

文章编号: 1001-5078 (2006) 07-0521-04

武器平台面临的激光威胁及其防护

张 锦

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 审视了各种武器平台面临的激光制导武器威胁现状, 指出各种武器平台对加装激光威胁告警器的需求特点, 并从灵敏度、动态范围、反应时间和威胁数据库等方面, 分析评论了激光威胁告警器的设计考虑。最后, 对武器平台防护对抗激光制导武器攻击的常用手段: 烟幕、激光诱饵和激光制盲压制干扰的原理、使用效能作了简要评述。

关键词: 武器平台; 激光制导; 激光威胁告警器; 烟幕; 激光诱饵; 激光制盲

中图分类号: TN977

文献标识码: A

Weaponry Platforms Facing the Laser Threats and Self-protective Actions

ZHANG Jin

(South-west Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: The operational status of laser guided weapons that face the weaponry platforms has been investigated. A need of the different features of laser weapon laid on the weaponry platforms are pointed out, and on the view-point of sensitivity, dynamic range, processing time (detection to declaration) and threat data library, a design considerations on laser weapon are analysed and reviewed. At the end, a principles, an application and an effectiveness of laser guided weapons countermeasures, such as smoke screen, laser decoy and laser blinding, are briefly described.

Key words: weaponry platform; laser guidance; laser threat warning; smoke screen; laser decoy; laser blinding

1 引 言

激光制导武器是一种精确制导武器。在近代几次局部战争中已充分显示出它的强大威力, 并且已成为许多国家武装部队的制式装备。面临现代战争中激光制导武器的威胁, 武器平台迫切要求加装激光威胁告警器。它的作用是: 及时准确地探测识别出激光威胁的存在, 判断威胁的性质和危险等级, 确定来袭方向, 并向它的平台发出报警, 以便乘员采取适当的对抗措施, 或是机动规避, 或是施放烟幕或激光有源干扰保护自己, 或是通知相配合的武器系统 (如火炮或激光致盲武器等) 实施还击。演示验证试验多次表明, 加装激光告警器的武器平台, 在现代战场上的生存能力将大幅度提高。因此, 激光威胁告警器是武器平台保护自己的首要设备。

本文从要保卫的武器平台种类及其所面临的激光威胁性质出发, 着重对激光威胁告警器的设计, 进

行一些相关的讨论, 并简要提出某些常用的对抗防护措施。

2 武器平台面临的激光威胁

根据跟踪多年来简氏武器年鉴连续系列出版物, 特别是 Jane's Electro-Optic Systems 中发表的光电制导武器装备状况^[1], 表 1 列出了各种武器平台, 在现代战场上所面临的威胁类型。注意: (1) 这里只给出了激光制导武器的威胁。虽然激光测距也是常遇到的一种激光威胁, 但是它的威胁等级远低于激光制导武器; (2) 虽然本文只论及激光威胁, 但为了看清激光威胁在武器平台遭受的种种威胁中所占的位置, 我们也给出了常见的雷达和红外热寻的制导武器威胁; (3) 表 1 中所说的威胁之主次, 是指平

作者简介: 张 锦 (1973 -), 女, 工程师, 硕士, 主要从事光电对抗技术研究开发。

收稿日期: 2006-02-21

台受攻击的制导武器品种的多寡,并非指对于次要威胁的武器品种,就可以不采取防护措施。从表 1 可以看出,飞机的主要威胁是雷达制导武器和热寻的制导武器,激光制导武器的威胁居其次;坦克战车和固定目标的主要威胁则是激光制导武器;舰船的主要威胁是雷达制导武器,激光制导武器和热寻的制导武器居其次。

表 1 各种武器平台所面临的威胁类型

威胁类型		受威胁的武器平台			
		坦克/战车	直升机/低空飞机	舰船	固定目标
雷达制导武器		⊙	●	●	○
激光制导武器	寻的式	●	○	⊙	●
	驾束式	●	⊙	○	○
热寻的武器		⊙	●	⊙	○

注:●主要威胁 ⊙次要威胁 ○没有威胁

平台威胁这种格局的形成,主要是因为武器系统设计时选择什么技术手段来攻击特定的目标,取决于是否能获得最高的效费比。拿激光制导武器来说,要获得最佳效费比,中程(4~5km)反坦克导弹通常都倾向于采用激光驾束(包括激光瞄准线指令)制导,而远程(≥20km)反坦克导弹才采用激光寻的制导;低空防御导弹往往倾向于激光驾束制导;攻击水面舰船或地面固定目标通常用激光寻的制导,例如激光制导航空炸弹,特别有效。因此,就激光威胁而言,直升机、低空飞机要防御激光驾束制导武器的攻击;地面固定目标和水面舰船要防御激光寻的制导武器的攻击;坦克、战车则既要防护激光寻的制导武器,又要防护激光驾束制导武器的威胁。

激光寻的制导武器攻击目标时,始终用一束激光跟踪指示目标,以便制导武器寻的来自目标反射的激光。激光目标指示器可以在有人或无人驾驶的飞机上,也可以是前方地面观察员操作。在整个攻击期间内,它必须始终在目标视线内。

激光驾束制导武器攻击目标时,激光制导武器系统,用同一激光波束跟踪照射目标,并控制导弹的飞行,直至命中目标。

3 激光威胁告警器设计考虑

3.1 激光威胁源的典型参数

激光制导武器是一种半主动制导武器,目前还做不到“发射后不用管”。寻的式激光制导武器发射后,要求用激光目标指示器指示目标;驾束式制导武器发射后,则一直在跟踪瞄准目标的激光照明器波束中飞行,直至它们命中目标。一旦探测到目标指示器或照明器的激光脉冲,目标大约在 10~20s

内便会被激光制导武器击中。因此,目标指示器或照明器就是激光威胁源。目前,激光目标指示器几乎全都用 1.06μm 的 Q 开关 Nd:YAG 激光器;驾束制导照明器主要是 0.9μm GaAs 半导体激光器、1.06μm Nd:YAG 激光器和 10.6μm 波导 CO₂ 激光器。表 2 列出了用于测距和制导的军用激光系统的典型参数^[2]。

表 2 军用激光系统的典型参数

	测距机	目标指示器	照明器
波长/μm	0.69, 1.06, 1.54, 10.6	1.06	0.9, 1.06, 10.6
作用距离/km	5~20	≤10	≤5
束散角/mrad	0.5~2	0.2~0.5	保持光斑直径恒定为 6~8m
脉冲特性	峰值功率/W	10 ⁵ ~10 ⁷	10 ⁶ ~10 ⁷
	脉宽/ns	10~20, 50~60	15~30
	重复频率/Hz	0.1~20	10~20
	编码	不编码	脉冲编码或空间花样编码或偏振编码

当然,我们不能认为军用激光系统,就总是使用这几种激光器。随着激光技术的发展,还会有新的激光器出现在军用激光系统中。但无论如何,军用激光器所选用的波长都必须处在大气透射窗口内。

另外要指出的是,激光告警接收机,不存在雷达告警接收机中的旁瓣截获情形。然而,激光器及其发射光学系统的零部件中,产生的离轴散射光和反射光,通常称之为出口散射,则与微波雷达波束的旁瓣有点类似。这种出口散射的光强,比主光束光强低 3~6 个数量级。

3.2 激光威胁告警器的性能要求

激光威胁告警器用于武器平台自卫防护,其效能是以对激光威胁及时准确识别,使受威胁的武器平台来得及采取对抗措施的激光截获效率来衡量的。在技术上,要解决信号探测、真实信号与虚假信号的鉴别、激光特性参数分析和方向分辨等问题。表 3 列出了激光威胁告警器的主要性能指标和典型的数值范围^[3]。这些指标的具体数值与武器平台种类和告警器的使用要求有关,要由激光告警器的设计方和采购方共同合理选取剪裁。

信号探测与系统的灵敏度有关,通常在可见和近红外区受阳光散粒噪声及热噪声的限制,而在中红外和远红外区受探测器噪声的限制。入射到激光告警接收机上的激光能量,可以来自直接照射、平台漫反射,也可以来自大气散射。其结果是,在相同情景下的入射信号大小,视激光能量到达告警接收机上的方式不同而有几个数量级的变化。因此接收机的动态范围与接收灵敏度是同样重要的参数。尤其重要的是,直接入射信号不应损坏接收机,也不应引

起接收机饱和。系统灵敏度和能得出正确分析结果的最强信号,是与光强有关的指标,它们决定了动态范围。信号强度在这个范围内,告警器能得出正确分析结果,而系统遭受损坏的信号强度,则限制了生存动态范围。

表 3 激光威胁告警器的主要性能指标

性能指标	典型值范围
灵敏度	$10^{-6} \sim 10^{-3} \text{W/cm}^2$
最大允许峰值信号强度 (正确分析)	$1 \sim 10^3 \text{W/cm}^2$
分析动态范围 (正确分析)	$10^4 \sim 10^8$ 辐射度比
生存动态范围 (损坏)	$10^8 \sim 10^{12}$ 辐射度比
虚警率	1次/小时,或 1次/天,或 1次/任务
探测概率	0.9~0.99
排除虚假目标的能力	具有抗各种自然光及人为光干扰的能力
波长分辨	光谱带 $\sim 0.01 \mu\text{m}$
时间分辨 (脉宽)	$< 100 \text{ns}$
时间分辨 (重频)	$1 \sim 10^{-3} \text{s}$
时间分辨 (间隔)	$10^{-1} \sim 10^{-7} \text{s}$
到达方向分辨	$1^\circ \sim 45^\circ$
反应时间 (探测到告警)	0.1~0.5s

对威胁源特征参数的确定,有两种不同的要求:
(1)对于只用于确定威胁存在并向平台告警的激光告警器(例如用于施放烟幕干扰的),只需对激光波长、功率、脉宽和重频作粗略测量,以能区分激光武器、激光测距、目标指示、驾束照明即可;(2)对于直接与激光有源干扰发射机联用的激光告警器,往往需要精确测量脉冲重频或脉冲间隔,精度达百分之几。

对到达角分辨的要求,随使用方式不同而有所不同。在无源干扰(如施放烟幕)方式中,只要求概略定向,通常角分辨为 45° ;在有源干扰方式中,角分辨要求较高,大约为 15° 左右;若要用于主动还击(火力对抗或激光压制干扰),角分辨则要高达 1mrad (0.06°)。

3.3 激光威胁告警器设计考虑

有关激光识别、抗光干扰、确定到达方向等方面的论说,已在不少文献中提到。这里只论及很少被提及的另外一些重要的设计考虑,其中包括灵敏度、动态范围、实时处理、威胁数据库等方面。

接收机灵敏度 动态范围

对于激光半主动寻的式制导武器系统,其激光威胁源(即目标指示器)参数的典型值为,输出能量 150mJ 、脉宽 30ns 、束散 0.25mrad 、重频 20Hz 、PRF 及 PM 脉冲编码(美国空军 AN/AVQ-25 机载激光

目标指示器)。激光测距威胁参数类似于激光目标指示器,只是重频较低,不编码。计算分析表明,灵敏度为每平方厘米 1mW 量级的激光告警接收机,就足以在超过能见度的距离上,探测这种激光威胁源照射到武器平台或由告警器附近大气散射的激光,并进行告警。实践表明,灵敏度在每平方厘米 1mW 量级的大视场、宽带激光告警接收机,是比较容易实现的。因此,对平台自卫用的激光告警器来说,灵敏度是比较容易满足的。主要关心的是,要避免接收机电路饱和带来的问题。如果与饱和相关联的脉冲展宽效应,使接收机将威胁激光误判为阳光等干扰光而不予告警,则会产生致命的后果。这里必须强调的是,在告警接收机灵敏度,已足够满足军方最大告警距离指标的情况下,不要一味追求灵敏度的提高。因为激光接收机能实现的动态范围受对数放大器的限制,最多 $3 \sim 4$ 个十倍程,灵敏度越高,就越容易发生饱和。

对于激光驾束式制导武器系统,其激光威胁源(即驾束照明器)参数的典型值为,输出脉冲功率 150W 、脉宽 200ns 、光斑直径恒定为 6m 、重频最高 28kHz (瑞典 RBS70 防空导弹)。计算表明,要在武器最大射程上,探测到这种激光威胁的存在并进行告警,所需接收机灵敏度应在 10^{-5}W/cm^2 量级。比上述灵敏度要高两个量级。接收机要达到这样高的接收灵敏度,不是轻而易举的,必须进行精心设计。

如果同时要求对激光寻的和激光驾束制导武器都能告警,比如坦克、战车就有这种要求,这时告警接收机就更容易饱和。为避免因饱和而不告警的致命后果,一个可行的办法是在接收机的探测通道中加入适量的光学衰减^[3],或是采用光谱识别以及相干识别等。此外,激光告警接收机在武器平台上的安装位置,往往要尽量考虑放置在不易为威胁源直接照射的地方(比如对舰船,可以放在桅杆上)。

地面固定目标,虽然主要是要对激光制导炸弹一类的寻的式武器系统进行告警,但此类目标都是高价值小型面目标,而不是“点”目标,要求激光告警接收机有足够的轴外探测能力,截获半径至少达到 50m 。要具备轴外探测能力,就要能探测大气散射和激光器出口散射的激光,所要求的接收灵敏度也在 10^{-5}W/cm^2 量级。水面舰船这种大目标也有类似的情况和要求。实现 10^{-5}W/cm^2 高接收灵敏度的主要措施:有合理压缩光谱带宽和电气带宽,提高光学增益等。

实时处理 威胁数据库

激光威胁告警器是实施激光对抗的基本设备,它是一种战术手段,要求立即行动,因此对它的实时

性要求很高。通常要求反应时间在 0.5s 以内,即从截获到激光信号,到分析处理出激光威胁类型和威胁等级,要在 0.5s 内完成。这主要取决于告警器中的微处理器 (CPU) 的速度,可以通俗地说,“CPU 有多快,反应时间就有多快”,因此,微处理器往往要采用高速数字信号处理器 (DSP) 技术。

此外,为实时完成对敌激光威胁源类型的识别和分析,在告警器的微处理机中设有一个威胁数据库,用来存放敌激光威胁源的参数^[4],供快速比较识别。这些参数是通过平时的情报侦察活动获得的。激光情报侦察,由激光情报侦察监视接收机 (属电子战的 ESM 范畴) 来完成。它是在战前进行的一项军事行动,目的在于最大限度地获取某个地区 (战) 区内,敌各种激光威胁源的情报资料,包括对它们发射的信号进行探测、识别和定位,并记录下它们发射的激光脉冲参数 (包括脉冲重复频率、脉宽、编码方式和波长等)。根据这些参数,即使看不到激光源,也能把它的类型识别出来。情报侦察获取的威胁数据,经数据加 / 卸载器加载到存储体 (例如 PCMCIA 卡等) 内,再将存储体插入告警器的处理机中,形成威胁数据库。借用这种存储体,告警器还可以把一次战役中遇到的不明威胁源参数先记录下来,在战役后,再卸载到数据加 / 卸载器中进行事后分析,确认新的威胁源参数,以丰富威胁数据库。

4 防护 (对抗) 措施

武器平台防护激光制导武器袭击的对抗措施,最常用的是施放烟幕,以及激光诱惑干扰。前者属无源干扰,后者属有源干扰,二者还可结合使用称为复合干扰。此外,激光致盲压制干扰也是一种可能的对抗措施,属于激光软杀伤。

4.1 烟幕

对抗激光制导武器最常用的手段,是在大气光学传输通道中施放烟幕,改变大气传输特性,使大气总透过率降到足够低,对于激光寻的制导武器而言,是使激光导引头的光电传感器“看不清”目标,从而捕获不到目标而脱靶;对于激光驾束制导武器而言,是使武器系统的跟踪瞄准系统捕获不到目标,或使弹尾部的光电传感器探测不到激光编码 (或指令) 信号,从而造成脱靶。目前多光谱烟幕系统已成熟,在光电对抗中的作用已得到广泛承认,已成为对抗光电精制导武器 (包括激光制导武器) 最实用最有效的装备,具有成本低、战术使用简易方便等特点。

4.2 激光诱惑干扰

对抗激光寻的制导武器,还可采用激光诱惑干扰,又称角度欺骗干扰,属有源干扰。激光诱惑干扰,是通过激光告警器截获激光制导目标指示器的

照射信号,并进行复制并转发到假目标上,形成激光有源假目标,将激光寻的制导武器引诱到假目标上来,从而保护武器平台免受激光制导武器的攻击。这个被干扰激光束照射的假目标又称为激光诱饵。当寻的器视场中除了目标光斑外,还同时有照射在假目标上的诱惑干扰光斑时,寻的器跟踪的,实际是这两个光斑的光强重心。于是,寻的器将导引武器飞向光强重心而脱靶。假目标设置位置,由寻的器视场、干扰机输出峰值功率和所需脱靶量,要大于激光制导武器的杀伤半径等因素来决定。对于水面舰船,可以照射航行时船尾溅起的浪花作假目标。

要使激光诱惑干扰奏效,除要求激光干扰机照射在假目标上的激光功率,大于真目标上的激光功率外,还要求在空间上,假目标要能出现在寻的器视场内,且与真目标之间的距离要大于激光制导武器的杀伤半径;在时间上,干扰激光脉冲要能进入寻的器接收波门内。后者要求激光告警器,对截获的激光目标指示器编码脉冲,实现快速译码和超前补偿^[2],以触发激光干扰机实施干扰激光脉冲的同步转发,并照射假目标。

4.3 激光致盲压制干扰

各种光电火控、制导武器系统都是靠其中的光电传感器或人眼来捕获与跟踪目标、获取目标位置信息的。但在强光的照射下,光电传感器会发生过载饱和,甚至损伤破坏,人眼会导致盲或一过性失明 (称闪光盲)。激光软杀伤压制干扰的特点,就是利用高功率激光束照射武器系统中的光电传感器,使之饱和或损伤,或照射人眼使之失明,从而使火控失灵、制导武器失控而脱靶。激光致盲压制干扰直接用于对付激光制导武器本身,目前尚不成熟,但用于对付由人操纵的激光目标指示器或驾束照明器,使操作手眼睛失明,也可使激光制导武器拖靶,达到干扰目的。

参考文献:

- [1] Jean's Information Group Inc. Jane's Electro-Optic Systems[M]. London, 2005
- [2] 周立伟,刘玉岩. 目标探测与识别 [M]. 北京:理工大学出版社, 2002
- [3] Accetta J S, Shumaker D L. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook [M]. Copublished by Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor MI and SPIE Optical Engineering Press, Bellingham. 1993
- [4] 魏光辉,杨培根. 激光技术在兵器工业中的应用 [M]. 北京:兵器工业出版社, 1995