAI K, et al; Polarization properties of middle and high level clouds observed by lidar[J]. J Meteor Soc Japan, 1988, 166:607-616.
- [2] 纪玉峰, 徐赤东, 汪元均, 等. 一种新型的激光雷达——微脉冲激光雷达的研制[J]. 江苏气象, 2001(专辑):26-30.
- [3] SASSEN K. Lidar backscatter depolarization technique for cloud and aerosol research [M]// MICHAEL I Mishchenko. Light scattering by nonspherical particles: theory, measurements, and applications. San Diego: Academic Press, 2000:393-416.

沈阳飞机研究所粉体公司(SARI)苦练内功求发展

牛年春节前的沈阳飞机研究所粉体仍是一片忙碌景象!国际业务部和生产部齐心协力,在第三方物流和代理的协助下完成了两批出口欧洲设备的相关工作,其中微粉包装机是出口至中欧一家百年大型跨国非金属矿企业。可见金融危机席卷全球,国内许多企业效益下滑,压力倍增,但出口市场波动的大环境挡不住沈飞粉体的和谐发展之路。

蜚声中外的沈飞粉体自1989年研制成功中国第一台流化床式气流磨,经过20年的跨越式发展,公司的各系列气流磨、分级机畅销国内外,得到行业内用户的普遍好评。特别是2007、2008年实现出口销值过1/3的新突破。

实施精益管理、苦练内功的沈飞粉体,对质量精益求精。虽然欧洲市场的进入门槛高、标准严,且欧洲客户愿意选择实力强、讲诚信的战略伙伴而较少考虑价格因素。但沈飞粉体坚持自主发展战略,在欧洲创品牌,以优质服务立足,做到客户延伸和网络延伸。一方面广泛走访欧美用户和代理商,参加行业展会,了解第一手情况,对市场和客户进行信用风险评估;另一方面将外销收入投保中国信用保险公司并选择稳定的结算币种,以规避收汇风险。年前一封热情洋溢的感谢信从被誉为“黄袍佛国”的泰国寄往沈阳,这是继去年12月,泰国客户第二次订购沈飞粉体的气流磨。仅仅两个多月的时间,沈飞粉体便以高速的供货能力、优良的产品质量使该套设备投入正常运转,使客户获得了客观的经济效益。

在国际经济危机的冲击下,许多行业将重新洗牌。只有不断提高每种产品、每个细分市场的“单产”能力,凭借抓“亩产”的精神,企业才能获取更大的附加值、更多的利润、更广阔的成长空间。沈飞粉体已成为中国粉体装备高端供应商的翘楚,化危机为机遇的沈飞粉体必将具有更广阔的发展前景。

(沈飞粉体公司)

声明:自1999年起,刘鲁宁先生一直担任沈阳飞机研究所粉体公司的总工程师。凡自称曾任沈飞总工(现为山东某司技术总经济监)的,纯属假冒。敬请广大同仁留意。本公司无核心员工流失,亦无任何分支机构和协办厂。