

文章编号:1001-5078(2024)09-01380-07

· 激光应用技术 ·

# 激光导引头波门诱偏干扰策略设计

楚振锋, 孙巍阳, 廖明飞, 陈苏云, 王高杰  
(63893 部队, 光电对抗测试评估技术重点实验室, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**超前同步干扰以固定的超前量转发干扰信号进入激光导引头波门, 干扰成功概率是基本固定的, 并且干扰和制导信号同时在波门内, 导引头有机会和条件采取进一步的抗干扰措施, 根据实时波门的原理, 提出一种基于波门诱偏的激光导引头干扰方法, 设计了干扰信号, 探讨干扰的机理, 通过分析制导信号、干扰信号以及波门的时序关系和相互作用过程, 得到了干扰条件下波门内信号分布, 选择典型参数, 仿真模拟了超前同步和波门诱偏两种干扰状态, 得到了干扰条件下波门对信号录取的特性, 概率分析验证了波门诱偏干扰的相对优势, 分析结果可为干扰参数和过程的设计提供参考。

**关键词:**激光导引头; 实时波门; 波门诱偏; 录取概率

**中图分类号:** TN977; TJ765 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2024.09.007

## Design of laser seeker wave gate decoy jamming strategy

CHU Zhen-feng, SUN Wei-yang, LIAO Ming-fei, CHEN Su-yun, WANG Gao-jie

(Key Laboratory of Electro-Optical Countermeasures Test & Evaluation Technology, 63893 Unit of PLA, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** The overshoot synchronized jamming forwards the jamming signal into the laser guide head wave gate with a fixed amount of overshoot, the jamming success probability is basically fixed, and the jamming and guidance signals are in the wave gate at the same time, so that the guide head has the opportunity and conditions to take further anti-jamming measures. According the principle of real-time wave gate, a new jamming strategy based on wave gate decoy is put forward in this paper. Firstly, the jamming signal is designed to explore the mechanism of interference. Then, by analyzing the timing relationship and interaction process of the guidance signal, the interference signal and the wave gate, the signal distribution within the wave gate under the interference condition is obtained. Finally, typical parameters are selected, and two interference states, the synchronization jamming and the wave gate decoy, are simulated to obtain the characteristics of wave gate on signal admission under interference conditions. The relative advantage of wave gate-induced bias interference is verified with probability analysis, and the analysis results can provide a reference for the design of interference parameters and processes.

**Keywords:** laser seeker; real-time wave gate; wave gate decoy; identify probability

### 1 引言

波门选通是半主动激光寻的导引头抗干扰的重要措施之一, 由于指示器频率抖动、光程差和时

钟稳定度等因素的制约, 导引头的录取波门宽度一般在几十微妙, 相比脉宽十几纳秒的激光信号, 波门内时域的有效利用率较低, 从干扰角度来讲,

就有相当大的时域空间可以利用,文献[1]~[3]提出的超前同步干扰、滞后同步干扰和双脉冲夹挤同步干扰等干扰手段都是在波门内注入干扰信号,使得导引头发现、识别和跟踪制导信号的几率大幅下降,达到干扰的目的,但存在的问题是:波门内的同步干扰,制导信号和干扰信号同时出现在波门内,也即激光导引头可同时将制导信号和干扰信号进行采集和处理<sup>[4]</sup>,并有机会和条件找到两者之间的差别,采取针对的抗干扰措施,如时间相关和位置相关等,波门内信号精细分析成为提高导引头抗干扰能力的研究方向之一。为弥补同步干扰的不足,降低干扰信号被识别的风险,提出一种基于“波门诱偏”的干扰方法,设计了调制干扰信号样式,分析了干扰的原理和干扰过程,并进行了概率分析计算验证。

## 2 波门诱偏干扰方法

多数激光导引头采用的抗干扰措施主要有实时波门选通和脉冲锁定,实时波门选通是根据同步点的不同实时设置波门的开启位置,即它是每一次实际接收的信号脉冲的到达时间作为下一个波门的同步点,来设定下一次波门的开启位置。对于采用实时波门的激光导引头,其波门的开启位置和之前接收到的信号时刻是关联的<sup>[3]</sup>,不失一般性,假设导引头采用首脉冲锁定,干扰方采取超前同步干扰方式,在实施干扰后,激光导引头将跟踪干扰信号,其波门的开启位置将根据干扰信号的到达时刻来确定,由此可以发现,巧妙设计干扰信号,可对导引头的波门实施诱偏<sup>[5-6]</sup>,使波门和制导信号出现相对的偏移,一般情况下,当偏移量达到一定程度时,就有可能出现将制导信号拒于波门之外的情况,此时,导引头将完全根据干扰信号进行制导。

### 2.1 干扰信号设计

有效干扰的关键是干扰信号的模式,通常要与制导信号相同或相关<sup>[2]</sup>。相同是指干扰信号与制导信号编码、波长、脉宽、能量等级等特征参数相同,而且在时间上同步;相关是指干扰信号虽与制导信号不完全相同,但是包含与之相关的成分,即时间相关、空间相关及特征相关。时间相关是指干扰信号

与制导信号在时间上具有同步的成分;特征相关是指信号的波长、编码、脉宽和能量等级等特征参数相关。波门诱偏干扰信号主要考虑时间相关和特征相关,以精确控制干扰信号进入导引头波门的时刻为核心。

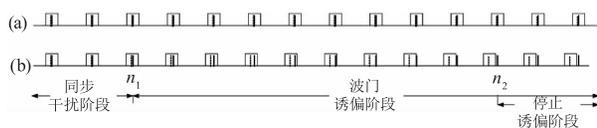


图1 波门诱偏原理示意图

Fig.1 sketch map of wave gate decoy

设制导信号样式为精确频率编码<sup>[7-12]</sup>,周期为 $T$ ,则制导信号可表示为 $s_1 = \delta(t - nT)$ ,根据超前同步干扰原理和波门诱偏的基本思路,干扰信号以告警信号为基本框架,分三个时段<sup>[13]</sup>,同步干扰阶段采用复制告警信号超前同步<sup>[14]</sup>转发模式,波门诱偏阶段在复制信号的基础上对信号添加脉冲间隔调制,相对于制导信号,针对首脉冲锁定采取以 $\Delta T$ 为步长的超前量递增调制,针对末脉冲锁定采取以 $\Delta T$ 为步长的滞后量递增调制,停止诱偏阶段以波门诱偏末段信号为基础,采用以信号中的最小间隔为周期的重频信号。由此设计干扰信号可由下式表示:

$$s_2 = \begin{cases} \delta(t - nT) & (0 \leq n \leq n_1) \\ \delta[t - nT + (n - n_1)\Delta T] & (n_1 \leq n \leq n_2) \\ \delta\{t - n[T - (n_2 - n_1)\Delta T] - (n_2 - 1)(n_2 - n_1)\Delta T\} & (n_2 \leq n) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $n$ 为信号的计数; $n_1$ 为开始实施波门诱偏时的信号计数; $n_2$ 为停止波门诱偏时的信号计数。

若导引头波门宽度为 $\mu$ ,则诱偏步长 $\Delta T$ 和诱偏步数 $(n_2 - n_1)$ 与波门宽度的关系可由下式表示:

$$\frac{\mu}{n_2 - n_1} \leq 2\Delta T < \mu \quad (2)$$

### 2.2 干扰条件下信号录取

由于干扰信号与制导信号彼此独立,则描述干扰信号与制导信号在波门内出现的概率密度函数为:

$$f(t_1, t_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_g\sigma_j} \exp\left(-\frac{t_1^2}{2\sigma_g^2}\right) \exp\left[-\frac{(t_2 + \Delta t_s)^2}{2\sigma_j^2}\right] \quad (3)$$

式中,  $t_1$  为制导信号在波门内的时刻;  $t_2$  为干扰信号在波门内的时刻;  $\Delta t_s$  为超前时间;  $\sigma_g$  为激光制导信号相对于波门的时间精度;  $\sigma_j$  为干扰信号相对于波门的时间精度; 由于干扰信号引入了制导信号和干扰设备的误差, 通常情况下  $\sigma_g < \sigma_j$ 。

根据实际工作过程, 导引头经历制导阶段和受干扰阶段, 在此过程中, 波门内信号经历了从仅有制导信号到制导和干扰信号共存再到仅有干扰信号的过程, 这里分不同情况进行讨论。

2.2.1 前一个波门录取制导信号

在导引头工作过程中, 首先是跟踪制导信号阶段, 该阶段内波门录取制导信号, 若第  $n$  个波门之前, 波门内均录取制导信号, 从第  $(n+1)$  个波门开始, 出现超前干扰信号, 干扰信号超前制导信号进入波门的概率  $P_{gj}^{[3]}$  表示为:

$$P_{gj} = \frac{1}{2\pi\sigma_g\sigma_j} \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \int_{t_2}^{\Delta T/2} \exp\left(-\frac{t_1^2}{2\sigma_g^2}\right) \cdot \exp\left[-\frac{(t_2 + \Delta t_s)^2}{2\sigma_j^2}\right] dt_1 dt_2 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \cdot \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \exp\left[-\frac{(t_2 + \Delta t_s)^2}{2\sigma_j^2}\right] dt_2 \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_g} \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \exp\left(-\frac{t_1^2}{2\sigma_g^2}\right) dt_1\right] \quad (4)$$

公式(4)是两项积分的和, 第一项积分是干扰信号与制导信号均在波门内且干扰信号超前制导信号的概率; 第二项是干扰信号在波门内且制导信号处于波门之外的概率;  $\Delta T$  为波门宽度。

与公式(4)描述情况对应, 尽管有干扰信号的存在, 但导引头仍然跟踪制导信号, 即第  $(n+1)$  个波门录取制导信号, 显然, 其录取概率  $P_{gg}$  与  $P_{gj}$  的关系为:

$$P_{gg} = 1 - P_{gj} \quad (5)$$

设计通用参数, 分别对第  $(n+1)$  个波门的信号录取概率进行计算, 可得结果如图 2 和图 3 所示。

由图 2 和图 3 可以看出, 波门越宽, 干扰信号被录取的概率越大; 在超前量为 0 时, 波门录取干扰信号和制导信号的概率均接近于 0.5; 存在一个最佳超前同步时间<sup>[4]</sup>, 超前量大于最佳时间后, 波

门录取干扰信号的概率逐步下降; 这些均与实际情况相符合。同时, 图 2 和图 3 呈现完美的互补, 反映出公式(4)和(5)完备地描述了波门对信号的录取。

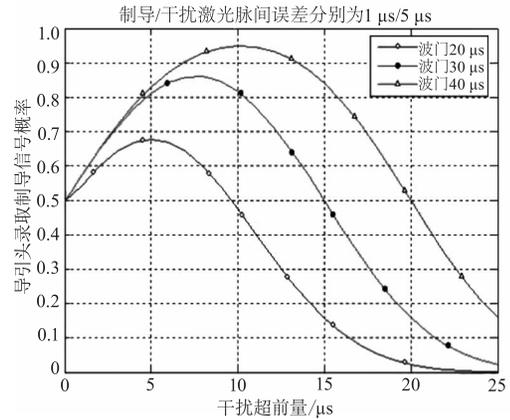


图 2 干扰信号超前进入波门概率与超前量的关系  
Fig. 2 The relation of jamming signal enrolling probability and proposed time

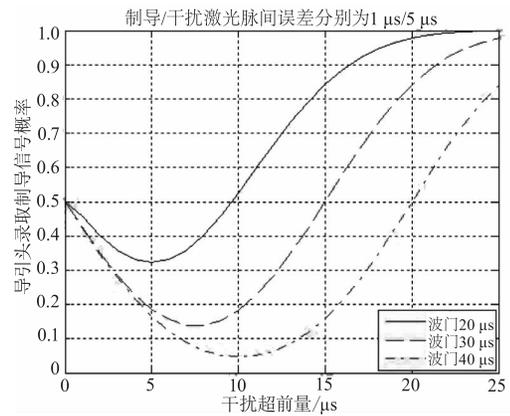


图 3 制导信号超前进入波门概率与超前量的关系  
Fig. 3 The relation of guided signal enrolling probability and proposed time

2.2.2 前一个波门录取干扰信号

如果第  $(n+1)$  个波门录取的是干扰信号, 则对第  $(n+2)$  个波门来说, 制导信号不仅在时间上落后于干扰信号  $\Delta t_s$ , 而且该处波门的开启时间是以上一个干扰信号为同步点设置的, 即波门受到了“牵引”<sup>[15]</sup>, 相对于制导信号出现了诱偏, 则公式(3)变为:

$$f(t_1, t_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_g\sigma_j} \exp\left(-\frac{t_2^2}{2\sigma_j^2}\right) \cdot \exp\left[-\frac{(t_1 - \Delta t_s)^2}{2\sigma_g^2}\right] \quad (6)$$

第  $(n + 2)$  个波门录取干扰信号的概率  $P_{jj}$  表示为:

$$P_{jj} = \frac{1}{2\pi\sigma_g\sigma_j} \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \int_{t_2}^{\Delta T/2} \exp\left[-\frac{t_2^2}{2\sigma_j^2}\right] \cdot \exp\left(-\frac{(t_1 - \Delta t_s)^2}{2\sigma_g^2}\right) dt_1 dt_2 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \cdot \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \exp\left(-\frac{t_2^2}{2\sigma_j^2}\right) dt_2 \cdot \left\{1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_g} \cdot \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} \exp\left[-\frac{(t_1 - \Delta t_s)^2}{2\sigma_g^2}\right] dt_1\right\} \quad (7)$$

同理,第  $(n + 2)$  个波门也可能录取制导信号,录取的概率  $P_{jg}$  也存在关系式:

$$P_{jg} = 1 - P_{jj} \quad (8)$$

### 3 干扰效果分析

超前同步干扰和波门诱偏干扰本质上都是时序干扰,其过程由干扰信号到达导引头起至其中一个信号无法进入视场或不能进入波门为止,由于制导信号和干扰信号相对于导引头波门都有一定的时间精度,

从统计角度来讲,波门录取制导信号或干扰信号属概率事件,尽管在试验中干扰是否成功是确定的且在干扰过程中导引头是否被干扰是稳定状态,但在信号录取来说,干扰过程和结果均呈随机性,前文所述的公式(4)、(5)与(7)、(8)完备描述了该随机性。

#### 3.1 超前同步干扰

假设一次干扰过程采用超前同步干扰,这里忽略能量因素对干扰的影响,仅从时序角度考察干扰过程,参考常见参数,对半主动激光导引头设定为采用实时波门,波门内首脉冲锁定,波门宽度设为  $30 \mu s$ ;制导信号设定为重频信号,周期为  $T$ ,相对于波门的时间精度  $2 \mu s$ ;干扰信号设定为超前同步时间  $5 \mu s$ ,相对于波门的时间精度  $4 \mu s$ ;导引头首先跟踪制导信号,第  $n$  个波门前,仅有制导信号到达,自第  $(n + 1)$  个波门开始,干扰信号与制导信号均到达导引头,并进入波门。根据上述参数,在制导和干扰过程中,制导信号、干扰信号和波门的时序如表 1 所示。波门内制导和干扰信号的分布状态如图 4 所示。

表 1 超前同步干扰时信号与波门时序关系

Tab. 1 The time sequence of guided signal and wave gate

wave gate No.	$n$	$n + 1$	$n + 2$	$n + 3$	$n + 4$	...	$n + k$
guided signal	$t_0$	$t_0 + T$	$t_0 + 2T$	$t_0 + 3T$	$t_0 + 4T$	...	$t_0 + kT$
jamming signal	/	$t_0 + T - \Delta t_s$	$t_0 + 2T - \Delta t_s$	$t_0 + 3T - \Delta t_s$	$t_0 + 4T - \Delta t_s$	...	$t_0 + kT - \Delta t_s$
wave gate center	$t_0$	$t_0 + T$	$t_0 + 2T$	$t_0 + 3T$	$t_0 + 4T$	...	$t_0 + kT$
			$t_0 + 2T - \Delta t_s$	$t_0 + 3T - \Delta t_s$	$t_0 + 4T - \Delta t_s$	...	$t_0 + kT - \Delta t_s$

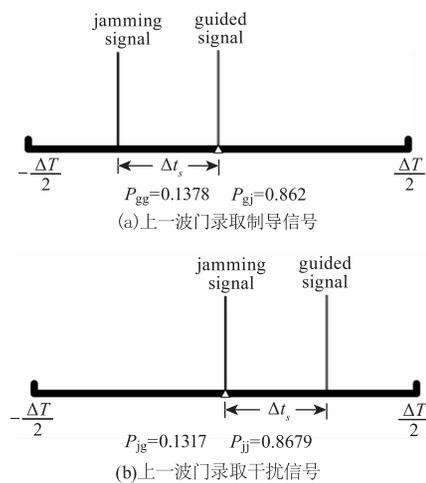


图 4 超前同步干扰时波门内信号分布

Fig. 4 Signal distribution under the condition of advance-synchronizing jamming

大量的文献对超前同步干扰进行了分析,得到了各种变化量对干扰效果影响的结论<sup>[3-4]</sup>,本文不再赘述。但需要指出的是,当干扰信号到达导引头后,由于上一波门内信号录取的差异,导致波门和信号出现时序上的牵引,波门内的信号就仅能呈现出图 4 所示的两种确定状态,对于任意的某一次波门,信号分布只能是图 4(a)或图 4(b)中的一种,取某种确定状态的概率和上一个波门录取制导或干扰信号的概率相关。从导引头角度看,导引头并不是基于某一个信号就进行跟踪决策的,假设对于重频信号,若导引头只有连续录取三个制导或干扰信号才进行稳定跟踪决策,则从上述特征参数计算可得,实施干扰后,连续录取三个制导信号的概率约为 0.0026,显然,一个制导过程中,被干扰后连续录取三个制导信号是几乎不可能的事件。

3.2 波门诱偏干扰

这里设定的与超前同步干扰完全一致,不同的是增加超前步进量为  $h$ , 导引头首先跟踪制导信号, 第  $n$  个波门前, 仅有制导信号到达, 自第  $(n+1)$  个波门开始, 干扰信号与制导信号均到达导引头, 并进入波门。根据上述参数, 在制导和干扰过程中, 制导信号、干扰信号和波门的时序如表 2 所示。波门内制导和干扰信号的分布状态如图 5 所示。

由时序关系可以看出, 实施波门诱偏干扰后, 波门内信号分布并不是固定的状态, 制导信号和干扰信号在时域上呈现逐步分离的状态, 随着干扰过程的推进, 这种分离状态不断加大, 直至某一个信号不能在波门内出现; 由图 5(a) 可得, 若干扰实施后, 导引头仍跟踪制导信号, 则波门内信号分布相当于超前同步干扰的超前量在不断加大; 图 5(b) 呈现出来波门诱偏干扰与超前同步干扰最明显的区别, 干扰

实施后若导引头跟踪干扰信号, 则制导信号和干扰信号均不在波门的中心位置, 干扰信号超前于波门中心位置, 超前量为干扰信号的超前步进量, 而制导信号相对于波门中心逐步滞后。

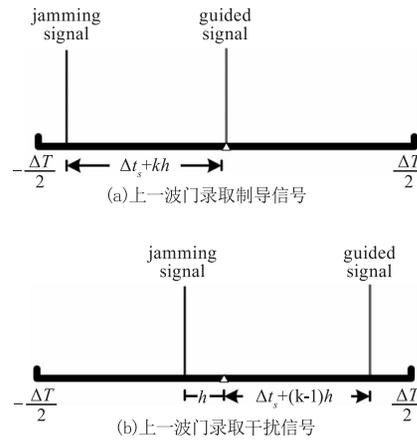


图 5 波门诱偏干扰时波门内信号分布

Fig. 5 Signal distribution under the condition of wave gate decoy

表 2 波门诱偏干扰时信号与波门时序关系

Tab. 2 The time sequence of guided signal and wave gate

wave gate No.	$n$	$n+1$	$n+2$	$n+3$	$n+4$	...	$n+k$
guided signal	$t_0$	$t_0 + T$	$t_0 + 2T$	$t_0 + 3T$	$t_0 + 4T$	...	$t_0 + kT$
jamming signal	/	$t_0 + (T-h) - \Delta t_s$	$t_0 + 2(T-h) - \Delta t_s$	$t_0 + 3(T-h) - \Delta t_s$	$t_0 + 4(T-h) - \Delta t_s$	...	$t_0 + k(T-h) - \Delta t_s$
wave gate center	$t_0$	$t_0 + T$	$t_0 + 2T$	$t_0 + 3T$	$t_0 + 4T$	...	$t_0 + kT$
			$t_0 + (T-h) - \Delta t_s + T$	$t_0 + 2(T-h) - \Delta t_s + T$	$t_0 + 3(T-h) - \Delta t_s + T$	...	$t_0 + (k-1)(T-h) - \Delta t_s + T$

图 6 给出了实施波门诱偏干扰后导引头波门对信号录取的概率曲线。图 6(a) 所示为上一个波门录取制导信号本次波门继续录取制导信号的概率, 图中描述的三种情况均出现录取概率下降的现象, 这佐证了文献[2]提出了最佳超前同步量的结论; 对比超前步进量  $h$  可以看出,  $h$  取值越小, 录取制导信号概率低的维持

时间越长, 对干扰方越有利; 图 6(b) 所示为上一个波门录取干扰信号本次波门仍录取干扰信号的概率, 对比超前步进量  $h$  可以看出,  $h$  取值越大, 录取干扰信号的概率增大越快。对比图 6(a) 和图 6(b), 可以得到的有益结论是: 超前步进量  $h$  的选取不是孤立的, 其最优取值与初始超前同步量  $\Delta t_s$  和波门宽度相互关联。

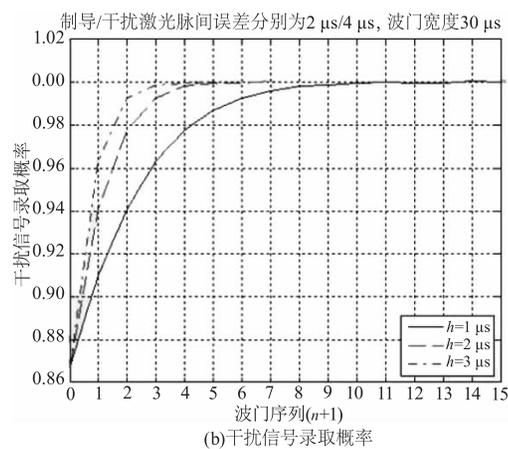
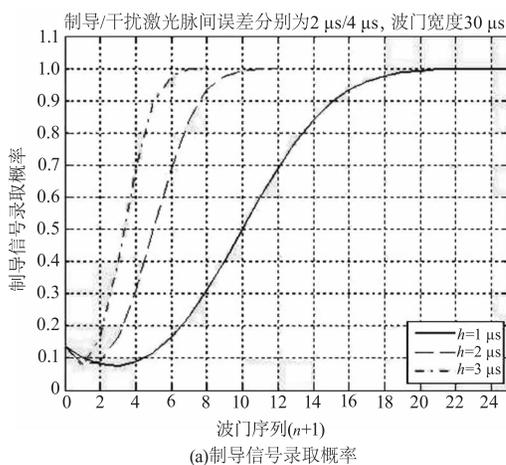


图 6 波门诱偏干扰时信号录取概率

Fig. 6 Identify probability under the condition of wave gate decoy

#### 4 结 语

通过分析制导信号、干扰信号以及波门的时序关系和相互作用过程,得到了干扰条件下波门内信号分布的状态,基于信号概率密度函数表征了波门对信号的录取,设计典型参数,仿真模拟了超前同步和波门诱偏两种干扰状态,得到了波门对信号录取的特性,从中可得到一些新的有意义的结论:当超前量接近最佳超前量时,连续录取制导信号将成为低概率事件,甚至在制导武器十几秒的飞行时间内不可能发生;波门诱偏干扰中存在一个趋近最佳超前量的过程,这是该干扰方法的优势之一,提高干扰成功概率的同时还可提升干扰参数设置的灵活性;随着波门诱偏干扰过程推进,波门录取干扰信号的概率趋近于1,这是该干扰方法优势之二;超前步增量是关系到干扰稳定性的关键参数,应综合考虑速度和稳定性进行合理的设计。

#### 参考文献:

- [1] Xing Hui, Lei Ping, Ma Na, et al. Experiment and analysis on time sequence anti-jamming technology of semi-active laser seeker[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(2): 461 - 465. (in Chinese)  
邢晖, 雷萍, 马娜, 等. 激光导引头时序抗干扰技术分析及实验[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(2): 461 - 465.
- [2] Liu Yanyan, Yan Xiusheng, Gao Wenqing, et al. Mathematics simulation analysis of the laser deception jamming[J]. *Journal of CAEIT*, 2011, 6(3): 271 - 274. (in Chinese)  
刘严严, 闫秀生, 高文清, 等. 激光角度欺骗干扰效果的数学仿真分析[J]. *中国电子科学研究院学报*, 2011, 6(3): 271 - 274.
- [3] Xu Daisheng, Wang Jianyu. Interactional effect between laser cheating jammer and laser guidance system [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2006, 25(1): 77 - 80. (in Chinese)  
徐代升, 王建宇. 激光欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2006, 25(1): 77 - 80.
- [4] He Hengxiang, Chen Yiqing Zhao Gang, et al. Analysis of the parameters of the laser guided system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(3): 428 - 432. (in Chinese)
- [5] Xue Jianguo, Wang Juanfeng, Lei Ping. Design of double pulse pseudo random code for a semi-active guidance [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2018, 38(1): 11 - 13. (in Chinese)  
薛建国, 王娟锋, 雷萍. 一种半主动激光制导双脉冲伪随机码设计[J]. *弹箭与制导学报*, 2018, 38(1): 11 - 13
- [6] Li Shuanggang. Mathematics simulation of laser signal extraction in guidance range gate under jamming [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(1): 0106003 - 1 - 0106003 - 5. (in Chinese)  
李双刚. 干扰条件下制导波门对激光信号录取的数学仿真[J]. *红外与激光工程*, 2016, 45(1): 106003 - 1 - 106003 - 5.
- [7] Shen Tao, Song Jianshe. Analysis of laser guidance weapon's real-time gate signal choosing technology [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2006, 26(4): 393 - 400. (in Chinese)  
沈涛, 宋建社. 激光制导武器实时波门选通信号技术分析[J]. *弹箭与制导学报*, 2006, 26(4): 393 - 400.
- [8] Liu Feng, Ying Jiaju, Liu Mingming. Analysis of laser active jamming effect based on union probability distribution [J]. *Electro-optic Technology Application*, 2013, 28(4): 86 - 88. (in Chinese)  
刘锋, 应家驹, 刘明明. 基于联合概率分布的激光有源干扰效果分析[J]. *光电技术应用*, 2013, 28(4): 86 - 88.
- [9] Xie Kai, Chen Yongguang, Wang Liandong, et al. Analysis, modeling & evaluation of range gate pull off designs [J]. *System Engineering and Electronics*, 2006, 28(8): 1158 - 1163. (in Chinese).  
解凯, 陈永光, 汪连栋, 等. 距离波门拖引方案的分析建模与评估[J]. *系统工程与电子技术*, 2006, 28(8): 1158 - 1163.
- [10] Xia Xingyu, Zhang Song, Yan Li. Simulation research on time-gate width optimizing for semi-active laser-guided weapon [J]. *Tactical Missile Technology*, 2014, (3): 45 - 48. (in Chinese)  
夏兴宇, 张颂, 严立. 激光半主动制导武器波门宽度优化仿真研究[J]. *战术导弹技术*, 2014, (3): 45 - 48.
- [11] Tong Zhongcheng. Simulation research on ahead-time of laser-angle-cheating jamming signal [J]. *Acta Armamenta-*

- rii, 2008, 29(5): 633 - 636. (in Chinese)
- 童忠诚. 激光角度欺骗干扰信号超前时间的仿真研究[J]. 兵工学报, 2008, 29(5): 633 - 636.
- [12] Li Haiyan. Countermeasure analysis of laser guidance weapon active jamming[J]. Laser Journal, 2010, 31(6): 57 - 58. (in Chinese)
- 李海燕. 激光制导武器有源干扰对抗措施分析[J]. 激光杂志, 2010, 31(6): 57 - 58
- [13] Chu Zhenfeng, Wang Defei, Wang Jinfeng, et al. A laser seeker jamming strategy based on wave gate decoy[J]. laser technology, 2016, 40(2): 779 - 781. (in Chinese)
- 楚振锋, 王德飞, 王金峰, 等. 一种基于波门诱偏的激光导引头干扰策略[J]. 激光技术, 2016, 40(2): 779 - 781.
- [14] Shao Xiaodong, Yao Longhai, Zhang Shaokun, et al. Research of laser guided signal sorting and code recognition technique[J]. Laser Technology, 2011, 35(5): 648 - 651. (in Chinese)
- 邵晓东, 姚龙海, 张少坤, 等. 激光制导混合信号分选及编码识别技术研究[J]. 激光技术, 2011, 35(5): 648 - 651.
- [15] Zhao Guoqing. Fundamentals of radar countermeasure [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1999: 187 - 188. (in Chinese)
- 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999: 187 - 188.