

电光调 Q Nd:YAG 蓝绿激光在水下弹道测量中的应用研究

郑艳芳^{1,2}, 刘西站¹, 陈良益¹

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:介绍了适于在海水中传输的激光光源的各重要性能指标的选择依据和论证过程。描述了电光调 Q Nd:YAG 脉冲激光光源的设计原理、基本结构。实验证明该激光光源具有较好的工作性能, 获得的测量数据经修正后误差均在 0.05m 以内, 能够满足水下激光弹道测量的要求。

关键词:电光调 Q; Nd:YAG; 脉冲激光; 弹道测量; 水下探测

中图分类号:P733.3⁺³ **文献标识码:**A

Applied Research of the Nd:YAG Electrooptic Q-modulated Blue-green Laser for Ballistic Trajectory Measurement Under Water

ZHENG Yan-fang^{1,2}, LIU Xi-zhan¹, CHEN Liang-yi¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Science, Xi'an 710119, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper introduced the performance requests and the choice basis of the laser sets suitable for transmission in seawater. The design principle and the basic framework of the Nd:YAG electrooptic Q-modulated pulsed laser were described. The experiments show that this laser sets has the better capabilities and can content the requests of the underwater ballistic trajectory measurement.

Key words: electrooptic Q-modulated; Nd:YAG; pulsed laser; ballistic trajectory measurement; underwater detecting

1 引言

自激光问世以后, 由于其具有一定的穿透能力、亮度高、准直度好、不易受到干扰等优点, 最先应用的领域之一就是进行探测和测距。近 40 年来, 随着导弹、航天事业的发展, 激光测量技术有了很大的提高和发展, 研制了多种系列的精密光学测量系统, 使得陆地上的激光靶场测量技术已经达到相当完善的程度。然而, 在海洋领域, 激光测量潜艇导弹技术的应用远远不及在陆地上的情形, 其主要原因: ①激光在水中的能量损失大, 水下目标的回波信号很弱; ②海洋中的悬浮物对激光探测回波信号方向和强度有影响, 而且影响是随机的; ③由于海水中各种光的散射以及鱼群与藻类等虚假目标, 造成了回波信号的复杂性。由此可见, 海水中激光回波信号的检测

和数据处理比在陆地上的测量难度要大得多^[1-2]。

1963 年, S. A. Sullian 及 S. Q. Dimtley 等人在研究光波在海洋中的传播特性时, 发现海水对 450 ~ 550nm 波段内的蓝绿光的衰减比对其他光波段的衰减要小很多, 衰减系数约为 $10^{-2}/\text{m}$, 证实在海洋中亦存在一个类似于大气中存在的透光窗口^[3]。本研究就是利用工作在蓝绿光波段的激光器以及陆地上成熟的激光靶场测量技术, 研制出基于新的物理机理的水下激光弹道测量系统, 主要实现潜艇发射

基金项目: 中国科学院西安光机所所长基金 (No. 0754961213) 资助。

作者简介: 郑艳芳 (1978 -), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水下靶场测量技术。E-mail: winnerfang@tom.com

收稿日期: 2008-04-18

导弹运行轨迹、速度与加速度的测量和记录功能,从而能够衡量潜导发射武器的性能。

2 水下蓝绿激光弹道测量系统

水下蓝绿激光弹道测量系统主要由激光光源发射器、激光同步扫描系统、激光接收器、同步延时电路、信号处理电路及水下密封机械装置等几部分组成,其工作原理如图 1 所示。将三台装配在潜艇上有一定距离的激光器以相同的速度扫描形成矩形空间光幕,对潜艇导弹进行跟踪,当导弹处于矩形空间光幕的某个靶点中时,三台分别与激光器相匹配的激光探测器通过感应光能量的变化可接收到目标反射光的回波信号,从而记录下导弹在测量坐标系下的若干个靶点信息(导弹与探测器的距离),然后利用纯斜距定位法交会测量计算出导弹在指定测量坐标系下的轨迹参数。

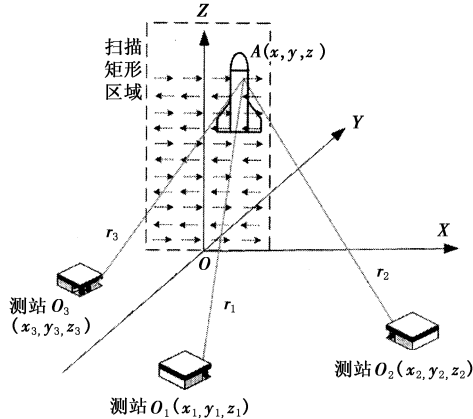


图 1 水下激光弹道测量系统工作原理图

3 激光光源的相关性能指标

水下蓝绿激光弹道测量是否具有可行性,关键技术之一在于激光光源的各项参数是否能使激光束在海水中传输到能够实用的深度,并经探测目标反射后还有足够的能量被艇载水下激光弹道测量系统的探测系统所探测到;同时,激光光源还必须满足艇载的条件要求。因此,除波长外,脉冲峰值功率、脉冲宽度、重复频率、发散角以及光斑的均匀性等激光束参数也是水下蓝绿激光弹道测量系统激光光源的重要性能指标^[4]。下面主要介绍激光光源的各重要性能指标的选择依据和论证过程。

(1) 激光波长

由于选择性吸收,海水实质上相当于一个带宽比较宽的蓝色滤波器。大量的实验测量表明,激光波长与海水的衰减系数的关系随海水的清洁程度,也即海水所含物质成分和浓度而变化,越清洁的海

水其窗口越向短波方向移动^[5]。大洋清洁水的窗口为 480nm,沿岸海水的窗口为 520 ~ 550nm,其典型的衰减系数分别对应于 0.05m^{-1} 和 $0.2 \sim 0.4\text{m}^{-1}$ 。由此,激光波长的选择应在海水窗口为 480nm 或 520 ~ 550nm,并针对不同的用途选择不同的激光器。水下微光弹道测量实验工作主要是在近海区域,所以激光波长的选定须在 520 ~ 550nm 范围内。

(2) 脉冲峰值功率

根据具体选型的光电探测器感应灵敏度来确定激光光源的脉冲峰值功率。由“海水中光束传播唯像模型”^[6]可得海水中某一距离 r 处,光电探测器所接收到的激光束的光功率可表示为:

$$P_r = P_o e^{-\alpha r}$$

其中, P_o 为 $r=0$ 时入射到水中时的激光光源功率; r 为目标距离; α 是由水质和光的波长决定的体积衰减常数。设 CR110 型光电探测器最小可探测功率 $P_{\min} = P_r = 1 \times 10^{-11}\text{W}$, $\alpha = 0.38\text{m}^{-1}$, $r = 30\text{m}$, 则激光光源的最小出射功率为:

$$P_o = P_r e^{\alpha r} = 79.8\text{mW}$$

考虑到水下环境比较复杂,光电探测器须经过水的吸收和散射衰减才能够探测到目标反射信号光,激光光源的出射功率 P_o 应大于 79.8mW。由此可估计,当激光光源的最小峰值功率达到 150mW 时,可满足探测器的探测精度。

(3) 脉冲宽度

在水下激光弹道测量系统中应与 CR100 型号光电探测器的响应时间与带宽要求相适应。电光调 Q 激光光源的脉宽为 10 ~ 20ns,能满足水下激光弹道测量系统的要求。

(4) 重复频率

决定了水下激光弹道测量系统中探测的数据率。重复频率越高,可能达到的测量数据率也就越高。

(5) 发散角

在水下激光弹道测量系统中要求激光的发散角应尽可能小,尽可能减少在海水信道中的衰减,这样才能增大激光在水中的传输距离。

(6) 激光光斑均匀性

关系到水下激光弹道测量系统的接收灵敏度,要求激光光斑应尽可能均匀,主要是利用非稳腔技术及选模技术等来保证照射光斑的均匀性。

此外,由于水下激光弹道测量系统需要装载在

潜艇上,激光光源的体积和质量需要尽可能小,以便适合装载在潜艇外侧;并且作为系统中的关键部件,激光光源的寿命对整个系统的可靠性意义十分重大,因此,激光光源还应具有重量轻、体积小和长寿命的特点。

4 电光调 Q Nd:YAG 倍频激光光源的研制

通过以上对水下蓝绿激光弹道测量系统的激光光源的各项性能指标的分析研究,我们自行设计研制了一台用于水下蓝绿激光弹道测量的电光调 Q Nd:YAG 倍频激光光源。光源的基本结构如图 2 所示。采用 Nd:YAG 为工作物质,格兰棱镜为偏振器, KDP 电光晶体为调 Q 开关, KTP 晶体为倍频晶体的一级放大倍频激光器,其波长为 1064nm, 倍频波长为 532nm, 重复频率可调范围为 1, 5, 10, 20 次。

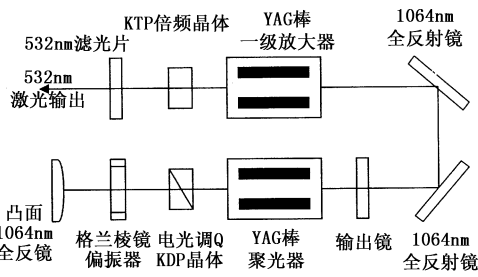


图2 激光器原理示意图

利用此电光调 Q Nd:YAG 脉冲激光光源,我们在 100m 横向模拟实验中成功建立了对水下蓝绿激光弹道测量系统的演示模型;并在未加放大级的情况下进行对每个目标点分别探测 8 次的空中试验,图 3 为探测目标分别在 20m 与 100m 距离获得的激光器出射原始脉冲与目标反射回波脉冲,表 1 为从脉冲图中处理出的激光测量值数据如表 1 所示。

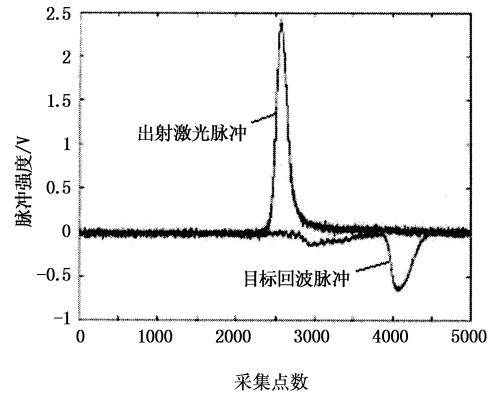
表 1 蓝绿激光模拟弹道测量实验数据处理表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	测量平均误差	测量修正值
标准距离										
5m	7.64	7.71	7.60	7.515	7.86	7.685	7.55	7.91	2.684	-0.027
20m	22.83	22.41	22.83	23.04	22.665	22.815	22.35	22.965	2.738	0.027
50m	52.41	52.74	52.89	52.86	52.29	52.815	52.74	52.8	2.693	-0.018
100m	102.72	102.62	102.81	102.75	102.66	102.84	102.95	102.48	2.729	0.018

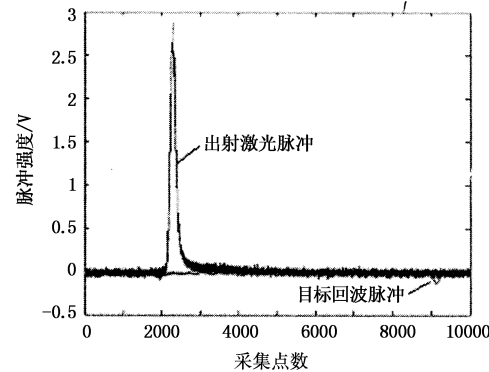
5 结论

由图 3 获得的脉冲信号可以看出,虽然 100m 远距离传输后信号强度减弱,但仍可以得到明显的回波信号脉冲,说明此电光调 Q Nd:YAG 倍频激光光源在对水下激光弹道测量系统预研实验的研究过程中作为发光信装置,性能稳定,工作良好。由表 1

测量数据可以得出,不同距离被测目标测量值平均误差均在 2.711m 左右,通过对系统进行固定时间延迟的修正后的各测量距离误差非常小,均在 0.05m 以内,能够很好地满足水下激光弹道测量系统的实验要求。



(a) 20m 目标距离



(b) 100m 目标距离

图3 目标在 20m 和 100m 处采集的信号脉冲图

参考文献:

[1] 徐启阳,杨坤涛,王新兵,等. 蓝绿激光雷达海洋探测[M]. 北京:国防工业出版社,2002:1-2.

[2] 蒋鸿旺. 水下光电探测系统现状与发展[J]. 激光与红外, 1999, 29(3):136-138.

[3] 陈文革,黄铁侠,卢益民. 机载海洋激光雷达发展综述[J]. 激光技术, 1998, 22(3):147-152.

[4] 陈名松,李直,何涛,等. 适于水下通信及激光成像系统大功率激光器的研制[J]. 广西师范大学学报, 2001, 19(3):10-13.

[5] Feigns V I, Kopilevich Y I. Optimization of laser wavelength in oceanographic lidars[J]. SPIE, 1998(2964):128-136.

[6] Duntley Seibert Q. Light in the sea[J]. Opt. Soc. Am. 1, 1963, 53(2):214-233.