

半主动激光精确末制导武器的发展现状与趋势^{*}

庄昕宇 陈兆兵

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘 要 精确制导武器已成为现代战争中不可或缺的打击手段之一, 其中激光末制导武器近年来正成为各国竞相发展的关键装备。半主动式激光末制导武器是当前该领域中能够实用的唯一装备, 其具有打击精度高、成本低、结构简单、抗干扰能力强等优点, 其广泛适用于现代战争中的定点清除及对敌方大纵深目标、移动目标进行打击的场合。概述了当前国内外在该领域的研究现状, 并对未来的发展趋势进行了分析, 为我国在该领域的研究提供了参考。

关键词 激光制导; 半主动制导; 激光导引头

中图分类号 TN977

Current Staratus and its Developing Trend of Semiactive Laser Guided Weapon

Zhuang Xinyu Chen Zhaobing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

Abstract The exactitude guided weapon has been one of the most important shocking means in modern wars. The laser end guided weapon has turned to be the key equipment in many countries in near years. The only equipment which can applied in this field is semiactive laser guided weapon. Its excellences are high blowing precision, low cost, simple structure and high ant+jamming capability. It is very useful in the areas of fixing point cleaning and striking enemy s big depth objects and moving objects in modern wars. This paper summarized the research current staratus in this area, and analized the developping trend in future. It offered the reference for our country in this area.

Key Words laser guided, semiactive guided, laser seeker

Class Number TN977

1 引言

从几次的世界局部战争可以发现精确制导武器在战场上发挥着越来越重要的作用。精确制导武器的概念为当采用精导技术后可以实现武器的直接命中概率达到 50% 以上^[1]。精导武器按有无动力部可以分为自带动力装置的导弹和不带发动机的精导弹药, 而后者则又可分为末导弹药和末敏弹药两种。按制导方式可以分为激光制导、红外制导、GPS 制导、电视制导、无线电制导、雷达制导及由上述制导方式组合而成的各种复合制导方式。在各种制导方式中精度最高、成本最低、结构最简

单的制导方式为激光末制导, 其精度已达 0.1~1m, 而同代的 GPS/INS 制导的导弹, 命中精度在 10m 左右, 红外制导时的武器的命中精度则为 3m^[2]。激光末制导武器包括主动式和半主动式两种, 主动式激光末制导采用的是发射后不管策略, 具有较高的作战效能, 但由于技术的限制此种方式目前还不成熟, 半主动式激光末制导则是当前应用于发展的主流。如何把握当前激光末制导武器的发展现状对于我国在该领域的研究具有重要价值, 本文以激光半主动式末制导武器的特点、现状与发展趋势为研究对象进行探讨。首选对激光末制导的概念进行了综述, 然后对国内外在该领域的发展

^{*} 收稿日期: 2010 年 12 月 23 日, 修回日期: 2011 年 1 月 27 日

作者简介: 庄昕宇, 男, 副研究员, 研究方向: 光电对抗技术。陈兆兵, 男, 博士, 研究方向: 光机总体技术。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

现状进行了分析,最后对该领域中亟待解决的问题进行探讨。

2 激光半主动末制导技术

激光自寻的半主动制导是由弹外的激光束照射到目标上,弹上的激光导引头利用目标漫反射的激光,实现对目标的跟踪,同时将偏差信号送给弹上控制系统,操纵攻击弹药飞向目标。半主动激光制导系统由弹上设备(激光导引头和控制系统)和制导站的激光指示器组成,激光指示器主要由激光发射器和光学瞄准器等组成^[3]。只要瞄准器的十字线对准目标,激光发射器发射的激光束就能照射到目标上,因为激光的发散角较小,所以能准确地照射目标,激光照射在目标上形成光斑,其大小由照射距离和激光束发散角决定。激光和普通光一样,是按几何学原理反射的,导引头接收到目标反射的激光后,经光学系统会聚在探测器上,激光束在光学系统中要经过滤光片,滤光片只能透过激光器发射的特定波长的激光,滤光片可以在一定程度上排除其他光源的干扰,四象限探测器将接收到的激光信号转换成电信号输出^[4~5]。照射目标的激光指示器可用地面激光器,也可以配用机载激光指示器,载机发射导弹后可以随意机动(发射后不管),但激光指示器必须一直照射目标^[6]。半主动激光末制导武器主要包括制导导弹、炮弹、炸弹等类型。

攻击瞄准吊舱载机(激光指示器)一般采用围绕目标盘旋的方式指示目标,半径大约为3~4km,盘旋坡度大约为30~40°、高度3000m以上,以避免轻型防空武器的威胁。炸弹载机从进入到投掷有一个时间窗口,以确保炸弹到达目标上空时正好处于激光照射的最佳辐射角度区,这个时间窗口需要通过协同训练来掌握,一般飞行员以照射机的位置作为参照,进入读秒阶段^[7]。当照射机到达合适位置,攻击机就可以发动攻击了。一架照射机最多可以支持20架攻击机对同一目标进行打击,为了避免爆炸引起的烟尘影响,投弹会采用较大的间隔时间方式鱼贯进入,这种投弹方法对照射机要求很高,需要长时间在高威胁地区盘旋。由于目前使用的1.064 μm激光很难提供大于7km的照射距离,照射机飞行高度大多都在3800m以下,激光制导炸弹的发射距离根据高度不同从5~10km不等。随着防空武器的日益完善,特别是单兵肩扛防空导弹的大量普及,这样的飞行高度对于照射机相当危

险。该问题也是当前激光半主动制导武器发展中亟待解决的重要问题之一。按技术发展激光半主动制导武器的导引头部分可以分为两代,第一代采用外部风标结构,第二代则采用全封闭式结构,这种结构改善了武器在空中飞行的机动性,可以满足打击移动目标的要求。第一代结构成本非常低,因此在大批量的精确制导炸弹和炮弹攻击时仍被采用。第二代结构在武器的技术性能上有了较大的提高,目前正被各国大力研究与发展。

3 激光半主动制导武器的特点与发展现状

3.1 激光半主动制导武器的特点

本节从激光半主动制导武器的飞行规律、工作方式及抗干扰措施等几个方面分别对其特点进行探讨。

当前的激光半主动末制导武器的飞行轨道控制方式主要有比例导航轨道、直线导航轨道、瞄准线导航轨道等几种。比例导航方式的应用非常广泛,其轨道依靠其自身附带的导引头对目标进行跟踪确定的^[8]。此种控制方式需要满足制导武器上附带能够精确跟踪目标的寻的器、具有能够精确测量制导武器与目标间的变化速率的监测设备、能够控制武器飞行路线与瞄准线变化速率成比例的控制三个条件。直线飞行主要依靠陀螺仪控制武器的直线飞行线路^[9~10]。其应用对象为短距离固定目标或速度较低的运动目标,其发射点与命中点间的飞行路线在发射前便已被确定,其特点为飞行路线无法改变、攻击距离近、超音速速度飞行。瞄准线导航轨道方式为令武器在飞行中处于观测点与目标间的瞄准线上,其要求为武器需要极大的加速度能力,其适用于低成本、短射程半主动激光制导导弹的飞行控制。一般认为寻的传感器的作用距离只能达300km左右。作用距离在300km以内的制导武器可以采用自寻的比例导航轨道飞行。作用距离太大时必须采用中制导与末制导相结合的方式,按两种飞行轨道飞行。比较普遍的方式是以惯性制导作为中制导,使导弹沿着近似弹道轨道飞行,将制导武器引到空间某个位置^[11]。此处必须在寻的器的作用距离以内,然后,启动作为末制导的自寻的器,导引目标沿着比例导航轨道飞行,最后将目标摧毁。

激光半主动制导武器工作部件主要包括制导武器战斗部、动力部及导引头等武器本身与激光指

示器及其附属装备两大部分。激光指示器主要有两种,分别为机载形式和深入敌方的地面人工形式。机载激光目标指示器一般都采用指示器吊舱悬挂在飞机下面的方式,吊舱的前面有一个旋转的扫描跟踪头,其后为其他各种设备。转塔内有扫描反射镜,它一般用陀螺稳定平台稳定,并可实施控制^[12]。当前的激光指示器的激光波长为 1.06 m,脉冲能量为 50~300mJ,脉冲宽度为 10~30ns,重复频率为 10~20Hz,束散角为 0.1~0.5mrad。激光照射的最佳反射点大致在目标上以照射激光束成 20~30 锥角范围内,因此激光导引头需要在上述角度范围内实现捕获与跟瞄^[13]。在一般情况下激光导引头搜索视场是跟踪视场的 2 倍,跟踪视场一般为 12 左右,导引头的瞬时视场一般为 2 左右。

目前半主动激光制导武器的抗干扰措施主要有设置编码信号和进行脉冲录取波门的时间控制。一次制导时间一般只有 10~15s,而制导信号的频率又较低(10~40pps),所以可行的只能是脉冲间隔编码(PCM),有限位随机周期脉冲序列,位数较低的伪随机码等。另外,追踪最新国外发展动态,发现还可能采取另外几种编码方式,主要有等差级数码、跳频码、频码捷变型式。经过总结发现当前的激光末制导炸弹与炮弹大多采用单重频脉冲间隔编码。实时型波门的设置对于武器自身的抗干扰能力的提高也具有非常重要的意义^[14]。随着各种干扰能力的提高,实时型编码的研究也在各国受到重视。

3.2 国外在该领域的发展现状

美国在激光制导武器领域的发展走在世界前列,各种类型的激光半主动激光制导武器均有代表性产品,下面分别从激光制导炸弹、导弹、炮弹三个方面对其进行探讨。各种系列的宝石路激光制导炸弹在近年来的历次局部战争中均发挥了重要作用,可以认为此系列激光半主动制导炸弹代表着当前该领域的最新发展状况。该系列炸弹已经发展了四代,共五种系列,每个系列则有多种型号。2006 年开始装备美国部队的宝石路 III-DMLGB 型采用激光+全球定位+惯性的复合制导方式,采用扫描、预置和自动跟踪功能的导引头。其弹长为 3.33~4.32m,弹径 273~475mm,全重达 2.3t,炸弹内装填了 306kg 高爆炸药,其投弹方式根据不同的载体和目标可分为俯冲,水平,上仰三种情况,投弹距离为 4~15km,型和型圆概率误差为 3m,

型则达到了 1m,其导引头跟踪视场约为 15~

18。被称为第四代的宝石路(复合双模)激光制导炸弹在 2008 年便开始了测试,其弹重为 227kg,战斗部装药为 89kg,可打击移动或随机目标,飞行员可随时转换导引头模式。此型号解决了恶劣天气、沙尘、人造烟雾、GPS 干扰机的影响,同时该型号采用了延时臂技术,该技术使炸弹在撞击目标前 2s 才由制导系统将准确信息传给引信,这样炸弹在整个下落中,引导头和引信不会相互干扰,免得出以外,只有当炸弹精确命中预定目标时,引信才起爆,假如炸弹没有命中目标,那么即使炸弹从很高的高空投下,引信也根本不会引爆战斗部。另外在第三代高精度导引系统的基础上,重点放到了改善单纯激光制导炸弹射程短和需要照射的问题,通过在激光半主动导引的基础上增加其他类型的制导装置,发展出在常规激光导引基础上增加 GPS/INS 模式的制导炸弹,并且还通过为炸弹增加增程滑翔弹翼以实现防区外发射,并且有可能通过为炸弹添加动力组件的方式进一步延长射程,增程的弹翼和动力组件使制导炸弹和导弹之间的界限进一步模糊。在激光制导导弹中美国的海尔法导弹从 1982 年开始投产,该导弹模块化设计,可一弹多头,导弹长 1.625m,弹径 178mm,质量 45.7kg,其最大射程为 8km(型)和 9km(型),命中概率 96%。而美国的小牛地空导弹则于 1985 年开始服役,该导弹需依靠空中或地面上的激光照射器照射目标,并由飞行员向选定导弹输入与激光照射器相匹配的密码,显示器上的光斑线停止闪亮。接近目标区时飞行员按下触发器按钮,使选定的导弹处于待发状态,按下旋转指令按钮,使导引头位标器向下转到相应的飞机俯冲角位置,松开旋转指令按钮使导引头按设定的角度自动进行位扫描,搜索载机前约 16km 范围的目标。一旦探测到有关的编码信号,显示器上显示出综合视频信号,导引头就自动锁定和跟踪目标。这种导弹的射程为 24km,巡航速度为略超音速。而美国的激光制导炮弹的代表产品为铜斑蛇炮弹,该炮弹全长 1.372m,弹径 155mm,弹重 62kg,战斗部为 6.4kg,最大射程 20km,最小射程 4km,最大飞行速度 600m/s,寻的器框架角一般为 20,动态视场为 12.5。另外近年来美国发展的魔爪激光制导火箭弹和联合直接攻击弹药则代表着当前该类武器的最新发展成果,前一种已于 2010 年投产,后一种则仍在评估中^[15-16]。

其他国家在激光半主动制导武器的发展方面

也进行了大量的研究与应用。比较有代表性的有法国的阿科尔激光制导炸弹,其于1992年开始服役。前苏联的KAB-500型于1973年开始服役,其长度只有3m,直径为400mm,炸弹尾部跨度为750mm,重量为560kg,其中460kg的弹头中装载有200kg的炸药。该炸弹以500~5000m高空以550~1100千英里/小时的飞行速度投掷,在10km的可见度下,27N1激光制导器可截取5~7km内的激光信号,精确轰炸范围在6~9m,打击范围是3~9km。UPAB-1500KR俄罗斯第一种滑翔式激光制导炸弹,是KAB-1500KR的改进型,其于2005年开始测试,其射程为50~70km。另外南非的猛禽采用自动和手动双重制导方式,作用距离为60km。激光制导导弹中以色列的LAHAT(炮射导弹)分弹径为105和120mm两种,其有效射程为6km,命中精度则为0.7m。激光制导炮弹中俄罗斯的红土地2K25在1984年装备部队,共有155mm,120mm,240mm三种型号,其新型号圆概率误差达0.5~1m。以色列的火球炮弹在2008年论证,具有26km射程。

3.3 我国在该领域的发展现状

在激光半主动制导武器领域,我国在上世纪80年代便有成型的产品服役。最早的7721型激光制导炸弹采用风标式导引头和速度跟踪导引方式,该型炸弹在1985年便进行了试射,不久便服役部队。该炸弹属于第一代激光制导武器,其弹长3.68m,弹径为377mm,重490kg,投弹高度为1000~6000m,投弹距离为900~7000m,其投射的圆概率误差为5m,导引头成功捕获目标的最大距离为4km,捕获视场为25°,其激光指示器采用1.064μm波段激光。2004年服役的LT-2是我国新一代激光制导炸弹,其总重量为500kg,其制导控制方式为采用发射2条平行互有间距的激光导引线,而制导炸弹则在这样一个范围内进行Z型反复寻的前行,直至命中被击毁目标。其投弹距离最远可达10km,而命中的圆概率误差则比7712明显提高,能够达到2.5m,导引头成功捕获目标的距离与第一代一致,也为4km。目前正在测试的LT-3型激光半主动制导炸弹代表当前的发展趋势,其采用复合制导方式,根据需要可在GPS、INS、激光制导方式中进行切换,从而更好地适应战场环境。其长度为3.58m,弹径为0.38m,重量为500kg,该型炸弹增加了折叠的滑翔弹翼,可极大地提高投射距离,若配备钻石背滑翔翼其投射距离可达50km,另

外其全透明激光导引头,采用了扇形面发射激光架速引导炸弹系统。在条件合适和气候良好时可以使用精度较高的激光制导,当战场烟雾或气候环境影响到激光导引系统正常使用,或者目前的防空火力导致激光制导对载机存在过大危险时,LT-3可以采用INS/GPS制导以实现真正意义上的发射后不管,利用INS/GPS制导系统对目标进行远距离的隐蔽攻击。

4 激光末制导武器发展中存在的问题与发展趋势

半主动激光末制导武器的优点非常多,如价格低廉、命中精度高、结构简单等,甚至将目前的炸弹稍加改造便可以做成效能比远远高于普通炸弹效能比的激光半主动制导炸弹。因此这种制导方式得到极为广泛的应用。但针对这种制导武器的对抗措施也不断发展,如半主动激光制导所必须的激光指示器很容易暴露,而无论是机载指示器还是单兵携带的指示器工作室均要求其距离目标在一定范围内,如此激光指示器及其载机等很容易受到对方的打击,而一旦激光指示器被破坏或屏蔽则己方的激光制导武器便失去了引导,无法准确命中目标。另外当前的激光告警、激光转发欺骗甚至大功率激光反导弹、反炸弹装备在各国的研制与装备也给该类武器的研究与发展提出了进一步的挑战。

根据当前的发展状况出现了一系列新的发展趋势,而这些发展则主要针对激光导引头与激光指示器及其相互的配合几个方面,下面对此分别进行探讨。

在激光导引头方面以复合式引导的多模控制为发展特点,如在激光导引方式中增加GPS引导、惯性引导、电视引导等多种引导方式,这样当战场环境不适于进行激光引导时则人工或自动切换到其他更为合适的引导方式,从而极大地提高武器的环境适应能力。另外在抗干扰方面在激光引导方式的编码中不断采用更加复杂并带有密码的编码方式,这使得对方的激光告警无法及时的对编码进行破坏,从而提高导引头的抗干扰措施。

在激光指示器的发展中以提高距离和运动中进行目标激光指示的方式提高指示器载机的生存能力。即发展作用距离大于10km的高精度激光指示器,同时发展能够在载机快速运动状态下实现高精度目标指示的技术,防止对方在目标机进行指示的过程中对目标机进行打击和干扰^[17]。从近年

来的报道发现制导武器发射载机与激光指示器载机正朝着同一化、多用途及相互引导、相互支持的方向发展,这种集群式攻击思路可以明显提高攻击的效率。

在当前半主动激光制导方式无法由发射后不管的主动制导方式取代的情况下,攻击方式的变化也在理论上提高了激光半主动制导武器的生存能力与攻击效能^[18]。如国外文献报道的在战术上可把照射点移到离目标 15~ 20m 处,然后在控制周期结束前的 2~ 3s 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~ 3s,对方难以快速做出反应。同样,这种方案使实施射击的过程变得复杂,也明显降低了目标命中概率。如何解决此情况下的命中概率问题则是该技术的发展难点与趋势。另外传统的激光半主动制导武器的攻击角往往小于 30°,这为对方的对抗赢得了时间,为此一般用于攻击坦克和舰船的垂直式攻击也在激光半主动式制导武器的研究中得到了发展,据报道全球首款垂直式激光半主动制导导弹在 2010 年 7 月由法国研制成功。采用垂直攻击可以缩短攻击时间,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 结 语

激光半主动制导武器的发展在当前得到了各国的重视,无论是导弹、炸弹还是炮弹均具有广阔的应用空间。该类武器正向着作用距离更远、抗干扰能力更强、战场适应能力更强的方向发展。本文概述了当前国内外流行的激光半主动制导武器的发展现状,并总结了该类型武器在发展过程中存在的问题及其发展趋势,为我国在该型武器的研制及针对该型武器的对抗系统的研究方面提供了重要参考。

参 考 文 献

[1] 王永仲. 现代军用光电技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003
[2] 王剑英, 刘列, 周玉平. 半主动激光寻的导弹全程光电

对抗技术探讨[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(10): 188 ~ 192
[3] 鲍海阁. 国外激光半主动寻的制导武器的发展[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(5): 21~ 25, 83
[4] 葛宝臻, 李文超, 马云峰, 等. 基于四象限探测的激光粒度仪自动对中技术[J]. 光学精密工程, 2010, 18(11): 2384~ 2389
[5] 赵馨, 佟首峰, 姜会林. 四象限探测器的特性测试[J]. 光学精密工程, 2010, 18(10): 2164~ 2170
[6] 姜娜, 何俊发. 激光制导武器原理简介[J]. 战术导弹控制技术, 2004(1): 62~ 63
[7] 赵江, 徐锦, 徐世录. 激光制导武器[J]. 飞航导弹, 2006 (6): 26~ 30
[8] 薛陈, 朱明, 陈爱华. 一种鲁棒的基于改进 Mean-shift 的目标跟踪算法[J]. 光学精密工程, 2010, 18(1): 234~ 239
[9] 杨波, 王寿荣, 李坤宇, 等. 利用负刚度效应调谐的硅调谐式陀螺仪[J]. 光学精密工程, 2010, 18(11): 2398~ 2406
[10] 马东营, 宋凝芳, 金靖, 等. 微小型光纤陀螺组合分时复用技术[J]. 光学精密工程, 2010, 18(10): 2171 ~ 2177
[11] 张利宾, 崔乃刚, 吕世良, 等. 运载火箭上面级惯性与天文组合导航系统设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18 (11): 2473~ 2481
[12] 张明, 陈德勇, 王军波. 单晶硅振动环陀螺仪的制作[J]. 光学精密工程, 2010, 18(11): 2454~ 2460
[13] 魏群, 艾兴乔, 姜湖海, 等. 超音速光学导引头整流罩优化[J]. 光学精密工程, 2010, 18(2): 384~ 389
[14] 廉明, 韩振宇, 富宏亚. 自抗扰技术在卫星姿态模拟系统中的应用[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 616~ 622
[15] 美国陆军 OH-58D 直升机试射 魔爪 激光制导火箭弹[N]. 每日防务快讯, 2010-01-01
[16] 波音公司将为美国海军生产激光制导型 联合直接攻击弹药 [N]. 每日防务快讯, 2010-03-11
[17] 陈骥, 赵晓明, 曹久大, 等. 高速运动测量机的研制与试验[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 928~ 934
[18] 阎胜利, 高慧斌, 贾宏光. 飞行器制导控制半实物系统采样步长的优化设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(5): 1144~ 1151