

文章编号: 1005-5630(2011)01-0006-04

大气衰减对 LRCS 测量精度的影响研究*

桑振夏¹, 李钟敏², 杨晓杰¹

(1. 中国人民解放军 63898 部队, 河南 济源 454650;

2. 中国人民解放军 63889 部队, 河南 孟州 454750)

摘要: 为了研究大气衰减对激光雷达散射截面 (laser radar cross section, LRCS) 测量精度的影响, 从 LRCS 测量原理入手, 推导出大气衰减对 LRCS 测量精度影响的公式, 得到大气衰减与 LRCS 测量精度的关系, 即当前后两次测试时的大气衰减条件相差较大时, LRCS 测量精度则会降低, 反之, 则会升高。通过 MatLab 仿真, 得到直观的 LRCS 测量精度仿真结果, 并结合经典大气衰减模型, 举例验证了两种极端气候条件对测量误差的影响, 同时给出一些测量 LRCS 建议, 为后续的 LRCS 测量精度分析与修正提供参考。

关键词: 大气衰减; 激光雷达散射截面; 测量精度

中图分类号: TN 974 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2011.01.002

Study of the influence on the LRCS measurement accuracy caused by atmospheric attenuation

SANG Zhenxia¹, LI Zhongmin², YANG Xiaojie¹

(1. Unit 63898, People's Liberation Army, Jiyuan 454650, China;

2. Unit 63888, People's Liberation Army, Mengzhou 454750, China)

Abstract: In order to study the influence on the laser radar cross section (LRCS) measurement accuracy caused by atmospheric attenuation, begin with the LRCS measurement, the paper deduces the formula about the influence on the LRCS measurement accuracy caused by atmospheric attenuation, and finds the relation between atmospheric attenuation and LRCS measurement accuracy, that is, the LRCS measurement accuracy will go down at the condition of fore and after two different atmospheric attenuation, or it will go up. The visual simulation result is offered by MatLab simulation. Based on the typical atmospheric attenuation model, the paper illustrates the influence on LRCS measurement accuracy caused by atmospheric attenuation in light of two extreme atmospheric conditions, and offers some advice about LRCS measurement, which will be useful reference to the subsequent LRCS accuracy analysis and amendment.

Key words: atmospheric attenuation; LRCS; measurement accuracy

引 言

激光雷达由于分辨力高^[1,2], 被广泛用于测量目标对激光的散射特性。由于目标表面结构的随机特

* 收稿日期: 2010-06-23

作者简介: 桑振夏(1976-), 男, 河南南阳人, 工程师, 硕士, 主要从事光电对抗技术方面的研究。

性,计算目标对激光散射分布存在一定困难。一般地,可用测量和计算的目标激光雷达散射截面(laser radar cross section,LRCS)来表征目标的散射特性^[3]。测量 LRCS 时,激光雷达发射系统、大气传输的衰减、漫反射板的影响、激光雷达接收系统、瞄准和测量误差等因素对 LRCS 测量精度都有影响。文中主要研究大气衰减对 LRCS 测量精度的影响,其分析和计算结果可用于内外场试验的数据处理。

1 外场 LRCS 测量原理及大气衰减对测量精度影响的理论推导

1.1 外场 LRCS 测量原理及理论推导

工程中常采用比较测量法,测量原理见图 1。其测量方法是:首先,用一个已知激光雷达散射截面的标准漫反射板 A 作为参考板,进行一次测量,可得到一个激光反射接收功率 P_1 ;其次,再在标准漫反射板的位置放置被测目标(通常情况下,被测目标与标准漫反射板的中心位于同一位置),保持激光束散角不变,进行激光雷达散射截面测量,接收到另一个激光漫反射功率 P_2 ,根据激光雷达测量方程得:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad (1)$$

则可得到被测目标的激光雷达散射截面为:

$$\sigma_2 = \frac{P_2 \sigma_1}{P_1} \quad (2)$$

这样计算出被测目标的激光雷达散射截面测量值 $\sigma_{测}$,最后计算出 LRCS 测量精度:

$$LRCS \text{ 测量精度} = \left| \frac{\sigma_{测} - \sigma_{真}}{\sigma_{真}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

为考虑简单化,选用两块面积相同(均为 A)而方向一半球反射比不同的标准漫反射板进行比对测量,其中一块作为参考板 A_c ,方向一半球反射比为 ρ_c ;另一块儿作为标准板 A_d ,方向一半球反射比为 ρ_d ,则可得到下式:

$$LRCS \text{ 测量精度} = \left| \frac{\frac{P_d A \rho_c \cos \theta_1 \cos \theta_2 - A \rho_d \cos \theta_1 \cos \theta_2}{A \rho_d \cos \theta_1 \cos \theta_2}}{\frac{P_c A \rho_c \cos \theta_1 \cos \theta_2 - A \rho_d \cos \theta_1 \cos \theta_2}{A \rho_d \cos \theta_1 \cos \theta_2}} \right| \times 100\% = \left| \frac{P_d \times \frac{\rho_c}{\rho_d} - 1}{P_c \times \frac{\rho_c}{\rho_d}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中, P_d 为接收到标准板的激光功率; P_c 为接收到参考板的激光功率; θ_1 为入射激光与漫反射板法线的夹角; θ_2 为接收机方向与漫反射板法线的夹角。

假定测量时,激光器至漫反射板的激光大气衰减系数和接收机至漫反射板的激光大气衰减系数相等,且激光器至漫反射板的距离和接收机至漫反射板的距离相等均为 R ,则激光雷达测量方程可简化得到^[4]:

$$P_r = \frac{P_t \sigma T_t T_r A_s \cos \epsilon}{\pi^2 R^2 \theta_0^2} e^{-2\mu R} \quad (5)$$

式(5)中, P_r 为接收到的激光功率; P_t 为发射的激光功率; σ 为激光雷达散射截面; T_t 为激光发射系统透过率; T_r 为激光接收系统透过率; A_s 为接收机光学系统接收孔径面积; ϵ 为接收机光学表面法线与漫反射板法线夹角; μ 为大气衰减系数; R 为漫反射板距离; θ_0 为激光束散角。

假定前后两次激光发射机发射功率相等,激光器束散角不变,两次接收机光学系统接收孔径面积不变,两次激光器发射系统的透过率均为 T_t ,接收系统的透过率均为 T_r ,测标准漫反射板时测试距离为 R_d ,激光大气衰减系数为 μ_d ,此时接收机光学表面法线与漫反射板法线夹角为 ϵ_c ;测待测漫反射板测试距离为 R_c ,激光大气衰减系数为 μ_c ;此时接收机光学表面法线与漫反射板法线夹角为 ϵ_d 。则由式(4)、式(5)可

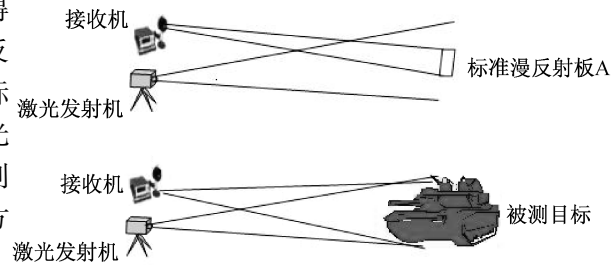


图1 目标激光散射特性测量原理图

Fig.1 Schematic diagram of target laser scattering properties test

推出:

$$\text{LRCS 测量精度} = \left| \frac{R_c^2 \cos \epsilon_d}{R_d^2 \cos \epsilon_c} \cdot e^{-2(\mu_d R_d - \mu_c R_c)} - 1 \right| \times 100\% \quad (6)$$

由此可知,在给定的测试距离情况下,且 $\epsilon_c = \epsilon_d = 0$,LRCS 测量精度与前后两次测试时的大气透过率有关,当前后两次测试的大气衰减条件相差较大时,LRCS 测量精度则会降低,反之,则会升高。

1.2 大气透过率模型推导

激光光束在大气中传播时,会受到大气吸收而衰减^[5]。当激光辐射通过大气时,一部分能量被吸收,还有一部分能量被反射和透射,透过程度以透过率来表示。

设波数为 ν 的辐射经过路径为 Δl 的大气时,其透过率为^[6]:

$$\tau(\nu) = \exp[-\mu(\nu)\Delta l] \quad (7)$$

$$\mu(\nu) = K_s(\nu) + K_a(\nu) \quad (8)$$

式中, $\mu(\nu)$ 为衰减系数,亦称为消光系数; K_s 、 K_a 分别为散射系数和吸收系数。

在工程上感兴趣的是在某一波长处的平均透过率,即实际上需要计算的是某一光谱频率间隔 $\Delta\nu$ 的平均透过率,而不是单色透过率,即:

$$\bar{\tau}(\nu) = \frac{1}{\Delta\nu} \int_{\Delta\nu} \tau(\nu) d\nu \quad (9)$$

将衰减系数代入到上式中,可写出平均透过率 $\bar{\tau}(\nu)$ 如下式:

$$\bar{\tau}(\nu) = \bar{\tau}_1(\nu)\bar{\tau}_2(\nu)\bar{\tau}_3(\nu)\bar{\tau}_4(\nu) \quad (10)$$

式(10)中, $\bar{\tau}_1(\nu)$ 为分子吸收平均透过率, $\bar{\tau}_2(\nu)$ 为分子散射平均透过率, $\bar{\tau}_3(\nu)$ 为气溶胶吸收平均透过率, $\bar{\tau}_4(\nu)$ 为气溶胶散射平均透过率。

大气中 N_2 、 O_2 分子虽含量最多,但它们在可见光和近红外区几乎不表现吸收,因此在可见和近红外区,一般不考虑它们的吸收作用^[7]。大气中主要有 H_2O 、 CO_2 、 O_3 、 NO 、 CO 和 CH_4 等气体对激光有吸收作用。

2 仿真计算与讨论

在式(6)中,假定接收光学系统的法线与漫反射板法线夹角 $\epsilon_c = \epsilon_d = 0$,测待测漫反射板测试距离和测标准漫反射板时测试距离均为 100m,用 MatLab 做仿真图如下:

从图 2 中可反映出 LRCS 测量精度与前后两次不同大气透过率的关系,即当前后两次大气衰减差异越大,LRCS 测量精度则越低。为反映更直观一点,对两种极端天气条件下计算出透过率进行举例分析。

用 PcLnWin 软件计算几种典型条件下大气透过率。计算模型考虑:1.06 μm 激光水平传输;鉴于试验外场位置,模型大气选择中纬度夏季农村能见度 23km 和能见度 5km 两种情况;计算结果如图 3 所示。假设不考虑其他因素对 LRCS 测量精度的影响,分别在能见度为 23km 时测量标准漫反射板,在能见度为 5km 时测量待测漫反射板,将这两种条件下的大气透过率代入式(6),可得 LRCS 测量精度约为 11%,可见,在两种极端天气条件下,LRCS 测量精度影响较大。由此可知,为保证 LRCS 测量精度,则要求在天气条件良好且变化幅度较小的情况下测量;同时,在测量标准漫反射板和测量目标的激光雷达散射截面时,必须在气候条件相差不大的条件下进行,这样总的 LRCS 测量误差就会小。另外,测量标准漫反射板和待测目标时的时间相差要短,尽量减小天气条件变化对测量精度的影响。

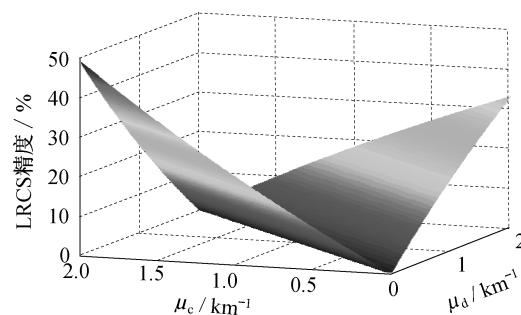


图 2 LRCS 测量精度仿真图

Fig. 2 Simulation diagram of LRCS test accuracy

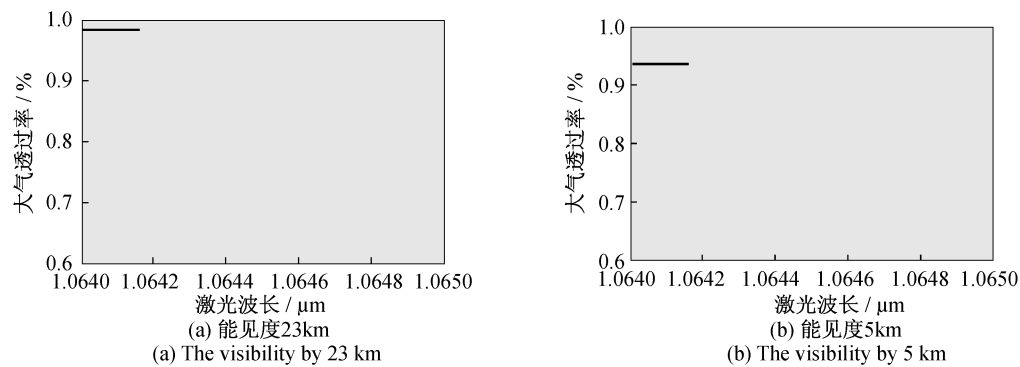


图3 大气透过率仿真计算结果

Fig. 3 Simulation calculation value of atmosphere transmission

3 结论

影响 LRCS 测量精度的因素是多方面的,其中,大气衰减是一项重要影响因素。通过推导 LRCS 测量精度公式,得到大气衰减与 LRCS 测量精度的关系,即当前后两次测试的大气衰减条件相差较大时,LRCS 测量精度则会降低,反之,则会升高。通过 MatLab 仿真,得到直观的 LRCS 测量精度仿真结果,并结合经典大气衰减模型,对两种极端气候条件对测量误差的影响进行了验证,结果表明符合上述规律,同时给出了一些测量 LRCS 建议。通过对该专题的讨论,旨在为后续的 LRCS 测量精度分析与修正提供一些有益参考。

参考文献:

- [1] 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京:国防工业出版社,2002:20-45.
- [2] 徐祖舰,王资政,阳 锋. 机载激光雷达测量技术及工程应用实践[M]. 武汉:武汉大学出版社,2009:3-12.
- [3] 杨 洋,王晓欧,陈历学,等. 1.06μm 激光雷达目标散射特性的实验研究[J]. 红外与激光工程,2000,29(3):52-55.
- [4] 桑振夏. 外场条件下激光雷达散射截面测量精度的影响研究与应用[D]. 合肥:中国科技大学,2008.
- [5] 刘波涛. 大气对激光传输的影响[J]. 光散射学报,2007,19(1):43-48.
- [6] 杨 昭,李 强,孙东松. 基于 1.06μm 激光雷达的大气消光系数特性的研究[J]. 激光技术,2006,30(2):170-173.
- [7] 魏山城,韩雪云. 激光在大气中传输时吸收损耗的计算[J]. 应用激光,2007,27(3):231-233.