



武器与战争纪实丛书

WUQI YU
ZHANZHENG JISHI
CONGSU

激光武器 与战争

阎吉祥 编著

国防工业出版社

总 序

中央军事委员会副主席
国务委员兼国防部长

迟浩田

我们正在走向 21 世纪。回首即将过去的 20 世纪，人类经历了两次世界大战和多次局部战争的巨大灾难，为争取和捍卫和平付出了极为沉重的代价。也正是在这不同寻常的一个世纪中，人类发明了飞机、坦克、舰艇、导弹和原子弹等一系列现代武器和装备，从而使战争的面貌发生了全新的变化。

《武器与战争纪实》丛书分别以各种武器装备的发明与发展为主线，有机地结合其战场应用，纪实地描述了世界历史上特别是近百年来血与火的战争画卷。安国之道，先戒为宝。我相信，这套普及读物对于我军官兵和全国青少年学习和了解武器与战争知识，增强国防观念，是非常有益的。

历史的悲剧绝不能重演，新的世纪应该是一个和平与发展的世纪。维护和平，防止战争是我国的一贯政策。我国政府多次声明，中国不参加军备竞赛，不搞军事集团，不进行军事扩张，永远不称霸。中国主张全面禁止和彻底销毁核武器与化学武器……

然而，当今世界并不太平，武装侵略和局部战争从未停止过。为保卫祖国、抵御侵略、保障社会主义现代化建设的顺利进行，我们必须建设强大的国防。中国近代史告

诉我们，有国不能无防，落后就要挨打，这是一条颠扑不破的真理。新中国成立以后，我国才有了真正意义上的国防。以毛泽东、邓小平、江泽民同志为核心的党的三代中央领导集体，非常重视国防建设。在党的正确领导下，在广大人民群众的大力支持下，我国国防建设取得了巨大成就。现在，世界各国都在积极发展和提高综合国力。国防实力是综合国力的重要组成部分。我们既要看到取得的成绩，也要看到存在的差距，认清形势，迎接挑战，增强搞好国防建设的紧迫感。

这套丛书列举的大量战例说明，武器装备在战争中具有不可忽视的重要作用。同时，我们也可以清楚地看到，不管武器装备如何先进，不管战争形态如何发展变化，战争的最终结局，仍然是由战争的性质决定的，是由人的因素决定的。这一点在世界反法西斯战争和中国革命战争中表现得更为突出。

如今，军事科学和国防科技都是世界范围的重要学科。新材料、新能源、信息技术和生物工程等高新科技正在推动着武器装备与战争的革命性发展。这套丛书还深刻反映了自 80 年代以来马岛之战、海湾之战等现代局部战争正以惊人的速度向高科技化迈进，同时展望了 21 世纪武器装备与战争发展的前景。

知己知彼，百战不殆。我们应该学习和借鉴发达国家加强国防建设的先进经验，走出一条符合我国国情并反映时代特征的国防现代化道路。我殷切期望，我军全体官兵和全国青少年朋友，了解历史，面向未来，努力学习高新科技知识和军事科学，时刻准备为捍卫人类的永久和平和保卫祖国贡献力量。

《武器与战争纪实》丛书编辑出版委员会

主 任 赵万臣

副主任 崔长琦 曾 铎

委 员 (以姓氏笔画为序)

孙 旭 李悦堂 张仁杰

赵洪发 袁静伟 贾俊明

前 言

中国古代杰出的思想家、军事家孙武在留给后人的宝贵遗产《兵法十三篇》之首写道：“兵者，国之大事，生死之地，存亡之道，……不可不察也。”自从人类社会走出那不甚美妙却也“祥和”的原始共产主义阶段，并不可避免地坠入无休止争斗的“长河”以来，“武器与战争”便成为一个永恒的热门话题。这种状况，显然将持续到“长河”归入共产主义“大海”时为止。这一天终将到来是不容置疑的，但在此之前，花样翻新的武器系统会越来越先进，名目繁多的战争也将越来越巧妙。而激光武器和基于激光武器的战争，无疑将在其中起越来越重要的作用。

激光武器的基础和核心是激光器，因而，本书第一章将首先简单介绍激光器的产生与发展史，以及激光技术的现状。严格来讲，武器是指能直接杀伤敌人或破坏敌方设备的装置，但是，激光最早用于军事领域却是作为武器辅助系统，使其他武器变得更有效、更“聪明”和更具威力，而且这类应用目前仍在迅速发展着。所以，本书第二章概述了激光在武器火控系统中的应用。不同武器中激光的输出功率可以相差若干万倍甚至更大，它们具有不同的应用场合和攻击目标。因此，对低能激光武器和高能激光武器应分别加以讨论，这将在第三章和第四章中进行。1990—1991年的海湾战争是一场高技术的较量，在那场战争中，各种激光装置可谓出尽风头，本书将“激光武器与海湾战争”作为单独一章描述。

本书的目的是向我国广大读者较全面地介绍各种现代激光武器系统及有关战例。既可作为大专院校非激光专业的选修教材，也可作为具有中等文化程度的广大青少年的课外读物，更为在未来战场上不可避免地会接触到大量激光装置的部队各级指战员所

必读。为了达到上述目的,作者在写作过程中力求做到以下几点:

1. 取材广而新。所参考的国内外有关书刊在数十种、数百册以上,而援引的资料有些属 1996 年国内外首次报道。

2. 通俗易懂。全书基本不涉及高等数理知识,因而上述三类读者可以毫无困难地进行阅读。

3. 集知识性与趣味性于一体,力求语言生动,图文并茂。

然而,囿于编者水平,自知很难尽如人意,只望能以本书进一步激发读者对这一领域知识的渴求,对发展我国激光武器和实现国防现代化能有所裨益。

作者衷心感谢我国激光界前辈张志三研究员及作者的老师魏光辉教授、邓仁亮教授的热情鼓励和对初稿进行审阅;感谢杨培根老师、钮保英老师、王爱英同志及中国兵器科学研究院文献馆的孙铁、陈建业、赵光玉等同志提供大量资料或参加部分章节的讨论;感谢所引文献的原作者,恕不在此一一列出。

本书谬误欠妥之处,敬请读者指正。

作者

1997 年 2 月于北京

目 录

第一章	激光和激光器	(1)
●	激光产生的物理机制.....	(2)
●	激光器发明的历史过程.....	(8)
●	激光特性和激光器的种类	(12)
第二章	激光在武器火控系统中的应用	(26)
●	激光测距机	(27)
●	激光制导武器	(41)
●	激光雷达	(62)
第三章	低能激光武器与战争	(73)
●	激光对人眼的伤害	(74)
●	激光对皮肤的伤害	(81)
●	传感器作为激光武器的目标	(84)
●	现有典型低能激光武器与战争	(87)
●	“军刀”威震索马里	(96)
●	低能激光武器的发展趋势	(97)
第四章	高能激光武器与战争	(102)
●	概述.....	(103)
●	美国的反核导弹激光武器计划.....	(105)
●	关于“星球大战计划”.....	(113)
●	“鹦鹉螺”力钻火箭弹.....	(116)
●	反卫星高能激光武器.....	(118)
●	高能激光武器的发展和现状.....	(126)
第五章	激光武器与海湾战争	(136)
●	激光制导武器与海湾战争.....	(137)

- 激光吊舱与海湾战争..... (142)
- 激光雷达与海湾战争..... (146)
- 海湾战争中的激光武器与防护..... (147)

第一章

激光和激光器

● 激光产生的物理机制

激光的曾用名是“莱塞”，别名“镭射”。这两个名称都是其英文名“Laser”的译音，该词的5个字母分别为光(Light)、放大(Amplification)、受激(Stimulated)、发射(Emission)和辐射(Radiation)的字头，这揭示了激光的物理本质，即光的受激辐射放大(Light amplification by stimulated emission of radiation)。所以，要了解激光，应该从受激辐射开始。为此，我们必须首先回顾一下原子能级的概念。

1. 原子的能级结构

物质是由原子组成的。原子的几何尺寸非常小，一个普通缝衣针的针尖上就可以排列数以百万计的原子。

著名英国物理学家卢瑟福(Rutherford)和他的两名学生盖革(Geiger)及马尔斯登(Marsden)，于1910年至1911年所进行的 α 粒子散射实验证明原子具有核式结构，即原子是由中央原子核和外围电子组成的。而原子核内则含有带正电荷的质子和不带电的中子，质子所带的正电荷与周围电子所带的负电荷数量相等，极性相反，因而整个原子表现为电中性。

1913年，年轻的丹麦物理学家玻尔(Bohr)提出原子的电子轨道模型。按照这种假设，核外电子只能沿若干可能的轨道之一绕核运转。相应于一组特定的电子轨道，原子具有一定的能量。用物理学的语言来说，即原子处于一定能级或一定的“态”。稳定情况下，电子总是沿这样的轨道——即使得原子处于能量最低的状态，通常称之为原子的基态——运动。只有受到某种外来激发作用时，原子才有可能上升到较高能态，并称为激发态。

由于电子轨道之间有一定距离，这就决定了原子能级也是阶跃式的，能级之间有一定间隔。也就是说，原子改变其能级只能采

取上、下台阶的方式,而不是沿斜面滑动的方式。

一般来说,电子在轨道上的分布有很多种方式,相应地,原子会有很多能级。但是,与激光发射直接相关的主要有两个能级。为简单起见,且不失一般性,本章只涉及原子的这两个能级。其中能量较低的称为激光下能级,或简称为下能级,能量较高的则称为激光上能级,或简称为上能级。只有两个能级的原子称为二能级系统。就二能级系统来说,上能级所对应的原子态称为激发态,而下能级所对应的原子态即是基态。图 1-1 是二能级系统两个能级的形象表示,这里已假定原子处于基态。



图 1-1 二能级原子能级的形象表示

2. 辐射与物质的相互作用

正如前面所述,处于基态的原子是稳定的,只有当它受到外界某种作用,并获得一定能量时,才有可能跃迁到较高能态上去。例如,在光辐射的照射下,原子可以吸收一个具有适当能量的光子而被激发,并跃迁到激发态,这种过程称为受激吸收跃迁。

原子激发态的寿命很短,也就是说,被激发的原子不能长时间滞留在高能态,而是会按以下两种方式之一很快向下跃迁回到基态:

(1) 没有外界作用,原子自发地由激发态跃迁到基态,并辐射一个与当初被吸收光子的能量相同的光子,这种过程称为自发辐射跃迁。

(2) 处于高能态的原子,受到某种外来辐射的激励,在一定条件下,发射一个光子,原子由激发态跃迁到基态。这种过程称为受激辐射跃迁,它是由爱因斯坦(Einstein)于 1917 年首先提出的。图 1-2 是受激吸收、自发辐射和受激辐射三种过程的示意图。

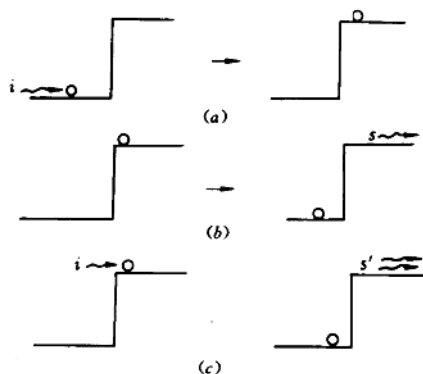


图 1-2 辐射与原子作用三种过程示意图

(a) 受激吸收; i —入射光;

(b) 自发辐射; s —自发辐射光;

(c) 受激辐射; i —入射光, s' —受激辐射光。

在爱因斯坦预言该过程以后又过了 10 年,杰出的英国物理学家、剑桥大学物理系教授狄拉克(Dirac)首先发现受激辐射有一些与普通发光不同的特点。事实上,受激辐射过程正是产生激光的基础。遗憾的是,当爱因斯坦从理论上首次论证该过程的存在时,同时代的任何人,包括爱因斯坦本人,都无法想象在若干年后的某一天,人类会基于这一天才的理论创造出比太阳亮很多倍的神奇的光。更为遗憾的是,这位天才的物理学家,从未有机会见到过激光。在世界上第一台激光器诞生前整整 5 年,科学史上这颗最灿烂的巨星——爱因斯坦——于 1955 年 4 月 18 日在美国普林斯顿殒落,而将其耀眼的光辉永远留在人间。

3. 辐射的受激放大

这一小节将对受激辐射和吸收给以比较定量的描述,以阐明辐射受激放大的条件。为此,用 $h\nu$ 表示光子能量,其中 ν 是光的频率,在可见光区域, ν 的量级为 10^{14} 赫兹, h 是普朗克(Plank)常量,

它的值为 6.626×10^{-34} 焦耳·秒。此外,设基态原子的能量为 E_1 , 激发态的为 E_2 。由上小节的讨论可知,当有外来辐射作用于二能级系统时,会发生两种可能的过程:

(1) 受激吸收 即处于低能级的原子吸收入射光子并跃迁到高能级,上、下能级的能量差 ΔE 恰好等于入射光子的能量,即

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

也就是说,原子因吸收光子而增加的能量与入射光损失的能量相等,这正是能量守恒定律所要求的。

(2) 受激辐射 即处于上能级的原子在入射光的作用下辐射一个能量为 $h\nu$ 的光子,其本身能量减小 $\Delta E = h\nu$ 而回到基态,入射光则因得到一个光子而能量增加 $h\nu$,由此可见,受激辐射的结果使入射光得到放大。

显然,入射光与原子系统作用后总的效果是被衰减还是得到放大,完全取决于以上两种过程中哪一种占主导地位。如果受激吸收超过受激辐射,则光的衰减大于增益,即总的效果是光被衰减;反过来,如果受激辐射占据主导地位,则光将得到放大。

受激吸收的强度由两方面因素决定,即处于下能级的原子数密度 N_1 和每个原子吸收光子跃迁到上能级的概率 W_{12} 。类似地,受激辐射的强度则由上能级原子数密度 N_2 和原子受激辐射光子并跃迁到下能级的概率 W_{21} 决定。研究表明,原子系统在光辐射作用下由上能级跃迁到下能级的概率等于由下能级跃迁到上能级的概率,于是,产生受激放大的条件是原子系统上能级粒子数密度 N_2 大于下能级粒子数密度 N_1 ,这一点对激光的产生具有根本性重要意义。

但是,在热平衡条件下,系统对光的吸收总是占据主导地位。由此可见,上能级粒子数密度 N_2 大于下能级粒子数密度 N_1 的条件与热平衡条件下的粒子数分布状态正好相反。由于这个原因,激光文献中将产生激光的状态称为“粒子数反转分布状态”。

总之,以上讨论表明,光辐射受激放大的基本条件是在工作物

质中实现粒子数反转分布状态,而且, $\Delta N = N_2 - N_1$ 越大,可望获得的增益就越高, ΔN 称为反转粒子数。

不难理解,为了实现粒子数反转分布,必须有适当形式的外界能量对产生激光的材料(即工作物质)进行激励(或称“泵浦”),以使足够多的粒子由下能级跃迁到上能级。泵浦技术有多种方式,现就比较常用的几种方式简单介绍如下:

(1)电泵浦 电泵浦适合于气体工作物质,方式之一是将激光介质置于电子束中,通过相互碰撞,电子把一部分能量传给气体原子,使大量原子跃迁到上能级,产生粒子数反转分布。

更通用的电泵浦方式是直流放电,在这种情况下,放电是在含有气体工作物质的放电管中进行,原子从电流中吸收能量向上能级跃迁实现粒子数反转分布。

(2)光泵浦 以固体材料为工作物质的激光器多数采用光泵浦方式。在光照射下,原子吸收能量相应于其能级差的光子由下能级跃迁到上能级,从而实现粒子数反转分布。

(3)其他泵浦方式 有一类激光器称为化学激光器,工作物质通过吸收化学反应所释放的能量而达到粒子数反转分布。自由电子激光器由高能电子泵浦,而一些波长非常短的激光器则需要用核爆炸产生的能量或其他激光辐射进行泵浦。

实现粒子数反转分布的难易及 ΔN 的大小,与工作物质的种类及所选工作能级有关。对此本章不再进一步讨论,感兴趣的读者可参阅有关文献。

4. 光自激振荡和激光谐振腔

假定已经通过某种方式将激光工作物质激发到粒子数反转分布状态,由于自发辐射过程的存在,将会有部分处于激光上能级的原子向下能级跃迁,并向各个方向无规则地辐射一些光子,如图 1-3 所示,其中必然会有部分光子沿介质的轴向传播。因为介质处于粒子数反转分布状态,所以,这部分光子将不断得到放大,如图 1-4 所示。理论上讲,只要放大介质有足够的长度,则不管初始自

发辐射何等微弱,总可以被放大到有限的强度。熟悉无线电技术的读者都知道,这就是振荡的概念。

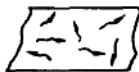


图 1-3 自发辐射产生的光子,一部分沿介质轴向传播

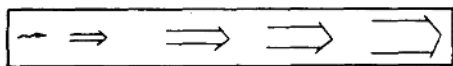


图 1-4 沿介质轴向传播的光被放大

但是,在实际激光器中,放大介质没有可能也没有必要特别长,而是在其两端放两块反射镜,使光得以来回反射。最初与介质轴有一定夹角的光,每反射一次夹角便增大一倍(假定为平面反射镜),几次反射后沿侧壁逸出腔外。只有与介质轴方向一致的光可以多次通过介质并被不断放大。放大到一定程度后,由反射面(或反射镜)之一(称为部分反射镜或输出镜)输出,这就是经受激辐射放大的光,即激光,如图 1-5 所示。为充分利用光能,介质被置于一聚光腔体中,后者与端面反射镜共同构成激光谐振腔。

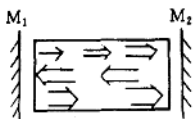


图 1-5 光在激活介质中反复传播被放大

M_1 —全反射镜; M_2 —部分反射镜。

总而言之,激光器是由谐振腔和工作物质组成的(如图 1-6 所示),而为使后者处于粒子数反转分布状态,则还需要有某种泵浦源,泵浦源是激光能量的源泉。

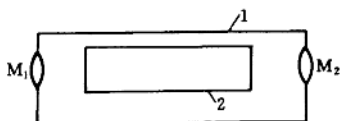


图 1-6 激光器的组成

1—聚光腔；2—激活介质；M₁—全反射镜；M₂—部分反射镜。

● 激光器发明的历史过程

在激光器发明之前 6 年左右，一个与之关系甚为密切的新事物首先问世，这就是“脉泽”，它是英文 Maser 的音译，其物理本质是微波的受激辐射放大。

事情要追溯到 1951 年。那是一个春光明媚的早晨，汤斯 (Townes) 坐在华盛顿国家公园的一张长凳上，在一枚普通信封的背面进行着计算。就这样，他的计算结果在记录本世纪重大发明的史册上增添了新的一页：原子和分子可以用作辐射放大器，对高于普通无线电波和雷达波的频率进行放大。

第二次世界大战期间，汤斯在贝尔 (Bell) 电话公司的实验室工作，在那里，他成为一名微波通信与雷达专家。在电磁波谱中，微波介于超高频无线电波和红外辐射之间，其频率为 $10^9 \sim 10^{11}$ 赫兹，相应的波长为 30~0.3 厘米。当然，电磁波谱的分界线并非十分精确，有些文献所给出的频率或波长范围或许会与以上所述略有差异。

电磁波频率越高，在空间传播时就越不容易弥散，抗干扰能力也就越强，这在探测和测距中十分重要。因此，包括汤斯在内的雷达工程师们希望进一步提高雷达波的工作频率。而汤斯本人此时正致力于研制一种工作在 2.4×10^{10} 赫兹的装置，并开始对微波摄谱学发生兴趣。这项工作在最终导致脉泽和激光器的发明方面起了重要作用。

1951 年汤斯是哥伦比亚大学的物理学教授，他和对上述问题

感兴趣的科学家们约定4月26日在华盛顿特区举行一次科学讨论会。讨论会的前一天晚上,他在华盛顿一家小旅店与肖洛(Schawlow)同住一个房间。汤斯因家有小孩而习惯早起;而肖洛,当时还是个单身汉,则喜欢晚睡。第二天早晨5点半左右,汤斯醒来后穿好衣服走出门外,以科学家特有的方式尽情地享受着华盛顿黎明的春光。他眼睛盯着盛开的杜鹃花,脑海里却充满了如何获得高频电磁波的问题。突然间一个杰出的思想在他的头脑里产生了:或许可以用原子或分子来产生波长极短的辐射。汤斯后来回忆起当时的情景时说:“在几分钟之内,我完成了一项计算——在一枚普通信封的背面——用必须提供的受激分子数和腔内允许的最大损耗表示产生振荡的临界条件”。他的仓促计算是对氨分子进行的,正如肖洛所说:“对该分子详细的理解正是汤斯为发明脉泽所需要的。”

前面说过,为了有效地产生激光,需要选择激活介质和工作能级,脉泽也是如此。汤斯之所以把氨(化学分子式为 NH_3)作为研究对象,就是因为氨有两个特殊能级,即基态能级和一个上能级,能级之差恰好等于频率为 2.4×10^{10} 赫兹的微波所对应的能量。汤斯想要做的就是将容器中的大部分氨分子从基态激励到上能级,然后用频率为 2.4×10^{10} 赫兹的微波去照射它们,以获得微波量子振荡器,即脉泽。1954年初,由汤斯所领导的研究小组终于首次用氨分子装置实现了微波振荡。

量子振荡器可能输出的功率依赖于工作物质中的可激活分子数密度。因而气体介质输出功率小。所以,气体脉泽研制成功后,当时很多科学家,包括汤斯,前苏联的巴索夫(Basov)和普罗霍洛夫(Prokhorov),以及哈佛大学的布洛姆伯根(Bloembergen)等便立即着手研究在固体中产生脉泽的可能性。虽然科学家们在50年代中期已经搞清楚几乎所有有关的理论问题,但要基于这些原理制造固态量子振荡器,尚需跨越很多工程上的障碍。直到1958年,第一个固体脉泽才在贝尔实验室诞生。采用制冷技术的固体脉泽能够以原子为振荡器而放大特别弱的微波信号。此项发明在雷达、