文章编号:1001-5078(2012)10-1168-03 ·光电对抗·

中红外激光对红外导引头干扰试验研究

初学莲,吴奇峰,张元生
(洛阳电光设备研究所,河南 洛阳 471009)

摘 要:在实验室环境下完成了中红外激光对正交四元和凝视成像型两种红外导引头的干扰试验,验证了不同干扰方式对不同探测体制导引头的干扰效果,分析、总结了实现有效干扰的条件。

关键词:红外导引头;干扰;中红外激光
中图分类号:TN249 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2012.10.018

Experimental research on jamming infrared seeker with mid-wave infrared laser

CHU Xue-lian, WU Qi-feng, ZHANG Yuan-sheng
(Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, Luoyang 471009, China)

Abstract: The test of jamming infrared seeker by mid-wave infrared laser is carried out in laboratory, which validates the jamming effect of different jamming modes to different infrared seekers. Conditions of effective jamming are analyzed and summarized. That provides the basis for practical counter-measurement in practical application.

Key words: infrared seeker; jamming; mid-wave infrared laser

1 引 言

红外制导导弹的快速发展使飞行平台受到的威胁日益严重,如何对抗这种威胁已成为各国研究的热点。美国从20世纪80年代开始就致力于定向对抗技术的研究,已经研制的四大定向对抗系统就是针对红外导弹的威胁采取的对抗手段[1],其中干扰技术研究是其中的一项关键技术。

红外导引头的发展总体上经历了两个阶段:点源制导红外导引头和成像制导红外导引头。点源制导包括调制盘式和正交四元两种,其中调制盘式红外导引头由于灵敏度低,抗干扰能力差,在战场上发挥的作用有限,目前正在服役的多为正交四元红外导引头,制导性能大大提高。成像制导红外导引头分为线列扫描和凝视成像型两种,凝视成像型以空间分辨率高、无运动部件、制导能力强等特点在红外导弹中广泛应用。因此对抗技术主要是针对正交四元和凝视成像型两种红外导引头的干扰研究。

调制的中红外激光已经被公认为定向对抗的一种有效干扰手段。本文针对上述两种红外导引头进行了中红外激光干扰试验,验证了干扰效能,并对试验结果进行了理论分析。

2 试验装置和原理

本试验在实验室环境下完成。试验设备从组成上可分为三个部分:目标源、干扰源和红外导引头。目标源与干扰源位置靠近,均在导引头视场内,并距离红外导引头20 m。

干扰源采用中红外激光器,采用光参量振荡技术泵浦 $ZnGeP_2$ 晶体,产生3~5 μm中红外激光,频率调节范围在5~20 kHz。

干扰目标分别为正交四元和凝视成像两种红外导引头,工作波段均为3.7~4.8 μm的中红外。正交四元红外导引头采用的是"圆锥扫描光学系统+正交四元探测器"的探测体制,视场为3°×3°。导

作者简介:初学莲(1982-),女,硕士,工程师,主要从事光电对抗技术研究。E-mail:eoei@vip.sina.com
收稿日期:2012-02-14;**修订日期**:2012-03-15

引头采用卡塞格伦式光学系统,次反射镜的法线与光轴成一定角度,当光学系统旋转时,形成圆锥扫描,扫描圆与探测器相交产生四个脉冲信号,根据各脉冲之间的相位关系确定目标的方位角和俯仰角。凝视成像型红外导引头利用红外热像仪代替。导引头跟踪并锁定目标后,对摄取的目标红外图像进行处理得到数字化目标图像,经过图像处理和图像识别,区分出目标、背景信息,并形成跟踪窗口的中心按照预定的跟踪方式跟踪目标图像。热像仪视场为 4°×3°,采用 320×256 红外探测器。

对两种不同体质的红外导引头采取不同的干扰方式。

正交四元红外导引头为脉位调制探测系统,识别目标在空间的方位靠目标像点产生脉冲的位置和基准信号相比获得,具有较强的抗干扰能力[2-3]。对其的干扰采用脉冲调制干扰方式,即调制中红外激光器的脉冲输出波形(包括功率、频率、占空比),使得一个信号周期内探测器产生的脉冲位置或数量发生变化,从而导致计算出来的目标方位与干扰前不同,导弹在飞行过程中产生偏航,或者直接丢失目标。

成像型红外导引头是把目标的红外辐射分布转变成用灰度表示辐射亮度的红外图像,探测系统为能量累积型。对此类导引头的干扰采用能量压制干扰方式[4-5],即中红外激光入射到红外导引头探测器的功率密度超过探测器的饱和阈值,目标信息被淹没,从而使导引头无法继续跟踪目标。

试验布局如图 1 所示,干扰对象为正交四元红外导引头时,利用斩波器二次调制激光输出频率及占空比;对凝视成像型红外导引头,仅调节激光输出功率和重复频率。干扰前红外导引头稳定跟踪目标,中红外激光处于关闭状态。当实施干扰时,开启中红外激光,调节激光输出功率、频率、占空比,通过红外导引头显控界面记录干扰效果。

图 1　试验光路示意图

Fig. 1　schematic diagram of experimental setup

3　试验结论

对正交四元红外导引头干扰试验结果如表 1 所示。

表 1　试验结果记录表

序号	导引头圆锥扫描频率	压制系数	干扰源占空比	干扰脉冲频率	干扰效果
1	ω	10	1:1	ω	导引头由稳定跟踪变为丢失目标
2	ω	10	1:1	$\omega/2$	导引头稳定跟踪,截获状态不受影响
3	ω	10	1:1	2ω	导引头稳定跟踪,截获状态不受影响
4	ω	10	1:3	ω	导引头由稳定跟踪变为丢失目标
5	ω	10	1:3	$\omega/2$	导引头稳定跟踪,截获状态不受影响
6	ω	10	1:3	2ω	导引头稳定跟踪,截获状态不受影响
7	ω	5	1:3	ω	导引头由稳定跟踪变为丢失目标
8	ω	2	1:3	ω	导引头稳定跟踪,截获状态不受影响

若要使激光干扰源能够实现对正交四元红外导引头的干扰需要满足以下条件:

(a)干扰源的辐射强度大于目标的辐射强度(一般 3~10 倍)。由于探测器本身的自动增益控制,使目标辐射被当作背景信号过滤掉;

(b)干扰脉冲的频率与导引头光学系统扫描频率一致。正交四元探测器产生的目标像点脉冲周期取决于卡塞格伦光学系统的旋转频率,只有目标脉冲信号在几个周期内稳定复现时,导引头才能稳定跟踪,否则根据抗干扰算法剔除干扰;

(c)干扰脉冲的包络可调制,即改变干扰脉冲出现的时间和占空比,从而使探测器一个周期内输出脉冲信号的时间或数量与目标信号不同,进而影响目标的角度解算结果。

对成像型红外导引头的干扰由于属于能量压制型,因此只要激光功率足够大,便能起到干扰效果。试验中,激光功率为 0.05 W 时,导引头刚好无法继续保持跟踪状态,跟踪波门从原目标上转移或消失。下面计算此功率下探测器的干扰阈值,即能够对红外探测器实现干扰所需要的最小激光功率密度。

探测器上的激光光斑直径 d 为:

$$d = f\theta + 2.44\lambda F \tag{1}$$

式中,f 为导引头光学系统焦距;θ 为激光束散角;λ 为系统工作波长;F 为探测器 F 数。

根据系统技术参数计算出 d 为 452 μm,则入射到探测器上的激光功率密度 I 为:

$$I=\frac{P\tau}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}=\frac{4P\tau}{\pi d^2} \tag{2}$$

式中,P 为入射到光窗上的激光功率;τ 为光学系统整体透过率。

注:本文所涉及的功率及功率密度均为工作波段内的平均值。

根据公式(2)能够计算出出现干扰效果时,入射到探测器的最小激光功率密度为:

$$I=\frac{4P\tau}{\pi d^2}=\frac{4\times5\times10^{-2}\ \mathrm{W}\times0.8}{3.14\times(452\ \mu\mathrm{m})^2}=24.94\ \mathrm{W/cm^2}$$

试验证明,到达探测器的激光功率密度超过 24.94 $\mathrm{W/cm^2}$ 就可以实现对红外热像仪的干扰。此干扰原理及理论计算方法同样适用于其他热像仪,激光功率密度数值依热像仪具体参数而定。

4 结 论

国外对定向对抗系统的研制一直在进行,作为关键技术之一的中红外激光干扰技术研究是系统研制前必须解决的问题。本文通过试验验证了对正交四元和成像型两种红外导引头,中红外激光器可采用不同干扰方式进行干扰,并取得的很好的干扰效果。通过调节激光器的各项参数,获得了能够进行有效干扰的激光调制方式和能量阈值,促进了对定向对抗技术的深入研究。

参考文献:

[1] Fu Wei. Technique and present state of CDIRCM[J]. Laser & Infrared,2001,31(5):259-261. (in Chinese)
付伟. 定向红外对抗技术及其现状[J]. 激光与红外,2001,31(5):259-261.

[2] Xie Bangrong,Yin Jian. Simulation and analysis of 4-unit infrared guiding-head's anti-jamming principle[J]. Journal of System Simulation,2004,16(1):61-65. (in Chinese)
谢邦荣,尹健. 四元红外导引头抗干扰原理分析与仿真[J]. 系统仿真学报,2004,16(1):61-65.

[3] Jiang Haixu, Li Jun, Zhang Ke. Analysis and simulation for anti-jamming principle of four-element infrared detector[J]. Journal of Detection & Control, 2009, 31(4): 84-87. (in Chinese)
姜海旭,李军,张科. 四元红外探测器抗干扰分析与仿真[J]. 探测与控制学报,2009,31(4):84-87.

[4] Yang Yanjie,Dou Maosen,Sun Qinghua. Several modes of confronting infrared imaging guidance with pulse laser [J]. Infrared,2008,29(4):20-23. (in Chinese)
杨彦杰,窦茂森,孙庆华. 脉冲激光器对抗红外成像制导的几种方式[J]. 红外,2008,29(4):20-23.

[5] Yang Yanjie,Zhang Guobing. Reasearch on jamming of infrared imaging guided tracking system by laser[J]. Infrared,2009,30(9):30-34. (in Chinese)
杨彦杰,张国兵. 激光对红外成像制导跟踪系统的干扰技术研究[J]. 红外,2009,30(9):30-34.