

国外激光反卫星技术发展综述

付 伟

(东北电子技术研究所 ,锦州 ,121000)

摘要: 为了有效对抗军事卫星 ,先进国家已经开展了反卫星激光武器的研制 ,并具备初步的反卫星能力。作者对国外激光反卫星技术的发展现状加以综述。

关键词: 反卫星 激光武器 激光致盲

Development of laser anti-satellite technology at abroad

Fu Wei

(Northeast Institute of Electronic Technology ,Jinzhou ,121000)

Abstract: This paper briefly describes present state of laser anti-satellite technology at abroad.

Key words: anti-satellite laser weapon laser blinding

引 言

在现代战争中 ,卫星的作用越来越大。海湾战争就是世界上首次将卫星综合应用于实战的一次典型战例 ,多国部队共动用和利用了 10 类约 100 颗军用与民用卫星。而在北约空袭南联盟的作战中 ,使用的卫星更多 ;单在航天侦察与导航方面 ,就使用了 50 多颗卫星 ,其中包括 :3 颗雷达成像侦察卫星 ,3 颗照相侦察卫星 ,3 颗侦察小卫星 ,6 颗气象卫星以及 24 颗导航卫星^[1]。这充分体现了卫星在现代化战争中所具有的重要作用。

为了争夺制空间权 ,美俄双方都在积极发展卫星技术的同时发展反卫星武器 ,并均已具备不同程度的激光反卫星能力。前苏联一直进行激光武器反卫星的研究工作。1975 年和 1981

越高越好 ,其次控制 CCD 有效像元数 n ,使 s 在极小值附近区间内。图 1 中 $s \sim n$ 曲线的极小值点及相应的 n 值见表 2。

Table 2 Minimum measurement error versus valid gray scale

valid gray scale	valid pixel	measurement precision (m)
20	30988	0.791
50	30989	0.317
100	30990	0.158
200	30993	0.0792
500	31020	0.0317
800	31070	0.0198

4 结 论

只要合理设计测量系统 ,CCD 可以用于野外远距离激光光斑测量。

参 考 文 献

- 1 费业泰 . 误差理论与数据处理 . 北京 :机械工业出版社 ,1981 :60
- 2 潘承泮 . 武器弹药试验的检验的公算与统计 . 北京 :国防工业出版社 ,1980 :392

* * *
作者简介 :胡林亭 ,男 ,1964 年 8 月出生。工程师。现从事激光测试技术研究工作。

年,前苏联的反卫星激光武器两度“关照”美国的预警卫星,使之变“盲”。美国陆军在1997年10月进行了激光反卫星试验,引起了世界范围的广泛关注,具有重要与深远的军事和政治意义。

1 卫星的易损性与加固

1.1 卫星的易损性与加固

与导弹和典型的空中或地面目标相比,卫星在受到热攻击时更容易损坏,而且暴露时间长,易受低辐照度进攻。高能激光器反卫星所需的辐照度量级为 $1 \sim 10 \text{ W/cm}^2$,目标能量密度为几百焦耳每平方米。

按照目前的结构设计,卫星极易受到激光的攻击。热管理是卫星设计中的一个关键因素,通常是通过对表面材料的吸收率和辐射率的合理控制,使太阳能吸收和向空间的再辐射达到平衡。一般来说,必须使内部温度保持在很窄的范围内,以保护固体电子学系统。对热管理表面造成足以改变其吸收率与辐射率的损伤,将会导致破坏性的温度偏差,使卫星发生故障。造成这种损伤所需的能量密度为 $1 \sim \text{几百 J/cm}^2$ 。

卫星未被设计成能在整个星体上迅速地重新进行热分配,所以,可以从容地进行激光攻击。典型的反卫星武器方案具有较长的交战时间,这是低地球轨道卫星暴露给地面站的时间。几瓦/ $\text{cm}^2 \sim 10 \text{ W/cm}^2$ 的目标辐照度足以造成破坏。

目前,国外已经研究了有关各种卫星加固方案,新的设计能够达到比较好的加固水平。加固的关键要素是增加热屏蔽,利用循环冷却剂更有效地把整个卫星质量作散热器,用以保存能量;用作有效辐射体来释放热量;以及主动地控制易损电子学系统的温度。

1.2 美国 MSTF3 卫星的基本情况^[2]

美国陆军在1997年10月进行的激光反卫星试验,攻击的目标是即将报废的MSTF-3卫星。该系列卫星原是美国弹道导弹防御局根据“微型探测技术综合”计划研制的,1994年10月移交给空军,共发射3颗,主要用作试验、鉴定与导弹防御有关的微型传感器和其它探测技术的试验平台。首颗MSTF-1于1992年11月发射,在轨道上只正常工作5个月。第2颗星MSTF-2于1994年5月发射,4个月后信号中断,与地面失去联系。MSTF-3卫星是1996年5月17日发射入轨的。卫星直径81cm,高107cm,重211kg(其中负载重量为52kg,推进剂重21kg),运行轨道高度为425km,寿命1年。卫星的任务是测试新型小型传感器技术和收集与导弹防御有关的地面背景数据。卫星的传感器组件为一个三波段成像望远镜,包括 256×256 元锑化铟短波长(2.5~3.3 μm)红外相机和中波长(3.5~4.5 μm)红外相机,以及 499×768 元可见光(0.6~0.86 μm)硅CCD相机。成像系统的孔径直径为10.5cm,焦距38cm,视场为 $1.4^\circ \times 1.4^\circ$,相机的地面目标分辨率为9m。

2 地基反卫星激光武器的组成及其作用

地基反卫星激光武器(CBL)可对卫星上的特定瞄准点进行精确的射击,并累计足够的能量使卫星上的关键部件由于热损伤而失效或被摧毁。当激光器与卫星上光学传感器工作波长相同,激光束位于传感器视场内时,传感器就可能由于饱和而遭破坏。因而,反卫星激光武器可以通过干扰、破坏卫星上的仪器设备或摧毁卫星平台,使敌方的指挥、控制、通信与情报系统瘫痪;也可通过攻击天基武器或激光武器的作战反射镜,而破坏对方的空间防御系统。由于卫

星轨道一般已知,光电仪器设备的破坏阈值较低,因而相对战略反导激光武器而言,技术难度较小,费用较低。具备反卫星能力的地基激光系统中的激光器必须能在较长的工作时间内产生所需的功率值,并具有良好的光束质量。光束控制系统应能实现光束净化,把激光束传输到大口径发射望远镜,用自适应光学技术校正光束畸变,而且应能捕获、跟踪和识别卫星目标,确定并保持瞄准点,判定目标的损伤。一般而言,地基反侦察卫星激光武器的作用距离为 500~1000km,激光武器的平均功率最高需上百万瓦级。但根据美国的试验,几十瓦至几百瓦的激光功率,也能有效干扰军事侦察卫星。

地基反卫星激光武器的优势是其重量和主电源不受限制,并能用重型装甲加以保护。为了有效地通过地面附近的大气湍流,地基激光器必须测量湍流导致的畸变,并加以补偿。

反卫星激光武器可以通过干扰、破坏卫星上的仪器或摧毁卫星平台,使敌方的指挥、控制、通信与情报系统瘫痪;也可通过攻击天基武器或激光武器的作战反射镜来破坏对方的空间防御系统。由于卫星轨道一般已知,光电仪器设备的破坏阈值较低,因而相对于战略反导激光武器而言,其技术难度较小,费用较低。

3 美国和俄罗斯的反卫星激光武器计划的发展

尽管长期以来反卫星武器的研制一直受到政治上的限制,但美俄两国一直未放弃发展反卫星武器,而且均已具备有限的反卫星能力。

3.1 MIRACL/SLBD 具备有限反卫星能力

美国在 1989 年 1 月 9 日通过了一项新的反卫星武器发展计划,将激光反卫星武器与动能反卫星武器放在同等重要的位置上。为此,美陆军战略防御司令部从 1992 年 2 月起,利用“中红外先进化学激光器”(MIRACL)和与之配套的“海石”光束定向器(SLBD)进行了一系列试验,1991 年 8 月 20 日进行的试验中,激光束跟踪并击中了装有测量仪器的、在约 14km 高空飞行的无人靶机,试验非常成功,达到了全部试验目的,光束聚焦点非常接近瞄准,解决了以往试验中所遇到的全部问题,证明 MIRACL/SLBD 已具备有限反卫星能力。海湾战争爆发前数月,美国曾用 MIRACL/SLBD 的反卫星能力来威胁法国,旨在迫使其停止向伊拉克出售法国 SPOT 卫星在海湾地区上空拍摄的卫星图像,并最终取得成功。

3.2 美国空军积极发展激光反卫星技术

美国空军也在研究可跟踪与摧毁在轨卫星的地基激光器系统。正在其柯特兰基地的“星火”光学靶场利用 35m 的望远镜进行综合光束控制的先期技术演示,研究地面到空间的高功率光束传输问题,以验证满足地基反卫星武器系统要求的 GBL 光束控制和大气补偿系统的可行性和综合性能,此项计划于 1999 年底完成。计划于 2005 年建成空间控制用作战使用 GBL 系统,具备初始作战能力。

3.3 美国陆军的秘密激光反卫星计划

美国陆军有一项以前尚未公开的应急演习计划,1997 年 10 月 17 日及其前后进行的首次激光反卫星的试验就是该计划的第一阶段。

试验前,美国陆军于 1997 年 7 月正式向美国国防部提出进行激光反卫星试验申请,并将目标选定为使用寿命即将到期的美国空军的微型传感器技术集成计划的第 3 颗卫星(MSTF3)。1997 年 10 月 2 日,美国国防部长科恩批准进行反卫星试验,并决定由美国陆军空间与导弹防御司令部负责,地点为新墨西哥州白沙导弹靶场的高能激光系统试验设施

(HELSTF)。

3.4 俄罗斯具备初步反卫星能力

原苏联一直在积极研究与发展反卫星激光武器。美国国防部曾估计,原苏联已有两台强激光装置具有反卫星能力,可使低轨卫星致盲或损坏。

4 首次激光反卫星试验及其重大影响

美国陆军在1997年7月向国防部提交的申请中称,这次试验旨在验证MIRACL激光器在紧急时刻击落卫星的能力。但试验结束后却对外界宣称,其目的不是反卫星,而是在保证卫星不受损的情况下使卫星上的红外传感器饱和,即暂时致盲,以获得有关卫星易损性和生存能力方面的数据。这次激光反卫星试验由美国陆军空间与导弹防御司令部负责。试验前,美军声明不会对卫星造成破坏,并对使卫星上的红外传感器达到饱和和使传感器遭到破坏两种情况下的激光功率阈值进行了估计。在1997年10月17日试验中,将MIRACL激光器的功率限制在两者之间^[2]。

4.1 试验经过^[2]

10月4日和6日的两次试验因软件故障和天气原因没有成功。从10月8日到23日,美国陆军分别利用高功率和低功率激光器向该卫星进行了6次激光发射。其中,17日晚利用MIRACL向位于420km高空、正以26800km/h速度飞行的MSTF3卫星发射了两次激光。10月8日,17日,21日,23日利用“低功率化学激光器”(LPCL)进行了4次发射。MIRACL是功率2.2MW的氟化氙化学激光器,中心波长为3.8 μm ,试验中未全功率运行。LPCL是首次披露的激光器,波长与MIRACL相同,但功率值保密,据外电报道仅有30W^[2]。试验时光束定向器的仰角为60°~70°。

4.2 试验结果^[2]

试验前,已对能够使卫星上的红外传感器达到饱和和遭到破坏的两种激光功率阈值进行了预估。17日晚所用的MIRACL的功率介于使传感器饱和与破坏之间。第1次发光功率较低,持续时间小于1s,旨在收集数据,观察卫星受激光照射后的影响。第2次发光功率较高,持续时间小于10s,旨在收集卫星受到反卫星武器攻击时的有关信息。试验开始时,激光器以较低功率运行,随后发生功率跃升,激光腔内的能量形成非正常分布,使激光腔受到局部和有限的损坏。直接观察的结果表明,激光准确地击中卫星,但未能收到卫星传下来的数据。

为此,10月8日在成功地进行对卫星的跟踪与定位的基础上,于10月17日,21日使用LPCL向卫星发射了2次激光,均使传感器饱和,并收集到从卫星上返回的数据,从而使得试验数据更加完善。

4.3 对试验的初步分析^[2]

这种试验以正常在轨运行的卫星为目标星,所以具有实际意义。1997年10月,MSTF3卫星已经超过设计寿命5个月,随时都有可能“寿终正寝”。在卫星已超期服役但仍在轨道正常运行时尽早进行试验,既有实际意义,又可降低试验费用。另外,10月份天高云淡,空气透明度较高,适合进行这类激光试验。

美陆军为避免破坏卫星上的传感器,影响试验的数据采集,根据估算结果对MIRACL激光器的运行功率进行了限制,使之在未满功率运行的情况下对卫星照射,以获取星载红外探测

器从饱和至被破坏过程的数据。试验开始时,激光器以较低功率运行,随后功率跃升,致使激光腔内的能量形成非正常分布,光腔遭到局部的微弱损坏。1996年初,MIRACL激光器曾以500~600kW的功率运行过,并成功击落俄罗斯制造的火箭弹。所以,由此分析,这次试验的激光功率低于500kW。据陆军称,此次试验的运行功率仍在设计指标内,只是以前没有用此功率运行过。

到达卫星上的激光功率大小,除与卫星所在轨道高度有关外,主要取决如下因素:地面激光器输出功率、激光束质量、跟踪瞄准精度和大气对激光传输的影响。考虑到大于400km的距离和大气等影响等因素,500kW的功率值可能不足以造成星上传感器永久性损坏。而且,星上传感器对LPCL激光器的最后2次发射均作出了反应,这就表明MIRACL激光器的2次发射均未使星上的红外传感器受到损坏。

美国《华盛顿时报》1998年1月2日的一篇署名文章^[2]称:“即使低功率激光器的几秒钟照射,也可以干扰空间传感器。”根据美国现有的跟踪瞄准能力,在大气条件比较好的情况下,30W的激光照射也可能使星上传感器作出反应,或使其饱和即暂时失效。因为星上256×256元锆化铟红外探测器是专门用来探测导弹发射和搜集地面与大气状况随季节、时间变化数据的,具有很高的探测灵敏度。

4.4 试验产生的影响

此次激光反卫星试验无论是在美国国内还是在其他国家均引起了强烈反响。试验前,一些观察家就确信,它会引发一轮新的空间军备竞赛,会刺激其他国家研制反卫星激光武器。俄罗斯得知美国将进行激光反卫星试验后,称进行这样的试验将威胁俄罗斯的空间监视与控制系统,会成为一个破坏战略稳定的因素,并提议与美国进行反卫星武器的谈判。法国认为,美国此次试验的目的在于垄断空间信息。拥有反卫星武器将使美国在今后继续保持空间信息优势,从而保证其全球的军事和经济利益。

试验后,低功率化学激光器(LPCL)的试验结果引起了美国国内和世界各地的更大震动,成为人们关注于研究的焦点,极有可能在全球范围内引发激光反卫星与卫星的新一轮军备竞赛。

参 考 文 献

- 1 王 燕. 电子对抗技术,1999;(3):23~28
- 2 秦致远. 现代军事,1998;(7):39~40

作者简介:付 伟,男,1955年出生。高级工程师。长期从事电子对抗技术的研究。

收稿日期:1999-12-27 收到修改稿日期:2000-02-18

简 讯 ·

会议征文通知

第十五届全国激光学术会议将于2001年9月22日~26日在武汉举行,详情请见网站:
<http://www.laserlab.hust.edu.cn>

(本刊通讯员 供稿)