

# 新式激光假目标的研究与设计

吉 强,宗思光,杨剑波

(海军工程大学电子工程学院,湖北 武汉 430033)

**摘 要:**针对现有激光假目标的适用条件与要地防空中使用时的受限之处,为提升激光诱饵作战效能,提出光纤激光诱饵、伴飞无人机两种激光假目标方式,从其概念、使用时机、特点、布设方法和载机、材料的选择几个方面进行分析探讨,研究了其特性与使用方法。

**关键词:**战斗模式;激光引偏;伴飞式;无人机载;光纤激光假目标

**中图分类号:**E929.2;TJ765 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2021.09.017

## Research and design of new laser false target

Ji Qiang, ZONG Si-guang, YANG Jian-bo

(College of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 40033, China)

**Abstract:** In view of the applicable conditions of the existing laser decoy and the limitation of its use in the air, in order to improve the operational efficiency of laser decoy, two laser decoy modes, optical fiber laser decoy and accompanying UAV, are proposed. The concept, use opportunity, characteristics, deployment method, carrier and material selection are analyzed and discussed, and their characteristics and methods of application are studied.

**Keywords:** combat mode; laser deflection; companion flight; unmanned aerial vehicle; fiber laser false target

### 1 引 言

激光引偏干扰是常用的一种有源欺骗干扰方式,是应对半主动激光制导武器的有效手段<sup>[1]</sup>,实施引偏干扰的核心在于使用激光诱饵假目标引偏来袭导弹。

目前,常用的激光假目标有漫反射板和自然地物。漫反射板是与激光角度欺骗装备相配套的制式假目标,漫反射板使用时,需在武器来袭之前布设好,以保证进入导引头视场内的反射光光强高于被保护目标<sup>[2]</sup>,灵活性差。当没有漫反射板可供使用或目标处于机动中时,可就地取材,选择自然地物作为假目标<sup>[3]</sup>,自然地物的使用方法灵活但不如漫反射板反射效果好。另外,在海面行驶的舰船,还可利用波动的海面作为假目标,但选

取的海面假目标需依托合适的海况、选择合适的干扰激光入射角等<sup>[4-6]</sup>,布设要求高复杂且干扰效果不可控。

针对这几种常用的激光假目标的不足,本文提出了两种新的激光假目标——伴飞式激光假目标和无人机载光纤激光假目标。下面将从其概念、使用时机、特点、布设方法和载机、材料的选择几个方面进行分析探讨。

### 2 伴飞式激光假目标

#### 2.1 伴飞式激光假目标概念及使用时机

伴飞式激光假目标的干扰应用是将激光诱饵搭载在可悬停的多旋翼无人机上,以悬停或机动的方式应对随机来袭激光制导武器。这种无人机诱饵可直接做为假目标,亦可通过精准的控制,在导弹距离

无人机的合理距离释放激光诱饵并迅速离开武器毁伤区,达到无人机再回收的目的。伴飞式激光诱饵可单独使用、少数几台布设配合使用和多台智能编组使用。

伴飞式激光假目标可在以下场合和时机使用:

(1)在要地重要目标防空中使用激光欺骗干扰对抗激光制导武器时,由于要地地形环境复杂,可能限制漫反射板的摆放位置,同时没有可供选择的自然物做假目标时;

(2)突堤式码头和停泊在港口的舰船,由于海况良好的港口内,海面无法布设漫反射板,同时海面平静并无法确定激光导弹来袭方向,以至于难以形成有效的海面漫反射目标时;

(3)舰艇于海上遭遇激光制导武器打击时;

(4)其他因环境受限可布设伴飞式激光假目标的场合。

## 2.2 伴飞式激光假目标的特点

一是假目标布设迅速、操控性强。在目标被激光指示器照射之后,激光告警器发出告警,导引头尚未锁定目标,此时无人机可携带诱饵升空。在获得具体的制导信息后,可由计算机控制无人机到准确的干扰位置悬停就位。无人机的飞行速度、飞行高度、所携带角反射器的朝向角度等均可控可调且反应速度快。

二是假目标灵活机动,干扰能力强。激光制导武器为防止角度欺骗干扰,有时会通过减小导引头视场角的方式,减小视场内地物。此时,假目标要起到干扰作用,必须离真目标足够近,而距离过近则会导致即使假目标干扰起效,真目标依然处于武器的杀伤半径之内。伴飞式假目标较好地解决了这个问题,假目标可以在被导引头锁定之后,逐渐远离真目标从而将武器诱偏,干扰能力较固定假目标好。

三是假目标高度较高,安全性好。被诱偏的激光制导武器与伴飞式激光假目标在空中相遇后爆炸,空中无其他固体杂物,相较于地面爆炸的爆炸波和受激迸发的高速度岩石碎片的多重损伤更安全<sup>[3]</sup>。

四是假目标布设方便,影响因素少。空中环境较地面更为简单,一般不会有障碍物,可以满足假目标与被保护目标或者多个假目标之间的通视条件。

除了考虑气象条件外,一般不受其他影响。布设时对起降环境要求低,各方面影响因素少。

## 2.3 伴飞式激光假目标特性分析

伴飞式激光假目标采用激光角反射器做为激光反射体,角反射器具有定向的反射特性,它的有效反射面积决定了激光反射时的光强。有效反射面积与角反射器的大小和激光束相对角反射器底面的入射角有关<sup>[7]</sup>。如图1所示,激光角反射器在底面的投影与底面的重合部分即为有效反射面积。

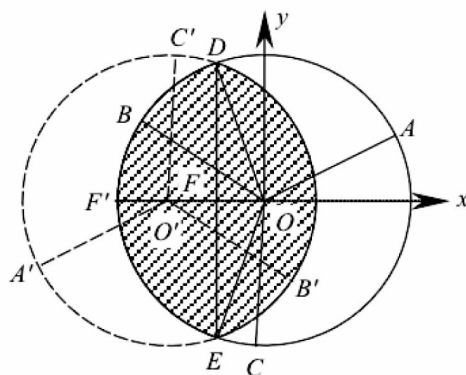


图1 激光角反射器有效反射面积示意图

Fig.1 Schematic diagram of effective reflection area of laser corner reflector

角反射器通常采用内切圆切割,其有效反射面积为:

$$S = \frac{2}{\pi} [\arcsin(\sqrt{1 - 2 \tan^2 \theta}) - \sqrt{2} \tan \theta \sqrt{1 - 2 \tan^2 \theta}] \cos \theta_0 \quad (1)$$

式中,  $\theta = \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \theta_0\right)$ , 为光束折射角;  $\theta_0$  为光线的入射角;  $n$  为角反射器介质的折射率。

通过分析可以得出,相对有效反射面积与光束入射角成反比。所以,武器离得越近,角反射体的反射能力越强。

角反射器使用时,由激光干扰机复制或转发敌来袭指示激光信号,设干扰机出射能量为  $P_0$ ,激光发散角为  $\omega$ ,激光干扰机与角发射器距离  $R$ ,则角反射器底面反射光强为<sup>[8]</sup>:

$$I_0 = \frac{4P_0}{\pi (R\omega)^2} \quad (2)$$

在距离  $D$  处的激光导引头接收到的光强为:

$$I_d = I_0 \rho \left( \frac{4\pi r^2}{\lambda D} \right)^2 \quad (3)$$

式中,  $\rho$  为角反射器反射效率;  $r$  为角反射器底面圆

形通光截面口径。

## 2.4 伴飞式激光假目标布放

### (1) 伴飞式激光假目标干扰实施方式

当被保护目标受到敌激光半主动制导武器的指示器照射时,被保护目标附近的激光角度欺骗干扰设备识别出敌指示激光的编码信息,复制与其编码信息相似或相同的激光干扰信号,控制激光干扰机输出信号,照射空中的角反射器假信号,在武器来袭方位上形成一个很大的干扰空域。由于干扰信号的光强高于真实目标反射的激光信号,武器导引头选择伴飞式激光假目标的方位作为调整误差控制信号,而导向伴飞式激光假目标,达到角度欺骗的目的<sup>[9]</sup>。诱偏效果如图 2 所示。

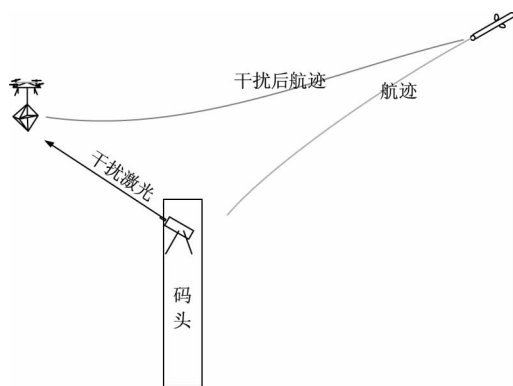


图 2 使用伴飞式激光假目标诱偏武器示意图

Fig. 2 Schematic diagram of decoy weapon with suspended laser false target

### (2) 激光假目标布放方位和角度

上文对激光半主动制导炸弹的使用方式研究认为,不论是本机照射还是它机照射,皆可认为激光告警器定位的激光目标指示器的方向即为激光武器所在方向。在设置假目标时,考虑到武器飞行速度和地球曲率的影响,为了最大限度地保护真实目标,通常将假目标布设在导弹来袭方向且距导弹较远的一端。

### (3) 激光假目标布设距离

假设制导炸弹投弹高度为  $H = 3$  km, 投弹距离为  $D = 10$  km, 导弹视场角为  $\omega = 2^\circ$ , 激光干扰设备从此收到激光告警器告警到完成信号的解码复制响应时间为 6 s。此时炸弹已飞行 3.9 km, 距离目标 6.1 km, 高度降至 1.83 km。炸弹视场角在海面的投影是一个长轴为 920 m, 短轴为 216 m 的椭圆。假目标布设效果如图 3 所示。

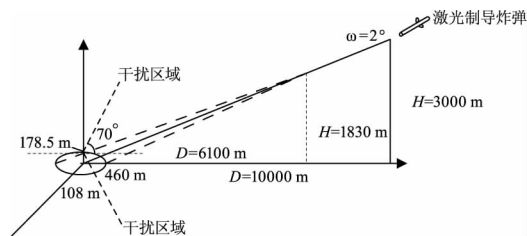


图 3 伴飞式激光假目标布设距离示意图

Fig. 3 Schematic diagram of setting distance of flying laser false target

此时无人机飞行高度(距海面)不宜超过 178.5 m。若按照无人机上升速度为 20 m/s 计算,从接到告警即升空,无人机高度为 120 m,在武器视场之内。激光干扰机发出干扰激光,此时武器视场内会出现两个目标,若机载假目标光强高于真实目标,武器即发生航迹的偏离。随着武器的靠近,无人机可向武器攻击方向机动并逐渐减小干扰区域,最大限度地保证目标的安全。

## 3 无人机载光纤激光假目标

### 3.1 无人机载光纤激光假目标概念及应用场景

无人机载光纤激光假目标是将光纤激光诱饵搭载在无人机平台上,激光干扰机位于地面被保护目标上(或周围),发射或转发与武器指示激光相关的编码信息,该干扰激光束信息经光纤激光传递出去,并随着无人机的机动在空中形成干扰激光,即形成了可诱偏激光制导武器的假目标。

无人机载光纤激光假目标具有机动性强、可控性强、布设方便等优点,但其相较于传统制式假目标和自然地物成本略高。通常可考虑布设在以下场景:

- (1) 要地目标受地形环境所限,无法布设制式假目标,并没有合适的自然地物可供选择时;
- (2) 舰船在海上遭到激光制导武器打击时;
- (3) 坦克、战车等在机动中周围没有适合的自然地物可供选择时;
- (4) 其他因环境受限可布设无人机载光纤激光假目标的场合。

### 3.2 无人机载光纤激光假目标引偏装备构成

这套无人机载光纤激光假目标主要由以下五部分构成:

#### (1) 激光干扰设备

激光干扰设备包括激光信号处理器和激光干扰机,一般须同激光告警设备、指控系统协同工作。其基本组成如图 4 所示。

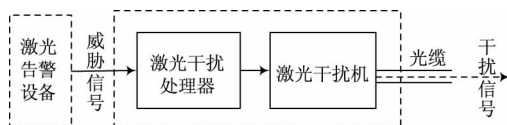


图4 激光干扰设备结构框图

Fig. 4 Structure block diagram of laser jamming equipment

激光告警设备在探测到敌武器的激光制导信号后,将信号原码信息传输给干扰设备的激光信号处理器,同时将武器的方位信息传输给指控系统。激光信号处理器通过对原码脉冲时序进行解码分析,复制或转发与其相同或相关的干扰信号,采用超前同步转发的输出方式,控制激光干扰机产生激光干扰信号。在可识别敌激光目标指示信号编码,并能使干扰信号提前进入导引头波门的情况下,使用复制或转发的激光干扰信号进行欺骗干扰,以较小的功率诱偏来袭武器,这种方式被称为应答式或转发式激光干扰;在无法识别敌激光目标指示信号编码,或不能使干扰信号提前进入导引头波门的情况下,上述欺骗效果不佳,可控制激光干扰机输出高重复频率的压制式干扰信号,这种干扰方式对激光发射机的功率要求较高,被称为高重频激光干扰。激光干扰机进行应答式或转发式欺骗干扰时,连续出光时间不得低于5 min;进行高重频压制干扰时,连续出光时间不得低于2 min。

## (2) 激光光纤

用于传输干扰激光信号的光纤应满足以下几个条件:

①适应强度高。激光传输光缆常用于地势复杂的山区、濒海要地或舰船之上,激光光缆应适应这些地方的高湿环境,并具有一定的耐海水腐蚀性。

②附加损耗低。光纤做成光缆后需要在线圈上缠绕,并在使用过程中跟随无人机进行高速放线,会产生宏弯损耗和微弯损耗,若环境温度较低,光纤还存在低温条件下的能量损耗。这些都被称光缆的附加损耗。为保证在作战使用过程中,光纤可以正常传递干扰信号,必须将附加损耗控制在特定的范围内<sup>[10]</sup>。

③抗疲劳性好。光纤做成光缆后绕成线圈保管,需要长时间的贮存。这需要光缆具有较高的抗疲劳因子,以保证使用时的良好性能<sup>[10]</sup>。

## (3) 高速放线设备

放线设备的放线速度应可调可控,要与无人机

的上升、下降、平飞速度相匹配。由于武器导引头视场有限,要求假目标不能离被保护目标太远,并且典型的激光制导炸弹杀伤半径不大于200 m,所以光缆不需要太长,使用300 m左右的光缆即可。在光缆绕线时,可采用疏密相间的绕线方法。这种绕线方法可一定程度地减小光缆的损耗问题,也适用于较短长度的光缆,且成本低。绕线方式如图5所示。

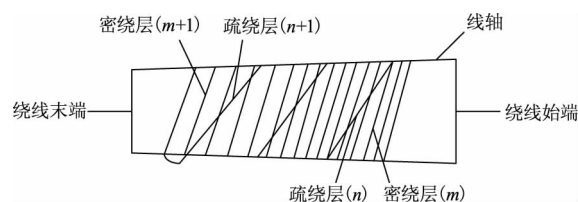


图5 疏密相间绕线法示意图

Fig. 5 Schematic diagram of dense alternate winding method

疏密相间绕线法即一层光缆一匝一匝紧密排在一起进行密绕,下一层从前一次的末端向始端方向缠绕,每层只绕数匝,拉开每匝之间的间距进行疏绕。之后再密绕,如此反复进行,即形成奇数层为密绕层,偶数层为疏绕层的光缆线圈<sup>[11]</sup>。

## (4) 无人机

无人机选用可悬停、垂直起降的多旋翼无人机,负载为激光镜头和300 m的激光光纤。无人机上升、下降、平飞速度大于20 m/s,飞行高度大于200 m,续航时间大于10 min。

## (5) 激光光纤出口准直器

激光光纤出口准直器可对出射激光进行准直,并可通过调节焦距改变出射激光的发散角。在武器较远时,激光发散角大,形成的干扰区域大,可使激光制导武器尽早捕获假目标;当武器抵近之后,可将光束角调小,直至将真实目标隔离在干扰光区之外。准直器内部装有平凸透镜,透镜与光纤距离即为焦距,调节焦距对激光发散角的影响如图6所示。

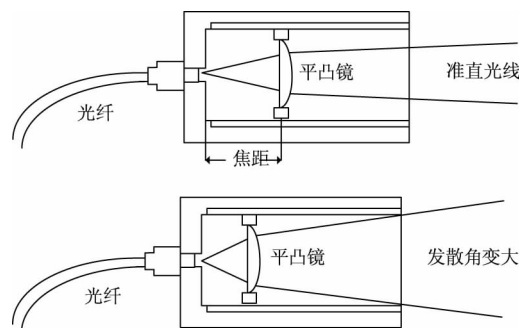


图6 焦距对激光发散角的影响

Fig. 6 Influence of focal length on laser divergence angle

### 3.3 干扰实施方式

当被保护目标受到敌半主动激光制导武器的指示器照射时,被保护目标附近的激光角度欺骗干扰设备识别出敌指示激光的编码信息,复制与其编码信息相似或相同的激光干扰信号,控制激光干扰机输出信号,而后通过激光光纤传送至无人机载的光纤终端输出干扰信号,在武器来袭方位上形成一个很大的干扰空域。由于干扰信号的光强高于真实目标反射的激光信号,武器导引头选择光纤激光假目标的方位作为调整误差控制信号,从而导向光纤激光假目标,达到角度欺骗的目的。以车辆装备为例,诱偏效果如图7所示。这种激光假目标的布设参考上文的伴飞式激光假目标布放实施方法。

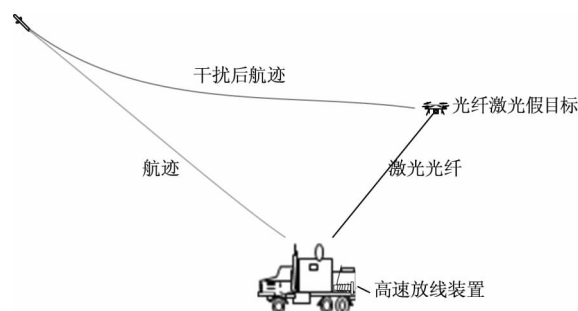


图7 激光光纤诱饵诱偏武器示意图

Fig. 7 Schematic diagram of laser fiber decoy weapon

## 4 结 语

本文针对现有激光假目标的适用条件使用时的受限之处,开展了对两种新式激光假目标的研究与设计。为提升激光诱饵作战效能,提出伴飞无人机和光纤激光诱饵两种激光假目标方式,研究了其特性与使用方法。实现了激光假目标的可调、可控,使假目标使用更加灵活、可靠。

### 参考文献:

- [1] Lv Yueguang, Sun Xiaoquan. Fundamentals and application of laser countermeasures [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2015: 213 - 220. (in Chinese)  
吕跃广, 孙晓泉. 激光对抗原理与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 213 - 220.
- [2] Sun Chunsheng, Sun Xiaohui, Zhang Shuang. Guarded angle of laser decoy in laser trick jamming [J]. Laser & Infrared, 2017, 47(3): 347 - 351. (in Chinese)  
孙春生, 张晓晖, 张爽. 激光引偏干扰中假目标的防护角与应用 [J]. 激光与红外, 2017, 47(3): 347 - 351.
- [3] Qi Gang. Research on laser angle deception jamming technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015. (in Chinese)  
齐刚. 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] Li Junbo. Study on energy reflection characteristics of laser decoy on sea surface [J]. Optics and Optoelectronic Technology, 2006, 4(2): 12 - 15. (in Chinese)  
李君波. 海面诱饵最佳布设策略研究 [J]. 光学与光电技术, 2006, 4(2): 12 - 15.
- [5] Li Ke, Wang Jiangan, Pan Chen. Study about analytical character of laser diffusion from sea surface [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(5): 525 - 529. (in Chinese)  
李恪, 王江安, 潘琛. 激光海面漫反射解析特性研究 [J]. 激光与红外, 2011, 41(5): 525 - 529.
- [6] Xu Hailong, Wang Juan. Research on deployment patterns of maritime laser decoy [J]. Demonstration and Research, 2013(4): 46 - 50. (in Chinese)  
许海龙, 王隽. 海面激光假目标干扰使用方式研究 [J]. 论证与研究, 2013(4): 46 - 50.
- [7] Wang Yuanming, Yang Fumin, Chen Wanzhen. Calculation and measurement of the effective reflective area of space-born retro-reflectors [J]. Opto-Electronic Engineering, 2007, 34(10): 25 - 29. (in Chinese)  
王元明, 杨福民, 陈婉珍. 卫星激光反射器有效反射面积的计算与测试 [J]. 光电工程, 2007, 34(10): 25 - 29.
- [8] Kuang Cuifang, Feng Qibo, Liu Xin. Analysis of reflection property of cube-corner retroreflector with vector expression [J]. J. Applied Optics, 2004, 25(2): 25 - 27. (in Chinese)  
匡萃方, 冯其波, 刘欣. 用矢量方法分析角锥棱镜的反射特性 [J]. 应用光学, 2004, 25(2): 25 - 27.
- [9] Zong Siguang, Cao Shui, Deng Yingang. Laser threaten environment and countermeasure for the port wharf's air defense [J]. Laser & Infrared, 2017, 47(11): 1416 - 1421. (in Chinese)  
宗思光, 曹水, 邓银港. 岸海要地防空激光威胁环境及对抗方法 [J]. 激光与红外, 2017, 47(11): 1416 - 1421.
- [10] Ye Peida. Optical fiber theory [M]. Beijing: Knowledge Press, 1985: 30 - 36. (in Chinese)  
叶培大. 光纤理论 [M]. 北京: 知识出版社, 1985: 30 - 36.
- [11] Zou Luping, Cui Dedong. Fiber optical image homing system [M]. National Defense Industry Press, 2016: 28 - 41. (in Chinese)  
邹汝平, 崔得东. 光纤图像寻的系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 28 - 41.