

激光制导武器发展及应用概述

张腾飞¹, 张合新¹, 惠俊军², 孟飞¹, 强征捷¹

(1. 第二炮兵工程大学, 西安 710025; 2. 陕西省宝鸡市 150 信箱 11 分箱, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 介绍了激光制导武器的3种制导体制:激光半主动制导、激光驾束制导、激光主动成像制导。通过对3种激光制导体制原理的分析,以及激光制导武器装备的性能比较,分析了3种不同制导体制的优缺点,重点对激光主动成像制导原理和研制情况进行了论述,指出了激光制导武器未来的发展趋势。

关键词: 激光半主动制导; 激光驾束制导; 激光主动成像制导; 激光对抗

中图分类号: TN249.98 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)10-0062-06

A Review on Development and Application of Laser-Guided Weapons

ZHANG Teng-fei¹, ZHANG He-xin¹, HUI Jun-jun², MENG Fei¹, QIANG Zheng-jie¹

(1. The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China; 2. P. O. Box 150-11, Baoji 721013, China)

Abstract: The article introduces three types of laser-guided weapon guidance systems: semi-active laser guidance, laser beam riding guidance and laser active imaging guidance. Analysis is made to the working principle of the three kinds of laser guidance systems and the performance of the laser-guided weapons. Based on which, the advantages and disadvantages of the three kinds of laser guidance systems are presented, with focus on the laser active imaging guidance and its development. The tendency of laser-guided weapons in the future is pointed out in the end.

Key words: semi-active laser guidance; laser beam riding guidance; laser active imaging guidance; laser countermeasure

0 引言

近30年来,局部现代化战争给人们上了深刻的一课,防区外快速精确打击已成为决定战场态势及战争胜负的重要手段。在复杂战场条件下,如何能够对目标进行远距离精准打击,是武器系统研制过程中的关键与难点问题,也是研究攻关的热点课题之一。

激光制导武器以其制导精度高、抗扰能力强、结构简单、成本低的优势逐步占据了局部战争中重要的地位,受到了越来越广泛的重视。目前发展较为成熟的激光制导体制为激光半主动寻的制导和驾束制导,而激光主动制导作为未来发展的主要方向也正处于研究和初步应用阶段。

1 激光半主动制导

1.1 原理

激光半主动制导属于激光寻的制导。典型的激光半主动制导武器系统主要由带有半主动导引头的武器(主要包括导弹、炸弹和炮弹等)、发射平台及激光目标指示器组成。激光半主动制导的基本原理是:由机载或地面激光目标指示器将经过编码的激光束照射到需要攻击的目标上,弹上导引头接收目标漫反射的回波信息,制导系统形成对目标的跟踪,同时将偏差信号送给弹上控制系统,控制攻击弹药飞向目标^[1]。图1为其制导示意图。

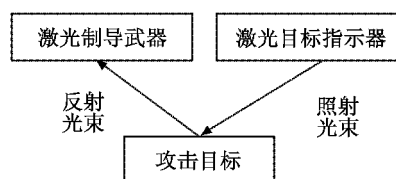


图1 激光半主动制导示意图

Fig. 1 Schematic diagram of semi-active laser guidance

收稿日期:2014-11-28

基金项目:国家自然科学基金(61203189)

作者简介:张腾飞(1991—),男,甘肃平凉人,硕士生,研究方向为控制科学与工程。

1.2 特点

激光半主动寻的制导具有以下特点^[2]：

- 1) 除浓雾天气外,可以在任何气候条件下正常工作,有较强的抗电子干扰能力;
- 2) 能在各种复杂的人为干扰和背景干扰下对目标实现识别和跟踪;
- 3) 有较强的通用性,可满足“一弹多头”的需要;
- 4) 高重复频率的激光可以进行编码发射和探测,可实现不同武器同一时间攻击不同目标的任务;
- 5) 制导精度高,有较高的目标命中率;
- 6) 结构简单、成本低,且可以与其他制导模式进行复合。

1.3 主要装备现状

激光半主动制导武器目前主要应用于三弹^[3],即激光制导导弹、炸弹和炮弹。

- 1) 激光半主动制导导弹主要有空地导弹、防空导弹及反坦克导弹。

目前,最著名的激光半主动寻的制导导弹即美国的“海尔法”(Hellfire)导弹^[4],主要装备于美国休斯公司生产的 AH-64“阿帕奇”(Apache)武装直升机,用于攻击各种坦克、战车及雷达站等重要地面军事目标。

AGM-65E“玛伐瑞克”(Maverick)激光制导导弹是美国为空军、海军及海军陆战队研制的空对地导弹。具有“一弹多头、一弹多用”,精度高、毁伤效果好,使用简便,实现“发射后不管”等特点。AGM-65L 为空军激光制导型导弹,AGM-65E2 为海军及海军陆战队激光制导型导弹。

除美国外,法国、俄罗斯、日本、德国、瑞典、以色列、英国以及瑞士也都在进行激光半主动寻的制导导弹的研制。例如,法国航空公司研制的激光半主动末端寻的制导导弹 AS-30L、德国迪尔防务公司正在开发的激光制导响尾蛇导弹以及以色列“拉哈特”(LAHAT)炮射激光制导导弹等。各种激光半主动制导导弹性能^[5-6]见表 1。

表 1 激光半主动制导导弹性能对比

Table 1 Performance comparison of typical semi-active laser guided missile

	导 弹 型 号				
	AGM-114A	AGM-65E	AS-30L	拉哈特	激光制导辅助火箭系统
导弹类型	反坦克导弹	空地战术导弹	空地战术导弹	反坦克导弹	对地战术导弹
攻击目标	地面、海面硬点目标	大型战舰、地面防御工事、坦克等	地面、水面硬点目标	重型装甲目标	地面坦克等硬点目标
导引头	陀螺稳定激光导引头,可替换微波/红外成像和毫米波导引头	三军通用导引头	“阿里奥”导引头	稳定陀螺导引头	激光自导导引头
性能特点	采用新型数字式自动驾驶仪和抗干扰激光导引头	在城市环境和近距离空袭支援任务对付地面装甲和移动目标高效可靠	射程在 10 km 以上,超出了普通高射炮和一般地空导弹的防区	射程较远;弹道编程灵活,可直接打击坦克顶装甲	价格低廉,能够满足大规模精确打击,适于现有装备进行改造
最大射程/km	8	43.4	12	炮射 8,机载平台 13	10
发射平台	车载及旋翼机平台	海/空各类作战飞机	“美洲虎”战斗机以及低空高速飞行的歼击机	105 ~ 120 mm 炮管车辆、直升机、无人机	机载平台和旋翼机平台

2) 半主动制导炸弹。典型的激光制导炸弹有:美国“宝石路”(Paveway)系列产品。其中,“宝石路”I 型激光制导炸弹是世界上最早应用激光制导的炸弹,与常规炸弹相比,I 型具有较高的命中精度,且费效比是常规炸弹的 50 倍。在整个越南战争中,美军使用“宝石路”I 型激光制导炸弹约 25 000 枚,摧毁大量坚固目标,命中率达 70%。越战之后,美军对“宝石路”

I 型激光制导炸弹进行改进,先后研制出了“宝石路”II、III 型激光制导炸弹,使其成为世界上品种最多(30 余种)、生产数量最大的精确制导炸弹系列。

此外,目前已装备或待装备的激光制导炸弹中,较为典型的还有法国的“马特拉”系列激光制导炸弹、SAMP 型激光制导炸弹和俄罗斯空军的 KAB-1500L 激光制导炸弹^[7]。表 2 给出了部分激光半主动制导炸弹性能对比。

表 2 典型激光半主动制导炸弹性能对比

Table 2 Performance comparison of typical semi-active laser guided bombs

	型 号			
	GBU-16/B	GBU-28	马特拉	KAB-1500L
基本数据	命中精度 1 ~ 2 m 弹重 454 kg 弹长 4.32 m 弹径 475 mm 翼展 1.17 m 战斗部:高爆炸药	弹重 2268 kg 弹长 5.79 m 弹径 368 mm 战斗部:穿透弹头 弹头重量:1996 kg	弹重 470/990 kg 弹长 3.40/4.27 m 翼展 1430/1720 mm 战斗部:高爆炸药 弹头重量:355/850 kg	弹重 1525 kg 弹长 4.60 m 弹径 580 mm 翼展 1.30 m 战斗部:穿甲/高爆

续表

		型 号			
		GBU-16/B	GBU-28	马特拉	KAB-1500L
导引头	德克萨斯仪器公司生产的激光半主动导引头组件	德克萨斯仪器公司生产的激光半主动导引头组件	汤姆逊公司生产的 TMV630 Eblis 型导引头组件	风标式激光半主动导引头	
探测器	四象限硅探测器	四象限硅探测器	四象限硅探测器	四象限硅探测器	
攻击目标	地下掩蔽部、空军机场、桥梁及其他小型点状目标	加固良好和地下深层次目标	敌指挥部、地下掩蔽部、坚固的掩体、桥梁、地空导弹阵地、海上舰艇等	KAB-1500L-Pr 专门用来攻击混凝土强化建筑物、机场跑道和桥梁 KAB-1500L-F 用来攻击地面军事或工业目标	
超低空寻的能力	弱	较强	较强	较弱	

3) 激光半主动制导炮弹。

① 美国的 M712“铜斑蛇”(Copperhead)激光制导炮弹。美国陆军与马丁·马利埃塔公司共同研制的炮弹武器系统,采用激光末制导,使火炮在远距离上准确打击点状目标成为现实。这种武器系统是“把炮弹当成精确制导导弹的首创”。

② 红土地 2K25 式炮弹系统是前苏联/俄罗斯研制并装备部队的第一种 152 mm 激光末制导炮弹系统,其在俄罗斯对车臣武装作战中也有着不俗的表现。表 3 对“铜斑蛇”和红土地两种激光制导炮弹进行了对比分析^[8]。

表 3 M712“铜斑蛇”和红土地 2K25 的性能对比

Table 3 Performance comparison between M712 and 2K25

		型 号	
		M712“铜斑蛇”	红土地 2K25
打击目标	坦克、地面防御工事等硬点目标	坦克、火炮、防空武器等坚固目标,还具有强大的对海打击能力	
炮弹口径	155 mm 火炮	122 mm, 120 mm, 155 mm 火炮和 120 mm, 240 mm 迫击炮	
性能特点	1) 射程远、精度高。“铜斑蛇”炮弹的使用距离为 4000~20 000 m,命中概率 80~90%,圆概率误差仅有 0.4~0.92 m;2) 间接打击、隐蔽性好。火炮可在遮蔽物后发射,攻击坦克顶甲,射击位置不易被发现;3) 威力大。6.4 kg 聚能炸药,配以触发引信,可击穿现役坦克的顶装甲	1) 结构简单,操纵简便;2) 射程远,精度高,在最大射程 20 km 距离上对坦克命中概率达 0.9 以上;3) 主要目标指示组照射目标	

2 激光驾束制导

2.1 原理

通过弹外的瞄准设备发现跟踪锁定目标,并发射

导弹。同时,与瞄准设备同轴安装的激光发射装置向目标区域发出经过编码的连续激光束,形成控制场。位于弹尾的激光信号接收器接收激光,控制弹体沿着照射目标的激光束飞行,按导弹偏离波束中心的偏差形成控制指令,控制导弹命中目标,实现了“指哪打哪”,但激光驾束制导必须在通视条件下才能完成,所以适合于近程作战使用。图 2 所示为激光驾束制导原理示意图。

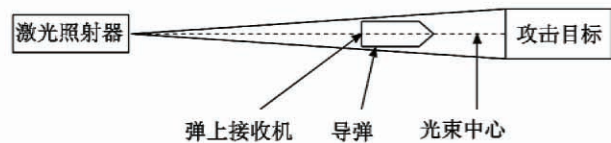


图 2 激光驾束制导原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the laser beam riding guidance

2.2 特点

激光驾束制导具有以下特点:

- 1) 以激光的良好特性用于驾束制导中,使导弹制导精度大大提高并具有很强的抗干扰能力;
- 2) 激光驾束制导与以往的有线指令制导相比,没有了导线的束缚,飞行速度更快,机动性更好;
- 3) 结构简单,价格低廉。

2.3 主要装备现状

目前,世界上采用激光驾束制导技术的导弹有 10 多种。典型的有瑞典的 RBS-70 近程防低空导弹系统、“催格特”中程反坦克导弹、以色列“玛帕斯”反坦克导弹、南非肯特隆公司的“猎豹”(Ingwe)重型远程反坦克导弹、俄罗斯“短号”反坦克导弹^[9]和俄罗斯“旋涡”超音速激光驾束空地导弹等。上文提到的典型激光驾束制导武器性能简况如表 4 所示。

表 4 典型激光驾束制导武器性能对比

Table 4 Performance comparison of typical laser beam riding guided weapons

导弹型号	导弹类型	战术指标	发射平台	性能特点
RBS-70	低空防空导弹	射程 200~7000 m 升限 4000 m 最大速度 580 m/s 采用 0.9 μm 半导体激光器	地面兵组发射平台	优点:射程远,尤其是迎向射程较远 缺点:重量较大,运送和战斗使用不便

续表

导弹型号	导弹类型	战术指标	发射平台	性能特点
催格特	反坦克导弹	中程最大射程 2000 m 最大速度 300 m/s 采用 10.6 μm 波长 CO ₂ 气体激光器	地面兵组发射平台、 车辆平台、机载平台	分为中程型和远程型,中程型为地面便携式; 远程型为多用途导弹,兼有地对地、地对空、 空对地、空对空 4 种作战功能
猎豹	重型远程反坦克导弹	弹径 127 mm 重量 28.5 kg 射程 2500 ~ 5000 m	地面步兵组、装甲车辆、 武装直升机发射平台	具有两种发射模式:手动式和遥控式;对反爆 装甲目标破甲深度 1000 mm
短号	反坦克导弹	弹径 152 mm 射程 100 ~ 5500 m 最大速度 240 m/s 夜间最大射程 3500 m	地面步兵组、装甲车、 坦克	1) 使用方便,免维护 2) 采用“即见即射”的发射模式 3) 抗干扰能力较好
旋涡	超音速空地导弹	射程 10 km 飞行速度超音速	卡-52 武装直升机, 苏-25 攻击机	1) 超音速,减少暴露时间 2) 采用全自动跟踪方式,射手无需干预

3 激光主动成像制导

3.1 原理

激光主动成像制导是指利用武器自身携带的激光照射器对目标进行照射,由安装在同一武器上的激光接收装置对接收到的回波信号进行处理,能够同时获取目标的距离图像和强度图像,并结合预先装订在武器系统中的目标基准信息,采用实时识别算法对目标所在图像中的位置进行识别定位,然后推算出导弹武器相对于目标的方向与位置,形成制导指令,导引和控制导弹准确命中目标的过程。真正实现了“发射后不管”,实现实时智能化精确打击。激光主动成像制导原理如图 3 所示。

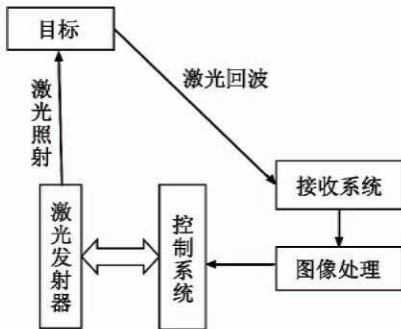


图 3 激光主动成像制导原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the laser active imaging guidance

激光主动成像制导主要用于弹载末段制导,有两种主要的需求:一种是用于近距离作战的小型制导装备,应用于精确制导炸弹、火箭弹、空对空导弹、空对地导弹等小型弹载末段制导;另一种是用于远距离作战的大型制导装备,应用于巡航导弹的弹载末段制导^[10]。

3.2 特点

激光主动成像制导具有以下特点:激光成像制导技术相对于其他制导技术的最大优势在于,可以获得十分丰富的目标信息。利用激光成像雷达能够获得的目标数据有:

- 1) 目标的强度像;
- 2) 目标上各个像元的距离信息——三维几何信息;
- 3) 可以获得目标的特性数据。

尽可能多地获取目标的信息,实现在复杂背景下的目标识别、对敌目标的全方位立体精确打击。

同时,激光主动成像制导技术还具有下述优点:

- 1) 抗干扰能力强,能够在恶劣天气和不同大气环境下工作;
- 2) 能够实现高帧频成像;
- 3) 成像精度高,对目标识别十分有利;
- 4) 穿透伪装能力强。

3.3 主要装备现状

3.3.1 美国空军的 LOCAAS 计划

美国空军与洛克希德-马丁公司共同研发了名为 LOCAAS (Low Cost Autonomous Attack System) 的激光制导武器。LOCAAS 是一种低成本的自主寻的攻击系统,其导引头部分就是采用固体激光成像制导技术,当 LOCAAS 被发射到目标区域上空,利用激光雷达导引头来探测和识别不同类型的目标,根据预先存储的军事目标选择和锁定攻击目标,并在恰当的时间和准确的地点起爆自身携带的多模战斗部^[11]。

LOCAAS 分为无动力和有动力两种:无动力 LOCAAS 主要是针对无人机应用;有动力 P-LOCAAS 是目前研制的重点,其技术数据见表 5。

表 5 P-LOCAAS 技术数据

Table 5 Technical data of P-LOCAAS

项目	性能
长度/cm	80
翼展/m	1.18
负载重量/kg	29 ~ 43
动力装置	小型涡轮喷气发动机
有效射程/km	> 185
巡航速度/kn	200
制导方式	中段制导采用惯性和 GPS 复合,末制导固体激光制导
打击目标	战区弹道导弹发射装置、防空阵地、地面车辆

3.3.2 美国陆军的 NetFires 协同制导技术研究计划

NetFires 计划是最新披露的美国陆军关于激光主动成像制导的研究计划,它不仅是一项武器研究计划,还是一种全新的陆军精确攻击的作战模式。

NetFires 的武器研究分为两部分。

1) LAM(Loitering Attack Missile):由洛克希德-马丁公司生产,装备自动目标识别装置和激光雷达导引头,其空中游动时间可超过 30 min,能连续扫描直径 500~600 m 的范围,分辨率达 150 mm,可进行目标自动识别、定位和打击。主要攻击地面装甲单位和软目标^[9]。

2) PAM(Precision Attack Missile):由 Raytheon 公司生产,采用 GPS + IIR(被动红外成像)导引头,成本较低。

NetFires 的协同作战模式是由发射装置安装多枚导弹,中程制导采用 GPS 定位,接近目标后,多枚 LAM 的激光导引头在战场上空游弋,激光导引头对战场进行三维成像搜索,作战任务包括:

- 1) 将捕获的目标图像信息传送给指挥系统或者 PAM 导弹,根据目标信息由指挥系统指挥或 PAM 自主寻的对目标进行打击;
- 2) 对一些关键目标,LAM 可直接进行攻击;
- 3) BDA(Battle Damage Assessment),打击效果评估。

3.3.3 法国空军的 AASM

AASM 由法国萨格姆公司研制,重 250 kg,射程为 60 km,精确度为 1~10 m,属于空射激光制导炸弹。

AASM 具有全天候打击能力,可以使“阵风”战斗机具有标准攻击的全天候打击能力,是欧洲国家研制的第一种该类型的武器。AASM 的另外一个突出的特点是,它是利用 1.5 μm 激光主动制导与 3~5 μm 被动红外制导复合,有效地提高雷达作用距离和制导精度,这也为激光制导技术的发展提出了一个新的方向。

3.4 激光主动成像导引头——未来研究发展趋势

激光主动成像制导技术必将是未来精确制导技术发展的重要方向,未来激光主动成像制导技术预计向以下几方面发展。

- 1) 小型化。可降低系统的有效载荷,有利于装配在各种弹型上。
- 2) 全固体器件。可增强导引头的工作稳定性和存放寿命。
- 3) 高帧频成像。既有利于 ATR 和人在回路,又能满足高速弹,如超音速巡航导弹的应用需求。
- 4) 非扫描工作方式。国际上高速采样焦平面探测器阵列技术的最新发展,将可以使激光三维成像雷达采用费扫描工作方式,减小了系统的体积,提高了可靠性和工作稳定性;同时也是高帧频成像的需求。另外,对高速运动目标的打击也需要这种闪烁式一次成

像的技术手段。

5) 低成本。成本的降低,能够使激光成像导引头大规模地装备军队,从而极大地提高攻击效能。

除了精确制导领域外,激光制导成像技术还在下述军事领域有应用价值:

- 1) 水下侦察任务:地貌(地面)勘探、水雷探测,由于 532 nm 处于海水窗口,可以进行机载对水下目标的探测。
- 2) 目标特征数据侦察:为其他制导手段提供参考数据。
- 3) 空间应用:空间交会对接,空间攻防与对抗。
- 4) 外空间真假弹头识别:紫外激光成像雷达,255 nm 处于大气窗口,265 nm 是太阳光盲区,紫外激光成像雷达,可以用于以成像方式对外空间真假弹头的识别。

4 激光制导武器的干扰与抗干扰技术

激光制导武器拥有制导精度高、抗干扰能力强、结构简单、价格低等一系列优点,但也有着致命的弱点:受天气背景和战场环境影响较大,激光易被雨、雪、云、雾等吸收,并且战场上产生的烟幕也会阻碍激光的传输;激光指示器需不断发射激光,保证目标始终在照射范围内,从而使激光指示器长时间暴露,容易遭到敌方的干扰和打击;激光光束窄,搜索能力差。

针对激光制导武器的弱点,各国也纷纷采取措施对激光制导武器实施干扰。

1) 烟幕干扰。战场烟幕对激光制导武器的干扰作用主要体现在两个方面:①能够严重影响激光的传输,导致目标指示器发出的激光束和目标反射的激光严重衰减,使激光导引头接收不到足够的激光能量,从而导致制导失败;②烟幕可能对激光产生反射,致使激光武器误判为攻击目标而提前引爆。

2) 设置激光漫反射假目标对激光制导武器进行欺骗干扰。假目标一般选取一些对激光具有较强反射率的材料,当假目标被敌方激光指示器发射的激光照射后,通过漫反射将干扰信号反射回敌方激光导引头的视场和波门,诱骗其攻击假目标从而达到保护己方目标的作用。

3) 在目标表面涂覆高吸收低反射材料,改变目标光学特性,实现一定程度上的“隐形”。比如灯黑材料对 1.06 μm 激光的反射率仅为 5%,这使得目标的反射很难被寻的器捕捉到^[12]。

4) 强激光压制干扰。利用高能激光直接对敌方的光电探测设备进行干扰压制,致使探测设备中的光电元件饱和、失效甚至被击穿破坏,从而无法进行探测、瞄准、跟踪和制导,丧失作战能力。

5) 欺骗式激光干扰。抛撒金属铂丝,金属铂丝对

激光具有强烈的反射作用,大量的铂丝会在目标上空形成反射云团,致使导弹难以命中目标。

目前激光制导武器采用的抗干扰措施主要有以下两种。

1) 激光脉冲编码技术,是指将目标指示器发出的激光脉冲作为信息载体,并对其进行一定规律的调制,在接收端对其进行解调变换,获取激光携带的信息。激光脉冲编码技术可以使导弹在战场的复杂光电环境中识别敌我,排除干扰。编码的形式主要有^[13]周期型、等差型和伪随机型。

2) 波门选通技术,是指激光导引头在接收激光反射信号的过程中设置脉冲录取波门,导引头中的信号处理电路仅对在波门开启时间段内接收到的己方同步信号进行处理,而对在波门外进入的脉冲信号不进行处理^[14]。这样既可以避免杂波的干扰,又能够极大地限制敌方及光干扰的有效性,提高了抗干扰能力。

5 发展趋势

5.1 发展激光主动寻的制导技术

主动寻的一直是激光制导武器追求的目标。激光主动寻的制导能够真正实现“发射后不管”,提高导弹制导精度和生存能力,完成对敌目标的防区外快速精确打击。目前,激光主动寻的制导研究面临的两个难题是:1) 激光光源的小型化;2) 自动目标识别和跟踪技术不够完善。相信随着未来对导弹武器装备远、精、准的发展需要,激光主动寻的制导是今后发展的重点。

5.2 激光波长向中、长波段发展

目前,激光半主动制导和激光驾束制导所使用的激光目标指示器大多采用 1.06 μm Nd:YAG 激光器和 0.9 μm 的半导体激光器。而 1.06 μm 和 0.9 μm 的激光对大气和战场上的烟幕穿透能力不强且对人眼不够安全,缺乏足够的战场对抗能力。因此,各国在改进 1.06 μm 和 0.9 μm 激光器的同时也在着力发展中、长波段的激光器。如二氧化碳气体激光器和近绿宝石激光器。二氧化碳气体激光器有着高于 Nd:YAG 激光器的输出功率和脉冲重复频率,具有优越的大气传输性能,特别是在烟雾条件下具有极强的穿透能力和良好的相干性、对背景和地物干扰有着极强的抑制作用^[15],并且又能与热成像器兼容,实现复合制导。因此,这种激光器也得到越来越广泛的使用。近绿宝石激光器的输出波长在 700 ~ 800 nm 之间且连续可调,故具有较强的军事对抗能力。

5.3 发展多模复合制导

战场环境复杂多变,针对采用了激光隐身的目标,或者恶劣天气如雨、雪、云、雾等和战场中烟幕和电磁

干扰,单一的制导模式往往难以奏效。因此,发展多模式复合制导技术显得尤为重要。多模复合制导技术是指在制导武器飞行过程中采用多种传感器同时工作或按一定程序交替工作,以充分发挥各传感器的优势,共同完成制导任务的一项先进技术。这对提高武器系统的反隐身能力、抗干扰能力、目标识别能力及恶劣战场环境中作战效能和自身生存能力具有显著作用。

5.4 发展多变的攻击模式

在现有半主动武器系统为主的基础上,改进武器作战的攻击方式也可提高武器系统的攻击效能和生存能力。例如,国外文献报道的在战术上可把照射点移到离目标 1520 m 处,然后在控制周期结束前的 2 ~ 3 s 再把照射光点平稳地移至要毁伤的目标。这样照射目标的实际时间仅有 2 ~ 3 s,对方难以快速做出反应^[16]。另外,2010 年 7 月法国也成功研制出了全球首款垂直式激光半主动制导导弹,采用该导弹可以缩短攻击时间,并由于武器较大的天顶角速度而使对方的主动干扰装置难以有效工作。

5.5 向系列化、通用化、组合化及多功能化发展

当前,不论是激光制导所用的照射器还是导引头等部件,都在朝着系列化、通用化、组合化及多功能化的方向发展,以使同一照射器可供不同型号的制导炸弹使用以及同一激光寻的导引头可与不同的弹体组合使用,从而实现对不同型号的导弹、炸弹或炮弹的匹配性并且便于使用、维修。

参考文献

- [1] 王恒坤,王兵,陈兆兵,等. 对抗激光制导武器的光电装备的发展分析[J]. 舰船电子工程,2011,31(8):14-17. (WANG H K, WANG B, CHEN Z B, et al. Analysis of the antagonizing laser guided weapon opto-electronic equipments development[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(8):14-17.)
- [2] 施德恒,熊水英. 激光半主动寻的制导导弹发展综述[J]. 红外技术,2000,22(5):28-34. (SHI D H, XIONG S Y. Review of semi-active laser guided missile[J]. Infrared Technology, 2000, 22(5):28-34.)
- [3] 范保虎,赵长明,马国强. 激光制导技术在现代武器中的应用与发展[J]. 飞航导弹,2006(5):47-50. (FAN B H, ZHAO C M, MA G Q. Laser guidance technology application and development of modern weapons[J]. Winged Missiles Journal, 2006(5):47-50.)
- [4] 耿顺山. 美国激光制导武器的发展现状与趋势[J]. 物理,2008,37(4):260-263. (GENG S S. The status and future development of laser-guided weapons in the USA [J]. Physics, 2008, 37(4):260-263.)

(下转第 94 页)

- [13] JIANG Z P, LAURENT P. Design of robust adaptive controllers for nonlinear systems with dynamic uncertainty [J]. *Automatica*, 1998, 34(7):825-840.
- [14] 张天平,高志远. 具有动态不确定性的自适应动态面控制[J]. *控制与决策*, 2013, 28(10):1541-1546, 1553. (ZHANG T P, GAO Z Y. Adaptive dynamic surface control including dynamic uncertainties[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(10):1541-1546, 1553.)
- [15] LIN W, QIAN C J. Adaptive control of nonlinearly parameterized systems; a non-smooth feedback framework [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2002, 47(5):757-774.
- [16] 夏晓南,张天平. 具有未建模动态系统的自适应动态面输出反馈控制[J]. *控制与决策*, 2014, 29(12):2129-2136. (XIA X N, ZHANG T P. Adaptive dynamic surface output feedback control for systems with unmodeled dynamics [J]. *Control and Decision*, 2014, 29(12):2129-2136.)

(上接第 67 页)

- [5] 周旭宜,刘满仓. 国外激光制导武器现状与发展分析[J]. *飞航导弹*, 2013(11):25-29. (ZHOU X Y, LIU M C. Analysis of foreign laser guided weapons development [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2013(11):25-29.)
- [6] 夏新仁,冯金平. 激光制导武器的现在与将来[J]. *中国航天*, 2009(12):22-26. (XIA X R, FENG J P. Development of laser-guided weapons [J]. *Aerospace China*, 2009(12):22-26.)
- [7] 张翼飞,邓方林. 激光制导技术的应用及发展趋势[J]. *中国航天*, 2004(6):41-44. (ZHANG Y F, DENG F L. The status and future development of laser-guided weapons [J]. *Aerospace China*, 2004(6):41-44.)
- [8] 白毅,仲海东,秦雅娟,等. 国外制导炮弹发展综述[J]. *飞航导弹*, 2013(5):33-38. (BAI Y, ZHONG H D, QIN Y J, et al. Foreign guided projectile development review [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2013(5):33-38.)
- [9] 王狂飙. 激光制导武器的现状、关键技术与发展[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(5):651-655. (WANG K B. Status quo, key technology and development of laser guided weapon [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(5):651-655.)
- [10] 李建中,彭其先,李泽仁,等. 弹载激光主动成像制导技术发展现状分析[J]. *红外与激光工程*, 2014, 43(4):1117-1123. (LI J Z, PENG Q X, LI Z R, et al. Technology of missile-borne laser active imaging guidance [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4):1117-1123.)
- [11] 刘勇. 对激光主动成像制导武器告警探测技术分析[J]. *舰船电子对抗*, 2009, 32(6):47-50. (LIU Y. Analysis of warning and detecting technology for active laser imaging guided weapon [J]. *Shipboard Electronic Countermeasure*, 2009, 32(6):47-50.)
- [12] 张英远. 激光对抗中的告警和欺骗干扰技术[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012. (ZHANG Y Y. Warning and deception jamming technology of laser countermeasure [D]. Xi'an: Xidian University, 2012.)
- [13] 梁阔,冯源. 激光精确制导技术及其干扰技术分析[J]. *飞航导弹*, 2011(2):80-84. (LIANG K, FENG Y. Analysis of precision-guided laser technology and interference [J]. *Aerodynamic Missile Journal*, 2011(2):80-84.)
- [14] 沈涛,宋建社. 激光制导武器实时波门选通信号技术分析[J]. *弹箭与制导学报*, 2006(4):398-400. (SHEN T, SONG J S. Analysis of laser guidance weapon's real-time gate signal choosing technology [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2006(4):398-400.)
- [15] 许毅玢,徐军. CO₂ 激光成像雷达及其在制导技术中的应用[J]. *红外与激光工程*, 2008(s3):303-306. (XU Y F, XU J. CO₂ laser imaging radar and its application in guidance technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008(s3):303-306.)
- [16] 庄昕宇,陈兆兵. 半主动激光精确末制导武器的发展现状与趋势[J]. *舰船电子工程*, 2011(6):6-10. (ZHUANG X Y, CHEN Z B. Current status and its developing trend of semiactive laser guided weapon [J]. *Ship Electronic Engineering*, 2011(6):6-10.)

(上接第 88 页)

- [11] 李自勤,李琪,王骐. 由统计特性分析激光主动成像系统图像的噪声性质[J]. *中国激光*, 2004, 31(9):1081-1085. (LI Z Q, LI Q, WANG Q. Noise characteristic in active laser imaging system by statistic analysis [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(9):1081-1085.)