

文章编号:1001-5078(2023)06-0927-06

· 光电对抗 ·

# 基于重要目标防护激光诱偏弹道仿真分析与运用研究

邹景岚, 梁 广, 高俊光, 张启鹏  
(63893 部队, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**军用激光系统在现代战场上的大量应用对作战人员和装备造成严重威胁,各军事强国越来越重视激光对抗技术的研究与应用。随着部队需求的不断变化和深入,激光诱偏干扰设备应用迫切需要探索新的更加符合实战要求的干扰方法。本文通过理论分析,对光电防护盲区进行了分析,并结合实验进行了验证,通过 MATLAB 对外军典型激光武器诱偏弹道进行了仿真分析,并对级联干扰方法进行了可行性探究,为战法运用的完善提供了思路。

**关键词:**激光诱偏;防护盲区;弹道仿真;级联干扰

中图分类号:O434.3;TN977 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2023.06.018

## Simulation analysis and application research of laser decoupling trajectory based on important target protection

ZOU Jing-lan, LIANG Guang, GAO Jun-guang, ZHANG Qi-peng  
(63893 troop of PLA, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** The extensive application of military laser system in modern battlefield poses a serious threat to fighters and equipment. The military powers are placing increasing emphasis on the research and application of laser countermeasure technology. With the continuous change and deepening of the requirements of the army, there is an urgent need to explore new and more realistic methods of the application of laser decoupling interference equipment. In this paper, through theoretical analysis, the blind zone of photoelectric protection is analyzed and verified by experiments. The simulation analysis of typical laser weapon decoupling ballistics of foreign military is carried out through MATLAB, and the feasibility of cascade interference method is explored, which provides ideas for the perfection of the application of warfare methods.

**Keywords:** laser decoupling; protective blind zone; trajectory simulation; cascade interference

### 1 引言

激光制导武器主要分为激光制导火炮、激光制导导弹和激光制导炸弹等三种类型,在以往战争中激光制导武器命中的精确达到了90%,对打击目标产生了巨大的威慑效果。由于激光对抗技术在军工领域广泛的应用,如何有效进行激光干扰,保护己方不受威胁已成为激光对抗的主要部分<sup>[1-4]</sup>。其主要

工作原理是通过激光诱偏干扰设备发射诱偏光或者通过预设目标物反射激光辐射信号,形成对导引头有欺骗效果的激光干扰信号,使得敌方激光制导武器发生距离和方位上的判断失误,从而达到降低光电武器作战效能的目的<sup>[5-7]</sup>。本文主要针对激光诱偏干扰对重要目标的防护能力,分析了不同来敌方向下的防护范围、对敌弹道诱偏过程进行了仿真分

作者简介:邹景岚,女,硕士,助理工程师,主要从事光电对抗方面的研究。E-mail:jinglanzou@sina.com

通讯作者:梁 广,男,硕士,助理工程师,主要从事电子对抗方面的研究。E-mail:m18800139133@163.com

收稿日期:2022-08-20;修订日期:2022-09-13

析,并对级联干扰方法进行了可行性验证。

## 2 激光诱偏干扰原理

激光诱偏干扰设备一般由激光告警、信息处理器、干扰机和反射物等分系统组成<sup>[8-10]</sup>。具体干扰原理是:激光诱偏告警器与防护目标紧邻布设,按照预案方案布设 3~6 个假目标,打开激光诱偏干扰系统,当告警范围内出现敌方激光制导武器信号时,激光告警器自动发出警报信息,破译激光威胁信号的位置以及编码信息;同是处理器对探测到的威胁信号进行复制,干扰机将复制得到的激光威胁信号超前转发,照射到预设的假目标(或使用光线诱饵直接出光诱偏),如图 1 所示,防护目标不受激光制导武器的打击。

激光诱偏干扰假目标的布设<sup>[11]</sup>决定着干扰是否成功的关键,其假目标主要分为干扰激光器在侦察告警设备的引导下,对假目标进行照射与使用激光诱饵头直接向外辐射能量两种方式。为形成有效干扰,激光末制导武器导引头开始工作后,假目标要处于激光末制导武器导引头的视场范围内。设激光末制导武器导引头的瞬时视场角为  $\pm\alpha$ ,导引头和目标之间的距离为  $T$  km。在保证诱偏成功的情况下,还应考虑激光制导武器的杀伤半径,最终的布设距离应是大于杀伤半径,所以要尽量增大布设距离,以保证目标受到大当量炸弹攻击时不受到毁伤。

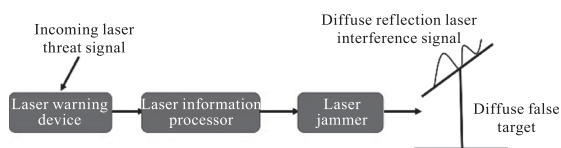


图 1 激光诱偏干扰设备组成及干扰原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the composition and interference principle of laser decoupling interference equipment

## 3 理论计算与实验验证

### 3.1 单站诱偏干扰

#### 3.1.1 最大有效作用范围

目前常见的激光诱偏干扰设备主要包括对假目标进行照射与使用激光诱饵头直接向外辐射能量两种方式<sup>[12]</sup>,本文主要以光纤诱饵激光诱偏设备为例。为更好进行光纤诱饵战术配置计算,本文将光纤诱偏过程简化,其示意图如图 2 所示。对激光制导武器进行诱偏干扰,其中导引头的视场为  $\pm\alpha$ , $\beta$  表示导引头与真实目标之间的夹角, $R_1$  表示武器杀

伤半径, $R_2$  表示诱饵布设最远距离, $S$  为防护目标和激光制导武器的水平距离, $H$  为激光制导武器高度,此时导引头与防护目标的实际距离  $T$  为:

$$T = \sqrt{S^2 + H^2} \quad (1)$$

设敌激光制导武器在空中引导飞行时,其与防护目标的水平距离为  $S$ ;垂直距离为  $H$ ;夹角为  $\beta$ ,即可计算诱偏信号的有效诱偏半径  $R_2$ 。

考虑保护目标对诱饵诱偏光路的遮挡,结合诱饵的实际使用情况,不考虑将诱饵布设在目标后方,此时  $R_2$  与敌激光制导武器与防护目标的实际距离  $T$  之间的关系为:

$$\frac{T}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{R_2}{\sin\alpha} \quad (2)$$

得出诱偏信号有效诱偏半径  $R_2$  :

$$R_2 = \frac{\sqrt{S^2 + H^2} \sin\alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (3)$$

最后,若设敌激光制导武器的有效毁伤半径为  $R_1$ ,得光纤诱饵的配置范围为:

$$\left\{ R \mid R_1 \leq R \leq \frac{\sqrt{S^2 + H^2} \sin\alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \right\} \quad (4)$$

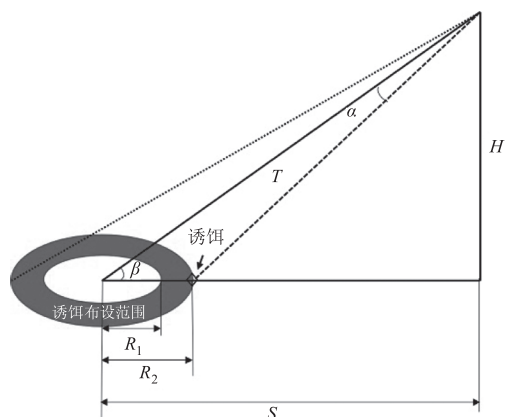


图 2 诱偏干扰假目标战术配置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the tactical configuration of decoupling and jamming false targets

当诱饵布设在目标正前方时,此时诱饵可以布设的距离最大。若设定导引头视场角  $\alpha$  为  $3^\circ$ ,当投弹高度与距离不同时,诱饵最大布设范围与投弹高度、距离之间的关系如图 3 所示。

根据应用条件和设备情况,设置  $H$  为 1 km, $\alpha$  为  $3^\circ$ ,激光导引头和被防护目标距离为  $S$ ,当  $S$  为 1 km、2 km、3 km、4 km 时,将激光诱饵布设在距离防护目标 100 m、200 m、400 m、700 m 位置处。使用的激光目标指示器波长为  $1.06 \mu\text{m}$ ,设置指示器

发出的激光编码样式为精确重频 20 Hz,在激光告警器正常告警后对导引头进行诱偏干扰,其干扰结果如表 1 所示,理论分析与实验结论相互吻合。

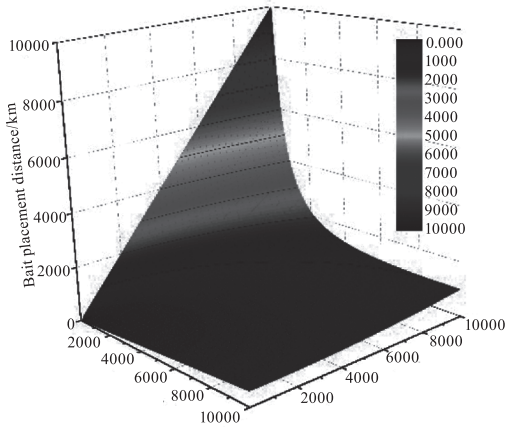


图3 诱饵最大布设范围与导弹发射距离、高度的关系

Fig.3 Relationship between the maximum bait deployment distance and missile launch distance and altitude

表 1 不同诱偏距离下激光诱偏设备的干扰效果  
Tab.1 Interference effect of laser decoupling equipment under different bait deployment distances

Missile launch distance/km	Bait deployment distance/m	Laser frequency/Hz	Interference effect
1	100	20	Succeed
2	200	20	Succeed
3	400	20	Succeed
4	700	20	Succeed

### 3.1.2 单站干扰最小盲区配置

对重要目标进行防护时,应尽量减少防护盲区,使得诱饵光束始终可以进入导引头视场,确保目标防护的可靠有效<sup>[13-15]</sup>,此时设导引头视场角为  $\alpha$ ,导引头与防护目标之间的夹角为  $\beta$ ,导引头与防护目标之间的距离为  $T$ ,诱饵诱偏距离为  $R$ ,则  $R$  可表示为:

$$R = \frac{T \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (5)$$

当达到最小诱偏距离  $R_0$ ,此时  $\alpha + \beta = 90^\circ$ ,如图 4 所示,此时  $R_0 = T \sin \alpha$ ,即将诱饵放置于以靶标为圆心,  $R_0$  为半径的圆形区域内。

### 3.1.3 典型激光制导武器防护半径仿真分析

激光制导武器末段自导方法主要分为三种:姿态追踪导引法、速度追踪导引法、比例导引法。比例导引法得出的弹道更加平滑,可以充分发挥导弹的机动能力,提高导弹的命中精度,所以本文采用比例

引导法进行仿真分析<sup>[16-19]</sup>。

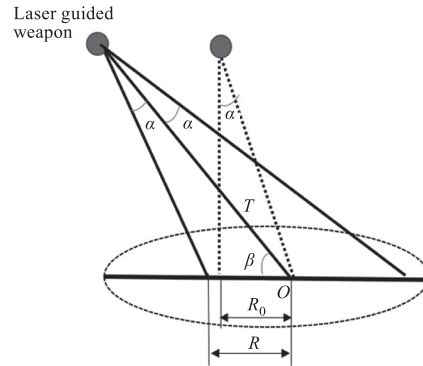


图4 最小盲区配置示意图

Fig.4 Schematic diagram of minimum blind zone configuration

当采用比例导引法引导激光武器自导时,激光武器飞行速度向量的转动角速度与防护目标的转动角速度成正比。导引关系为:

$$\frac{d\sigma}{dt} = K \frac{dq}{dt} \quad (6)$$

所以,按比例导引法推导出运动方程:

$$\frac{dr}{dt} = v_m \cos \delta_m - v \cos \delta \quad (7)$$

$$r \frac{dq}{dt} = v \sin \delta - v_m \sin \delta_m \quad (8)$$

$$q = \sigma + \delta \quad (9)$$

$$q = \sigma_m + \delta_m \quad (10)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = K \frac{dq}{dt} \quad (11)$$

不考虑激光武器的横向摇摆,只考虑垂直平面,化简方程(11)为:

$$\frac{d\theta}{dt} = K \frac{dq}{dt} \quad (12)$$

式中,  $r$  为激光武器到保护目标的矢量距离;  $q$  为激光武器相对防护目标的航向角;  $\sigma$  为激光武器路径倾斜角度;  $\theta$  为激光武器倾斜角度;  $\delta$  为激光武器初始角度;  $\delta_m$  为防护目标初始角度;  $v$  为激光武器速度;  $v_m$  为防护目标速度;  $K$  为系数。

结合外军典型的激光制导武器<sup>[20-22]</sup>,对其理论布设区域进行分析,设置激光制导武器距离目标 4 km时,诱饵对导引头进行诱偏,投弹高度为 4 km。在此种情况下,宝石路、AGM-114 海尔法导弹及 AP-KWS II 70 mm 制导火箭弹的视场角及诱偏距离(根据公式(5)可计算得出)分别如表 2 所示,利用 MATLAB 仿真软件对三种典型武器的弹道进行诱偏分析,结果如图 5 所示。

表 2 外军典型激光制导武器的  
视场角及诱偏距离

Tab.2 Field of view and deployment distance  
of typical laser-guided weapons of foreign military

	GBU	AGM-114	APKWS II 70 mm
Field of view/(°)	±3	±5	±2
Deployment distance/m	398	644	270

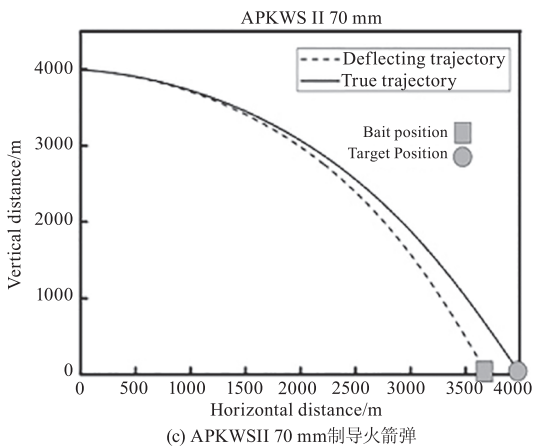
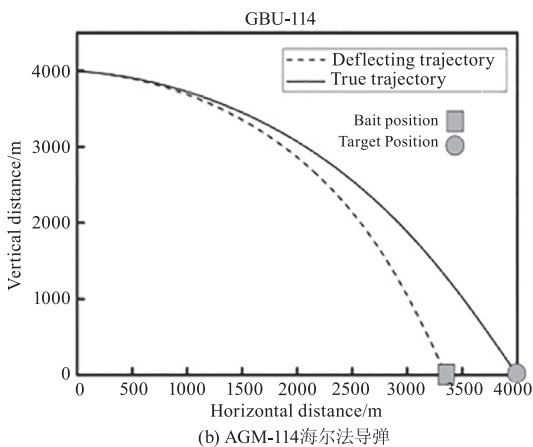
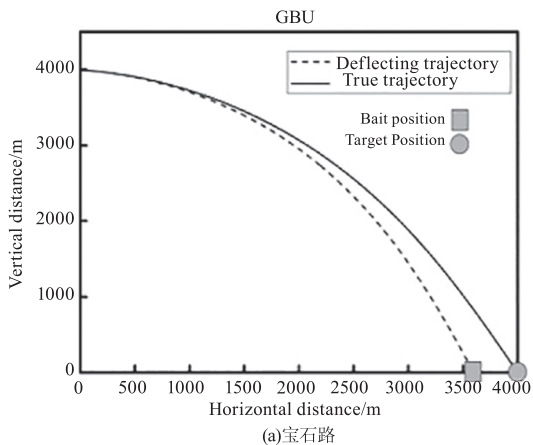


图 5 三种典型外军激光制导武器诱偏弹道仿真  
Fig.5 Simulation of three typical foreign military  
laser-guided weapons deflecting trajectory

### 3.2 级联诱偏干扰

在实际作战过程中,受到武器导引头视场作用范围的限制,在进行激光诱偏干扰时,其诱偏距离往往较短,当武器火药当量较大时,很难满足诱偏距离大于杀伤半径的要求,这就使得即使成功诱偏,但是重要作战目标仍然被毁伤,不能形成有效干扰。为了解决这一问题,我们采用级联干扰的方式对导引头进行接力干扰,使用多个诱饵和激光告警器,当第一套诱偏设备成功诱偏导引头偏离真实目标并进入下一个诱偏视场时,此时诱饵 1 出的光照射诱饵 2 的告警器,促使诱饵 2 出光,实现级联干扰,达到增大诱偏距离的目地。

在与 3.1 小节同等实验条件下,由两个诱饵同时对导引头进行级联干扰,由于实际场地大小限制,设置诱饵 1 距离防护目标 120 m,两个诱饵之间距离 110 m,诱饵布设示意如图 6 所示。为观察实验效果,为诱饵 2 告警器设置遮罩,使仅留的一个告警窗口正对诱饵 1,屏蔽其他杂散光干扰。告警器 1 接收到 200 个脉冲后,诱饵 1 出光开始自主干扰,当告警器 1 识别的脉冲数达到 400 即告警器 2 收到的脉冲数达到 200 时,诱饵 2 出光干扰。

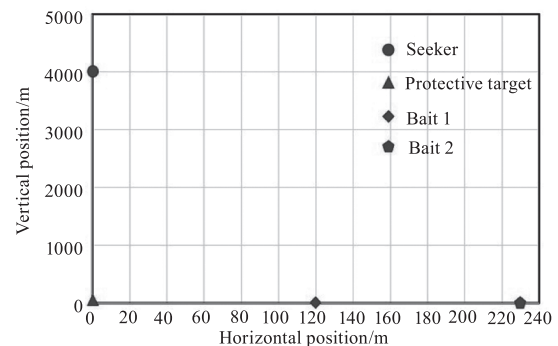


图 6 级联干扰诱饵配置示意图

Fig.6 Schematic diagram of cascaded jammer bait configuration

实验过程中,告警器 2 成功告警。实验后导引头方位角数据如图 7 所示,在 400 个脉冲左右时,导引头受到干扰,800 个脉冲时,诱偏角度增大。诱偏角度发生变化,角度增大,表明布设距离更远的诱饵 2 成功对导引头进行诱偏,级联干扰成功,从而有效增大了防护范围。

### 4 结 论

本文根据激光制导的威胁信息,建立防护距离评估模型,分析了诱偏防护过程中诱饵的布设范围,针对典型防护武器,分析了诱饵在激光制导武器不

同来袭方向、高度时的布设要求,并通过实验进行了验证。通过 MATLAB 对外军几种典型制导武器的弹道以及诱偏落点进行了仿真模拟,导引头视场越大,诱饵可引偏的布设范围越大。为进一步增大防护距离,对目标形成有效防护,本文对双诱饵级联干扰进行了实验探究,两诱饵成功接力,对激光制导武器接力引偏。上述结论为激光诱偏系统的考核及战术布设提供了理论依据,具有较强的实用价值。

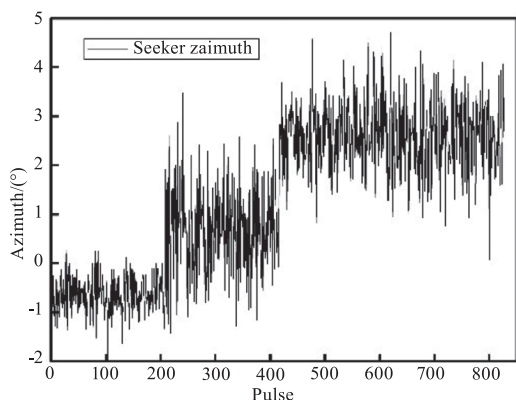


图7 级联干扰中导引头方位角随脉冲数的变化

Fig. 7 Variation of seeker azimuth with pulse number in cascade jamming

## 参考文献:

- [1] Su Tianqiao, Liu Zhiguo, Man Fangfang. Study on the evaluation method of laser induced interference effect[J]. Electronics Optics & Control, 2022, 29(8): 23-29, 97. (in Chinese)  
宿天桥, 刘志国, 满芳芳. 激光诱偏干扰效果评估方法研究[J]. 光电与控制, 2022, 29(8): 23-29, 97.
- [2] Hu Q L, Huo J T, Miao X K, et al. Simulation of false-alarm area of laser guidance based on Mie scattering model[J]. Optoelectronics Letters, 2021, 17(4): 236-240.
- [3] Wang Yizhi, Wang Bin, Zhao Luda. Operational configuration calculation of laser decoy equipment for fixed missile positions[J]. Aerospace Electronic Countermeasures, 2021, 37(1): 19-24. (in Chinese)  
王亦之, 王斌, 赵禄达. 固定导弹阵地激光诱饵装备作战配置计算[J]. 航天电子对抗, 2021, 37(1): 19-24.
- [4] Gao Wei, Ru Zhibing, Lei Haili, et al. Application of laser induced interference technology in vehicle active protection system[J]. Journal of Applied Optics, 2019, 40(2): 217-222. (in Chinese)  
高玮, 茹志兵, 雷海丽, 等. 激光诱偏干扰技术在车载主动防护系统中的应用[J]. 应用光学, 2019, 40(2): 217-222.
- [5] Chen Wei, Gong Cikun, Lu Jun, et al. Selection of laser angle deceptive interference to nature objects[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(2): 452-456. (in Chinese)  
陈蔚, 龚赤坤, 陆君, 等. 激光角度欺骗干扰设备对自然地物激光假目标的设置[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 452-456.
- [6] Chu Zhenfeng, Wang Defei, Wang Jinfeng, et al. A laser seeker jamming strategy based on gate decoy[J]. Laser Technology, 2016, 40(6): 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(6): 779-781.
- [7] Gao Junjuang, Xue Fei, Pan Yijia, et al. Study on the training method of laser decoy jamming equipment's live fire countermeasure[J]. Optics & Optoelectronic Technique, 2013, 11(4): 25-28. (in Chinese)  
高俊光, 薛飞, 潘毅佳, 等. 激光诱偏干扰装备实弹对抗训练方法研究[J]. 光学与光电技术, 2013, 11(4): 25-28.
- [8] Ji Q, Zong S, Yang J. Research and design of new laser false target[J]. Laser & Infrared, 2021, 51(9): 1212-1216. (in Chinese)  
吉强, 宗思光, 杨剑波. 新式激光假目标的研究与设计[J]. 激光与红外, 2021, 51(9): 1212-1216.
- [9] Shen T, Liu Z G, Gou X T, et al. Research on collocation method of decoy for laser protection of rectangular military object[J]. Laser & Infrared, 2016, 46(8): 989-993. (in Chinese)  
沈涛, 刘志国, 苟小涛, 等. 长条形军事目标激光防护假目标配置方法研究[J]. 激光与红外, 2016, 46(8): 989-993.
- [10] Huang Jianlu, Shen Tao, Sun Binbin, et al. Research on spatial evaluation technology of laser angle deception and false target interference[J]. Infrared and Laser Engineering, 2021, 50(9): 234-240. (in Chinese)  
黄建鲁, 沈涛, 孙宾宾, 等. 激光角度欺骗假目标干扰空域评估技术研究[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(9): 234-240.
- [11] Zhang S, Zhang X, Sun C. Research on safe distance of ship-based laser deflection decoy jamming system[J]. Acta Armamentarii, 2015, 36(11): 2135-2140. (in Chinese)  
张爽, 张晓辉, 孙春生. 舰载激光引偏干扰系统的安全引

- 偏距离分析[J].工兵学报,2015,36(11):2135-2140.
- [12] Luo Wei, Yang Huabing, Dai Dingcuan, et al. Laser angle spoofing in multi-laser guidance [J]. Laser & Infrared, 2019, 49(12):1461-1466. (in Chinese)  
罗威, 杨华兵, 戴定川, 等. 多激光制导目标时激光角度欺骗干扰问题研究[J]. 激光与红外, 2019, 49(12):1461-1466.
- [13] Han Suaitao, Li Wensheng, He Binbin, et al. Research on combat effectiveness of laser angle deception jamming system[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(12):84-87. (in Chinese)  
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.
- [14] Sun C, Zhang X, Rao J, et al. Layout of diffuse reflection board used for laser decoying[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(3):252-255. (in Chinese)  
孙春生, 张晓辉, 饶炯辉, 等. 激光引偏博彩中海漫反射板假目标的布设方法[J]. 激光与红外, 2013, 43(3):252-255.
- [15] Ma Shiwei. Laser tracking and spoofing demonstration system research[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014. (in Chinese)  
马世伟. 激光跟踪与欺骗干扰演示系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [16] Miao Xikui, Zhao Wei, Zhang Hengwei, et al. Research on time-controlled pulse interval laser coding method[J]. Infrared and Laser Engineering, 2016, 45(10):59-66. (in Chinese)  
苗锡奎, 赵威, 张恒伟, 等. 时间控制脉冲间隔激光编码方法研究[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(10):59-66.
- [17] Hu X, Cao X, Chang Y. Design of a simulation test system for laser decoy jamming effect evaluation[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(7):110-3.
- [18] Wang D, Chu Z, Tang Q, et al. Influence of false targets' scattering characteristic on the laser active decoying effectiveness[J]. Laser & Infrared, 2015, 45(2):199-203. (in Chinese)  
王德飞, 楚振峰, 唐启永, 等. 假目标散射特性对激光有源诱偏效果的影响[J]. 激光与红外, 2015, 45(2):199-203.
- [19] Su T, Liu Z, Man F. Application of high-repetition-rate laser decoy [J]. Electronics Optics & Control, 2022, 29(4):72-76. (in Chinese)  
宿天桥, 外志国, 满芳芳. 高重频激光诱饵运用研究[J]. 电光与控制, 2022, 29(4):72-76.
- [20] Shi Lina, Zhao Jianjun, Zhao Jingxu, et al. Development and application of laser guided weapons[J]. Science and Technology Wind, 2021, (21):187-188. (in Chinese)  
史莉娜, 赵建军, 赵景旭, 等. 激光制导武器发展与应用研究[J]. 科技风, 2021, (21):187-188.
- [21] Liu Zhen, Liu Dongyang. Review on the development of typical laser guided weapons in foreign countries[J]. Missiles for Flight, 2021, (4):20-26. (in Chinese)  
刘箴, 刘东洋. 国外典型激光制导武器发展综述[J]. 飞航导弹, 2021, (4):20-26.
- [22] Zhang Debin, Jiang Qingbo, Wang Yei, et al. Development status of ground laser ranging target indicator abroad[J]. Laser Technology, 2021, 45(1):126-130. (in Chinese)  
张德斌, 江清波, 王晔, 等. 国外地面激光测距目标指示器的发展现状[J]. 激光技术, 2021, 45(1):126-130.