文章编号:1002-2082(2010)01-0142-05

激光压制武器及光电跟踪系统一体化技术在防空中的应用

段红建，杨爱粉，瞿建荣，刘家英
(西安应用光学研究所，陕西 西安 710065)

摘　要：为提高地面防空武器对空中飞行器的打击，提出将激光压制武器与光电跟踪系统一体化集成，对空中飞行器目标的光电系统进行压制和干扰。分析列举了激光压制武器的特点，着重分析了激光压制武器在车载弹炮防空武器中与光电跟踪系统一体化的可能性，并指出了实施一体化的关键技术。

关键词：激光压制；光电跟踪；光电系统一体化
中图分类号：TN249　　**文献标志码**：A

Application of laser suppression weapon and opto-electronic tracking integrative technique in air defense

DUAN Hong-jian, YANG Ai-fen, QU Jian-rong, LIU Jia-ying
(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to improve the ability of the ground anti-air weapon to strike aircrafts, the integration of the laser suppression weapon and the optoelectronic tracking system is proposed to suppress and interfere in the optoelectronic systems of the air targets. The accuracy of laser weapon system can be improved and the overall response time can also be reduced by the integration of the laser suppression weapon and the optoelectronic tracking system. The characteristic of the laser suppression weapon is analyzed. The probability to integrate the laser suppression system in the vehicle-borne anti-air weapon with an optoelectronic tracking system is investigated emphatically. The key technology to implement the integration is presented.

Key words: laser suppression; optoelectronic tracking; optoelectronic system integration

引言

从海湾战争、伊拉克战争和科索沃战争等近年发生的几场局部战争来看，空中打击占据着战争的重要过程，除了传统的轰炸机、战斗机等固定翼飞机的威胁外，直升机、巡航导弹、空地导弹和无人机等中低空武器威胁越来越成为空中打击的有生力量。这一切对地面近程防空反导造成巨大压力，同时也为地面防空武器的发展创造了机遇，使其越来越受到各国军方的关注。

在防空武器研制中，激光武器受到了众多国家的重视，积极投资开发。作为一种定向能武器，激光武器在20世纪60年代就受到各国的关注，开始了研制工作，其中激光压制武器作为光电对抗的重要组成部分，其技术基本成熟，多个国家已装备部队并进行了实战检验。美国在过去的几十年中有计划地发展了多项激光武器应用于陆、海、空各兵种，在20世纪90年代，美国就在“布雷德利”装甲车上安装了“鲂鱼”激光武器，输出激光能量为110 mJ，可

收稿日期：2009-06-29；　**修回日期**：2009-08-20
作者简介：段红建(1965—)，男，陕西大荔人，高级工程师，主要从事光电系统方面的研究工作。

以暂时或永久性地使敌方车辆、直升机上通过潜望镜观察的乘员失明,并干扰其电视摄像机的使用。在1982年的英阿马岛海战中,英国特遣舰队的大型军舰上安装了激光眩目武器,取得了使阿方飞机坠毁的可观战绩。俄罗斯、德国、法国等国家也都不遗余力地积极开发激光武器,应用于防空反导领域。

1　激光压制武器

激光压制就是利用特定波段一定能量的激光辐射,干扰和破坏敌方武器装备中的光学系统和光电传感器,使其多频谱(可见光、近红外、远红外)光电观瞄装置光饱和甚至失效,跟踪与控制装置失灵,还可以致眩或压制敌方人眼,使其短时间致盲,暂时或永久丧失战斗能力,其技术已基本成熟。

激光压制武器系统是以中高功率激光器及其驱动电源为核心,配以侦察/告警定位装置、精确瞄准跟踪装置等组成的光电武器系统。对于战术层面的激光武器而言,一般分为两类:即软杀伤激光武器和硬杀伤激光武器。所谓软杀伤激光武器,是指激光对光电传感器、光电系统、人眼等为目标的破坏和损伤的激光武器,而硬杀伤激光武器则指能直接毁伤导弹、飞机等目标的激光武器。激光压制属于软杀伤性激光武器。

激光武器对光电传感器的压制机理是由于光电传感器的响应光功率动态范围有限,在动态范围内,其光电特性曲线有很好的直线性。当入射光功率超出动态范围的上限时,光电特性曲线发生弯曲而产生饱和。在饱和区,光电传感器被致盲,甚至烧毁。另外武器系统上的光电传感器为了提高探测距离和探测灵敏度,一般都有望远系统,即有高倍率聚焦光学系统。因此,激光发射能量即使不是很高,经过光电传感器聚焦,也使激光在其焦面的探测器上形成很高的功率密度,使探测器毁损或失效。文献[1-4]通过试验研究了激光对CCD器件和红外成像器件的干扰、破坏情况,探讨了激光对CCD器件和红外成像器件的干扰、破坏机理。

激光压制在对空防御中,主要针对固定翼飞机、直升机、巡航导弹、空地导弹和无人机等目标的光电传感器(光电侦察装置、光电观瞄跟踪装置、光学导引头等)这一薄弱环节,使其成为"瞎子"而失去战斗力。与一般的火力杀伤类武器相比,激光压制武器具有以下特点:

1) 速度快,射击时无需提前量。激光束以光速(3×10^5 km/s)射向目标,比普通枪弹非初速要快40万倍,对于低空目标,相对于光速来说都是静止目标,因此激光压制武器射击目标时不需要计算提前量。

2) 效费比高。对于低强度激光压制,使用车载供电即可,每次发射的费用与一般枪炮弹药相比要低很多,又由于其控制系统不需要提前量等控制,也降低了控制系统技术难度。

3) 不受电磁干扰。激光传输不受外界电磁波的干扰,因而目标难以利用电磁干扰手段避开激光武器的攻击。

4) 精度高、机动灵活。由于目前激光发射系统的体积已可以作得较小,并可与光电稳瞄跟踪系统集成一体,大大提高了系统精度。将聚焦的狭窄光束精确地对准欲攻击目标,并击中目标上的光电系统要害部位,然后快速捕捉并对付下一目标。同时,在激光发射过程中没有后座力,也使其精度更易保证。

5) 弹药充足。在车载防空武器中,受到体积和重量的限制,车辆携带的导弹和炮弹基数是有限的,限制了其战斗力的持续性,而激光压制武器只要车辆供电正常,"弹药"即可源源不断。

激光压制武器也具有光电产品共性的缺点,即受天气条件、战场烟尘、烟雾等影响较大,限制了激光压制武器在恶劣天气时的作战效能。此外,大气传输的影响是对激光武器重要的制约。在激光压制武器使用时,大气折射率的无规则变化、湍流对光束波面的破坏、大气散射与吸收等都严重影响激光对目标的损伤效果。针对大气传输的影响,可采用自适应光学技术,但使得系统复杂性、环境适应性、可维护性及成本等受到影响[5]。

虽然激光压制武器受一定的缺陷影响制约,但其具有的众多的优异特点,可使其在防空领域发挥巨大作用。

2　激光压制武器与光电跟踪系统的一体化

激光压制武器作为防空武器可以单独成系统对空防御,但将其与车载防空武器结合,特别是与车载弹炮结合防空武器系统一体化,将使整体战斗力大大提高。

车载弹炮结合防空武器系统,机动灵活,通过每台炮车独立的光电或雷达跟踪火控系统,可实现防空导弹命中精度高、射程远,用于远方目标拦截;

防空高炮高速发射,火力密集,用于近目标拦截,两种武器结合,组成强大的双层防御。车载弹炮结合防空武器系统一般用于覆盖高度 4 km 以下,斜距离 10 km～12 km 以内的空域,导弹通常用于中高空中远程以上,高炮进行低空近程防卫。而激光压制范围一般也在 5 km～10 km,甚至更远,与弹炮结合防空武器系统的防御范围是比较匹配的。

弹炮结合防空武器系统反应时间长、抗干扰能力差、耗资巨大。而激光压制武器能很好克服这些弱点,因此,将弹炮结合防空武器与激光压制武器结合,组成弹、炮、激光一体的三合一武器系统,将具备响应速度快、低空、超低空进程防空拦截的反空袭能力[6]。

由于光电火控系统探测距离的提高和高精度的跟踪能力,在车载弹炮结合防空武器系统中占有越来越重要的地位,逐渐成为各国车载防空武器的基本配置。在光电火控系统中,光电跟踪装置是其主要组成部分。光电跟踪装置一般由电视、红外热像仪、激光测距机等光电传感器以及双向伺服稳定转台、视频跟踪器等组成,实现对空中目标的跟踪、测距和瞄准。

作为同是光电设备的激光压制武器,完全可以集成到光电跟踪系统中,与电视、红外热像仪、激光测距机等光电传感器等一同组成光电跟踪压制一体化光电系统,使光电系统同时具有武器功能,扩展其领域,在完成光电火控功能的同时又独立成为跟踪、测距、瞄准和打击一体的光电激光武器系统。

激光压制与光电跟踪一体化将大大提高激光压制武器和整个车载武器的威力:

1) 提高激光压制武器的瞄准精度。激光压制与光电跟踪一体化,激光发射光轴与光电瞄准系统光轴的同轴性在装调中较易进行保证,可以较好地保证激光武器对目标的准确射击。

2) 降低武器压制的总体反应时间。导弹与火炮射击,火控系统除了需要对目标截获到平稳跟踪的时间外,一般火控计算机求取诸元的最短时间为 2 s～3 s,火力随动系统从目标现在点协调到射击诸元的时间为 0.5 s～1 s[7],而将激光压制集成于光电跟踪系统中,由于激光速度快、不受风速、地球引力等的影响,可以瞄哪打哪,不需要火控计算机求取诸元,因此反应时间远远小于火炮、导弹的火控系统反应时间,光电系统瞄准目标即可进行激光压制,而不需要通过火控计算机解算。

3) 对一般火力杀伤类武器的补充。首先,可以在导弹和高炮火力覆盖范围对目标同时进行激光压制,提高整体概率。其次,当遭遇众多空中目标来袭,防空武器一般火力基数很快消耗殆尽时,可继续使用激光压制武器对目标进行压制打击和威慑,提高自身的防护能力和保持战斗持续性。

3 激光压制武器与光电跟踪系统一体化关键技术

发展激光压制武器与光电跟踪一体化,需要研究以下关键技术。

3.1 多频谱激光压制

由于其防御目标的光电探测器的工作波段已不再局限在可见光波段,同时包含近红外、远红外波段,因此,仅针对某一波段传感器的压制并不能遏制空中目标的观察和瞄准,激光压制武器应具备对现代光电观瞄跟踪系统多传感器多频谱特点的压制能力,使压制激光与目标光电传感器的光谱相应匹配,满足对不同波段探测器的多频谱激光压制。多频谱激光压制需要针对不同波段传感器压制的激光器、激光能量、一体化组合等方面进行研究。

不同波长的激光武器工作,最适于攻击的传感器见表 1 所示。

表 1 不同激光器适合攻击传感器类型对照[5]

Table 1 Different lasers in keeping with attack sensors

激光器	工作波长/μm	可攻击传感器
氩离子	0.514	微光电视
倍频 Nd∶YAG	0.532	像增强器
红宝石	0.694	测距机探测器
掺钛蓝宝石	0.66～1.16	人眼
翠绿宝石	0.70～0.815	
Nd∶YAG	1.064	激光制导传感器
自由电子激光器	1.0～10.0	红外制导导弹传感器
DF	3.0～5.0	
CO	6.0	
CO_2	10.60	夜视系统等热探测器

3.2 高性能光电稳定跟踪系统

一般来说,光电传感器被激光照射并不能立即产生破坏性失效,仅能使之暂时失明,对其产生干扰作用。要造成其破坏,必须持续照射一定时间,聚集足够的激光能量才行。因此,需要光电跟踪压制系统具有高精度的稳定跟踪精度,保证激光束可以长时间照射到目标要害部位。为了使激光束精确命中目标和稳定地跟踪目标,需要高精度的稳定跟踪系统,通常激光压制系统的跟踪瞄准精度高达 μrad。

3.3 “猫眼效应”辅助搜索

激光束都具有一定的束散角,对束散角的控制是保证有效压制距离的条件。当目标距离激光压制武器较远时,激光束可以全部或大部分覆盖目标,当目标较近时,激光束仅能覆盖目标的一部分,因此,将瞄准线压住目标的光电窗口是压制目标光电传感器的前提。此外 ,激光对光电系统压制,必需使激光束进入被压制光电系统的视场内才能起到作用,也是激光压制武器必须面对的问题。美俄等多个国家的科研人员提出激光武器可以利用“猫眼效应”原理,搜索敌方攻击目标的光学设备和光电传感器,确定其位置,实施准确攻击。

当激光对准一个具有光学窗口的光电系统时,其视场内的激光经过光学系统的作用在光学系统的焦平面附近形成了一个“像斑”,此“像斑”相当于一个光源,再经过原光学系统以一定束散角反射回去,在监视器上可观察到一个较一般漫反射亮度强得多的光斑或光环,形似猫眼,这种效应称之为“猫眼效应”。具有“猫眼效应”的光学系统可以看作是透镜与反射面的组合,其性能可类比于角反射器。一般光学系统组可等效为一个透镜,其焦平面附近的光学器件如光敏面、分划板、瞄准叉线、滤光片、光电阴极板等可看作反射面;而对于一般玻璃窗则观察不到“猫眼效应”[8]。利用“猫眼效应”,系统向指定目标区域或全空域进行搜索,当目标出现在其搜索范围时,会在系统监视器上显示目标的光学窗口形成的光斑,便于系统瞄准,实行激光压制。虽然有很多国家在进行基于“猫眼效应”的光电探测器的研究,但还不能满足实际的需要,需要在探测距离、探测虚警率方面进行突破。

3.4 一体化优化配置

现代车载弹炮结合防空武器的光电系统的传统设计大多是采用“挑担式”和“U 型架式”结构,将电视、红外、激光等独立传感器集成于一体,随着传感器种类的增加,使得光电系统回转半径大、转动惯量大、机动性差,很难满足拦截系统的技术要求,需要在减小各传感器体积、重量、传感器集成设计、系统总体结构配置等方面进行优化。

减小和降低电视、红外、激光等传感器的体积和重量是解决上述问题的一种方法,随着传感器技术的发展,传感器的体积和重量已有较大改善,激光压制武器的体积和重量也在不断改善中。但随着对激光压制距离要求的不断提高,需要在采取不同的激光器技术手段、提高激光能量以及随之带来的激光器散热等等方面进行研究,技术难度很大。

将电视、红外、激光等传感器共用主镜和主光路,并用分光、反光镜将接收的光信号引至相应的各个传感器,构成光学系统的多光轴合一结构是一种新构想,对减小系统体积、重量,保证光轴一致性具有益处,但系统技术难度大、装调复杂[9]。

4 结束语

激光压制武器和光电跟踪系统都是较为成熟的系统,充分利用激光压制武器的特点,在车载弹炮结合防空武器上与光电跟踪系统一体化设计,使光电探测跟踪装置与激光压制优化集成,与导弹、高炮组成弹、炮、激光一体的三合一武器系统,相互补充,会使陆地防空武器系统具备更高的战斗力。

参考文献:

[1] 胥杰,赵尚弘,占生宝,等.光电探测器激光损伤因素及其成因分析[J]. 激光杂志,2006,27(5):43-44.
XU Jie,ZHAO Shang-hong,ZHAN Sheng-bao,et al. The analysis of damage factors and their causes in laser induced detector damage[J]. Laser Journal, 2006, 27(5): 43-44. (in Chinese with an English abstract)

[2] 李海燕,朱敏,卢洪义.视场外激光对CCD成像制导武器的干扰研究[J]. 红外与激光工程,2009,38(1):66-69.
LI Hai-yan,ZHU Min,LU Hong-yi. Off-axis laser disturbing CCD imaging guidance weapons [J]. Infrared and Laser Engineering,2009,38(1):66-69. (in Chinese with an English abstract)

[3] 李文煜,王金宝,程湘爱,等.激光对面阵CCD器件破坏的一种新机理[J].强激光与粒子束,2005,17(10):1457-1460.
LI Wen-yu,WANG Jin-bao,CHENG Xiang-ai. New analysis on laser-induced damage mechanism of array CCD device [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 17 (10): 1457-1460. (in Chinese with an English abstract)

[4] 葛成良,范国滨,梁正,等.单元红外成像探测器的激光干扰实验研究[J].强激光与粒子束,2006,18(1):25-30.
GE Cheng-liang, FAN Guo-bin, LIANG Zheng, et al. Laser jamming experiments on one-chip imaging detector [J]. Infrared and Laser Engineering,2006,18(1): 25-30. (in Chinese with an English abstract)

[5] 王永仲.现代军用光学技术[M].北京:科学出版社,

2003.
WANG Yong-zhong. Modern military optical technique [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)

[6] 安毓英,曾小东,刘劲松,等.战术激光武器的威胁及其技术剖析[J].应用光学,1994,15(5):5-15.
AN Yu-ying, ZENG Xiao-dong, LIU Jing-song, et al. Analysis for threat of laser weapons and their thchniques[J]. Journal of Applied Optics, 1994, 15(5):5-15. (in Chinese with an English abstract)

[7] 任永胜,耿力.现代防空火控系统的现状及发展方向[J].火力与指挥控制,2001,26(4):6-11.
REN Yong-sheng, GENG Li. Analyzing modern land-based air-defense fire control system and trends with modularity design concept[J]. Fire Control and Command Control, 2001, 26(4): 6-11. (in Chinese with an English abstract)

[8] 赵洪卫,王江.激光照射"猫眼"效应实验研究[J].激光技术,2005,29(1):62-65.
ZHAO Hong-wei, WANG Jiang. Laser experimental study of "cat-eye" effect [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 62-65. (in Chinese with an English abstract)

[9] 瞿建荣,白桂明.防空武器光电探测技术的发展[J].新光电,2009,3(1):23-27.
QU Jian-rong, BAI Gui-ming. The development of E-O principle technical for modern air-defense[J]. E-O Frontier, 2009, 3(1):23-27. (in Chinese)