

激光制导武器的现状、关键技术与发展

王狂飙

(中国兵器科学研究院, 北京 100089)

摘 要: 对目前世界各国装备和在研的主要激光制导导弹和制导武器进行了综述, 针对激光半主动制导、激光驾束制导和激光指令制导体制, 分析了各类激光制导武器的特点、关键技术和典型应用, 结合近年来的实战与各国的研制情况, 对新世纪激光制导武器的发展方向进行了预测与展望。

关键词: 激光制导武器; 激光半主动制导; 激光驾束制导; 激光指令制导

中图分类号: TJ756.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2007)05-0651-05

Status quo, key technology and development of laser guided weapon

WANG Kuang-biao

(China Machinery Equipment Research & Development Academy, Beijing 100089, China)

Abstract: The main laser guided missile and weapon in the world are summarized. Aiming at laser semi-active guided, laser beam riding guided and laser command guided scheme, the characteristics, key technologies, and typical application of kinds of laser guided weapon are analyzed. According to the recent actual combat and research, the tendency of laser guided weapon in the new century is prospected.

Key words: Laser guided weapon; Semi-active laser guidance; Laser beam riding guidance; Laser command guidance

0 引言

激光技术与制导技术相结合, 产生了多种制导体制的激光制导武器。所谓精确打击武器, 有很大一部分是指激光制导武器。对于战术导弹与制导兵器来说, 目前, 主要的激光制导体制有激光半主动制导、激光驾束制导和激光指令制导。

1 激光半主动制导

激光半主动(SAL)制导属于寻的制导。典型的激光半主动制导武器系统主要由带激光半主动导引头的导弹(炸弹、炮弹)及发射平台和激光目标指示器构成。激光半主动制导的基本原理是: 射手发射导弹, 并向目标发射经编码的激光波束, 保持跟踪照射目标, 导弹上的导引头根据目标反射的激光回波信息, 按照选定的制导律和控制律控制导弹, 最终命中目标。

1.1 特点

激光半主动制导, 具有很高的制导精度和较强的抗干扰能力, 可实现有限的发射后不管。与红外成像寻的制导相比, 具有系统构成较为简单、成本较低的优点; 与激光驾束与激光指令制导等遥控制导体制相比, 具有发射点与照射点配置灵活, 无需全程照射目标, 射程不受限制等优点。另外, 由于在射击中, 必须有射手参与进行目标识别与照射, 导引头只识别跟踪特定编码的激光信号, 因此可大大提高命中精度, 并最大限度地避免误伤和重复杀伤。激光半主动制导体制可在多种导弹和制导兵器中应用, 可从多种载体与平台上发射, 具有很大的战场灵活性, 是目前应用最为广泛的激光制导体制。

1.2 关键技术

(1) 导引头 激光半主动制导武器最关键的部件就是导引头。早期的激光制导炸弹一般采用风标导引

收稿日期: 2006-11-17; 修订日期: 2006-12-20

作者简介: 王狂飙(1968-), 男, 吉林长春人, 博士, 主要研究方向为战术导弹及制导兵器总体设计与制导控制系统设计。

Email: trigtat@sohu.com

头,按追踪法导引;目前,大多数的激光半主动导引头都是采用陀螺稳定式的,按比例导引法导引;近年来,美国和俄罗斯等国家又在研究应用于简易制导火箭弹的低成本捷联式导引头。导引头要求具有足够的跟踪精度与良好的动态性能,作用距离要远,有较大的目标捕获域(Footprint)、可重复启动,可发射前锁定等。而对于炮射导弹和末制导炮弹的导引头,则还要求有抗足够大的发射过载冲击的能力(如大于 10 000 g)。

(2) 光电探测器 光电探测器是导引头上最重要的传感器件,是获取目标空间坐标信息的关键。目前,由于所有的激光半主动制导武器系统都是采用 1.06 μm 波长的,所以应用的光电探测器主要是对 1.06 μm 波长敏感的锂漂移硅光电二极管。常见的有四象限或八象限光电探测器。

(3) 激光目标指示器 目前装备的激光目标指示器,既有仅几百克的手持式,又有几百公斤的机载指示吊舱。无论指示器安装平台、照射目标如何,对于它的要求主要有: 具有足够的功率和较远的照射距离,如对于标准北约坦克靶(2.3 m \times 2.3 m),目前便携式可达 5 km,直升机载型可达 8 km 以上,固定翼飞机机载吊舱则更远; 保证足够小的激光束散角;照射器观瞄轴与激光轴要有良好的平行性,如对于射程为 8 km 的空地反坦克导弹配备的机载照射器,其平行度要求小于 0.03 mrad。

(4) 编码 激光目标指示器向目标发射的是经过编码的激光脉冲,导引头只有在接收到发射前装订的指定激光编码后,才认为是捕获了目标。采用编码,可以避免“重复杀伤”、误伤并提高抗主动干扰能力。编码的激光脉冲重复频率应适当地高,以使导引头有足够的速率。分析表明对于固定的目标,重复频率 5 脉冲/s 即可,对活动目标则应在 10 脉冲/s 以上,但在 20 脉冲/s 以上作用已不明显,而激光器的体积与重量将大为增加,所以通常在 10~20 脉冲/s 之内^[1]。

1.3 应用

目前,采用激光半主动制导的导弹和制导武器有许多种,主要有:

(1) 空地导弹 如美国的 AGM-114 “海尔法”、AGM-65C “幼畜”、以色列的“猎人”(Nimrod)、南非的“马库帕”(MOKOPA)等。激光半主动制导空地导弹的命中精度一般可达到 0.5 m (CEP),导引头作用距离可达 7 km。这些导弹主要由武装直升机和攻击机挂载,可发射前锁定(LOBL)也可发射后锁定(LOAL)。美国国防部报告《海湾战争》对 1991 年海湾战争中“海尔

法”导弹的评价是“在首次实战检验中性能稳定、发挥正常,具有极高的实战价值”^[2]。

(2) 激光制导炸弹 (LGB) 如美国的“宝石路”(Paveway)系列,俄罗斯的 KA 系列,以色列的“格里芬”系列等,法国、南非等国家也研制了各自的激光制导炸弹。1968 年,美国在轰炸北越首都河内附近的“杜美”大桥时,首次使用“宝石路”-I 型激光制导炸弹,创造了“一枚炸弹,一个目标”的奇迹。实战证明,LGB 是一种效费比很高的精确打击武器。在海湾战争、“沙漠之狐”作战和科索沃战争中,都大量使用了 LGB。据美国空军统计,在 2003 年的伊拉克战争中,美空军投放的弹药中 68%为制导弹药,其中 LGB 占 29.51%,超过新型的卫星制导的 JDAM(22.4%),是使用最多与最有效的武器。

(3) 坦克载炮射导弹 以色列飞机工业公司(IAI)于 1998 年向外界展示了其研制的一种采用激光半主动制导的 105 mm 炮射导弹“拉哈特”(LAHAT)。“拉哈特”导弹既可以由发射他的坦克自行照射目标,也可以由其他坦克、步兵兵组或无人机照射。选用激光半主动制导体制的原因是:导弹的射程可以更远(达 6 km 以上);可以采用曲射弹道攻击坦克较为薄弱的顶装甲;在整个射击过程中,只需在最后 8 s 用激光照射器照射目标,减少了照射器暴露的机会;在有其他照射器协助的情况下,可间接射击。

(4) 末制导炮弹 目前世界上装备的末制导炮弹主要有两种,一是美国的由 155 mm 榴弹炮发射的“铜斑蛇”(Copperhead),一是前苏联的由 152 mm 加榴炮发射的“红土地”及其系列改型(目前已有 155、122、120 等多种)。它们均采用激光半主动制导体制。用身管火炮发射末制导炮弹,主要是为了扩大野战炮兵的作战范围,提高其对付硬点目标(如坦克等)的打击能力和首发命中率,减轻后勤保障负担。末制导炮弹的工作原理与其他激光半主动制导武器相同,但是需要解决一系列特殊的关键问题:如耐过载问题,滑翔增程与重力补偿问题,弹目交会问题(进入导引头捕获域),前方照射器与炮阵地配合问题等。“铜斑蛇”在海湾战争中有少量使用,而“红土地”则在阿富汗战争和车臣战争中有不俗的表现。

2 激光驾束制导

激光驾束制导属遥控制导。激光驾束制导武器系统由制导仪(制导站)和导弹组成。激光驾束制导的工作原理是:射手通过发射瞄准装置瞄准跟踪目标并发

射导弹,同时与发射制导装置瞄准线同轴安装的激光发射装置向目标空间发射经编码调制的激光束,激光束在导弹飞行的空间形成控制场,导弹发射后在激光束中飞行。导弹尾部装有可以感应导弹偏离激光控制场中心的光电探测装置,当导弹偏离控制场中心时,弹上探测装置可以测出偏离的大小和方向,弹上制导控制装置将此偏离信号经处理运算,形成控制信号,将导弹修正到瞄准线上,直至击中目标。

2.1 特点

激光单色亮度高、方向性强、相干性好,可准确地定向发射,进行多种编码。将其用于驾束制导,能取得很高的制导精度,很强的抗干扰能力。与有线指令制导相比,激光驾束制导去掉了导线,导弹飞行速度可以更快,机动性更强;激光接收器背对目标安装,抗干扰能力很强。较采用导引头的寻的制导体制相比,激光驾束制导具有结构简单,成本低廉等优点。

2.2 关键技术

(1) 空间编码 激光束调制编码是激光驾束制导的核心技术,是制导波束赋予导弹方位信息的主要手段。激光辐射的特征可用波长、相位、振幅和偏振4个参数来表示,光频或光相位实现空间调制编码较为困难,目前主要利用光束强度和偏振来编码。

要把光束强度变为含有方位信息的光束有多种办法,总称为空间强度调制编码。即用不同的调制频率、相位、脉冲宽度、脉冲间隔等参数实现编码。要把光的偏振用于空间编码,需运用空间偏振编码技术。偏振不但能在光束中给出导弹的方位信息,还能给出导弹的滚转基准。

(2) 调焦 为保证激光驾束制导的精度,并且在远距离条件下,弹上激光接收机仍能接收到足够照度的激光信号,要求制导仪在导弹飞行空间形成一个光束直径一定的空间控制场。这就要求制导站具备改变发射激光束波束角的能力,即连续调焦的能力。连续调焦是通过调焦系统完成的,目前可采用的调焦系统主要有3种:机电凸轮调焦,程控步进电机调焦和气体透镜调焦。

(3) 制导波束波长选择 在激光驾束制导技术中,要求所选用的激光波长在实战应用条件下,具有以下特点: 大气传输性能良好,传输损耗小; 该波长有性能较好的光电探测元件,成本不能太高; 充分考虑目标背景特性,所选波长有利于从背景中选出目标。目前,激光驾束制导应用的波长主要有:1.06 μm YAG 固体激光器;10.6 μm CO_2 气体激光器;0.9 μm 半导体激

光器等。

2.3 应用

(1) 以色列“玛帕斯”反坦克导弹。“玛帕斯”是用激光驾束制导技术改造第二代反坦克导弹的一个范例。以色列于20世纪80年代初,在美国“陶”式反坦克导弹的基础上,将其红外半自动有线指令制导体制改为激光驾束制导体制而形成的,采用0.9 μm , 半导体激光器,因此,“玛帕斯”导弹也被称为“激光陶”。

(2) 南非“豹”(INGWE)式反坦克导弹与“玛帕斯”类似,INGWE是南非KENTRON公司在美国“陶”式反坦克导弹的基础上研制发展的一种激光驾束制导重型反坦克导弹,可以装备步兵兵组,装甲车辆或武装直升机等多种平台,用以对抗现代装甲目标的威胁,并可完成多种打击任务。

(3) 中程反坦克导弹 俄罗斯与欧洲部分业内人士认为,对于中程反坦克导弹,“发射后不管”是一种昂贵的方案。因此,其第三代中程反坦克导弹包括欧洲联合研制的中程“崔格特”、意大利的“马福”和西班牙的“托莱多”以及俄罗斯的“短号”都选用了激光驾束制导^[3]。

(4) 瑞典的RBS-70防空导弹 这是一种较早期发展的便携式近程防空导弹,射程5 km,射高3 km,主要用于攻击低空飞机与直升机目标,采用0.9 μm , 半导体激光器。

(5) 防空/反坦克多用途导弹 美国、瑞士联合研制的“阿达茨”导弹,射程8 000 m,主要用于攻击低空飞行的武装直升机和固定翼飞机,也可攻击坦克等地面目标。在其弹道被动段采用激光驾束制导,10.6 μm CO_2 气体激光器。

(6) 俄罗斯/乌克兰的坦克载炮射导弹^[4] 前苏联的坦克炮发射的炮射导弹技术在上是独占鳌头的,为T-55, T-62, T-72, T-80等多种型号的主战坦克以及步兵战车研制装备了多种型号的炮射导弹。炮射导弹的出现,大大增强了坦克的火力范围与射击精度,并使大量陈旧的主战坦克具有了与敌人现代化坦克和武装直升机交战的能力。这些炮射导弹,除最早的一种采用无线电指令制导外,其他均采用激光驾束制导。苏联解体后,俄罗斯、乌克兰等国继承了其炮射导弹技术与装备,乌克兰还在此基础上,自行研制出“COMBAT”系列炮射导弹,并在制导装置上与俄罗斯(前苏联)产品兼容。

(7) 俄罗斯“旋涡”空地导弹 “旋涡”是俄罗斯为卡-52武装直升机和苏-25攻击机设计的一种超音速

激光驾束制导空地导弹,射程 10 km。由于导弹超音速飞行,所以可以大大弥补由于驾束制导而造成的载机暴露时间长的缺点。同时,与传统的人在回路的半自动跟踪方式不同,“旋涡”系统采全自动跟踪方式,射手一旦锁定目标,发射导弹后,机载制导仪会自动跟踪目标并发射制导波束,建立控制场,引导导弹命中目标,这一过程不需要射手干预,因此俄罗斯人将其称为“另一类发射后不管”系统。

3 激光指令制导

激光指令制导也属遥控制导,其工作原理与一般的指令制导是一致的。导弹发射后,由制导站跟踪目标,并实时量测导弹相对瞄准线的偏差,制导站根据偏差和选定的制导律,形成控制指令,通过激光波束编码传输到导弹上去,控制导弹沿瞄准线飞行,直至命中目标。

3.1 特点

激光指令制导具有视线指令制导的全部特点。控制指令形成在制导站,因此可以采用较为复杂的算法,而弹上制导系统可以较为简单,一方面降低了导弹成本,另一方面,有利于提高制导精度;采用激光指令,较有线指令传输,具有可靠性高、导弹飞行速度、机动性可以大大提高的优点,较无线电指令传输,具有方向性强、设备体积重量小、抗干扰能力强等优点。

3.2 关键技术

激光指令制导是一种较为成熟的制导技术,其关键技术主要有:激光指令的编码、发射与接收、解码;激光指令波束的调焦;降低导弹发动机尾焰和烟雾、羽烟对指令传输的干扰等。

3.3 应用

(1) 南非 ZT-3 “雨燕”(SWIFT)反坦克导弹 南非的“雨燕”是采用红外半自动跟踪、激光指令传输制导体制的反坦克导弹,最大射程 5 km,典型的安装方式是安装在“獾”式坦克歼击车上,也可配装在“茶隼”武装直升机和由步兵兵组便携使用。“雨燕”导弹的试生产型于 1987 年 9 月参加了在安哥拉南部的战斗,取得了良好战果。

(2) 美国的 LOSAT 视线反坦克导弹 也被称为动能导弹(KEM)。这是一种新概念导弹,采用激光指令制导体制,没有战斗部、引信,控制机构没有运动部件。射程超过 4 km,依靠 1 525 m/s 的高速将穿甲杆体射入重型多层装甲,能够在即使靶板严重倾斜时取得良好的穿

甲效果。

(3) 防空/反坦克多用途导弹: 美国瑞士联合研制的“阿达茨”导弹在其弹道主动段采用激光指令制导,10.6 μm CO_2 气体激光器。

4 激光制导武器的新发展

进入 21 世纪以来,激光制导武器在原理和制导体制上,没有大的突破性进展,但在 3 个方面,表现得较为突出。

(1) 采用光纤图像制导的导弹,在技术上已经成熟^[9],如以色列的 SPIKE 系列,已研制成功并装备部队^[6]。

(2) 采用激光雷达(LIDAR)导引头的主动激光寻的制导,成为各国研究的热门。如美国陆军正在研制的“网火”武器系统中的巡飞攻击导弹(LAM),装有能够自动确认目标的主动激光雷达导引头,能连续扫描直径 500~600 m 的范围,分辨率达 150 mm,并采用先进自动目标识别(ATR)算法,使得 LAM 在飞行高度 230 m、飞行速度 400 km/h 时还能自动辨认目标。

(3) 基于传统的制导体制,采用低成本策略开发的一些新概念激光制导武器,表现出很大的发展空间。如美国陆军正在研制的采用大视场捷联导引头的基于 SAL 制导的低成本简易制导 70 mm 航空火箭弹^[7](APKWS)和低成本末制导迫弹(XM395)等。

5 激光制导武器发展展望

武器装备的发展总是遵循“需求牵引,技术推动”的规律的。通过以上分析,并结合海湾战争、科索沃战争、阿富汗反恐战争和伊拉克战争的实战结果,可以预期激光制导武器将在如下几个方向发展:

(1) 激光驾束制导将逐步取代红外半自动有线指令制导,成为新一代中程反坦克导弹的主流制导体制。

(2) 激光半主动制导航空炸弹,仍将在相当长的时间内,作为空军主要对地精确攻击武器而得到更快的发展。特别是与采用 INS/GPS 体制的 JDAM 类制导炸弹相结合,形成激光型 JDAM 弹,将是一个发展的重点^[8]。

(3) 采用激光驾束制导和激光半主动制导的坦克炮射导弹,将逐渐成为与制式弹一样的新世纪主战坦克的标准装备。同时,利用炮射导弹改造老坦克,使其得以延寿,也具有相当的市场需求。

(4) 采用捷联导引头的激光半主动简易制导航空火箭弹,将补充空地导弹和常规航空火箭弹之间的空

白,特别适用于在防区外对付分散的非硬点目标,将成为武装直升机在反恐战争、特种作战和城市作战的有力武器。

(5) 激光半主动末制导迫弹作为一种低成本的新型精确制导弹药,将为迫击炮这种步兵装备最多、使用最灵活的火力支援武器,提供更广大的使用空间。

(6) 2001年美国在阿富汗首次使用“捕食者”无人机发射了“海尔法”空地导弹并准确命中目标,标志着困扰激光半主动制导发展的照射问题有了突破性的解决,无人机发射的空地导弹和无人机照射的末制导炮弹将进入实用化。

(7) 激光雷达(LIDAR)的主动导引头、激光半主动与非制冷红外成像、毫米波寻的等制导体制相结合的复合双模导引头或多模导引头;以及采用上述导引头并与光纤制导相结合的新一代制导技术,代表着新世纪激光制导发展的新的方向。

参考文献:

[1] DENG Ren-liang. Optical Guidance Technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press(邓仁亮.光学制导技术.北京:

国防工业出版社),1992.

- [2] Department of Defense of USA . The War of Gulf -Report of the Department of Defense of USA [M]. Translated by the Department of Foreign Military Research of the Academy of Military Science. Beijing:Military Science Press(美国国防部.美国国防部报告--海湾战争.军事科学院外国军事研究部,译.北京:军事科学出版社),1991.
- [3] THOMSON R. 3rd Generation ATGWs: How They Compare? KORNET Vs. TRIGAT, KBP HORIZONS [Z]. KBP Instrument Design Bureau, 1998:13- 15.
- [4] WANG Kuang-biao. The Anti-Tank Missiles in New Century [M]. Beijing:Aviation Industry Press(王狂飙.走进新世纪的反坦克导弹.北京:航空工业出版社),2003.
- [5] CUI De -dong. Optical Fiber Imaging Precision Guidance System [J]. Infrared and Laser Engineering(崔得东.光纤图像精确制导系统.红外与激光工程),2003,32(3):226- 230.
- [6] Shaul Attar. Gill Man-portable Anti-Tank Weapon System [C] //Armor and Anti-Armor Munitions Conference,1999.
- [7] BRADAS J C.The Future of Small Missiles [C]//NDIA Symposium of Gun, Ammunition and Missile, 2005.
- [8] YOUNGER S.Global Strike Technology Strategy [C]//PSA Winter Roundtable, 2004.

(上接第634页)

好地满足激光差分吸收雷达光源体积小,质量轻,输出能量高的要求。实验得到最大激光脉冲输出能量约为722 mJ。

参考文献:

- [1] KARA PUZIKOV A I, PTASHNIK I V, SHERSTOV I V, et al. Modeling of helicopter -borne tunable TEA CO₂ DIAL system emplyment for detection of methane and ammonia leakages [J]. Infrared Physics & Technology, 2000, 41(2):87- 96.
- [2] ZHAO Yan -zeng. Line -pair selections for remote sensing of atmospheric ammonia by use of a coherent CO₂ differential absorption lidar system [J]. Applied Optics, 2000, 39(6):997- 1007.
- [3] SHERSTOV I V, IVASHCHENKO M V. Operation range evaluation of TEA CO₂ laser based DIAL system [C]// Proceedings of SPIE, Seventh International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, 2001, 4341:398- 408.
- [4] FOX J, GAUTIER C R, AHL J L. Practical considerations for

the design of CO₂ Lidar systems [C]// CLEO 88: Conference on Lasers and Electro-Optics, 1988, 7:76- 78.

- [5] NI Shu-xin, LI Yi-fei. Trend of laser radar for military [J]. Infrared and Laser Engineering(倪树新,李一飞.军用激光雷达的发展趋势.红外与激光工程),2003,32(2):111- 114.
- [6] GENG Yu -zhen. Laser technology detecting pollutant [J]. Optoelectronic Technology & Information (耿玉珍.激光技术探测污染物.光电子技术与信息),1998,11(3):38- 40.
- [7] AVISHAI B D. Backscattering measurements of atmospheric aerosols at CO₂ laser wavelengths: implications of aerosol spectral struction on differential absorption lidar retrievals of molecular species[J]. Applied Optics, 1999, 38(12):2616- 2624.
- [8] QU Yan -chen, LIU Feng -mei, HU Xiao -yong, et al. Miniature high-repetition-rate transversely excited atmospheric-pressure CO₂ laser with surface-wire-corona preionization [J]. Infrared Physics & Technology, 2000, 41(3):139- 142.
- [9] LV Bai -da, JI Xiao -ling, LUO Shi -rong, et al. Parametric characterization of laser beams and beam quality [J]. Infrared and Laser Engineering(吕百达,季小玲,罗时荣,等.激光的参数描述和光束质量.红外与激光工程),2004,33(1):14- 17.