

外军舰炮火控系统激光测距仪作用距离的分析

方 启 万

(武汉海军工程学院)

本文根据外军几种典型舰炮光电火控系统激光测距仪给出的消光值或部分参数,估算它们的灵敏度,从而可核实它们的作用距离,并可计算对截面 0.1m^2 的反舰导弹和 2m^2 的攻击机在任意确定能见度下的作用距离。

The analysis of the operating range of the laser rangefinders
in the ship-based fire control systems of foreign navies

Fang Qiwan

(Naval Academy of Engineering, Wuhan China)

Abstract

This paper estimates the sensitivity of several typical laser rangefinders in the ship-based fire control systems of the foreign navies, according to their extinction or part parameters. Thus we can verify their operating ranges and can calculate the operating ranges to the antiwarship missile which section area is 0.1m^2 and to the attack plane which section area is 2m^2 under any definite visibility.

舰炮光电火控系统是舰载近程防御系统,主要用来对付掠海反舰导弹和低空、超低空飞机,进行末端防御。但从现有资料看,外军舰炮光电火控系统用的激光测距仪,往往没有给出或不明确给出对反舰导弹的作用距离,这些测距仪给出的参数又往往不全,不便直接计算,即使用文字或曲线给出在某种条件下对飞机、导弹的作用距离也通常或者含糊其词,或者有所夸大。不认真地深入分析这些问题,对舰炮光电火控系统拦截反舰导弹的实际作战能力的考核或相关战术技术论证,都极为不利。

本文试图根据外军几种典型舰炮光电火控系统用的激光测距仪所给出的消光值或部分参数,来估算它们的灵敏度。一旦已知测距仪的灵敏度,就可以计算在各种能见度下,对任何军事目标的测程,因而可以核算它们所给出的作用距离是否可靠。并可概略计算对 0.1m^2 截面

积的掠海导弹和 2m^2 截面积的攻击机在确定的能见度情况下的作用距离。

1. “海上卫士”舰炮反导系统的激光测距仪

“海上卫士”系统于1984年装备，具有80年代的国际先进水平，其激光测距仪在一般天气下，对 0.1m^2 导弹的作用距离为 3.5km ，对飞机的跟踪距离为 4.5km 。这是我们见到的唯一的一种用文字给出对 0.1m^2 截面导弹的作用距离的激光测距仪。但是给出作用距离的条件并不明确。因为“一般天气”的能见距离是一个界限模糊的在很大范围内不确定的量值。除了给出束散角 2mrad 外，没有给出其他任何参数，因此，难以进行计算。

2. 瑞典对空激光测距仪

瑞典埃雷克森公司，二十多年来一直从事军用激光的研究，其最成功的大量生产的产品是对空激光测距仪，已配装于英国的“兰宝石”、“海射手”、荷兰的“西格尼尔”、瑞典的“卡莱”等舰载火控系统。

该公司的产品样本所给出的对空激光测距仪消光值为 50dB 。消光值通常为该测距仪对距离为 0.5km 、反射率为 0.85 的大目标靶板实现正常测距，而在接收机前所能够插入的最大衰减分贝数为 N 。在作者的另一篇文章中^[1]，给出了测距仪灵敏度的表达式为：

$$S = 10 \lg \frac{P_t k_t}{P_r / (k_r A_r)} \quad (1)$$

由大目标测距方程

$$P_r = \frac{P_t k_t k_r A_r \rho}{\pi R^2} e^{-2\alpha R} \quad (2)$$

考虑到在接收机前加上衰减分贝数为 N 的衰减片后，测距仪能对特定距离处的特定目标正常测距，可推出灵敏度 S 与消光值 N 之间的关系：

$$S = N + 10 \lg \frac{\pi R_0^2}{\rho_0} e^{2\alpha R} = N + \Delta N$$

于是
$$\Delta N = 10 \lg \frac{\pi R_0^2}{\rho_0} e^{2\alpha R} \quad (3)$$

如果特定靶标距离 $R_0 = 0.5\text{km}$

特定靶板反射率 $\rho_0 = 0.85$

大气衰减系数 $\alpha = \frac{2.66}{V}$ (V 为能见距离)代入(3)式，得

$$\Delta N = \frac{11.55}{V} - 0.343 \quad (4)$$

当能见距离 V 在 10km 到 60km 之间变化时，

$$|\Delta N| \leq 0.81\text{dB} \quad (5)$$

故 ΔN 可以忽略。于是由(1)至(5)式，可得

$$S = N \quad (6)$$

在这种情况下，对 0.5km 处、漫反射率为 0.85 的大目标靶板的测距所得的消光值 N 就是该测距仪的灵敏度 S 。

但是，如果(3)式中的距离 R 的单位不是 km 而是 m ，则

$$\Delta N = 10 \lg 10^6 + 10 \lg \frac{0.5^2 \pi}{0.85} e^{2.66/V}$$

$$= 60 + \left(\frac{11.55}{V} - 0.343 \right) \approx 60 \quad (7)$$

此时，对500m处、漫反射率为0.85的大目标靶板测距所衰减的分贝数 ΔN 则不能忽略，测距仪的系统灵敏度（简称灵敏度） S 与其消光值（即消光系数） N 的关系可近似写为：

$$S = N + 60 \quad (8)$$

因此，对空激光测距仪的灵敏度

$$S = 50 + 60 = 110 \text{ (dB)} \quad (9)$$

该测距仪给出的作用距离是：在 $V=20\text{km}$ 时，对 10m^2 运输机的作用距离约13km，对 2m^2 攻击机约11km。但是，由小目标测距方程

$$P_r = \frac{4p_t k_t k_r A_r \sigma \rho}{\pi^2 \theta^2 R^4} e^{-2\alpha R} \quad (10)$$

和（2）式可知

$$S = 10 \lg \frac{\pi^2 \theta^2 R^4}{4\sigma \rho} e^{2\alpha R} \quad (11)$$

在上述条件下，利用（9）和（11）式，可算得对 10m^2 运输机的作用距离仅为7.2km，对 2m^2 攻击机的作用距离仅为5.4km。并可算得在 $V=10\text{km}$ 和 $V=15\text{km}$ 时，对 0.1m^2 截面导弹的作用距离分别为2.6km和2.8km，对 2m^2 攻击机的作用距离分别为4.4km和5.0km。

3. 瑞典舰用激光跟踪仪

此跟踪仪由埃雷克森公司在对空激光测距仪的基础上研制而成。用于多种舰载火控系统。其作用距离为：当 $V=15\text{km}$ 时，对空中目标最大作用距离约为9km，对5.5~6km超低空飞行导弹可实施跟踪。给出的该跟踪仪作用距离与光学能见度的关系曲线如图1所示。

然而，从给出的部分指标和野外实验均表明：该跟踪仪实际上达不到上述文字和曲线表示的作用距离。

该公司的野外实验数据为：当 $V=20\text{km}$ 时，对攻击机的迎头跟踪距离约为6km（注意这里是“约为”）。以 $R=6\text{km}$ ， $\theta=1.5\text{mrad}$ 代入（11）式，可得灵敏度： $S_1=112.49\text{dB}$ 。

有资料报道，该跟踪仪在 $V=20\text{km}$ 、目标面积 $\sigma=4.5\text{m}^2$ 、反射率 $\rho>0.1$ 时、作用距离为7km。由于这里是“>”，我们只好以 $\rho=0.1$ 、用（11）式核算该跟踪仪的灵敏度，得 $S_2=112.80\text{dB}$ 。

因为是“约为”和“大于”，我们所取的计算值，都可能使以上两种估算的灵敏度偏高。就以 $S=S_1=112.49\text{dB}$ 来推算，在 $V=10\text{km}$ 和 $V=15\text{km}$ 时，对 0.1m^2 截面导弹的作用距离分别仅为2.9km和3.2km。

但是，从该公司给出的舰用激光跟踪仪和对空激光测距仪作用距离的指标而言，显然前

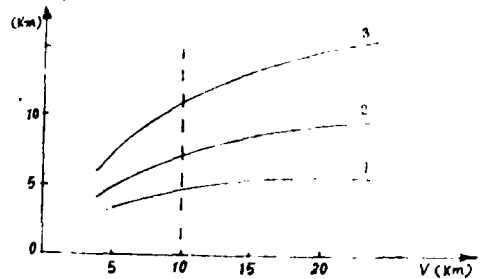


图1 激光跟踪仪作用距离与能见度的关系。曲线1为掠海导弹 $\sigma=0.1\text{m}^2$ ；曲线2为攻击机 $\sigma=2\text{m}^2$ ；曲线3为小舰船 $\sigma=10\text{m}^2$

者低于后者。而后者的消光值为50dB,所以前者的消光值小于50dB,即其灵敏度小于110dB,因此,前者对 0.1m^2 截面导弹和 2m^2 截面攻击机的作用距离充其量只能达到后者的水平,即 $V=10\text{km}$ 时,分别为2.6km和4.4km, $V=15\text{km}$ 时,分别为2.8km和5.0km。

因此,图1中对 0.1m^2 截面导弹和 2m^2 攻击机的作用距离,在 $V=10\text{km}$ 时分别为4.7km和7.2km,在 $V=15\text{km}$ 时分别为5.4km和8.6km,以及用文字给出的“在 $V=15\text{km}$ 时……对5.5~6.0km超低空飞行导弹可实施跟踪”的作用距离指标均很难达到。

4. 法国TMY113激光测距仪

它由法国激光工业公司研制,装于舰载纳加光电火控系统中,其作用距离为:当目标面积为 0.2m^2 ,反射率为0.2, $V=20\text{km}$ 时,作用距离大于10km。

它的消光系数 N 给出为 $54\pm 2\text{dB}$,实际上这就是说消光值指标的下限是52dB,即 $N\geq 52\text{dB}$ 就合格,则其合格的灵敏度 $S=52+60=112\text{dB}$ 。将前述条件与 $\theta=1.7\text{mrad}$ 代入(11)式可以算得:在上述条件下的作用距离达不到10km,仅为4.1km。

其对 0.1m^2 截面导弹和 2m^2 截面攻击机的作用距离可以算得(这里仍取 $\rho=0.1$,与瑞典和意大利的取值相同):在 $V=10\text{km}$ 时,分别为2.7km和4.5km,在 $V=15\text{km}$ 时,分别为3.0km和5.1km。

5. 法国TMY83激光测距仪

由法国激光工业公司研制,配法国舰载图腾光电火控系统。其消光值与TMY113相同,即其灵敏度也为112dB,但其束散角 $\theta=1\text{mrad}$,从(11)式可得:对 0.1m^2 截面导弹和 2m^2 截面攻击机的作用距离,在 $V=10\text{km}$ 时,分别为3.3km和5.3km,在 $V=15\text{km}$ 时,分别为3.6km和6.1km。

6. 法国TMY192激光测距仪

由较新产品TMY156激光测距仪等设备组成的图腾光电火控系统可装于C70AA型猎潜舰和A69型护卫舰。

用TMY156激光测距仪/目标指示器和FCS189激光测距仪改进后组成新的舰用TMY192激光测距仪,其作用距离给出为:“当 $V=20\text{km}$,目标面积为 0.1m^2 和 1m^2 ,目标反射率均为0.2时,作用距离分别为 $>10\text{km}$ 和 $>15\text{km}$ 。”而消光值仍为 $54\pm 2\text{dB}$,束散角为 0.5mrad 。

由前面的分析可知,该测距仪的灵敏度为112dB。在上述条件下,由(11)式可得:对面积为 0.1m^2 和 1m^2 目标的作用距离分别只有5.7km和8.5km,而达不到 $>10\text{km}$ 和 $>15\text{km}$ 的指标。

如果仍取 $\rho=0.1$,则其对 0.1m^2 截面导弹和 2m^2 截面攻击机的作用距离,在 $V=10\text{km}$ 时,分别为4.1km和6.4km,在 $V=15\text{km}$ 时,分别为4.5km和7.6km。

7. 高性能激光测距机PO700

意大利的PO700是发射功率高、脉冲宽度窄、探测功率小的用于火控系统的现代化的高性能军用激光测距仪。其发射功率20~30MW,脉宽8~10ns,束散角 $2.2\sim 2.5\text{mrad}$,最小可探测功率 $20\times 10^{-7}\text{W}$ 。其测距能力如图2所示。图中给出了对运输机($\sigma=10\text{m}^2$)、攻击机或攻击直升机($\sigma=2\text{m}^2$)和导弹($\sigma=0.5\text{m}^2$)在不同能见度下的作用距离,其中假定目标反射率 $\rho=0.1$ 。但图中未给出对 $\sigma=0.1\text{m}^2$ 导弹的测程,而且图中三条曲线所表示的测程均偏大。我们可按下列数据估算:发射功率 $P_t=20\text{MW}$,束散角 $\theta=2.2\text{mrad}$,最小可探测功

率 $P_r = 20 \times 10^{-3} \text{ W}$ ，并补充假设数据：发射光学系统透过率 $K_t = 0.6$ ，接收光学系统透过率 $K_r = 0.48$ （其中含有滤光片的透过率0.8），接收孔径 $D = 120 \text{ mm}$ ，则该机所具有的灵敏度

$$S_1 = 10 \lg \frac{P_t K_t}{P_r / (K_r A_r)} = 125.13 \text{ dB}$$

在 $V = 10 \text{ km}$ 时，从(11)式可得：对 $\sigma = 10 \text{ m}^2$ 运输机、 $\sigma = 2 \text{ m}^2$ 攻击机和 $\sigma = 0.5 \text{ m}^2$ 导弹的作用距离分别为7.9km、6.4km和5.3km，而达不到图中分别对应的12km、10km和8km；同时可算出：对 $\sigma = 0.1 \text{ m}^2$ 导弹的作用距离约为4.1km。在 $V = 15 \text{ km}$ 时，对 $\sigma = 0.1 \text{ m}^2$ 导弹和 $\sigma = 2 \text{ m}^2$ 攻击机的作用距离分别为4.7km和9.0km。

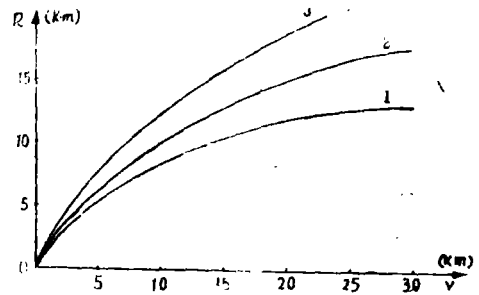


图 2 PO700的作用距离与能见度的关系。曲线1是 $\sigma_p = 0.05 \text{ m}^2$ ；曲线2是 $\sigma_p = 0.2 \text{ m}^2$ ；曲线3是 $\sigma_p = 1 \text{ m}^2$

对于接收孔径，TMY113和TMY83皆为70mm，TMY156和TMY192均为100mm，在PO700中，我们取120mm，估计差不多。即使再取更大些，如取 $D_r = 210 \text{ mm}$ ，此时从(2)式算得灵敏度 $S_2 = 130 \text{ dB}$ ，还可算得在 $V = 10 \text{ km}$ 时，对运输机、攻击机和 0.5 m^2 截面导弹的作用距离分别为9.0km、7.4km和5.2km，仍达不到图中相应的12km、10km和8km。这时对 0.1 m^2 导弹的测程为4.9km；在 $V = 15 \text{ km}$ 时，对 0.1 m^2 导弹和 2 m^2 攻击机的作用距离分别为5.7km和9.0km。

将上述例子的估算结果列入表1中。从表1可知，除假定接收孔径210mm的PO700外，在能见度10km情况下，目前对 0.1 m^2 截面导弹和 2 m^2 攻击机的作用距离的国际水平分别约为

表1 外舰激光测距仪对反射率为0.1的导弹（ $\sigma = 0.1 \text{ m}^2$ ）攻击机（ $\sigma = 2 \text{ m}^2$ ）的作用距离

| 国别 | 名称或型号 | 装 备 | 消光值 (dB) | 灵敏度 (dB) | 束散角取值 (mrad) | 作用距离 (km) | | | |
|-----|---------|-----------------------------|----------|-------------------|--------------|------------|------|----------|------|
| | | | | | | V = 10km | | V = 15km | |
| | | | | | | 导弹 | 攻击机 | 导弹 | 攻击机 |
| 西德 | 激光测距仪 | 配海上巴士舰炮系统 | | | 2 | (一般天气) 3.5 | | | |
| 瑞典 | 时空激光测距仪 | 配英国兰宝石、海射手、荷兰西格尼尔、瑞典卡森等火控系统 | 50 | 110 | 1.5 | 2.6 | 4.4 | 2.8 | 5.0 |
| 瑞典 | 舰用激光跟踪仪 | 配轻型火控系统 (荷兰) | | 约110 | 1.5 | 约2.6 | 约4.4 | 约2.8 | 约5.0 |
| 法国 | TMY113 | 配法国纳加火控系统 | 52 | 112 | 1.7 | 2.7 | 4.5 | 3.0 | 5.1 |
| 法国 | TMY83 | 配法国图腾火控系统 | 52 | 112 | 1.0 | 3.3 | 5.3 | 3.6 | 6.1 |
| 法国 | TMY192 | 可配图腾火控系统 | 52 | 112 | 0.5 | 4.1 | 6.4 | 4.6 | 7.6 |
| 意大利 | PO700 | | | 约125 (D = 120mm) | 2.2 | 4.1 | 6.4 | 4.7 | 7.7 |
| | | | | 约130 (D = 210mm时) | 2.2 | 4.9 | 7.4 | 5.7 | 9.0 |

2.5~4.1km, 和4.4~6.4km。

为了直观和比较方便, 我们根据对空激光测距仪、TMY83、TMY192和PO700的灵敏度的数值, 分别计算它们对反射率为0.1的0.1m²截面导弹和2m²截面攻击机的作用距离与各种能见度的关系, 并将这种关系绘成曲线, 如图3所示。

参 考 文 献

- [1] 方启万, 《兵器激光》, 1986年, 第2期, 第48~54页。

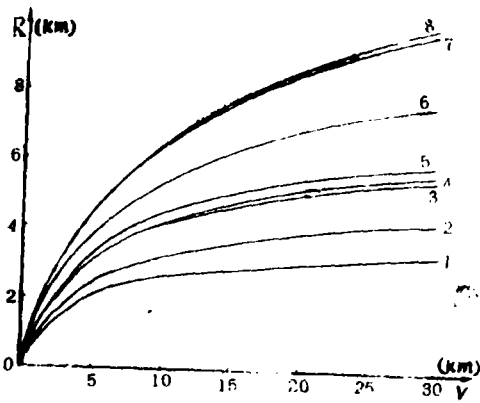


图3 外观4种激光测距仪作用距离与能见度的关系。

攻击机: $\sigma_1 = 2\text{m}^2, \rho = 0.1$; 导弹: $\sigma_2 = 0.1\text{m}^2, \rho = 0.1$; 曲线1是对空激光测距仪, 对导弹; 曲线2是TMY83, 对导弹; 曲线3是TMY192, 对导弹; 曲线4是PO700, 对导弹; 曲线5是对空激光测距仪, 对攻击机; 曲线6是TMY3, 对攻击机; 曲线7是TMY192, 对攻击机; 曲线8是PO700, 对攻击机

收稿日期: 1986年11月19日。

· 简 讯 ·

伺服控制的激光跟踪器

美国马里兰的CHESAPEAKE激光系统公司已制成一种激光坐标测量系统, 据称其测量的速度、量程和精度均优于现有系统。此种CMS1000系列激光目标测量系统, 在27m³的区域内, 用激光干涉测量法测定运动物体的位置, 测量精度达到1 μ m, 测量速率超过200Hz。

显然, CMS-1000不同于标准的用一伺服控制跟踪器测量三维运动的线性干涉测量法。这使得它容易适应机器人的无规则运动, 使它们达到机床精度。通过使用一个外部装置去测量机器人的状态, 降低了对机器人稳定性的要求, 以及对联合动作精确译码的要求, 从而扩大了应用的可能性, 节约了大量的成本。

CMS系统使用一个或多个激光束去跟踪一个或多个安装在运动物体, 例如机器人手臂上的反射体。一个反光器(一种把光准确地反射到坐标原点的光学系统)安装在要测定其位置的物体上, 经过一简短的校准程序后, CMS系统连续地测量到反光器的距离, 并接着计算机器人手臂的x、y、z坐标。为了测定机器人手臂的角度取向, 能够将CMS改进为包含可测量全部六个坐标的六个跟踪单元。这个特点使CMS系统能够用于校准机器人和坐标测量装置。

译自L.O.I., 1987, Vol.3, No.11, P.7.

黄昌周 译 刘松明 校