

美国物理学会发表有关定向能武器的报告

Gloria B. Lubkin

1983年3月,美国总统里根发表了有关“星球大战”的电视讲话。“星球大战”计划的主要内容是建立弹道导弹的防御系统,可将来犯的导弹在其飞行过程中就加以消灭。同年11月,美国物理学会(APS)组织了一项关于定向能武器(directed energy weapon,简称为DEW)的研究,并于次年11月正式成立了有关的研究小组和审查委员会,专门研究这种武器的技术现状及应用前景,着重于激光以及高能粒子束在弹道导弹防御中的应用潜力,并对相应的各种参数作出估算。

1986年6月,小组完成了一份长达800多页的报告。其最后文本于1987年4月在克里斯托城召开的美国物理学会会议上发表。有人认为,这是美国物理学会迄今最重要的工作。下面就是报告的摘要和主要结论。

对于在战略防御系统中作为重要杀伤武器的定向能武器,应达到下面的要求:

1. 在敌弹的助推飞行阶段

(1) 产生足够的功率或能量以击毁敌方弹道导弹;

(2) 发出高质量的、具有很好的准确性和灵活性(重新瞄准能力)的束流,以便在允许的时间内击中目标;

(3) 有能使激光击中目标的光学系统;

(4) 有准确的探测和定位装置,可以在敌弹从发射到被击毁的过程中完成一系列准确的跟踪;

(5) 能可靠地核实目标是否被击毁。

2. 在敌弹的飞行途中

(1) 能识别重返大气层的飞行物和假目标;

(2) 能对于飞行中的大量目标进行准确的

探测、跟踪和击毁情况的核实;

(3) 快速重新瞄准并发射足够的能量击毁目标。

3. 在敌弹飞行的结束阶段

对快要结束飞行的敌弹,所采取的行动最好不由定向能武器担任重要的角色。

4. 空间站应具备的条件

(1) 用原子反应堆或别的办法来提供站中的常规用电;

(2) 适当的时候可向定向能武器短时间提供大量的能量;

(3) 空间站上的所有部件和子系统,在长时间放置中能保持可靠性。

5. 系统有较好的存活性

(1) 定向能武器必须能够在作战中不利的环境下进行操作;

(2) 定向能武器必须同一个包括自身防卫指挥、控制、通讯和情报各子系统的总体系统结合起来。

报告中,除了3,4(3)和5(2)没有考虑以外,其余都得到了详细的阐述,下面是一些主要的结论:

1. 目前可以考虑用来制造定向能武器的化学激光器有:氟化氢/氟化氙连续波激光器和碘原子激光器。前者可产生200kW以上的功率。但即使最低的战略防御水平,也还需要在保证粒子束质量的前提下,将激光器的输出功率再提高两个数量级;而碘原子激光器,目前只能连续输出5kW的功率,需要提高五个数量级。由于大气的吸收,氟化氢激光器只能用在空间站上,氟化氙和碘原子激光器可用于地面设施上。同时,在空间站上若使用化学激光器,则还有一些实际问题有待解决。

2. 准分子激光器 (excimer laser) 的脉冲能至少要提高四个数量级。而且, 为了使这些激光器发出所需的重复脉冲, 还要做许多改进。

准分子激光器的单脉冲能目前可达每模每微秒 10kW, 主要使用的原料是氟化氙和氯化氙。提高脉冲能的可行办法是将几百个单模用光学手段相干叠加, 然后用喇曼散射或别的方法来输出。

3. 自由电子激光器是最新的技术之一。目前在 $1\mu\text{m}$ 波段产生的功率最高可达 1MW; 在 8mm 波段最高可达 1GW, 且具有很高的效率。但是, 可以实用的光功率估计平均应为 1GW。一些物理上的想法也还需要得到实验的证实。

4. 核爆泵浦 X 光激光器 (nuclear explosions pumped X-ray laser) 目前还处于最初的研究阶段, 其可用性还没有得到证实。由于存在大气层带来的影响, 它的使用在高度上也将受到一定的限制。

5. 中性粒子束加速器必须在保持归一化粒子束发射不增加的前提下将其电压和占空因数提高两个数量级。为了避免同大气分子相碰而造成粒子束的损耗以及由碰撞造成的电离而引起的地磁偏转, 装置必须放于空中。例如动能为几百个 MeV 的粒子束的工作高度最小为 120km。

6. 高能电子束需要在激光器产生的等离子体隧道中通过, 以免被地磁场偏转和同空间电荷碰撞。如果用作杀伤武器, 则估计其加速电压至少要提高一个数量级, 脉冲持续时间至少应提高两个数量级, 平均功率至少应提高三个数量级; 如果应用于主动识别技术, 则脉冲持续时间、平均功率均至少应提高两个数量级, 传播距离也还应增加几个数量级。

目前, 激光产生等离子体通道的技术还需要发展。由于空间的限制, 所以要求能够快速重新瞄准 ($\sim 0.1\text{s}$) 和有高的重复率 ($\geq 10\text{Hz}$)。

7. 为使大多数激光武器装置达到接近衍射限制的水平, 必须借助于相位调整技术。同时,

在一个多激光系统中, 把来自不同模的激光叠加成单衍射限制束也需要相位控制技术。这些技术的输出功率值还应提高多个数量级。

8. 为了获得大有效孔径的光学系统, 在靶子上聚集足够大的光强, 望远镜系统的动态调相技术应有很大的发展。计算表明, 所需相调整元件的数目起码应比现在的高出两个数量级。

目前, 地面用的天文望远镜的初级镜片的孔径大约可达 8m。由于定向能武器应有迅速重新瞄准能力, 因此能够实用的最大的初级镜片也就是这个量级。要想获得更大的有效孔径, 就必须将一些小的望远镜用动态调相的方法结合在一起。就是说, 要把进入每一个望远镜的激光束的波前进行动态调整之后输出。要达到防御系统所要求的孔径, 估计要有一万至十万个调节器。

9. 在空间站的光学子系统中, 使激光束射向目标的巨大的初级镜上的光学膜极易受损, 这些镜片对于来自别的激光的辐射是很脆弱的。例如, 反射膜的连续波最大负载功率约为 $100\text{kW}/\text{cm}^2$, 对于 $3\mu\text{m}$ 波长的激光脉冲, 为 $10\text{MW}/\text{cm}^2$ 。对于别的波段如可见光、近紫外线或 X 射线, 反射膜的最大负载会大大下降。而且, 当镜片长时间地使用时, 在其周围所产生的高能粒子 (即能量为 MeV 量级的质子和电子) 也能对高反射膜造成破坏。

10. 对于产生高能激光的光学系统来说, 其中的二级小镜片, 由于其面积小而通过的能量高, 需要用吸收率很低的膜和有冷却措施, 否则会被损坏。

11. 对于地面的弹道导弹防御系统, 要考虑各种复杂的地理条件以及气候的影响。为了避免恶劣气候的影响, 以保证在必要时至少有一个基地能够使用, 必须将几个基地在地理位置上分开。从气候统计学上讲, 在美国的七个不同地区分别设立防御基地即可提供 99.97% 的安全保险系数。

12. 还需要研究有关的技术来解决大气光行差的效应给地面激光系统带来的影响。激光

束自身引起的温度激增 (thermal blooming) 以及大气湍流都会产生大气光行差, 需要采用线性或非线性光学的方法来预先补偿。有关的低能实验是很成功的, 但对于高能激光的相应技术还有待发展。估计此项技术所需的调节器数要比目前所用的数目起码提高两个数量级。

13. 从地面站输出的高功率激光在空间中传播时, 要面临各种由于大气的散射(如瑞利散射)和吸收而带来的损耗, 这也许会迫使防御系统采用大的地面光学发射终端。

14. 由于大气中的非线性散射(受激喇曼散射和臭氧吸收造成的热流动)的影响, 从空间站上发出激光束射击敌弹受到高度上的限制。对于短脉冲激光, 只有在敌弹上升到八万米高空时才能予以攻击。否则, 能量将被耗掉, 无法攻击目标。

15. 对于洲际弹道导弹的发射的探测, 要有很高的探测率和较低的误警率。如果对助推阶段的敌弹的命中率为 90%, 那么探测率就要在 90% 以上。只有保证极低的误警率, 才可以使防御系统不致在和平时期启动。

16. 对于助推阶段的敌弹的红外线轨道探测, 要加上别的方法的辅助, 才能达到定向能武器的瞄准要求。

对敌弹的跟踪要通过探测其助推器喷出的火焰所发出的强短波红外辐射来进行。但是, 由于火焰的亮度大大超过了箭体本身的亮度, 因此精确地探测敌弹本身的位置的技术还是值得研究的。在可以考虑的各种主动跟踪方法中, 微波雷达发展得最快, 相应的电子干扰技术也有了很大的发展。如果要求对助推器的火焰发出的射线可以快速重新瞄准并同时可以获得图象, 那么光学雷达也许更有希望。

对于助推后和中途阶段的敌导弹的准确跟踪, 要有主动的传感系统对弱的热信号进行探测。当然, 必须辅之以光学或微波雷达。

17. 当敌弹通过了助推阶段而未被消灭时, 敌方就会用许多手段(如散置、施放假目标等等)来迷惑防御系统。要解决这个问题, 定向能技术也许会提供一些帮助。例如, 用粒子束来

诱发二级发射或发出激光脉冲引起敌弹速度的改变。这就需要大量的增加装有传感器和探测器的空间站。目前, 这些都仅限于概念上的和最初实验的阶段。

18. 就目前所知的苏联的助推器的数量及性能, 敌方大概可以使用 50 万甚至更多的威胁物(包括重返大气层的飞行器和假目标)。这无疑将给助推阶段的有效防御系统带来很大的压力, 因为它必须在助推阶段消灭绝大多数敌弹和识别大部分假目标, 即使只有百分之几的遗漏也会使整个防御系统处于被饱和轰炸的危险境地。应付这么多的威胁物, 同时也给传感器和指挥战争的电子计算机提出了挑战。

19. 关于空间站上的设施的建立, 也有许多问题有待解决。首先, 为了保证空间站的正常运转(如维持一定的高度, 冷却镜头, 和操纵雷达等), 必须建立核反应堆发电厂来提供电力。这是一项工程上具体问题很多的十分艰巨的任务。其次, 使用空间站上的电动定向能武器的基本用电的供应也存在着技术上的障碍。用于供电的化学或原子火箭发动机和发电机要和空间站有一定的距离, 这需要一个复杂的能量传输系统。同时, 在定向能武器使用期间, 化学燃料的消耗可高达每分钟五吨以上。这些问题都是有待解决的。

20. 防御系统中所使用的任何空中设施, 其要求具有的基本特点之一是很强的生命力。但目前来说, 这一点是很令人担心的。

空间站上的许多设备如传感器、光学镜片等是很脆弱的, 因而在战争中将成为敌人重点攻击的目标。同时, 由于它是在空中绕地飞行的, 这会给敌人以很长的时间进行瞄准。即使低于战略防御系统要求的定向能武器也可以对之形成真正的威胁。相比之下, 它的自身防御能力是很差的。由于地面的设施不能大量地再生, 因此也会是敌人重点攻击的目标。它必须能够有效地抵御除弹道导弹的袭击以外的多种威胁, 如巡航导弹和各种破坏活动。

21. 核爆泵浦 X 光激光器有着很高的能量重量化, 这对于空间传感器、电子和光学器件都

有着威胁作用。如果得到了顺利的发展,将会给空中设施带来严重的威胁。

22. 建立起弹道导弹防御系统要花很长的时间。敌人会在这一段时间里做出反应,采取相应措施。我们预先不会知道面临的将是哪一种威胁,因而防御系统必须设计成能应付多种而不只是一种威胁的系统。

在系统技术上的可行性的讨论得出结论之前,必须要了解敌人会做出哪些具体的反应,如对防御设施的攻击、进攻力量的加强和大量的假目标的假用。因为防御系统是为将来而设计的,因此它不仅应该能抵御今天的导弹的威胁,还应该能在将来的战争中担当重要的角色。一个仅为应付现在的威胁而设计的防御系统在将来使用时很可能就不灵了。

附录: 几种激光器的工作原理

1. 化学激光器

化学激光器是通过放热化学反应(最典型的反应过程是把分离的氧化剂和燃料流迅速地在光学谐振腔中混合起来发生反应)放出能量来激发分子振动能级而产生激光。例如,在氟化氢激光器里,使用燃烧室来产生原子氟,然后同氢分子发生反应,产生出激光的激发态,即处在受激振动态的氟化氢分子。

2. 准分子激光器

用电子束或气体放电来引起气体的激发或电离,

从而引起一连串的化学反应,使那些基态是相互排斥的或是结合较弱的分子受激,实现了能态占有的反转。稀有气体的卤化物分子(如氟化氙和氯化氙)是准分子激光器的常用材料,它会以很高的效能(2—7%)发出软紫外辐射,它很适合于制造杀伤武器。单个激光谐振腔用非稳态谐振器输出高功率,不会对光学器件造成损坏。

3. 自由电子激光器

把高能电子束送到磁场中来产生相干辐射,实际上就是将束能转变为电磁波的能量,这就是自由电子激光器。高能电子束的获得可以用射频谐振腔或直线加速器加速电子的方法实现。相应的加速器叫做射频直线加速器和感应直线加速器,相应的自由电子激光器也是同样的叫法。由于它们的加速梯度很小,因而感应加速器必须很长(加速几兆电子伏特的电子要有几百米的长度),以至于不能被用作激光振荡器;而射频自由电子激光器既可用于作振荡器又可用于作放大器。但是,高能的振荡器会引起光学元件的损坏。

4. 中性粒子束发生器

它是由负氢离子(H^-)源,提供初段加速和离子束横向聚焦的射频四极子,完成主要加速部分的漂移管直线加速器,扩大粒子速截面的束流放大器,和去掉 H^- 上的一个电子产生中性氢原子的脱模机五部分组成。当然,需要使束流取向一定且在最后射出之前要测定其方向。

(王旭、夏国强根据“Physics Today”

1987年第5期第S1—S16页编译)

(上接第294页)

有益的讨论,在此谨致谢意。

- [1] S. Roth and W. R. Willing, *App. Phys. Lett.*, **18** (1971), 328.
- [2] H. A. Lamonds, *Nucl. Instr. Methods*, **213**(1983), 5.
- [3] J. S. Iwanczyk et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-31**(1984), 336.
- [4] J. L. Warren, *Nucl. Instr. Methods*, **213**(1983), 103.
- [5] S. N. Toubektsis et al., *J. Crystal Growth*, **73**(1985), 589.
- [6] K. Conder et al., *J. Crystal Growth*, **74**(1986), 416.
- [7] R. C. Whiede et al., *Nucl. Instr. Methods*, **162**(1979), 113.
- [8] A. Burger et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-30** (1983), 368.
- [9] J. S. Iwanczyk et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-30**(1983), 363.

- [10] 张光明等,核仪器与方法,4-4(1984),82.
- [11] A. J. Dabrowski et al., *Nucl. Instr. Methods*, **213** (1983), 89.
- [12] S. P. Faile et al., *J. Crystal Growth*, **50**(1980), 752.
- [13] 刘雨人等,核技术, No. 5(1985), 1.
- [14] M. Schieber and M. Roth, *J. Crystal Growth*, **65** (1983), 353.
- [15] G. R. Ricker, J. V. Vallergera et al., *Nucl. Instr. Methods*, **213**(1983), 133, 145.
- [16] M. Dahlbom et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-32** (1985), 533.
- [17] C. Ortale et al., *Nucl. Instr. Methods*, **213**(1983), 95.
- [18] A. Levi et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-29**(1982), 457.
- [19] 云昌全等,核技术, No. 7(1986), 35.
- [20] 徐登仁等,核技术, No. 9(1986), 47.