

高重频激光在光电对抗中的应用

万勇, 王滨, 李彤, 李燕凌, 衣学斌, 张伟, 薛亮平, 吴振宇, 陈鸿鸣, 曾丽莉,

王宏元, 廖志焯, 韩鸿, 谢宇宙

(西南技术物理研究所, 四川成都, 610041)

摘要: 本文从光电对抗的角度出发, 介绍了几种常见的军用光电装备, 提出了可以用波段内高重频脉冲激光对这三种光电装备实现干扰对抗, 给出了多波段高重频激光的实现方案, 在告警信息的支持下, 可实现对多种光电装备的干扰。

关键词: 光电对抗, 高重频激光, 激光测距机, 制导导引头。

0 引言

随着光电技术的长足发展, 它在军事上也获得了大量的应用。如各类光电观瞄设备, 包括微光、红外夜视仪等, 各类制导武器, 包括激光制导, 图像制导, 红外制导等, 还有各型各类激光制距机等, 种类繁多, 应用平台各异。

这些光电装备, 都利用了光波段, 包括从紫外到红外的扩展波段, 或以主动发射, 或被动接收, 从而实现各自的功能。从军事对抗的角度来说, 有矛必有盾, 由于这些光电装备的应用, 和其在战争中显现出的巨大作用, 各国也加紧力量研制针对各类光电武器的对抗措施, 这就诞生了光电对抗这门学科, 在各类光电对抗的手段中, 高重频脉冲激光干扰作为其中的一个重要分支, 获得了重要的发展和应用, 并且伴随着光电技术应用和光电对抗技术的发展, 正处于一个重要的发展阶段。

1 几类光电装备及其应用

1.1 激光测距机

军事上最常见的激光测距机, 采用调 Q 巨脉冲激光束, 照射测距目标, 通过发射激光脉冲到接收从目标漫反射激光回波之间的时间差计算出测距机到目标之间的距离, 从而为火控系统提供距离信息, 激光测距机在某些场合也兼作目标指示等。为提高其战场抗干扰能力, 普遍采用了时间波门限制等措施, 对于波门之外的激光信号则不进行接收处理。

由于 Nd:YAG 激光器成熟技术的应用, 目前装备的激光测距机大多为 1.06 μm 波长, 近几年来, 为解决战场和训练中对人眼安全的问题, 也发展了一些如 1.57 μm 等其它波长的激光测距机^[1-2]。

1.2 激光半主动制导

从激光制导方式来看, 激光制导可分为主动式、半主动式和驾束制导等, 由于技术上的原因, 目前发展较成熟, 已装备部队的激光制导武器多为半主动式。激光制导炸弹是用激光进行制导的航弹, 简称激光炸弹。激光制导炸弹的激光指示器与激光接收系统是相互分离的, 如图 1 所示, 激光炸弹前部装有激光导引头和控制舱, 尾部装有弹翼。投弹时, 飞机机载(或地面)激光目标照射器向目标发射激光束照射目标, 导引头则接收从目标上散射回来的激光作为导引信号, 再通过光电变换形成电信号, 导引头上的光电接收器为四象限(或三象限)探测器, 反射信号在四象限探测器上投影, 四象限探测器接收光信号后分别经过放大、延时、峰值采样, 以提取各通道信号峰值, A/D 转换电路将其转换成数字信号。四路信号进行和/差处理, 计算出光斑对于四象限探测器中心位置的偏移量, 输入控制舱, 控制弹翼, 矫正导弹飞行姿态和飞行方向, 使光斑中心始终指向四象限探测器中心, 从而实现制导飞行, 直至目标。激光制导炸弹由于使用了激光制导, 从而大大提高了炸弹命中的精确度。

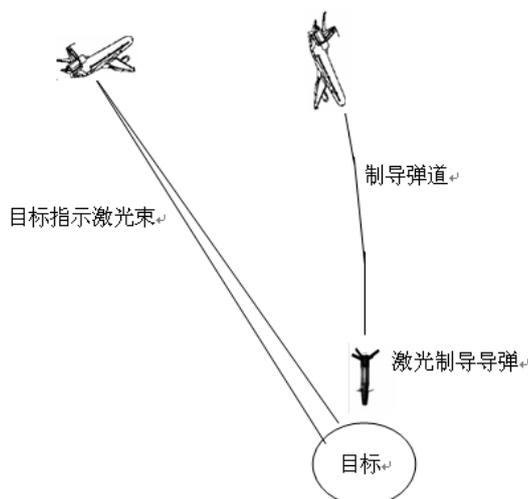


图1 激光半主动制导过程示意图

激光半主动制导武器系统中的激光目标指示器也通常也兼有激光测距功能，为了在战场复杂电磁环境能够工作，也为了提高其对激光诱偏等的抗干扰能力，普遍都采用了脉冲编码和时间波门技术^[3]，这使用得一般的干扰技术难以达到对它的干扰效果。

1.3 电视制导武器

电视制导是利用电视摄像机捕获、识别、定位、跟踪直至摧毁目标。由于电视的分辨率高，能提供清晰的目标图像，便于鉴别真假目标，制导精度很高。但因为电视制导是利用目标反射可见光信息进行制导的，所以在烟、雾、尘等能见度差的情况下，作战效能下降，夜间不能使用。

电视制导的方式有三种。一是电视寻的制导：电视摄像机装在精确制导武器的弹体头部，由弹上的摄像机和跟踪电视自动寻的和跟踪目标；二是电视遥控制导：精确制导武器上装有微波传输设备，电视摄像机摄取的目标及背景图像用微波传送给制导站，由制导站形成指令再发送回来，导引精确制导武器命中目标。这种制导方式可以使制导站了解攻击情况，在多目标情况下便于操作人员选择最重要的目标进行攻击。三是电视跟踪指令制导：外部电视摄像机捕获、跟踪目标，由无线电指令导引精确制导武器飞向目标。

电视制导武器的代表产品是美国的“幼畜”AGM65A/B空地导弹。它是由美国空军1964年提出，于20世纪60年代末完成，70年代初装备的，从越南战争到两伊战争使用了几千枚，显示了很高的命中率。其制导系统由电视摄像机、电视自动跟踪电路、逻辑电路和伺服系统组成。在导弹头罩里面，陀螺稳定的电视摄像机装在弹体的头部，飞行员通过操纵手柄锁定目标并发射导弹，由电视寻的制导系统产生制导与控制信号。该信号一边驱动电视寻的器的陀螺进动，一边控制导弹的舵机，使目标始终位于电视摄像机视场的中心，导弹则按规定的导引规律飞行，直至命中目标^[4]。

1.4 红外制导武器

红外制导是利用探测飞机，坦克等目标的红外辐射，而导引导弹指向，攻击目标的技术。

红外制导由于精度高、抗干扰能力强、效费比高、结构简单、体积小、总量轻、使用灵活等诸多优点，已成为精确制导武器的重要技术手段，被广泛应用于各种地对空、空对地、空对空、反坦克、反舰导弹和巡航导弹。美国国防部研究表明，自越南战争以来，作战中损失的军用飞机有90%是被红外制导导弹击落的。随着红外探测器的光谱响应从短波扩展到中波和长波，以及红外导引头技术的发展，特别是采用了红外成像凝视焦平面阵列探测器，大大提高了红外制导导弹的灵敏度和抗干扰能力，使其获得了更远的攻击距离，并使一些传统的红外对抗手段如闪光灯、红外干扰弹等效能大减，甚至完全无效。

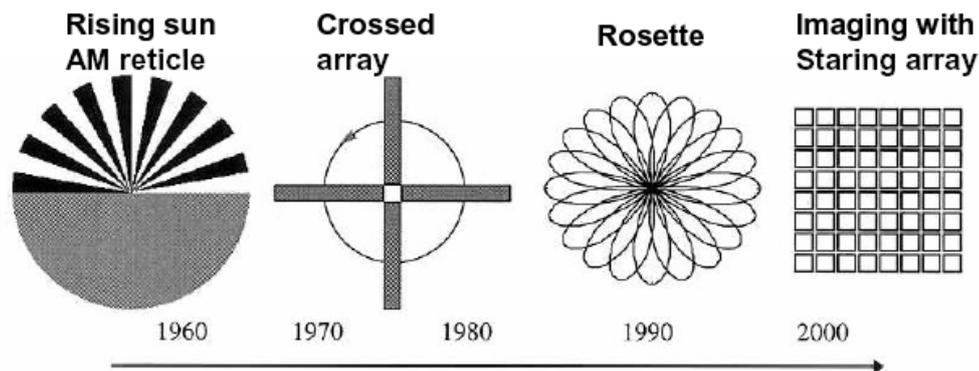


图2 红外制导导引头技术的发展

自 20 世纪 80 年代以来, 红外成像制导技术得到了突飞猛进的发展, 目前红外成像制导导引头在体制上有凝视阵列成像和线列扫描成像, 在波段上, 有中波和长波。红外成像寻的制导导弹的发展经历了两代: 1) 第一代红外成像制导导弹采用多元线列探测器和旋转光机扫描器相结合的方法, 实现探测器对空间二维图像的读出, 采用并扫或串并扫扫描体制。这类成像制导导弹在 20 世纪 70 年代中期开始研制, 目前已经成熟并开始批量生产装备部队。典型代表有: 美国 AGM265D/F 幼畜空地、空舰红外成像制导导弹(采用 16 元铯镉汞光导线列器件和串并扫描型光机扫描)、AIM2132 空空导弹以及美国在海湾战争中使用的远程攻击型 AGM284E 斯拉姆(SLAM)导弹。2) 第二代红外成像制导导弹去掉了光机扫描红外器件而采用扫描或凝视红外焦平面器件(目前长波 64×64 元、 128×128 元和中波 256×256 元、 320×240 元红外焦平面探测器件以及 4N 扫描焦平面器件已经达到实用水平), 采用了复杂背景下目标识别技术。典型代表有: 美国坦克破坏者(Tank B reaker)导弹、欧洲的 ASRAAM、美国 AIM29X 响尾蛇后续型、法国麦卡空空导弹、以色列的怪蛇 24/5 等导弹。

2 高重频激光对目标的干扰

上述, 包括未叙及光电装备, 在战场上发挥重要作用, 作为对抗, 各国均针对各型光电装备的特点发展了不同种类, 不同工作原理的无源, 有源干扰装备, 其中高重频激光作为一种有效的干扰手段得以发展, 下面分别叙述。

2.1 高重频激光对激光测距机干扰

激光测距机以靠接收目标反射的回波信号进行测距, 只要在测距激光回波中夹杂干扰激光脉冲, 就可以对测距机测距距离实现干扰, 使测距机在测距过程中不能获取正确目标信息。由于测距机在工作过程, 经过最初几个脉冲的自由测距之后, 都会加上时间波门, 以提高其抗干扰能力。一般的激光脉冲就很难进入测距机波门形成干扰, 而高重频激光却可以突破这一抗干扰措施, 只要激光重频足够高, 就可以在激光测距机波门任意开启的时刻进入。从而达到干扰效果, 普遍激光测距机的波门最高设置在 $20 \mu\text{s}$ 左右, 因此, 高重频激光干扰脉冲重频应不小于 100KHz , 才能保证激光测距机波门任意开启时间都会有 1 个以上的干扰脉冲进入。另外, 高重频干扰激光还要与激光测距机波长一致才能实现干扰。

2.2 高重频激光对激光半主动制导武器的干扰

激光半主动制导武器普遍采用了时间波门和脉冲编码技术提高其抗干扰能力, 与干扰激光测距机同样的原理, 我们可以通过高的干扰激光脉冲重频, 实现在导引头任何时间开启波门时都会接收到不少于 2 个干扰激光脉冲, 从而可以实现对导引头的诱饵干扰或扰乱干扰, 这种高重频激光干扰的方式, 相对于针对激光半主动制导导引头的诱偏干扰方式, 由于减少了脉冲编码的解码, 复制编码过程, 因此不受导引头脉冲编码复杂性的影响, 同样, 高重频干扰激光波长也必需与导引头目标指示器激光波长一致, 有幸的是, 由于 Nd:YAG 激光器的成熟应用, 目前激光半主动制导武器工作波长还是集中在 $1.06 \mu\text{m}$ 。

2.3 高重频激光对电视和红外制导引头的干扰

电视制导技术和红外制导技术探测器使用波段不同, 但一个共同点都是利用目标本身的电磁辐射(红外), 或反射的电磁波(光波段)进行目标识别, 跟踪锁定实现导引头制导功能的一类武器装备。作为对抗手段, 都可以利用相对应工作波段高功率重频激光束定向照射, 使导引头在对工作时, 由于接收到比目标辐射强很多的激光能量而使探测器饱和, 从而失去对目标的识别跟踪能力。

同样的原理, 高功率, 高重频激光也可以实现对电视观瞄设备, 红外, 微光夜视仪等观瞄设备实现定向激光干扰。

这类干扰功能的实现, 需要几个前提, 其一, 进入干扰对象光路, 作用于探测器的干扰激光功率必需足够强, 使探测器成像实现饱和, 而高功率正是激光的一大特点, 干扰系统设计时, 应该保持激光窄波束的特点, 采用定向干扰模式, 才能保证足够的激光能量进入目标光路, 作用于探测器, 这就对干扰系统中目标告警, 干扰转台的指向精度等提出要求, 实际系统设计时, 应该在激光波束宽度和转台指向精度之间寻找平衡点, 使干扰激光能够准确指向目标, 又需要保证作用于目标的激光功率密度。其二, 干扰激光的波段, 干扰激光的波段必需与干扰对象的工作波段一致, 才能实现激光的带内干扰, 而如果波段不一致, 要想实现激光的带外干扰, 则需要非常强的激光能量, 才能对目标实现破坏或近破坏的效果, 这涉及到另外一种干扰体制, 不在本文讨论范围。

3 高重频多波段干扰激光源的技术实现

针对前述几种类型光电装备的激光定向干扰, 需要不同波长的高重频激光干扰光源, 而在激光干扰源设计中, 以 $1.06\ \mu\text{m}$ 高重频激光为基础, 可以利用激光的波长变换技术实现同一台激光器多波长的输出从而实现对多种光电威胁的干扰能力。

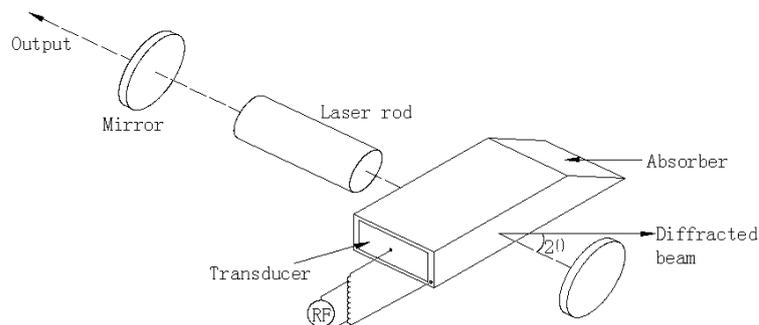


图3 声光调Q高重频激光器

Nd:YAG 激光器, 利用半导体泵浦技术, 采用声光调Q等, 可以获得高效率的高重频 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光输出。该高重频激光可以实现对激光测距机, 激光半主动制导弹等的干扰, 同时, 由于它也处于电视制导导引头的响应范围内, 所以也可以用作对电视制导的高重频激光干扰源。而对于红外制导导引头, 则可以通过日渐成熟的非线性频率变换技术, 实现干扰激光波长从 $1.06\ \mu\text{m}$ 到红外波段的变换。目前比较多的选择就是利用周期极化铌酸锂晶体的光参量振荡器(PPLN-OPO)实现高效波长变换, 获得红外激光输出。根据要求, 也可以通过多周期PPLN的应用, 同时实现 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光到 $1.57\ \mu\text{m}$ 的变换, 可以用来干扰 $1.57\ \mu\text{m}$ 激光测距机。

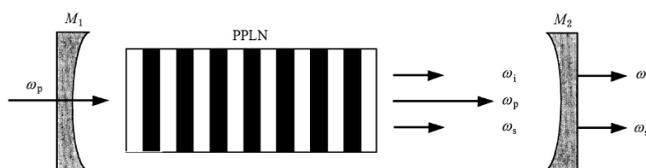


图4 PPLN-OPO实现激光的波长转换

因为几种波长激光都是以 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光为基础, 可以实现几种波长高重频激光的同时共孔径输出, 实

现对不同目标的干扰。而对预警系统来说，则减小了对来袭目标工作波段的要求。

5 小结

本文简介了几种军事上常用的光电装备，并分析了高重频脉冲激光作为干扰光源实现对几种不同类型光电装备实现干扰的可行性，高重频干扰激光可以由一台激光器通过不同形式的频率变换实现几种不同波长输出，在告警系统的支持下，实现对不同波段工作，不同种类的目标的干扰。

参考文献：

- [1] 刘莉萍, 1.57 μm OPO 人眼安全激光技术的军用前景分析, 激光与红外 (J), 2003, Vol.33, No.4, 300-303;
- [2] 时顺森, 翟刚, 金锋等, 人眼安全 1.57 μm OPO 激光测距机, 激光技术 (J), 2000, Vol.24, No.5, 262-264;
- [3] Bayston, Pulse code recognition method and system; U.S. Patent No: 5,023,888; Jun.11.1991
- [4] 贾玉林, 张麟瑞, 程科, 可见光系统在制导武器中的应用—电视制导技术, 红外与激光工程 (J), 2006, Vol.35, 增刊;
- [5] 陈玉波, 陈乐, 曲长征等, 红外制导技术在精确打击武器中的应用, 红外与激光工程 (J), 2007, Vol.36, 增刊;