

光电对抗技术研究进展

郭汝海, 王 兵

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室,
吉林 长春 130033)

摘要: 经过多年的发展, 光电对抗技术已经成为一项专门的综合技术, 特别是在激光出现以后, 由于其单色性好、亮度高和方向性好等特点, 已经成为光电对抗的发展主流。激光致眩、致盲甚至毁伤探测器已经成为光电对抗研究领域的热点问题, 在过去的十多年里得到了许多国家的普遍重视。本文对光电对抗的历史进行回顾, 并对未来高能激光器应用于光电对抗领域所遇到的挑战进行展望。

关键词: 光电对抗; 激光器; 定向能; 光束控制

中图分类号: TN977 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112807.0021

Development of Optical Countermeasure Technique

GUO Ru-hai, WANG Bing

(State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The optical countermeasure technique is a complex technology after many years development. Especially, laser which has the properties of monochromaticity, high brightness and directional transmission, has been applied to optical countermeasure. The laser dazzling, laser blinding and even damaging detector was focused in the field of optical countermeasure, which had been paid a great attention by many nations. The development of the optical countermeasure was presented in this paper. Furthermore, the challenge for future high-power laser applied in the optical countermeasure was forecasted.

Keywords: optical countermeasure; lasers; directed energy; beam control

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿资助项目。

1 引言

光电对抗技术是指敌对双方利用各种技术手段在光波段进行的争夺,以削弱、破坏或摧毁敌方侦察装备和光电制导武器的作战效能,并保证己方光电装备及制导武器作战效能的正常发挥而采取的技术技术行动^[1]。

这种概念已经有两千多年的历史,古希腊哲学家阿基米德就通过会聚太阳光而摧毁了罗马舰队的舰船。在有记载的古代经典战役中也不乏利用太阳位置而取得战争胜利的例子。自从上个世纪激光器发明以来,由于其固有的特性更加适用于光电对抗领域,使光电对抗的技术手段上升到一个崭新的阶段^[2-3]。

首先进入人们视野的激光器在对抗领域的应用出现在上世纪70年代的美国和苏联。以美国的MIRACL(中红外高级化学激光器)为例,采用兆瓦级的DF化学激光器已经成功实现对飞行导弹或超音速靶机的破坏。采用较低功率可以对光学传感器产生干扰,例如精确制导导弹的导引头或直升机观瞄设备。这样,激光功率就成为了左右光电对抗效果的一个最重要的指标。国外对不同激光功率级别下对应的不同设备和结构破坏的总结如图1所示^[4]。

针对不同的威胁源,采用不同功率级别的激光器(功率下降,对应体积和重量也相应减小),这样就可能保证该类设备可以车载和机载,这将极大地提高其在战场上的存活率。除了这种主动的对抗技

术手段外,还有很多干扰机系统,可以喷出烟雾或闪光弹,也能起到一定的对抗干扰作用。本文主要介绍基于激光器的主动光电对抗,特别是激光干扰系统和战术激光武器,同时,还与被动对抗技术进行对比,例如伪装和刷涂条纹。最后对光电对抗和激光器的发展进行展望。

2 光电对抗的历史

2.1 激光发明以前

公元前212年,在锡拉库扎战争期间,守城战士就用多面大镜子会聚太阳光照射罗马舰队的船帆,这就是早期光电对抗的一个实例。但是,这是一个失败的战例,因为最终锡拉库扎城被攻破,阿基米德被杀。古希腊步兵在战斗中曾用抛光的盾牌反射太阳光作为战胜敌方的重要手段之一,还有许多利用阳光降低敌人防御能力的例子。1415年,亨利五世的射手们就是等待太阳光照射法国士兵的时候进行攻击;近代的战斗机突然从太阳光中飞出,从而达到突然攻击的目的。

古人也有如何增强防御的例子,我们所熟知的著名典故“草船借箭”就是利用大雾使敌人无法分辨真假;尼克鲁·马基雅弗利在1531年的演讲中倡导利用欺骗技术,所谓“兵不厌诈”,他提议如果有效地驾驭战争,欺骗战术就能非常有效地使战斗力倍增。

采用烟雾对可见光进行遮蔽已经有几个世纪的应用,它可以隐蔽战术意图和武器部署,甚至到今天还有应用。开始是利用易燃材料在空气中产生大量的小颗粒,发散开来从而完全阻挡光线的通过。随着各种不同波段传感器的发展,其他可以产生烟雾屏蔽效果的对抗手段也更加丰富,也同样起到了相似的作用。图2给出了烟雾屏蔽坦克装甲车的效果照片。

第一次世界大战期间,英国为了减少军舰被潜艇攻击而造成的损失,在船体上涂抹分裂的条纹图案以掩饰船体的长度与外貌,包括估计航行方向,

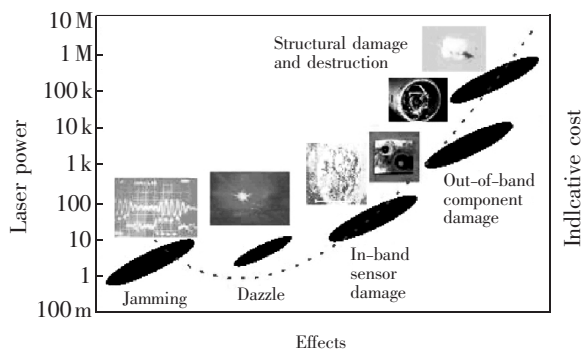


图1 激光器功率、干扰效果及研制经费的关系图



图2 烟雾屏蔽战场应用

实践证明,此举可以有效防止潜艇计算出合适的瞄准点。

第二次世界大战进一步促进了光电对抗的发展,出现了大量的光学谱段打击雷达系统的新技术。这个时期开始出现红外技术,主要用于监报告警。结果也就有相应的技术研究来对抗这样的系统,当然,反对抗技术也使这些设备更加坚固耐用。

上世纪60年代是光电对抗发展最重要的十年,起因是1960年梅曼发明了第一台闪光灯泵浦的红宝石激光器,光电对抗的发展揭开了崭新的一幕。

2.2 激光发明以后

2.2.1 激光干扰系统

1964年,欧洲首次采用红宝石激光器在400 m的距离上干扰摄像机的显像管,这是第一个激光损伤实验。同时,60年代这十年发生了越南战争,美国空军损失了大量的飞机,都是被雷达制导的导弹和后来的光学导引系统所击落。因此,从这个时期开始,多种技术用于打击这种结构相对简单、但有效的热跟踪导弹技术。其中基于化合物的闪光(如镁光灯),开发了用于干扰这些武器瞄准点的技术,瞄准点主要追踪飞机目标的喷气机上产生的热源。

镁光灯的燃烧可以产生很强的红外源,从飞机上发射出去可以诱骗热跟踪导弹。它的目的就是提供超亮的红外光源,开始离飞机很近,然后慢慢从飞机附近分散。闪光的辐射强度同样远远大于飞机的热源辐射度,因此对跟踪器形成了追踪的吸引源和欺骗器。一系列的闪光弹齐射可以保证逼近导弹的追踪系统混乱。发射闪光弹战斗机照片如图3所示。



图3 闪光诱饵弹

上世纪90年代以后,伴随着光电制导技术的发展,特别是红外成像制导技术的发展,早期的红外对抗技术已不能满足现代战争的需要,而且目前红外跟踪及制导武器的作用距离越来越远,使用波段也从近红外波段 $1\sim 3\mu\text{m}$ 向中波红外 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和长波红外 $8\sim 12\mu\text{m}$ 扩展,这就产生了一种新型的红外对抗技术,即定向红外对抗技术(DIRCM),这是在激光器发明以后的新型对抗技术。

典型的红外激光对抗系统具有一个报警设备(或者目标探测系统)、光束定向器和光源。该系统框图如图4所示,这里ATP是捕获、跟踪、瞄准的

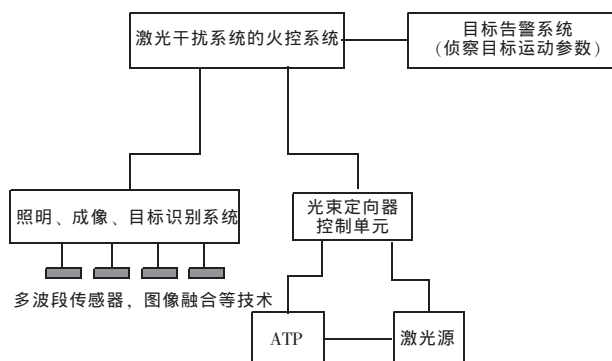


图4 激光干扰系统组成

简称, 即为一个完整的功能化子系统, 包含了激光定向器。

该类激光对抗系统的干扰机制一般可以分为两种: “带内干扰”和“带外干扰”。根据干扰机制的不同, 一般而言, “带内干扰”的激光输出功率要求在几瓦量级, “带外干扰”的激光输出功率则要求在几十千瓦, 更高的激光输出功率就变成了定向能的激光武器, 一般功率级别达到了数百千瓦甚至兆瓦量级^[4]。

2.2.2 定向能激光武器

上世纪70年代是定向能激光武器快速发展的十年, 主要基于DF和COIL(化学氧碘激光器)^[5-6]。早期美国空军展示了100 kW的设备, 在后期功率级别已经达到了0.5 MW。此类对抗系统开发就是用于说明定向能武器的潜在性能, 例如美国海军化学激光器(NACL), 加上高精度的光束定向器, 用来击落陶氏反坦克导弹。比较有影响的定向能激光武器还有美国空军激光实验室, 利用气动CO₂激光器, 成功击落了飞行中的响尾蛇导弹。1977年, 新泽西柯克兰空军基地的飞利浦实验室开始了COIL的研究工作, 成型的应用就是有名的ABL。到80年代, 美

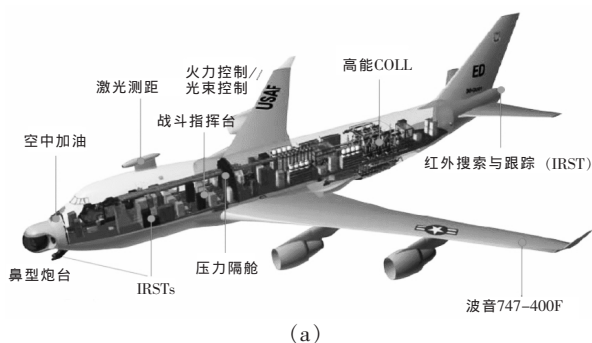


图5 定向能激光武器: (a) ABL; (b) THEL。

国开始了星球大战计划, 其重点就包括定向能武器技术。在新墨西哥白沙导弹靶场进行了多种基于化学激光器的打靶实验, 这期间也逐渐开展了THEL(战术高能激光系统)研究, 图5给出了ABL和THEL的实物图。

2.2.3 高能激光器面临的挑战

随着激光器的发展, 激光功率和光束质量都在稳步提高, 应用在光电对抗领域的角色也逐渐增强。但高能激光器的发展仍然受限于很多因素, 例如随着功率的增加, 光束质量大幅下降, 还有如何提高转换效率等。高能激光器从历史发展来看, 原来是化学激光器的代名词。

但是, 由于高能化学激光器具有体积庞大、难于运输、工作气体有毒、后勤保障等诸多缺点, 已经逐渐开始被高功率的固体激光器所取代。美国已经有几个成功应用高功率光纤激光器的激光武器系统, 如激光区域防御系统、“宙斯-悍马”激光弹药摧毁系统和“激光复仇者”等, 这些系统的光纤激光器基本都采用美国IPG公司的光纤激光器, 证明了高功率光纤激光器已经能够在一定程度上取代化学激光器。同时, 这些系统使用的高功率光纤激光器也揭示了不断发展的光束合成技术将是获得高功率激光输出的另一种有效途径。图6为IPG公司2009年研发首次用于摧毁无人机的高功率光纤激光武器系统(“激光复仇者”), 可以看到它完全可以集成在小型卡车上, 具有高度的机动性, 并已经与传统榴弹炮和高射炮等武器相互结合使用, 具备了相当的实战能力。



图6 IPG公司研制的光纤激光武器系统

目前, 固态热容激光器已经突破了 100 kW 的输出功率, 以往这个功率水平被物理学家认为是激光武器的入门功率级别。通过美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的研究结果, 高能固态激光器主要面临的技术挑战有以下几个方面:

(1) 如何有效地提高系统效率

对于任何激光器技术方面的设计, 主要考虑的因素就是会对系统效率有何影响。一个技术手段可能在某些方面有益于提高系统效率, 但同时又会带来一些副作用。

(2) 在高系统效率的情况下如何提高光束质量

在高能激光系统中, 有许多方法来保证好的光束质量, 从被动的方法如非线性共轭或相位锁模, 到主动光学如多孔径相位调制或自适应光学, 所有的方法都有优势和缺点。评价激光系统的远场光束质量也有多种方法, 这里就不一一赘述^[7]。

3 光电对抗发展的未来前景

随着军事领域对光电侦察、光电火控、光电制导的依赖程度逐渐加深, 以欺骗、干扰敌方光电传感器系统甚至直接破坏、摧毁敌方光电设备的综合光电防护将成为大势所趋。

被动的方式还是主要以烟雾和闪光诱饵弹为主, 烟雾遮蔽物目前主要采用对环境无毒害的铜薄片和磷。采用烟雾遮蔽物主要考虑的技术是如何保证其良好的环境适应性, 如改变风向还能保证遮蔽效果。闪光诱饵弹的发展是使它们的光谱辐射变得更像飞机, 以诱骗光电追踪器。闪光弹仍是现在对抗热跟踪导弹的最直接的解决方案。未来将发展更先进的技术和化合反应发光物用于打击成像红外 (IR) 追踪器。

基于激光干扰器的对抗发展首先要提高激光设备的效费比, ABL 系统就由于整个系统几十亿美元

一架的花费而搁浅。固体激光器由于其高的系统效率及逐渐提高的光束质量, 未来预期可以大幅降低激光系统的研制费用。基于小型紧凑的固体激光器开发的微型高性能光束定向器, 可以把激光干扰器装载在直升机和喷气式战斗机上, 使其战场生存概率大大增加。

未来激光干扰器将从“带内干扰”向“带外干扰”发展, 甚至形成激光武器直接摧毁光电探测设备。在可以预见的未来, 激光武器必然会成为战场上如坦克和装甲车等具有实际作战能力的常规武器, 具备模块化、机动性和通用性等特点, 在未来的战场上发挥更大的作用。

4 结 论

主动和被动的光电对抗从古至今一直有着非常重要的军事应用, 而且目前的应用领域持续增加。本文对光电对抗的历史发展进行了简要的介绍和概括, 认为激光器的快速发展有利地促进了光电对抗的发展, 激光器目前已经包含了从紫外到远红外的各个谱段, 覆盖了战术与战略的各类对抗应用。

战术系统的范围从军事防空到提高设备和人员生存能力的平台, 而战略应用主要针对弹道导弹的防御等方方面面。许多现代光电对抗系统已经具有了低耗费和高效的激光源, 紧凑的固态激光器 (如光纤激光器) 和半导体激光器已经开始用于激光干扰器中, 未来将进一步向具有小型化和机动性的定向能武器发展。成像 IR (IR) 跟踪器威胁对光电对抗系统提出了额外的技术挑战, 需要复合应用闪光弹和激光干扰器。对于烟雾遮蔽物等研究也一直有着用武之地, 关键的挑战在于研制出环境友好、对军事行动能够有效遮蔽, 同时又不受天气情况影响的系统。综上所述, 我们认为光电对抗的发展将成为 21 世纪高科技战争的主旋律。

参考文献

[1] Titterton D H. A review of the development of optical countermeasures[J]. *SPIE*, 2004, 5615: 1-15.

- [2] 王泽和. 激光技术在光电对抗中的应用[J]. 舰船电子工程, 2000(3): 58-61
- [3] 赵广福. 光电对抗技术评述[J]. 红外技术, 1996, 18(2): 13-19.
- [4] Titterton D H. A consideration of the requirements for laser devices used in countermeasure applications[J]. SPIE, 2007, 6451: 64511Q-1-64511Q-14.
- [5] 郭汝海, 施龙, 王思雯, 等. HF/DF 化学激光器的研究进展[J]. 光机电信息, 2010, 27(3): 30-34.
- [6] 郭汝海. 化学氧碘激光器(COIL)的研究进展[J]. 光机电信息, 2010, 27(5): 22-27.
- [7] 郭汝海, 张合勇, 王挺峰. TEA CO₂ 非稳腔激光器远场光束质量的评价[J]. 光学 精密工程, 2011, 19(2): 407-413.

作者简介: 郭汝海 (1976-), 男, 汉族, 博士, 副研究员, 2007年于哈尔滨工业大学获得博士学位, 主要从事光束传输控制和激光器设计等方面的研究, 现为美国光学学会 (OSA) 会员。E-mail: hitgrh@163.com

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊, A4开本; 刊号: ISSN 1674-2915/CN22-1400/04; 国内外公开发行, 邮发代号: 国内12-140, 国外BM6782。

- ★中国科技核心期刊
- ★中国光学学会光电技术专业委员会会刊
- ★中国学术期刊 (光盘版) 源期刊

报道内容: 基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术及器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型: 学术价值显著、实验数据完整的原创性论文; 研究前景广阔, 具有实用、推广价值的技术报告; 有创新意识, 能够反映当前先进水平的阶段性研究简报; 对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告; 以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿, 洽谈合作。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版: 《中国光学》编辑部

投稿网址: <http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址: chineseoptics@ciomp.ac.cn, gxyygx2007@126.com

联系电话: (0431) 86176852; (0431) 84627061 传 真: (0431) 84627061

编辑部地址: 长春市东南湖大路3888号 (130033)

《中国光学》编辑部