

# 军用激光测距技术的发展

钟 鸣 韩 凯

(西南技术物理研究所, 成都)

**摘要:** 本文介绍了军用激光测距技术的现状, 展望了今后的发展方向。对人眼安全、提高效率、改进光束质量、采用新的激光材料及功能模块结构将是新一代军用激光测距机的主要考虑因素。

The development of laser rangefinding technology for military of use

Zhong Ming, Han Kai

(Southwest Institute of Technical Physics)

**Abstract:** In this paper, the status quo and the development goals of laser rangefinding technology are introduced from the view of military use. The authors point out that the primary characteristics of coming generation LRF's are eye safety, higher efficiency and beam quality, newer laser materials, function modularization.

## 一、引言

激光测距是激光在军事上最早而且是最重要的应用之一。由于激光测距仪具有体积小, 操作简单, 角分辨率及测量精度高, 作用距离远, 抗干扰能力强, 一般可满足军事要求等突出优点, 尤其在配合各种战术武器使用时能使首发命中率高达80%以上, 大大提高了武器系统的攻击力和准确性。

1960年, 世界第一台红宝石激光器诞生后的两个星期, 美国密执安大学就研究成一台红宝石激光测距机。由于红宝石激光器发射的激光可用肉眼观察到, 且阈值高、效率较低, 这些促使人们寻找新的激光材料。

Nd:YAG晶体的发射波长为 $1.06\mu\text{m}$ , 不能用肉眼观察到, 同时它又具有更高的电光转换效率, 阈值低, 能在高重复频率下工作, 因此它被广泛用于激光测距, 从而使得武器系统性能大为改善。尽管如此, 它还有某些严重的缺陷, 首先由于 $1.06\mu\text{m}$ 波长激光能量能通过人眼被聚焦在视网膜上, 因此在近距离内能致盲, 在远处能损伤人眼, 其次穿透烟雾能力较差, 在战场环境以及恶劣气候下测距能力迅速下降。因此又导致人们开始进一步探索新的测距激光波长。

本文介绍了国外测距技术的发展以及我国目前研究现状。下一代军用激光测距装备的性能改进的着重点将在对人眼安全, 提高效率, 改善光束质量以提高测程, 以及研制新的激光

材料等方面。

## 二、人眼安全激光测距技术

人眼安全将是今后测距机发展的主要考虑因素。因为目前更多的是和平时期的大规模训练演习,而不是对敌作战,对人眼安全提高到了一个新的认识水平。人眼安全因素可以从下面两个方面考虑,其一是对于任何波长的激光器,只要其输出不超过最大允许辐照量(Maximum Permissible Exposure, MPE),则人眼安全是容易做到的,真正的困难在于既要获得确保安全的输出,又要不牺牲测距机测程性能。如美军 AN/GVS-5 Nd:YAG 手持式激光测距机就提供两种中性衰减片在训练中使用,它们分别使激光输出减小3~6倍,这样,通常的15mJ的输出减小了,从而使人眼能在20m的距离内直视而不超过最大允许辐照量,但是,其测程由10km减小到2km,表1列出了AN/GVS-5带衰减片的测距机性能<sup>[1]</sup>。

表1 AN/GVS-5带衰减片测距机性能

	最大测程(m)	最小裸视距离(m)	×50双目望远镜 最小可视距离(m)
无衰减片	10,000	1,100	8,000
红衰减片(19dB)	5,000	120	840
黄衰减片(29dB)	1,000	20	140

其二是使用处于眼睛带通以外的发射波长。1.4μm以上波长的最大允许辐照量比带内的最大允许辐照量高几个数量级。表2列出了我国GJB470规定的几种典型军用激光器光束内视的辐照限值。

表2 GJB470规定几种军用激光器光束内视的照射限制

激光器类型	波长(μm)	照射时间(s)	照射限值(J/m <sup>2</sup> )
Nd:YAG	1064	$10 \times 10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-2}$
玻璃钕	1540	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^4$
CO <sub>2</sub>	10600	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^2$

CO<sub>2</sub>激光器发射波长在10.6μm处,处于8μm~12μm的红外热象系统波带以内,因此能与其兼容,并且穿透战场烟雾的性能好,对人眼安全,因此受到人们的重视。英、美等国从70年代末期开始投入大量的人力、物力于此项研究,并已发展到相当的水平。但是,CO<sub>2</sub>激光器也有它的缺点,首先是该波长处于大气的强吸收线内,因此在潮湿的情况下其性能降低;其次是很多目标在CO<sub>2</sub>波长下,其目标反射率不如较短的波长高,尤其当目标潮湿或被雪覆盖时,此时目标反射犹如镜面反射,不利于测距;其三是CO<sub>2</sub>激光波长的接收必须在77K,须采用制冷设备,对于战车测距可以利用车体电源致冷探测器,而对于依靠电池供电的炮兵、步兵用手持激光测距机而言,要用电池致冷探测器并在测距之前在极短的时间内使探测器致冷到所需的低温上,尚有很大的困难。且CO<sub>2</sub>激光器结构复杂,导致制造费用及后

勤保障费用增高, 可靠性降低。因此即使是技术发达的国家也极少装备。

我国从80年代开始进行 $\text{CO}_2$ 激光测距技术的研究, 取得了较大的进展。西南技术物理研究所于1988年在国内首次实现 $\text{CO}_2$ 激光测距, 并于1991年通过技术鉴定, 测距大于6km。

80年代中期,  $1.54\mu\text{m}$ 人眼安全激光测距技术得到了迅速的发展。首先, 该波长对人眼最安全。由表2可知,  $1.54\mu\text{m}$ 人眼损伤阈值比 $1.06\mu\text{m}$ 高20万倍, 比 $10.6\mu\text{m}$ 高100倍。其次它穿透战场烟雾的性能优于 $1.06\mu\text{m}$ 波长, 典型战场烟雾(主要成分是磷和六氯乙烷), 对 $1.06\mu\text{m}$ ,  $1.54\mu\text{m}$ ,  $10.6\mu\text{m}$ 三种不同激光的吸收系数分别为 $2.4\text{m}^2/\text{g}$ ,  $0.49\text{m}^2/\text{g}$ 和 $0.35\text{m}^2/\text{g}$ 。 $1.54\mu\text{m}$ 波长可由目前得到充分发展的长波长探测器在室温下探测, 从而适用于小型化和野外环境。该波长仍属于固体测距的范畴, 能充分利用现有已得到充分发展的 $1.06\mu\text{m}$ 测距技术, 性能价格比高。

$1.54\mu\text{m}$ 可由两种途径获得, 其一是受激喇曼散射频移技术, 利用甲烷气体 $2915\text{cm}^{-1}$ 振动模将Nd:YAG  $1.06\mu\text{m}$ 波长频移到 $1.54\mu\text{m}$ 波长。腔外喇曼过程是在Nd:YAG激光器输出的通路中插入一个简单的高压甲烷盒来实现的, 休斯飞机公司在80年代中期第一次将喇曼激光器装入备选的微型对人眼安全的激光红外观察装置中(MELIOS), 整机输出 $7.9\text{mJ}$ , 测程达10km。腔内喇曼激光器是将高压甲烷盒置于Nd:YAG谐振腔中。由于腔内功率密度大, 因此增加了转换效率, 同时改进了光束质量, 使腔失调灵敏度减小, 从而大大增加了可靠性。喇曼气体循环, 可以实现高重复频率工作, 适用于防空火控系统<sup>[2]</sup>。

休斯飞机公司对人眼安全防空系统(HEADS)就已采用重复频率20Hz的喇曼频移激光测距机。

国内大约从1984年开始进行喇曼频移激光测距机的研究, 西南技术物理研究所于1988年6月在国内首先实现喇曼激光测距, 1990年12月通过技术鉴定, 其原理样机整机输出 $8\text{mJ}$ , 测程大于12km。

获得 $1.54\mu\text{m}$ 波长激光输出的另一途径是掺铈磷酸盐直接输出 $1.54\mu\text{m}$ , 但由于材料性质决定, 铈玻璃激光器阈值与Nd:YAG相比要高, 缺少相应的被动染料Q开关, 不能高重复频率工作。Optic-Electronic Corporation (OEC) LH83 M手持式激光测距机就是采用的铈玻璃材料, 转镜调Q, 输入 $12\text{J}\sim 15\text{J}$ ,  $1.54\mu\text{m}$ 输出 $25\text{mJ}\sim 30\text{mJ}$ , 脉宽 $30\text{ns}$ , 测程 $10\text{km}$ <sup>[3]</sup>。据称, 国外已经开始 $1.54\mu\text{m}$ 被动Q开关的研究工作。

国内在铈玻璃材料研究方面还比较落后, 上海光机所的掺铈磷酸盐阈值为 $220\text{J}$ , 输出 $3\text{J}$ , 静态效率仅为 $1.4\%$ <sup>[4]</sup>, 离实际使用尚有一段不小的距离。

从 $1.54\mu\text{m}$ 测距技术开始出现起, 喇曼频移技术与铈玻璃技术就一直相互竞争, 相互促进。联邦德国有关公司曾进行了长达28个月的外场试验比较<sup>[5]</sup>, 认为喇曼频移技术具有以下几个优点: (1) 有较高的整体效率。(2) 被动Q开关体积小重量轻。(3) 脉宽窄, 从而具有较高的峰值功率。(4) 重复频率能满足防空系统的要求。

### 三、提高转换效率

固体激光器效率低的主要原因是泵浦源的问题, 普通氙灯或氪灯发射光谱与Nd:YAG的吸收谱线不匹配, 其光耦合效率大约只有2%。发射波长为 $810\text{nm}\sim 950\text{nm}$ 的二极管激光器, 与Nd:YAG的吸收带重叠, 并且体积小, 重量轻, 效率高, 性能稳定, 可靠性高和寿命长, 因此, 用激光二极管泵浦固体激光器是当前激光技术的热点之一。

在能量较高的系统中,闪光灯必须耗散大量能量,激光热交换器总冷却能力约70%消耗在冷却灯上,20%消耗于激光介质,余下的10%为系统的其它部分所消耗。对于输出为150mJ,频率为10Hz,效率为1.5%的系统,用来冷却闪光灯的功率是70W。如果二极管泵浦,其光-光耦合率为50%,电到光的耦合效率为35%,则对于二极管阵列来说,具有相同输出能量的器件要求的冷却功率仅为8.6W。

一般认为,二极管泵浦激光器与闪光灯泵浦的激光器相比,其效率高10倍。因此,二极管泵浦激光测距机将在重量,体积方面有一个较大的改善。

#### 四、改进光束质量

由测距方程可知,增大激光器的峰值功率降低接收系统的噪声等效功率以及减小光束发散均能使测程增加。激光器输出峰值功率直接与激光器的效率以及激光介质增益有关,改善探测器的量子效率及采用低噪声高增益前置放大器,对降低噪声的等效功率均有益。

在输出功率和噪声等效功率一定的情况下,对于小目标,测程跟光束发散度的平方根成反比,反比于噪声等效功率的四次方根,正比于激光发射功率的四次方根。因此,减小光束发散所做的工作对增大测程将最有成效,光束发散减小到四分之一,测程将增加一倍。

利用非线性光学相位共轭,就能使光束质量得到明显的改善。相位共轭是由介质或器件(例如高增益激光棒)发生畸变的光束跟一种具有波前反向特性的相位共轭物质(通常为气体)相互作用的过程。传输方向和相前都变得相反,以至当共轭光束反射回畸变介质中时,畸变就被抵消。光学相位共轭激光器提供的光束质量比非共轭激光器好3倍~4倍,这意味着其它条件不变,其共轭输出情况比非共轭输出情况的测程将增加一倍。有关这方面的应用研究,尚未见详细报道。

#### 五、激光新材料

研制新型激光材料,一直是激光物理学界追求的目标之一。激光晶体的各种特性以及晶体成本,决定其是否可用于测距系统。西南技术物理研究所在国际上首次研制成功高效率、低阈值(Nd,Ce):YAG激光晶体,其激光效率比优质Nd:YAG提高50%~70%,阈值明显降低,抗紫外辐照能力强,激光器可不用滤紫外装置而无激光衰减现象,对环境温度和冷却要求降低,已在-30℃~140℃环境温度下实现了重复频率风冷激光测距。

#### 六、测距机的其它功能

##### 1. 自检功能

新型激光测距机要求具有自检功能,这是与军用装备的可维修性紧密联系在一起的。产品的可维修性是从可测性、可达性、可更换性等方面来保障维修的准确、迅速、安全、可靠。因此,方便可靠的自检功能,能迅速排除测距机的一般故障。

##### 2. 测距次数计数

这是与产品的使用性密切相关的功能。据此,使用者对装备的工作情况会有一个一般的评价。

##### 3. 多目标测距功能

在测距机光束直径内有两个或多个靶的情况下,则在接收器输出中有两个或多个脉冲回

波,新一代测距机要求它能将多目标信息(如三个)加以存储并依次显示。

#### 4. 模块结构

借鉴于热象仪的模块结构,测距机也逐步采用功能模块,实现组件化。如美国KEI公司LH-83手持式人眼安全LRF就是由功率供应、测距计数和激光发射三个模块组成<sup>[6]</sup>。又如西德便携式目标搜索系统TZG10所使用的人眼安全LRF也是采用喇曼激光发射,外围功能转换/电路,以及接收三个模块<sup>[6]</sup>。这样就能大大降低成本,实现小型化、系列化。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Johnson A M. Eyesafe laser for military use. L&O, 1988 (June): 59
- [ 2 ] Ogorkiewicz R M. Eye-safe neodymium lasers. Internat Deffense Rev, 1990(February):174
- [ 3 ] Pengelley R. OEC's eye-safe laser option. Internat Deffense Rev, 1990(February):176
- [ 4 ] 祁长鸿, 张秀荣, 蒋亚丝 *et al.* 磷酸盐玻璃中Er<sup>3+</sup>离子的光跃迁和激光作用. 中国激光, 1991; 18 (1): 16
- [ 5 ] Ruger J F. Eye-safe Raman lasers developed in West Germany. SPIE, 1990; 1207: 155
- [ 6 ] Johson A M. Modular hand-held eyesafe laser rangerfinder. SPIE, 1986; 610: 72

收稿日期: 1991年7月2日。收到修改稿日期: 1991年10月20日。

#### · 产品简讯 ·

### 100W封离式CO<sub>2</sub>激光器

57-1型激光器是Synrad公司研制的射频激励、水冷CO<sub>2</sub>激光器系列中的一种型号,其输出光束功率100W,光束直径4mm,束散度3.5mrad,光束近似单模质量。

激光头光路排成“Z”形结构,大约38in(长)×4.5in(高)×6.3in(宽)。光束是线偏振的,可选的调制能力允许以4kHz的脉冲速率运转。另外一种57-2型由一双联激光管产生200W的输出功率。

译自L&O, 1991; 10 (8): 64 邹福清 译 刘建卿 校

#### · 简 讯 ·

### 西物所新波段可调谐激光晶体LNA研究取得重大进展

西南技术物理研究所对新波段可调谐激光晶体六方铝酸镁镱(LNA或LMA:Nd)的研究已取得重大进展,无解理无开裂晶坯尺寸达 $\phi 28 \times 190$ mm,激光棒尺寸 $\phi 6 \sim 7 \times 135$ mm。经四川省第一计量检定测试站光学分站测定, $\phi 6 \times 108$ mm棒的激光输出达42.8W和15.8J。目前,有关人员正对器件作进一步研究,可望有更大输出。

(本刊通讯员 供稿)