

# 眼睛安全的军用固体激光测距机

简 莉

目前战场上广泛装备的Nd:YAG激光测距机的缺点已被人们广泛认识,这些缺点是:对人眼很不安全;在烟雾中的传输性能差;与热成像夜视瞄准镜的匹配性能差。因此,研制新一代军用激光测距机的问题提到了日程上。CO<sub>2</sub>激光测距机可作为新一代军用激光测距机的优选者,这种激光测距机用于坦克测距特别理想,因为可以利用坦克车辆电源来致冷探测器。对依靠电池供电的手持激光测距机而言,要用电池来致冷探测器,并且要在测距之前,在极短的时间使探测器致冷下来,有很大困难。因此,美国陆军夜视和电光实验室的激光部开展了“眼睛安全的手持激光测距机”研究计划,美国国防部也将眼睛安全激光测距机激光材料的研制列入了国防部1983年军用激光研究发展计划。目前研究的眼睛安全激光测距机激光材料有:钪玻璃,工作波长1.51微米;掺钪的YLF,工作波长1.73微米,由美国Sanders Associates和国际激光系统公司研制;掺铱的YLF,工作波长2.06微米,由美国无线电公司研制;以及休斯公司研制的工作波长为1.54微米的喇曼频移Nd:YAG激光器。

在上述的激光材料中,YLF是近年研制成的性能可与YAG相比的一种激光晶体,Er:YLF晶体仅能用电光Q开关调制,而Ho:YLF晶体可用电光Q开关和转镜Q开关调制。美国无线电公司研制了温差电致冷的Ho:YLF激光测距机的实验样机,下面简要介绍这一实验样机。

## 研 制 目 的

根据与美国陆军电子研究发展部和夜视电光实验室签订的合同(DAAB07-77-C-2197),美国无线电公司从1977年9月到1979年8月研制成Ho:YLF小型激光测距机的实验样机,并进行了定量的测距试验和实验室测试。研制这种实验样机的目的是:1.进行用温差电致冷的HgCdTe接收机的Ho:YLF军用小型激光测距机的可行性研究;2.实验一种1PPS(1个脉冲/秒)温差电致冷的军用激光测距机用Ho:YLF激光器。对这种样机进行的试验和测试结果表明:1.Ho:YLF激光器与温差电致冷的HgCdTe接收机组合,可构成工作波长为2.06微米的眼睛安全的小型激光测距机,供军事上应用;2.在军用环境的温度范围内,用结构简单的温差电致冷的Ho:YLF激光器,脉冲重复频率可以达到1PPS;3.这种Ho:YLF激光测距机可以使用Nd:YAG激光测距机的许多部件;4.大气中的CO<sub>2</sub>对2.06微米激光的吸收不是影响测距性能的主要因素。

## 温差电致冷的HgCdTe接收机

Ho:YLF实验型激光测距机的接收机由两级温差电致冷的光导型HgCdTe探测器、接收

收稿日期:1984年2月14日。

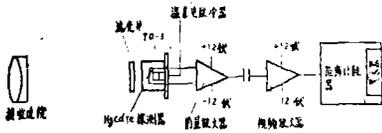


图 1 HgCdTe接收机的方框图

透镜、带通滤光片、前置放大器和距离计数器组成。其方框图如图 1 所示，接收机的性能数据如表 1 所示。

表 1 2.06 微米接收机的性能

探测器类型	温差电致冷的光导型 HgCdTe	最小可探测功率	$\sim 2 \times 10^{-7}$ 瓦 (在信噪比 = 7 时)
峰值响应波长	3.7 微米	透镜孔径	50 毫米 (直径)
探测器尺寸	0.010 × 0.010 英寸 <sup>2</sup>	滤光片通带	1.9 ~ 2.5 微米
探测器温度	$\sim 230^\circ\text{K}$	接收视场	1.3 × 1.3 毫弧度 <sup>2</sup>
温差电致冷器	两级, 1.0 安, 1 伏	前置放大器	Perry 3140-1 型 (在 400 千赫之 上, 升压前置放大器 6 分 贝/倍频程)
冷却时间	15 ~ 30 秒	总带宽	0.5 ~ 20 兆赫
偏置电流	0.4 毫安	视频放大器	改进的 AN/GVS-5 型激光测 距机的视频放大器
探测器高频		距离计数器	标准的 AN/GVS-5 型激光测 距机的距离计数器
滚降频率	400 千赫		
等效噪声功率 (2.06 微米)	$0.5 \sim 1.3 \times 10^{-11}$ 瓦/ 赫 <sup>1/2</sup>		
$D^\circ$ (2.06 微米)	$2 \sim 5 \times 10^9$ 厘米赫 <sup>1/2</sup> /瓦		

### 1. 探测器/前置放大器

由于没有峰值响应波长为 2.1 微米的好的探测器可以利用, Ho:YLF 实验型激光测距机利用了峰值响应波长为 3.7 微米的光导型 HgCdTe 探测器, 并将该探测器安装在一个两级的温差电致冷器上, 封装在带蓝宝石窗的 TO-3 管壳中。

HgCdTe 探测器的频率响应率为:

$$R_\lambda(\omega) = \frac{K}{(1 + \omega^2 J^2)^{1/2}}$$

式中, J 是探测器的时间常数, K 是与材料参数有关的函数。光导型 HgCdTe 探测器的噪声光谱曲线显示了探测器有大约 400 千赫的滚降频率。为了分辨多目标, 测距机要求 10 ~ 20 兆赫的带宽。R<sub>λ</sub> 随 ω 增加而减小的量约为每倍频程 6 分贝。为了得到平坦的频率响应, 探测器后面的前置放大器的增益在 400 千赫和 10 兆赫之间, 每倍频程增加 6 分贝。前置放大器的总带宽为 20 兆赫。探测器/升压前置放大器组合后的总的均方根噪声的测量值为 1.1 毫伏, 脉冲响应时间的测量值为 30 ~ 40 毫微秒。等效噪声功率的测量值为  $0.5 \times 10^{-11}$  瓦/赫<sup>1/2</sup>, 而标定值为  $1.3 \times 10^{-11}$  瓦/赫<sup>1/2</sup>; D<sup>°</sup> 的测量值为  $5 \times 10^9$  厘米·赫<sup>1/2</sup>/瓦, 标定值为  $2 \times 10^9$  厘米·赫<sup>1/2</sup>/瓦。

探测器/前置放大器后面的视频放大器采用改进的 AN/GVS-5 型手持激光测距机的视频

放大器。这种视频放大器在15兆赫的带宽内有37分贝的增益，用于接收脉冲的阈值探测。距离计数器也采用标准的AN/GVS-5型激光测距机的计数器，距离测量和显示的精度为±10米。

## 2. 接收光学系统

接收光学系统由胶合的双消色差物镜和滤光片组成。物镜是一标准的7×50双目消色差物镜，可见光的焦距为190毫米；在2.06微米波长，焦距的测量值为197毫米，透过率的测量值为65%。滤光片的带通宽度为1.9~2.6微米，在2.06微米波长，透过率为80%。选择宽带滤光片的原因是，这种滤光片对2.06微米光的透过率比窄带滤光片好，计算表明，用这种宽带宽的滤光片，探测器的背景噪声也可以忽略。

## 1 PPS 温差电致冷的 Ho:YLF 激光器

美国无线电公司研制成采用 LiNbO<sub>3</sub> 普克尔盒 Q 开关和转镜 Q 开关的 1 PPS 温差电致冷的 Ho:YLF 激光器，并且验证了这种激光器作为小型激光测距机的发射机在军用环境中工作的可靠性。表 2 列出了这种 Ho:YLF 激光器的性能，其性能要求是激光测距应用中的典型要求。

表 2 Ho:YLF 激光器性能

	要 求	LiNbO <sub>3</sub> 普克尔盒 Q 开关	转 镜 Q 开 关
工 作 方 式	单脉冲 Q 开关	单脉冲 Q 开关	单脉冲 Q 开关
能 量 / 脉 冲	10 毫焦	10 毫焦	10~40 毫焦
脉 冲 宽 度	40 毫微秒	150 毫微秒	55 毫微秒
光 束 散 度	6 毫弧度 (80% 的能量)	2.6 毫弧度	3.7 毫弧度
重 复 频 率	1 PPS	1 PPS	1 PPS
占 空 因 数	20 秒接通, 60 秒断开	10 秒接通, 60 秒断开	20 秒接通, 60 秒断开
存 贮 能 量 / 脉 冲	20 焦耳	24 焦耳	25~35 焦耳
附 加 电 源	10 瓦 / 脉冲 / 秒	3 瓦	8 瓦
环 境 温 度	-40°F ~ 145°F	到 140°F	到 140°F
尺 寸	6 × 2 × 2 英寸	9 × 2 × 2 英寸	6.5 × 2 × 2 英寸

因为转镜 Q 开关的 Ho:YLF 激光器是美国无线电公司自行研制的，下面我们仅介绍根据合同研制的 LiNbO<sub>3</sub> 普克尔盒 Q 开关 Ho:YLF 激光器。

美国无线电公司研制的 1 PPS LiNbO<sub>3</sub> 普克尔盒 Q 开关 Ho:YLF 激光器，采用 Er 和 Tm 为敏化离子，Ho 离子的掺杂浓度为 0.34% 的 YLF 晶体棒，其组分为 LiY<sub>0.429</sub>Er<sub>0.5</sub>Tm<sub>0.087</sub>Ho<sub>0.0034</sub>。在激光器的设计中，聚光腔/激光棒的冷却和 LiNbO<sub>3</sub> 普克尔盒 Q 开关是设计的两个重要方面，这两个设计的特点是由 Ho:YLF 激光器的激光特性和 Q 开关特性决定的。

### 1. 聚光腔/激光棒冷却的设计

激光棒的冷却：由于用 Er 和 Tm 作为敏化离子的 αβHo:YLF 晶体在室温下为准三能级系统，并且阈值随温度变化约为 0.3 焦耳/°C，如果不冷却激光棒，阈值随温度增加，闪光灯的

输入能量也要增加,约增加10焦耳~20焦耳/脉冲,因此,在Ho:YLF激光器中,即使是在1PPS的低重复频率工作时,激光棒的冷却亦很重要。

该公司用二级的温差电致冷器冷却Ho:YLF激光棒,将棒产生的热量通过二级的温差电致冷器传导到安装在聚光腔上的散热片上。设计的方法是将 $3 \times 30$ 毫米圆柱形Ho:YLF激光棒,用热导率约7倍于YLF晶体的兰宝石套管套住(兰宝石与YLF晶体热导率分别为0.47瓦/厘米 $^{\circ}\text{C}$ 和0.063瓦/厘米 $^{\circ}\text{C}$ ),兰宝石套管的尺寸为46毫米 $\times$ 6毫米(外径) $\times$ 3.2毫米(内径),激光棒纵向地放置在套管中心,两端用硬的硅树脂O形垫圈支撑,棒和套管的间隙中充以稀薄透光的热传导介质:乙二醇和水的混合液。兰宝石套管通过一个BeCu套筒与一个二级的温差电致冷器连接,温差电致冷器装在聚光腔上的散热片上,如图2所示。这种单端散热片的温差电致冷器的设计占用的空间小,并且不影响泵浦效率。

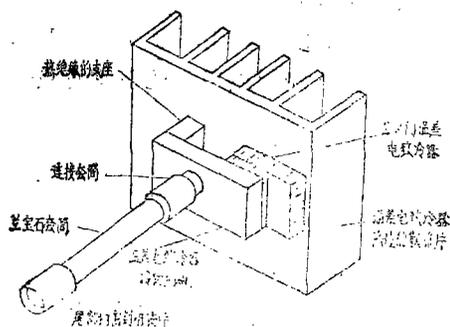


图2 温差电致冷器冷却Ho:YLF激光棒

的泵浦光谱带石英具有最大的透射率。石英套管安装在聚光腔上,因此,聚光腔内空气所吸收的热量从石英套管传导到聚光腔壁上,再经聚光腔传导到聚光腔底座的散热片上散发到周围空气中。

前人研究的经验指出:Ho:YLF激光器用紧包的聚光腔,可以得到好的泵浦性能。可采用单灯或双灯的紧包腔,双灯腔的优点是可平衡输入到棒上的热量,而单灯腔具有高的泵浦效率,两种腔体的外形尺寸相同,但内部尺寸不同。图3显示了实验型温差电致冷的Ho:YLF单灯聚光腔的设计。

## 2. $\text{LiNbO}_3$ 普克尔盒Q开关

到目前为止,还没有相应于Ho:YLF激光器的2.06微米波长的可饱和吸收染料Q开关可以利用,因此,实验型Ho:YLF激光器采用了 $\text{LiNbO}_3$ 普克尔盒Q开关。在Ho:YLF激光器中,使用 $\text{LiNbO}_3$ 普克尔盒Q开关最大的困难是如何获得可靠的单脉冲Q开关输出,这是由Ho:YLF激光器的激光特性和 $\text{LiNbO}_3$ Q开关的Q开关特性决定的。因为:1.在Ho:YLF激光棒中,敏化离子Er、Tm到Ho离子之间的能量转移时间慢(为微秒级),因而能量存贮时间长并容易出现多脉冲;2. $\text{LiNbO}_3$ 晶体退压后

闪光灯/聚光腔的冷却:无线电公司实验型Ho:YLF激光器闪光灯/聚光腔的冷却采用传导冷却法,将热传导到聚光腔底座的散热片上。所设计的聚光腔为铝腔,腔的底座与激光棒的兰宝石套管和温差电致冷器分开安装,腔的内表面镀铝,以在Ho:YLF激光棒的泵浦光谱带得到高的反射率(在0.25微米波长, $R > 90\%$ ),腔内充以空气。闪光灯采用内径为3毫米,充气压为700托的氙灯,氙灯外套弧长为29毫米的石英套管。选用石英的原因在于,在Ho:YLF

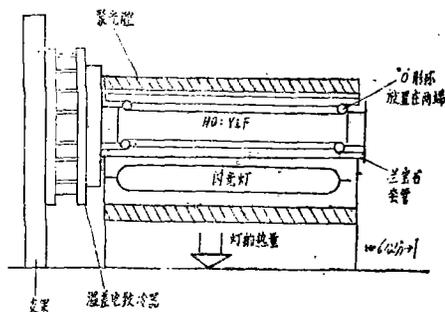


图3 温差电致冷的Ho:YLF聚光腔

残留的滞后产生了高的腔内损耗，甚至在加在晶体上的电压为零时；3. 在Ho:YLF激光器中，LiNbO<sub>3</sub> Q开关所用的压电环会使晶体中残留滞后振荡，加剧了多脉冲的发生。为了抑制多脉冲，美国无线电公司在实验型Ho:YLF激光器中，采用带起偏器的λ/4 LiNbO<sub>3</sub>普克尔盒Q开关，并且在开关打开后，还维持一个补偿电压，以减小晶体残留的滞后损耗。起偏器选用ZnSe单面布儒斯特角起偏器，而不用通常普克尔盒Q开关的空气间隙格兰方解石起偏器。原因在于前者比后者透射性好，效率高，并且ZnSe具有高的折射率( $n=2.45$ )，因而可作为理想的布儒斯特角起偏器。理想的Q开关电压波形和Q开关电路图分别如图4和图5所示。

美国无线电公司设计的实验型Ho:YLF激光器谐振腔长度约为9英寸，LiNbO<sub>3</sub>晶体尺寸为5×5×15毫米，半反射镜的反射率为85%。脉冲实验表明当电源高电压V<sub>BB</sub>调到2900~3000伏时，LiNbO<sub>3</sub> Q开关关闭得最好，当Q开关的高压调到约3000伏时，晶体中残留的剩余偏压小于100伏。根据前人的经验，Q开关发生在闪光灯触发后400~500微秒，Q开关打开的时间是10微秒。单脉冲输出维持在3~4ppm。

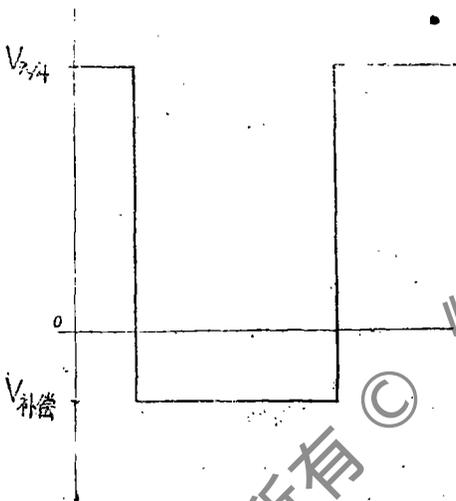


图4 理想的LiNbO<sub>3</sub> Q开关电压波形

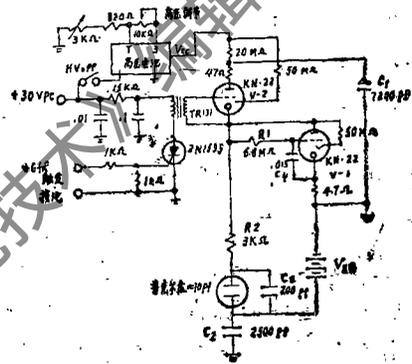


图5 λ/4普克尔盒Q开关电路

### 测距性能和今后的工作

用美国无线电公司设计的温差电致冷的HgCdTe接收机和输出能量为5~10毫焦的温差电致冷的1PPS Ho:YLF激光器组成的实验型激光测距机，对反射率为10%的目标，在3公里的能见距离下测距，测距能力为900米。如果用峰值响应波长为2.1微米，而不是3.7微米的HgCdTe探测器，接收灵敏度可提高3~4倍，测距性能可得到改进。此外，将Ho:YLF激光器的输出能量从5~10毫焦提高到20毫焦，也可进一步改进测距性能。用输出能量为20毫焦的Ho:YLF激光器和峰值响应波长为2.1微米的HgCdTe探测器组成的激光测距机，对10%反射率的目标，在3公里的能见距离下，测距能力可达到3公里。这样的测距性能可以与目前类似尺寸和重量的Nd:YAG激光器和硅雪崩光电二极管探测器组成的激光测距机的测距性能相比较。今后的工作是，进一步发展峰值响应波长为2.1微米，等效噪声功率为 $1 \times 10^{-12}$ 瓦/赫<sup>1/2</sup>的、带增压前置放大器的光导型HgCdTe或光伏型HgCdTe探测器；进一步研究2.06

## 军事训练用的激光电视唱片

从1976至1979年美国国防部高级研究计划局(DARPA)技术管理办公室,为了把激光电视唱片用在许多防卫问题上,已作了若干小额技术投资。该办公室试验了以激光电视唱片为主件的情报节录系统,以激光电视唱片为主件的信息存贮与信息检索系统,以及用激光电视唱片为主件的训练系统。1979年夏天就作出决定,要以激光电视唱片为主要部件制造坦克炮射击模拟器样机。这种非常小额的投资已经产生了巨大的效果,而且还可以革新高级技术训练过程。

现在大家对军事训练问题的费用清单都很清楚。首先是实弹射击所花的经费太高。在“国防”杂志较早的文章中McGlasson报道,一发射击M-1坦克的炮弹约1200美元;一发龙式(DRAGON)导弹5000美元,而一发毒刺(STINGER)防空导弹要8万美元。由布雷德利(Bradley)战车发射1万发25毫米炮弹要花约50万美元<sup>[1]</sup>,还需另外开支教员和学员的费用,装备还要维修保养。而且为了使计划的执行和训练演习更能产生效果,还必须等待时机。总之,这种训练肯定是成功的,但是训练演习时间加长,费用就非常非常昂贵。

由于军事局面一直都在变化,训练也还存在困难。近几年来所征集的新兵没有比预期的更好已不是秘密。总之,志愿兵的质量确实不如预期的和希望的高。许多志愿兵在最关键的技术方面没有什么可贵的经验,而且当他们从部队取得了有用的经验后就选择转业到了民用部门。许多技术不好的志愿兵常常再回到部队,在实际任务中也只有低下的技术水平。

我们高级武器制造教学的复杂性只是增加了训练的困难。这种复杂性常常对战略战术学说提出挑战,而且通常使整个训练过程紧张。无疑,训练系统是向着更复杂趋势发展。

已经从组织上和技术上回答了上述问题。军事学校直接向常规部队所负的职责已大部分变动,而且已经研制出数量繁多的全尺寸(即与实物一样大)的模拟器。常规部队仍然保留着大量未制订的新职责并且许多全尺寸的模拟器由于价格过于昂贵,几乎不可能配备那些需要使用它们的大部分常规部队。

---

微米波长的接收光学系统与瞄准光学系统合一的光学设计,在已论证的基本性能和技术的基礎上,工程发展1PPS重复频率、20毫焦输出的非转镜Q开关小型Ho:YLF激光器。

### 参 考 文 献

- [1] Laser Focus/Electro-Optics, 1983(Sep.), P.171~175.
- [2] AD-A088836.