

# 关于脉冲式激光测距机的某些指标及标定方法

陈 达 庆

本文阐述了脉冲式激光测距机的某些指标的定义、提法及评定方法,指出合理地、明确地提出指标是考核研制产品的基本依据,只有在此基础上才能对激光测距机的性能得出科学的结论。

近年来,在评价某些激光测距机的性能时,由于使用单位所提战术技术指标不明确或不全面,在对产品性能进行评价时常常会发生争执或扯皮,以至得不出准确的结论而拖延了整个产品的研制周期。本文试图就几个指标谈谈看法。

## 一、关于激光测距机的测距精度

现在各使用单位提出的测距精度指标通常为 $\pm 5\text{m}$ 或 $\pm 10\text{m}$ ,而设计单位为实现这一指标所采用的时标脉冲晶体振荡频率为 $30\text{MHz}$ (相应于 $\pm 5\text{m}$ 精度)和 $15\text{MHz}$ (相应于 $\pm 10\text{m}$ 精度)。这是因为计数器记录脉冲数的误差可以是 $\pm 1$ 个脉冲,所以,当时标脉冲频率为 $30\text{MHz}$ 时,每个脉冲间隔为 $1/30\mu\text{s}$ ,而此时计数器记错一个脉冲,相当于造成 $5\text{m}$ 的测距误差。习惯上称此距离计数器精度为 $\pm 5\text{m}$ 。

然而,我们认为用距离计数器的精度来表示测距精度是不确切的,只有当考核时设置被测目标的标准距离是与距离计数器的单位脉冲相应距离数的整数倍时,这两个精度才一致。例如,当时标脉冲为 $30\text{MHz}$ 时,待测标准距离的尾数只能为 $0$ 或 $5$ ,才能用计数器精度来代替测距精度。否则,计数器精度虽然满足 $\pm 5\text{m}$ 的要求,然而测距精度可能下降为 $\pm 7.5\text{m}$ 左右。

例如在某次试验中,用距离计数器精度为 $\pm 5\text{m}$ 的激光测距机对标准距离为 $7112\text{m}$ 的目标测距,显示的距离数应当为 $7110 \pm 5\text{m}$ ,即可显示 $7105$ 、 $7110$ 、 $7115$ 三个数字。可见,由于 $7105$ 比 $7112$ 少 $7\text{m}$ ,所以,此时测距精度已降到 $\pm 7\text{m}$ 。同理,对时标脉冲频率为 $15\text{MHz}$ 的激光测距机,其计数器精度为 $\pm 10\text{m}$ ,然而在某些距离上测距精度则相应地降到 $\pm 15\text{m}$ 。

所以,就测距精度而言,应看到它和计数器精度的区别,在提指标时就不应将它们混为一谈。可以提距离计数器精度为 $\pm 5\text{m}$ ( $30\text{MHz}$ 钟频)或 $\pm 10\text{m}$ ( $15\text{MHz}$ 钟频),如果要求测距精度为 $\pm 5\text{m}$ (或 $\pm 10\text{m}$ ),那么,从理论上说采用 $30\text{MHz}$ (或 $15\text{MHz}$ )钟频就不够了,在设计时要相应地提高时标振荡频率。

收稿日期:1984年8月6日。

## 二、关于激光发散角和横向分辨角

为了使激光测距机能对相邻近的目标分辨测距，为了减少测距时因地势起伏而引起的非目标回波的干扰，要求激光测距机的横向（含水平方向及高低方向）分辨角应当限制在一定范围内。但使用单位在提指标时往往仅对激光发散角有指标要求，而忽视了对横向分辨角的要求。诚然，激光发散角是一项重要的技术指标，它的数值大小也直接与横向分辨角有关，因此在实验室条件下，对激光发散角进行测量也很有必要。但在考核整机性能时，应着重考核横向分辨角这个指标。影响横向分辨角的因素很多，例如，激光发散角、激光脉冲功率、目标的反射面积及反射率、被测目标距离、接收灵敏度、视场光栏孔径、天气条件等等。如果对某些因素作限定，例如，采用在晴天对距离为1000m处的两块木制本色靶板（高1.5m、宽1m）进行光束穿透靶板间隙试验。这样的试验结果能比较直观地反映横向分辨角的大小，而且可以直观地看到当改变激光测距机的发散角、脉冲功率、接收灵敏度及视场光栏孔径时，对横向分辨角各有多大的影响，从而对改进设计提供最佳方案。

## 三、关于距离准确率

激光测距机的距离准确率 $P$ 是其准确测距的公算，对此公算进行估计和检验可归结为数理统计中比率的估计和检验问题。因为对某个目标测距时，其结果仅有测准（成功）或测不准（不成功）两种可能，属于二项分布型。并且，进行测距的次数通常较多，一般大于100次，因此是大小样比率的估计和检验。

目前，提指标单位仅提准确率 $P_0$ 为多少，而不提置信水平 $1-\alpha$ 为多少。在检验时通常采用对同一目标进行 $n$ 次测量，记录其中测准的次数 $m$ ，然后计算频率 $m/n$ 并与指标 $P_0$ 相比较：若 $m/n > P_0$ 则判为合格，若 $m/n < P_0$ 则判为不合格。实际上是相当于取置信水平 $(1-\alpha) = 0.5$ 时的检验。

严格说来，在考核准确率指标时应当明确提出 $\alpha$ 的数值（美军通常取 $\alpha = 0.1$ ），然后根据总测距次数 $n$ ，测准次数 $m$ 及给定的 $\alpha$ 值计算出二项分布置信区间，再用比率的置信区间进行评定。

若给定激光测距机的准确率指标为 $P_0$ ，因为准确测距的公算 $P$ 未知，今进行 $n$ 次独立重复测距，测距准确的次数为 $m$ ，现要求置信水平为 $1-\alpha$ 时关于 $P$ 的置信区间，可由 $n$ 、 $m$ 及 $(1-\alpha)$ 求出二项分布的置信区间，具体计算如下：

设置信区间的下限为 $P_L$ ，上限为 $P_U$ 。关于 $P$ 的点估计是测准的频率 $m/n$ ，设它有一个试验值 $m/n$ ，其中 $m$ 是测准的次数。由此，上下限 $P_U$ 及 $P_L$ 满足的方程为：

$$\begin{cases} P\left(\frac{\mu}{n} \leq \frac{m}{n}, P_U\right) = \frac{\alpha}{2} \\ P\left(\frac{\mu}{n} \geq \frac{m}{n}, P_L\right) = \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$

在二项分布的情况下即：

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^m C_n^k P_U^k (1-P_U)^{n-k} = \frac{\alpha}{2} \\ \sum_{k=m}^n C_n^k P_L^k (1-P_L)^{n-k} = \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$

这两个方程分别表示二项分布的下侧公算与上侧公算等于 $\alpha/2$ 时的公算P的解。可得：

$$\begin{aligned} \text{上限 } P_U &= \frac{(m+1)F'_{\alpha/2}}{(n-m) + (m+1)F'_{\alpha/2}} \\ \text{下限 } P_L &= \frac{m}{m + (n-m+1)F''_{\alpha/2}} \end{aligned}$$

式中， $F'_{\alpha/2}$ 是自由度 $f_1' = 2(m+1)$ ， $f_2' = 2(n-m)$ 的F分布的上侧公算为 $\alpha/2$ 所对应的临界限。 $F''_{\alpha/2}$ 是自由度 $f_1'' = 2(n-m+1)$ ， $f_2'' = 2m$ 的F分布的上侧公算为 $\alpha/2$ 所对应的临界限。

当 $n=100$   $\alpha=0.1$   $m=90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99$ 时的 $P_U$ 及 $P_L$ 值计算列表如下：

表1

n = 100 $\alpha/2 = 0.05$								
m	$f_1'$	$f_2'$	$f_1''$	$f_2''$	$F'_{\alpha/2}$	$F''_{\alpha/2}$	$P_U$	$P_L$
90	182	20	22	180	1.88	1.60	0.9448	0.8364
91	184	18	20	182	1.95	1.62	0.9522	0.8489
92	186	16	18	184	2.04	1.66	0.9595	0.8603
93	188	14	16	186	2.16	1.69	0.9667	0.8731
94	190	12	14	188	2.32	1.74	0.9735	0.8853
95	192	10	12	190	2.56	1.80	0.9801	0.8964
96	194	8	10	192	2.95	1.83	0.9862	0.9130
97	196	6	8	194	3.69	1.98	0.9918	0.9245
98	198	4	6	196	5.65	2.14	0.9964	0.9385
99	200	2	4	198	19.5	2.42	0.9995	0.9534

当 $n=100$   $\alpha/2=0.1$   $m=90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99$ 时的 $P_U$ 及 $P_L$ 值计算列表如表2。

在我们面临的问题中，是要在给定的 $\alpha$ 数值后求出比率的单侧置信区间也即要求出一个下限 $P_L$ ，使得 $P(P_L < P < 1) = 1 - \alpha$ 或 $P(0 < P < P_L) = \alpha$ ，已知 $n, m, \alpha$ 后可由下式求出 $P_L$ ：

$$P_L = \frac{m}{m + (n-m+1)F_\alpha}$$

式中， $F_\alpha$ 是自由度为 $f_1 = 2(n-m+1)$ ， $f_2 = 2m$ 的F分布的上侧公算为 $\alpha$ 所对应的临界限。算得 $P_L$ 后可将其与 $P_0$ 相比较，若 $P_L > P_0$ 则认为准测率指标合格，否则即为不合格。

表 2

n = 100 $\alpha/2 = 0.10$								
m	$f_1'$	$f_2'$	$f_1''$	$f_2''$	$F'_{\alpha/2}$	$F''_{\alpha/2}$	$P_U$	$P_L$
90	182	20	22	180	1.63	1.46	0.9368	0.8486
91	184	18	20	182	1.68	1.46	0.9450	0.8617
92	186	16	18	184	1.74	1.46	0.9529	0.8750
93	188	14	16	186	1.82	1.52	0.9607	0.8844
94	190	12	14	188	1.92	1.52	0.9682	0.8983
95	192	10	12	190	2.07	1.63	0.9755	0.9067
96	194	8	10	192	2.31	1.63	0.9825	0.9217
97	196	6	8	194	2.73	1.70	0.9889	0.9345
98	198	4	6	196	3.77	1.80	0.9947	0.9478
99	200	2	4	198	9.49	1.97	0.9989	0.9617

当给定准测率指标为95%， $\alpha$ 取0.1， $m$ 为不同值时的单侧置信区间也可以从表2查得（此时的 $\alpha$ 即为表2中的 $\alpha/2$ ） $P_L$ ，由表中可知仅当实际测距中准测次数 $m \geq 98$ ，才能使 $P_L > P_0$ ，而认为准测率满足95%的指标，否则认为不合格。

#### 四、关于可靠性

可靠性的定义是产品在规定的条件下，指定的时间间隔内，能完成指定功能的概率。它是影响效率的一项重要因素，也是判断产品实用价值的重要特性之一，随着产品复杂程度的增加，对产品可靠性的要求也越来越高。

近年来，各使用单位逐渐普遍重视了对产品可靠性的要求，在指标上也有定量要求，例如平均故障间隔时间（MTBF）及平均寿命等。但还不够具体、明确。例如：没有明确故障的定义，更没有规定置信度（1- $\alpha$ ）为多少？所以仍无法评定结果。

我们认为要对某一产品的可靠性作出评价，必须首先明确故障的定义，在提出平均寿命和平均故障间隔时间（MTBF）的指标时，还应规定置信度（1- $\alpha$ ）的数值。对于电子产品而言，其最基本的一种失效分布为指数分布，此时的失效率 $\lambda$ 为常数，平均寿命 $E(T) = 1/\lambda$ 为失效率的倒数。激光测距机中大部分元件为电子器件，所以我们认为其失效率也服从指数分布。因此，可用定时截止（结尾）或定次截止（结尾）试验来评定结果。

##### 1. 用定次截止法求平均故障间隔时间（MTBF）

对激光测距机而言对应于MTBF的是平均故障间隔工作次数（MNBF），其具体求法如下：

用某台被试产品对固定目标进行测距试验，直到出现故障时为止，记下此时的工作次数，排除故障后继续试验并累计测距次数，循环下去直到出现规定的 $r$ 次故障为止。若此时总累计测距次数为 $N$ ，则用下列公式可计算出相应于某个 $\alpha$ 值时的MNBF下限：

$$MNBF_L = \frac{2N}{\chi^2_{\alpha}(2r)}$$

式中,  $x^2_{\alpha(2r)}$  为自由度是  $2r$  的  $x^2$  分布的第  $\alpha$  百分比点, 可由  $x^2$  分布表查得。

将计算得出的  $MNBF_L$  与指标给定的平均故障间隔工作次数相比较, 若  $MNBF_L$  大于指标给定值则认为合格, 否则即认为不合格。

2. 用定时截尾法求平均故障间隔工作次数 (MNEF):

用某台仪器对固定目标进行测距试验, 到出现故障后排除故障继续试验并累计测距次数, 循环下去直到测距总次数达到预定的  $N$  次为止。若其间共出现过  $r$  次故障 ( $r$  也可以为 0, 即表示未出现故障), 则用下列公式计算相应于某个  $\alpha$  值时的  $MNBF_L$ :

$$MNBF_L = \frac{2N}{x^2_{\alpha(2r+2)}}$$

式中,  $x^2_{\alpha(2r+2)}$  为自由度是  $(2r+2)$  的  $x^2$  分布第  $\alpha$  百分比点, 可由  $x^2$  分布表查得。

将由上式算得的  $MNBF_L$  与指标相比较, 以判断结果是否合格。

### 五、关于测角误差评定

对配有测角机构的激光测距机, 通常对测角误差虽有要求, 但往往很不明确。例如, 只提出要求水平测角误差及垂直测角误差均小于 1 密位, 然而不说明误差是指均方差还是算术平均误差或中间误差。如果对此指标理解为单次测量的最大误差, 其中既包括系统误差也包括偶然误差。建议采用如下的系统误差和偶然误差合成方式求最大误差:

最大误差 = 系统误差  $\pm$  2 倍均方差

即  $M = \bar{\varepsilon} \pm 2\sigma$  (此时的置信水平为 95%)

式中,  $M$  为最大误差,  $\bar{\varepsilon}$  为系统误差的估值,  $\bar{\varepsilon} = \bar{x} - a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - a$ ,  $\bar{x}$  为  $n$  次测量的

平均值,  $x_i$  为第  $i$  次测量值,  $n$  为测量次数,  $a$  为标准值 (由高精度仪器标定的角度值),  $\sigma$  为均方差。

若偶然误差服从正态分布, 定义  $n$  次测量的均方差  $\sigma$  为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

所以在进行  $n$  次测量后可由测量结果计算  $\bar{\varepsilon}$  及  $\sigma$  再计算  $M$  的值。再将  $M$  值与所给指标 (例如 1 密位) 进行比较来评定测角误差。

当然若指标明确提出误差的种类, 那么就应计算相应的误差来评定结果。

以上就评价激光测距机技术性能时遇到的几个指标提出一些粗浅看法, 有些评定方法尚属初步设想, 希望能引起从事这方面工作的同志的注意, 以期在今后的工作中将指标提得更正确些, 评定方法搞得更科学些。