

脉冲激光测距机最大测程测试方法研究*

曾嫦娥¹,王茜蓓²,常岗³,单长胜¹,王强¹

(1.北京跟踪与通信技术研究所,北京 100094; 2.北京理工大学信息科学技术学院,
北京 100081; 3.中国华阴兵器试验中心,陕西 华阴 714200)

摘要:最大测程是反映脉冲激光测距机性能优劣的主要参数之一。分析了现行激光测距机最大测程指标考核的方法,比较了各种考核方法的利弊。在此基础上提出了一种采用室外消光法与室内时序增益系数比检测相结合的方案进行激光测距机最大测程测试的新方法,并对两具测距机分别进行了室外消光比、室内时序增益系数比、最大测程的测试,对两者的结果进行了对比。最后针对本测试系统的组成进行了误差分析。结果证明,新的检测方法可以客观、真实、准确地测量 1.06 μm 和 1.54 μm 两种波段的脉冲激光测距机的最大测程,测试结果受天气条件和目标特性影响小,也不受脉冲激光测距机增益电路的影响,且测量精度高,重复性好,操作方便可靠。同时还可对激光测距机测程范围、测距精度、选通范围及选通精度、距离分辨率等主要性能参数进行模拟测试。

关键词:激光测距机; 最大测程; 消光比; 时序增益系数比

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)06-0664-05

Novel method for maximum range measure of pulse laser range finder*

ZENG Chang-e¹, WANG Qian-qian², CHANG Gang³, SHAN Chang-sheng¹, WANG Qiang¹

(1. Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China; 2. School of Information Science Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 3. China Huayin Ordnance Test Center, Huayin 714200, China)

Abstract: Maximum range is one of the major parameters of pulse laser range finder. Several common measurement methods are analyzed. A novel method combining outdoor light extinction ratio with indoor time sequence gain coefficient ratio is proposed. For two pulse laser range finders, outdoor light extinction ratio, indoor time sequence coefficient and maximum range are measured and compared. The results and error analysis are given. The results prove that the maximum range of the pulse laser range finder whose operating wavelength is 1.06 μm and 1.54 μm could be measured accurately, and it is hardly effected by weather condition and target properties, nor is effected by time sequence gain circuit. The method has high accuracy, repeatability and serviceability. By this method, other major parameters of the pulse laser range finder such as ranging accuracy, gating range, gating accuracy and range

收稿日期: 2005-03-13; 修订日期: 2005-05-14

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20505002); 国家高技术研究发展计划(863-308-14-03)

作者简介: 曾嫦娥(1966-), 女, 湖南岳阳人, 硕士, 从事激光测距机、红外热像仪等光电仪器的鉴定、测试、性能评估方面的研究。

resolution can also be measured.

Key words: Pulse laser range finder; Maximum range; Light extinction ratio; Time sequence coefficient ratio

0 引言

激光测距具有体积小、操作简单、测量精度高、作用距离远、抗干扰能力强等优点,在军事上得到广泛应用。激光测距配合各种战术武器使用可使首发命中率高达80%以上,大大提高了武器系统的攻击力和准确性。目前,激光测距仪已大量装备到飞机、坦克、地炮、导弹、军舰、潜艇上。而在激光测距机中应用最广、数量最大、技术最成熟的首推脉冲激光测距机^[1,2]。

反映一台激光测距仪是否合格的最重要的综合性指标是最大测程,其大小取决于激光器的输出功率、束散角以及接收机的探测灵敏度等。如何科学合理地检测最大测程,一直是人们探讨的焦点。最大测程检测方法也经历了几次变革,但尚未形成统一的标准。本文对现行的几种检测方法进行了分析比较,在此基础上提出了一种新的检测方法,并进行了实验验证和误差分析^[2]。

1 现行最大测程检测方法

1.1 实际测距法

实际测距法^[3,4]是最大测程检测最直观的方法,也是在测距机的生产与鉴定中最常用的方法。选择合适天气,在指标规定的距离上放置一待测的真实目标(如坦克、飞机等),然后对该目标进行测距,若能达到该测距机的准测率就算该机的测程检验合格。

实际测距法存在许多不足,一是由于动用真实目标,或成本太高,或无法实现,有时用目标靶或远方建筑物来代替,因此无法控制目标的特性;二是受天候影响很大,对同一台测距机,气候条件不同,所得最大测程相差极大;三是不同测距机测程可比性差,无法判断优劣,且同一测距机不同天候所做试验的结果可比性也不好。

鉴于实际测距法存在的不足,国内外都在发展激光测距机测程的模拟检测方法,以提高测程检验的可行性及可靠性。

1.2 消光试验法

消光试验法^[1]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。消光试验法又有室外消光法和光纤消光法之分。

1.2.1 室外消光法

室外消光法检测原理如图1^[1]所示,在距激光测距机 L (通常取500 m)处立一标准漫反射测试靶,靶面反射系数为 ρ 且靶面积大于发射激光光斑面积,在激光测距机发射光路中加入衰减器,瞄准靶板进行测距,改变衰减器的衰减量,直至测距机达到临界稳定测距状态,此时的衰减量可反映测距机的最大测程。

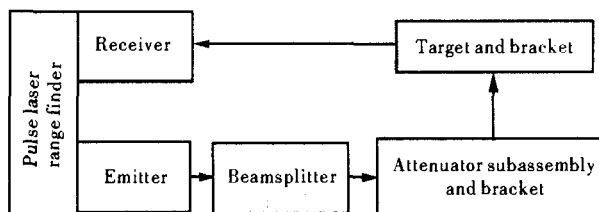


图1 室外消光比检测原理框图

Fig.1 Principle chart for the light extinction ratio test in field

室外消光法最大的不足在于无法得到定量的最大测程值,因此只适合于批量产品的比对检测,具有一定的局限性。

1.2.2 光纤消光法

光纤消光法^[5]原理与室外消光法类似,不同的是将野外500 m激光传输路程转换为室内激光在光纤中的传输。自测距机发射出的激光经衰减片衰减后进入光纤,激光经过光纤传输后,由激光测距机的接收物镜接收。改变衰减片的衰减量,直至测距机接收到的回波次数达到临界稳定测距状态,由对应的衰减量计算出最大测程。

光纤消光法可以消除外界气候条件的影响,但仍没有解决室外消光法存在的不足,且光纤在使用中搬动不便,易折断,因此在实用中也受到限制。

2 最大测程检测新方法探讨

2.1 检测原理与装置

根据脉冲激光测距机检测的国军标规定,提出了一种能适应多种波段与形式的脉冲激光测距机的最大测程检测方法^[6-8]。

按照 GJB2241-94 试验方法 105 系列^[9],室外消光法得到的激光测距机的消光比可表示为:

$$N_a = 10 \lg \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{L_1^2}{L_s^2} \frac{G(L_s)}{G_{\max}} F(A) e^{-2\alpha L_s} e^{-2\alpha L_1} \right] \quad (1)$$

式中 ρ_1 为指标规定的实际测距时的目标反射率,若无规定一般取 $\rho_1=0.2$; ρ_2 为消光试验靶的实际反射率; L_1 为待解算的最大测程; L_s 为消光试验时的测程,一般为 500 m; $G(L_s)$ 为接收机在距离 L_s 处达到的增益; G_{\max} 为接收机的最大增益; $F(A)$ 为正因子,当为大目标测距且接收视场角大于发散角时 $F(A)=1$; α 为大气衰减系数,1 dB/km。根据经验公式,1.06 μm 的大气衰减系数有: $\alpha V=2.7$, V 为气象视距。而对于 1.54 μm ,可通过现场试验取得数据,用数理统计方法拟合得出,也可近似为 $\alpha V=2.14$ 。 V 在战技指标中有明确规定,若无规定一般取 $V=20$ km。

由公式(1)可知,若能检测出时序增益电路的增益比 $G(L_s)/G_{\max}$,即可由所测得的 N_a 计算出测距机的最大测程 L_1 。

根据上述原理,检测系统主要由室外消光比检测分系统、室内时序增益比检测分系统以及数据采集处理分系统组成。其中,室外消光比检测分系统用于测量测距机在 500 m 距离上的消光值,其组成和原理与室外消光法相同。室内时序增益比检测分系统用于检测测距机接收电路在 500 m 时的增益与最大增益之比。数据采集处理分系统用于采集测量过程中的有关参数和试验数据,并计算被测测距机的最大测程。

根据被测激光测距机有无时序增益开关,测试相应分为两种类型:

(1) 对有时序增益控制开关的测距机,可直接采用室外消光比检测分系统实现对最大测程的测量^[9],消光试验时使测距机处于最大增益状态。

(2) 对无时序增益控制开关的测距机,先利用室

外消光比检测分系统测量测距机在 500 m 距离上的消光值,再利用时序增益比检测分系统检测测距机的增益比,最后通过计算得出测距机的最大测程。

时序增益检测分系统由分光组件、光电信号接收与处理组件、标准激光器模拟组件、衰减器组件及装调机构等组成,如图 2 所示。其中分光组件、衰减片组件及装调机构可与室外部分共用。

由激光测距机发射的激光经分光组件分光后,被光电接收器接收,经过放大整形、延时,使驱动电路以恒定的电压去驱动标准激光器。标准激光器发出比较稳定的激光先经激光发射光学系统准直后,再经衰减后到达接收光路,调整衰减器的衰减量使接收能量达到被试品的最小可探测功率 P_{\min} ,此时的衰减量即为对应的消光比值。

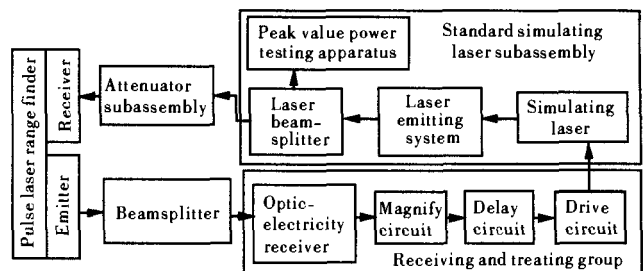


图2 时序增益系数检测分系统组成原理框图

Fig.2 Principle chart for the time-sequence coefficient ratio test

试验时,根据 $R = \frac{1}{2} ct$ 调整延时电路的延迟时间,使激光测距机测得的距离值为时序增益电路达到最大增益时的距离值(一般测距机在 3000 m 以上),再通过调整衰减量,使测距机处于临界稳定测距状态,记录此时的衰减量值 $N_1(\text{dB})$ 或衰减倍数 M_1 。

改变延时电路的延迟时间和衰减片的衰减量,使激光测距机测得的距离与室外消光比检测时的实际目标距离(如 500 m)一致,并再次处于临界稳定测距状态,记录此时的衰减量值 $N_2(\text{dB})$ 或衰减倍数 M_2 。

当考虑自动增益时,临界最小可测距功率与增益系数符合以下关系:

$$P_{\min} \times G_{\max} = P_s \times G_s \quad (2)$$

衰减倍数与最小可测距功率有如下关系:

$$P_{\min} \times M_1 = P_s \times M_2 \quad (3)$$

因此时序增益控制电路的增益系数比为:

$$N_s = 10 \lg \frac{G_s}{G_{\max}} = 10 \lg \frac{M_2}{M_1} = 10 \lg M_2 - 10 \lg M_1 = N_2 - N_1 \quad (4)$$

该方案的优点是能全面考核所有影响最大测程的因素,如测距机本身的发射功率、最小可探测功率、接收和发射光学系统对激光的透过率、接收光学系统有效面积等内部因素,同时还受大气、天候、目标的影响,与实际使用情况比较一致。

2.2 测试结果

利用该检测系统分别对测距精度为±1 m、波长为1.06 μm 和 1.54 μm 的手持激光测距机进行了室外消光比和时序增益系数比的测试,测试原始数据及处理结果如表 1 所示。表中“×”表示无回波,“√”表示有正确的回波信号。

2.2.1 1.06 μm 激光测距机测试数据及处理结果

激光测距机室外消光比测试条件为室外晴天,能见度 15 km,靶板距离 L=500 m、反射率 ρ=91.4%,数据见表 1。益比测试条件为室内,如表 2 所示。

表 1 1.06 μm 激光测距机室外消光比测试数据

Tab.1 Test data of the 1.06 μm laser range finder for the light extinction ratio test in field

Sequence	1	2	3	4	5
Light extinction /dB	30.169	29.919	29.649	29.521	29.392
Reality echo for laser range finder	×	√	√	×	√
	×	√	√	×	√
	√	√	√	√	√
	√	×	×	×	√
	√	√	√	×	√
	×	×	×	√	×
	×	×	√	√	√
	×	√	×	√	√
	×	×	×	√	√
Echo ratio/%	30	56.7	65	70	90

从以上数据及处理结果可明显看出,随着衰减值的变化,测距回波率相应有明显的改变。对衰减值与回波率的变化进行回归处理(如图 3 所示),可知在临界稳定测距状态(满足准测率 ≥ 90%)时,室外测试的消光比值为 29.316。延时距离为 500 m 和 3000 m 时

所对应的衰减值分别为 7.266、19.147,即时序增益控制电路的增益比为-11.881。

表 2 1.06 μm 激光测距机增益比测试数据

Tab.2 Test data of the 1.06 μm laser range finder for the time-sequence test

Light extinction /dB	Reality echo for laser range finder										Echo ratio /%	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Delay distance is 500 m	7.274	√	√	×	×	√	√	√	×	√	√	70
	7.27	√	×	√	√	√	√	√	×	√	√	80
Delay distance is 3000 m	7.086	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	90
	7.086	√	√	√	√	×	×	√	√	√	√	90
Delay distance is 3000 m	19.689	×	√	√	×	×	√	√	×	×	×	40
	19.483	×	√	√	×	×	×	√	√	√	√	60
Delay distance is 3000 m	19.319	√	×	×	√	√	√	√	√	√	×	70
	19.216	√	√	√	×	×	×	√	√	√	√	70
Delay distance is 3000 m	19.123	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

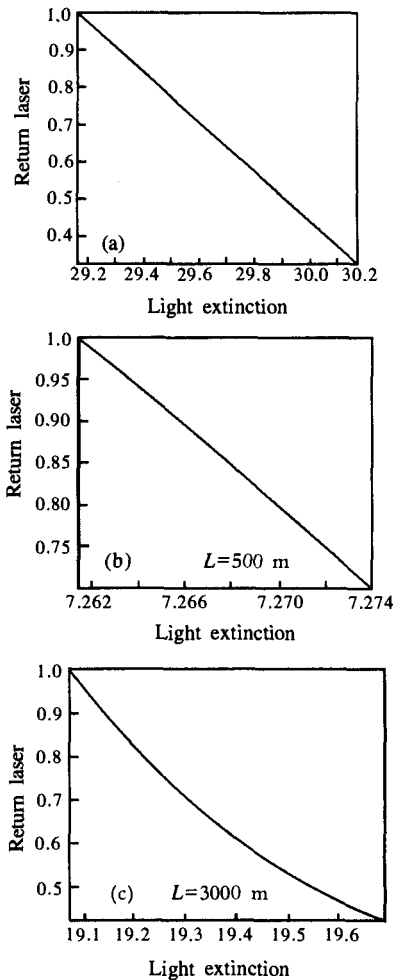


图 3 室外测试衰减值与回波率的关系
Fig.3 Ratio of light extinction and return laser in field

将测量数据代入公式(1)中,可得到该测距机在能见度为 20 km (天气晴好)、靶面反射率为 0.2 时,对大目标测距的最大测程为 $L_1=8.87$ km。

对该手持激光测距机进行最大测程的实际检测,在测试条件为阴天、大风、能见度 4~5 km、湿度较大的气象条件下,对军用卡车的最大测程为 5.46 km。实测结果比所计算的标称条件下的最大测程小,分析其误差原因是因为当时的气象条件比标准条件差,且军用卡车在 5 km 以外已为小目标。

2.2.2 1.54 μm 激光测距机测试数据及处理结果

利用同样的方法对 1.54 μm 激光测距机进行检测,其实验结果如图 4 所示,在临界稳定测距状态时(满足测准率 $\geq 90\%$),室外测试的消光比值为 26.641,

延时距离为 500 m 和 3000 m 时衰减值分别为 17.649 和 24.484,增益比为 -6.835。将测量数据代入公式(1),可得到 1.54 μm 测距机在能见度为 20 km(天气晴好)、靶面反射率为 0.2 时,对大目标测距的最大测程为 $L_1=6.67$ km,与该测距机最大测程比较相符。

2.3 误差分析

根据检测系统的组成及实际测试分析,影响测量精度的因素主要有衰减组件误差、时序增益比测量误差、靶板引入的误差以及大气透过率测量误差等^[9-11]。

衰减组件误差包括衰减器的标定、定位和量化等误差,根据国内现有的加工水平和标定水平,该部分误差可以控制在 0.1 dB 左右。

时序增益比检测部分的误差主要来源于模拟激光器功率不稳定性和衰减片组误差以及电路延时误差等。现有激光器功率不稳定性一般小于 5%,可算出误差为 0.2 dB,加上其他因素的影响该部分误差约为 0.3 dB。

靶板的误差主要来源于靶的漫反射率标定、反射率均匀性、靶与测距机发射光轴垂直度以及漫反射靶放置距离的不确定度等,这几项可通过精确标定并作为系统误差予以补偿,因此对检测影响不大,约为 0.05 dB。

室外消光比测量一般选择晴朗、无风的天气进行,且距离只有 500 m,受大气影响较小。但大气透过率测量精度低,经计算和实验其误差约为 0.2 dB。

综合以上各项误差来源可知,只要严格控制误差分量,可确保测量系统达到 0.5 dB 的测试精度。

3 结论

通过上述分析可知,采用文中所述方法可以更客观、准确地测量激光测距机的最大测程,它受天候条件和目标特性影响小,不受测距机增益电路的影响,在可重复性、全面性、移动性、应用环境以及可操作性等方面均优于其他检测方法。此外,利用这套设备还可进行激光测距仪测距精度、最小测程、距离选通以及距离分辨力等其他重要参数的室内模拟测试,并可用于高低温环境条件下激光测距机灵敏度的检测。

(下转第 672 页)

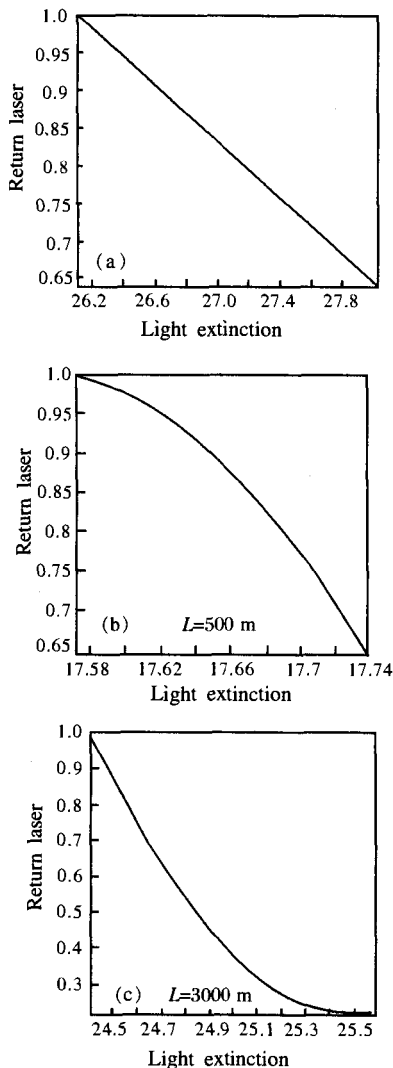


图 4 室外测试衰减值与回波率的关系

Fig.4 Ratio of light extinction and return laser in field

the Cr-Tm:YAG laser could be Q-switched and tuned over a quite wide wavelength range. The scheme seems also possible to be used in other kind of tunable lasers operating between 0.5~2 μm .

Acknowledgments

We are grateful to Prof. Xie Jianping, University of Science and Technology of China, for helpful discussions, and Prof. Cao Yuhui, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, for supporting a Czochralski crystal used in this study.

References:

[1] TONG Zhong-cheng, SUN Xiao-quan, YU Da-bin, et al. Experi-

ment study on temperature characteristic of thulium laser[J]. Infrared and Laser Engineering(童忠诚,孙晓泉,余大斌,等.灯泵铥激光器温度特性的实验研究.红外与激光工程),2000,29(6):24-26.

[2] Quarles G J, Rosenbaum A, Marquardt C L, et al. Efficient room-temperature operation of a flash-lamp-pumped, Cr,Tm:YAG laser at 2.01 μm [J]. Opt Lett, 1990, 15(1):42-44.

[3] Li C, Shen D, Song J, et al. Flash-lamp pumped normal-mode and Q-switched Cr-Tm:YAG laser performance at room temperature [J]. Opt Comm, 1999, 164(1):63-67.

[4] Kuo Y K, Birnbaum M. Ho:YVO₄ solid-state saturable-absorber Q-switch for a 2- μm Tm, Cr:Y₃Al₅O₁₂ laser[J]. Appl Opt, 1996, 35(6):881-884.

[5] Kuo Y K, Birnbaum M, Chen W. Ho:YLiF₄ saturable absorber Q-switch for the 2 μm Tm, Cr:Y₃Al₅O₁₂ laser[J]. Appl Phys Lett, 1994, 65 (24):3060-3062.

(上接第 668 页)

参考文献:

[1] ZHANG Cheng-quan. The Laser Instrument Manual for Foreign Army [M]. Beijing: Ordnance Publishing Company(张承铨. 国外军用激光仪器手册. 北京:兵器工业出版社), 1989. 1-8.

[2] YANG Ye-ping, YANG Zhao-jin, HOU Min, et al. Calibration methods for maximum measuring range of pulse laser range finder [J]. Applied Optic(杨冶平, 杨照金, 侯民, 等. 脉冲激光测距机最大测程校准方法. 应用光学), 2003, 24(3): 26-28.

[3] GJB2241-94 Pulsed laser rangefinder ranging performance test method[S]. (GJB2241-94 脉冲激光测距仪性能试验方法)

[4] LI Song-ming, XU Rong-fu, ZHAO Chang-ming. Intelligent measuring system for performance parameters of laser range finder [J]. Infrared and Laser Engineering(李松明, 徐荣甫, 赵长明. 智能激光测距机性能测试系统. 红外与激光工程), 2001, 30(4): 211-213.

[5] SUN Bin, WANG Xiao-bing, LIN Yi, et al. Range-finding capability of laser range finder by extinction-ratio measurement without target [J]. Laser Technology(孙斌, 王小兵, 林轶, 等. 无靶板消光比法检测激光测距能力的研究. 激光技术), 2004, 28(1): 82-87.

[6] ZHANG Qing-sheng, SHA Ding-guo. Precision analysis about

extinction ratio system of pulse laser range finder [J]. Optical Technique(张庆生, 沙定国. 脉冲激光测距机消光比测试系统精度分析. 光学技术), 2002, 28(3): 236-238.

[7] WEI Guang-fei, YANG Pei-geng. The Application of Laser Technique In Ordnance [M]. Beijing: Ordnance Publishing Company(魏光辉, 杨培根. 激光技术在兵器工业中的应用. 北京:兵器工业出版社), 1995. 49-50.

[8] FENG Long-ling. Method of simulated testing of pulse laser range finder [J]. Infrared and Laser Engineering(冯龙龄. 脉冲激光测距系统的仿真检测技术. 红外与激光工程), 2003, 32(2): 127-129.

[9] ZHONG Sheng-yuan. Study on ranging correction of laser ranger to target in the air [J]. Laser & Infrared(钟声远. 激光对空中目标测距的大气修正研究. 激光与红外), 2000, 30(4): 203-207.

[10] SU Mei-kai, CHEN Zhi-bin. Automatic and fast ranging capability of impulse laser range finder [J]. Fire Control & Command Control(苏美开, 陈志斌. 脉冲激光测距机测程指标的自动快速检测. 火力与指挥控制), 1999, 24(1): 78-80.

[11] LI Gang, WANG Yue-feng, DONG Wei, et al. Digital method to checkout complete appliance of laser radiation indicating meter [J]. Infrared and Laser Engineering(李刚, 汪岳峰, 董伟, 等. 激光照射指示器整机性能检测方法研究. 红外与激光工程), 2004, 33(5): 462-464.