

## 激光测距机最大测程评估方法研究

张 维,沈洪斌,周 冰,徐春梅,沈学举  
(军械工程学院,河北 石家庄 050003)

**摘 要:**最大测程是评估激光测距机测距性能的综合性指标,在实际应用过程中需要定期检验。目前采用的实际测距法受限于天气和目标条件难以实施,消光比法则因为难以实时设置或测量激光接收处理电路的增益也不易操作。而目前检验激光发射能量、光束发散角、光轴偏差角、最小可探测激光功率等关键参数的手段已经相当普及,可以恰当地应用这些检验结果来评估激光测距机的最大测程是否满足要求;如果能精确给出具体型号激光测距机激光能量分布的表达式,就可以给出精确评估最大测程的理论计算公式,从而通过测量激光测距机的关键参数来判定最大测程是否满足要求。

**关键词:**激光测距机;最大测程;关键参数;激光能量分布;理论计算公式

**中图分类号:**TN249      **文献标识码:**A

## Study on Evaluating Maximum Range of Laser Range Finder

ZHANG Chu, SHEN Hong-bin, ZHOU Bing, XU Chun-mei, SHEN Xue-ju  
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Maximum range must be periodically inspected, because it is a combination property for evaluating ranging performance of laser range finder. At the present time, measuring the range of actual target at the maximum range is restricted by conditions of weather and target, light extinction method also hard to operate because it needs to set or measure the real-time gain of laser receiving and processing circuit. At the meantime, there are enough methods to measure key parameters of laser range finder such as laser emitting energy, laser beam diffuse angle, deviation angle of optical axis, minimum detectable laser power, etc. So we can use these measuring results to evaluate whether the maximum range of laser range finder reaches desired impact. If we acquire accurate representation about laser energy distribution of specific-type laser range finders, theoretical formula for accurately evaluating maximum range can be given, then whether the maximum range reaches desired impact can be decided by measuring key parameters of laser range finder.

**Key words:** laser range finder; maximum range; key parameters; energy distribution of laser; theoretical formula

### 1 引 言

激光测距机因其体积小、测距精度高、抗干扰能力强等优点,在工程测量和军事领域已得到广泛应用,特别是在包括地面、海上、空中的各种先进武器控制系统中发挥着日益重要的作用,成为影响武器系统作战效能的重要因素。为使武器系统保持良好的技术状况以应对突发情况,平时需要定期检查关键部分的技术性能,而最大测程作为评估测距性能的综合性指标,成为检验的主要对象。

目前,检验最大测程的方法主要有实际测距法和消光比法。实际测距法是最直观的检验方法,通过对放置在最大测程距离上的真实目标或替代性的标准靶板实际测距,来检验测距性能是否满足要求;该方法的最大问题是受天气条件影响很大,尤其是大于10km的中远程测距要求的天气条件,多数情

作者简介:张 维(1964-),女,副教授,主要从事激光测距技术应用与检测等方面的工作。E-mail:zhangchu625@sina.com  
收稿日期:2008-06-10

况下难以满足;而且,在武器系统的平时检验过程中不太可能在最大测程距离上设置真实目标或标准靶板,从环境中选择的替代性目标的反射特性与真实目标会有差异<sup>[1]</sup>,这些因素导致实际测距法在很多时候、地点难以实施。消光比法则是衰减激光发射能量之后对固定的近距离标准靶板进行测距,找出稳定测距临界状态对应的衰减量,来评估最大测程是否达到指标要求;这种方法能够较好地克服天气条件的影响,但标准靶板不易广泛推广,而且目前测距所用的激光接收处理电路都采用了时序增益控制技术,不同型号测距机的增益控制时间各不相同,这意味着测距时要么将接收电路的增益设置到最高水平,要么实时测出测距时的实际增益与最大增益的比值,做到这一点需要分解测距机进行设置或测量,这在测距机的生产验收过程中容易实现,但对于已经在大型武器系统中安装就位并进行了全系统轴系平行性校正的测距机而言,不能再去分解设置或测量该系统的增益,因此在这种情况下消光比法也难以实施。

2 最大测程的理论估算与分析

实际上,最大测程作为激光测距机的关键指标,一直是测距机的设计重点,设计之初都是先用理论公式来估算最大测程对应的关键参数,比如激光发射功率、接收孔径、探测灵敏度(一般用最小可探测激光功率来表征),等等。在目标面积小于激光照射面积的情况下(多数测距机检验最大测程设定的目标面积都显著小于该距离上的激光照射面积),测距机的关键参数、大气透过率条件、被测目标情况与最大测程具有如下关系<sup>[2]</sup>:

$$P_{\min} = 2 \frac{\tau_t \tau_r A_r A_s \rho \cos \theta}{\pi^2 R_{\max}^4 \theta_t^2} e^{-2\mu_a R} P_t \quad (1)$$

式中,  $P_{\min}$  是以满足准测率为前提的最小可探测激光功率;  $\tau_t, \tau_r$  分别是发射光学系统、接收光学系统的激光透过率;  $A_r, A_s$  分别是有效接收孔径面积和目标面积;  $\rho$  是目标表面的激光反射率;  $\theta$  是目标反射面法线方向与激光束轴线(激光发射光轴方向)的夹角;  $e^{-2\mu_a R}$  是激光在测距机和目标之间往返通过大气衰减后的透过率;  $P_t$  是激光发射功率;  $R_{\max}$  是最大测程;  $\theta_t$  是激光束发散角。

考虑目前广泛应用的脉冲激光测距机,每次测距发射的都是激光单脉冲,脉冲宽度由调  $Q$  方式决定,一旦根据测距重复频率要求选定激光器的调  $Q$  方式,激光发射功率就与脉冲包含的激光能量成固定比例,这样式(1)转变为:

$$P_{\min} = 2 \frac{\tau_t \tau_r A_r A_s \rho \cos \theta}{\pi^2 R_{\max}^4 \theta_t^2 \Delta t} e^{-2\mu_a R} E_t \quad (2)$$

式中,  $E_t$  为激光单脉冲能量;  $\Delta t$  为单脉冲的脉宽。

式(2)的工程意义是:一旦确定了大气透过率

条件、目标情况和测距机自身的关键参数,测距机的最大测程也就随之确定不变。因为设计和检验最大测程对应的大气透过率条件和目标情况是相同的,所以在测距机的实际应用过程中,最大测程的变化完全是由系统的自身参数变化所引起的,因此可以通过对这些参数的测量,来检验最大测程是否满足指标要求。

考虑到测距机的型号一旦确定,式(2)中的大气透过率条件、目标情况、以及系统自身的有效接收面积、激光脉冲宽度都是一定的,可以设置一个常数  $C_x$  来表征:

$$C_x = 2 \frac{A_r A_s \rho \cos \theta}{\pi^2 \Delta t} e^{-2\mu_a R} \quad (3)$$

而且,在不分解测距机的前提下,激光发射能量只能在发射窗口处测量,实际测出的是激光器发射激光透过发射系统后的能量  $E_t \cdot \tau_t$  (以下用  $E'_t$  来表示)。同样,也只能在激光接收窗口处测量或模拟最小可探测激光功率,该功率(用  $P'_{\min}$  来表示)与探测器光敏面上实际接收激光功率的关系是:

$$P'_{\min} = \frac{P_{\min}}{\tau_r} \quad (4)$$

这样,式(2)转化为:

$$P'_{\min} = C_x \frac{E'_t}{R_{\max}^4 \theta_t^2} \quad (5)$$

因为根据测距机的设计参数可以计算出常数  $C_x$  的值,所以从理论上来看,如果测出激光发射能量  $E'_t$  和光束发散角  $\theta_t$ , 就可以用式(5)计算出对应的  $P'_{\min}$  值,然后将该值与设定的稳定测距临界状态对应的最小可探测激光功率进行比较,就可以判定最大测程是否满足要求。

3 实际问题及解决

需要注意的是,最大测程的理论估算公式是在进行了一系列假定的前提下,对很多情况进行简化处理才导出的。其中,与测距机自身性能密切相关的假定和简化包括:激光照射区域内的能量分布完全均匀,激光发射、接收和跟踪瞄准系统的光轴完全平行。而实际检验发现:激光束横截面上的能量分布是不均匀的,从激光照射区域的中心到边缘,实际能量分布一般呈现降落趋势,测程较远的中远程测距机表现的更为明显,实际测量结果<sup>[3]</sup>和剪切干涉实验都可以证明:实际激光能量分布与基模光束的高斯分布比较接近。而且,在实际应用过程中,测距机的激光发射、接收与所在系统的跟踪瞄准这些光轴之间可能发生微小变化,特别是大系统的维修可能导致这些光轴的平行性达不到出厂时的水平;这样一来,目标不再位于激光照射区域的中心,实际反射的激光能量就可能低于理论估算时的取值,导致理论估算结果与实际情况明显不符。

为了使理论估算结果与实际情况趋于一致,可以考虑对式(5)加以修正。从大型系统的总体结构设计来看,激光发射、接收这两部分同属于测距机,在结构上结合很紧密,通过结构设计比较容易保证这两光轴严格平行,而且这种平行性在大系统的一般维修过程中不容易受到破坏;但是实际测距时需要瞄准目标,而在大系统中负责跟踪和瞄准目标的往往是另一路光学系统,该系统的光轴则可能由于维修等原因与测距机的光轴不再平行,这种情况下目标与激光照射区域的位置关系可以用图1来描述。

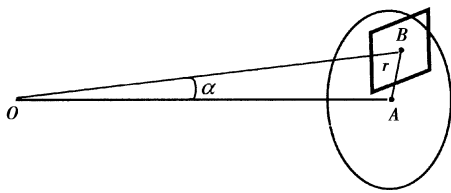


图1 瞄准光轴与测距机激光发射、接收光轴不平行时目标与激光照射区域的位置关系

图1中,OA代表相互平行的激光发射和接收光轴,以A点为圆心的圆形代表激光照射区域;以B点为中心的方框代表面积小于激光照射区域的目标; $\alpha$ 代表瞄准光轴方向与激光发射、接收光轴方向的偏差角; $r$ 代表目标中心与激光照射区域中心的距离。由于偏差角度值在毫弧度(mrad)量级以下,因此位于最大测程距离上的目标中心B点与激光照射区域中心A点的距离 $r = R_{\max}\alpha$ (式中 $\alpha$ 的单位为rad)。

显然,光轴之间的偏差角 $\alpha$ 越大,目标就越偏离激光照射区域中心,实际反射的激光能量也就越少;因此,要在综合考虑光轴偏差和激光能量实际分布的基础上,对式(5)加以修正。

按照高斯分布描述激光能量分布规律,可以认为:与激光照射区域中心相距 $r$ 的任意位置处的激光能量 $E(r)$ 与区域中心激光能量(用 $E_0$ 表示)和激光照射区域半径(用 $\omega$ 表示)之间满足如下关系:

$$E(r) = E_0 e^{-\frac{r^2}{\omega^2}} \quad (6)$$

考虑到 $r = R \cdot \alpha$ ,  $\omega = \frac{1}{2}R \cdot \theta_t$ ( $\alpha, \theta_t$ 的单位是rad),因此有:

$$E(\alpha) = E_0 e^{-\frac{4\alpha^2}{\theta_t^2}} \quad (7)$$

由式(7)可知:如果相关光轴严格平行,指向目标中心的激光能量 $E'_t$ 就等于 $E_0$ ;那么光轴不平行时,指向目标中心的激光能量可以记为 $E'_t e^{-\frac{4\alpha^2}{\theta_t^2}}$ 。

为便于计算,将指向目标中心位置的激光能量作为射向目标区域的平均激光能量,则式(5)转

化为:

$$P'_{\min} = C_x \frac{E(\alpha)}{R_{\max}^4 \theta_t^2} = C_x \frac{E'_t e^{-\frac{4\alpha^2}{\theta_t^2}}}{R_{\max}^4 \theta_t^2} \quad (8)$$

可以看出:式(8)与式(5)的明显差别在于考虑了激光能量分布情况和相关光轴不平行问题。如果认为激光能量分布是完全均匀的,那么在目标面积显著小于激光照射区域的情况下,一定范围内的光轴偏差(以目标边缘不超出激光照射区域为限)不会引起测距机最大测程的变化;但实际检验结果证明:光轴偏差不论大小,都会引起最大测程的变化,而且偏差越大,最大测程下降越快。这说明用式(8)来评估最大测程更为合理。

实际应用式(8)来评估最大测程时,先要根据测距机的具体参数计算相应的 $C_x$ 值,计算方法为:将测距机的原始设计参数 $P_{\min}, \tau_r$ 带入式(4),得出相应的 $P'_{\min}$ 值,赋予式(8);然后将激光发射能量 $E'_t$ 、光束发散角 $\theta_t$ 取原始设计值,并且认为光轴偏差达到最大允差时(即 $\alpha$ 取光轴校正最大允差值)测距机刚好达到最大测程;将这些数据代入式(8),可以得出对应的 $C_x$ 值,从而建立适用于该测距机的最大测程评估公式。

应用式(8)来评估测距机的最大测程时,先测出该系统的实际 $E'_t, \theta_t$ 值和光轴偏差角 $\alpha$ ,带入式(8)计算出对应的 $P'_{\min}$ 值;然后再测出测距机当前的实际 $P'_{\min}$ 值,将计算值与实际测得值进行比较。如果计算值大于测得值,意味着目标反射回到测距机的有效激光功率大于该测距机的最小可探测激光功率,那么该测距机的最大测程就能达到要求;否则,最大测程达不到要求。

#### 4 结束语

伴随着激光测距机的广泛应用,检测激光发射能量、光束发散角、光轴偏差角、最小可探测激光功率等关键参数的手段已经相当普及,因此应用这些参数的检测结果来评估测距机的最大测程相对而言比较便利,可以克服实际测距法和消光比法在实际操作过程中遇到的困难。本文基于这种考虑给出的理论评估方法是一种初步尝试,实际应用过程中可以针对具体型号的激光测距机,通过精确测量建立更为科学的激光能量分布模型,以给出更为精确的理论评估公式,使评估结果更为准确。

#### 参考文献:

- [1] 曾嫦娥,等. 脉冲激光测距机最大测程测试方法研究[J]. 激光与红外工程,2005,(6):664-668.
- [2] 魏光辉,等. 激光技术在兵器工业中的应用[M]. 北京:兵器工业出版社,1995:3.
- [3] 张维,等. 测距激光的能量分布及其对光轴校正的影响[J]. 激光与红外,2008,38(10):971-973.