

激光在国外海军的应用



信息产业部第二十七研究所

激光在国外海军的应用

主 编	薛海中	刘文化	
副 主 编	倪树新	李纪华	姚兴国
	刘淑萍	唐宗礼	朱正凤
编写成员	孙盛禹	秦 勇	赵京旭
	刘国庆	倪树新	陈福胜
	古德才	蒋鸿旺	叶剑平
	卢克成	刘建东	王江安
	郑永超	张桂凤	朱耘
审 校	卢克成	张桂凤	刘淑萍

信息产业部第 27 研究所

一九九八年十二月

序 言

以高分辨力和抗电磁干扰为突出特点的光电装备已成为当今世界军事高技术装备竞相发展的重点之一。在1996年制定的美国《联合作战科学技术计划》中，所确定的十二项“联合作战能力目标”中有十一项与光电子技术有关，从信息战、电子战到精确制导、导弹防御，及至反布雷和生化战剂探测，都离不开光电子技术。光电子技术对作战系统的“赋能”和“倍增”作用，已被近期多次实战所证实。

激光装备作为光电装备的一个重要组成部分，在国外各军兵种中已得到广泛应用，其中海军尤为突出。了解国外发展动态，借鉴国外有益的经验，对我国海军激光技术装备的发展是十分重要的，编辑出版《激光在国外海军的应用》一书的意义正在于此。在该书付印之际，谨向为本书出版付出辛勤劳动和为我国海军电子装备现代化做出努力和贡献的同志表示诚挚的谢意。

赵登平

一九九八年十二月

前 言

激光技术的诞生将可资利用的电磁频谱资源扩展到光频段。激光作为高效的信息载波和能量载体,由于频率高(较微波约高4个数量级),相干性极好,使其在军事装备中应用时具有难得的优点:用于探测、跟踪时分辨率高,几乎无盲区;用于通信时容量大,抗干扰能力强;用作武器时具有瞬时直接命中目标的能力;用作武器制导时命中精度极高。激光技术与作战系统相结合,已成为当前军事技术和装备发展的重要趋势之一,它不仅显著提高了武器系统的作战效能,而且还明显改善作战指挥和战堆场管理能力,激光已成为高技术常规战争强有力的技术支撑,因而引起世界各国的普遍关注。30多年来,军事激光技术已取得了长足的进展,在各军兵种得到越来越广泛的应用并取得骄人的战绩,其中在海军装备中应用尤为突出。

为了全面了解国外激光技术和装备的发展现状和趋势,借鉴其成功的经验,开拓思路,以促进我国海军激光装备的发展,在海军有关领导的大力支持下,我们编写了《激光在国外海军的应用》一书,供从事和关心我国海军激光技术和装备发展的科研、生产、教学、使用和管理人员参考。

本书分为激光测距、激光制导、激光陀螺、激光对潜通信、激光水下探测、激光武器、激光雷达、激光侦察、激光对抗和激光在造船工业中的应用等12部分,分别介绍了相应激光技术和装备在海军中的应用和发展背景,基本原理、组成结构、战术技术性能,装备现状和发展趋势等。

编写过程中,我们力求做到全面、准确,但鉴于资料、时间和编

者水平所限,书中难免有疏漏和差错之处,敬请读者不吝指正。

韦木昇

一九九八年十月

目 录

第一部分 激光测距

一 概述	(1)
二 激光测距的构成、工作原理和工作过程	(4)
三 发展概况	(8)
四 典型系统	(19)
五 发展特点和趋势	(22)

第二部分 激光制导

一 概述	(25)
二 激光制导系统	(26)
(一) 激光制导原理和关键器件	(26)
(二) 激光制导现状和典型装备	(28)
1 激光制导导弹	(28)
2 激光制导炸弹	(31)
3 激光制导舰炮炮弹	(37)
三 激光目标指示器	(44)
(一) Nd: YAG 激光测距仪/目标指示器	(44)
(二) 用于激光制导导弹、炸弹的目标指示器	(48)

第三部分 舰用激光陀螺与光纤陀螺

一 舰用激光陀螺	(55)
1 激光陀螺原理和结构	(55)
2 激光陀螺特点	(56)
3 激光陀螺技术关键	(57)
4 激光陀螺的应用	(58)

二 舰用光纤陀螺的研究与应用	(64)
1 光纤陀螺的原理与现状	(64)
2 光纤陀螺主要技术关键	(67)
3 几种典型光纤陀螺	(67)
4 光纤陀螺的应用	(70)
5 光纤陀螺的市场与价格预测	(73)

第四部分 激光对潜通信

一 概述	(75)
二 激光水下传输特性	(76)
三 激光对潜通信系统基本工作原理和型式	(78)
四 系统组成	(81)
五 激光对潜通信研究情况	(87)
六 激光对潜通信发展前景	(90)

第五部分 激光水下探测

一 概述	(92)
二 水下激光成像	(92)
(一) 水下激光成像关键技术	(93)
(二) 水下激光成像用的激光器	(95)
(三) 水下激光成像用的接收机	(97)
(四) 水下激光成像系统的技术现状	(97)
(五) 发展前景	(100)
三 激光勘测海深	(101)
(一) 系统工作原理	(101)
(二) 系统基本组成	(101)
(三) 研制现状	(102)
(四) 发展前景	(112)

四 激光探潜/探雷	(112)
(一) 系统工作原理	(113)
(二) 系统部件	(114)
(三) 研制状况	(115)
(四) 典型系统	(118)
(五) 发展前景	(122)

第六部分 舰载激光武器

一 概述	(124)
二 激光武器使命与组成	(129)
三 关键技术	(131)
四 激光武器的装舰	(143)
五 研制激光武器值得借鉴的几个问题	(148)

第七部分 激光雷达

一 概述	(152)
二 激光雷达的特点	(153)
三 激光雷达的基本工作原理	(154)
四 激光雷达的基本构成和体制	(160)
五 激光雷达在海军中的应用	(167)
六 典型实例	(172)
七 发展趋势	(181)

第八部分 航母载机光电着舰引导系统

一 概述	(183)
二 可视灯光助降系统	(184)
三 美国“艾科尔斯”激光着舰引导系统	(186)
四 法国“达拉斯”光电着舰引导系统	(189)
五 美国的激光扫描飞机姿态监视系统 (SLASS)	(195)

六 发展趋势	(197)
--------	-------

第九部分 岸基光电探测系统

一 激光/电视组合探测系统	(199)
(一) 岸基使用的通用型光电探测系统	(200)
(二) 岸基专用光电探测系统	(202)
二 红外、激光、电视组合探测系统	(206)
(一) 单台、单控式岸基光电探测系统	(206)
(二) 集中控制式岸基光电探测系统	(209)
三 光学、红外和雷达组合探测系统	(213)

第十部分 激光侦察

一 概述	(216)
二 激光威胁类型	(217)
三 激光识别的原理和分类	(218)
四 激光报警接收机关键技术	(220)
五 研制和应用现状	(221)
六 典型系统	(227)
七 发展趋势	(229)

第十一部分 激光威胁、防护与对抗

一 概述	(230)
二 激光威胁	(231)
三 激光防护与对抗	(233)
(一) 激光防护	(234)
(二) 激光对抗	(239)
1 激光探测和告警	(239)
2 有源激光对抗	(241)

3	烟幕对抗	(242)
4	涂料干扰对抗	(246)
5	其它方式的激光对抗	(247)

第十二部分 激光在造船工业中的应用

一	概述.....	(249)
二	激光在造船工业中的应用.....	(251)
三	发展方向.....	(260)

第一部分 激光测距

一、概述

激光测距是激光技术在各种军事应用中应用最早、最成熟、最广泛的一项技术。60年代初第一台激光器问世不久,由于激光器具有高亮度、单色性、方向性极佳的特点,开始尝试将其应用于测距技术并获得成功。30多年来,伴随着激光器技术、光电探测器件与技术及信息处理技术的迅猛发展,激光测距技术尤其是军用激光测距技术得到飞速发展。目前,各种类型的激光测距机已装备于海、陆、空各军兵种,在精密测距、火控、精确制导、战场侦察定位等多方面发挥了重要作用。

激光测距原理是微波雷达测距原理在光频段的自然延伸,通过对以激光光源照射目标为起始点,经目标反射回到光源处的激光光程的测量,解算出自光源到目标间径向距离。但激光测距又与雷达测距有很大区别,这是由于两者工作频段相差悬殊造成的。与雷达测距相比,激光测距由于其自身机理的限制,也存在着不足之处:主要是受大气和天候影响比较严重,通常说来,二者是优势互补的。凡雷达测距难以解决的问题,激光测距往往能做到很好,反之亦然。激光测距的优势主要表现在以下几个方面:

1. 测距精度高,测量精度可达米级甚至更高
2. 激光波束窄,方向性强,不受海杂波影响,易于完成低角测量,无镜像效应和低空盲区
3. 抗电磁干扰能力强,能适应战场条件下非常复杂的电磁环境

4. 对微波雷达隐身的目标，通常无法对激光隐身

在现代海战中，激光测距机与其它光电系统配合，是对付低空飞机和掠海飞行导弹的有效手段。

尽管激光测距机种类繁多，用途不一，功能也千差万别，但归纳起来不外以下几种方式：

1. 工作波段多集中于 $0.69\mu\text{m}$ ， $0.88\mu\text{m}$ ， $1.06\mu\text{m}$ ， $1.54\mu\text{m}$ （或者 $1.57\mu\text{m}$ ）， $10.6\mu\text{m}$ 。

2. 信号形式分为脉冲和连续波两种基本方式。

3. 探测方式有相干探测和直接探测之分。

连续波相干探测激光测距机由于器件和技术的原因，目前一般应用于靶场探测等需要高灵敏度、高精度探测领域。采用脉冲波形和直接探测的激光测距机，由于其简单、可靠、实用、环境适应性强等特点而得到广泛应用；现今国内外海、陆、空各兵种列装的激光测距机，大多属于这一类，工作波长以 $1.064\mu\text{m}$ 为主，激光器工作物质为 Nd:YAG，采用 APD 脉冲直接探测， $1.54\mu\text{m}$ 波长的激光测距机有良好的发展前景。

激光测距技术国外以美国、法国、英国、瑞典、以色列等国领先，这是由其雄厚的经济基础、工业基础和先进的技术基础所决定的。中国的激光测距技术，从单机指标看，已达到了国际先进水平，有些单项指标甚至已有所超出。但当由光电整机构成具有规定作战任务的光电系统时，我国与世界先进国家之间的差距是非常明显的。

据不完全统计，自激光测距机问世以来，世界上研制的激光测距机已有 300 余种，广泛装备于陆、海、空各军兵种。海军用激光测距机多是在陆军炮兵等使用的激光测距机的基础上改进发展起来的。

海军现有的激光测距机，按其应用平台可分为四大类：

（一）舰用激光测距机。这类激光测距机主要是和红外跟踪器、电视跟踪器、计算机等光电设备组成各种类型的火控系统，是舰

载火控雷达系统的重要组成部分。其主要作用是指挥、控制舰上火炮、导弹等武器，完成对近程作战目标如飞机、导弹、舰船的攻击的拦截。激光测距机的任务是实时、精确地提供目标距离。此类激光测距机的典型指标为：激光器工作物质：Nd：YAG，工作波长 $\lambda=1.064\mu\text{m}$ ，光电探测器为雪崩光电二极管，最大作用距离在15km左右（依天候和目标特性决定），测距精度5m。

（二）潜艇潜望镜用激光测距仪。这类激光测距仪主要用于潜艇潜望镜测距，如光电桅杆、潜用光电定位系统等。这类激光测距机主要是和象增强器、热象仪等组合使用，从而提高潜艇潜望镜的性能。其任务一是对空警戒、跟踪与攻击，提高潜艇对抗能力；二是指挥武器系统实施对空中和海面目标的精确打击。潜望镜用激光测距仪，特点是体积小，功耗低，典型指标为：作用距离约5km，测距精度 $\pm 10\text{m}$ ，重量约2kg，功耗100W左右。

（三）岸基光电系统激光测距机。此类激光测距机包括海岸炮兵用激光测距机，海军陆战队以及舰、陆通用的手持式激光测距机等，主要作用是火控和观瞄。

（四）舰载机激光测距机/目标指示器。顾名思义，激光目标指示器用来指示目标，也称激光照射器，其作战使命是在导弹等武器攻击目标（如舰船、飞机等）期间，不断地向目标照射激光，激光被目标漫反射到空间各个方向，因此，导弹可以在很宽的范围内接收到目标反射的激光信号，从而自动控制弹身沿激光方向精确攻击目标。激光测距机/目标指示器既可以进行激光测距，又可以进行目标指示。其典型指标为：

作用距离大于16~20km，测距精度 $\pm 10\text{m}$ ，重复频率1Hz~0.1Hz。

光电装备在现代海战中有着举足轻重的作用。80年代以来，几次局部战争，尤其是海湾战争的实践充分证明了这一点。经过30多年来的发展，光电装备从空中到水面水下，从警戒检测到跟踪对抗，几乎涉及现代海战整个领域。光电装备技术的发展，已

引发了现代海战的武器系统、舰艇编队、作战模式以及现代战法等一系列重大变革。光电装备的应用程度已成为海军作战能力的重要标志，作为光电装备主要组成部分的激光测距仪，自然功不可没，在海军装备中占有重要一席。

表 1--1 列出了几种典型船用激光测距仪的主要指标。

二、激光测距仪的构成、工作原理和工作过程

脉冲激光测距机的测距原理与雷达测距完全相同：激光器在规定的时序控制下产生激光脉冲，照射被测目标，照射激光被目标反射，部分反射光回到探测点经光学天线接收进入接收机，经电路处理测量出自激光发射到经目标反射回来的激光被接收之间的时间间隔 t ，则被测目标到探测点的径向距离为：

$$R = (1/2) ct \quad (1-1)$$

式中 c 为光速，真空中的光速为一个精确的物理常数

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

海平面或近海地面的平均大气折射率为

$$n = 1.000275266$$

故近地大气中的光速为

$$c = 2.9971 \times 10^8 \text{ m/s}$$

当不考虑大气中光速的微小变化时，测距精度 ΔR 主要由测时精度 Δt 确定：

$$\Delta R = (1/2) c \Delta t \quad (1-2)$$

对于脉冲测距系统时间间隔起始信号，即主波信号通常是由激光器内的激光散射光经光电探测器而产生的。时间间隔的终止信号即回波信号则是由目标反射激光回波到达测距机后经光电转换而形成，主回波信号可由同一探测器提供，也可由两探测器提供。

由雷达测距方程经过一系列推导、简化，不难导出下列结论，

表 1-1 典型海军用激光测距仪主要性能指标

国 别	型 号	作用距离 m	测距精度 m	工作波长 μm	重复频率 Hz	激光束散 角 (mrad)	接收器件	重 量	用 途
法国	TM Y113	240~9900	± 5	1.06	20	1.7~2.2	APD	18kg	船用火控
英国	CH84	≤ 5000	± 10	1.064	0.1~1	< 1	APD	2kg	潜望镜用
德国	TM Y156	16000~20000	± 5	1.064	1	APD	25kg	目标指示	
荷兰	LAR	400~20000	± 5	1.06	6~15	船用火控			
瑞典	UAL10102	30Km	± 10	0.6943	15~30 次/分	船用火控			
以色列	HRLR-04	300m~20km	± 5	1.57	20	1.5	APD	14.5kg	船用光电系统
美国	AN/GVS-5	200~10000	± 10	1.06	1		APD		

对于漫反射目标（海军装备激光测距机探测目标多为漫反射目标），激光测距机最大作用距离 R 与有关参数存在如下关系：

$$R^4 \propto P_t \cdot \tau_t \cdot \tau_r \cdot A_r \cdot A_s \cdot \rho \cdot T / \theta_s^2 \quad (\text{小目标}) \quad (1-3)$$

$$R^4 \propto P_t \cdot \tau_t \cdot \tau_r \cdot \rho \cdot T / \theta_s^2 \quad (\text{大目标}) \quad (1-4)$$

式中 P_t ：激光发射功率

τ_t ：激光发射光学系统透过率

τ_r ：激光接收光学系统透过率

A_r ：激光接收光学系统面积

A_s ：目标有效反射截面积

ρ ：目标反射率

T ：大气双程透过率

θ_s ：束散角

上述式中，大目标指目标尺寸大于照射光斑的情况。为了保证一定的探测回波概率（通常要求 90% 以上），接收机的信噪比必须达到规定的要求，一般要求 $S/N \geq 10$ 。

由此可见，激光测距机作用距离由多种因素决定。这些参数之间往往还存在有相互制约关系。因此，必须综合权衡这些因素，合理作出选择。

典型脉冲激光测距机的组成见图 1-1，其工作过程大致如下：

操控及信息处理系统根据大系统（如火控系统）命令，控制激励源产生激光器激励信号。激光器在激励信号激励下产生激光，激光绝大部分经反射光学系统压缩束散角后射向目标，少量散射激光经主波采样电路处理形成主波信号，送门控电路开启门控电路，允许时钟信号经门控电路进入计数器，经目标反射后的激光有少许经大气传输进入接收光学系统，接收光学系统将激光信号汇聚到光电探测器光敏面上经光电转换、匹配滤波放大电路、整形电路形成回波脉冲送门控电路，关闭门控电路终止时钟信号进入计数器，计数器所计时钟脉冲的个数与被测主回波时间间隔有

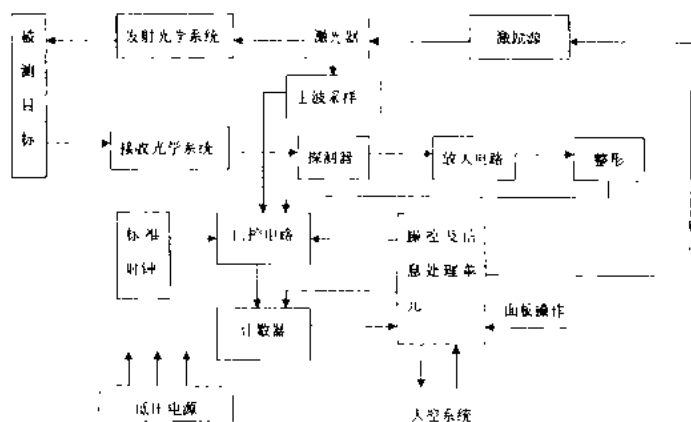


图 1 典型脉冲激光测距机组成

数器，计数器所计时钟脉冲的个数与被测主回波时间间隔有严格对应关系，操控及信息处理单元录取计数器数据，经运算、处理，即可解算出被测目标到激光测距机之间的径向距离，并根据系统命令实时送出这些数据，然后控制激励源、门控电路、计数器等作好下一工作周期的准备。这样周而复始，直到任务结束。

通常仿照微波雷达的分类方法，将激光测距机分为发射机、接收机、终端机，各部分功能及包括内容如下：

发射机包括发射光学系统、激光器、主波采样、激励源，完成激光波束产生与整形、目标照射、主波采样等任务。

接收机包括接收光学系统、探测器、放大电路、整形电路，完成微弱激光信号的接收、光电转换、放大、整形等任务。

终端机包括标准时钟、门控电路、计数器、操控及信息处理单元等，完成整机操控、对外接口、主回波时间间隔测量、距离解算等任务。

激光测距机与其它光电装备配合简单、操作方便，只要各光电设备光轴平行度在规定指标之内，目标一旦进入激光测距仪视