

激光欺骗干扰技术与系统研究

曹立华, 陈长青

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 对激光欺骗干扰技术的内容和组成进行了阐述。介绍了激光欺骗干扰技术的分类, 论述了激光距离欺骗干扰技术的系统组成及功能, 并对其主要技术性能和关键技术进行了分析。

关键词: 激光测距; 激光制导; 欺骗干扰

中图分类号: TN977 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112807.0027

Technology and System of Laser Deception Jamming

CAO Li-hua, CHEN Chang-qing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The content and the composition of the laser deception jamming was presented in this paper. The classification of the laser deception jamming technology was introduced. The system composing and function of the laser distance deception jamming technology was discussed, and the main technology capability and the key technology of the laser distance deception jamming was analyzed.

Keywords: laser ranging; laser guidance; deception jamming

1 引言

光电有源干扰是光电对抗中的一个重要组成部分,光电有源干扰与光电无源干扰共同构成一个完整的光电干扰体系。光电干扰技术由一系列通过辐射、转发、发射和吸收光波能量,并达到消弱和破坏对方光电设备使用性能的技术措施构成。光电有源干扰装备是指那些自身产生光波辐射或转发干扰光波的设备或系统,主要用于欺骗、压制、致盲或破坏对方的光电制导武器、光电观瞄与跟踪等设备^[1]。

光电有源干扰包括红外、激光与可见光有源干扰3个技术领域,红外诱饵弹、红外干扰机、激光欺骗干扰机、激光致盲武器、激光对抗武器以及战术激光武器等为当前技术发展比较成熟的典型光电有源干扰装备。

激光有源干扰主要用于干扰不同波段的军用光电观瞄设备、激光测距/跟踪设备、激光/红外/电视制导武器、卫星光电侦察/预警光电探测以及致眩作战人员的眼睛,进一步提高功率后还可对导弹、飞机等目标的薄弱部位实施激光硬杀伤。自上世纪60年代激光器发明以来,经过40余年的发展,目前从紫外一直到中远红外波段,几乎在各个波段内都已拥有了可以选用的实用型激光器作为干扰光源。例如,脉冲 $1.06\mu\text{m}$ 激光欺骗干扰机可用于干扰激光制导武器和激光测距系统; $0.53\mu\text{m}$ 的YAG倍频激光或 $0.7\sim 0.9\mu\text{m}$ 可调谐激光致盲武器可用于干扰作战人员的眼睛和可见光波段的光电传感器;中功率的 $10.6\mu\text{m}$ 和 $1.06\mu\text{m}$ 激光对抗武器可干扰各种不同波段的激光制导/测距/跟踪系统;而更大功率的连续 $1.315\mu\text{m}$ 的氧碘激光器, $3.8\mu\text{m}$ 的氟化氙激光器,以及 $10.6\mu\text{m}$ 的二氧化碳激光则可用于防空反导或干扰卫星的光电传感器^[2-5]。

激光欺骗干扰技术包括角度欺骗与距离欺骗两种技术。欺骗干扰机的作战对象是敌方的军用激光系统,主要用于保卫固定或机动目标。激光欺骗干扰机通常是在预先已知或实时截获对方的激光测距、

跟踪或制导信号情况下,利用己方的激光干扰机,发射与对方工作波长与编码类型一致的干扰激光束,通过假目标漫射或直接射入到对方的光学接收系统中,对其实施作用距离或寻的角度的欺骗^[6]。

激光欺骗干扰机有激光角度欺骗干扰机与激光距离欺骗干扰机两种类型,可用于干扰激光测距机、激光雷达、激光跟踪或激光制导武器等,使其测距、跟踪精度降低或制导武器丢失目标而偏离攻击航线。

2 激光角度欺骗干扰技术

2.1 原理与用途

激光角度欺骗干扰机主要用于保卫地面或海面上的重要目标,干扰空-地(舰)激光制导武器。

激光角度欺骗干扰机的主要作战对象是半主动激光制导武器与激光跟踪设备,它可依据所侦察到的敌方激光照射信息,复制一个与之具有同样波长和码型的激光干扰信号,投射到预先设置在被攻击目标附近的一些假目标(或自然物体)上,激光制导武器在向攻击目标寻的过程中,同时接收到来自真目标的激光反射回波与由假目标反射的干扰信号,在其寻的视场内出现两个回波信号,导引头在接收到真假两个信号之后,按比例导引规律向两目标的质心寻的,由此偏离正确的攻击航向,这种干扰样式称之为激光角度欺骗干扰^[7]。

2.2 系统组成及功能

2.2.1 系统组成

激光角度欺骗干扰机通常由激光告警接收机、激光信号综合处理器、激光干扰信号发射机和激光假目标等设备组成。

激光告警接收机——接收对方激光设备照射到被保卫目标上的信号;

激光信号综合处理器——通过对截获信号的处理,获得照射激光信号的角度、重频、码型、到达时间等信息;

激光干扰信号发射机——复制出与对方激光照射信号具有同样技术参数的激光干扰信号发射源;



图1 激光角度欺骗干扰机组成框图

激光假目标——具有对照射激光波长实施广角散射能力的漫反射板或自然物体。

2.2.2 系统功能

激光角度欺骗干扰机通常用于保卫高价值地面固定目标或相对慢速运动目标，如舰艇或坦克等。作战使用时，当载有激光制导武器的攻击飞机来袭时，在投弹之前，首先要对被攻击目标进行激光照射，即由机载或地面单兵实用的激光目标指示器将编码激光指示信号照射到目标上，只有当机载激光制导武器接收到由目标反射的激光编码回波并锁定目标后，载机才将激光制导武器投放出去。弹、机分离后，激光制导武器沿着目标反射的波束向其寻的，激光指示信号则要在制导武器攻击的全过程保持稳定照射，直至最终击中目标^[8]。

激光角度欺骗干扰机预先设置在被保卫目标之上或其附近，干扰激光器和信号综合处理器可由车载、舰载或地面布设。激光告警接收机则需以一定间隔布设在被保卫的目标之上及其附近，以确保在对方发射激光目标指示信号照射被攻击目标时可以接收到激光信号。保卫目标的面积主要取决于激光告警接收机覆盖的面积和激光假目标可能布设的范围。在一般的战场和大气条件下，对10 km照射距离、10 MW激光功率、1 mrad发射角的激光目标指示器发射信号的截获，单台激光告警器的截获半径通常不超过100 m（良好大气条件）。当激光告警接收机收到敌方发射的照射信号后，在告警的同时，侦察出激光照射信号的重频、脉宽、功率等级和码型等技术参数，然后将上述信息快速传送给我的激光欺骗干扰机，控制干扰机复制出一个与之一模一样的干扰信号，投射到预先布设好的激光假目标上，干扰信号由假目标反射或漫反射到空中^[9]。

激光制导武器在向目标寻的过程中，当其视场内同时收到两个同样码型的激光信号后，由于它们

之间在空间角度上有一定的差别，所以在制导系统进行跟踪角度检测时将发生严重偏差，从而导致寻的误差加大，最终偏离正确攻击航线。

激光假目标可以是一种对某一波段具有高反射率的漫反射板，也可是一些对激光具有较强反射率的自然物体。在海面上，甚至可以直接以海面作为反射体。假目标的放置位置既要保证由其散射的干扰光波能够进入对方的寻的视场，又要确保能够将来袭武器引偏到安全区域。

2.3 激光角度欺骗的主要特点

激光角度欺骗干扰的主要优点体现在以下几个方面：（1）通常激光制导武器采用的工作波长与重复频率都是已知的，编码形式也多采用改变脉冲占空比的方法，所以干扰信号较易于复制；（2）对大多数采用比例导引制导方式的激光制导武器，由假目标反射的激光干扰信号能量只要大于由目标漫反射的激光信号能量即可。因为由假目标反射的激光干扰信号相对被干扰的激光制导武器来说，几乎为单程直接照射信号，而由真目标反射的激光照射信号为双程漫反射信号，所以对激光干扰机的输出功率要求并不太高，技术上易于实现；（3）通过对激光假目标布设位置和反射信号强度的控制，可在一定范围改变激光制导武器被诱骗的角度^[10-12]。

激光角度欺骗干扰也存在着一些弱点，如：（1）如果激光制导武器采用更为复杂的编码方式或采用更窄的距离波门，则欺骗干扰信号不容易复制或进入对方设置的距离选通波门；（2）激光假目标与激光干扰机之间通常要求地形通视，这样才能用一台激光干扰机配合多个假目标覆盖一定地域。但在复杂地形和对付多个方向同时来袭目标时，该干扰方式的使用就具有一定的局限性^[13-15]。

3 激光距离欺骗干扰技术

3.1 原理与用途

激光距离欺骗干扰机的主要干扰对象是激光测距机与激光雷达等设备，即被干扰的对象是以获取

目标距离信息为目的的军用激光设备。

由脉冲激光测距原理可知,在已知激光速度的前提下,目标距离的测量实际上是通过检测发射脉冲和由目标反射回波脉冲之间的时间差来确定的。测距方程如下:

$$L = \frac{1}{2}ct \quad (1)$$

其中, L 为目标距离, 单位 m; c 为光速, 单位 m/s; t 为发射与回波信号之间的时间差, 单位 s。

由式 (1) 可知, 在光速已知的情况下, 目标距离的获取实际上就变成了对测距回波信号到达时间的测量。

为了避免近场激光的大气后向散射或虚假目标对激光的后向反射而引起的测距失败, 通常要在激光测距系统中设置一个距离选通波门, 即调整回波可能被接收的时间窗口, 由此保证只有接近被测目标距离处的反射回波被接收、处理^[16-18]。

激光距离欺骗的原理是: 向对方接收视场内发射一个与激光测距信号具有相同波长、脉宽和更高重复频率的激光信号, 确保在其距离选通波门的限定时间内至少有一个干扰激光脉冲信号在来自目标的真实反射回波之前被接收。这样, 激光测距机的测距处理会以先入为主的干扰信号为依据, 导致测距发生较大偏差, 这种干扰样式称之为距离欺骗干扰。

根据产生的欺骗干扰形式的不同, 激光测距欺骗干扰技术可分为产生测距正偏差和产生测距负偏差两类。

产生测距正偏差可分为无源型和有源型两种。无源型采用光纤二次延迟技术, 即在受保护平台受到敌激光测距信号照射后, 由光纤经极短的二次延迟后, 照原路反射回去。同时, 对被保护的目标(如坦克), 采用涂隐身涂料等激光隐身技术, 使其激光回波极小。这样, 在敌测距设定的距离选通范围内探测到的只是产生测距正偏差的干扰信号, 造成敌方判断错误, 从而成功地进行激光干扰^[19]。

有源型采用电子延迟和激光器, 在受到敌激光

测距信号照射后, 经极短的电子延迟, 照原路发射一个与敌测距信号同波长、同脉宽的信号, 从而产生测距正偏差的干扰信号, 造成敌方错误判断, 有效地对敌方进行干扰。

产生测距负偏差, 主要是在被保护的四周预先发射高重复频率激光脉冲, 使敌方测距机接收到一个负偏差(短距离)虚假测距信号, 从而有效地隐蔽真目标。

产生测距负偏差的干扰原理是: 向警戒空域连续不断地发射高重复频率的激光干扰脉冲, 使敌方激光测距机无论在何时开机对我方测距时都会受到干扰脉冲, 造成敌方测距错误。设干扰机输出峰值功率为 P_F , 其输出束散角为 θ_F 。 θ_F 应该远远大于测距机的接收视场角, 并能覆盖所需最低限度的警戒空域, 这样, 处于 θ_F 角度范围内的测距机在我方开机测距时都将有干扰光束进入测距机视场内^[20]。

设测距机与我方距离为 L , 可导出激光干扰机所需峰值功率为:

$$P_F = \pi P_{\min} \theta_F^2 L^2 e^{\mu L} / 4 A_r \eta_r \quad (2)$$

其中, $P_{\min}$ 为激光测距机最小可探测功率; A_r 为测距机接收孔径面积; η_r 为测距机接收光学系统透过率; μ 为大气消光系数。

式 (2) 称作干扰方程。若 $P_{\min} = 10^{-7}$ W, $\theta_F = 30$ rad, $\eta_r = 0.6$, $A_r = 1.2 \times 10^{-3}$ m² (相当于接收口径为 $\Phi 40$), $\mu = 0.15$ km⁻¹, $L = 3$ km 时, 所需 $P_F \geq 448$ W。为了能对激光测距机实现干扰, 在测距机尚未收到回波之前, 干扰脉冲就应该至少“挤进”去一个脉冲充当其目标回波。因此, 干扰发射机的激光脉冲重复频率应满足:

$$f_F \geq c/(2L) \quad (3)$$

当 $L = 1$ km 和 3 km 时, 由式 (3) 得 f_F 分别为 150 kHz 和 50 kHz, 设每个脉冲的持续时间为 τ , 则干扰输出的激光平均功率应为:

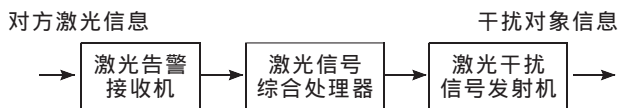
$$P_{av} = f_F P_F \tau \quad (4)$$

对上例, 若 $\tau = 10^{-7}$ s, 在 $L = 3$ km 时, 由式 (4) 得平均功率 P_{av} 为 2.2 W。

由此可见,要想在3 km以外干扰30°角范围内的激光测距机,所需干扰机激光输出峰值功率为500 W左右,重复频率不低于50 kHz,平均功率2~3 W,用连续泵浦声光腔倒空Nd:YAG激光器即可实现这一指标。如果这种激光器用耳机管泵浦,则质量比较小,因而可做得比较小巧。

3.2 系统组成及功能

激光距离欺骗干扰机通常由激光告警接收机、激光信号综合处理器、激光干扰信号发射机等设备组成,如图2所示。



激光距离欺骗干扰机的核心是激光干扰信号发射机,它是一台高重频的激光器,在激光告警接收机的配合下使用。由于目前战场上大量使用的激光测距机与激光雷达主要都是采用1.06 μm的固体Q开关激光器,所以激光干扰机通常也采用这一波长和具有相近脉冲宽度的激光器。

实施距离欺骗干扰的关键是激光干扰机必须具备足够高的激光脉冲重复频率。通常,干扰激光的重频越高,干扰脉冲进入对方波门实施有效干扰的概率也就越高。

3.3 激光距离欺骗的主要特点

激光距离欺骗干扰具有以下主要优点:(1)基于距离欺骗干扰原理,只要干扰激光波长与对方工作波长一致,重频足够高,干扰就容易奏效;(2)在发现目标后即可实施干扰,即使对第一次测距信号来不及干扰,但对一个连续的测距过程干扰仍然有效,而且对方也很难将此干扰信号剔除。

激光距离欺骗同样也存在着一些固有的弱点,如:(1)激光测距机的接收视场通常为1 mrad,因此激光干扰信号必须保持正对目标照射,由此对激光告警器的角度分辨率和引导系统的跟踪精度要求

比较高;(2)重复频率15 kHz以上运行的激光器,通常需要采用声光Q开关技术来加以实现,在此情况下运行的激光器,通常其脉宽与发射能量与激光目标指示器激光参数之间有较大差别,所以不能兼做激光角度欺骗干扰机。

4 展 望

最近20年来,随着精确光电制导武器和军用卫星的发展,以及大功率、高光束质量激光器技术的进步,使得以战场防空激光对抗武器和反卫星激光武器为代表的激光有源干扰技术与装备得到了更高度的重视与发展,并逐渐成为光电有源干扰技术发展的主流。

激光欺骗干扰技术的发展将围绕以下几个关键技术:

(1) 提高目标识别技术

该项技术主要包括对来袭威胁目标的定向探测和激光引信发射信号的综合告警两个部分。威胁目标的定向探测技术实现对来袭目标的威胁定位。激光引信发射信号的综合告警是通过光电探测技术实现对激光威胁信号的原码识别、以及激光引信发射视场和接收视场的相关识别,引导激光有源干扰机的信号输出方位和发射频率。

(2) 提高信息处理技术

该技术主要采用脉冲时序相关特性分析等信息处理方式,实现对激光威胁信号发射规律的分析判断和激光引信信号鉴别及选通系统工作方式的相关识别,确定激光干扰信号的干扰频率和发射方式,并生成干扰触发控制信息,驱动激光干扰发射机输出激光干扰脉冲。

(3) 提高定向干扰技术

该项技术主要通过威胁方位信息的全向相关解算技术及干扰/方位匹配控制技术,完成对激光干扰信号输出方位和发射视场,以及无源干扰设备的发射方式和空中假目标遮蔽范围的定向控制。

(4) 提高激光干扰源功率
为保证激光有源干扰的有效实施, 必须提高激光干扰机的发射功率, 使激光引信的接收系统在远距离能够保持对激光干扰信号的正常接收, 以压制其对目标回波信号的正常接收, 形成有效的距离欺骗。

参考文献

- [1] 童忠诚. 激光有源干扰信号的发射方式研究[J]. 光电技术应用, 2006, 21(60): 1-3, 11.
- [2] 付伟. 激光欺骗干扰技术[J]. 舰船光学, 2002, 38(1): 40-43, 48.
- [3] 卢科青, 王文, 陈子辰. 点激光测头激光束方向标定[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 880-886.
- [4] 陈健, 薛乐堂. 舰载红外告警分系统的告警距离研究[J]. 光机电信息, 2010, 27(10): 55-58.
- [5] 郑猛, 冯其波, 邵双运, 等. CR 扫描仪激光扫描光学系统的设计 [J]. 光学 精密工程, 2010, 18 (1): 21-28.
- [6] 陈健, 于洪君. 光电对抗与军用光电技术研究进展[J]. 光机电信息, 2010, 27(11): 12-17.
- [7] 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, 23.
- [8] 潘建波, 薛建国, 吴军辉. 激光角度欺骗干扰半实物仿真系统设计研究[J]. 电光系统, 2007(3): 1-4.
- [9] 党冬妮, 李斌, 范东启. 激光角度欺骗干扰半实物仿真试验系统设计[J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 398-401.
- [10] 张晓琳, 唐文彦, 孙和义. 水下声信号的激光干涉测量[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 809-815.
- [11] 梁敏华, 吴志勇, 陈涛. 采用最大灰度梯度法实现经纬仪自动调焦控制 [J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 3016-3021
- [12] 侯振宁. 激光欺骗干扰技术研究[J]. 应用光学, 2002, 23(1): 34-39.
- [13] 张坤华, 杨焯. 应用聚类和分形实现复杂背景下的扩展目标分割[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(7): 1665-1671
- [14] 许鹏程, 孙晓泉. 高重频激光对实时波门选通信号干扰的分析[J]. 光电技术应用, 2005, 20(1): 20-23.
- [15] 贾方秀, 丁振良. 激光测距仪的脉冲电流供电温度控制系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(9): 2128-2135
- [16] 章大勇, 吴文启, 吴美平. 机载激光雷达系统标定方法[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(11): 2806-2813.
- [17] 宋建辉, 袁峰, 丁振良. 脉冲激光测距中高精度时间间隔的测量[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(5): 1046-1050
- [18] 贾方秀, 丁振良, 袁峰. 相位法激光测距接收系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(10): 2377-2384.
- [19] 路阳. 激光告警系统的发展现状与问题[J]. 现代防御技术, 2009(3): 89-93.
- [20] 郭劲, 苗用新, 林洪沂, 等. 机载定向红外对抗激光指示系统控制设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(2): 341-349.

作者简介: 曹立华 (1971-), 男, 吉林磐石人, 研究员, 主要从事光电仪器总体设计、目标红外辐射特性测量等技术的研究。E-mail: cao0983@sina.com