

文章编号: 1001-3806(2007)02-0200-03

微脉冲激光雷达测量大气水平能见度

孙兆滨, 郭金家, 刘智深*, 马森, 刘振

(中国海洋大学 海洋遥感教育部重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 为了改进乃至革新大气能见度的探测技术, 探索新型、快速、准确测量大气能见度的方法, 采用自行研制的能见度微脉冲激光雷达, 进行了水平大气能见度测量实验, 并同已经商品化的能见度仪 NQ-1 进行了同步对比测量。实验结果表明, 在水平能见度较差时, 微脉冲激光雷达和能见度仪具有很高的相关性, 相关系数达到了 0.88; 在水平能见度较好的时候, 相关系数保持在 0.73 以上。说明能见度微脉冲激光雷达系统可以应用于大气能见度的探测。

关键词: 大气与海洋光学; 相关系数; 消光系数; 大气能见度; 微脉冲激光雷达; 能见度仪

中图分类号: P412.17 **文献标识码:** A

Visibility measurement over the horizontal path by means of micro-pulsed lidar

SUN Zhao-bin, GUO Jin-jia, LIU Zhi-shen, MA Sen, LIU Zhen

(Laboratory of Ocean Remote Sensing of Ministry of Education of China, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to improve the technology in atmosphere detection and explore new, faster, and more accurate methods to retrieve atmosphere visibility, the atmosphere visibility was simultaneously measured in Qingdao with a micro-pulsed lidar, designed by Ocean Remote Sensing Laboratory, Ocean University of China, and a NQ-1 commercial visibility meter respectively. The results indicate both has a high correlation coefficient up to 0.88 when the visibility is poor or moderate and their correlation coefficients are above 0.73 in good visibility conditions, which indicates it is feasible for micro-pulsed lidars to measure the visibility.

Key words: atmospheric and ocean optics; correlation coefficient; extinction coefficient; atmosphere visibility; micro-pulsed lidar (MPL); visibility meter

引 言

大气能见度是反映大气透明度的一个指标。一般定义为在一定的天气透明度下, 人眼能发现以水平天空为背景的黑色目标物(视场角大于 30') 的最大距离^[1]。影响能见度的因子有: 目标物的特性及运动状态, 光源特性, 观察器的特性和大气透明度特性 4 个方面。为使能见度能单纯反应大气透明度特性, 气象上进一步规定: 白天正常视力的眼睛观察以水平天空为背景, 适当大小的黑色目标物, 满足“刚好”可见条件时, 该目标物的最大能见距离即能代表气象能见度。对其进行测量是以大气具有空间分布均匀的消光系数, 且在均匀的天空照明下为前提的^[2,3]。大气能见度是一个重要的气象观测要素, 能见度值的测报不仅用于气象部门的天气分析, 更广泛用于航空、航海、高速公路等交通运输部门、军事以及环境监测等领域。

作者简介: 孙兆滨(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光雷达大气遥感研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: zslu@public.qd.sd.cn

收稿日期: 2006-02-22; 收到修改稿日期: 2006-03-25

测量大气能见度一般可用目测的方法, 也可以使用能见度仪、能见度激光雷达等测量仪器测量。目前, 能见度的观测大都还是以人工目测为主, 规范性、客观性相对较差^[4]。在能见度仪器测量方面, 采用的设备主要有能见度仪和激光能见度自动测量仪; 前者通过光束透过两固定点之间的大气柱直接测量气柱透射率, 以此来评估能见度值。后者则是通过激光测量大气消光系数的方法来推测能见度, 相对而言较为客观和准确。但是, 由于传统的激光雷达成本昂贵、维护费用高、操作复杂, 只能应用于少数研究部门^[5,6], 所以, 激光雷达系统的改进及技术的革新成为一个重要的研究课题。微脉冲激光雷达是近年来出现的对流层探测 Mie 散射激光雷达的最新发展。该激光雷达实验样机最初由美国 NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) 研制, 目的是为了星载激光雷达中的应用, 最初的系统在 1993 年用于西南太平洋的探测。1996 年, 微脉冲激光雷达已经实现了商品化, 由美国 SESI (Science and Engineering Services Inc.) 公司批量生产^[7]。中国海洋大学海洋遥感教育部重点实验室在研制可移动式多普勒测风激光雷达基础上, 自行研制了能见度微脉冲激光雷

达。在本次实验中,使用自行研制的能见度微脉冲激光雷达和上海长望气象有限公司生产的 NQ-1 能见度仪,进行了为期一月的水平能见度对比测量实验。下面将进行详细的分析。

1 仪器简介和激光雷达数据处理方法

中国海洋大学海洋遥感教育部重点实验室自行研制的能见度微脉冲激光雷达是新型的米散射激光雷达系统。它采用二极管抽运的 Nd:YAG 532nm 激光器、10 倍扩束镜构成非共轴发射系统,由 Cassegrain/203mm 望远镜、干涉滤光片和光电倍增管构成的接收光学系统,由光子计数器和计算机数据采集卡、PC 机构成的数据采集和处理系统,具有重量轻、可移动性好、可连续探测和可靠性高等特点。可广泛应用于测量气溶胶的垂直分布、大气能见度和大气边界层结构等。图 1 是采用的能见度微脉冲激光雷达的系统结构图。表 1 中给出了能见度激光雷达系统的主要参数。

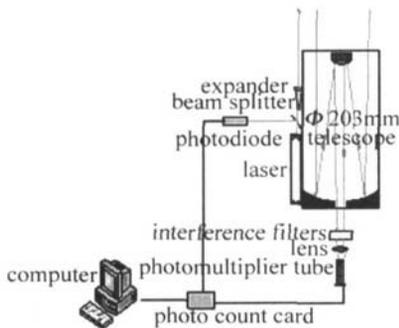


Fig 1 The diagram of MPL

Table 1 The diameters of the MPL

transmitter	Nd:YAG
output wavelength	532nm
output energy per pulse	6μJ
repetition rate	2kHz
receiver	cassegrain/203mm/0.5m rad
detector	photomultiplier tube (PMT)
detection mode	photon counting
vertical resolution	37.5m
detection range	50m~30km
volume	0.8m ³
weight	25kg

水平能见度的测量是以大气具有水平均一的消光系数,并在阳光或均匀的天空照明下为其前提的。采用以下数据反演方法进行消光系数的反演^[8]:

$$P(r) = \{n(r) \times f_{TC}[n(r)] - n_b - n_{ap}(r)\} \bar{r}^2 = f_{oc}(r) CE\beta(r) T^2 \quad (1)$$

式中, $n(r)$ 为采集到的距离 r 处的回波光子数; $f_{oc}(r)$ 为发射系统与接收系统视场角重叠校正; $\beta(r)$ 为后向

散射系数; C 为系统校正参数; E 为激光器发射能量; T 为大气透过率; n_b 为背景噪声; $n_{ap}(r)$ 为光电倍增管跟随脉冲校正; $f_{TC}[n(r)]$ 为光电倍增管“死区”校正。已知:

$$T = e^{-\tau} \quad (2)$$

$$\tau = \sigma r \quad (3)$$

式中, τ 是大气光学厚度, σ 是大气消光系数。

将 (2) 式, (3) 式代入 (1) 式得:

$$P(r) = f_{oc}(r) CE\beta(r) e^{-2r\sigma} \quad (4)$$

$$f_{oc}(r) = 1 \quad (5)$$

将 (5) 式代入 (4) 式, 对方程左右两边取对数可得:

$$\ln P(r) = \ln[CE\beta(r)] - 2r\sigma \quad (6)$$

水平能见度测量的前提是所测量大气层具有水平均一的消光系数, $CE\beta(r)$ 是一个常数。对 $\ln[P]$ 与距离 r 的关系曲线进行拟合得到: $y = mx + b$ 。式中, $m = -2\sigma$, 所以可以得到消光系数 σ ^[8]。

由 Koschmieder 定律: $\epsilon = \exp(-\sigma V_k)$ (7)

式中, V_k 为水平能见度, 推得水平能见度方程:

$$V_k = -\frac{\ln \epsilon}{\sigma} \quad (8)$$

式中, ϵ 是一个与人眼视觉特征有关的物理量, 世界气象组织推荐的 ϵ 值为 0.02, 而国际民航组织推荐的 ϵ 取值为 0.05, 所以实际观测中需要大量对比试验来确定 ϵ 的取值^[7,9,10]。目前采用的是 0.02。所以 (8) 式可表示为:

$$V_k = \frac{3.912}{\sigma} \quad (9)$$

NQ-1 型能见度测量仪是采用先进光电探测技术、微机及通讯技术对大气能见度进行准确有效测量的仪器。它采用前向散射原理对大气光学视程进行测量, 可连续测量所选场所的盛行能见度。其工作性能稳定、测量精度高、安装维护方便, 可广泛应用于气象、环保、交通等领域。采集器具有 RS-232, RS-485 双通讯口, 并可组网观测; 采集器存储容量为 16MB, 可存储 40d 分钟数据和小时数据。能见度传感器测量范围可根据用户要求分别设定在 10km, 16km, 20km, 30km, 50km。系统采用交流供电蓄电池后备, 无市电时可工作 12h。图 2 是 NQ-1 能见度仪系统外观图, 表 2 中给出了 NQ-1 能见度仪的主要系统参数。



Fig 2 NQ-1 visibility meter

Table 2 The parameters of NQ-1 visibility meter

detection range	6m ~16000m (or 6m ~50000m adjustable)
detection accuracy	±10% (when ≤60m error ±6m)
power supply	AC 220V ±10%
communication	RS-232/RS-485/GPRS/CDMA (selectable)
suitable temperature	- 35 C ~55 C
remarks	resistance to salt and fog erosion, suitable for using in coastal area

2 实验结果及分析

作者对本次实验结果进行了对比分析,图 3 中给出了 2005-10-27 实验数据对比结果。

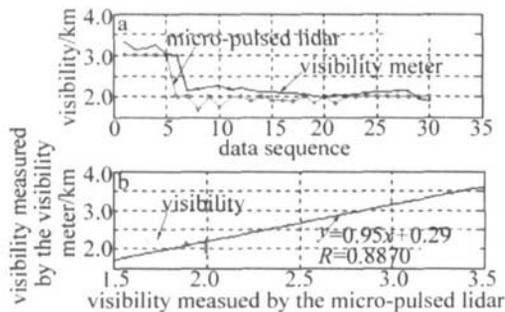


Fig 3 a—micro-pulsed lidar/visibility meter comparisons over the horizontal path(2005-10-27) b—the correlation of visibility measured by the micro-pulsed lidar and the visibility meter(2005-10-27)

由上图可以发现,在 1km ~5km 的范围内,激光雷达和能见度仪的测量结果具有很好的一致性,相关系数达到了 0.8870。本次实验的数据采集时间为 2005-10-27T19 00到 2005-10-27T20 00的范围内,天气情况为轻雾。这段时间的数据和白天采集的数据相比,受天空背景光影响较小。

图 3是在能见度较差的情况下的能见度对比情况。而图 4中给出了能见度较好的情况下的能见度对比测量情况。图 5中给出了从 2005-10-21到 2005-11-21这一个月时间内的数据对比情况。

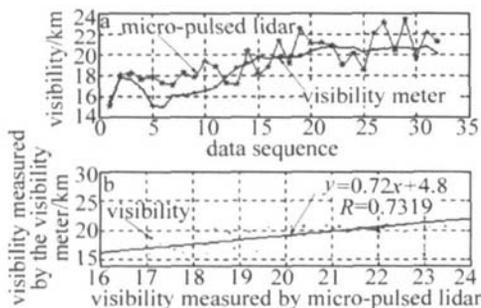


Fig 4 a—micro-pulsed lidar/visibility meter comparisons over the horizontal path(2005-11-08) b—the correlation of visibility measured by the micro-pulsed lidar and the visibility meter(2005-11-08)

由图 5可知,在这一个月的对比测量实验过程中,

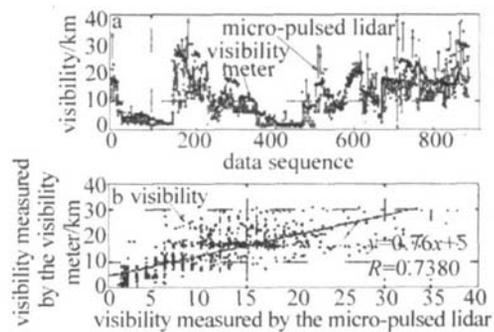


Fig 5 a—micro-pulsed lidar/visibility meter comparisons over the horizontal path(2005-10-21 ~ 2005-11-21) b—the correlation of visibility measured by the micro-pulsed and the visibility meter(2005-10-21 ~ 2005-11-21)

经历了晴、雾、雨、多云等各种各样的天气状况,从整体的实验结果看起来还是比较满意,但是具体到某天的离散性还是较大,可能是能见度激光雷达和能见度仪不是在一个位置、同一方向进行测量,两者水平位置相距大约 50m,方向夹角大约 30 而引起的。

3 结论

经过对以上数据对比分析,作者自行研制的能见度微脉冲激光雷达可很好地用于大气能见度的测量。

参考文献

- [1] SHID H, LU X J, HUANG G Q *et al* Study on transmission laser detection instrument for runway visibility [J]. Laser Technology, 2003, 27(5): 419~422 (in Chinese).
- [2] FU J P, HU Z G, WEI Y Ch *et al* Comparison and analysis of property of visibility automatic observation instruments [J]. Scientia Aetorologica Sinica, 2002, 22(1): 60~71 (in Chinese).
- [3] GLICKMAN T. Glossary of meteorology [R]. Boston: American Meteorology Society, 2000. 1~8.
- [4] KWON T M. Atmospheric visibility measurements using video cameras: relative visibility [R]. Duluth: University of Minnesota Duluth, 2004. 1~44.
- [5] WANG J L, CHENG C L, XU X F. Comparison of visibility measurement based on video cameras and visibility meter [J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(6): 353~357 (in Chinese).
- [6] GAUMET G L, PETITPA A. Lidar-transmissometer visibility comparisons over slant and horizontal paths [J]. Journal of Applied Meteorology, 1982, 21(5): 683~694.
- [7] GUO J J. Research and experiments for visibility by micro-pulse lidar (MPL) [EB/OL]. <http://211.64.155.39/kns50/>, 2004-09-01.
- [8] CAMPBELL J R, HLAVKA D L, SPNHRNE J D *et al* Operational cloud boundary detection and analysis from micropulse lidar data [R]. Tucson: Eighth ARM Science Team Meeting, 1998. 119~122.
- [9] MAERZN H, NIU Q. Automated mobile highway sign visibility measurement system [R]. Washington DC: 82th Annual Meeting, 2003. 12~16.
- [10] XIE Ch B, HAN Y, LI Ch *et al* Mobile lidar for visibility measurement [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(7): 971~975 (in Chinese).