

空间激光武器网在弹道导弹防御中的应用

朱卫纲, 侯国江, 裴世兵

(装备指挥技术学院, 北京 101416)

摘要:随着空间技术的发展,空间武器系统的战术地位越来越重要。通过介绍空间激光武器的组成原理、特性、技术参数等,提出了用于弹道导弹防御的空间激光武器组网模型,对不同组网方式在弹道导弹防御过程中的作战性能进行了分析,并提出了我国发展空间武器需要解决的关键问题。

关键词:弹道导弹防御; 空间激光武器; 空间激光组网; 作战性能

中图分类号: TJ95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)02-0121-04

Application of space-based lasers constellations for ballistic missile defense

ZHU Wei-gang, HOU Guo-jiang, PEI Shi-bing

(The Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: With the development of space technique, the tactical function of space weapon system becomes more and more important. Through introducing the principle, characteristic and technical parameters of space-based lasers, a constellation of space-based lasers for ballistic missile defense is designed. Then, the campaign capability of different laser constellations for ballistic missile defense is analyzed. The key problems for domestic development of space-based lasers are also put forward.

Key words: Ballistic missile defense; Space-based lasers; Constellation of lasers; Tactics capability

0 引言

随着空间技术的发展与成熟,空间系统与其他各种武器系统的配合愈来愈紧密,使得空间系统的战术作用日益提高。目前各发达国家都在进行空间武器的研制开发,如天基核能、动能和定向能(激光、微波、粒子束)武器等。据估计,未来几年全球将有 50 个国家拥有自己的空间系统,高性能的空间武器系统

和抗摧毁能力强的空间系统将是本世纪空间系统发展的重要方向。

空间激光武器把能量以光速形式进行长距离传送来达到摧毁目标的目的,可以用于陆、空、天、信息等范围作战:陆地作战可以打击能够点燃或穿透的薄外壳目标(如油料运输工具等);空中作战可以打击发射前或助推阶段的弹道导弹、飞行中的飞行器或巡航导弹,干扰空中防御电子设备与通信系统;信息作战可以干扰电子设备或通信;空间作战可以破坏发射工

具、卫星以及拦截器等,阻止发往卫星的空中信号,干扰与卫星的联系,致盲或堵塞卫星电子设备。

回顾海湾战争和近期美伊战争,导弹在作战中始终占据不可替代的重要地位,本文主要介绍了用于防御弹道导弹的空间激光武器系统,并对其作战性能进行了分析。

1 空间激光武器与组网

1.1 空间激光武器组成原理与技术参数

空间激光武器是对陆地目标进行致命攻击的定向能武器之一,一般由火箭发动机、推进油箱以及激光设备三部分组成。基本原理是通过化学反应或燃烧等方式产生巨大能量,由氟化氢或氟化氙激光传输能量,并通过光学设备将能量集中到目标的关键部件使其烧毁或被击穿,破坏其性能。

为了进一步讨论空间激光武器,选择氟化氢激光为参照基础激光,其波长为 $2.7 \mu\text{m}$,功率为 5 MW ,主要聚焦光学镜头为 10 m ,辅助镜头、支撑结构大约为其 20% 大小,对新目标的再定位时间小于 0.5 s ,光束浮动小于百万分之 0.08 rad ,激光武器的轨道高度、角度等有关参数如表 1 所示。

表 1 空间氟化氢激光武器的基本参数

Tab. 1 The parameters of space-based hydrogen fluoride laser

Orbit altitude / km	Angle to horizon from nadir/°	Range to horizon/ km	Relative power needed at horizon vs. nadir/ MW
554	67	2680	24.7
1248	57	4158	11.8
3367	41	7355	4.8

假设所防御导弹目标的破坏门限为 10000 J/cm^2 (相当于烧伤人类皮肤所需热量的 10000 倍),激光打击半径不小于 10 cm 。根据所给参数,中距离导弹发射后到达 15 km 高度(激光攻击最小高度)到熄火前 49 s 内,一个单一的氟化氢激光武器(方位角 30° 左右,轨道高度 550 km) 在 1700 km 范围内可以打击 3 枚同时发射的中程弹道导弹。在此过程中,激光武器将消耗 $500 \sim 750 \text{ kg}$ 燃料。实际操作中,激光武器的杀伤能力将随其类型、时间以及在空间激光武器网中

承担的角色不同而发生变化。

1.2 空间激光武器的组网模型

因为单一、固定的空间激光武器不可能攻击任意时间、任意区域发射的导弹,所以必须部署激光武器网以保证能够防御全球范围内发射的弹道导弹。

通常为地面战争提供服务的卫星网主要包括空间卫星的数量、轨道高度以及不同轨道平面卫星的构造配置等,其性能和费用决定了其使用价值。一般卫星网的费用包括坚固的地面设备费用(如通讯终端设备等),这项费用与卫星的设计、发射相比占主要部分。但对空间武器网而言,地面设备只是用来控制卫星,其费用不占主体,所以减少空间武器网的费用就意味着降低空间系统的费用。

空间系统的费用不会因为卫星数量的减少而降低。卫星数量减少,要求轨道高度增加,以覆盖更大的地面区域,这将增加激光武器的攻击距离,从而造成激光武器的尺寸(即功率)增大,花费也随之增加。下面举例说明组网原理。

在部署武器网过程中,激光武器的数目、大小(即功率)随轨道高度不同而不同。图 1 是包括 24 个空间激光武器的武器网在某一时刻的印象图,其中每个激光武器的轨道高度为 1248 km ,绕轨道运行一周时间为 110 min ,24 颗卫星分为 6 组(每组 4 个),每组占据一个平面,6 个平面基本等间隔围绕着赤道并与赤道夹角为 60° 。

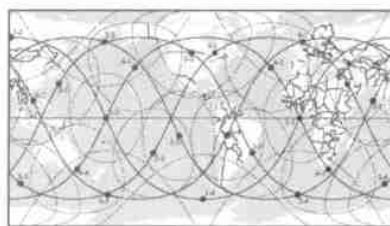


图 1 空间激光武器组网图

Fig. 1 Space-based laser constellations

图中波浪形曲线是某一时刻每一轨道平面卫星在地面上的轨迹,卫星旁的标签表明了其运行路径:卫星 $m-n$ 表示平面 m 上的第 n 颗卫星,沿着地面轨迹从左向右示出了在路径上哪个卫星在下降或上升,每个卫星周围的虚线圆圈描述了该卫星此时的可攻击范围,氟化氢激光武器覆盖区域的高度为 15 km ,虚线圆圈相交部分为覆盖重叠区。这些图形是

不断随时间变化的,要描述其动态过程,必须考虑到卫星每 110 min 绕其轨道运行一周以及地球每 24 h 自转一周的双重运动。

根据图 1 所示激光武器网的组网原理,当激光武器的类型、数量等参数不同时,激光武器网的杀伤力也不同。当部署武器网时如需要升高轨道,空间激光武器的数量可以减少,但因攻击距离增加,需要增加武器的功率(这意味着尺寸增大以及燃料消耗增加)以保持杀伤力;相反,当轨道降低时,武器的数量需要增加,但功率(尺寸)可以减小。

2 空间激光武器网在弹道导弹防御中的作战性能分析

2.1 弹道导弹基本参数

为了说明空间激光武器网对不同导弹目标的防御程度,以三种不同的典型目标为例:短程、中程和洲际弹道导弹,其各自弹道参数如表 2 所示。洲际弹道导弹为典型的固体推进导弹,老式的液体推进导弹熄火时间比其长两倍;导弹到达 15 km 高度的时间是氟化氢激光能够开始打击的最早时间。

表 2 常规弹道导弹基本参数

Tab. 2 Common ballistic missile parameters

Target	Range / km	Flight time/ s	Time to 15 km altitude/ s	Burnout time/ s	Burnout altitude / km	The highest altitude / km
Shot	875	500	50	85	53	225
Medium	3375	1051	61	110	64	650
Intercontinental	7825	1650	44	180	248	1125

2.2 空间激光武器网对弹道导弹防御的作战性能分析

从卫星网的几何分布到物理杀伤力的动态转换是很难预见的,但根据空间激光武器、武器网以及防御目标(弹道导弹)等技术参数,通过计算机仿真计算能够对其作战性能进行评估。图 2 是通过计算机仿真计算得到的氟化氢激光武器网防御中程弹道导弹的性能曲线,布网方式如图 1 所示,武器网包括 24 个空间激光武器,每个激光武器的轨道高度为 1248 km,功率为 5MW。

图 1 示出了一天内随着发射时间的不同卫星网

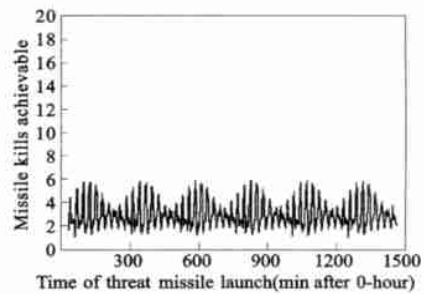


图 2 典型激光武器网杀伤能力曲线图

Fig. 2 Kill capacity of the space-based laser

能够打击导弹的数量,图中高频波与空间卫星绕地球轨道运转的时间相关,其快速变换的相邻波峰(波谷)之间的时间是卫星绕轨道运行一周时间(110 min)的 1/4,反映了同一轨道 4 个卫星之间的间隔距离;低频波与地球自转有关,其相邻波峰(波谷)之间的时间是地球自转一周时间(24 h)的 1/6,如沿着图 1 从发射点画一条水平高度直线,一天内轨道平面的变化决定了什么时间出现波峰或波谷,波谷在发射点远离轨道平面的地面轨迹时发生,波峰在发射点通过或接近 6 个轨道平面的地面轨迹交点时发生。

由图 2 可知激光武器的一个重要特性,即其杀伤力曲线的形状以及其随时间的变化是可预见的,容易被拥有弹道导弹的敌方所利用,知道什么时候发射导弹能够最大限度地通过激光防御。因为激光武器的尺寸使其无法隐藏,所以这是激光武器无法阻止的。

当激光类型、武器数量或所防御的目标导弹范围不同时,空间激光武器网的作战性能也不同,下面通过实例进行说明。表 3 给出以氟化氢激光武器网作为参照基础的不同激光武器网的参数。

表 3 不同激光武器网的参数

Tab. 3 Parameters of different laser constellations

Kill figure	Laser type	Wavelength / μm	Minimum altitude / km	Laser power / MW	Laser aperture / m	Orbit altitude / km	Number of lasers	Target missile range	Case description
Fig. 2	HF	2.7	15	5	10	1 248	24	Medium	Base case
Fig. 3	HF	2.7	15	1	10	550	120	Short	Short-range target
Fig. 4	HF	2.7	15	1	10	550	120	Long	Long-range target
Fig. 5	COLL	1.3	5	1	10	550	120	Medium	Shot wavelength
Fig. 6	DF	3.8	5	1	10	550	120	Medium	Long wavelength

图 3~图 6 是通过计算机仿真计算得到的不同激光武器网的杀伤力曲线图。

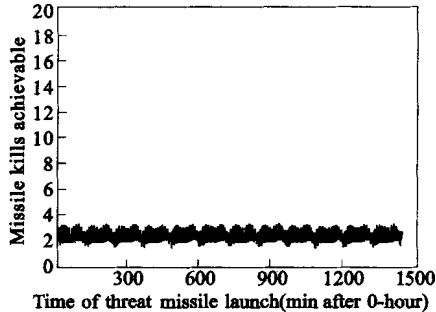


图 3 防御短程弹道导弹杀伤图

Fig. 3 Lower-altitude constellation, kill capacity of space-based laser

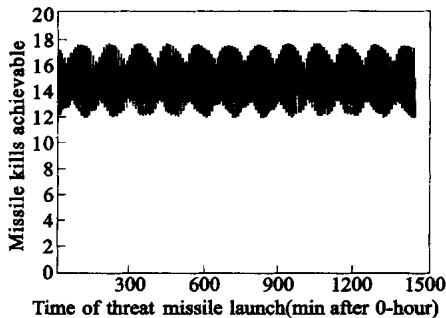


图 4 防御远程弹道导弹杀伤图

Fig. 4 Long-range missile target, lower-altitude constellation, kill capacity of space-based laser

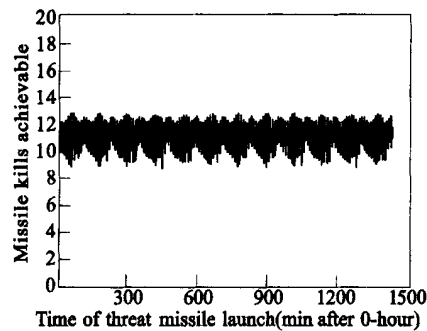


图 5 短波激光武器网杀伤图

Fig. 5 Short wavelength, kill capacity of space-based laser

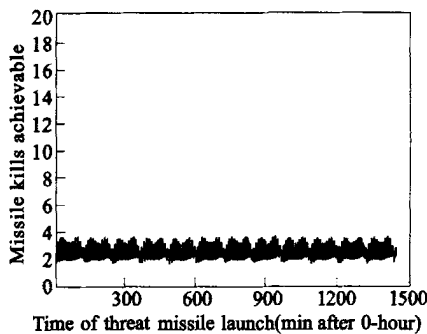


图 6 长波激光武器网杀伤图

Fig. 6 Long-wavelength, kill capacity of space-based laser

由上图可见,除受轨道高度、武器数量以及功率影响外,空间激光武器网的杀伤力还受以下因素影响:

(1) 导弹目标。图 3 与图 4 是同一激光武器网,但二者防御的导弹目标不同,图 3 是对由伊拉克发射到以色列的短程导弹进行防御,图 4 是对由俄罗斯发射到华盛顿的远程导弹进行防御,比较可见:防御短程导弹的最小数目是两个,而防御远程导弹的最小数目是 12 个,即导弹目标越远,激光武器网防御能力越强。

(2) 激光波长。比较图 5 与图 6 可得,波长越短,其聚焦能力越强,杀伤力也越强,反之则聚焦能力、杀伤力减弱。图 5 所示短波激光武器网的杀伤力(同时打击 10~12 个)是图 6 所示长波激光武器网(同时打击 2~4 个)的 5 倍。

一旦激光武器的波长足够短,功率足够大,具有足够的穿透力,也可以将激光武器部署到地面,而在空中只保留光学镜头以将能量反射到攻击目标。这种组网方式的优点是解决了武器的燃料供给问题,减少了运输费用,但其能量损失较大,且更容易受天气影响。

3 我国发展空间激光武器需解决的关键问题

目前我国研制空间激光武器需要解决的问题:

(1) 激光能量的产生与供给:空间激光武器传输的能量流密度越大,其击毁目标的时间越短,杀伤速度越高,突破防御的能力也越强。激光能一般以化学燃料或电子能等形式储存,其能量转化为攻击目标所需能量的效率决定了能量产生的强度,能量转化率越高,所需要的燃料越少,激光能强度越高。以氟化氢化学激光为例,每秒产生 1 MW 激光能量需要燃烧 2~3 kg 燃料,如果摧毁 3 枚导弹,至少需要消耗 500~750 kg 汽油燃料,所以,当攻击多枚导弹时,中间还需进行燃料的补给。

(2) 研制高性能的光学设备:激光武器的攻击点必须非常小才能摧毁目标,把激光能量集中在目标上的能力主要取决于光学镜头的大小,光学镜头越大,激光波长越短,激光武器的攻击效果越好。目前美国航空航天局正在研制的新一代空间镜头可以作为空间激光武器镜头,这种镜头由质量很轻的分断镜头组成,重约 2500~3000kg(包括火箭发动机和推进油箱),

(下转第 149 页)

图 5 描述的激光标准衰减器由等长单模光纤组成,其衰减倍数可在同等激光功率密度下进行标定或根据光纤芯径尺寸进行理论计算获得。对于超强激光的衰减将其作为标准物质,一次报废,或端面切割;根据测试要求在其输出端进行均匀分布规律下的分组或一定规则形式下的分组,提高其衰减倍数,采用多探测器测量,给出其相应参数。

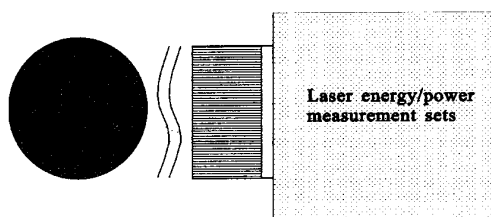


图 5 强激光标准衰减器

Fig. 5 Laser attenuator

图 6 所述高功率半导体激光光场分布测量仪是将光纤束的接收端面改成球面分布,在光纤束中加入不同波长的光栅光纤。

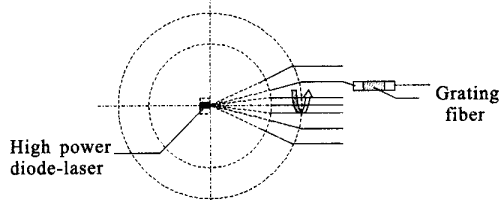


图 6 高功率半导体激光光场分布测量原理图

Fig. 6 High power diode-laser spatial profile measurement

(上接第 124 页)

直径约 8 m。当这种研究技术成熟后,用于攻击地球目标的空间激光武器将成为可能。

(3) 有庞大的经费支持:空间激光武器从实验室研制、发射、空间运行到实施攻击,每一环节都需要大量的经费支持,这就对军费开支、国防经费投入等提出了更高的要求。

参考文献:

[1] Abrams Jim. House Backs Missile Defense System[J]. Boston

5 结 论

在过去的 5 年里,完成了对该测量仪的设计工作,并进行了大量的实验研究,该系统能够满足目前激光系统科研与生产常用的纳秒级激光参数的测量需求,该系统的应用推广将有利于激光系统科研与生产过程的质量控制。

参考文献:

- [1] Schulz K R, Schrebarth S, Fabry U. Hellas :obstacle warning system for helicopters[A]. Proceedings of SPIE[C]. 2002 ,4723. 1-8.
- [2] Asher Gelbart , Brian C Redman , Robert S Light , et al. Flash lidar based on multiple-stil streak tube imaging lidar[A]. Proceedings of SPIE[C]. 2002 ,4723. 9-18.
- [3] Barry L Stann ,Ahmed About-Auf , Keith Aliberti , et al. Research progress on a focal plane array lidar system using a laser diode transmitter and FM/cw radar principles[A]. Proceedings of SPIE [C]. 2002 ,4723. 19-30.
- [4] Wirtz M , Ditzler R. Simplified image correlation method using off-the-shelf signal processors to extract edge information using only spatial data[P]. United States Patent : 6259803 ,2001-07-10.
- [5] Globe , 1999 ,24(5) :64-65.
- [2] American Physical Society. Science and technology of directed energy weapons - acquisition , tracking , and discrimination[J]. Review of Modern Physics , 1987 , 59(3) :145-168.
- [3] Bender Bryan. US blueprint for future weapons systems is outlined [J]. Jane's Defense Weekly , 1999 ,24(4) :136-140.
- [4] Bob Preston , Dana Johnson. Space weapons for earth wars[J]. Technology Wednesday ,2002 ,120(3) :165-170.
- [5] 侯国江 ,沈怀荣. 未来空间武器新概念研究[A]. 第二届全国军事航天学术研讨会论文集[C]. 2002. 513-516.