国防科技大学学报

# 强激光作用充气式轻型仿形诱饵探讨

## 赵健康

(国防科技大学自动控制系 长沙 410073)

摘 要 本文结合充气式轻型仿形诱饵的结构特点,探讨了强激光对轻型仿形诱铒作 用的几种效应,以及强激光作用后诱饵运动状态变化的情况,且对由此引起的诱饵轨道偏离 进行了数值计算与分析。

关键词 强激光,轻型仿形,诱饵 分类号 V412,TN24

## An Approach to High Power Laser Interaction with Gas Filling Light Copying Decoy

Zhao Jiankang

(Department of Automatic Control, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** In the light of structural characteristics of gas-filling light-copying decoy, we discuss high power laser interation with gas-filling light-copying decoy, and the change of decoy motion velocity after decoy is attacked by high power laser. Besides, its trajectory deflection has been calculated.

Key words high power laser, light-copying, decoy

目前,在导弹进攻目标时,为了防止攻击弹被拦截,攻方常利用各种手段来迷惑对 方,以达到攻击目标的目的。在各种各样手段中,较常见、也较为经济的方法,就是施 放各种诱饵,使防方不易识别真假弹头。近几年来,强激光等定向能技术迅速发展,人 们把目光转向利用定向能技术进行反导防御,特别是利用强激光进行反导防御。本文就 讨论强激光对攻方导弹施放的充气式轻型仿形诱饵的作用,用动力学原理来探讨在强激 光作用后,轻型仿形诱饵偏离轨道的情况,这样,有助于提高雷达识别攻击弹与诱饵的 能力。

\* 1996 年 12 月 3 日收稿

## 1 充气式轻型仿形诱饵

常规施放的诱饵有重诱饵和轻诱饵。如带无线电干扰机的重诱饵,而轻型诱饵是战 术弹道导弹在自由段施放最为普遍的一种。常见的轻型诱饵有充气式轻型仿形诱饵、各 种金属丝等。下面着重讨论一下充气型轻型仿形诱饵。它是由铝或锡箔制成,结构尺寸 与弹头一模一样,这样,充气施放后,其外形与真弹头相同,使雷达难以识别。

以某型弹道导弹为例来分析,若其在自由段施放轻型仿形诱饵,仿形诱饵结构如图 1 所示。

#### 故其体积粗估为

 $V_1 \approx \pi \times 0.325^2 \times 1.5/3 = 0.16 \text{ (m}^3\text{)}$ 

其表面积粗估为

 $S_1 \approx \pi \times 0.325 \times (1.5 + 0.325) = 1.95 \ (m^2)$ 





假设它所用材料为铝箔,壁厚为 $\sigma \approx 0.2 \text{mm}$ ,则此 诱饵本身结构质量为:  $m = S_1 \sigma \rho \approx 1.2 \text{kg}$ .

如果此诱饵在施放前,折叠存放在仓里,为了保证诱饵施放后能够展开,且不破裂, 我们假设诱饵施放后,其内气体压强为*P*<sub>1</sub>=0.05 大气压,这样,我们可以估计,施放前 气体体积*V*<sub>0</sub>.

 $V_0 = (P_1 V_1 / P_0)^{1/k} \approx 0.1 V_1$  (k 为绝热指数,  $P_0 = 1$ 大气压) 故充气气体质量  $m_{\tau} = P_0 \mu \cdot V_0 / RT_0$  ( $T_0$  为仓里温度)  $\approx 0.02 \text{kg}$ 

所以,施放后轻型仿形诱饵总质量 M 大约不到 1.5kg (包括弹射装置)。

#### 2 强激光对轻型仿形诱饵的作用

#### 2.1 强激光传递冲量引起诱饵的运动状态变化

强激光照射目标时,目标照射表面局部迅速熔化或汽化,特别对短脉冲激光,当其 峰值在 10<sup>7</sup>W/cm<sup>2</sup> 以上,被照射表面将迅速汽化,形成蒸汽向外射出而传递目标一定动 量。因此,讨论强激光对诱饵作用,除了考虑可能对诱饵产生烧蚀破坏外,还需考虑在 照射过程中传递的冲量,为此,我们先讨论脉冲激光传递冲量对诱饵运动状态的影响。

根据文献资料, 激光辐照传递的冲量平均约为 2×10<sup>-5</sup>Ns/J。现假设激光传递冲量为 *P*,诱饵受 *P* 冲量作用后,运动状态变化为 Δ*V*.由动量守恒

则:  $\Delta V = P/M$  (M 为诱饵质量)

作为例子,我们来分析几种情况(假定短脉冲激光照射时间为 0.5s):

(1) 当强光照射光斑直径为 D=3cm 时,对于光斑平均功率密度为 10kW/cm<sup>2</sup> 的激光,这时 ΔV≈0.5m/s,光斑总功率为 70.7kW;对于光斑平均功率密度为 100kW/m<sup>2</sup> 的激光,则 ΔV≈5m/s,光斑总功率为 707kW.

(2)当强激光照射光斑直径为 D=10cm 时,对于光斑平均功率密度为1kW/cm<sup>2</sup> 的激光,这时 △V≈0.51m/s,光斑总功率为78.5kW;对于光斑平均功率密度为10kW/cm<sup>2</sup> 的 10 激光,则 △V≈5.1m/s,光斑总功率为 785kW.

从这里分析可以看出,由于轻型仿形诱饵质量较轻,当光斑功率在70kW以上时,诱 饵运动状态至少变化 0.5m/s以上。

若激光器与诱饵距离 R 为 150km 左右,采用波长 λ 为 1.315µm,光束质量  $\beta$  为 1.2 的激光器,且设激光大气传输效率 η 为 0.25,那么激光器总功率可由:  $P = \pi \lambda^2 R^2 I \beta^2 / \eta \cdot D^2$  计算可知:若 D 取 4.68m (此时光斑直径为 10cm),对于光斑功率密度  $I = 1 \text{kW/cm}^2$ (此时光斑功率为 78.5kW)时,则 P 约为 3×10<sup>5</sup>W.由此可知,若地面上脉冲激光器功 率在 3×10<sup>5</sup>W 以上,就可使 150km 高空的诱饵状态发生明显变化。

#### 2.2 强激光烧蚀诱饵引起的运动状态变化

其次,我们来分析一下激光烧蚀诱饵的情况。假设铝箔诱饵表面反射率为 0.8,由  $(1-R)I_{0}t_{mr} \ge \rho l_{0}[C_{B}(T_{m} - T_{0}) + L_{m}]$ 

式中, $I_0$ 为照射平均功率密度, $\rho$ 为材料密度, $C_B$ 为材料比热, $L_m$ 为材料熔化热, $l_0$ 为目标厚度( $l_0=0.2$ mm)。

这样,当 $I_0 = 1$ kW/cm<sup>2</sup>,则熔化时间 $t_{mr} \approx 0.3$  (s);

当 $I_0 = 10 \text{kW/cm}^2$ ,则熔化时间 $t_{mr} \approx 0.03$  (s)。

因此,对铝箔诱饵,当照射光斑功率密度达到一定值,其在短时间内就会达到熔化 状态,这样铝箔承受的压强就大大降低了,尽管诱饵内气体压强较小,但气体还是很容 易穿孔射击,为此,我们讨论气体喷出对诱饵运动状态的影响。

气体在喷出前是滞止状态,设此时温度为 $T_0$ ,又设喷气速度为 $V_{\pi}$ ,喷气前后音速为 $a_0$ 、a,喷气孔出口与喉部截面积分别为F、F',由流体动力学理论可以推导:

$$\frac{F}{F^{*}} = \frac{1}{M} \left[ \frac{2 + (k-1)M^{2}}{k+1} \right]^{k+1/2(k-1)}$$

$$a/a_{0} = \left[ 1 + (k-1)M^{2}/2 \right]^{1/2}$$

$$M = V_{\frac{\pi}{2}} / a$$

$$a_{0} = \sqrt{kRT_{0}}$$

式中, k 为绝热指数, M 为马赫数。

由上述关系式我们可以看到,当*F*=*F*\*,*M*=1,此时气流将稳定在音速流动。当*F* >*F*\*,*M* 有两个值,即当外界压强较高时(此时内外压强差都较小),气流速度为亚音速; 当外界压强很低时,由于气体喷出产生冲击波,气流将以超音速流动,此时,*M*>1.

因此,当诱饵内气体喷出时,由于此时外界压强很低,故喷气速度为超音速。为了 分析简便,假设此时气体流动速度为音速,即*M*=1,*T*。取100km高度左右的环境温度 (约为195~200K)

则  $V_{\neg} = M_a = a$  (M=1) 又  $a = ((k+1)/2)^{1/2} \cdot a_0$  (k 为绝热系数) ≈ $a_0$ 

故  $V_{\neg} = \sqrt{kRT_0 \approx 282 \text{m/s}}$ 

由于气体喷出,势必传递冲量给诱饵,则诱饵运动状态发生变化。设此变化为 $\Delta V$ ,

则

又

$$\Delta V = -m_{\xi} V_{\xi} / M_{\mu}$$
  
 $\approx 3.7 \text{m/s}$ 

另外,如果激光功率更大,使诱饵大部分汽化,诱饵质量更轻,运动状态更易改变。

## 3 诱饵受激光照射后,轨道偏离的动力学模型

因为轻型仿形诱饵一般在自由段施放,因此,模型不考虑空气阻力,且把诱饵看成 质点。假设打击后诱饵轨为 I轨道,打击前轨道为 I轨,现将动坐标系 o-xyz 固连在 I轨 道上, x 方向指向矢径方向, y 方向为诱饵运动方向, z 方向遵守右手定向, 故打击前后 运动方程如下:



由上述关系,便可计算出在 I 轨道上任一点 r2 上诱饵运动状态变化引起的轨偏量 x、 y, z.

## 4 轨道偏离的计算结果

作为例子,我们假设轨道 [上某点的参数为:

$$\begin{cases} r_2 = 6451.45 \text{ km} \\ \dot{r}_2 = 4.0 \text{ km/s} \\ \theta = 0.8608 \end{cases}$$

又设激光打击诱饵后,引起诱饵速度变化为 $\Delta V_x$ 、 $\Delta V_y$ 、 $\Delta V_z$ ,则上述模型结构初始 12

量为:

$$\begin{cases} x_0 = \Delta V_x \\ x_0 = 0 \end{cases} \begin{cases} y_0 = \Delta V_y \\ y_0 = 0 \end{cases} \begin{cases} z_0 = \Delta V_y \\ z_0 = 0 \end{cases}$$

这样,可对上述模型数值积分,所得计算结果如下图:



图 5 z 方向偏离量随时间变化曲线



从图中可以看出:

(1) 在时间不长的情况下,偏离量随时间几乎呈线性变化。



图 7 强激光作用前后约 2s 内轨道偏移情况

(2) 无论哪个方向上偏离变化, 所产生的效果相同。

(3) 即使运动状态变化量较大,在几十秒后,偏离量还是较为显著。

### 5 结束语

通过上述分析可知,对于充气式轻型仿形诱饵,由于其质量较轻,本身壁厚较小,即 使强激光功率不是很大,也容易破裂,以致诱饵内气体喷出,传递一部分冲量,加上强 激光照射传递一部分冲量,这样,尽管激光功率不是特别大,也会使充气式轻型仿形诱 饵明显偏离原来轨道,而失去迷惑对方的目的。

感谢任萱教授提供宝贵建议。

## 参考文献

1 Messitt D. laser ship Defence System of the Future LEOS'90 conference Diyesi IEEE. N. Y. future, 1990

2 Meclatchy, A. Selby J E A. Atmospheric Atfenation of HF and DF laser Radoation. AD-747010, 1972

3 蒋汉文,邱信立.编著.热力学原理及应用.上海:同济大学出版社、1990

(责任编辑 张 静)