

·光电工程系统技术·

## 高重频激光对激光导引头的干扰效果

张恒伟, 赵 威, 冀 翔, 王英鸿, 张 雷

(63891部队, 河南 洛阳 471003)

**摘 要:** 讨论了高重频激光对激光导引头的干扰机理, 分析了高重频干扰激光的重复频率、干扰功率和激光导引头波门宽度、自动增益控制(AGC)等因素对干扰效果的影响. 研究发现干扰激光频率不满足“频率-波门关系”也可取得很好的干扰效果, 并对其进行了理论分析.

**关键词:** 高重频激光; 激光导引头; 干扰效果

中图分类号: TN249; TN972<sup>+</sup>.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)01-0026-03

## Jamming Effect of the High-repetition-frequency Laser to the Laser Seeker

ZHANG Heng-wei, ZHAO Wei, JI Xiang, WANG Ying-hong, ZHANG Lei

(63891 Unit of Army, PLA, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** The jamming mechanism of the high-repetition-frequency laser to the laser seeker is discussed. The parameters, such as the laser interference frequency, output power, laser seeker's time gate, automatic gain control are analyzed. The phenomena is found in the research that the better jamming effect can be obtained even in the circumstance when the frequency of interference laser does not to meet the relationship of "frequency and wave gate" requirement, and this phenomena is theoretically analyzed.

**Key words:** high-repetition-frequency laser; laser seeker; jamming effect

高重频激光干扰利用高重频激光干扰信号, 遮蔽激光导引头接收的真实目标回波信号, 将制导信号淹没在干扰信号中, 使激光导引头对目标检测的不确定性增加, 目标信息的截获概率降低, 致使激光制导武器因提取不出信息而迷茫, 或因提取错误信息而被引偏<sup>[1-5]</sup>.

### 1 高重频激光干扰参数对干扰效果的影响

高重频激光干扰参数, 如干扰激光重复频率、干扰激光能量、干扰激光对导引头干扰的持续时间等都对干扰效果有影响.

#### 1.1 干扰激光重复频率

高重频激光干扰对激光导引头的影响主要借助

于其远高于指示激光信号的重复频率. 设激光导引头的波门宽度为  $\tau$ , 若高重频激光干扰机的重复频率  $f \geq 1/\tau$ , 则对于每一个录取波门必有一个干扰信号存在, 如果干扰信号与制导信号的干信比足够大, 理论上其干扰成功率能达到 100%. 高重频激光干扰激光导引头实时波门如图 1 所示.

若导引头采用首脉冲录取的体制, 那么要求干扰信号必须超前于制导信号进入波门, 且功率不小于制导信号功率. 当然, 干扰激光超前指示激光的是个概率问题, 具体概率计算参见文献[2].

高重频激光干扰导致 2 种干扰现象, 其中一种为扰乱式干扰, 即所谓的阻塞式干扰; 另一种是诱偏式干扰, 这主要是高重频激光与实时波门严格同步, 最后激光导引头被高重频激光引偏至高重频激光干扰设备所在方向. 而阻塞式则只是对激光导引头的

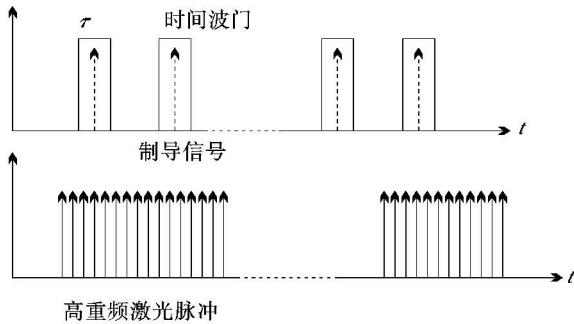


图 1 高重频激光干扰激光导引头实时波门

正常制导信号的阻塞而已. 由于实际高重频激光信号所具有的振幅不一致性, 因此, 发生这 2 种情况的概率也难以计算, 但是根据文献 [4], 如果高重频激光的重频  $f_2$  与指示激光的重频  $f_1$  满足下式

$$f_2 = N \cdot f_1 \quad (1)$$

式中,  $N$  为整数或近似为整数. 式(1)实质上是要求在每个周期内都有干扰激光进入实时波门, 发生诱偏的概率较高. 当然式(1)并非是发射诱偏干扰和阻塞干扰的必要条件, 只是满足式(1)时发生诱偏的概率要大一些.

### 1.2 干扰激光功率

干扰激光超前于指示激光进入波门只是干扰成功的一个条件, 如果干扰激光的功率低于指示激光的功率, 则即使干扰激光超前指示激光也达不到干扰的效果. 高重频激光对导引头干扰主要包括 2 种形式: (1)高重频激光照射假目标进行漫反射干扰; (2)直接瞄准式干扰, 由于高重频激光干扰机功率的限制, 通常采用直瞄式进行干扰.

设高重频激光器发射的激光功率为  $P_J$ , 激光发散角为  $\theta_J$ , 在  $R_1$  远处接收激光能量, 激光大气衰减系数为  $\mu_1$ , 则  $R_1$  处的激光功率密度  $P_1$  为

$$P_1 = \frac{4P_J}{\pi R_1^2 \theta_J^2} \exp(-\mu_1 R_1) \quad (2)$$

激光目标指示器的功率为  $P_G$ , 激光发散角为  $\theta_G$ , 距离漫反射目标距离为  $R_2$ , 该距离的大气衰减系数为  $\mu_2$ , 漫反射目标距离激光导引头距离为  $R_3$ , 其大气衰减系数为  $\mu_3$ , 一般情况下目标尺寸大于指示激光照射到目标上的光斑尺寸, 即大目标情况, 漫反射目标的反射率为  $\rho$ , 此时激光目标指示器激光

通过漫反射在激光导引头光学镜头表面的激光功率密度  $P_2$  为

$$P_2 = \frac{P_G \rho}{2\pi R_3^2} \exp(-\mu_2 R_2 - \mu_3 R_3) \quad (3)$$

则在导引头光学镜头前端的干扰激光与指示激光能量密度的比值, 即干信比为

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{8P_J R_3^2}{P_G \rho R_1^2 \theta_J^2} \exp(\mu_2 R_2 + \mu_3 R_3 - \mu_1 R_1) \quad (4)$$

一般情况下, 高重频激光干扰设备至激光导引头之间的距离  $R_1$  与激光导引头与漫反射目标之间的距离  $R_3$  基本相等, 且大气衰减系数相同, 即  $\mu_3 R_3 \approx \mu_1 R_1$ , 则式(4)为

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{8P_J}{P_G \rho \theta_J^2} \exp(\mu_2 R_2) \quad (5)$$

由式(5)干信比公式可以看出, 激光导引头大气衰减经过  $R_2$ 、 $R_3$  双程, 而高重频激光则经过  $R_1$  单程, 因此在直瞄式干扰时, 干扰激光的功率可以远低于指示激光的功率.

### 1.3 干扰持续时间

干扰持续时间的长短影响干扰激光能否引偏激光导引头, 即干扰多长时间能诱偏激光导引头.

### 1.4 高重频干扰激光振幅的随机性

理论上高重频激光在时间序列上, 每个脉冲之间的能量差别应该非常小, 即是等幅的, 如式(6)所示<sup>[3]</sup>.

$$P_J(t) = \sum_{n=0}^{\infty} k p(t - nT) = \sum_{n=0}^{\infty} k p_0 \exp(-4 \ln 2 \frac{(t - nT - \tau/2)^2}{\tau^2}) \quad (6)$$

式中,  $n$  为脉冲间隔数;  $k$  为比例因子, 表示导引头接收的干扰信号大小占整个干扰信号的比例;  $T$  为干扰激光的重复频率;  $\tau$  为基模高斯光束半功率脉冲宽度;  $P_0$  为干扰激光最大功率.

但是实际的情况并非如此. 由于激光器脉冲序列的单脉冲能量大小是一种随机分布, 且其出光周期不是严格相等, 只是总体近似等间隔. 高重频激光



图 2 实际的高重频激光信号

的这种随机性会造成激光导引头受干扰后表现出明显的随机性。

## 2 激光导引头性能参数对干扰效果的影响

激光导引头自身的参数,如导引头实时波门宽度、编码方式<sup>[6]</sup>、导引头信号处理等方法等导引头选用的技术,也是影响干扰效果的另一个主要因素。

### 2.1 实时波门

激光导引头通常采用波门技术以增加抗干扰能力,以便在时域剔除波门外的干扰,通常采用的有固定波门和实时波门 2 种,由于实时波门可消除累计误差的影响,因此大多数激光导引头都采用实时波门。实时波门宽度直接影响干扰激光能否进入波门的问题,若要求干扰激光每次都进入波门,则应满足  $f \geq 1/\tau$  关系,因此如果实时波门宽度越窄则要求干扰激光的重频越高,反之则越低。

### 2.2 自动增益控制 (AGC)

因激光导引头接收的能量与激光制导武器——目标距离的平方成反比,所以在导引头信号处理中,采用了自动增益控制电路,它是以四象限探测器所接收到的目标漫反射能量为变量,同步控制 4 个通道的放大器输出,以免放大器饱和,即保证在小信号时,放大器的放大倍数较大,输出与输入成线性关系,当信号增大到一定数值时,减小放大器的放大倍数,使激光导引头正常工作。

AGC 电路对干扰效果的影响体现在干扰激光与指示激光的干信比,即使在干扰频率不满足  $f \geq 1/\tau$  这个关系时,干扰激光仍可使导引头丢失目标被阻塞或诱偏,其主要原因是存在自动增益控制,造成了四象限探测器在接收到能量比指示激光更强的干扰激光信号后,自动增益瞬间出现了调整反馈,导致导引头对指示激光的丢失,且自动增益控制一般存在多极调整,因此调整存在时间上的延迟,若接收到一个高能量脉冲,则使导引头可能丢失数个周期的激光信号,使导引头不能正常跟踪,具体可见式(7)。

$$T = \begin{cases} 1, & t_0 \geq t_1 \\ 0, & t_0 < t_1 \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $T$  为对 AGC 干扰的成功与否, 1 代表成功, 0 为不成功;  $t_0$  为激光导引头 AGC 的调整时间;  $t_1$  为

高重频激光的脉冲周期。

### 2.3 信号处理算法

随着信号处理技术的发展,新的算法和信号处理电路运算速度的不断提升,激光导引头的抗干扰能力也在不断增强,通过存储导引头波门内、外探测器接收到的所有激光信号,通过相关的抗干扰算法可以排除干扰激光信号,起到抗干扰的作用,这也造成了干扰效果评价的困难<sup>[7-9]</sup>。

### 2.4 激光导引头的视场

随着激光导引头抗干扰的需要,激光导引头通常具有搜索视场与跟踪视场,而搜索视场明显大于跟踪视场,搜索视场一般在几十度之间,跟踪视场则在几度左右,同时伴随双四象限探测器的广泛应用,跟踪视场变得更窄,以提高空间上的抗干扰能力,这样使得高重频激光干扰成功的可能变得更低<sup>[10]</sup>。

## 3 结束语

高重频激光对激光导引头干扰可导致 2 种现象:(1)阻塞干扰,此时导引头接收到的光电信号出现紊乱,不能准确给出目标位置;(2)出现了诱偏现象,激光导引头可正常工作,在成功诱偏后,激光导引头偏向高重频激光光斑所在方向。在频率一定的条件下,出现 2 种结果是一个概率问题,但由于高重频激光自身的出光特性,很难确定所服从的概率分布,但满足由式(1)所确定的干扰激光频率与指示激光频率关系时发生的概率要大一些。

干扰激光的重频无需满足  $f \geq 1/\tau$  关系,且可以很低,当然频率越低则有效干扰的单脉冲能量就必须越强,实质是干扰激光的平均功率不能太低。干扰信号与指示激光的干信比决定了干扰能否成功,干信比并非大于 1 就可以成功,对不同的频率存在一个值或一个范围。决定干扰效果的主要因素是:干扰激光的重复频率、输出功率和干扰持续时间等;激光导引头自身的信号处理算法、波门宽度和自动增益控制等。由于高重频激光时间上的不稳定性,造成了干扰现象随机性的增大。

### 参考文献

- [1] 许鹏程,孙晓泉.高重频激光对实时波门选通信号干扰

(下转第 45 页)

从图 4 可以看出,仅从反射器包容角角度来看,在焦前位置放置光源,有利于增大抛物面反射器的包容角,提高反射器的利用率。

### 3.2 离焦对全发光距离的影响

在全发光距离区域外,都可以接收到来自反射器各点的反射光线.全发光距离与光源的大小及安装位置有关.在光源大小一定时,当光源沿轴向移动,由于光源不在反射器焦点上,则光源中心到反射器上反射点的距离也随之增大或减小,全发光距离则随着光源在反射器焦点前后位置的不同而变化。

设氙灯轴向离焦量为  $\Delta f$ ,根据全发光距离与光源中心到反射点距离关系,可得到全发光距离与离焦量的关系为

$$L_0 = \frac{R^2}{r \sin(\arctan(4fR / (R^2 - 4f^2 - 4f\Delta f)))} \quad (3)$$

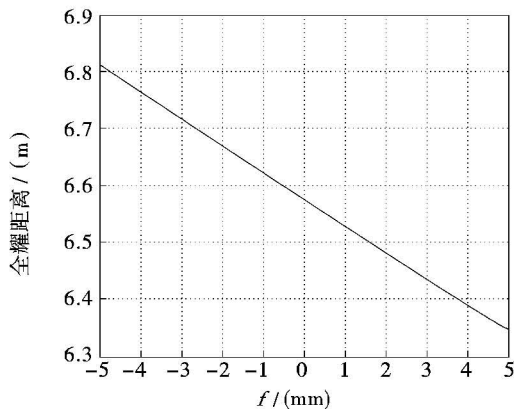


图 5 不同离焦量时反射器的全发光距离

式中, $R$  为抛物面反射器孔径半径; $f$  为抛物面反射器焦距; $r$  为球形光源半径。

分析式(3)可知,随着光源从抛物面反射器从焦前位置向焦后位置的移动,全发光距离在逐渐增大,如图 5 所示.因此在只考虑离焦量对全发光距离影响的条件下,将光源放置在焦后位置,有利于增大反射器的全发光距离。

## 4 结 论

在分析抛物面反射器参数与反射器包容角关系后,设计了一个口径  $D = 140 \text{ mm}$ 、中心孔直径  $d = 28 \text{ mm}$ 、焦距  $f = 15.65 \text{ mm}$  的氙灯抛物面反射器.经过测试,该反射器可以得到发散角优于  $1^\circ$  的氙灯光束,同时,根据对抛物面反射镜离焦的分析结果可知,为了增加反射器的包容角提高光源利用率,可将光源置于反射器焦前位置,但同时全发光距离变短.因此,在实际使用中,需要综合考虑离焦位置,以便获得更好的效果。

### 参考文献

- [1] 张北宁.非相干辐射源的发展与应用[J].光电技术应用,2004,19(2):15-16.
- [2] 周天明.光源原理与设计[M].上海:复旦大学出版社,1993.
- [3] 张以谟.应用光学[M].北京:机械工业出版社,1982.

(上接第 28 页)

- [1] 的分析[J].光电技术应用,2005,20(1):21-23.
- [2] 柴宏亮,孙晓泉.高重频激光干扰参数分析[J].光电子技术与信息,2005,18(6):26-28.
- [3] 徐代升,王建宇.高重频激光压制干扰与激光制导系统相互作用效应研究[J].量子电子学报,2006,23(2):209-211.
- [4] 童忠诚,孙晓泉,杨希伟.基于弹道仿真的激光高重频干扰技术探讨[J].电光与控制,2008,15(3):15-17.
- [5] 邢辉,丁振东,雷萍,等.光电干扰对激光制导炸弹攻击效果的影响分析[J].电光与控制,2007,14(6):51

- 54.

- [6] 巨养锋,马宝强,姚梅,等.激光制导信号的编码和干扰技术[J].电光与控制,2007,14(1):85-86.
- [7] 吴建军,王金玉.一种激光导引头抗高重频干扰的方法[J].激光与红外,2007,37(10):1081-1084.
- [8] 申会庭,柴金华.抗高重频激光有源干扰的方案研究[J].量子电子学报,2007,24(3):202-205.
- [9] 薛建国,陈勇.高重频激光对激光导引头的干扰研究[J].航空兵器,2006,6:30-32.
- [10] 邓仁亮.光学制导技术[M].北京:国防工业出版社,1994.