

# 激光测距跟踪系统作用距离方程的探讨

田铁印

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

**摘要** 论述了激光测距、跟踪系统的原理,并推导了不同情况下的作用距离方程式。

**关键词:**激光测距;激光跟踪;作用距离

## 1 引言

由于激光具有单色性好、方向性强、高亮度等特点,使得它特别适合远距离测距及远距离跟踪。

激光测距及跟踪系统与微波雷达系统工作原理相同,但是它有许多优点超过微波雷达系统,能在被跟踪的目标上应用小型角反射器,它受其它电磁辐射的干扰的可能性比微波系统小,能使其发射天线(望远镜)的口径大小适中,因大气效应而给与的距离修正比微波小,以上优点使得激光测距、跟踪技术在国防和科学技术中得以迅速发展和应用。

## 2 激光测距跟踪原理

### 2.1 激光测距基本原理

激光测距主要有脉冲法测距和相位法测距,脉冲法测距是通过调Q技术,将激光能量集中成极窄的光脉冲发射出去,使发射的光亮度提高几个数量级,适用于远距离测量和跟踪,特别是无反射器的距离测量,以下讨论主要指脉冲法而言。

利用脉冲法直接测定激光脉冲信号在待测距离上往返的时间  $T_{aR}$ ,用下式可求出距离值:

$$R = C \cdot T_{aR} / 2$$

$C$  为光波在空气中的传播速度。

### 2.2 激光角跟踪基本原理

激光角跟踪系统是光测设备及激光对抗武器系统的一种精密跟踪手段,目前,有四象限探测及面阵 CCD 探测法,为了使激光测距与角跟踪系统作用距离方程相一致。这里只讨论四象限探测法。

四象限探测法基本采用直接检测法,方法和原理与无线电技术中的单脉冲雷达相似,激光

回波不在接收系统的焦面上,而是离焦一段距离,在探测器光敏面上形成一个光斑(折反射系统为光环),光环大小与器件直径和系统要求有关,该种工作方法是基于两个前提条件:一是光斑形状为圆形且大小不变;二是激光模式为单横模,以保证能量均匀。

如图(1)所示:器件中心为  $O$ ,光斑中心为  $O'$ ,光斑半径为  $r$ ,激光回波在器件 I~IV 象限,四个象限所占的能量分别为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 。由图可得到方位误差信号为:

$$\Delta A = K \cdot \left( \frac{A - B - C + D}{A + B + C + D} \right)$$

高低误差信号为:

$$\Delta E = K \cdot \left( \frac{A + B - C - D}{A + B + C + D} \right)$$

其中  $K$  为比例系数,分子项为差信号,分母项为和信号。

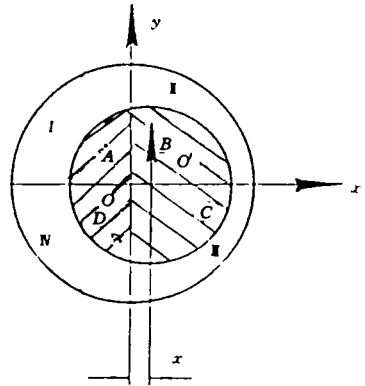


图1 光斑在探测器上的位置

### 3 作用距离方程的推导

要想实现对目标的跟踪和测角,系统的测程是先决条件,即只有在系统最大测程之内的目标才能被测量。而激光测程的远近,主要取决于激光接收系统收到的激光回波功率是否大于由探测器信噪比决定的最小可探测功率,这由所谓的作用距离方程决定。

#### 3.1 信噪比及最小可探测功率

激光接收系统中利用的探测器是能量探测器,在能量探测器中,光生伏特器件与其它光电器件相比有噪声低、灵敏度高、响应时间短和体积小等特点,故特别适合作激光信息的接收器。

激光接收系统探测信号的能力,应该以信噪比作为评价指标,在激光接收系统中,一般都采用窄带滤光片以及在系统中设置小孔光栏等措施。因此,对一般气象条件下的天空背景噪声可以很好地抑制,所以只考虑光电噪声即可。设探测系统最终要求的信噪比为  $SN_0$ ,那么有:

$$SN_0 = P_o / (F_{\min} \cdot NEP) \quad (1)$$

又因为  $NEP$  由探测率  $D^*$  决定,其关系为:

$$D^* = (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / NEP \quad (2)$$

由(1)及(2)式即可求出满足一定信噪比要求的最小可探测功率  $P_o$ :

$$P_o = SN_0 \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^* \quad (3)$$

其中  $NEP$  为探测器的等效噪声功率,  $D^*$  为探测器的比探测率或探测灵敏度,  $\Delta f$  为电子放大线路的等效噪声带宽,  $A_d$  为探测器的光敏面积,  $F_{\min}$  为电子线路设计的最小噪声系数。

#### 3.2 激光接收系统所接收到的最小回波功率

以在目标处激光光束截面大于目标等效面积为例。

##### 3.2.1 激光发射系统的发射辐射强度

设激光器的发射功率为  $P_t$ ,发射效率为  $k_1$ ,发射光学系统的透过率为  $\tau_F$ ,发射系统的光束发散角为  $\theta_F$ ,则激光发射系统的发射辐射强度为:

$$I_F = \frac{4 \cdot P_t \cdot \tau_F \cdot K_1}{\pi \cdot \theta_F^2} \quad (4)$$

### 3.2.2 在目标处激光回波的辐射强度

设测距目标或跟踪目标在距离  $R$  远处,大气透过率为  $\tau_D$ , (其实质为作用距离  $R$  的函数), 由于大气湍流以及跟踪精度等综合误差引起的激光回波功率减小系数为  $K_2$ , 则目标处所受激光的能量辐照度  $E$  为:

$$E = \frac{I_F \cdot \tau_D \cdot K_a}{R^2} \quad (5)$$

### 3.2.3 激光接收系统所能够接收到的激光回波功率

设目标的反射特性为余弦漫反射体,目标漫反射系数为  $\rho$ , 目标的等效直径为  $D_M$ , 则目标的激光回波辐射强度为:

$$I_M = \frac{E}{4} \cdot \rho \cdot D_M^2 \quad (6)$$

在激光接收系统的入瞳处,激光回波功率产生的能量照度为:

$$E' = \frac{I_M \cdot \tau_D}{R^2} \quad (7)$$

设接收系统的入瞳直径为  $D_g$ , 接收系统透过率为  $\tau_J$ , 窄带滤光片的峰值透过率为  $\tau_L$ , 则激光接收系统所能够接收到的激光回波功率为:

$$P_r = \frac{E'}{4} \cdot \pi \cdot D_g^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \quad (8)$$

## 3.3 系统作用距离方程

为了实现测距和跟踪应满足:

$$P_r \geq P_o \quad (9)$$

当  $P_r = P_o$  时,系统作用距离为最大,此时综合以上各式有:

$$P_o = \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_g^2}{4 \cdot \theta_F^2 \cdot R^4} \quad (10)$$

由此可得到系统作用距离方程式为:

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_g^2}{4 \cdot \theta_F^2 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/4} \quad (11)$$

## 4 几种不同情况下的作用距离方程

不同情况下,有不同的作用距离方程,被跟踪体可以带合作目标,可以不带合作目标;激光光束截面可能大于等效目标截面,也可能小于等效目标截面;目标的反射特性可能接近余弦漫反射体,也可能接近均匀漫反射体,作为余弦漫反射体其各个方向的漫反射亮度相等;作为均匀漫反射体,则其各个方向的漫反射强度相等。

本文推导出了各种情况下的测距、跟踪作用距离方程,现述如下:

a. 光束面积大于目标有效面积,目标看作余弦漫反射体,即式(11)。

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_g^2}{4 \cdot \theta_F^2 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/4}$$

b. 光束面积大于目标有效面积,目标看作均匀漫反射体

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_g^2}{8 \cdot \theta_F^2 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/4}$$

c. 光束面积小于目标有效面积,目标看作余弦漫反射体

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_E^2}{4 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/2}$$

d. 光束面积小于目标有效面积,目标看作均匀漫反射体

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_E^2}{8 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/2}$$

e. 带合作目标的情况下

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_E^2}{\theta_F^2 \cdot \theta_J^2 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/4}$$

其中  $\theta_J$  为角反射器的衍射角,  $D_c$  为合作目标的等效直径。

可以看出,上面讨论的作用距离方程是对于单元探测器而言的。在角跟踪系统中,采用四象限探测器,假设每个探测器元件的噪声都是独立的,可以相加,那么满足一定信噪比要求的最小可探测功率  $P$ 。将为单元探测器的4倍,以(11)式为例,作用距离方程将变为:

$$R = \left[ \frac{P_t \cdot \rho \cdot \tau_F \cdot \tau_D^2 \cdot \tau_J \cdot \tau_L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot D_M^2 \cdot D_E^2}{16 \cdot \theta_F^2 \cdot \text{SN}_o \cdot F_{\min} \cdot (\Delta f \cdot A_d)^{1/2} / D^*} \right]^{1/4}$$

因此减小了系统的作用距离。所以在角跟踪系统中,较为合理的是应考虑采用四象限探测器与单元探测器互补使用。

## 5 结束语

由以上讨论可知,激光测距跟踪系统作用距离方程是与多种因素相联系的,每个因素对系统作用距离的贡献量,则因不同系统的具体战术指标及其使用状况的不同而不同。因此在应用上述推导的作用距离方程时,应作具体的分析。

本文得到了尤英奇、王立升等许多老师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 田铁印,典型光学系统总体研究及结构分析. 长春光机所硕士论文,1993
- [2] 张以莫,应用光学. 机械工业出版社,1982
- [3] 林 新,10.6 $\mu\text{m}$  激光光斑跟踪系统总体研究. 长春光机所硕士论文,1990

## Study on the Working Distance Equation of Laser Ranging and Tracking

Tian Tieyin

(Changchun Institute of Optic and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The principles of laser ranging and tracking system are described, the working distance equations in different condition are inferred.

**Key words:** Laser ranging, Laser tracking, Working distance