

激光射束驱动的关键技术及应用前景

杨尚飞, 林龙信

(海军装备研究院, 北京 100161)

摘要:激光射束驱动是一种利用“无线能量传输”原理,将高能激光射束转换为电能,从而为空中飞行器提供电力供应,使其无需自带燃料即可实现长航时持续飞行的先进技术。目前,该项技术已完成户外飞行试验,验证了其良好的工作性能。本文对激光射束驱动的基本原理以及涉及的关键技术进行分析,并提出激光射束驱动技术的可能应用方向,为激光射束驱动技术的实际应用提供参考。

关键词:激光射束驱动;无线能量传输;激光电池;应用前景

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.05.001

Key technology and application prospect of laser beaming motivation

YANG Shang-fei, LIN Long-xin

(Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China)

Abstract: Laser beaming motivation is an advanced technology which converts the high power laser beaming into electrical energy utilizing the principle of wireless power transmission, thus provides electricity supply for aerial vehicles, and realizes persistent flight without carrying any fuel. This technology has passed outdoor flight test, and good working performance is verified. The operating principle and key technologies of laser beaming motivation are analyzed. Moreover, the possible application directions of laser beaming motivation technology are proposed, which provides reference for its practical application.

Key words: laser beaming motivation; wireless power transmission; laser cell; application

1 引言

2012年7月,美国洛克希德·马丁公司和激光驱动公司(LaserMotive, Inc.,一家专门从事激光射束驱动商业化应用的研发公司)在一个风洞内验证了一种创新的激光射束驱动系统的能力——成功地将原本只有2 h续航时间的“阔步者”(Stalker)无人机的续航时间提升到48 h^[1]。2012年8月,该项目又成功完成首次户外飞行试验,验证了激光射束驱动系统在沙漠环境下的工作性能,取得了大量技术成果^[2]。这表明,激光射束驱动技术的研究已向实用化应用迈出了关键一步,进入了一个崭新的发展阶段。

2 激光射束驱动的基本原理

激光射束驱动是一种利用“无线能量传输”原理,在远处将高能激光射束转换为电能,从而为空中飞行器提供电力供应,使其无需自带燃料即可实现长航时持续飞行的先进技术^[3-9]。

2.1 无线能量传输

无线能量传输也称为无线功率传输,是借助电磁场或电磁波将能量从能量源传输到电负载的一个过程,它与传统能量传输的根本区别在于该过程是

作者简介:杨尚飞(1982-),男,工程师,主要从事装备论证工作。E-mail:lunaryxp@126.com

收稿日期:2013-09-10

通过无线传输来实现的。目前,无线能量传输技术主要包括如下几种类型:

(1)辐射技术:通过某种独特的接收器接收空气中尚未散失的辐射能量,并将其转换成电能,储存在附近的电池中;

(2)磁场共振技术:当两个物体在同一频率实现共振时,将实现能量的无线传输;

(3)电感耦合技术:通过相对很直接的接触来进行能量传输,犹如把机器放在一个垫子上就能进行充电;

(4)从环境中“收获”能源:将自然界出现的热能、光能和振动能转换成所需的能量。

在为空中飞行器进行无线能量传输的背景下,比较实用的传输方式是利用辐射技术,而其中又主要包括微波和激光两种形式。基于微波和激光的射束驱动系统具有基本相同的工作原理,工作过程如下:

(1)将各种来源的电能(初级能源)转换成能在自由空间传播的微波或激光射束;

(2)将微波或激光射束定向发射到空中飞行器的接收装置上;

(3)空中飞行器的接收装置将接收到的微波或激光射束能量转换成电能;

(4)转换得到的电能通过电动机驱动空中飞行器飞行,同时为机上的蓄电池充电。

尽管微波射束驱动系统的研究比激光射束驱动系统更早,但研究表明,微波射束用作动力飞行时,存在发散角大、发射/接收装置笨重、易对通信造成干扰等问题;而相比之下,激光射束具有方向性强、能量密度高等特点,用较小的发射功率即可实现较远距离的能量传输,所需发射/接收设备的体积重量相对较小,且不存在干扰通信的风险,因此,激光射束驱动技术更具优势,日益受到科研机构的关注。

2.2 基本结构

利用激光射束驱动技术,只需在空中飞行器的航线沿途地面上每隔一定距离设置一个激光发射站,便可以通过接力的方式为安装有激光射束驱动系统的空中飞行器提供动力,空中飞行器即可实现不着陆、无需空中加油的持续飞行。

激光射束驱动系统的基本结构如图1,一般包含初级能源、发射器和接收器三部分^[10]。

激光射束驱动系统首先需要有一个激光发射器,它通常由蓄电池或发电机等初级能源提供电力供应。发射器包括激光器、光束调制光学设备、光束

定向器、控制器、跟踪及安全控制器、电源以及激光冷却系统等组成部件。激光器产生激光(单波长)后,激光光束通过光束调制光学设备进行调制,以确定光束到达目的地的大小。之后,在跟踪及安全控制器的控制下,通过光束定向器将激光射束定向到空中飞行器的接收器位置。接收器一般由光电阵列、功率控制器、电池、电子器件、电机等部件组成,其中光电阵列将激光射束重新转换为电能,通过适当的功率控制,对机载电池、电子器件以及电机进行供电,维持空中飞行器的电力供应。

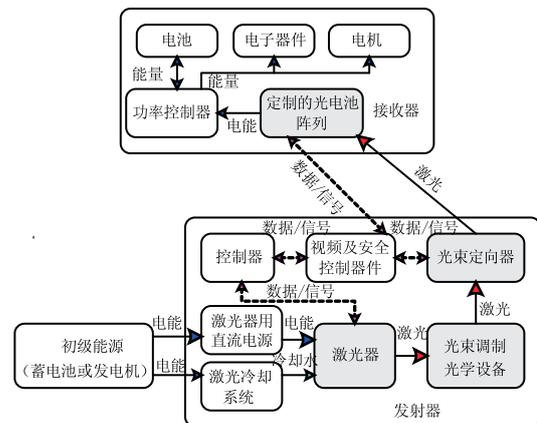


图1 激光射束驱动系统组成框图

从上述工作过程来看,激光射束驱动系统与太阳能系统非常类似,即照射在太阳能电池上的阳光产生电能,但激光射束驱动系统采用更高强度的激光射束来瞄准特殊定制的光电阵列,并将激光射束能量转换为电能。与太阳能系统的关键区别在于,激光射束的强度比太阳光更强,它能够对激光发射站视距内的任何地方进行供电,而且能够全天候运行。因此,激光射束驱动系统比太阳能系统更具优势。

3 激光射束驱动的关键技术

尽管早在1913年,法国人罗兰·加洛斯就提出了从地面为空中飞行器提供动力的设想。但直至进入21世纪,这一设想才随着科技的进步、尤其是激光技术和无线能量传输技术的发展逐渐变为现实。

下面,通过分析激光射束驱动系统的基本结构对激光射束驱动涉及的关键技术进行剖析。

3.1 激光射束产生及传输技术

激光射束通过激光器产生。激光器是激光射束驱动系统的核心,其体积、重量、发射功率和效率在很大程度上决定了整个系统的使用效能。目前,在高能激光器中,自由电子激光器、氟化氢激光器、氟化氙激光器、氧碘激光器以及固态激光器和光纤激光器等均得到了深入研究和广泛应用^[11]。但最有可能在激光射束驱动系统中得到应用的激光技术是近红外激光

二极管阵列^[10-12](如图2所示)。激光二极管阵列结构紧凑,效率较高(电转换为光输出的效率大于50%),成本相对较低,现场使用时足够坚固和可靠(寿命大于20000h)。当追求更小的激光器光学装置时,可使用二极管泵浦光纤激光器等激光器,它们能够提供发散度更小的光束,但成本昂贵。

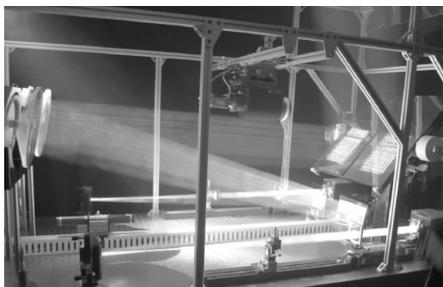


图2 双2.25kW激光二极管发射器

激光射束产生过程的一个重要问题是能量转换效率有待提高。在当前技术条件下,激光器将电能转化为光能的效率只有约50%,到达空中飞行器后也只有约50%的激光能量能再度转换为电能。因此,在整个过程中,激光射束驱动系统的能量转换效率仅有25%左右。相比之下,目前研发中的燃料电池转换效率可达50%以上。

此外,激光射束传输过程易受气象条件影响。比如,大气中的灰尘、烟雾和水滴等各种颗粒会导致激光散射,大气分子会吸收部分激光能量,大气紊流会导致激光扩散,激光加热大气会产生“热晕”现象从而导致激光射束发散角增大等。这些因素会严重影响激光射束的传输效率,使实际到达空中飞行器接收装置上的能量显著减少。

3.2 激光电池技术

与燃料电池相对应,激光射束驱动系统中的接收电池可称为激光电池。激光电池是激光射束能量的接收者,用于将激光射束能量转换为电能。与太阳能电池将宽频谱的光源转换为热能不同,激光电池一般采用特殊定制的光伏管,其特征参数必须与激光的波长和光束强度相匹配。因此,激光电池技术研究的主要目标是在太阳能电池的基础上提高转换效率并降低成本。图3给出了其中一种搭载激光射束驱动系统的无人机及其激光电池^[12]。

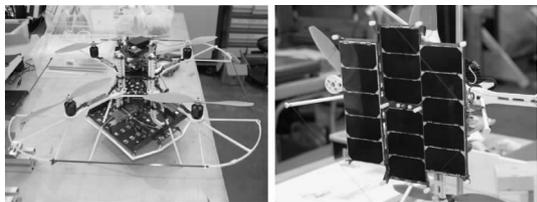


图3 搭载激光射束驱动系统的无人机及激光电池

3.3 激光射束跟踪瞄准技术

激光射束驱动系统是依靠将激光射束聚焦到空中飞行器的接收器部位,从而实现激光能量无线传输的目的。这就需要在必须的时间间隔内保持激光射束照射在目标点上。激光射束的跟踪瞄准效果直接影响了无线能量传输效果。考虑到空中飞行器可能具有较高的机动性,且可能需要对多个空中飞行器进行能量传输,因此,激光射束跟瞄系统还需具备快速机动性。

对于激光射束驱动系统而言,光束定向器在指示和跟踪系统的控制下,将激光射束引导到空中飞行器的接收位置。尽管空中飞行器是协作式目标,其光学跟踪相对于激光武器而言较为简单,但让发射端长期跟踪并精确瞄准接收端还是具有较大的技术难度。特别是,在通过云层或障碍物时,需辅以基于射频或GPS的方法进行捕获与跟踪。

由于激光射束驱动系统发射的是高能激光,因此,还需完成一定的安全防护工作,防止激光射束损伤过往的有人驾驶飞机等。这就需要当有人驾驶飞机进入附近空域时自动关闭激光器,让空中飞行器依靠其蓄电池供电飞行。

3.4 空中飞行器平台

激光射束驱动系统适用的空中飞行器可以是任意类型,包括传统的固定翼飞行器、直升机平台、飞艇等,只需其下侧或侧边有安装激光接收器的合理区域即可。对于小型无人机系统,只需对其现有的电池驱动设计稍加修改,便能适用于20HP(15kW)以下的电机;在某些情况下,已有机身便能安装激光接收器和较小的蓄电池。但对于现在采用燃料驱动的较大型无人机,则需进行较大的修改,或进行重新设计,但在适当机身位置安装几百千瓦的电机并不存在明显的障碍。

3.5 系统集成技术

激光射束驱动系统的总体设计应注重能量传输、操作安全性和工作可靠性等实际需求及其隐含的含义,同时对系统的尺寸、重量、功率和效率等需求进行评估,以适应实际的现场工作环境。在激光发射器、激光接收器、激光射束跟踪瞄准技术以及空中飞行器平台等各子系统的设计过程中,必须重点关注系统的安全性。特别是,当要将千瓦级或更高功率的激光射束进行应用时,需要极其可靠的安全系统。

目前,激光驱动公司已经建立了一套完整的便携式激光射束能量传输系统,将几百瓦能量传送到

1km 范围外的移动飞行器中。当距离更近时,则能够传输超过一千瓦的能量。该系统已于2009年11月在美国爱德华空军基地反复试验。资料显示,该演示系统已达到5级技术成熟度(TRL5),只需在封装和集成上稍作改进,便可利用现在的技术达到6级技术成熟度(TRL6),进入实际应用。

4 激光射束驱动技术的应用前景

在当前国际政治军事格局下,无人机正显示出越来越重要的军事应用需求。但无人机的机载能量存储限制了它的航程和出动时间。传统驱动模式下,采用燃油驱动的无人机为了补充燃油,需要离开战位着陆补给,要求具备较高的机动性,进一步增加了飞行作业风险。在这种情况下,无人机能够遂行的作战任务非常有限。

采用激光射束驱动技术后,无人机将具备一系列明显的优势,主要包括:

(1)飞行过程中无需携带大量燃油,有助于减小飞机体积(无需设置占用大量机体空间的油箱)和重量(目前飞机燃油通常占起飞重量的40%甚至更多),增加有效载荷。

(2)大量延长无人机的航程和续航时间,理论上将可以维持无限期飞行,不仅远超目前使用燃油的飞机,而且不会像太阳能飞机那样受昼夜变化和阳光照射角度的影响。

(3)由于续航时间大幅延长,飞机执行任务期间返航着陆、加注燃油和再次起飞的次数显著减少甚至完全取消,降低了对后勤保障的要求。

因此,激光射束驱动技术在扩展无人机的能力方面具有很大的潜力。在现有技术条件下,激光射束驱动技术在无人机上至少存在三种可行的应用。

4.1 以空中充电方式扩展无人机的续航时间

在电力驱动的无人机上搭载激光射束驱动系统,发射升空后,无人机飞往激光射程之外的目标区域执行任务,当无人机机载能源低于预设值时,无人机飞回受保护的激光发射站区域,在激光视距内进行空中充电。充电完成后返回任务区域,继续履行使命。

4.2 对特定区域实施持续空中监视

主要利用四旋翼无人机、固定翼无人机、飞艇等空中飞行器,搭载激光射束驱动系统,并在区域内设置若干地面激光发射站,通过合理配置,使得在整个区域内均可为空中飞行器提供能量补给,保障其持续飞行,实现对特定区域的不间断监视

与侦察。

4.3 以“子母机”形式延伸无人机的任务航程

利用1架大型“母机”作为空中机动激光发射站,为多架承担作战/侦察任务的无人机(“子机”)补充能量,从而大幅延伸“子机”的任务航程。由于激光在高空中传输的能量损耗很小,因此“母机”对“子机”的能量补充可在数十千米甚至更远距离上进行,而不必像传统的空中加油那样需要一系列复杂繁琐的接近、对接、脱离过程,降低了对操作人员的技术要求,提高了操作安全性。

5 结论

综上所述,尽管激光射束驱动技术目前尚处于概念验证和飞行测试阶段,距离实际推广应用还存在一定差距,但已显示出广阔的发展和前景,尤其是可使小型电动无人机的技术优势得到更充分的发挥。激光射束驱动技术广泛应用后,有可能彻底改变空中飞行器动力装置的传统模式,对未来高技术飞行器的发展产生重要影响,甚至改变未来空中作战的模式。激光射束驱动技术研究的下一步工作是系统开展安全性、全自动的跟踪瞄准系统、以及与真正的无人机集成等研究,以期尽快投入实际应用。

参考文献:

- [1] US succeed driving the small tactical UAV for long endurance flight by laser beam[EB/OL]. July 12th, 2012, <http://news.xinhuanet.com/mil/2012-07/12/c-123406203.htm>. (in Chinese)
美国成功通过激光射束驱动小型战术无人机进行长航时飞行[EB/OL]. 新华网,2012年7月12日. <http://news.xinhuanet.com/mil/2012-07/12/c-123406203.htm>.
- [2] Outdoor Proof-of-Concept Laser-Powered UAS Flights[EB/OL]. August 7th, 2012, <http://lasermotive.com/2012/08/07/outdoor-proof-of-concept-laser-powered-uas-flights/>
- [3] XU Desheng, GUO Zhenhua, etc. On lightcraft[J]. Laser Technology, 1999, 23(2):86-90. (in Chinese)
许胜德,郭振华,等.论光动力飞行器[J].激光技术, 1999, 23(2):86-90.
- [4] WANG Qi, LI Qi, SHANG Tieliang. Laser propulsion principle and development[J]. Laser & Infrared, 2003, 33(1):3-7. (in Chinese)
王骐,李琦,尚铁梁.激光推进原理与发展概况[J].激光与红外, 2003, 33(1):3-7.
- [5] KE Changjun, WAN Chongyi. Laser propelled vehicle [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2003, 40(8):

- 18 - 21. (in Chinese)
- 柯常军,万重怡. 激光推进飞行器技术[J]. 激光与光电子学进展,2003,40(8):18 - 21.
- [6] LI Liyi,LUO Guangyao,LI Xiaopeng. Principle and development of technique of new propulsion[J]. Elecrotechnical Journal,2003,(4):39 - 43. (in Chinese)
- 李立毅,罗光耀,李小鹏. 新型推进技术的基本原理及其应用前景[J]. 电工技术杂志,2003,(4):39 - 43.
- [7] LIN Huizu. Discussion on the applies of laser technology in space flight and aviation propulsive system[J]. Laser Journal,2007,28(2):9 - 10. (in Chinese)
- 林惠祖. 激光技术在航天航空推进系统中的应用[J]. 激光杂志,2007,28(2):9 - 10.
- [8] HOMG Yanji,LI Xiuqian,DOU Zhiguo. Laser propulsion in development[J]. Journal of propulsion Technology, 2009,30(4):490 - 494. (in Chinese)
- 洪延姬,李修乾,窦志国. 发展中的激光推进[J]. 推进技术,2009,30(4):490 - 494.
- [9] ZHANG Nan,XU Zhijun,ZHU Xiaonong, etc. Laser propulsion technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011,40(6):1025 - 1037. (in Chinese)
- 张楠,徐智君,朱晓农,等. 激光推进技术[J]. 红外与激光工程,2011,40(6):1025 - 1037.
- [10] Thomas Nugent,Jordin Kare. Laser power for UAVs[R]. Laser Motive White Paper-Power Beaming for UAVs, NWEN,2010.
- [11] HU Shaoliu,JIANG Chao,LI Bo, etc. Choosing high-power laser in propulsion technology[J]. High Power Laser and Particle Beams,2004,16(7):853 - 856. (in Chinese)
- 胡少六,江超,李波,等. 用于激光推进的高功率激光器的选择[J]. 强激光与粒子束,2004,16(7):853 - 856.
- [12] <http://lasermotive.com/wp-content/uploads/2010/04/AUVSI-white-paper-8-11.pdf>.