

文章编号:1001-5078(2007)01-0003-07

地基激光反卫的发展现状与大气补偿实验

任国光

(北京应用物理与计算数学研究所,北京 100088)

摘要:美国的地基激光反卫计划是发展包括机载激光和先进战术激光在内的激光武器计划的一部分,2007年将演示激光向低轨卫星传输的完全大气补偿令人关注。文章介绍了在2005财年已完成和2006、2007财年将开展的地基激光反卫技术的研究工作,然后评论了地基激光大气补偿的研究和实验,特别着重讨论了钠信标照明激光器的现状和未来发展。

关键词:地基激光反卫;激光大气补偿;人造导引星;自适应光学;钠信标照明激光器

中图分类号:TJ95 **文献标识码:**A

Developing Status of Ground-based Anti-satellite Laser and Atmospheric Compensation Experiment

REN Guo-guang

(Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract: American GBL-ASAT project is a part of developing laser weapon programs including the airborne laser and the advanced tactical laser. The demonstrating fully compensated laser propagation to low earth orbit satellites during 2007 has been concerned. The researches of GBL-ASAT technology introduced here have been completed in FY05 and is going to perform in FY 06 and FY 07. Subsequently, the researches and experiments of ground-based laser atmospheric compensation are reviewed. Particularly, the status and future of the sodium beacon illuminator lasers are discussed.

Key words: GBL-ASAT; laser atmospheric compensation; artificial guidestar; adaptive optics; sodium beacon illuminator laser

1 引言

美国政府正在研制一种大功率的地基激光武器,它将利用聚焦的强光束攻击敌方的在轨卫星。这是一项高度保密的计划,由于此计划涉及空间军事化,可能引发空间军备竞赛而引起争议,所以美国政府对这个问题一向低调处理。

在2006年5月初举行的国会听证会上,美国国防部研制地基激光反卫武器的计划令人关注。在向国会提交的空军预算文件中,包括了正在进行的“先进光学和空间激光技术”计划,该计划的主要长期目标是“完成包括应用于反卫武器的大气补偿/束控实验”。文件提出在2007财年花570万美元用于“演示验证完全补偿向低轨卫星的激光传输”。与1997年10月克林顿政府进行的激光反卫试验相

比,这项实验更加雄心勃勃。

为了保持21世纪的军事优势,近20年来美国十分重视发展空间的军事能力,提出了“空间控制”战略,并把它作为一种核心的能力。然而目前空间控制仅仅是通过攻击发射场,或其他的地基基础设施,以阻止敌方利用空间,而缺少摧毁敌方在轨卫星或阻碍其正常工作的武器,从而更有效地控制空间。2004年公布的“空军飞行转型计划”表明,空军转型的重点是发展太空武器,其中包括地基激光反卫武器^[1]。在布什政府向国会提交的2007财年国防预算中,有26亿美元用于太空武器。它们包括天基拦

作者简介:任国光(1938-),男,研究员,主要从事激光技术发展战略研究。

收稿日期:2006-10-14

截弹试验台、近场红外实验、实验性航天器系统(XSS)、微卫星以及包括完全补偿向低轨卫星的激光传输在内的定向能研究^[2]。

其实,美国一直在秘密地研究激光反卫技术并进行原理论证试验,其目的是评估和发展强激光反卫的独特技术,即采用导引星和变形镜与高功率激光器相配合,向空间发射强激光攻击敌方的卫星,目前主要的工作是发展和演示激光反卫的武器级束控技术。负责包括地基激光反卫武器研究计划在内的多项太空计划的国防部高级官员说:“白宫希望我们进行太空防御,我们需要这种能力来保护我们在轨道上的资源”^[3]。

2 美国已具有地基激光反卫的能力

基于自适应光学的地基激光系统将用来执行“空间控制”任务,以对付敌方的低轨卫星。它由高能激光器和大型带自适应光学的束定向器组成,系统必须具有良好的大气补偿以及高精度的跟踪和瞄准性能。空军发展和演示地基激光反卫技术计划的核心是进行综合束控技术演示,以验证地基激光反卫的可行性,其主要目的是补偿激光的大气传输,对卫星进行精确跟瞄和保持瞄准点的稳定性。与之平行开展的技术工作包括化学氧碘激光器(COIL)、高功率光学部件、主动跟踪和信标照明激光器研制以及卫星对激光的易损性评估^[4]。

2.1 高能激光器(HEL)

按美国开发杀伤性GBL-ASAT的标准,需要兆瓦级的激光器。美国目前已有高束质的兆瓦级COIL和DF激光器。另外海军计划在2012年研制出兆瓦级的自由电子激光器(FEL)^[5],它们都可作为地基反卫的激光器。当然短波长和长持续工作时间是选择的重要条件。

2.2 大型发射望远镜(束定向器)

对 $1\mu\text{m}$ 波长的激光说,需要3m以上的发射镜,为了补偿大气畸变,还必须具有自适应光学系统。美国已建成带自适应光学的3.5m和3.67m发射望远镜,它们与高能激光器相配就具有反卫能力。

2.3 完成地基激光反卫跟瞄精度和大气补偿实验

20世纪90年代初,美专门发射了两颗卫星分别进行低功率大气补偿实验(LACE)和中继镜实验(RME)。实验证明对低轨卫星的跟瞄精度可达亚微弧度,也证明用合作信标完成的LACE实验可以实现衍射极限的补偿。

2.4 卫星对激光易损性试验

1997年10月,美国陆军计划用MIRACL激光

器进行卫星易损性试验,但试验中腔镜镀膜损坏,后改用低功率照明激光器进行。试验取得了惊人的结果,低功率激光使MSTI-3卫星的铍化钢传感器暂时致盲。实验也再次证明稠密大气将使激光束严重发散,从而大大降低它的强度。因此目前正在进行的研究计划把重点放在了用自适应光学补偿使光束发散的大气效应^[6]。

3 空军2005、2006、2007年已完成和将开展的地基激光反卫研究和试验工作

美国空军的地基激光反卫技术研究工作目前主要集中在先进光学和空间激光技术项目里,其主要目的是评估卫星对高能激光的易损性、演示和详尽评估空间特有的先进光学与高能激光武器系统的反卫能力。“先进光学和空间激光技术”项目2007财年前属于“多学科先期发展空间技术”计划^[7],而在2007财年属于“先进武器技术”计划^[8]。该项目包括三方面的研究工作,2005财年的经费是1546万美元,2006和2007财年的预算分别为2264万和2141万美元。在国防预算中还包含了许多高能激光的研究和发展计划,它们既是空间激光武器必要的先驱,也是对这项任务的直接认同。

3.1 完成包括反卫武器在内的大气补偿/束控实验

大气补偿/束控实验将应用于反卫武器、中继镜系统、卫星试验和诊断以及高分辨卫星成像。它将开发、改进和演示激光通过空间传输所需的特殊技术。

2005财年完成的工作:组装了一个新的自适应光学系统——钠信标自适应光学系统,并开始进行试验,包括补偿对低轨卫星的红外成像。它利用激光束激发高空大气层中的钠原子,使其产生一个能用望远镜监测到的亮点,以便对大气湍流进行精确的测量。

2006财年的工作:在星火光学靶场3.5m望远镜上开始试验先进的钠信标自适应光学系统,以改善光束控制和提高图像的分辨力;完成短波长的高分辨卫星成像;利用钠信标自适应光学系统演示和表征补偿激光传输到低轨卫星的提前瞄准能力。

2007财年的工作:演示验证完全补偿向低轨卫星的激光传输,测量靶上的光束分布和强度;开始研究通过湍流的精确瞄准稳定性。

3.2 发展和演示先进的远程光学技术

该项目将发展和演示的技术包括:先进光束控制、光束的捕获、跟踪和瞄准、自适应光学、大型轻量光学部件、光学镀膜、中继镜双视线瞄准、航天器、光

学控制集成、光束稳定性和抖动控制。

2005 财年完成的工作:通过用中继镜跟踪卫星演示双视线跟踪技术,完成了具有光学质量的 $2\text{kg}/\text{m}^2$ 超轻型反射镜的制造和试验。

2006 财年的工作:计划演示验证通过照明激光器和刻痕束主动跟踪巡航导弹。演示验证把先进的高能激光光学膜镀在 3m 直径轻型主镜的碳化硅衬底上。设计和建造轻量的微电机系统集成试验台,用于评估先进的光学部件。

2007 财年的工作:研究与演示高功率激光通过中继镜杀伤地面和机载目标;在高能激光器及米级碳化硅主镜上镀介质膜,并进行试验;完善空间成像和束控所用先进波前控制器件的初期闭环操作。

3.3 发展和演示激光通过严重和/或持续大气湍流传输的先进光学控制技术

2005 财年完成的工作:开始制造用于外场表征激光通过大气湍流传输的地面试验装置,开发了在恶劣大气条件下能可靠工作的初期先进自适应光学和跟踪技术。

2006 财年的工作:完成表征外场激光通过大气湍流的第一阶段地面试验装置的集成,完成在恶劣大气条件下先进自适应光学和跟踪技术的实验室实验,并开始进行外场试验。

2007 财年的工作:集成表征激光通过大气湍流传输的先进地面试验系统;演示验证与表征在恶劣大气条件下激光传输到空间目标的先进自适应光学和跟踪技术的效果。

4 地基激光大气补偿实验

激光反卫武器最关键的技术之一是光束控制,即把跟踪、瞄准和大气补偿结合在一起,以便使激光能量有效地穿过大气聚焦在卫星上。地基激光反卫,激光束必须通过大气至少传输几百公里。大气的温度、湿度和压力在小范围和短时间内是快速随机变化的,因而大气的折射率也相应地随机变化,使得通过大气的光束产生一系列的湍流效应而导致光束发散和畸变。湍流扩束比衍射极限高 $2\sim 3$ 个量级,光强下降 10^4 以上。因此要把激光能量有效地聚焦在目标上,绝对重要的是应在卫星上产生衍射极限的光斑,这就必须采用自适性光学对发射的激光束预先补偿大气的畸变效应。

4.1 试验将证明用武器级发射望远镜补偿大气畸变的能力

4.1.1 激光传输的大气补偿概念

大气补偿系统由一个自适应光学系统和一个人

造信标检测系统组成。自适应光学技术的出现是高能激光武器研制中少数重要的成就之一,它目前已广泛应用于许多领域,特别是对天文学的发展带来了革命性的影响。

自适应光学系统主要由波前传感器和变形镜组成,它们装在星火光学靶场 3.5m 望远镜的发射光路里。系统采用人造导引星发射的钠光作为信标,波前传感器将检测由信标光带回的大气畸变信息,传感器每秒可作 2500 次测量。该信息产生的信号不断地调整与变形镜相连的 900 个作动器,这些作动器将使反射镜每秒变形 200 次。高能激光发射前在通过这种特殊的变形镜时,变形镜以某种方式对高能激光进行反畸变,从而消除激光传输到目标过程中的大气畸变并聚焦激光束,实验将测量激光在目标卫星上的分布和光强,从而判断系统的性能和补偿能力。

利弗莫尔国家实验室(LLNL)正在建造的超级自适应光学系统是世界上最先进的系统,预期它将在 2010 年运行。该系统有一个 2cm^2 的变形镜,它由 4000 个作动器驱动。变形镜由蚀刻的硅基微电机系统构成(类似于微芯片),而不采用传统自适应光学系统中的玻璃反射镜。新镜子将通过每秒 2500 次调整形状来补偿大气畸变,其精度优于 $1\text{nm}^{[9]}$ 。

4.1.2 两次大气补偿实验的差别

在星球大战计划期间,美国曾作过 LACE 实验。为实验发射的专用卫星 LACE 轨道高度为 547km ,发射望远镜直径为 0.6m ,采用了 241 单元的自适应光学系统。结果表明自适应光学系统对低功率激光的大气畸变实现了近衍射极限的补偿。这次大气补偿实验与准备将在 2007 年进行的大气补偿实验有什么不同呢?显然 2007 年的实验将更接近于实战情况。首先,20 世纪 90 年代初的实验采用的是 0.6m 直径的望远镜,它并未证明从一个武器级望远镜把补偿后的激光传输到目标上的能力,而 2007 年的大气补偿实验将采用 3.5m 武器级望远镜进行;其次,在 90 年代的实验中,利用从卫星上的激光二极管发射的光作为信标,把大气畸变信息带回望远镜,然而在实际的地基激光反卫作战中是不大可能有合作信标的。2007 年的实验将采用先进的人造导引星作为信标,对地基激光反卫和天文学的自适应光学来说,激光导引星是至关重要的;再次,经过十多年的发展,2007 年的实验将采用一些新的和改进的技术,例如大大增加自适应光学的单元数,提高波前检

测的自动化程度等,以提高实验的质量和精度。

4.2 激光导引星及钠激光器的发展

4.2.1 激光导引星

自适应光学系统需要在空中有一个参考光源,用来测量由于大气湍流产生的波前畸变,这个参考光源必须具有足够的亮度,并在视角上尽可能地靠近需要攻击和观测的目标。天空中明亮的天然星是理想的参考光源,然而不幸的是,不到10%的天空才有足够亮的天然星,可用来校正大气畸变,为了在大多数方向上校正大气畸变需要产生人造导引星。最广泛采用的方法是利用一台波长调谐到钠 D_2 线(589nm)的激光器,激发90km高空、10km厚散逸层里的钠原子,使其产生一个亮点,能被自适应光学系统中的波前传感器检测到,以便对大气畸变进行实时的精确测量。钠原子是流星与上层大气碰撞沉积下来的,表1归纳了散逸层钠的特性。尽管其浓度很低,但也能对激光的激发产生强烈的响应,以非常特殊的频率(黄光波段)发射出它的全部光能。因此要使3.5m望远镜的自适应光学系统高性能地工作,把高能激光传输到卫星上涉及的关键技术是要激发高空散逸层中的钠原子的技术。

表1 散逸层钠的特性

高度	85 ~ 100km
丰度	$10^3 \sim 10^4$ 原子/cm ²
柱密度	5×10^9 /cm ²
温度	200K
吸收分布	3GHz 多普勒增宽
辐射寿命	16ns
饱和强度	在 6.3mW/cm^2 、10MHz 线宽情况下为 5W/cm^2 (全吸收谱)

光速极快但毕竟有限,根据称之为可逆性的大气特性,对地基激光束控问题最好的解决办法是在卫星前方25m处产生一个明亮的信标。因为在信标激光一个来回的时间里,卫星要移动25m(即大约是聚焦的衍射极限激光束直径的100倍)。采用提前瞄准的方法,就能使高能激光束沿实际大气湍流的路径射向卫星,从而得到有效的补偿。

4.2.2 钠激光器的发展现状和未来

4.2.2.1 对钠信标激光器的基本要求

为了产生自适应光学所用散逸层中的钠信标,迫切需要工作于钠原子吸收波长(589nm)的高效和高束质的激光器。研制用于地基激光反卫所需的钠信标激光器难度非常大,因为与红外天文学相比,它

要求较高的空间分辨力和较宽的带宽。红外天文学的工作,采用10~20W的信标激光器即可,如果要把它推进到地基激光反卫的可见光波长,就需要200W的平均功率,重复频率1kHz。激光器必须产生足够亮的导引星,使返回的光子足以被波前传感器以所需的帧频检测到。为了有效地激发钠原子,还必须非常精确地保持激光的频率,并在钠 D_2 线具有窄的带宽。同时,激光应是圆偏振光,以增加返回的光子数。

适合产生钠信标的两类激光器是染料激光器和固体激光器。由于要把染料激光器定标到更高的功率(如200W)将会受到饱和强度的限制,因此人们更看好固体激光器。作为未来的发展,美国正在为下一代的大型望远镜研发钠信标光纤激光器。

4.2.2.2 染料激光器

把染料激光器作为钠信标激光器是很自然的事,因为它可以调谐到钠 D_2 线共振。LLNL创先采用脉冲染料激光器技术产生钠激光导引星,在发展原子蒸汽激光同位素分离激光器的基础上,它在用于导引星高束质脉冲染料激光器方面取得了重大进展。1996年,他们在Lick天文台的3m直径Shane望远镜上安装了脉冲染料钠激光器,它与127单元的自适应光学系统相配合,获得的Strehl比高达0.4,拍摄到了非常清晰的天文图像。最近对激光导引星系统进行了改进,大大提高了光束质量和系统性能。这台脉冲染料激光器的平均输出功率为15W,脉冲速率为11kHz,脉冲宽度为100ns。染料主振荡器、预放大器和放大器用3个40W的倍频Nd:YAG激光器抽运。他们用这个系统测得的返回光子通量为0.25光子/(cm²·ms)。

在对以上系统进行了大量的改进和升级后,2000年在10m直径的Keck II望远镜安装了一个新的激光导引星系统,脉冲染料激光器的输出功率是14.8W,它与349个单元的自适应光学系统相配合,获得了0.647的Strehl比,能量稳定度达1.5%^[10]。

通过增加染料放大器和Nd:YAG抽运激光器,可以把这种脉冲染料激光器定标到更高的功率,用于地基激光反卫。然而在150ns脉冲长度和30kHz重复频率情况下,200W的平均功率将达到 5W/cm^2 的饱和强度,这将严重影响自适应光学性能。这就提出了一个问题,是否有其他可供选择的激光器,使其具有更合适的脉冲形式,可以把饱和强度降至最低。

4.2.2.3 二极管抽运固体激光器

固体激光器的脉冲形式可使它定标到较高的平

均功率,而不会使散逸层中的钠处于强饱和的状态。同时,它也是一种紧凑、耐用、可靠和低成本的导引星激光器技术。采用固体激光器产生钠激光信标有两种基本的方法:其一是在非线性晶体里对两条Nd:YAG谱线求和;其二是采用喇曼频移或光学参量振荡器产生 1178nm 辐射,然后再倍频至 589nm。

(1) 利用和频发生器产生钠信标激光

Nd:YAG 激光器的两条强增益线(1064nm 和 1319nm)几乎可完美地通过和频产生 589nm 辐射。2003 年,空军研究实验室基于双共振和频的原理,研制出了 20W 连续波衍射极限的 589nm 光源^[11]。来自两台 Nd:YAG 激光器的 1064nm 和 1319nm 波长的红外光,在法布里-珀罗环形共振腔里共振,并在腔内的三硼酸锂非线性晶体里产生了 589nm 波长的黄光。输出的光束是衍射极限的线偏振光,功率转换效率超过 55%^[12]。

2004 年夏末,空军研究实验室开始设计和研制 50W 的连续波钠导引星的激励源,激光器最近已被研制成功并安装在星火光学靶场的 3.5m 望远镜里,如图 1 所示。这个激光器系统由工作在 1064nm 和 1319nm 的两个注频锁相 Nd:YAG 环形激光器与一个装有和频发生器的双共振腔组成。在双共振腔里,这两个波长的激光在三硼酸锂晶体中产生了具有衍射极限的线偏振 589nm 光束。图 2 给出了 50W 连续单频 589nm 激光器系统的 4 个主要功能部件的框图。它已为导引星产生了高达 50W 的 589nm 光,这是单频固体激光器重要的新成果。

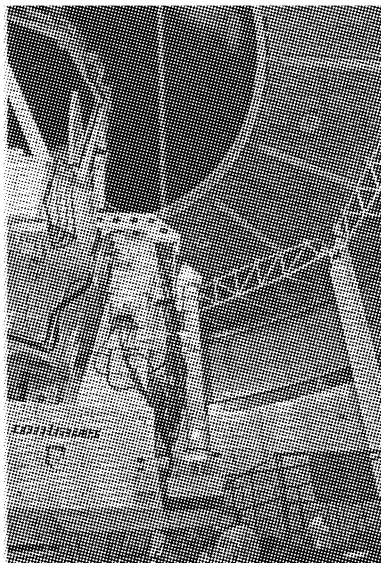


图 1 50W 钠导引星激励源安装在星火光学靶场 3.5m 望远镜的方位角架上

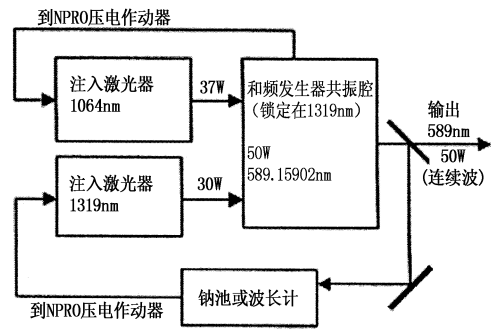


图 2 50W 连续波单频 589nm 激光器系统 4 个主要功能部件的框图

在系统里采用了两个高束质、高功率的Nd:YAG 激光器,1064nm 激光器的输出功率为 100W, $M^2 < 1.1$; 1319nm 激光器输出功率 60W, $M^2 < 1.1$ 。Nd:YAG激光器包含装有串联的激光“发动机”,这些“发动机”装有二极管抽运的布儒斯特切割 Nd:YAG 棒。同样的“发动机”能用在 1064nm 和 1319nm 环形激光器里,根据腔镜的镀膜可产生不同波长的激光。在 2003 年的 20W 系统里,每个环形激光器装有两个“发动机”,而在现在的 50W 系统里增加了“发动机”的数量,以提高功率;与 20W 系统的另一个主要差别是它采用了自动化的监测。环形激光器由单频非平面环形振荡器(NPRO)注入种子光,两个环形激光器产生的高束质偏振光通过一个二向色板和模式匹配合,并进入一个“8”字形的法布里-珀罗共振腔,腔里装有一个 2cm 长的三硼酸锂晶体,经双共振和频发生器产生了所需的 589nm 激光。

从红外光转变成黄光的功率转换效率接近 60%,尽管估计腔内功率达到几千瓦,但并未发现镀膜和三硼酸锂晶体损伤或光束质量下降,令人鼓舞。不计束发射装置的损失,向夜空发射了 11.5W 的黄光(转变成圆偏振),它产生的导引星获得了 1 光子/($cm^2 \cdot ms$)的返回光子通量^[13],这远远超过了大多数天文自适应光学望远镜。之所以采用圆偏振,是因为钠的磁亚能级受到光抽运,增加了返回的光子数。目前系统的效率还比较低,589nm 光的功率还远低于理论的预测值,进一步的工作是提高激光器系统的功率和效率。

(2) 利用喇曼频移产生钠信标激光

有几种方法可实现向 589nm 的频移,例如将 Nd:YAG激光器的输出先倍频至 532nm,再经两次频移产生 589nm 的光;或者先将 Nd:YAG 激光器的输出频移至 1178nm,再倍频到 589nm。

亚利桑那大学为 6.5m 多镜望远镜研制了一种

钠信标固体激光器,它的设计是先将 Nd:YAG 输出的激光倍频至 532nm,然后利用一对 CaWO_4 晶体进行两次喇曼频移,第一次频移至 560nm,第二次频移至 589nm,产生的 589nm 激光功率为 10W,插头转换效率为 5%^[14]。Nd:YAG 激光器用 120W 连续波激光二极管抽运,激光器的带宽保持在 700MHz,通过采用 Nd:YAG 腔中的锁模设计能很好地与多普勒增宽钠吸收谱匹配。

最近斯坦福大学的 Bob Byer 提出采用钨酸钙将 Nd:YAG 激光器的输出喇曼频移到 1178nm,然后再倍频至 589nm。脉冲串由 70 μs 的宏脉冲组成,每个宏脉冲包含了 134MHz 的锁模微脉冲串,并声称获得了好的光束质量和高的效率。这种结构比较简单,因为喇曼过程不需要相位匹配,同时倍频器是非临界相位匹配的三硼酸锂。作者认为此方法可将 589nm 的平均功率输出定标到 100W。

4.2.2.4 钠激光器的未来发展

最近空军研究实验室采用固体激光器技术已研制出了连续波 50W 钠信标照明激光器,为了应用于地基激光反卫中,必须把激光器的平均输出功率定标到 200W,以便用于可见光波长,并以高分辨力探测波前;另一方面,空军研究实验室在探索了产生钠信标激光的各种方法后,认为光纤激光器是一种很有前途的技术。

LLNL 从 2001 年以来也在寻找未来最有前途的钠信标照明激光器技术,他们选择的设计是基于双光纤激光器在周期性极化晶体里的和频技术。光纤激光器和束传输系统的发展,有助于降低导引星系统的成本和提高望远镜自适应光学系统的可靠性。LLNL 利用二极管抽运光纤激光器的通用技术,正在开发钠导引星用的高功率光纤激光器,这种小型、高效、坚固、低成本的激光器将代替在现有几种激光导引星系统中采用的染料激光器,并用于未来更大口径的望远镜,以解决在钠层深部产生的导引星延长问题。

迄今 LLNL 研制的光纤激光器是以连续形式运转的,但这项技术也能以脉冲形式运行,并能定标到高的连续波功率。这项计划的最终目的是要制造能产生任何脉冲形式、工作在 589nm 的高功率激光器系统,占空度大于 1%,重复频率高于 2kHz。

相干技术公司建议为未来的超大口径望远镜建造小型模块式可定标的通用激光导引星,这种用于钠激光导引星的新型和独特的固体激光器结构,能

定标放大到千瓦级的平均功率^[15]。这种激光器结构需要两个关键的部件,一个是通用波形的低功率主振荡器,另一个是小型放大器链。第一阶段将研制基于新技术的小型实验性 20W 的 589nm 激光器;第二阶段将 589nm 的功率输出定标放大到 100W ($5 \times 20\text{W}$),在每一发展阶段都将评估光束通过大模面积光子晶体光纤和双包层光纤的传输;第三阶段将研制能用于望远镜的试验性装置。

4.3 星火光学靶场的 3.5m 武器级束定向器

星火光学靶场 3.5m 望远镜是武器级的束定向器,它配有 941 个单元的自适应光学系统,使它具有地基激光反卫所需的光束控制和大气补偿能力。2007 年进行的“完全补偿向低轨卫星的激光传输”试验将用它进行,以验证满足地基激光反卫的武器级光束控制段大气补偿的可行性和能力。

这台望远镜能收集微弱的星光和向天空发射强激光,它设计工作范围在近红外波长,可在整个可见光波段探测波前,能在可见光和近红外波与所选的频谱内进行光学校正。它的 941 单元自适应光学系统的主要性能是帧频为 2500 帧/s(即每秒能测量大气湍流数据 2500 次),闭环校正带宽为 200Hz,以及与激光导引星兼容。安装自适应光学系统后进行的首次试验结果是补偿后的光强比未补偿的光强度高 65 倍,Strehl 比达到 0.5,半峰全宽为 0.073arcsec。形象地说,它能分辨 1600km 远空间一个篮球大小的物体。

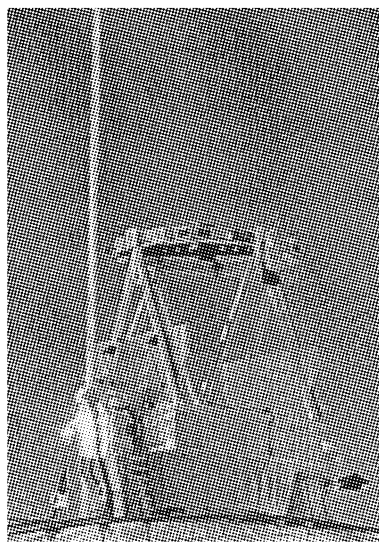


图3 星火光学靶场 3.5m 望远镜发射钠信标激光
(注:原图是彩色的,钠激光束是非常细的黄色光束)

星火光学靶场的 3.5m 望远镜是空军战略光学研究计划中最重要的装置,目前的反卫研究工作是

利用望远镜的自适应光学系统和低功率激光器跟踪与照明卫星,这被认为是发展高功率激光反卫的第一步。这台望远镜每月要进行持续一周的试验,利用大气补偿技术和低功率激光器照射卫星 20 次。其他的反卫工作还包括观测外国的卫星和评估它们可能对美国造成的威胁。图 3 是 3.5m 望远镜发射黄色钠信标激光的照片。

5 结束语

美国军方已研制出兆瓦级的 COIL 和 DF 化学激光器,并建成了两台带自适应光学系统的武器级发射望远镜,口径分别为 3.5m 和 3.67m,因此美国已具有地基激光反卫的能力。

激光反卫武器的主要关键技术之一是光束控制,目前主要的工作是发展和演示激光反卫的武器级束控技术。2007 年,空军将进行“完全补偿向低轨卫星的激光传输”试验,试验将用先进的激光导引星系统和 3.5m 的发射望远镜进行,以演示、验证从武器级望远镜把补偿后的激光传输并聚焦到卫星上的能力。

束控系统的关键部件——跟踪和信标照明激光器仍在研制之中。开发先进的钠信标照明激光器的难度很大,因为要求功率高、带宽宽和空间分辨力高。目前已研制出了 50W 的连续波钠信标固体激光器,并正在定标放大到 200W。对于跟踪照明激光器,已研制出了高束质的 2kW 固体激光器,现已在开发平均输出功率为 5.5kW 的先进跟踪照明 Yb:YAG 激光器。

参考文献:

- [1] The U S. Air Force Transformation Flight Plan[R]. HQ USAF/XPXC, November 2003.
- [2] Hilchens T, Katz-Hyman M, Samsov V. Space Weapons Spending in the FY 2007 Defense Budget[OL]. March 6, 2006, <http://www.cdi.org>.
- [3] Broad W J. Administration Researching Anti-Satellite Laser Weapon [OL]. May 3, 2006. <http://www.nytimes.com/2006/05/03/Washington/03laser.html>.
- [4] DSB Task Force. Ground Based Laser for Space Control [R]. High Energy Laser Weapon System Applications, June 2001, 48-56.
- [5] 任国光. 自由电子激光器为广泛应用开启大门[J]. 激光与光电子学进展, 2005, 42 (1) :3-6.
- [6] Hecht J. US plans anti-satellite lasers [R]. New Scientist, com news service, 3 May, 2006.
- [7] 0603605F Advanced Weapons Technology[Z]. Exhibit R-2a, RDT&E Project Justification, February 2006, 459-460.
- [8] 0603500F Multi-Disciplinary ADV DEV Space TEC[Z]. Exhibit R-2a, RDT&E Project Justification, February 2006, 437-440.
- [9] A Heller. Adaptive Optics Provide A Clearer View[J]. Science & Technology Review, 2006, (6) : 11-20.
- [10] 任国光. 利弗莫尔实验室的激光导引星和自适应光学计划[J]. 研究与发展, 2001, (93) :25-29.
- [11] Bienfang J C, Denman C A, Grime B W, et al. 20W of continuous-wave sodium D2 resonance radiation sum-frequency generation with injection-locked laser [J]. Opt. Lett., 2003, 28 (22) : 2219-2221.
- [12] Denman C A, Hillwan P D, Moure G T, et al. Realization of a 50 watt facility-class sodium guidestar pump laser[A]. Proceedings of SPIE, 2005, 5707:46-49.
- [13] Drummond J, Tulle J, Denman C, et al. Photometry of a sodium laser guide star at the Starfire Optical Range[J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2004, 116(817) : 278-289.
- [14] Ltloyd-Harl M, Angel R, Sandler D, et al. Infrared adaptive optics system for the 6.5m MMT: system status and prototype results [Z]. <http://citeseer.ist.psu.edu/cachedpage/52571/2>.
- [15] National Optical Astronomy Observatory. Adaptive Optics Development Program [OL]. March 26, 2004, <http://www.noao.edu/system/aodp/>.

《激光与红外》网上稿件处理系统开通试运行

为进一步规范管理流程,提高工作效率,更好地为各界朋友服务。自 2007 年 1 月 1 日起,本刊网络稿件处理系统正式开通,目前处于试运行阶段。通过本系统可以实现在线投稿、在线查稿、在线返修稿、在线审稿、在线编辑、在线订阅等功能,并以邮箱、在线信息和手机短信等方式实时交流。

建议作者尽量采用本系统投稿,同时也请大家多提宝贵意见,为期刊建设出谋划策。

欢迎您访问激光与红外网站:www.laser-infrared.com