

# 激光反导与导弹反激光措施综述

宋亚萍<sup>1</sup>, 刘莉萍<sup>2</sup>

(1. 国家高技术激光与材料研发中心, 安徽 合肥 230037; 2. 国防科技信息中心, 北京 100036)

**摘要:** 简要介绍了激光武器与对抗导弹研究近况, 对导弹反激光措施进行了综述, 包括旋转导弹、超高音速导弹、反光涂层/隔热护层等加固结构/材料, 以及光电器件的防护。指出反激光措施将有助于提高导弹的生存能力与突防能力, 并提出“强化辐照, 加速损伤”将是强激光武器对抗导弹反激光措施的一个重要研究内容。

**关键词:** 激光武器; 导弹; 反激光措施; 强化辐照; 加速损伤

**中图分类号:** TJ955      **文献标识码:** A

## Overview of Laser Weapon and Missiles With Laser Countermeasure

SONG Ya-ping<sup>1</sup>, LIU Li-ping<sup>2</sup>

(1. National Center of High-tech Laser and Material, Hefei 230037, China;  
2. National Defence Information Center of Science and Technology, Beijing 100036, China)

**Abstract:** An introduction of laser weapons is briefly given here, as well as damages of missiles. There are many effective laser countermeasures, for instance, spinning missile, superhigh sonic missile, reinforce structure (materials), including light reflection coatings, heat insulation coatings and photoelectric protection technique. Missiles with laser countermeasures will be capable of surviving. It would be one of the most important researches for us to intensify radiation and quicken up damage in the field of laser weapons.

**Key words:** laser weapons; missiles; laser countermeasure; intensifying radiation; quickening up damage

### 1 引言

激光武器具有光速传能打击动靶能力。为了将来袭导弹摧毁在各飞行阶段, 许多国家在大力研制高能激光武器, 美、俄等国已取得重大进展, 并进行了多次激光拦截导弹试验<sup>[1-3]</sup>。对于未加固导弹而言, 高能激光持续辐照数秒所累积的热能足以使壳体发生裂缝, 继而引爆燃料/炸药<sup>[4-5]</sup>。本文综述了激光拦截导弹与导弹反激光技术发展近况, 指出旋转导弹、超高音速导弹、反光涂层、烧蚀/绝热护层等反激光措施的涌现将给持续发展的高能激光武器提出新的挑战。

### 2 激光武器对抗导弹状况

#### 2.1 激光武器研究概况

激光武器以光速打击、效费比高、可重复使用等特点而著称, 可分为硬杀伤型和软杀伤型两类, 硬杀伤激光武器可直接毁伤导弹、飞机等动靶目标, 因而

受到各国的高度重视。美国一直处于世界领先地位, 俄、德、英、法、以色列等国在激光武器研制方面也已取得了长足进步。美国研制的机载短波长化学氧碘激光器已达兆瓦级水平, 重复脉冲激光器的研究也在积极进行之中, 高功率固体激光器、自由电子激光器(FEL)在许多重大技术上也取得了突破<sup>[6]</sup>, 劳伦斯·利弗莫尔国家实验室(LLNL)研制的二极管抽运固体热容激光器(SSHCL)的平均功率已达到67kW。前苏联对激光武器也进行了大量研究, 曾研制出固体燃料CO<sub>2</sub>气动激光器、工作介质可循环流动的横向电激励高能CO<sub>2</sub>激光器、高功率重复脉冲CO<sub>2</sub>激光器、DF化学激光器、低发散度高功率

**作者简介:** 宋亚萍(1973-), 女, 硕士研究生, 主要从事脉冲化激光及应用科技信息研究。

**收稿日期:** 2008-05-19

固体激光器等,并成功制造出输出功率和频率均可调的自由电子激光器,波长为 $2\sim 30\mu\text{m}$ 。德国MBB公司曾研制出一种车载激光武器,据称已用小尺寸样机进行了演示验证。法国曾实施了LATEX计划,研制出40kW和4MW的 $\text{CO}_2$ 激光器。

## 2.2 激光反导

近30年来,国外进行了多次激光拦截导弹试验,美国尤为突出,他们曾用DF化学激光器击落了几十枚反坦克导弹、火箭弹、榴弹炮炮弹,还用气动 $\text{CO}_2$ 激光器击毁了“响尾蛇”导弹,用MIRACL/SLBD激光系统摧毁了“黄铜骑士”导弹,并使“大力神”洲际弹道导弹助推器燃料贮箱的壳体爆裂。美国ABL计划将采用机载氧碘化学激光器拦截上升段弹道导弹(如图1所示),其捕获、跟瞄与连续辐照时间累计约需10s。

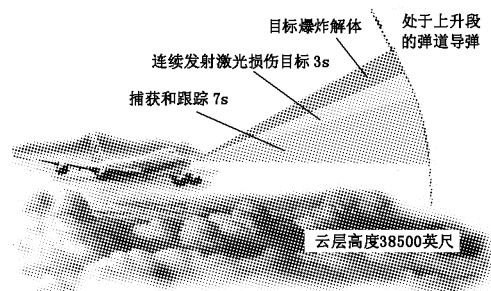


图1 机载氧碘化学激光器拦截上升段弹道导弹示意图

激光武器对导弹的破坏作用主要是激光辐照导弹壳体,累积能量,使其发生热应力形变或破裂。对于弹道导弹、巡航导弹等,在贮箱的内部压力、空气动力、推力,以及激光加热的联合作用下,壳体材料的某个部位因应力叠加、集中并超过材料的断裂强度而产生裂纹,这种裂纹会迅速扩大,导致压力贮箱爆炸、导弹弹体折断与近乎解体;如果由于光强或辐照时间不足未能使裂纹(缝)继续扩展,压力贮箱因漏气可能引起压力损失,推力下降或终止,这将会导致有效载荷的射程缩短<sup>[7]</sup>。此外,激光可使导弹的脆性光学材料产生裂纹或破裂,还可使光电器件暂时失效或永久失效,并可能失控坠毁。高能激光武器成功拦截导弹将进一步证实其在国家导弹防御体系中的重要作用。

## 3 导弹的反激光措施

面对高能激光武器的威胁,为了提高导弹的突防能力,各国开始重视研究反激光措施,既有抗激光侦察的隐身技术,又有抗激光杀伤的防护技术,其中旋转导弹、超高音速导弹、反光涂层/隔热护层等反激光措施尤为引人关注。

### 3.1 旋转导弹

导弹的抗激光技术主要有弹体滚摆、主动段自

旋、变轨机动飞行、速燃助推、改变尾焰光谱等措施,其中,弹体自旋是导弹在飞行过程中按照一定的角速度绕导弹中心轴旋转,使激光照射点沿弹体环向移动,达到分散激光能量,提高抗激光能力的目的,特别值得重视。

弹体自旋已从低速、近程小型导弹逐渐向高速、中型化方向发展。目前世界上许多国家装备了不同类型的自旋导弹,如美、德联合研制的RAM导弹现已装备在美、德、韩、埃及等国近百艘军舰上。美国的红眼睛导弹滚速为 $10\text{r/s}$ ,前苏联的赛格(SAGGER)为 $8.5\text{r/s}$ ,萨姆-7(SAM-7)达 $15\text{r/s}$ ,法国的米兰(MILAN)为 $6\text{r/s}$ ,德国的霍特(HOT)达 $8\sim 10\text{r/s}$ ,它们采用了准闭环的平均值控制,为脉宽调制型,滚速较高。瑞典的斯特里克斯(STRIX)末制导导弹采用卷弧尾翼来实现稳定的自旋飞行,利用弹体周围的12个小型推力发动机来修正弹道。弹道导弹助推段自旋<sup>[8-9]</sup>可以有效地对抗机载激光武器,实现助推段突防。美国曾对“民兵-III”导弹主动段自旋飞行的可行性进行了研究,并设计出低速滚速弹道导弹。

高能激光武器摧毁导弹需要在某固定点持续攻击数秒钟,采用弹体自旋技术,可避免高能激光对导弹固定部位的长时间辐照。李勇等人<sup>[10]</sup>粗略计算了3MW连续波 $\text{CO}_2$ 激光对钢制自旋导弹贮箱(厚0.4cm)的破坏,得到熔穿助推器壳壁时间大于80s,融穿自旋弹头壳壁时间大于14s。由此可见,弹体自旋不但能分散激光热能,而且大大延长了连续波激光辐照时间,还给跟瞄、发射带来了极大困难,致使激光难以损伤导弹(如图2所示)。看来弹体自旋是提高突防能力的一种有效措施。

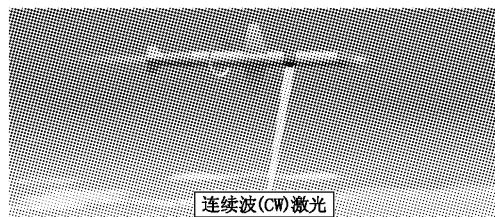


图2 连续波(CW)激光辐照旋转导弹示意图

(激光辐照面积环向增加,导致靶上辐照强度降低,难以达到损伤阈值)

### 3.2 超高音速导弹

为了进一步提高导弹的突防能力,许多国家在大力发展超高音速导弹。目前,美国已研制出5Ma弹道导弹与10Ma小型导弹,并计划在2010年前后使巡航导弹的飞行速度达到 $2720\sim 3060\text{m/s}$ ,法、俄等国巡航导弹的飞行速度也将达到 $2040\sim 2380\text{m/s}$ 。显然,导弹以高马赫数飞行将会使持续跟瞄辐照同

一靶心,累积热能损伤靶变得更加困难。

### 3.3 导弹反光涂层/隔热护层

如果导弹内部燃料/炸药与外部金属壳体之间没有隔热隔层,高能激光持续辐照数秒即可将其引爆<sup>[11]</sup>。为了提高导弹生存能力,针对导弹抗激光薄弱易损环节研究防护和加固结构、材料意义重大。抗激光加固结构大多采用夹层结构,可将反射层、烧蚀层或绝热层组成混合结构(如图3所示),也可将反射率高、有效烧蚀热高的材料制成单层结构。

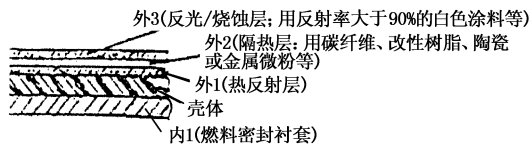


图3 抗激光加固的导弹壳体结构

抗激光材料一般选用新型复合材料,它们具有反射系数高、隔热性能好、高温强度高又耐烧蚀等特点,主要有:

(1)线性光学型反光材料:主要利用材料对光的反射和散射特性,使入射激光大部分反射或散射出去,降低激光能量在材料上的沉积,达到保护弹体的目的。反激光涂层可采用白色涂料或反光铝等反射性的金属层、石墨层等。美国曾研制出一种含铝颜料的有机硅高温涂料 TT-P-28,它的反射率较大,可在 650℃ 高温条件下起到抗激光防护作用<sup>[12]</sup>。

(2)烧蚀型防热能材料:是利用聚合物在高温下发生物理(熔化、蒸发、升华)和化学(分解、解聚、离子化等)及碳化等复杂过程来消耗激光热能的热防护材料。高能激光辐照下,有效烧蚀热高的材料消耗了大量的激光能量,激光热能不断被烧蚀型材料所产生的气体带走,从而保护了导弹壳体。抗激光烧蚀阻挡层由耐烧蚀聚合物、隔热填料、成膜剂等组成,可选用软木复合材料(如软木酚醛、软木环氧树脂、软木腈橡胶)、浸渍重金属/树脂的碳纤维织物、热解石墨(碳纤维)/碳无气孔复合材料、高硅氧/酚醛材料、酚醛树脂浸渍 SiO<sub>2</sub> 布等<sup>[13]</sup>。绝热层主要功能是隔热,为实现轻量化,可采用蜂窝夹心结构、组合泡沫、合成泡沫涂层等技术。国外曾将酚醛环氧树脂加空心微球及聚硅氧烷加空心微球制成的热防护层用在导弹火箭等流线型外壳上,还将海帕伦、氯磺化乙烯聚合物烧蚀涂料用作战术导弹火箭发动机的外防护层,该防护层可提高壳体表面耐高温能力达 2~2.5 倍<sup>[14-15]</sup>。

(3)透波型防辐射材料:国外曾公布了一种三向石英增强二氧化硅陶瓷材料,它具有耐高温、透波性好,能抗激光辐射等特点<sup>[16]</sup>。用氧化铝陶瓷作为

射频天线整流罩的结构材料,当基体材料采用硼硅酸盐玻璃时,使用温度可达 600℃,当基体改用低膨胀的 SiO<sub>2</sub> 时,使用温度可高达 1100℃。

采用上述反光、烧蚀、隔热等加固防护层来提高导弹壳体的耐高温性能,可以在一定程度上对抗强激光的持续辐照,从而保护导弹。

### 3.4 导弹光电器件的防护

光电传感器容易受到高能激光的攻击,为了进一步提高光电器件的抗激光能力,国外加紧研究光学和光电监视、探测、制导传感器的防激光加固和对抗措施。为保证光电系统对目标的正常跟踪,既可在光电探测系统中冗余设计探测器,又可采用新材料来加固易受攻击的导引头整流罩与光电传感器。美国正在研究的金刚石薄膜具有极坚硬、透明的特点和良好的红外与紫外特性,抗激光损伤阈值极高。Old Dominion 大学, Crysta Dume 公司研究人员曾用 Nd:YAG 激光(脉宽 20ns)测试了多晶金刚石薄膜和硅衬底的损伤阈值:532nm 和 1064nm 激光辐照未镀膜硅片的破坏阈值分别为 2.15J/cm<sup>2</sup> 和 5.31J/cm<sup>2</sup>,辐照镀金刚石膜的损伤阈值提高至 3.65J/cm<sup>2</sup> 和 7.44J/cm<sup>2</sup>。

光电传感器的激光防护膜可分为波长防护型和光强防护型:①波长防护型薄膜是利用线性光学或传统光学原理以及全息光学原理设计的激光防护薄膜,可实现光电传感器的抗激光致盲。激光滤光片主要用于导引头等光电器材,既可保护光电器材不被激光损伤,同时又不影响正常的观察与导引。②光强防护型薄膜是利用非线性或热致变色等原理来实现对强激光的防护,可以用 C<sub>60</sub> 的光强非线性制成光限幅器(原理如图4所示)<sup>[17]</sup>,也可用氧化钒薄膜的热致相变特点来对抗激光辐照,还可选用光致变色涂料、纳米材料等激光防护材料。这些措施将会不同程度地提高光电器件抗激光辐照能力。

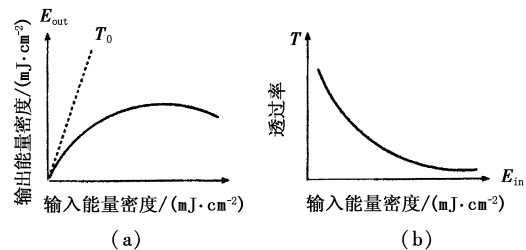


图4 光限幅器原理示意图

## 4 结论

强激光武器不仅能破坏导弹的光电系统,损坏壳体,还可能引爆燃料/炸药。旋转导弹、超高音速导弹、反光/隔热护层、光电器件防护技术等反激光措施将有助于提高导弹的突防能力。如何对抗导弹

的反激光措施,实现“强化辐照,加速损伤”将会成为强激光武器的一个重要研究发展主题。

#### 参考文献:

- [1] Glen P Perram, Michael A Marciniak. High energy laser weapons: technology overview [J]. SPIE, 2004 (5414): 1-25.
- [2] Steven E Lamberson. The Airborne Laser [J]. SPIE (4632): 1-9.
- [3] 任国光. 导弹防御计划的调整与机载激光未来的发展 [J]. 激光技术, 2005, 29(1): 1-4.
- [4] 李清源. 美国定向能激光武器的发展及其对弹道导弹的威胁 [J]. 导弹与航天运载技术, 2000, 244(2): 44-53.
- [5] 刘淑英, 邵元培, 计世藩. 用战术激光武器反巡航导弹 [J]. 现代防御技术, 2001, 29(1): 8-12.
- [6] K N Lafortune. Technical challenges for the future of high energy lasers [J]. SPIE, 2007(6454): 1-11.
- [7] 李清源. 连续波激光对弹道导弹的毁伤效应 [J]. 强度与环境, 2005, 32(2): 29-32.
- [8] Robert W Bandstra. Stability of spinning ICBM in first stage boost phase [C]//AD-A164019, 1985.
- [9] 谷立祥. 美国助推段激光拦截技术及对抗措施 [J]. 导弹与航天运载技术, 2003(2): 25-28.
- [10] 李勇, 汪民乐. 高能激光武器对弹道导弹毁伤能力研究 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(5): 588-592.
- [11] B A Smith, R Wall. AW & ST [M]., 2000, 12: 33.
- [12] 计世藩. 导弹的抗激光加固 [J]. 导弹与航天运载技术, 1996, 223(5): 34-42.
- [13] 徐惠忠. 高能激光武器的毁伤机理及飞行器防御途径分析 [J]. 中国航天, 2004(9): 34-36.
- [14] Frut G. Mistral missile propulsion system [C]//AIAA89-2425.
- [15] 田济民. 导弹及固体火箭的外防护材料 [J]. 固体火箭技术, 1998, 21(3): 53-57.
- [16] 王向晖, 杨树谦. 激光武器及飞航导弹的防护技术 [J]. 航天电子对抗, 2006, 22(5): 8-12.
- [17] 常青, 叶红安. 光限幅材料与激光防护 [J]. 黑龙江大学学报自然科学学报, 2002, 19(4): 70-72.

## 中国光协 LCD 分会在宜昌开会

2008年9月19日,中国光学光电子行业协会液晶分会第三届第八次常务理事会在宜昌召开,会议由液晶分会秘书长李曙新主持,参会者主要有工业和信息化部电子信息司电子基础处处长彭红兵,中国光学光电子行业协会副理事长杨定江,中国光学光电子行业协会副理事长、液晶分会理事长刘瑞林,以及液晶分会常务理事单位代表30多人。会议主要就上一届理事会的工作进行总结,进行产业发展研讨并商讨液晶分会换届的准备筹划工作。

会议首先由液晶分会刘瑞林理事长介绍工作情况,然后由李曙新秘书长做年度工作总结,通报了分会章程的情况和今年3月的平板显示学术会议情况,以及今年以来液晶分会的主要活动、工作。截止目前液晶分会已经有153家会员单位,基本涵盖国内液晶产业的上游和中下游。高鸿锦老师对液晶行业2007年度整体概况进行了分析和介绍。据统计,全行业从业人员达到8万多人,产值约367亿元,高老师还就产业年鉴提出了新设想,计划出版平板显示产业年鉴,内容涵盖产业报告、各省市平板显示产业状况、专家论文、政策汇编、企业名录、大事记等,并征求常务理事会的意见。杨定江副理事长表达了总会对液晶分会换届工作的重视,并提出要综合业务主管部门、总会章程、分会章程以及广大会员单位的意愿来考虑换届事宜。

京东方副总裁董友梅女士以合作创造价值的理念对 TFT-LCD 产业市场进行了报告,指出 TFT-LCD 产业形成不到30年时间,但是2007年,全球 TFT-LCD 产业产值已经达到909亿美元,2008年将会成为继半导体之后第二个超千亿美元产业。李曙新秘书长就中小尺寸 LCD 的发展概况进行了报告,指出 AM-OLED 是最有可能与 TFT 竞争的新技术,但是现在主要原因是价格太高。此外,AKT 公司的孙胜先生就 TFT 全球产业进行了报告。

在研讨中,各个常务理事单位代表踊跃发言,就国内外平板显示新形势进行了热烈的讨论,针对国外平板显示企业和纵连横,形成横向产业联盟的状况,讨论国内的平板显示企业该如何发展、如何联合,液晶分会前秘书长孙政民先生表示了对国内 TFT 产业,合肥、成都、深圳、北京、上海、昆山等,遍地开花的情况的担忧。工业和信息化部电子信息司电子基础处处长彭红兵先生就国家对 TFT, OLED, PDP 方面的政策以及规划等进行了分析,并表示政府对于中国光学光电子行业协会液晶分会工作以及换届的重视,希望协会和政府能够紧密配合,共同推进我国平板显示产业的发展。

本次会议得到了深圳南玻公司的鼎力支持,会后代表们还参观了南玻公司在建的电子级多晶硅生产线,南玻公司近年积极转型,业务向光伏产业发展延伸,在宜昌市政府的配合下,该公司在宜昌开发区投资数十亿元建设电子级多晶硅生产线。南玻公司还派出多名宜昌分公司的工作人员配合会务工作。

(中国光协供稿)