

激光武器

JIGUANG WUQI JIGUANG WUQI

阎吉祥 编著

国防工业出版社

激 光 武 器

阎吉祥 编著

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

激光武器/阎吉祥编著. —北京:国防工业出版社,
1996. 8
ISBN 7-118-01572-5

I. 激… II. 阎… III. 激光武器 IV. TJ95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 23675 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 10 $\frac{7}{8}$ 235 千字
1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月北京第 1 次印刷
印数:1—4000 册 定价:13.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

只要战争或战争之威胁尚存在,每当一种新技术出现,人们总会情不自禁地想到将其用于武器系统。激光,这个刚一诞生便荣膺“死光”之美誉的“怪物”自然更不例外,仅仅过了四五个春秋,激光在军事领域的首例应用——空前准确与快捷的激光测距系统就问世了。

纪念世界上第一台激光器诞生 30 周年的庆典活动刚刚降下帷幕,举世瞩目的海湾战争即为激光武器大展奇才提供了绝好的舞台。携带“地狱之火”激光制导导弹的八架直升飞机一夜之间便将伊拉克西部的两个雷达站夷为平地,从而打开一条无雷达监视的通道,使联合部队的飞机得以自由自在地飞往巴格达地区进行轰炸。这对尽快将有关方面从战场拉到谈判桌旁无疑起了至关重要的作用。

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其发展趋势。既可作为大专院校有关专业的教学参考书,也可供部队各级指战员阅读,更可使具有中等文化程度而对现代科学技术和现代武器系统富有兴趣的广大青少年耳目一新。为满足第一类读者的需要,有些章节对激光武器的原理作了稍详细的描述;而为了照顾后两类读者,大部分章节尽量避免繁琐的数学推导,并力图做到集知识性与趣味性于一体。本书若能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稍有裨益,编者将会

深感欣慰。

作者衷心感谢我国激光界前辈、中科院物理所张志三研究员及作者的老师北京理工大学魏光辉教授、邓仁亮教授的热情鼓励、推荐和对初稿进行审阅；感谢北京大学阎研提供大量资料并参加部分章节的讨论；感谢邓瑞平同志精心绘制全书图稿，王爱英同志进行仔细的文字校对；感谢所引参考文献的原作者，恕不在此一一列出。

囿于水平，谬误欠妥之处在所难免。苟蒙读者不吝赐教，定当不胜感谢。

阎吉祥

1996年2月于北京

目 录

绪 论	1
第一章 激光基础知识	5
1.1 受激辐射与激光	5
1.1.1 原子能级	5
1.1.2 辐射与物质的相互作用	6
1.1.3 受激放大	8
1.1.4 光的自激振荡和激光器的组成	10
1.2 从微波受激辐射放大到光的受激辐射放大	12
1.3 激光特性和激光器的种类	18
1.3.1 激光特性	18
1.3.2 激光器的种类	23
第二章 激光的大气传输	33
2.1 激光的能量衰减	34
2.1.1 大气吸收	34
2.1.2 大气分子散射	38
2.1.3 大气微粒引起的消光	39
2.2 激光束偏转和湍流大气的光学特性	46
2.2.1 大气折射	46
2.2.2 湍流大气的光学特性	46
2.3 强激光在大气中的传播	49
2.3.1 热晕	49
第三章 激光军事应用概述	58
3.1 引言	58

3.2	激光在武器辅助系统中的应用	59
3.2.1	激光测距与跟踪	59
3.2.2	激光目标指示器	63
3.2.3	激光雷达	68
3.2.4	武器模拟系统	74
3.2.5	激光在军事领域的其他应用	75
3.3	激光用作直接杀伤武器	80
3.3.1	从“星球大战计划”说起	80
3.3.2	高能激光武器概况	84
3.3.3	低能激光武器概况	91
第四章	激光测距机	102
4.1	激光测距原理	102
4.2	光探测器	107
4.2.1	探测器的性能参数	107
4.2.2	热探测器	110
4.2.3	量子探测器	112
4.3	测距机的主要性能	116
4.4	人眼安全激光测距机	121
4.4.1	小型人眼安全激光红外观察装置	121
4.4.2	喇曼频移人眼安全激光测距机及其在 空防系统中的应用	127
第五章	激光雷达	136
5.1	引言	136
5.2	激光雷达的分类和工作原理	138
5.2.1	激光雷达的分类	138
5.2.2	激光雷达工作原理简介	138
5.3	发射系统	140
5.3.1	理想光束的参数	140
5.3.2	非理想光束的质量评价	145

5.3.3	激光准直与扫描	149
5.3.4	发射激光的调制及其在雷达测距中的 应用	151
5.4	雷达接收	156
5.4.1	探测技术	156
5.4.2	接收孔直径	161
5.4.3	接收解调技术	161
5.5	雷达目标	164
5.5.1	目标的激光横截面	165
5.5.2	两类目标的激光横截面	165
5.6	激光雷达性能	170
5.6.1	信号功率接收	170
5.6.2	信噪比	174
5.6.3	探测概率	175
5.7	激光雷达应用	178
5.7.1	激光雷达测量	178
5.7.2	激光雷达测量参数	183
5.7.3	激光雷达在宇宙飞船自着陆中的应用	188
5.8	固体激光合成孔径雷达	193
5.8.1	合成孔径雷达简介	193
5.8.2	固体激光合成孔径雷达	195
第六章 激光制导		201
6.1	概述	201
6.2	激光半主动寻的制导	205
6.2.1	比例导引制导	205
6.2.2	激光半主动寻的导弹	208
6.2.3	激光目标照射器	212
6.3	激光驾束式制导	214
6.3.1	概述	214

6.3.2	驾束式制导弹道	215
6.4	几种主要的激光制导导弹和其他 制导武器简介	218
6.4.1	激光半主动寻的式导弹	218
6.4.2	激光驾束式制导导弹	219
6.4.3	激光制导炸弹和激光制导炮弹	220
第七章	直接杀伤激光武器(低能)	222
7.1	概述	222
7.2	攻击人的激光武器	223
7.2.1	激光对眼睛的伤害和致盲武器	223
7.2.2	激光对皮肤的伤害	232
7.3	反传感器激光武器	235
7.3.1	激光武器对传感器的攻击	235
7.3.2	传感器中的能量密度分布	238
7.3.3	反传感器激光武器	245
第八章	直接杀伤激光武器(高能)	247
8.1	概述	247
8.2	激光功率	250
8.2.1	辐射源的功率	250
8.2.2	光学传输系统的功率损耗	252
8.2.3	路径传输的功率损耗	254
8.3	光束质量	255
8.3.1	辐射源的光束质量	255
8.3.2	湍流大气对光束质量的影响	260
8.3.3	自适应光学简介	265
8.4	美国反核导弹激光武器的发展	269
8.4.1	引言	269
8.4.2	导弹防御概念	270
8.4.3	反核弹高能激光武器	272

8.5	反卫星高能激光武器	278
8.5.1	卫星的军事应用	278
8.5.2	早期反卫星武器	280
8.5.3	反卫星激光武器	281
8.5.4	3种反卫星激光体系	283
8.6	激光人造星技术	288
8.6.1	概述	288
8.6.2	钠激光导星的产生机理	292
8.6.3	激光与钠层作用的非线性效应	295
8.6.4	用于人造星的激光系统	297
8.7	美国空间激光能计划简介	304
8.7.1	空间激光能系统	304
8.7.2	技术方案	306
第九章	激光武器产生的影响和国际法	312
9.1	概述	312
9.2	激光武器对军事领域产生的影响	312
9.2.1	一般军事影响	313
9.2.2	对指战员的影响	314
9.2.3	对传感器的影响	317
9.2.4	对战斗部队的影响	318
9.3	激光武器对非军事部门的影响	319
9.3.1	对医疗部门的影响	319
9.3.2	对激光工业的影响	320
9.3.3	对社会的影响	321
9.4	激光武器和国际法	321
9.4.1	传统武器与国际法	322
9.4.2	激光武器和国际法	325
参考文献	331

绪 论

一提起武器,人们就会想到战争,一想到战争,脑海中便是刺耳的子弹啸叫声,震耳欲聋的坦克隆隆声和炸弹爆炸声,以及夺目的闪光和弥漫的硝烟。这些的确是常规战争的特色。

常规武器的子弹具有弯曲的弹道,并需要一定的飞行时间,因此,为了击中目标,就应瞄准靶的上方,而对运动目标,还必须有一定的提前量,这就要求射手事先知道目标的距离和运动速度。采用带制导系统的导弹可以解决上述火控问题,然而,对大多数导弹,只有采用高技术才能实现有效制导,其代价是十分昂贵的,且并非总能工作在良好状态。

常规武器消耗大量弹药导致严重的后勤问题,弹药的重量和体积都很大,而且在储存和运输过程中总会存在不慎引爆的危险。人们自然期望能有一种特殊的武器,它具有笔直的弹道,极高的速度,且较少需要后勤支持。如果这种武器发射时肉眼不可见,无噪声,不易被探测,则将更加有效。当前,有可能满足这些要求的一种选择就是激光武器。用于武器系统的激光一般工作在红外波段,人眼不可见,大多数情况下基本无噪声。特别是,激光束以 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 每秒的速度沿直线传播,这样,假定目标距离为 30 km ,激光束由发射到目标只需万分之一秒时间;再假定目标运动速度为 3600 km/s (按普通观点这是相当高的速度),那么,在万分之一秒的时间里它只能移动 10 cm 。这就是说,对激光束而言,距离遥远的目标,尤

如近在咫尺；高速运动的靶子，无异完全静止。因此，用激光攻击目标时，无需考虑提前量之类的问题，而是真正能做到，指向哪里，便打到哪里。

激光技术虽然只有 30 多年的历史，但由于它有上述无与伦比的优点，所以已有多种方式应用于军事领域。目前，很多国家的陆军使用范围广泛的激光装置作为激光测距机和目标指示器，而在一些军事大国，则正从事范围更加广泛和更接近实用化的研究。

激光武器的设计在很大程度上取决于打击对象。如果目标是在战斗机、直升机、导弹或坦克油箱上烧一个洞，则必须使用功率为数兆瓦量级的高能激光；而如果目标是敏感的光电系统或某种其他类型的传感器系统，需用激光对其进行干扰和破坏，则可选低能激光。至于以敌方战斗人员为攻击对象的系统，如果目标是引燃其服装或烧灼其皮肤和肌体，则需用高能激光武器；如果目标是致盲其对激光辐射特别敏感的眼睛，则当选用低能激光武器。

高能激光武器对目标的作用主要是热效应。能量从激光发射系统传向靶子，靶被灼热、熔融和汽化，损伤区的大小取决于靶对光的反射和吸收及其热特性。对远离数千公里的靶产生这种效应要求很高的能量。

高能激光武器目前主要研究用于反飞机和反导弹系统。用激光打击低空飞行目标具有明显的优点，因为这种目标的预警时间很短，且依赖于地形和目标的速度。传统反飞机炮和导弹总会使敌人有防范时间，而激光武器则以其极高的速度使对方无暇提防或逃遁。防空激光武器的研究在一些国家已进行了多年，如果这类系统最终获得成功，它将能在几秒钟内打击 10km 以外的数个目标，其军事优点是有目共睹的。当

然,这类系统也有它的缺点,即高能激光武器通常都比较庞大和笨重,造价也相当昂贵,发射时会有一定噪声和辐射大量的热。另一个主要问题是,光束路径上的大气会吸收大量的激光能量并被加热,从而改变其折射率分布;大气折射率的变化反过来又会影响激光束的传播,使其发生弥散和抖动,难以有效地将能量集中在靶面上。迄今为止,为解决这些问题已作出巨大努力,而且,似乎存在一些成功的机会。

高能激光武器也可用于打击敌方人员,它能从很远的距离上引燃指战员的制服,进而烧灼其皮肤。然而,除非这个人非常重要,否则,用昂贵的高能激光武器对一个人一般来说是不值得的,而其通常的打击目标是机载或舰载高级指挥所。

低能激光虽然不能烧毁金属或其他材料,但都可能成为更有用的武器系统。正如前面曾提到过的,早在60年代中期就有很多国家研制成功激光测距机,此乃激光技术直接应用于军事目的之首例。今天,刚刚进入而立之年的激光测距机和激光目标指示器已成为大多数现代战车、直升机、战船和战斗机火控系统中不可缺少的部分,很多反坦克武器上也装备有小型手持激光测距机。在这些场合,激光束不是直接去摧毁或损伤靶的,而是引导炸弹、导弹或火箭攻击目标,使它们变得更“聪明”,更容易捕捉目标,这类激光系统可称为武器辅助系统。此外,低能激光还被广泛用于训练中的武器模拟系统、制导用激光陀螺、点火引爆装置及激光雷达系统。

不久的将来,低能激光武器必将成为先进的和实用化的电光装置中的重要部分。它将主要用于对付传感器和指战员的眼睛。战场上很多传感器都对激光敏感,因而,反传感器激光武器可以有效地毁坏或致盲像增强器、微光电视、热视仪等现代火控系统的基本部件。它们也可以在敌方的导弹或智能

型炸弹到达目标之前闭塞或诱骗其上的传感器,使之无法引导这些炸弹准确地打击目标。

低能激光武器对未来战争的最大作用可能还是广泛使用人眼致盲武器。在一些国家里,目前正就这种武器是否人道及是否应该继续发展进行着激烈的辩论,国际红十字会也组织过多次会议,讨论广泛使用人眼致盲激光武器与国际法的关系。这是否会导致对该武器系统的国际禁令或某种其他形式的限制,目前还很难预言。事实上,就在作者刚刚开始编写本书的时候,1995年5月25日的报纸上就报导了美国以及其他一些国家正在大力发展多种激光武器,特别是激光致盲武器的消息。

第一章 激光基础知识

不言而喻,激光武器的关键是激光,因此,将激光放在第一章介绍是理所当然的。本章 1.1 节首先对激光给以简单描述;然后在 1.2 节回顾从微波的受激辐射放大(脉泽)到光受激辐射放大(激光)的发展过程;最后介绍激光束的主要特性和激光器的种类。

1.1 受激辐射与激光

激光早期又名“莱塞”,它是英文词 Laser 的译音,该词 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,这反映了激光的物理本质,即光的受激辐射放大(Light amplification by stimulated emission of radiation)。所以,为了了解激光,应该从受激辐射开始,为此,又必须首先回顾一下原子能级的概念。

1.1.1 原子能级

根据丹麦物理学家玻尔(N. Bohr)的模型,原子是由原子核和外层电子组成的。电子沿若干可能轨道之一绕核运转,相应于一定的电子轨道,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态。稳定情况下,电子总是沿这

样的轨道运动,即使得原子处于能量最小的状态,且通常称之为基态;只有受到外来激发作用时,原子才有可能上升到较高能级。

由于电子轨道是不连续的,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。即是说,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系统,对二能级系统,上能级对应的原子态称为激发态;而下能级对应的原子态即是基态。图 1.1-1 是原子两个能级的形象表示,这里已假定原子处于基态。

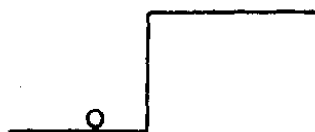


图 1.1-1 二能级原子能级的形象表示

1.1.2 辐射与物质的相互作用

正如以上所述,原子处于基态时是稳定的,只有当它受到某种外界作用,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期处于高能态,而是会按以下两种方式之一很快向下跃迁回到其基态。

(1) 没有外界作用, 原子自发地由激发态跃迁到基态, 并辐射一个与当初吸收的光子具有相同能量的光子, 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 年首次提出的。图 1.1-2 是上述三种过程的示意图。

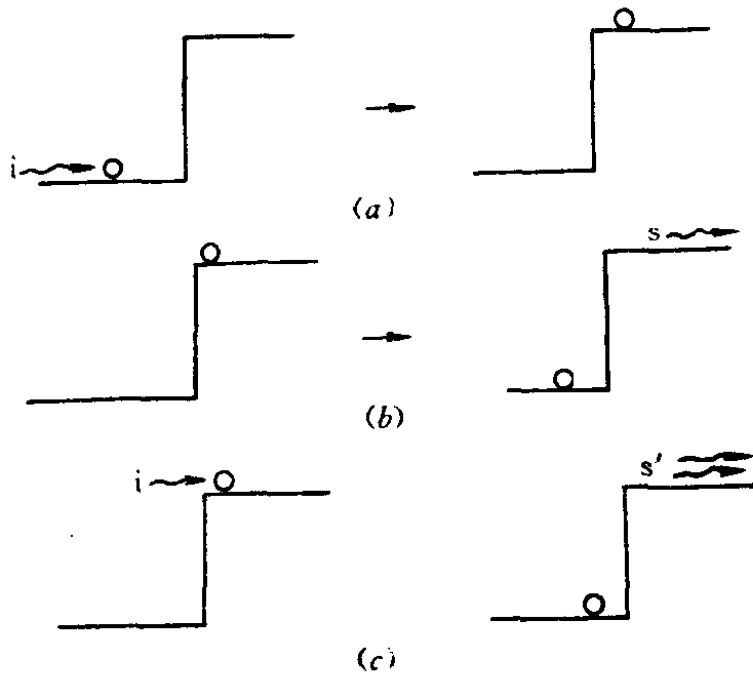


图 1.1-2 原子与辐射作用的三种过程示意图

(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。

应该再次强调指出, 自发辐射是在没有外界作用的条件 下原子的自发过程, 因而, 不同原子辐射的场互不相关, 即是 非相干的。而受激辐射则不同, 由于它是在入射辐射场的控制 下发生的, 所以, 辐射场必然会与入射场有某种联系。爱因斯 坦预言该过程以后又过了十年, 杰出的美国物理学家、剑桥大 学物理系教授狄拉克(P. Dirac)首先发现受激辐射有一些与