

美国非致命电传导失能武器发展现状

张平雷, 雷亚贵, 张冬燕, 王戎瑞
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:非致命电传导失能武器是声光电定向能非致命武器的重要成员。远距离导电技术是电非致命武器的关键。用紫外激光电离空气产生导电通道是远程传导电流的一种有效方法。通过调制高频或射频电流可以分别对人或电子设备失能。首先介绍电传导非致命武器的组成及其非致命机理,而后介绍激光等离子体通道的产生以及安全问题。

关键词:非致命武器;激光等离子体通道;激光致僵武器;车辆失能武器

中图分类号:TJ99

文献标识码:A

State-of-art on development of America electric conductive disable weapons

ZHANG Ping-lei, LEI Ya-gui, ZHANG Dong-yan, WANG Rong-rui
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The non-lethal electric conductive disabling weapon is a member of acoustic, optic and electric direction energy non-lethal weapons. Its key is the long-range electric conduction technology. The ionized air channel formed by UV laser is an effective method for long-range current conduction. The modulated high frequency or RF current is used for non-lethal man disabling or electronic equipments disabling. In the paper, it is first introduced the composition and mechanism of non-lethal electric conductive disabling weapon, and then the generation of plasma channel, as well as safety.

Key words: non-lethal weapon; laser plasma channel; laser tetanizing weapon; vehicle disable weapon

1 引言

非致命电传导失能武器是声光电定向能非致命武器的重要成员,如我们熟知的警方人员使用的电警棍就是一种电晕武器,它以万伏高压电脉冲攻击目标。远距离的导电技术是电晕武器的关键,先后研制了多种导电方式,最具有代表性的是弹丸飞镖、液态合金束流和电介质液体束流等传导方式,进而出现了弹丸飞镖电晕枪(泰瑟枪, Taser)、液态合金束流电晕枪和电介质液体束流电晕枪。这些非致命电晕武器普遍存在作用距离短和数万伏高压电对生物目标存在生命危险等不足。

所谓的激光致僵武器是高功率激光产生电离空气通道与电晕武器相结合的产物。高功率电离空气通道是导电载体,高频、射频或毫米波失能电流才是

真正使目标(人或车辆)失能的“弹药”。其创新点起于对人脑控制肌肉内活动的神经电脉冲的模拟,通过高频电流作用于生物体使之不知不觉完全无痛苦的致僵,对目标不存在任何生命危险,其作用距离可以达到数百米,而在理论上可达2 km。其难点是对远距离可靠导电等离子体通道产生以及对控制肌肉活动的神经电脉冲的模拟。目前,激光致僵武器尚处于初期研制和应用阶段。在此基础上,采用射频脉冲拒止车辆技术得到了发展,它以传导射频电流方式通过汽车接缝使发动机控制器失灵而使车辆停止,而一旦停止照射,发动机就能立刻重新启动。

作者简介:张平雷(1961-),男,高级工程师,工程硕士,现从事信息管理工作。

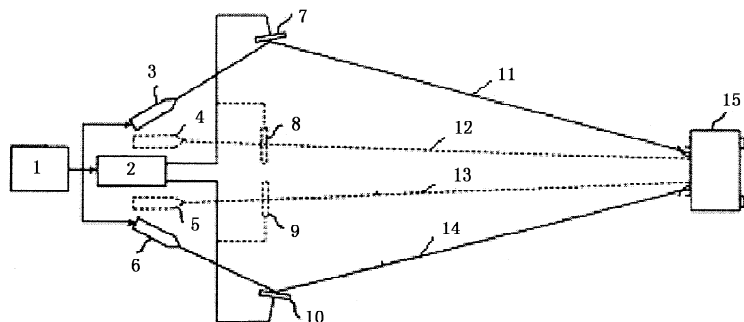
收稿日期:2010-06-19

目前,美国 HSV 技术公司正在开发这两种非致命武器。该公司是专门开发非致命武器的公司,据称该公司的非致命致僵武器已在加利福尼亚大学成功地进行了原理性试验。该技术的改进型已进入工程开发和制造阶段,可以使车辆电子点火线路失灵,据称用一个 500 ms 的脉冲足以使引擎毁坏。如何进一步增大作用距离同时缩小体积质量是面临的首要技术难题,小型化和远作用距离是主要发展方向。近年来,许多科技人员还在尝试

用飞秒级超短激光脉冲产生导电通道,并采用后续长脉冲激光延长导电通道寿命,从而开发激光引雷闪电棒系统,用于保护机场、导弹发射场等地面重要设施。

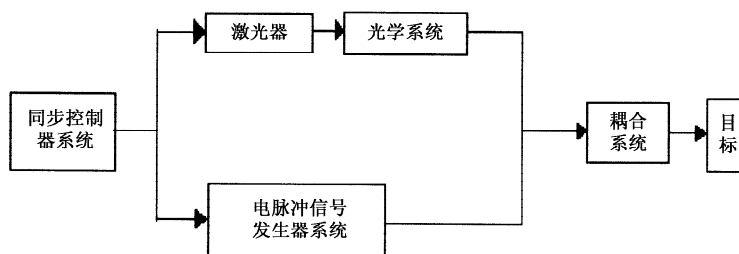
2 激光致僵武器组成和工作过程^[1-2]

图 1 所示是激光致僵武器的结构和工作过程示意图,主要有激光器、电脉冲信号发生器、光学系统、耦合电极系统(一般为反射镜接地),同步控制器、目标(人或车辆)和目标瞄准系统组成。



1 - 同步控制器;2 - 电脉冲信号发生器;3,4,5,6 - 脉冲激光器;7,8,9,10 - 反射镜;11,12,13,14 - 激光束;15 - 目标

(a) 双脉冲激光器传输示意图



(b) 单脉冲激光器传输的方框图

图 1 脉冲激光器传输示意图

其工作原理是:激光器系统输出脉冲紫外光,激光经过光学系统整形后,用雷达或可见光或红外瞄准具瞄准目标,并与在其中的空气作用形成等离子体电离通道,同时由电脉冲信号发生系统产生所需要的电脉冲在同步控制器的协调下,通过耦合电极系统将电脉冲耦合进电离空气通道,经传输后作用于目标,使目标“致僵”。从作用原理来看,非致命激光致僵武器具有电效应和生物效应,既能对生物体致僵,又能使电子设备失效。

3 激光致僵机理^[1-2]

3.1 使生物体致僵

所谓使生物体致僵,就是要电脉冲信号发生器准确地复制控制骨骼肌肉的神经电脉冲,但重复频率高,足以引起强直性痉挛,即刺激肌肉纤维的频率能将许多单次收缩合并成一次持续反应,其作用效果是被击中者周身肌肉神经不知不觉无痛苦抽搐、

痉挛,直至僵硬丧失活动能力,进而束手就擒,而被击中者的心脏隔膜等重要器官受较厚肌肉组织的保护不会受伤害,且高功率紫外激光对人眼和皮肤不构成永久性伤害。

紫外激光致僵武器的技术参数如下:①激光的重复频率 200 Hz;②致僵脉冲电流波形为生理学神经电脉冲波形,其次是方波或正弦波;③致僵脉冲电流重复频率为 100 Hz;④致僵脉冲电流约为 20 mA;⑤致僵电压幅度约为 600 V。

据报导,紫外激光致僵枪首次实战应用是美国田纳西州警方缉捕绑架人质的罪犯,用激光致僵枪攻击罪犯手中伸出窗外的自动步枪的枪管,使罪犯“僵直”倒地而成功解救人质。

3.2 破坏电子设备

激光致僵武器通过激光电离空气通道发射射频高压电脉冲,可以对任何种类电子线路或芯片进

行击穿毁坏,使目标失能。美国 HSV 技术公司研制的机动车辆“致僵”武器就是利用紫外激光在空气中电离形成导电通道,向目标发射射频高压电脉冲,射频高压电脉冲可穿透机动车辆外壳的接缝,造成内部电子仪器高压击穿使之瞬时失能而停车,一旦关掉电源,就可以使发动机重新启动。

HSV 技术公司的车辆拒止系统(VDW)是用 $300\ \mu\text{s}$ 射频电流脉冲,电流频率可以从 20 MHz 至 200 MHz 可变,最好约为 100 MHz。所用的射频能量为 10 W,其电场强度为 $100\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$,被传导到目标汽车上,因为能量靠传导而不是辐射传输,输入 10 W 射频功率所需要的总功率远远低于产生 $10\ \text{W}/\text{cm}^2$ 平面波的总功率。射频电流因为波长短,很容易穿透汽车中接缝,而且有效地耦合到汽车中电子设备的电缆中,因为波长与电缆长度相似。

4 激光致僵武器的优点和局限性^[1]

下面就以 HSV 技术公司开发的 VDW 系统为例介绍其优点和局限性。

4.1 优点

(1)VDW 是利用电能使现代汽车内部发动机失能装置。在评估的若干方法中,美国非致命防御技术局最后报告推荐,直接注入射频电流是拒止车辆的最好方法,因为对目标可以获得可修复的损伤,而且每次都能有效工作。

(2)VDW 有远程能力,从理论上可达 2 km 距离,超过了其他非致命武器的距离。所以警官或士兵使用 VDW 远离危险目标,较安全,VDW 在隐蔽的位置上使用,使操作手得到进一步保护。这种距离随着更强的激光器发射而得到延长。

(3)VDW 可以使群目标中一个失能,而不影响其他目标,或者扫描大量的目标,使它们都失能。

(4)VDW 很容易定向。可以用雷达控制伺服机构或用可见光或红外同轴光手工瞄准。

(5)因为 VDW 使用简单,不会明显影响操作手控制自己车辆的能力。

(6)VDW 注入单个电磁脉冲总功率很小,因为能量是靠传导而不是靠辐射传输的。

(7)VDW 是一种具有技术成熟的部件构成的装置,无需进行技术突破就能在短时间内产生成果。

4.2 局限性

(1)VDW 最大的局限性甚至不能实际使用主要原因是,在大雨中不起作用。另外,在小雨和浓雾中作用距离就缩短到几米。这是因为短波紫外辐射受到水和水蒸气的强烈吸收,例如,在相对湿度

50% 下,193 nm 的吸收截面积为 $3 \times 10^{-4}\ \text{cm}^{-2}$,为 O_2 的 3 倍。然而,可以用例如同轴红外光束加热效应在雨或雾中产生较透明的光通道,降低紫外光束水蒸气吸收。

(2)因为射频辐射与自己所用的电子仪器设备产生耦合,因此这些设备和电缆必须进行射频屏蔽。

(3)VDW 目前不是便携式的。把笨重的紫外激光器和射频信息发生器组合起来,其尺寸如大手提箱大小。然而,随着技术的发展和用户需求越来越多,其尺寸和质量会有一定程度的减小。

5 VDW 开发现状^[3-6]

5.1 前期论证工作

5.1.1 射频感应损伤效果的验证

业已多次演示射频能量损伤汽车内部发动机控制电路。有几次演示用军用射频信号源通过空气发射。发现从大的圆盘天线发射的宽带(70 ~ 1500 MHz)强脉冲串能量使汽车的微处理器失能。然而,射束发散角为 30° 。这就允许它快速发散,可能与其他设备发生干扰。1999 年据 Grove 等人报道,典型的试验使车辆动力下降或停止转动,但一旦车辆失去照射后就重新工作。

业已证明,向电动汽车定向注入射频脉冲能量,是拒止它们的最有效方法。美国 Pennsylvania 大学应用物理实验室进行了一系列的试验,用导线把 250 ~ 500 kHz 射频能量导入若干类型民用和军用汽车中。在这些试验中,300 μs 射频电流脉冲在低至 0.5 W 功率下就能使大多数电子系统损伤。电场强度约 $50\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 就能使大多数电子系统损伤,强度达到 $100\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 就能破坏它们。最通常诱发的故障是空气流量传感器和曲轴位置传感器。这些单元的损坏会使车辆造成永久性失能。更高频率的电流更有效,因为更容易穿透车体接缝,因此更容易达到用其他方法屏蔽的微处理器连接电缆。另外,更高的频率更接近与电缆长度匹配,从而把更多的能量耦合到它们之中。

5.1.2 空气电离通道形成的研究

20 世纪 90 年代发现远紫外辐射能通过大气电离形成电通道,而用电离空气传输电流是最关心的中心议题之一。1993 年演示了这种电离传输可达 100 ft 远。

早在 20 世纪 20 年代初就证明了这种电离空气传输电流的可能性。1924 年英国 Harry Grindell-Matthews 重复演示了通过电离空气传输电流。据当时新闻报道,他用电离空气通道传输电流,使得相距

半英里处的机电设备损坏。他采用的是多电弧即二次世界大战期间所采用的探照灯典型电弧产生紫外辐射。

目前,激光器是最有效的小型紫外辐射源。各种紫外激光器已用来电离空气传导电流。其中有:四倍频 Nd:YAG 激光器,发射波长为 266 nm;二倍频染料激光器,发射波长为 230 nm;氟化氙准分子激光器,发射波长为 248 nm;氟化氙准分子激光器,发射波长为 193 nm。

当电源和目标都是接地时,可以通过电离空气把电流传送到目标上,而当它们不接地时,就要用双激光器产生双通道,而双通道可以是彼此分开,或同中心,其中一个在另一个内部。它们由远紫外波长激光束多光子电离氧分子(O_2)产生。在光束内沿着富电子空气通过目标产生电传导回路。电流从一束光源附近电极(一般为反射镜接地)通过在光束内电离空气通道而后流过目标沿着第二光束中导电通道返回。电流通过车辆电路的连线和导电金属结构到达和损坏它。

通过电离空气通道传导的电流受到通道自由电子密度的限制。气体通道能承载穿透汽车和车体所需要的最低 10 W 功率(电流),需要自由电子密度为 10^8 cm^{-3} 。用波长 193 nm 附近紫外辐射光子电离空气中 O_2 ,能有效地获得这样高的自由电子密度。

在此紫外波长下 O_2 的双光子电离截面为 $1 \times 10^{-34} \text{ cm}^4 \text{ W}$ 。因为低的电离阈值,它的电离所需要的光子数和大气中 O_2 比例大,就能很容易产生足够的自由电子密度。目前能得到最有效的 193 nm 远紫外源是氟化氙准分子激光器。对这种激光器合理的能量密度为 $5 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$,脉宽为 10 ns,脉冲重复频率为 200 pps。另外,可以采用更高能量密度的 248 nm 波长氟化氙准分子激光器。因为这种激光器波长较长, O_2 不容易吸收,因此可以产生更长的电离空气通道。

根据光电离截面计算自由电子产生率表明,氟化氙准分子激光器通常脉宽为 10 ns,一般发射波长 193 nm 远紫外激光,能量强度为 10 mJ cm^{-2} 。这相当于光子通量 1 MW cm^{-2} 。因此每个脉冲期间就能释放出 $6.3 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ 自由电子密度,这相当于 $6.3 \times 10^{14} \text{ 电子 cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。因为所需要的自由电子密度在 $10^6 \sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$ 之间,上述的量是低的,但足够。如果能量密度增加到 $50 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($5 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$),每个激光脉冲期间会产生 $1.6 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$ 自由电子

密度,这肯定是足够了。当用 248 nm 远紫外时,功率必须达到约 $100 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$,以产生足够的自由电子密度。如果利用这样的光束强度,每个脉冲期间就能释放出的自由电子密度为 $3.6 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 。

电离空气通道长度与用来产生电离空气通道的激光功率密度成正比,而与它的波长成反比。例如,波长 193 nm 紫外辐射电离大气中氧速度比波长 248 nm 辐射快得多。因此,193 nm 波长激光产生较高的电离空气通道的电导,但所产生的通道较短。反之,只有 248 nm 波长激光在高得多的功率密度下会产生长得多的电离空气导电通道。

在干燥的空气中,强度衰减到初始值的 e^{-1} ($1/2.7$)之前,193 nm 波长激光产生的导电通道会传播 100 m,而 248 nm 波长激光会传播 2 km。对于 193 nm 波长激光功率 $5 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 光束,激光孔径处的电子密度为 $1.6 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$,在 100 m 处为 $2.2 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 。对于波长 248 nm 波长激光束的值是成比例的。在这两种情况中,电离大气通道中自由电子密度对于分别 100 m 和 2 km 距离上传导电电流是足够的。

5.1.3 安全性

VDW 主要优点是固有的安全性。据有关人眼紫外辐射危害性医学文献研究表明,波长 193 nm 远紫外光几乎不可能伤害眼角膜,而且不会伤害视网膜或其内部结构。这是因为角膜实际上全部吸收了这种辐射,只有红外 1200 nm 和紫外 250 nm 波长之间的辐射能达到视网膜。更确切地说,对波长从 266 ~ 248 nm 的光,角膜吸收相当够;而对波长从 248 ~ 213 nm 光,角膜吸收快速增加,对波长 213 ~ 193 nm 光,角膜吸收保持很强。波长 193 nm 处,角膜吸收系数极大,据计算表明,约为 39000 cm^{-1} 。虽然角膜对 248 nm 紫外光有很好的透射率,但 VDW 的激光功率密度太低,若不长时间曝光,不会造成视网膜损伤。

然而,在上述两个紫外波长上,VDW 指向人眼若干分钟,受影响的人会受到光化结膜炎和光性角膜炎,但不会造成永久性损伤,通常在 6 ~ 24 h 内这些炎症都会消失。

所有眼睛的损伤都与波长和强度有关。短波紫外光能电离空气中氧分子,足以传导电流而不会伤害角膜。消蚀人眼角膜每个脉冲紫外光最低强度是,对 193 nm 波长为 $46 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$,对 248 nm 波长为 $58 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。对波长 193 nm 光,角膜消蚀过程中即使在能量强度 $1 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 条件下也没有热损伤。

上述眼睛高度安全性是直接和飞秒级脉冲激光器的等量电离的可见光束相比。例如,对 193 nm 波长,分子氧具有双光子吸收截面,而多数可见光具有 6 光子截面。这就是说,用这种可见光光束电离所需要的功率太高而不安全,并且在其通道中任何人的眼睛都可能较容易被烧坏。最重要的是,它可以透过角膜使视网膜造成不可恢复的损伤。对 VDW 所用的紫外光不可能造成这种结果,因为它被角膜几乎完全吸收,而且发射紫外光强度一般很低。

射频脉冲用传导方式而不是平面波辐射方式传输,这也是一个重要的安全因素。这一点反映在平面波辐射安全标准比传导电流安全标准高得多。即使要求相同,300 μs 曝光时间很短暂,不会对任何人产生不利的影响。例如,1998 年 Stull 等人计算表明,长度相同的 L 波段脉冲其强度低达 $1.3 \text{ kW} \cdot \text{cm}^{-2}$,仍然是在美国国家标准局确定的要求 (ANSI/IEEE C95.1) 范围内。

总之,VDW 对人身是固有的非伤害的,不会引起休克、迷惑和失去感觉。VDW 可指向可能有危险的车辆而对车上的人和旁观者不会有多大的风险。

6 激光致僵武器的关键技术

除了上述目标损伤机理和激光电离空气通道产生技术以外,根据工作原理、特点和用途分析可知,其急需解决的关键技术如下:

(1) 高能紫外激光器是激光致僵武器的核心器件,要求输出功率高,脉宽适当,光束发散角小、能量转换效率高以及体积小和质量轻。目前,四倍频固体激光器和准分子激光器是最佳候选光源,但还未达到上述所有要求。

(2) 解决抗强干扰的激光电源问题。

(3) 致僵电脉冲与等离子体通道的高效电耦合。

7 发展趋势和展望

作为新概念武器非致命武器的一种,激光致僵武器会越来越受到重视,但是就目前的情况看,这种激光致僵武器与定向能辐射非致命武器相比,虽然有不可比拟的优势,但是作为一项较为新型非致命武器,其技术还不够成熟。当今出现的激光致僵武器作用距离较短,不能满足各种作战任务的要求,因而作用距离远的激光致僵武器是将来的发展方向,接踵而来的问题是:若要达到千米级作用距离,对激光器能量要求就会大大提高,采用何种体积小、质量轻、能量相对较大的激光器是关键。当然,高压脉冲发生以及高压脉冲与电离通道的耦合也至关重要。

参考文献:

- [1] Peter A Schlesinger. Vehicle disabling weapon [EB/OL]. <http://hsvti.com/schles-pdf>, p14.
- [2] Chen De-zhang, et al. Developing non-fatal photoelectric weapon [J]. Sichuan Ordnance Journal, 2005, (6): 4-7. 陈德章,等. 发展中的非致命光电武器 [J]. 四川兵工学报, 2005, (6): 4-7.
- [3] Ning Cheng-da, et al. Feasibility analysis on the laser cascade ionization in the process of attacking [J]. Sci-tech in Formation Development a Economy, 2009, (19): 163-164. 宁成达,等. 激光致僵武器攻击目标可行性分析 [J]. 科技情报开发与经济, 2009: 163-164.
- [4] Jan Eric Herr. Non-lethal Tetanizing weapon [P]. US: P5675103, 1997, p6.
- [5] Jan Eric Herr. Engine disabling weapon [P]. US: P5952600, 1999, p9.
- [6] Jan Eric Herr. Apparatus for transmitting electric current by concentric channels of ionized gas [P]. US: P4453196, 1984, p4.