

战略防御与太空武器

· 施义晋



透过海湾战争的硝烟，人们惊奇地发现现代高科技已悄悄地渗透进了战争体系。不仅“电子对抗”之类的新名词使人们大开眼界，而且在防御上也出现了新的突破。美国耗费了25年时间，22亿美元研制的“爱国者”反导弹导弹以80%的成功率拦截了伊拉克射向沙特与以色列的“飞毛腿”导弹。这是数千年战争史上矛与盾的竞争中，盾占了上风的一个例子。

矛与盾这是战争双方必备的武器。在当今世界上，核战争的威胁并没有完全消失，世界的武器库中保存着足以毁灭人类文明的核武器。核打击力量加上各类中远程导弹、火箭、航天飞机、卫星、空间站等运载工具，已形成了战略上的进攻性威胁。作为一般战争规律，有矛必有盾，战略防御概念也必然会应运而生。因此有人说，这是新一轮的扩张军备的竞赛，也不算为过。

美国先前提出过准备两个半战争的战略思想，后来又改为一个半战争的战略。就是说要让美国的战争防卫体系能同时应付一场全球范围的战略性的核战争及地区性的常规战争。这场海湾战争就充分体现了美国应付地区性局部战争的能力。

那么全球性核战争包含什么内容呢？这主要是一场太空战争。人类几千年的战争史，将小范围的格斗演变为横跨几大洲，广及天空海洋，纵深几千公里，上下几十公里的立体战争。现在人类的科技进步，又将战争范围延伸进了太空。美国前总统里根在1983年3月23日发表了一个演说，呼吁美国科技界发展一种“当战略弹道导弹到达美国本土之前能够将其拦截和摧毁”的防御系统，正式提出了发展太空武器的要求，这也就是俗称“星球大战”的美国“战略防御倡议”的第一次公开出笼（简称SDI）。SDI的最终目标是使导弹核武器成为过时的东西，就像拿了轻武器去对付坦克装甲车一样，使核导弹失去战略威慑的价值。这是对高科技提出的挑战。

学》上发表了《重核二分之欠对称》的研究简报，提出了裂变不对称的一种解释。1948年我还在《科学世界》上发表了《从铀之分裂谈到原子弹》及《海水传音》两篇总结性论文。1947年我受聘为中国科学社的特约物理编辑及中华自然科学社的原子物理特约编辑。1948至1949年我还受聘为齐鲁大学杭州分校物理系兼任教授。

多年教学中，我对经典流体力学基本方程（纳威尔-斯托克斯方程）深感怀疑，即对斯托克斯认为体积粘滞性为零的根本假定不以为然。我以物质应变时内部有分子驰豫过程导致第二种粘滞性不是零为根据，修改推广了原有的纳威尔-斯托克斯非线性方程，取得

目前提出来的太空武器主要有两类，一类为动能武器，当然不包括弓箭、枪弹之类，另一类为定向能武器，它包括大家在科幻片中早已熟悉的激光武器，粒子束武器，定向辐射核武器。当然光有武器是不解决问题的，战斗中瞎子即使全身武装胜算的把握是不大的，必须有相应的发现目标，判断意图，识别真伪，跟踪监视直到判定将其销毁的信息探测处理系统。因此人们把两类武器及信息系统合称为SDI的三大技术支柱。

为了说清这三大支柱的要点，让我们看一看核弹头运载工具洲际弹道导弹的运动情况。洲际导弹一般采用两级或三级火箭，例如美国的固体燃料导弹MX用三级火箭加一级称做后助推器的小火箭，达到每秒7.1公里的速度飞出大气层。第一级火箭在60秒之内使导弹达到每秒2.5公里，升到25公里的高空。第二级火箭在一分钟内使导弹升至95公里高空，达到每秒4.5公里的速度，第三级则可升至250公里高空，每秒6.5公里的速度。三分钟后，助推器结束了，后助推器将所携带的核弹头分别加速，进入各自轨道以打向不同目标，这就是多弹头分导装置，此时导弹将分离出数以千计的大小形态各异的诱饵，与真弹头混杂。由于导弹已进入太空，在那里几乎没有空气，各样东西不分形状，大小，轻重，全以同样的轨迹运动。要在几千个诱饵中识别出真弹头来是很困难的。经过几十分钟飞行后，导弹及诱饵又进入大气层。由于大气的阻力，导弹会发热且与诱饵显示出不同的运动状态，因此在这个再入段，发现与识别相对来说要容易些。但此时只有30秒的时间，导弹就将击中目标了。

苏联的洲际弹道导弹SS-18情况亦差不多，只不过它是用液体燃料火箭，助推时间要长些，达六分钟。

从上述情况看，要拦截洲际弹道导弹最有利的时间是在它发射后的助推段的末尾，一则由于运载火箭的外壳相对于

能解释声吸收反常现象的结果，后来以《容变粘滞性之唯象理论》为题，发表在《中国物理学报》1950年9月7卷5期362至375页上。

1949年3月3日三儿永芳生于浙江大学医学院附属医院。5口之家原有两间房已不敷用，乃从学校借款加建一房。不久，岳父吴仪叔从安徽桐城避乱到来同住。后来岳母也来到，一家7口，也不感觉敞了。在杭时期，我还应邀两次演出京剧，一次在校园演出《四郎探母》中坐宫、会妻、哭堂、回令四场；另一次在杭州市内大世界劳军演出《断臂说书》。

（待续）

弹头来讲要脆弱得多,而弹头要带着高速度重返大气层,与空气的剧烈摩擦会产生熔化表层的热量,因此核弹头都有着厚厚的散热外壳,二则由于助推段火箭强大的尾焰,给探测与跟踪带来极大方便,三则导弹尚未分导与放出诱饵。目标单一且巨大,四则它已进入太空,是太空武器的作战场所。拦截的第二个有利时机是导弹的再入大气层段。只要有合适的探测与识别手段在长达数十分钟的无动力,无阻力的椭圆弹道运动段拦截真弹头不是不可能的,但显然要有很灵敏的探测能力,尽可能多地(因诱饵上千倍于真弹头)发现每一个可疑目标,还要有极精确的识别能力,迅速、可靠地识别出核弹头。

在将来战争中还要对付处理卫星体系,因为它是信息系统中很主要的一环。打掉卫星系统等于打掉对方的眼睛、耳朵,另外它还可作为天基武器直接参加战斗。由于卫星轨道参数是确定的,对付它相对来说容易得多。因此战略防御主要是弹道导弹的防御问题。

由于战略防御的战场主要在 100 公里以上的高空,大气的红外吸收问题基本上不存在,因此红外探测可以完全代替微波雷达。由于红外线的波长比微波小三四个量级以上,因此所需的天线,探测器的尺寸也可相应减少。此外由于雷达自身发射雷达微波需很大的功率源及微波发生器因此将雷达搬上太空是很困难的。例如 60 年代美国设计的反弹道导弹系统需用一座大楼那么大的地面相控远程搜索雷达,来探测接近地平线出现的目标。由于红外探测器很小,可装在卫星上,冲破了地平线的限制,这就使反弹道导弹的战略防御(SDI)概念得以产生。

现在我们再来看一看 SDI 的其余两大支柱首先看看动能武器。我们都知道现代机场上一个很重要的问题是驱赶麻雀等一些低空飞行的鸟类,它们如果闯入飞机的航道与飞机相撞,将会发生可怕的惨祸。动能武器就是基于物体所携带的动能与速度平方成正比的道理,希望将小物体加速到很高速度来撞坏目标。例如 2 两重的一颗小弹丸,以每秒 10 公里的速度与目标相撞,将产生相当于 1 公斤 TNT 炸药的 5 百万焦耳的破坏能量。由于空气的阻力也与速度平方成正比,因此要想保持物体长距离(千公里之外)高速飞行,只有在太空中才有可能。[另外高速动能武器必须有高精度的自动制导能力来寻找运动着的目标。在大气层内,由于摩擦,动能弹丸自身表面上产生了一层高温等离子体,会干扰自身的红外探测器工作,因此从以上两方面考虑,动能武器最好的作战场所是在太空。使弹丸得到高速的方法除了用火箭之外有人提出用大电流短路时产生的洛仑兹力来加速弹丸,即电磁轨道炮,它可产生一万倍的重力加速度。由多个加速节串联的百米长轨道,可获得每秒 20 公里的速度。美国利弗莫尔国家实验室不久前提出了另一种戏称为“神奇卵石”的动能武器概念,这是一个具有智能的灵巧火箭。由于当今微电子技术的发展,该装置上所配的相当于克雷-1 巨型计算机能力的微型机只有 2 两重,加上燃料、推进器、探测跟踪元件总重量亦只有 1.5—2.5 公斤,它可以自动发现跟踪并摧毁来袭导弹。每颗“卵石”价值 10 万美元,如果在全球上空部署 10 万颗这样的“卵石”,加上发射费用,也不过 200 亿到 300 亿美元,这相比于其他设想要经济得多。而且据计算,作为一般非战时防御用,只要部署四、五千颗就够了。

第二类太空武器是定向能武器,即定向发射能量的装置。

动能束流有微观粒子束,激光束,核辐射束等。

粒子束武器分带电粒子束与中性粒子流。带电粒子束受地球磁场的偏转不可能射向上千公里外的目标。最近提出的激光束形成的电离通道技术,使带电粒子束武器概念重新提了出来。但要保持带电粒子束不受地磁场的偏转,这就限制了使用范围。首先不能用在过分稀薄的大气层,因为要用于克服地磁场的正离子最小密度为 $10^7/\text{cm}^3$ 亦即不能高于几百公里。另外当大气密度太大,带电束流在等离子体内会激发不稳定性,因此也不能低于几十公里。这样带电粒子束武器系统不能是地基的,也不能置于太高的太空,必须置于外大气层的卫星上,这就对武器系统的重量、尺寸、寿命、控制维护系统等带来一系列苛求。

中性粒子束是一种较有前途的概念。它不受地磁场作用,可以部署在太空;它能穿透厚靶将能量沉积到目标的深层,很难防卫。除了杀伤拦截之外,中性粒子束还可用来识别目标,因为不同的靶材料,中性粒子束轰击后产生的次级粒子是不同的。

要产生几百 MeV 100 毫安的中性粒子束得首先产生负离子,使之加速,然后剥掉负电荷使之中性化。关键的问题是在上述过程中不要引起束流的横向发散角的增长。(即“发射度”)因为武器的目的是要将中性粒子流射向千公里之外面积仅为几平米的目标。如果束流像手电筒的光,几米外就散开了是不行的。

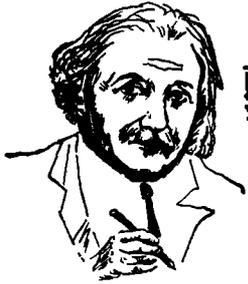
在中性束流中,微观粒子带有很大动能,大气分子与之相撞将产生电离而变成带电束,因此中性束流不能在大气中传输,它只能部署在太空。装置的散热也只能靠辐射,要用巨大的散热片。如采用蒸发散热,则必须控制散热排气不影响中性束流,因为只要存在每立方厘米 10 微克的气体也将使中性束电离。

由于中性粒子束需要负离子加速器,所以卫星站重量至少为 100 吨。

目前考虑中的激光武器有四种:化学激光器、准分子激光器、自由电子激光器、及核聚 X 激光器。

化学激光器是通过热燃烧化学反应使激光介质激活产生激光。该类激光器发出红外激光,可用作天基武器。美国于 1980 年提出了“天基激光战斗站”的设想,采用功率为 5 百万瓦特的氟氟激光器及一个四米直径的发射镜,预计可在 3500 公里距离上以每秒一个的速度将潜艇发射的洲际弹道导弹一一击落。1983 年美国已在白沙靶试验场建成了功率为 2.2 MW 的氟氟激光器,并用它进行了对目标破坏机理的研究。1987 年又成功地击中了飞行中的地对地导弹和超音速低飞导弹。实验表明高功率的化学激光器具有重量轻、体积小(因是燃烧过程,不需电源),光学品质好(主要指光在传输中的发散,光束品质越好,发散越接近于仅由衍射引起的发散)等特点,因此是一个有竞争力的天基激光武器候选者。问题是怎么进一步缩短激光波长及改善光学品质。

准分子激光器是利用紫外线、雪崩放电或强流电子束使常态下很稳定的惰性气体氙、氪、氙等与卤素气体氟、氯等生成双原子分子的亚稳态。这种亚稳态是该分子的激发态,它通过辐射紫外线退激。由于该分子的基态是不稳定的排斥态,因此称该类分子为准分子。美国洛斯阿拉莫斯国家实验室已在 1985 年建造了一台输出激光能量为一万焦耳的氟化氪激



验证爱因斯坦 是对还是错？

传说 16 世纪末叶意大利科学家伽利略做过一个简单实验：从比萨斜塔上让一颗铅球和一颗木球同时下落，证明不同的质量同时到达地面。而今，两位斯坦福物理学家 C. W. 弗朗西斯·埃弗里特和保罗·沃尔登建议对这一原理（现在人们熟知的惯性质量和引力质量等价）进行验证，并宣称他们的实验精度为伽利略的 10^{14} 倍。

激光器并进行了打靶实验。许多人已提出了百万焦耳级的激光器设计。从目前的趋势看，氟化氪激光与氯化氙激光是准分子激光武器的优选者。但由于它们的激光波长都较短，为紫外辐射（KrF 为 248nm，XeCl 为 308nm），对光学谐振腔的腔镜作用很强，给武器设计带来明显的制约，由于波长短在大气中传输时瑞利散射也增强，因此如果作为地基武器，得设法将激光波长变长；如果利用波长短与物质作用强的特点，也许可作为天基武器。

自由电子激光器是直接利用强相对论电子束，通过一种叫做“摇摆器”或“波振器”的空间交变磁场作摇摆运动产生的韧致辐射来实现激光的。因此电子束本身既是通常激光器中的能量源又是产生激光的工作物质（如准分子激光器中的 KrF 准分子）。由于这一特点，普通激光器在高功率时出现的工作物质结构变坏的问题，自由电子激光器不存在。因此自由电子激光原理上可以得到光束品质极其优良的高功率激光束，这是一个重要的有利条件。此外更为吸引人的是自由电子激光器的激光波长不像普通激光器由工作物质结构决定为一个特定的波长（即使染料激光器号称波长可调，也是极其有限的），它的波长基本上由相对论电子束的能量与摇摆器的磁场周期决定。可根据需要由毫米波、红外、可见光、紫外直至软 X 射线任意选择。作为地基定向能武器，要求激光不管气候条件如何都能顺利穿越大气层，因此要选择合适激光波长，并要求激光器发射的激光束有非常良好的光学品质，能保证几千公里甚至上万公里的传输仍然将绝大部分能量轰击到目标之上。

尽管自由电子激光相比于其他激光器有其原理上的优越性，但它对工程技术上的要求十分苛刻。首先它要求得到流强极其大的高品质强相对论电子束。这对目前的加速器技术是一个挑战。从目前进展情况看，无论是美国利弗莫尔国家实验室的放大器型红外自由电子激光器，还是波音公司与洛斯阿拉莫斯合作的振荡器型可见光自由电子激光器，都因为电子束的品质没达到设计要求（放大器用的是感应电子加速器产生的电子束，振荡器用的是射频直线电子加速器）而在获

等价原理是爱因斯坦广义相对论引力几何图形化的基础。它的根据是引力不同于其他基本力（电磁作用以及强核作用和弱核作用），引力加速度能以质量的函数来表达，因而类似于惯性加速度。埃弗里特说：“这使人越想越觉得奇怪”。引力质量和惯性质量等价的打破将表明相对论的适用范围是有限的。

为试验等价范围，两位物理学家建议在卫星上进行实验：采用 3 个各有一固体棒漂浮于空心圆筒内的微差加速计。如果等价原理成立，卫星绕地运行时棒将保持在圆筒中心，棒的任何“漂移”将表明二者之一受的引力较大，致使它们运行的轨道略有不同。

实验如获欧洲航天局批准（它同美国国家宇航局共同赞助），将于 90 年代末上天。费用：单是发射，1800 万美元。（郑惕荣译）

得高功率激光束实验中遭到了不同程度的挫折。

在太空中，X 光激光也是一种可能的定向能武器，目前尚处于原理研究阶段。产生 X 光激光的原理可以有几种，但主要的设想是由核爆炸中产生的频谱宽泛的非相干的 X 射线来激励工作物质，使之产生能定向的 X 光激光。理论预计 X 激光工作物质的定向增益系数可达 1.6×10^9 ，因此只要核爆炸当量中只有 $10^{-3} - 10^{-6}$ 是 X 射线，就可使距离为几千公里甚至上万公里以外的目标受到比在核爆当地的爆炸当量高得多的杀伤力。因此除了有足够能力杀伤远距离的目标外，它有足够的能力在一次爆炸中同时杀伤和摧毁位于不同方位上的多个目标。

在定向能武器的原理探索中，另一个很有吸引力的方向是利用反应堆直接驱动激光器。核裂变产物由于带有很高动能与电荷，具有很强的电离本领与激发手段，可以直接作用于工作物质使之产生激光。大家知道核过程的质量比（单位物质所包含的过程参与能量）远大于化学过程，电过程，因此即使在较低的效率下仍能使武器系统有足够功率输出而不使得体系变得庞大笨重。据估算，武器系统可以做到不超过目前火箭的运载能力，因此可以用战时发射方式将核反应堆驱动的激光器送上太空。它也不像核爆驱动的定向能武器只能一次性使用，它可以发射上百万次百万焦耳的激光脉冲不需补充核燃料。核驱动激光一般来讲要达到一定的效率，要求核反应的中子通量要超过每秒每平方厘米 $10^{13} - 10^{14}$ 个中子。这是一个很高的要求，目前只有采用快脉冲反应堆才可能达到这一要求。因此这是一个需要大投资因而风险很大的探索方向。

综合上述，近期内作为战略防御武器部署的仅有可能是动能武器，可以作为天基武器系统部署在太空中，而作为地基武器系统的定向能激光武器，目前仍处在概念论证阶段，即使试制成了高性能的激光器，仍然存在一系列问题尚待解决，因此作为战略防御系统的整个设想，太空武器的概念还有待于物理学研究与高科技的发展。