

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0549-03

用激光推进轻型飞行器的初步实验探索

郭大浩¹ 吴鸿兴¹ 王声波¹ 胡晓军² 唐志平²

(¹ 中国科学技术大学强激光技术研究所, 合肥 230026)
(² 中国科学技术大学力学和机械工程系, 合肥 230026)

摘要 对于用激光推进轻型飞行器的可能性进行了初步分析探讨;用单次脉冲激光把重 5.87 g 的模拟子弹向上发射到距出发点为 1.48 m 的高度,近距离地拍摄了激光诱发的等离子体喷射产生的烟柱及火光,以及模拟子弹飞行的照片;对其应用前景作了讨论。

关键词 激光推进, 等离子体喷射, 轻型飞行器

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

Primary Experimental Research on Propelling of the Lightcraft with Laser

GUO Da-hao¹ WU Hong-xing¹ WANG Sheng-bo¹ HU Xiao-jun² TANG Zhi-ping²

(¹ Institute of High-power Laser Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)
(² Department of Mechanics and Mechanical Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract Primary analyses and discussions on the possibility of launching and pushing lightcraft with lasers were waged in this paper. With a single laser pulse, it is successful in launching a simulate bullet which is about 5.87 g weight to the height about 1.48 m and taking the pictures of pyrotechnic pillar and firelight of the laser-induced plasma spraying and the flying bullet. Its applied foreground is also discussed.

Key words laser propelling, spraying of plasma, lightcraft

1 引言

在 20 世纪,使用固体或液体燃料的火箭技术已发展到相当好的水平。但是要把大型的飞行器发射进入轨道其费用很昂贵,火箭喷发的大量成分和复杂的气体也对大气造成污染。而要把飞行器加速到第二、第三宇宙速度更是困难重重。因此,人们在研发火箭技术的同时,也开始探索飞行器发射的新技术途径。

早在 1972 年, Kantrowitz A. 曾提出“借助于地基激光器(把飞行器)推入轨道”的设想^[1]。1976 年, Barchukov 等提出了激光空气喷射发动机的概念^[2]。

1998 年, Appell 用 9 kW, 20 Hz 脉冲 CO₂ 激光把一个直径 15.3 cm, 重 42.5 g 的 6061-T6 铝制模型在 3 s 内送上 22.86 m 高的空中^[2]。1999 年, Bohn 利用 7.9 kW, 175 J/脉冲的 CO₂ 激光以重复率 45 Hz 发射 53 g 重的样品, 40 个激光脉冲使样品升

至约 6 m 高的空中^[3]。

近几年国内也有人开始这方面的探索^[2,4]。

2 激光推进飞行器的基本原理

当以合适功率密度 I_0 的激光辐照物体表面时,物体表层吸收激光能量后,产生高温、高密度等离子体,等离子体喷射爆炸时产生冲击波,从而对物体施加一个冲击力 F , 如图 1 所示。当冲击应力最大值 F'_{max} ($F'_{max} = F_{max}/S$, S 为作用面积)以 10^8 Pa 为单

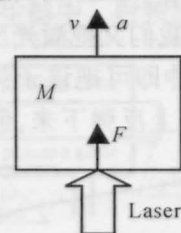


图 1 激光推进原理

Fig. 1 The priciple of laser propelling

位,而 I_0 以 $10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 为单位时,有如下近似关系^[5]

$$F'_{\max} = 0.1 \left[\frac{\alpha}{2\alpha + 3} \right]^{1/2} \cdot Z^{1/2} \cdot I_0^{1/2} \quad (1)$$

其中, α 是产生等离子体的材料在吸收激光后所产生的热能与其内能的比率,常用黑色涂料作激光的吸收介质,其 α 的典型值为 0.1, Z 是等离子区有关材料(黑色涂料及约束层)的等效声阻抗,以 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位,令涂料及约束层的声阻抗分别为 Z_1 及 Z_2 ,则有关系式

$$Z = 2Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2) \quad (2)$$

如果 F 大于物体的重量 $M \cdot g$ (M 为质量, g 为重力加速度),就可以推动物体向上运动。设运动时初速度为 v ,加速度为 a ,在忽略空气阻力及其它损耗的情况下,根据能量守恒,可知在此单脉冲冲击力 F 的作用下,物体可飞到距出发点为 H 的高度,即

$$H = v^2 / 2g \quad (3)$$

而出发时,其加速度为

$$a = (F - M \cdot g) / M \quad (4)$$

如果用重复率激光在物体飞行期间继续保持对其辐照,使其产生相应重复率的推力,就能使它不断加速而继续飞行。

3 初步实验探索及结果

我们强激光技术研究所前几年致力于激光冲击波技术及其应用研究^[6],建造了一套专用的 10^9 W 级的单次脉冲激光冲击处理装置。在 2000 年夏天曾利用该装置辐照一个模拟子弹的底部,该子弹置于被固定的模拟枪管中。单个激光脉冲即可使子弹沿水平方向或垂直向上射出。当子弹重量为 1.13 g 时,子弹沿水平方向 MN 发射,它因受重力作用,其飞行轨迹为抛物线 MO (见图 2),测得在墙上的弹着点 O 与水平线 MN 之距离 $h = 174 \text{ mm}$,而 $s = 2.29 \text{ m}$,根据 $h = g \cdot t^2 / 2$,可知子弹从 M 到 O 飞行所需时间 $t = \sqrt{2h/g} = 0.19 \text{ s}$,其水平初速度 $v_{\text{水平}} = s/t = 12.05 \text{ m/s}$ 。我们又把激光反射向上辐照子弹底部,单个激光脉冲即可把该子弹发射到比出发点高两米多的天花板上反弹下来,假设此时子弹向上

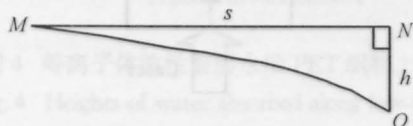


图 2 激光水平推进示意图

Fig. 2 The scheme of laser horizontal propelling

初速度为 $v_{\text{垂直}} = 10 \text{ m/s}$,则可发射到 5.1 m 的高度。

为了拍摄模拟子弹在激光辐照后被推进飞行的照片,我们加工了另一个模拟子弹,其大小为直径 $\phi 15 \text{ mm}$,长 19 mm ,重量为 5.87 g。把它置于被固定的模拟枪管中,用单次脉冲激光辐照子弹底部,分别使其垂直向上推进或沿水平方向推进。使用了重复率 100 Hz 的闪光光源来照亮飞行的模拟子弹,在黑暗环境中首次近距离地拍摄到了如图 3 及图 4 的照片。

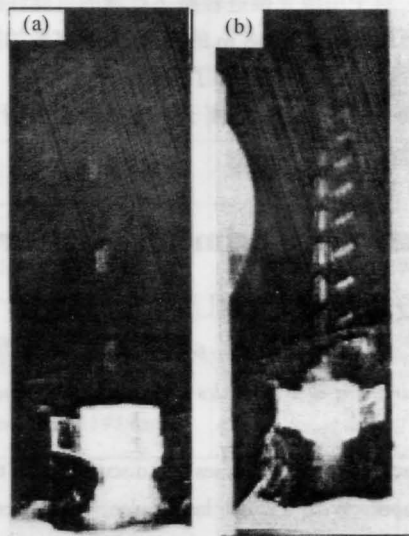


图 3 激光垂直推进的照片

Fig. 3 The photo of laser vertical propelling



图 4 激光水平推进的照片

Fig. 4 The photo of laser horizontal propelling

从图 3 可见,激光辐照时,子弹底部由脉冲激光引发的等离子体喷射爆炸产生向下喷射的火光烟柱(伴有爆炸声),而模拟子弹离开枪管被向上推进飞行,这俨然是一种激光脉冲火箭!由于光源每隔 0.01 s 发射一个光脉冲,照相机快门打开时间较长时,照片上就有多个子弹的影像。根据照片图 3(a)上相邻两个子弹影像的距离(17 mm)与子弹影像长度(6 mm)之比值以及子弹实际长度(19 mm)和闪光光源脉冲时间间隔(0.01 s),我们可算得图 3(a)中子弹的飞行速度为

$$\begin{aligned} v_{\text{垂直}} &= 17 \div 6 \times 19 \div 0.01 \\ &= 5383 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 5.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \quad (6)$$

按照式(3)可知该次子弹最高可飞至

$$\begin{aligned} H &= v^2/2g \\ &= (5.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2/2 \times 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 1.48 \text{ m} \end{aligned} \quad (7)$$

的高度。图 3(b)表明,该次子弹的速度较低,

$$v'_{\text{垂直}} = 2.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (8)$$

只能飞到 $H=0.29 \text{ m}$ 处。图 3(b)中右边的子弹方向斜了一个角度的即是它掉下来的姿态,因为拍照时快门打开了 0.7 s ,因此子弹上升和下降都在同一张照片中显现出来了。图 4 是模拟枪管水平放置时,用单次脉冲激光辐照子弹底部使子弹水平推出而拍摄的照片。这是一种水平发射的激光脉冲火箭,根据照片同样可推算出其水平速度为

$$\begin{aligned} v_{\text{水平}} &= 14 \div 4.5 \times 19 \div 0.01 \\ &= 5911 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 5.91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \quad (9)$$

由于重力作用使它边飞行边下降,当它飞行 0.05 s 后,已下降了

$$\begin{aligned} h &= g \cdot t^2/2 \\ &= 9800 \times 0.052/2 \\ &= 12.25 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10)$$

4 应用前景讨论

1) 虽然还难以设想用激光推进成吨重的飞行器,但看来重复率的高功率脉冲激光用于推进几千克量级的轻型飞行器还是有可能的。据称在 80 年代末,美国还投入数百万美元进行过陆基激光推进研究,估计将较小的有效载荷送入地球轨道其发射

费用为 $\$18/\text{kg}$,比传统的航天运载动力 $\$10000/\text{kg}$ 小得多^[2]。Bohn 预计用 400 kW 的重复率 CO_2 激光器有可能把 $1 \sim 10 \text{ kg}$ 重的小卫星送入地球轨道^[3]。特别是,用激光推进基本上无污染,十分诱人。

2) 把重复率的高功率脉冲激光技术与遥感雷达技术和制导技术等结合起来,有可能利用激光推进几千克量级的轻型飞行器(如炮弹)去击毁某个空间目标,达到清除空间垃圾的目的。

3) 当一定功率的激光器可以利用太阳能作动力源,而激光装置本身也小到足以放入飞行器(例如用常规火箭发射的成吨重的飞行器)内部时,当飞行器进入空间轨道而失重之后,则有可能在该飞行器内部利用该激光器使飞行器获得某个方向的加速度。这样就可做到使飞行器加速、减速或变向。

参 考 文 献

- 1 A. Kantrowitz. Propulsion to orbit by ground-based lasers. *Astronautics and Aeronautics*, 1972, 10(5):74~76
- 2 许德胜,郭振华, S. Messaoud 等. 论光动力飞行器. 激光技术, 1999, 23(2):86~90
- 3 W. L. Bohn. *Laser lightcraft performance*. Stuttgart: DLR Institute of Tech. Phys., 1999
- 4 孙承纬. 激光驱动空间飞行器的原理分析. 激光的热和力学研究学术会议论文集, 北海: 北海出版社, 2000. 1~8
- 5 R. Fabbro, J. Fourrier, P. Ballard *et al.*. Physical study of laser produced plasma in confined geometry. *J. Appl. Phys.*, 1990, 68(2):775~784
- 6 郭大浩,吴鸿兴,王声波 等. 激光冲击强化机理研究. 中国科学(E辑), 1999, 29(3):222~226