

文章编号:1001-5078(2007)12-1253-02

基于激光对数回波函数的断层研究

戴文珺, 王江安

(海军工程大学光电研究所, 湖北 武汉 430033)

摘要:利用一次发射高速采集多点回波信号的激光遥感技术,采用 Klett 反演法和朗伯定律,建立了能见度的求解模型,重点研究了激光回波信号的对数回波函数在不同断层上得到的能见度精度的变化规律,初步确立了不同情况下的最优选取区间。并通过大量实测数据的对比,验证了合理的断层选择对提高测量能见度准确度的重要性。

关键词:激光;回波信号;能见度

中图分类号:TN959.6 **文献标识码:**A

Performance of Interval with Laser Logarithmic Range-adjusted Power

DAI Wen-jun, WANG Jiang-an

(Institute of Optical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In the article, a new technology was used, which was receiving laser return signal at different time when laser once. To establish a model of visibility, Klett iteration method and Lambert rule were included in. The most important content was calculating visibility to decide which interval was best for the veracity of visibility. At last, by the experiment, a result is obtained that choosing right interval may improve precision greatly.

Key words: laser; return signal; visibility

1 引言

目前,在能见度测量中常见的一种方法是利用激光回波信号求出大气能见度。对回波信号的分析应用比较成功的方法有:斜率法、Klett 反演法。激光在大气中传输,由于大气分子的吸收、散射及气溶胶的衰减作用,造成了激光的回波信号的衰减,随着距离的增加,回波信号能量是递减的。有效地利用回波信号,剔除误差较大的断层,选择合适的区间,是提高能见度测量精度的行之有效的方法。

2 能见度求解方法

大气激光对数回波函数的定义是^[1]:

$$S = \ln[r^2 P(r)] = -2 \int_0^r \sigma(r) dr + \ln \beta(r) + c \quad (1)$$

式中, $P(r)$ 是回波功率; $\sigma(r)$ 是大气消光系数; $\beta(r)$ 为后向散射系数; c 为常数。

$$\ln \beta = c\sigma^k \quad (2)$$

式中, c, k 是与路程无关的常数, k 的取值区间通常是 $[0.67, 1.0]$ 。将式(2)代入式(1),求导,由前向积分转为后向积分即可得:

$$\sigma(r) = \frac{\exp[(S - S_m)/k]}{\{\sigma_m^{-1} + \frac{2}{k} \int_r^{r_m} \exp[(S - S_m)/k] dr'\}} \quad (3)$$

式中,消光系数边界值 σ_m 利用最小二乘法进行求解,可以得到^[2-3]:

$$\sigma_m = \frac{1}{2} \frac{\overline{r \times S} - \overline{r} \times \overline{S}}{\overline{r^2} - \overline{r}^2} \quad (4)$$

式中, $\overline{x}$ 表示 x 的平均值。

然后利用 Lambert-Bouguer 定律计算大气能见度。其中,根据世界气象组织(WMO)推荐的 I/I_0 值为 0.02,化简公式得大气能见度^[4]:

$$V_m = \frac{3.912}{\sigma} \left(\frac{\lambda}{0.55} \right)^{-q} \quad (5)$$

3 实验结果与分析

本文采用 2006 年 4 月 26 日至 5 月 25 日在湖北孝感某气象台进行实验得到的数据。具体的实验过程为:在气象观察员目测能见度的同时,采集激光回波信号,求解能见度。选取每种能见度的初始数据为 50 个,抛弃含有明显错误的数据。其中,测量数据包含了晴、雾、烟、雨、霾等多种天气现象,能见度范围为 3000 ~ 15000m。实验用的激光器参数如

作者简介:戴文珺(1981-),女,硕士,研究方向为激光遥感测量技术。E-mail:realzaza@sina.com

收稿日期:2007-07-01

表1所示。

表1 激光器及接收部件参数

Tab. 1 parameters for laser and receiving

	性能名称	参数指标
激光器	工作波长/nm	1064
	脉冲能量/mJ	11
	光束发散角/nrad	1
	脉冲宽度/ns	10
	口径/mm	48
接收光学系统	视场/(°)	7
	滤光镜中心波长/nm	1064
	滤光镜透过率/%	88
数据采集系统	模/数精确度/bit	10
	模/数采样率/mHz	40
扩束镜	扩束比	1:5

仪器的采样间距是3.75m,采样区间取350个。取最后85个采样区间的回波信号为背景噪声。分别选取对数回波函数不同断层数据,计算能见度,并与目测值相比较。激光回波信号,激光对数回波函数分别如图1和图2所示。

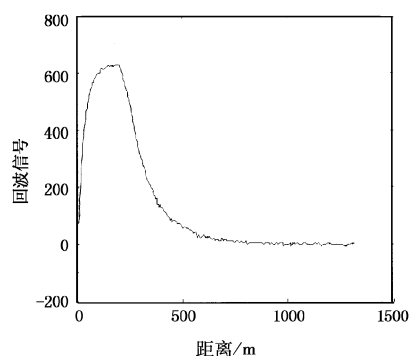


图1 激光回波信号

Fig. 1 return signals of laser

图2中,坐标a点为近场拟合后断层1起始点(近场拟合方法见参考文献[5]);b点在几何因子开始为1,也即断层2,3的起始点;c点为断层3结束处;坐标d为断层1,2的结束点。简单的说,ad为断层1,bd为断层2,bc为断层3。断层3选择可与直线基本重合的一段,断层1,2的结束点选在c点之后,回波信号第一次为零值处,对数回波函数值在c,d之间有明显的波动。

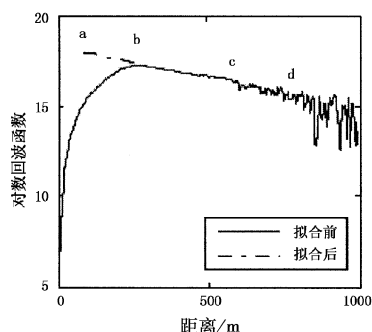


图2 对数回波函数

Fig. 2 logarithmic Range-adjusted power of laser

取能见度均值为各目测能见度值,分别计算不同断层的标准差,列于表2。从表2中可以看出,15000~7000m时,采用断层1求解能见度准确性要高于其他2个断层;6000~3000m时,断层3的准确度最高;而无论在何种情况下,断层1均要优于断层2。

世界气象组织(WMO)和国际民航组织(ICAO)对能见度测量精度要求:当能见度大于2000m时,允许误差范围在 $\pm 20\%$ 。从表2中可知,对应每种能见度的最佳断层浮动都在允许误差范围内。

表2 断层标准差比较

Fig. 2 comparison of visibility precision

(单位:m)

	断层1	断层2	断层3	允许误差
15000	2931	2994	3463	3000
14000	2483	2617	3565	2800
13000	2546	2837	4036	2600
12000	1805	1940	2100	2400
11000	2177	2255	2677	2200
10000	1482	1537	2105	2000
8000	1231	1357	1828	1600
7000	892	988	1985	1400
6000	885	951	672	1200
5000	721	781	649	1000
4500	777	841	727	900
4000	504	564	489	800
3000	498	518	466	600

3 结论

能见度对于航空、航海、陆上交通、气象以及军事应用都有重大的意义。本文简要介绍了在激光测大气能见度中关于对数回波函数断层选取问题。实验结果显示,选取合适的断层区间,可以提高能见度测量精度。高能见度时应选取大断层,而且对数回波函数近场拟合后,求解能见度精度要高于拟合前。相反,低能见度应选取较为平坦的小断层。

参考文献:

- [1] James D Klett. Stable analytical inversion solution for processing lidar returns[J]. Applied Optics, 1981, 20(2): 211-220.
- [2] 杨昭,孙东松,李强. 成像激光雷达大气消光系数的反演方法[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(3): 239-242.
- [3] 贺应红,郑玉臣,程娟,等. 最小二乘法拟合大气激光雷达回波信号估算消光系数边界值[J]. 量子电子学报, 2004, 21(6): 879-883.
- [4] 蒋冰莉. 激光后向散射式能见度测量仪的理论研究与实现[D]. 武汉:海军工程大学光电研究所, 2006.
- [5] 贺应红,郑玉臣,程娟,等. 米氏散射激光雷达近场距离校正函数曲线拟合法修正[J]. 光学学报, 2005, 25(3): 289-292.