

引用格式:韩帅涛,李文生,何斌斌,等.激光角度欺骗干扰系统作战效能研究[J].电光与控制,2019,26(12):84-87. HAN S T, LI W S, HE B B, et al. Operational effectiveness of a laser angle deception jamming system[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(12):84-87.

激光角度欺骗干扰系统作战效能研究

韩帅涛, 李文生, 何斌斌, 朱常吉

(中国人民解放军63893部队,河南洛阳 471000)

摘要:通过对激光角度欺骗干扰系统干扰全过程的分析,给出了角度欺骗干扰作战效能的计算方法;通过分析影响激光角度欺骗式干扰成功率的因素,得到相对应的概率,并最终计算出激光角度欺骗干扰的作战效能。通过作战效能的分析计算,可为激光角度欺骗干扰指挥员更好地实施激光角度欺骗干扰提供一定的决策指导,以发挥该激光角度欺骗干扰系统更大的作战效能。

关键词:激光; 角度欺骗; 作战效能; 干扰成功率

中图分类号: TN249 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2019.12.017

Operational Effectiveness of a Laser Angle Deception Jamming System

HAN Shuai-tao, LI Wen-sheng, HE Bin-bin, ZHU Chang-ji

(No. 63893 Unit of PLA, Luoyang 471000, China)

Abstract: The calculating method of the operational effectiveness of laser angle deception jamming is obtained by analyzing the whole jamming process of the laser angle deception jamming system. Then, by analyzing the factors affecting the success rate of laser angle deception jamming, the corresponding probability is obtained and the operational effectiveness of laser angle deception jamming is finally calculated. The analysis and calculation of operational effectiveness can provide a decision guidance for laser angle deception jamming commanders to better implement laser angle deception jamming, so as to enhance the operational effectiveness of the laser angle deception jamming system.

Key words: laser; angle deception; operational effectiveness; success rate of jamming

0 引言

目前对激光角度欺骗干扰全过程的研究较少,缺乏对干扰整体过程的定量分析,现有的文献^[1-6]也多是针对干扰过程中的某一个环节进行分析,缺乏结合训练任务对整个干扰过程进行的整体分析。基于此,本文从影响干扰效果的因素入手进行分析,推理得到整个干扰过程作战效能的计算公式,对于根据干扰效果来定量寻找原因、提高干扰作战的效能具有十分重要的意义。

1 作战效能概率统计分析

激光角度欺骗干扰系统的作战过程为:当系统告警器收到威胁目标信号后,迅速对其进行编解码识别,

然后选择合适的干扰功率、干扰超前时间,向事先布置好的假目标发射干扰激光,若干扰激光能够进入导引头视场、能量大于导引头最小可探测激光功率,且干扰超前时间设定得也比较合理,则导引头就会被引偏至假目标处,使真目标得到保护。分析整个干扰过程,并且考虑到激光角度欺骗干扰有可能无效的情况,可以得到半主动激光制导武器在激光角度欺骗干扰作用下对真目标的杀伤率 $P_{\text{杀}}$ 为

$$P_{\text{杀}} = (1 - P_{\text{干}}) \cdot P_{\text{无}} + P_{\text{干}} \cdot P_{\text{成}} \quad (1)$$

式中: $P_{\text{干}}$ 为激光角度欺骗干扰的成功率; $P_{\text{无}}$ 为激光角度欺骗干扰无效时半主动激光制导武器对目标的杀伤率; $P_{\text{成}}$ 为激光角度欺骗干扰成功的情况下,半主动激光制导武器存在弹道误差时对真目标的杀伤率。

半主动激光制导武器对真目标杀伤则代表激光角度欺骗干扰作战失败。因此,得到基于激光角度欺骗干扰系统干扰作战效能 $P_{\text{效}}$ 为

$$P_{\text{效}} = 1 - P_{\text{杀}} \quad (2)$$

收稿日期:2018-12-25

修回日期:2019-03-05

基金项目:63893部队一般性项目

作者简介:韩帅涛(1988—),男,河南汝州人,硕士,工程师,研究方向为光电对抗。

2 影响激光角度欺骗干扰成功率的因素

影响激光角度欺骗干扰系统成功率的因素主要有：告警头对激光信号截获和对激光编码的识别、假目标的战术配置、干扰激光功率的设定、干扰激光能否超前于制导激光进入导引头的波门、制导激光载体能否生存等。因此，激光角度欺骗干扰系统对半主动激光制导武器干扰成功的概率 P_{\mp} 为

$$P_{\mp} = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5) \cdot P_6 \quad (3)$$

式中： P_1 为告警头对激光信号截获的概率； P_2 为告警头对激光编码的识别率； P_3 为假目标战术配置的正确率； P_4 为干扰激光功率设定的正确率； P_5 为干扰激光比制导激光超前进入导引头波门的概率； P_6 为制导激光载体的生存率。

2.1 激光告警头的配置

激光告警头对激光进行成功告警是激光角度欺骗干扰得以实施的前提，只有激光告警头能正确识别出指示激光才能引导干扰激光对激光导弹进行角度欺骗。

在该光电对抗系统中，告警设备的布站与组网由告警设备的数量、防护目标的大小及周围地形决定，要坚持“一个原则、二种形式、三个注意”：一个原则为要避免漏警区；二种形式为线型和三角型；三个注意指告警空域要通视，重点区域要重叠，布站位置要灵活。

告警头的部署直接影响其对激光信号截获的概率 P_1 ，本文采用专家评估的方法进行打分，专家评估的原则是基于历年训练数据累计的综合评估结果。

2.2 激光脉冲的编码及识别

激光脉冲编码是通过调制激光的脉冲间隔、相位、脉冲宽度、连续频率、偏振方向等使激光携带信息，在发射端进行调制，在接收端进行解调。目前常用的激光编码方式主要有精确频率码、等差序列码、有限位随机编码、二变间隔码、伪随机码等。

在历年的训练任务中，进行了大量的信号编码识别训练，通过计算编码识别率得到了大量的编码识别成绩，可作为重要的评估标准。编码识别率的定义为我军在规定时间内探测到的正确信号批次与假想敌在规定时间内发射的信号批次之比，即

$$P_2 = n_c/n_i \quad (4)$$

式中： n_c 为我方在规定时间内探测到的正确信号批次； n_i 为假想敌在规定时间内发射的信号批次。

2.3 假目标影响因素分析

假目标对于激光角度欺骗干扰系统来说是很重要的设备。在实战中，假目标可以是随处可见的自然地物，也可以是事先布置好的人工假目标。本文研究人工布设的假目标，此类假目标需满足反射的激光能到

达激光导引头的视场范围内，在此基础上，考虑到导弹的炸伤半径，假目标离真目标越远越好。图 1 所示为假目标位置示意图。

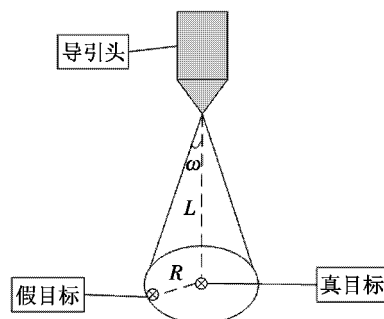


图 1 假目标位置示意图

Fig. 1 Position of false target

假目标与真目标的距离 R 须满足

$$R \leq L \times \tan \omega \quad (5)$$

式中： L 为真目标到导引头的距离； ω 为导引头视场角的一半。

该激光角度欺骗干扰系统所用假目标都是已经涂抹好反射物质的漫反射板，可以调节的参数主要有漫反射板的倾斜角、距离和朝向。发挥假目标最大效用的方法是尽可能使假目标朝向来袭导弹飞来的方向。在该激光角度欺骗干扰系统中，漫反射板一般部署在距离干扰激光器 90 ~ 120 m 的地方，倾角一般会在 30° ~ 60° 这个范围内。

在实际作战和训练中，漫反射板假目标的战术配置直接影响实际作战的效能，部署得越好，半主动激光制导武器被诱偏的可能性就越大。由于假目标的部署受地形、气象等因素的影响较大，因此，多采用专家评估的方法对假目标战术配置的正确率 P_3 进行打分，以得出其对作战效能的影响大小。

2.4 干扰激光功率设置

设激光信号被导引头接收到的功率为 W_j ，干扰激光信号输出的功率为 W_i ，则两者的关系为

$$W_j = \frac{t_1 t_2 \cos \alpha e^{-\mu(R_1 + R_2)} \rho W_i A}{\theta R_2^2} \quad (6)$$

式中： t_1 为干扰激光发射系统的透过率； t_2 为导引头接收系统的透过率； α 为来袭导弹与漫反射板反射点连线与漫反射板法线的夹角； μ 为大气衰减系数； R_1 为干扰机到反射点的距离； R_2 为导引头到反射点的距离； ρ 为假目标表面的反射率； A 为导引头接收到的激光光斑面积； θ 为真目标反射的立体角。

要想成功地实现激光角度欺骗干扰，需满足 $W_j > W_{\min}$ ，其中， W_{\min} 为导引头最小可探测的激光功率。

对于干扰激光功率设定的正确率 P_4 ，须结合激光角度欺骗干扰系统本身的性能进行判断。

2.5 干扰激光信号超前时间设置

在角度欺骗干扰系统中,要想成功地实现角度诱偏,还需满足干扰激光信号超前于制导激光到达来袭导弹导引头的视场,这也就是时间相关的问题。

导引头接收制导激光信号的时间过程符合正态分布,因此可以用正态分布来解算概率。原点设定为波门的中间时刻,可得到概率密度函数为

$$f_1(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{t_1^2}{2\sigma_1^2}} \quad (7)$$

式中, σ_1 为激光制导信号的时间精度。要想使导引头接收制导激光的概率超过99%,则须满足正态分布的 3σ 原则,可得

$$\Delta\tau \geq 6\sigma_1 \quad (8)$$

同样,对于干扰激光信号来说也符合正态分布,原点设定为波门的中间时刻,可得到概率密度函数为

$$f_2(t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{t_2^2}{2\sigma_2^2}} \quad (9)$$

式中, σ_2 为干扰信号的时间精度。

而 t_1, t_2 是相互独立的量,根据两个随机变量函数的概率分布可知, $t_1 - t_2$ 仍然服从正态分布,因此干扰激光信号比制导信号超前进入来袭导弹导引头波门的概率 P_5 可表示为

$$P_5 = \int_{-\Delta\tau/2}^{\Delta\tau/2} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} e^{-\frac{(t-\Delta\tau)^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} dt \quad (10)$$

式中: $\Delta\tau$ 为波门宽度; Δt 为干扰激光信号超前的时间。

取 $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$,令 σ 为 $5 \mu\text{s}$,则根据式(10)得到干扰成功率与干扰超前时间、波门宽度的关系图,见图2。

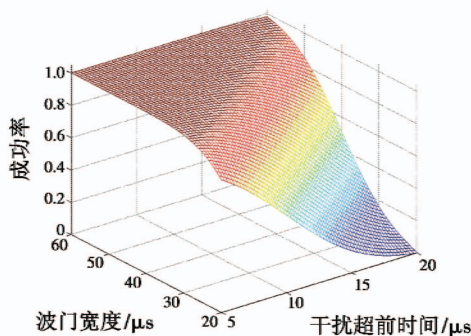


图2 干扰成功率与干扰超前时间、波门宽度的关系图

Fig. 2 The relationship of jamming success rate with jamming lead time and gate width

从图2可以看出:干扰激光信号比制导信号超前进入来袭导弹导引头波门的概率与波门宽度和干扰超前时间均有关,并且随着波门宽度的增大,成功率增大;随着干扰超前时间的增大,成功率减小。通过图2可以在给定干扰超前时间及波门宽度的情况下得到干扰信号超前进入波门概率 P_5 。

2.6 制导激光载体的生存率

半主动激光制导武器在攻击期间,主要采用两种方式发射激光制导信号,一种为地面照射,另一种为空中载机照射。本文重点分析一下作战中经常采用的空中载机照射的方式。空中载机在进行照射时要面对地面防空兵器的威胁,假设在战场上防空武器对照射飞机的射击次数为

$$n = \phi \cdot \left[\frac{t}{\Delta t} + 1 \right] \quad (11)$$

式中: t 为从射击开始到照射结束的时间; Δt 为防空兵器平均的射击周期; $[\]$ 为取整运算; ϕ 为防空兵器在不同航向角下的一个系数,若从各个航向角都能射击则 $\phi = 2$,若仅从前后半球的单个半球射击则 $\phi = 1$ 。

假设防空兵器在没有任何干扰的情况下对照射飞机击中的概率为 w_0 ,则可得照射飞机在战场上面对防空武器时的生存概率为

$$P_6 = (1 - w_0)^n \quad (12)$$

3 激光角度欺骗干扰成功后对真目标的杀伤率

激光角度欺骗干扰的成功可把来袭导弹诱偏至假目标处,但由于导弹都有一定的炸伤半径,要考虑到战场环境中的投弹精度、风速等因素,还需考虑角度欺骗干扰成功后对真目标杀伤的概率。

设来袭导弹到达的地面平面为 Oxy ,导弹到达的位置坐标为 (x, y) ,由于 x 与 y 相互独立,则可得关于 x, y 的概率密度函数为

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2}\right)} \quad (13)$$

式中: σ_x 和 σ_y 代表弹道精度; (x_0, y_0) 代表理想弹道与实际弹道的误差。当没有误差时, (x_0, y_0) 为 $(0, 0)$,可得此时来袭导弹对真目标的杀伤概率为

$$P_{\bar{\pi}} = \int_{-R_s}^{R_s} dx \int_{-R_s}^{R_s} f(x, y) dy = \int_{-R_s}^{R_s} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}} dx \int_{-R_s}^{R_s} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \quad (14)$$

式中, R_s 为来袭导弹的杀伤半径。

以美军“宝石路”激光制导炸弹^[7]为例,其圆公算误差 E_{CEP} 为6 m,则由

$$E_{\text{CEP}} = 0.589(\sigma_x + \sigma_y), \quad (15)$$

并假设 $\sigma_x = \sigma_y$,可得 $\sigma_x = \sigma_y = 5.1 \text{ m}$ 。

在海湾战争中,由于美军事先把伊拉克的防空系统摧毁殆尽,因此美军激光制导炸弹基本上是在没有干扰的情况下作战,战后统计命中率为90%^[8],即 $P_{\bar{\pi}} = 0.9$,代入式(14)得到 $R_s \geq 9.94 \text{ m}$ 。

激光角度欺骗干扰对于来袭导弹来说可以看作是引入了误差,此时的 (x_0, y_0) 可看作真目标与假目标之间的距离。因此可以得到在激光角度欺骗干扰成功后,来袭导弹对真目标的杀伤率为

$$P_{\text{成}} = \int_{-R_x}^{R_x} dx \int_{-R_y}^{R_y} f(x, y) dy = \int_{-R_x}^{R_x} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2}} dx \int_{-R_y}^{R_y} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}} dy \quad (16)$$

根据上面的分析将无干扰时得到的 R_x 值代入式(16)得到杀伤率与真假目标间距离的关系图,见图 3。

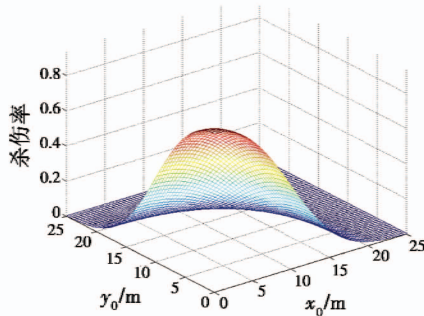


图 3 杀伤率与真假目标间距离的关系图

Fig.3 The relationship between the killing rate and the distance from the false target to the real target

4 作战效能计算举例

1) 例 1。

设目标指示器采用两变间隔码,设定告警头对激光信号截获的概率 $P_1 = 97.5\%$; 对其编码的识别率 $P_2 = 86.3\%$; 假目标战术配置的正确率 $P_3 = 96\%$; 干扰激光功率设定的正确率 $P_4 = 99\%$; 取波门宽度 $\Delta\tau = 40 \mu\text{s}$, 干扰激光信号超前的时间 $\Delta t = 10 \mu\text{s}$, $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = 5 \mu\text{s}$, 得到干扰激光超前于制导激光进入导引头波门的概率 $P_5 = 97.72\%$; 假设制导激光载体的生存率 $P_6 = 88.74\%$; 根据前面的分析可知 $P_{\text{无}} = 90\%$; 假目标布设距离为 100 m 时,通过式(16)可得 $P_{\text{成}} = 0$ 。

根据式(3)可得 $P_{\text{干}} = 80.61\%$, 根据式(1)可得半主动激光制导武器在激光角度欺骗干扰作用下对真目标的杀伤率 $P_{\text{杀}} = 17.45\%$ 。可见采取角度欺骗干扰后,半主动激光制导武器对目标的杀伤概率由先前的 90% 下降到 17.45%。

通过式(2)可得到基于激光角度欺骗干扰系统的作战效能 $P_{\text{效}} = 82.55\%$ 。

2) 例 2。

设目标指示器采用 20 Hz 重频码,设定告警头对激光信号截获的概率 $P_1 = 98.8\%$; 对其编码的识别率 $P_2 = 94.3\%$; 假目标战术配置的正确率 $P_3 = 92\%$; 干扰激光

功率设定的正确率 $P_4 = 98\%$; 在这里取波门宽度 $\Delta\tau = 29 \mu\text{s}$, 干扰激光信号超前的时间 $\Delta t = 11 \mu\text{s}$, $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = 2 \mu\text{s}$, 得到干扰激光超前于制导激光进入导引头波门的概率 $P_5 = 95.08\%$; 假设制导激光载体的生存率 $P_6 = 90.34\%$; 根据前面的分析可知 $P_{\text{无}} = 90\%$; 假目标布设距离为 120 m 时,通过式(16)可得 $P_{\text{成}} = 0$ 。

根据式(3)可得 $P_{\text{干}} = 81.81\%$, 根据式(1)可得半主动激光制导武器在激光角度欺骗干扰作用下对真目标的杀伤率 $P_{\text{杀}} = 16.37\%$ 。可见采取角度欺骗干扰后,半主动激光制导武器对目标的杀伤概率由先前的 90% 下降到 16.37%。

通过式(2)可得基于激光角度欺骗干扰系统的作战效能 $P_{\text{效}} = 83.63\%$ 。

5 总结

本文通过对激光角度欺骗干扰系统干扰全过程的分析,给出了角度欺骗干扰作战效能的计算方法,并通过分析影响激光角度欺骗式干扰成功率的因素:告警头对激光信号截获和对激光编码的识别、假目标的战术配置、干扰激光功率的设定、干扰激光能否超前于制导激光进入导引头的波门、制导激光载体能否生存等,得到了相对应的概率。最后,通过举例计算了在某种情况下基于激光角度欺骗干扰系统的作战效能。通过作战效能的分析计算可为激光角度欺骗干扰指挥员更好地实施激光角度欺骗干扰提供一定的决策指导,以发挥激光角度欺骗干扰系统更大的作战效能。

参考文献

- [1] FINE N E, KRING D C, BIRNBACH C A. Central laser source based passive countermeasure system: US, 20100 254154[P]. 2010-10-07.
- [2] ILG M D. Guidance, navigation, and control for munitions [D]. Philadelphia: Drexel University, 2008.
- [3] 亓刚. 对激光角度欺骗干扰技术的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [4] 杨宝庆, 余锋, 赵文波, 等. 激光角度欺骗干扰系统作战效能分析[J]. 光电技术应用, 2007, 22(3): 5-7.
- [5] 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.
- [6] 臧永强, 刘志国, 王仕成, 等. 激光角度欺骗干扰的数学仿真[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(12): 3234-3240.
- [7] 王狂飙. 激光半主动制导技术的新发展[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(s1): 275-279.
- [8] 刘建斌. 雾对激光制导的影响及卫星表面光散射研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.