

激光制导炸弹导引头的光电建模

李东文^{1,2}, 胡朝晖², 汪浩生², 车奇¹

(1. 中国人民解放军驻深圳蛇口地区军事代表室, 广东 深圳 518000; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:激光制导炸弹导引头能否正确提取激光光斑信号是激光制导炸弹正常工作的关键,它与激光指示器对目标的照射能力、激光在大气中的传输以及导引头相对激光光斑的位置等条件密切相关。根据激光制导炸弹导引头的结构和工作原理建立了激光导引头探测激光光斑的数学模型,并通过仿真得到了激光光斑在炸弹典型投放条件下的变化规律。

关键词:激光制导炸弹;导引头;光斑探测;数学模型

中图分类号:V246 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)03-0033-04

激光制导炸弹以精度高、威力大、价格低、抗干扰能力强等特点成为空对点精确打击的一种重要手段^[1]。目前普遍采用Nd:YAG脉冲激光器用于目标指示,激光光束通过大气、目标反射、大气传输后,被导引头四象限管接收。随着照射距离的增加,大气对激光的衰减作用逐渐增强,照射在目标上的光斑面积增大,使导引头探测到的激光功率密度降低,进而影响激光制导炸弹的制导。本文解决了激光制导炸弹导引头接收激光光斑的仿真建模问题。

1 激光目标指示器、光斑和炸弹相对位置

激光制导炸弹投放后,将风标头轴线稳定在炸弹空速方向上,同时目标指示器发射激光照射目标,当导引头接收到照射光斑的信号并满足一定功率密度时,可得到目标的位置信息。

图1中: $oxyz$ 为地面坐标系; f 为本机(激光指示器)地面坐标系位置 (x_f, y_f, z_f) ; b 为炸弹地面坐标系位置 (x_b, y_b, z_b) ; M 为光斑(目标)地面坐标系位置 (x_g, y_g, z_g) ; R_1 为激光照射器至光斑(目标)距离; R 为炸弹到光斑(目标)距离; X_b 为炸弹弹体纵轴方向; V 为炸弹空速方向; α_T 为炸弹全攻角; ε 为导引头测定的误差角; ϕ_n 为激光照射光路俯仰角; ϕ_r 激光探测光路俯仰角。

1) 激光照射器和光斑的位置关系如下:

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{(x_f - x_g)^2 + (y_f - y_g)^2 + (z_f - z_g)^2} \\ \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \\ \Delta z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_f - x_g \\ y_f - y_g \\ z_f - z_g \end{bmatrix} \\ \phi_n = \arccos(\Delta y_1 / R_1) \end{cases} \quad (1)$$

2) 炸弹和光斑的位置关系如下:

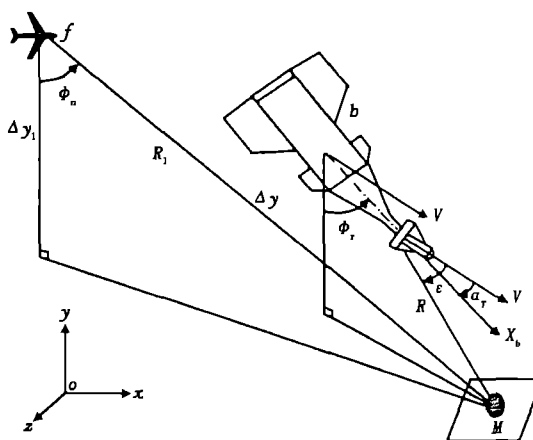


图1 激光照射器、光斑和炸弹的相对位置

$$\begin{cases} R = \sqrt{(x_b - x_g)^2 + (y_b - y_g)^2 + (z_b - z_g)^2} \\ \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_b - x_g \\ y_b - y_g \\ z_b - z_g \end{bmatrix} \\ \phi_r = \arccos(\Delta y_1/R) \end{cases} \quad (2)$$

3) 炸弹上的光斑视线角如下:

$$\begin{cases} \theta = \arctan(\frac{\Delta y}{\Delta x}) \\ \varphi = \arctan(-\frac{\Delta z}{\Delta x}) \\ \mu = \arctan(\sqrt{(\tan\theta)^2 + (\tan\varphi)^2}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: φ 为光斑视线角垂直分量; θ 为光斑视线角水平分量, μ 为光斑视线角。

2 激光传输模型

目标指示器发射的激光随着激光传播距离的增加, 由于存在激光束散角, 使光斑面积增大, 通过大气吸收、散射等物理作用, 使激光能量产生一定的衰减, 目标的反射特性也对激光的传输造成很大的影响。

1) 激光在大气中的平均衰减系数为

$$\sigma = 3.912 \times (\lambda/0.55)^{-0.58R_0^3} / R_0 \quad (4)$$

式中: σ 为激光在大气中的平均衰减系数; R_0 为大气水平能见度; λ 为激光波长。

2) 激光照射光程上的大气对激光的消光系数为

$$T_i = e^{\frac{\sigma(\varepsilon - 0.00083\gamma_i - 1)}{0.83\cos\phi_n}} \quad (5)$$

3) 光斑探测光程上的大气对激光的消光系数为

$$T_r = e^{\frac{\sigma(\varepsilon - 0.00083\gamma_b - 1)}{0.83\cos\phi_r}} \quad (6)$$

4) 导引头探测到的光斑功率为

$$P_r = \frac{1}{\pi k R_1 R} P_i \rho T_i T_r \cos\phi_r A_r \quad (7)$$

式中: P_r 为导引头探测激光功率; P_i 为激光指示器输出激光功率; A_r 为导引头光学系统探测孔径面积; k 为备用比率; ρ 为目标对激光的反射系数。

3 导引头探测激光光斑模型

导引头由光学系统、四象限管激光探测器、电子部件和机械部件等组成。具体光学结构见文献[2]。其基本工作原理是将目标反射的激光能量经光学系统汇聚到焦平面附近的四象限管上, 根据光斑和炸弹的相对位置, 计算四象限管探测到光斑辐射能的大小, 并比较其上光斑分布情况, 输出目标位置信息。

3.1 光斑参数计算模型

在四象限坐标系中激光光斑半径、坐标、面积和功率密度计算如下:

1) 光斑半径为

$$R_\alpha = 0.000349 + 0.00296\mu + 0.0432\mu^2 + 0.000582fR_1 \cos\phi_n / (R \cos\phi_r) \quad (8)$$

2) 光斑中心坐标为

$$\begin{cases} D_s = \mu f \\ y_s = f \tan \theta \\ x_s = f \tan \varphi \end{cases} \quad (9)$$

3) 光斑面积为

$$S_{kp} = \pi R_\alpha^2 \quad (10)$$

4) 光斑功率密度为

$$Q_s = P_r / S_{kp} \quad (11)$$

式中: x_s 为光斑中心在四象限坐标系 x 轴坐标; y_s 为光斑中心在四象限坐标系 y 轴坐标; D_s 为光斑中心距四象限坐标系原点距离; f 为光学系统焦距。

3.2 四象限管输出模型

1) 激光光斑面积计算模型为

$$\begin{cases} S_s = 0 & D_s \geq R_k + R_\alpha \\ S_s = S_v(R_\alpha, R_k + R_\alpha - D_s) & R_k + R_\alpha > D_s \geq R_k \\ S_s = S_{kp} - S_v(R_\alpha, D_s + R_\alpha - P_k) & R_k - R_\alpha \leq D_s \leq R_k \\ S_s = S_{kp} & D_s < R_k - R_\alpha \end{cases} \quad (12)$$

其中圆弧面积为

$$S_v(x, y) = x\sqrt{2xy + y^2/3} - (x - y)\sqrt{2xy - y^2} \quad (13)$$

2) 四象限管输出根据四象限管上照射激光光斑面积、位置和接收功率密度等参数, 计算出四象限管输出感应电流。

$$\begin{cases} \left. \begin{array}{l} V_A = 0 \\ V_C = Q_s S_s \end{array} \right\} x_s < -R_\alpha \\ \left. \begin{array}{l} V_A = Q_s (S_s S_v) (R_\alpha, R_\alpha - |x_s|) / S_{kp} \\ V_C = Q_s (S_s - S_s S_v) (R_\alpha, R_\alpha - |x_s|) / S_{kp} \end{array} \right\} -R_\alpha < x_s < 0 \\ \left. \begin{array}{l} V_A = Q_s (S_s S_v) (R_\alpha, R_\alpha - |x_s|) / S_{kp} \\ V_C = Q_s (S_s S_v) (R_\alpha, R_\alpha - |x_s|) / S_{kp} \end{array} \right\} 0 \leq x_s \leq R_\alpha \\ \left. \begin{array}{l} V_A = Q_s S_s \\ V_C = 0 \end{array} \right\} x_s > R_\alpha \end{cases} \quad (14)$$

3.3 导引头输出模型

对四象限管感应信号采用和差电路计算光斑方向, 采用对数放大器消除距离影响。

1) 四象限管输出计算:

$$\begin{cases} U_a = \rho_a V_A + \rho_b V_C \\ U_b = \rho_a V_C + \rho_b V_A \\ U_c = \rho_a V_B + \rho_b V_D \\ U_d = \rho_a V_D + \rho_b V_B \end{cases} \quad (16)$$

2) 对数放大:

$$\begin{cases} h = 20 \lg(U_a / U_b) \\ L = 20 \lg(U_c / U_d) \end{cases} \quad 0.00082 \leq Q_s \leq 4 \quad (17)$$

4 仿真计算

激光制导炸弹运动模型参考文献[3]、[4]。

仿真条件: 采用本机方式照射目标, 目标与本机方位偏差 500 m, 水平距离为 5 000 m, 本机高度为 5 000 m, 投弹后本机以 300 m/s 速度作水平直线运动, 激光指示器跟踪并照射目标, 炸弹先以自由落体运动, 在导引头追踪到目标反射光斑后控制炸弹机动攻击目标, 则导引头探测到目标反射激光光斑的仿真结果见图 2。

图 2(a) 为本机和目标的距离随时间的变化情况; (b) 为为激光光斑中心点在四象限平面内成像的运动轨迹; (c) 为四象限管平面内接收到的激光光斑半径随时间变化曲线。

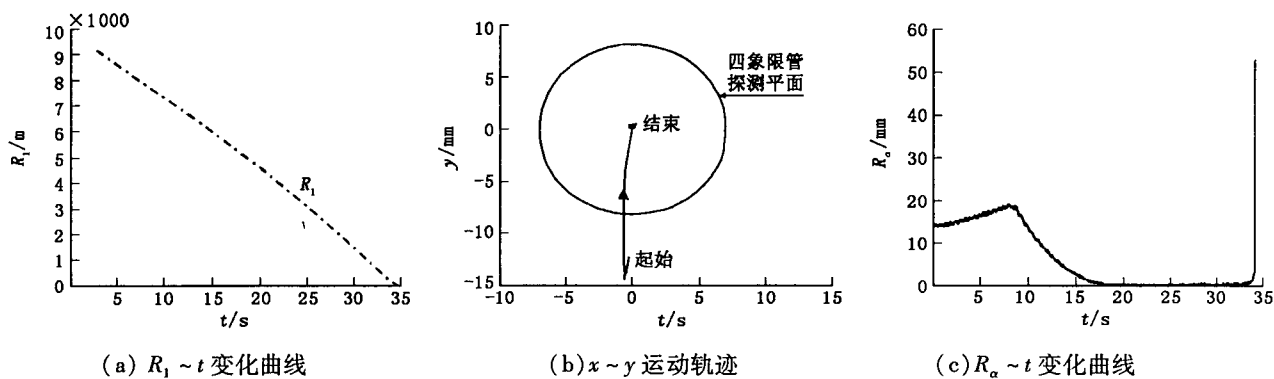


图2 仿真输出

5 结束语

文中建立了激光制导炸弹武器系统激光照射目标和导引头探测光斑的模型,并进行了必要的仿真计算,该模型初步解决了战场条件下激光导引头光电接收问题,是激光制导炸弹仿真研究的关键问题之一。该模型的建立对激光制导炸弹的原理研究具有一定的帮助,对激光制导炸弹的抗干扰理论研究具有一定的作用。

参考文献:

- [1] 张承铨. 国外军用激光仪器手册[M]. 北京:兵器工业出版社,1989.
- [2] 邓仁亮. 光学制导技术[M]. 北京:国防工业出版社,1992.
- [3] 胡朝晖,李东文,汪浩生. 激光制导炸弹武器系统研究[J]. 弹箭与制导学报,2002,22(4):143-147.
- [4] 黄志彦. 激光制导炸弹武器系统投放域研究[D]. 西安:空军工程大学工程学院,2002.

(编辑:姚树峰)

Research on Building up Guided Seeker Model of Laser Guided Bomb

LI Dong-wen^{1,2}, HU Zhao-hui², WANG Hao-sheng², CHE Qi¹

(1. Office of the Military Representatives from PLA to Shekou Area, Shenzhen 518000, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: In laser guided bomb based on velocity principle guided usually a weathercock seeker is adopted to detect the laser energy reflected by the target, calculate the errors between the sight line and guided seeker body line and, then guide the bomb to impact the target. The core element of the laser guided bomb is whether the seeker can detect the laser spot or not. This paper builds up the laser guided mathematical model according to the construction and operating principle of the laser guided seeker, and simulates the process of the seeker receiving the laser spot.

Key words: laser guided bomb; laser guided seeker; laser spot detection; mathematical model