

## 软杀伤战术激光武器及作用机理的研究

关效贤, 朴贤卿, 孙 晶, 王英伟, 朱忠立, 刘景和

(长春理工大学 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘 要:**光电对抗技术是随着光电技术在军事领域中的广泛应用应运而生的一门崭新学科,而软杀伤激光武器是其中的重要组成部分。软杀伤激光武器作为光电对抗的一种重要手段,在高技术战争中发挥着重要作用,它是以干扰破坏敌方光电系统或致盲、半致盲敌方人员为目的的激光武器,论述了软杀伤武器的作用机理及未来的发展方向。

**关键词:**光电对抗; 软杀伤; 激光武器

**中图分类号:** TJ95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0118-03

## Research on soft-killing tactical laser weapon and its mechanism

GUAN Xiao-xian, PIAO Xian-qing, SUN Jing, WANG Ying-wei, ZHU Zhong-li, LIU Jing-he

(Material Department, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** Photoelectrical countermeasure is a new branch of photoelectrical technology with the extensive application in the military field, and soft-killing weapon plays an important role in this orientation, especially in the high technology war. The soft-killing weapon aims at destroying the photoelectrical system and blinding or half-blinding the enemy. The mechanism and prospect of the soft-killing weapon are presented.

**Key words:** Photoelectrical countermeasures; Soft-killing; Laser weapon

### 0 引 言

激光技术在应用于军用仪器的同时,也直接作为军用武器在发展。激光武器是一种定向能武器,它具有传输速度快、命中精度高、火力转移迅速、抗电磁干扰能力强等特点,与传统的制导武器比较,在工作原理、杀伤破坏机制以及作战方式等方面有显著的差异<sup>[1]</sup>。目前,激光武器大致可以分为低功率激光武器、

战术高能激光武器、机载激光武器以及战略激光武器。国外低功率的激光武器已经投入使用,主要用于暂时致盲人眼或干扰、破坏光电传感器<sup>[2]</sup>。20世纪60年代以来,美、俄、德、法等国研制出了各种类型的激光武器系统,证实了研制软杀伤激光武器的可行性<sup>[3]</sup>,海湾战争以后,我国也开展了软杀伤激光武器的基础技术研究并取得了突破性的进展,为整机研制奠定了基础。

收稿日期:2003-05-28; 修订日期:2003-08-17

作者简介:关效贤(1944-),男,辽宁沈阳人,教授,主要从事激光材料方面的研究工作。

## 1 软杀伤激光武器的作用目标

软杀伤激光武器可使入侵导弹的光敏传感器损坏、失效;也用于光电侦察、搜索、火控和制导装置,例如观瞄镜、夜视仪、测距仪、光雷达中的光电传感器及其他易损伤部件及致盲、半致盲上述操作手的眼睛;通过诱导、欺骗敌方制导系统,使入侵武器偏离真正目标。

## 2 软杀伤激光武器的作用机理

激光武器杀伤作用的实现主要分为以下几个步骤:搜索→定位→攻击。就搜索来说,目前一种广泛使用的技术为主动搜索技术,该技术是使软杀伤激光武器精确瞄准,使高效率激光能进入敌方侦察仪器的关键部位。该技术主要利用“猫眼效应”。在漆黑的夜晚,能看到猫的亮眼,猫眼之所以特别亮,是因为来自某一方向的光进入猫眼之后,经眼底的反射,使光沿原路返回。这个利用“猫眼效应”进行定位的装置,可用两步傅里叶变换证明入射光精确地反方向返回,实质上就是一种结构简单的激光雷达。同样道理,采用低能激光脉冲扫描敌方阵地,当遇到敌军光学仪器窗口时,反射增强,从而能精确确定敌军仪器的方位,然后再用高效率激光进行攻击。

### 2.1 对光电传感器的破坏机理

光电探测器材料对光的吸收能力一般比较强,如果激光的输出能量足够高,入射到探测器上的光辐射能量大部分被吸收,导致探测器温度上升,造成不可逆热破坏,如:热分解、破裂、熔化、汽化等。所以必须在瞬间输出强激光。

从理论与实验分析得知,毁坏光电传感器所需的最低激光照射量,在短脉冲时为每平方厘米数焦耳,长脉冲时为每平方厘米数十焦耳。在此照射量下,光电传感器完全崩溃,估计摧毁光电传感器的最低照射量  $E_0$  为:

$$E_0 = \frac{dc\Delta T}{(1-R)A} \quad (1)$$

式中  $d$  为光电传感器密度; $c$  为比热容; $R$  为反射率; $A$  为吸收率; $\Delta T$  为导致光电传感器融化所需的温度。

由于脉宽  $t$  的影响实际所需要的能量  $E$  为:

$$E = E_0 + E_0 \frac{DtA\sqrt{\pi}}{a\arctg^{-1}\sqrt{4D/a^2}} \quad (2)$$

式中  $D$  为热传导系数; $a$  为照射到光电传感器上时光束的半径。当  $D \rightarrow \infty$  和脉宽  $t \rightarrow \infty$  的情况下,  $E \approx E_0$ 。

根据公式(1)和(2),可以估算出摧毁光电传感器时激光器所具备的能量条件。

从作战距离角度估计:被致盲仪器接收光学系统一般由透镜组成,其接收口径为  $D$ ,焦距为  $f$ ,光敏元件置于焦平面上。设软杀伤激光武器吸引发射的巨脉冲能量为  $Q$  (10~30 ns),光束束散为  $\Phi$  (0.5~1 mrad),与被致盲仪器相距  $L$  时,被致盲仪器焦平面上能量密度可近似表示为:

$$M = \frac{QD^4\eta_D}{4.68(L\lambda f\Phi)^2}e^{-\alpha L} \quad \text{或} \quad M = \frac{QD^4\eta_D}{4.68(L\lambda f\Phi)^2}e^{-2.7L/V} \quad (3)$$

式中  $D$  为仪器接收口径; $f$  为仪器接收透镜焦距; $\lambda$  为激光波长(固体激光器  $\lambda$  多为 1.06 和 0.53  $\mu\text{m}$ ); $\eta_D$  为接收系统光学透过率; $V$  为能见度; $\alpha$  为大气衰减系数(对于 1.06  $\mu\text{m}$  波长,  $\alpha = 2.7/V$ )。

据测试, HgCdTe、PbS、InSb 等光电探测器的破坏阈值为  $10^2 \sim 10^4 \text{ W/cm}^2$  (0.1 s 的照射时间),而光学玻璃在  $3 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$  的照度下,0.1 s 就可以完全融化,所以摧毁一般的光电探测元件所需的最低光照剂量,在调  $Q$  脉冲时为  $10 \text{ J/cm}^2$ 。如果取  $Q = 2 \text{ J}$ ,  $D = 4 \text{ cm}$ ,  $\eta_D = 60\%$ ,  $\Phi = 1 \text{ mrad}$ ,  $f = 5 \text{ cm}$ ,  $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ ,  $V = 8 \text{ km}$ ,则当  $L = 6 \text{ km}$  时,按上式可计算出焦平面上的能量密度  $M = 85 \text{ J/cm}^2 > 10 \text{ J/cm}^2$ 。这说明根据理论预算,软杀伤激光武器对光电仪器的作用距离将在 6 km 左右。

### 2.2 致盲机理

激光对人眼的伤害主要发生在视网膜和角膜上,人的眼睛是一个精密的光学系统,光学增益高达  $10^5$  倍左右,透过率曲线如图 1 所示。

从图 1 中可知人眼光学系统对 0.53  $\mu\text{m}$  光的透过率达到 88% 左右,而波长大于 1.2  $\mu\text{m}$  的光透过率极低。对视网膜的伤害还与视网膜对光的吸收有关,吸收系数越大视网膜损伤也越大。所以,视网膜受损程度是由眼睛的光学透过率与视网膜吸收系数的乘

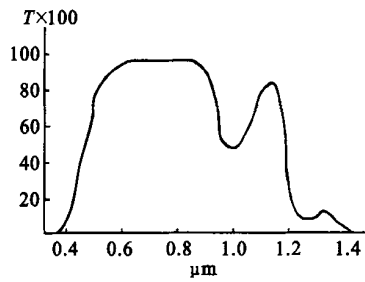


图 1 人眼光学系统的透过率与波长的关系

Fig. 1 Variation of the absorption of eyes optical system with wavelength

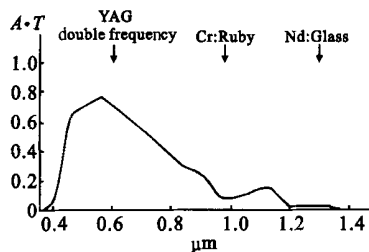


图 2 视网膜有效吸收率与波长的关系

Fig. 2 Variation of the effective absorption of retina with wavelength

积,即视网膜的有效吸收率来决定的。图 2 为视网膜的有效吸收率  $T$  与光波波长之间的关系。从中可以看出, YAG 倍频的  $0.53 \mu\text{m}$  光和  $0.69 \mu\text{m}$  红宝石激光的对应  $T$  值分别为 65% 和 54%, 由于眼睛的血红蛋白的吸收峰为  $0.542 \sim 0.576 \mu\text{m}$ , 所以  $0.53 \mu\text{m}$  的激光对视网膜的损伤最为严重。

对于中远红外激光, 能量主要被角膜吸收, 所以会造成角膜部位的损伤或者晶状体浑浊。对人眼的损伤程度和部位主要受激光波长、激光强度、激光入射角度、人与光源距离等主要因素的影响, 其中对人眼损伤的距离计算尤为重要, 可按以下方法进行。在忽略大气衰减的情况下, 人眼损伤的标准距离为:

$$NOHD_v = \frac{1}{\Phi} \left( \sqrt{\frac{1.27Q}{EL}} - a \right) \quad (4)$$

式中  $EL$  为平行光束人眼照射限制;  $a$  为激光器出射光束直径。在一般情况下有:

$$\sqrt{\frac{1.27Q}{EL}} \gg a$$

所以: 
$$NOHD \approx \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{1.27Q}{EL}} \quad (5)$$

按照国际军事标准 GB-470 规定,  $0.53 \mu\text{m}$  和  $1.06 \mu\text{m}$  激光的人眼损伤阈值分别为  $5.0 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$  和  $5.0 \times 10^{-2} \text{ J/m}^2$ 。若激光器为 Nd:YAG 激光器,  $\lambda$  为  $1.06 \mu\text{m}$ ,  $Q = 2 \text{ J}$ ,  $\Phi = 0.5 \text{ mrad}$ ,  $EL = 5.0 \times 10^{-2} \text{ J/m}^2$ , 代入公式 (5) 得:

$$NOHD \approx 14.25 \text{ km} \quad (6)$$

经大气衰减校正后, 人眼损伤的标准距离为:  $NOHD = 11 \text{ km}$ 。

根据以上计算可知, 一个脉冲能量为 2 J、脉宽为 25 ns、发射角为 0.5 mrad 的软杀伤激光武器, 能够软破坏 6 km 以内的光电仪器, 损伤 11 km 以内的敌方操纵手或飞行员的眼睛。如果对方人员与火控系统在这些仪器的杀伤范围之内, 则客观上可致盲对方操作手或使火控系统失灵, 从而使对方丧失最佳战机。对光电制导武器来说, 则可能丧失制导精度, 甚至丧失战斗力。

另外, 软杀伤激光武器的发射角多为  $0.5 \sim 1 \text{ mrad}$ 。这说明在 5 km 处激光光斑直径为  $2.5 \sim 5 \text{ m}$ , 因此对横截面积较小的战斗机、导弹和一般光电设备, 在跟踪精度高的情况下, 激光束完全能覆盖目标。如果目标横截面积较大, 则可通过激光束扫描来覆盖整个目标。

### 3 软杀伤激光武器的发展前景

美国空军在《21 世纪空中与空间力量展望》中提出了着眼于未来发展的采用创新技术的节能型第二代高能激光武器。其中创新技术包括: 大而轻的薄膜光学系统; 高功率短波长固体激光器; 高平均功率相位共轭技术, 用于对光程畸变进行补偿并产生近衍射限光束; 采用光阀或微机电的自适应光学系统; 用于光束成形与控制的二极管激光器调相阵列。而作为小型、中等功率、高质量激光器计划还包括激光器的热容量运行和非制冷光学系统等。

第二代激光武器将采用波长更短的新一代激光器, 使所需的杀伤能量及激光功率减小到普通型的  $1/25 \sim 1/50$ , 从而获得更高的能量效率。表 1 列出了传统型和节能型激光武器之间的差别<sup>[4]</sup>。

(下转第 132 页)

## 4 与声光调 Q 的对比

目前在 DPL 中广泛使用声光调 Q 技术,被动调 Q 技术在国内尚处于起步阶段,这里将两者加以对比。利用声光调 Q 技术<sup>[6]</sup>,用 15 W 泵浦得到峰值功率 25 kW、脉宽 8 ns、重复率 10 kHz 的脉冲序列。在 10 W 泵浦时,通过选取腔参数,数值计算了 Cr<sup>4+</sup>:YAG 的调 Q 过程,获得峰值功率为 31.4 kW、脉宽 8 ns、重复率 13.3 kHz 的脉冲序列。由此可见,利用 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 也可以获得同声光调 Q 相似的结果。

## 5 总结

从图 4~图 6 可以看出:在大功率(60 W)泵浦和高重频时比较容易产生高功率,窄脉宽的脉冲序列。初始透过率的微小变化对脉冲序列的输出特性的影响很小,有利于保持脉冲的稳定。虽然被动调 Q

技术也存在诸如晶体材料成本过高、工艺复杂、输出脉冲重复性较差等问题,但应用前景还是十分光明的。

### 参考文献:

- [1] 兰信钜,黄国标,姚建铨,等.激光技术[M].长沙:湖南科学技术出版社,1981.103-105.
- [2] 欧阳斌,丁彦华,万小珂,等.Cr<sup>4+</sup>:YAG 的可饱和吸收特性与被动调 Q 开关性能研究[J].光学学报,1996,16(12):1665-1670.
- [3] 黄朝红,殷绍唐.新型 Q 开关材料 Cr<sup>4+</sup>:YAG 的研究概况[J].量子电子学报,2001,18(4):289-292.
- [4] 周炳琨,高以智,陈家骅,等.激光原理[M].北京:国防工业出版社,1995.108-115.
- [5] 张行愚,赵圣之,王青圃,等.Cr<sup>4+</sup>:YAG 调 Q 特性的理论和实验研究[J].光学学报,1998,18(9):1180-1185.
- [6] 王石语,过振,文建国,等.连续激光二极管泵浦的调 Q 高重复频率 Nd:YAG 激光器[J].光学学报,2000,20(11):1467-1472.
- [7] 李兵斌.连续激光二极管泵浦固体激光器窄脉宽调 Q 技术研究[D].西安:西安电子科技大学技术物理学院,2001.

(上接第 120 页)

表 1 传统型与节能型激光武器的差别

Tab. 1 The difference between traditional and economical laser weapon

	Current type	Economical type
Diameter on the aim	10~20 cm	1~5 cm
Density of light power	3~7 kW/cm <sup>2</sup>	10~20 kW/cm <sup>2</sup>
Laser density of injury	5~10 kJ/cm <sup>2</sup>	10~20 kJ/cm <sup>2</sup>
Effective span	0.7~1.5 s	0.7~1 s
Energy of injury	0.5~2 MJ	20~40 kJ
Power of laser	0.5~1.5 MW	20~40 kW
Effective distance	4~6 km	1~2 km
Laser intensity	(1~1.5) ×10 <sup>15</sup> W/sr	(2~4) ×10 <sup>14</sup> W/sr
Wavelength	3.8 或 10.6 μm	1.06 μm
Diameter of light location instrument	35~45 或 80~120 cm	15~20 cm
Quality of laser beam	2~3 times diffraction limit	1.1~1.3 times diffraction limit
Track fluctuation	5~8 μrad	2~4 μrad

随着软杀伤激光武器的进一步研究开发,相应的激光防护技术也应运而生,目前国外的双光子吸收、反饱和吸收、相变吸收等具有非线性吸收功能的材料已广泛应用于可见光以及近红外波段的激光防护,“矛”与“盾”的竞争将愈演愈烈。

### 参考文献:

- [1] 王戎瑞.美国机载激光武器发展现状[J].激光与红外,1999,29(4):195-198.
- [2] 余辉,谭胜.高能激光武器的发展和应用前景[J].红外与激光工程,2002,31(3):267-271.
- [3] 王子滨,李辉.美国战术反导和战术防空激光武器的发展[J].红外与激光工程,1996,25(2):8-13.
- [4] 任国光,黄裕年.美国高能激光武器的发展战略(上)[J].激光技术,2001,25(4):241-245.