

激光测距机测距能力检测折算方法研究

迟 慧¹, 刘琛辰¹, 滕 渊², 赵明欣², 冯国旭², 王鹏飞²

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 固体激光技术国家级重点实验室, 北京 100015)

摘要:介绍了一种激光测距机测距能力检测的新方法,该方法以测距方程为理论依据,将不同大气条件、目标特性及测量路程的测距能力问题归结为地面水平大目标的测距问题。同时根据工程经验,提出了几个关键参数的计算方法,并通过自编软件进行快速的数据处理。经验证,该方法切实可行,可以作为测距能力检测的依据。

关键词:测距能力;测距方程;折算

中图分类号:TN249;TH761.2 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2011.07.011

Study on the obversion of laser rangefinder's ranging capability

CHI Hui¹, LIU Chen-chen¹, TENG Yuan², ZHAO Ming-xin², FENG Guo-xu², WANG Peng-fei²

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China;

2. National Key Laboratory of Solid State Laser Technology, Beijing 100015, China)

Abstract: A novel method is presented to test the ranging capability of a laser range finder. Based on the lidar range equation, it normalizes the ranging capability for any target and under any condition to the ranging capability for a ground-based "large" target. That makes the test very simple and practical. The determination of some key parameters is also proposed. Software to process the test data is developed. Experiments show that the method is practically feasible and well fit to the actual instance.

Key words: ranging capability; lidar equation; data conversion

1 引言

随着军事装备现代化、信息化的快速发展,脉冲激光测距机在机载作战和侦察、地面坦克火控、高炮射击、单兵作战等领域得到了极大的发展,已成为部队装备数量最大的光电装备之一。描述一台激光测距机性能的指标有激光输出峰值功率、束散角、重复频率、测距精度、测距能力等,而测距能力是反映激光测距机综合性能的重要指标。对脉冲激光测距机测距能力的检测研究,一直受到质量管理验收部门、研制生产部门及用户使用维护部门的高度重视。

根据多年从事激光测距机性能指标检验的工作经验,并结合某无人机机载激光测距系统测距能力实际检验工作,对测距能力的检测方法进行认真地归纳总结和分析研究,提出了一种简单易行、适于批量检验验收的新方法。该方法经过外场试验数据对比验证,基本符合实际应用情况,可以作为用户对激光测距机测距能力的检测验收依据。

2 测距能力检测方法的提出

目前,对激光测距机测距能力检测的方法主要有两种:实际测距法和消光试验法^[1-2]。实际测距法是在测距机的生产与鉴定中最常用的方法。在指标要求的大气能见度下,对指标规定的距离上一真实目标(如坦克、飞机等)进行测距,若能达到该测距机的准测率就算该机的测程检验合格,该方法存在着试验成本高、受天气影响大、缺少真实目标甚至无法实现等缺点。消光试验法是通过在激光测距机的发射或接收光路中加衰减片来测量反射能量衰减量,从而模拟检测激光测距机最大测程的一种方法,该方法测试过程复杂、靶板性质变化等因素也会影响测试结果。

用户往往不关心激光测距机的最大测程而只关心测距能力是否能满足指标规定的要求,因此在测

作者简介:迟 慧(1961-),女,从事激光测距领域的检测及研究工作。E-mail:rocifly@sohu.com

收稿日期:2011-04-25

距能力检测的时候只需验证测距能力大于指标的要求即可。提出一种新的测距能力检测折算方法,它可以通过对地面大目标测距折算成实战指标要求的地对地、地对空、空对空等不同目标特性、不同大气条件下的测距能力,不但大大降低了检测成本及检测复杂程度,还提高了检测效率,非常适用于大批量产品生产检测。同时,还可以通过自编的折算软件快速解算出各种约束条件下的参数值,大大地简化了检测程序及数据处理工作。

3 检测原理

测距能力折算检测方法的理论依据是基于测距方程,对于不同目标的测距方程用最小可探测功率来表示。

对合作目标测距,其接收功率 $P_r(R)$ 为:

$$P_r(R) = \frac{16 \cdot P_t \cdot A_r \cdot A_s \cdot \rho \cdot K \cdot T_a}{\pi^2 \cdot \theta_t^2 \cdot \theta_s^2 \cdot R^4} \quad (1)$$

对漫反射小目标测距,其接收功率 $P_r(R)$ 为:

$$P_r(R) = \frac{4 \cdot P_t \cdot A_r \cdot A_s \cdot \rho \cdot K \cdot T_a}{\pi^2 \cdot \theta_t^2 \cdot R^4} \quad (2)$$

对漫反射大目标测距,其接收功率 $P_r(R)$ 为:

$$P_r(R) = \frac{P_t \cdot A_r \cdot \rho \cdot K \cdot T_a}{\pi \cdot R^2} \quad (3)$$

式中, $P_r(R)$ 为最小可探测功率(W); P_t 为激光发射功率(W); A_r 为接收光学系统面积(m^2); A_s 为目标有效反射面积(m^2); ρ 为目标反射率; K 为光学系统效率; T_a 为大气双程透过率 $T_a = \exp(-2\sigma GR)$, 其中 σ 为地面水平大气衰减系数, G 为大气衰减修正因子, R 为作用距离; θ_t 为激光发射角(rad); θ_s 为目标反射角(rad)。

基于上述三个测距方程,通过最小可探测功率大小的比较,可以将不同目标特性、不同大气条件及不同测量路径的测距能力问题转换成对地面水平大目标的测距问题。由于地面水平测距可选取高大建筑物和山为测量目标,目标选取较容易且灵活,因此实际测距能力最终将与地面水平大目标测距能力进行比对,从而得出是否满足指标要求的结论。

如实际指标要求空中对地面小目标测距距离要大于等于 R_1 , 只需令空中对地面小目标最小可探测功率 $P_r(R_1)$ 大于等于地面水平大目标最小可探测功率 $P_r(R)$, 即:

$$\frac{4 \cdot P_t \cdot A_r \cdot A_s \cdot \rho_1 \cdot K}{\pi^2 \cdot \theta_t^2 \cdot R_1^4} e^{-2G_1 \sigma_1 R_1} \geq \frac{P_t \cdot A_r \cdot \rho \cdot K}{\pi \cdot R^2} e^{-2G\sigma R} \quad (4)$$

式中, R_1 为指标要求的测距距离(m); R 为水平地面大目标的测距距离(m); A_s 为指标规定的目标有效反射面积(m^2), 如坦克等; ρ_1 为指标规定的目标反射率; σ_1 为指标规定能见度下的地面水平大气衰减系数; G_1 为大气衰减修正因子; ρ 为地面大目标反射率;

σ 为检测当天能见度下的地面水平大气衰减系数; G 为大气衰减修正因子, 地面水平测距时该值为 1。

由式(4)可推导出下式(5), 其中:

$$L = 500 \cdot \theta_t \cdot R_1^2 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho}{A_s \cdot \rho_1}} \cdot e^{2G_1 \sigma_1 R_1},$$

$$R \geq L \cdot e^{-2G\sigma R} \quad (5)$$

式中, R_1 和 R 的单位均已换算成 km, 对于一个具有已知指标要求的激光测距机, L 为一定值。可知, 在不同天气条件下的地面水平大目标测距距离值若满足式(5), 则可说明其测距能力满足空对地面小目标测距能力 R_1 的要求。

另外, 在检测过程中应注意使 AGC、TPG 电路处于最大工作增益状态, 从而避免增益控制电路对测量结果造成影响。

4 几个重要参数的选取与计算

4.1 目标反射率

目标反射率可按表 1 选取。

表 1 几种目标对 1.06 μm 和 2.06 μm 激光波长的漫反射率^[3]

目标材料	目标漫反射率/%		目标材料	目标漫反射率/%	
	1.06 μm	2.06 μm		1.06 μm	2.06 μm
铝(表面风化)	55	70	土壤(粘泥土)	8	5
建筑用水泥	50	58	草地	47	8
油漆(淡橄榄色)	8	8	树叶(橡树叶)	48	5

4.2 地面水平大气衰减系数

地面水平大气衰减系数 σ 是与大气能见度、激光波长有关的常数, 对于常用的 1.06 μm 激光波长来说, 大气衰减与能见度的关系可用下式近似表示, V 为大气能见度(km):

$$\sigma = \frac{2.7}{V} \quad (6)$$

也可通过查图求得, 如图 1 所示。

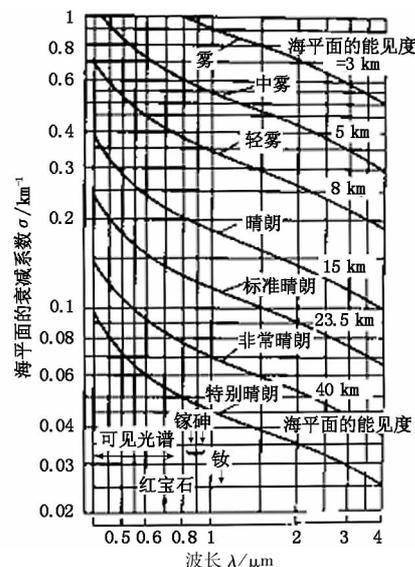


图 1 不同大气条件下, 海平面衰减系数随波长的变化曲线^[4]

4.3 大气衰减修正因子

大气衰减修正因子可以通过图 2 查得,也可以按照以下近似式计算求得,下面给出几种 1.06 μm 激光波长不同测量路程情况下的计算近似式。

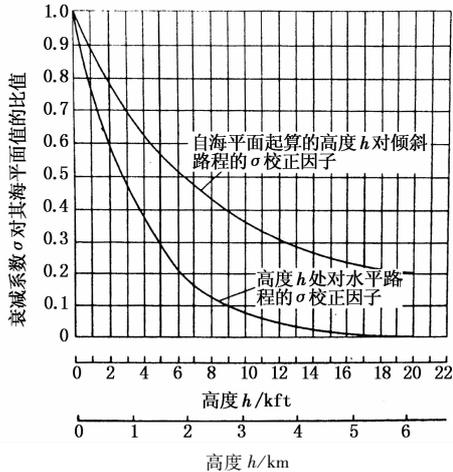


图 2 倾斜路程和水平路程对海平面的衰减修正系数^[4]

地对空斜程测距:

$$G(h) = \frac{1}{0.83} (1 - e^{-0.83h}) \quad (7)$$

空对空水平测距:

$$G(h) = e^{-0.83h} \quad (8)$$

空对空斜程测距:

$$G(h_1, h_2) = G(h_1) [1 - G(h_1) - G(h_2)] \quad (9)$$

式中, $G(h_1)$ 为高度 h_1 的水平大气修正因子; $G(h_2)$ 为高度 h_2 的水平大气修正因子,且 $h_2 \geq h_1$ 。

4.4 折算数据处理软件

为提高检测过程中的数据处理效率,自编了一个折算数据处理软件,可快速计算相关参数并对测试结果进行验证。软件界面如图 3 所示。

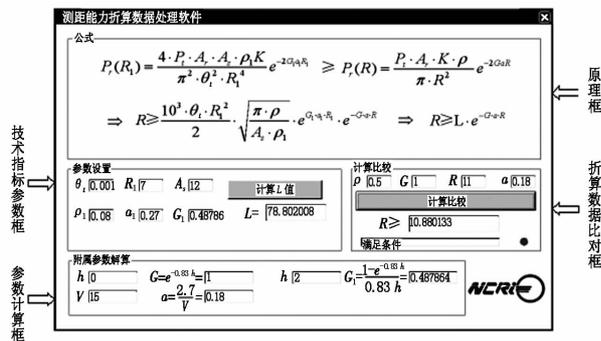


图 3 折算数据处理软件界面图

5 测距能力检测应用及验证

根据激光测距能力检测折算方法的原理,对某无人机机载激光测距机空地测距能力进行了实际折

算测试应用,其相关指标要求如表 2 所示。

表 2 激光测距机测距能力相关指标

大气能见度/km	目标尺寸/m ²	目标反射率	激光束散角/mrad	航高/km	测距能力/km
≥10	3×4	0.08	1	2	≥7

通过对地面建筑物大目标(反射率为 0.5)进行测距能力折算检测,利用折算处理软件计算出对比公式:

$$R \geq 78.8 e^{-2G\sigma R} \quad (10)$$

并通过该软件计算出在不同能见度条件下满足测距指标要求的地面水平大目标测距的最小测量距离值,如表 3 所示。

表 3 不同能见度情况下的最小测距值

能见度/km	5	10	15	20	23.5	30
最小测距值/km	5.1	8.4	11	13.3	14.7	17.1

检测当天能见度为 15 km,实际测量距离为 11.7 km,说明测距能力满足指标要求。

6 结论

该方法已经在外场飞行试验中得到了验证,说明测距能力检测折算方法可行,可以作为激光测距机测距能力检测的依据,也可用来用户维修保障部门对测距机维修后测距能力的验证方法。另外,目标的几何形状对测距能力折算准确性也有一定的影响。

参考文献:

- [1] Zhang Chengquan. The laser instrument manual for foreign army[M]. Beijing: Ordnance Publishing Company, 1989: 1-8. (in Chinese)
张承铨. 国外军用激光仪器手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989: 1-8.
- [2] GJB2241-94 Pulsed laser rangefinder ranging performance test method[S]. (in Chinese)
GJB2241-94 脉冲激光测距仪性能试验方法[S].
- [3] Mei Suisheng, Wang Rongrui. Photoelectronic technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)
梅遂生, 王戎瑞. 光电技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [4] RCA Inc. Electron-optic Manual [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1978. (in Chinese)
无线电公司. 电光学手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1978.