

激光探测舰船尾流气泡样机初步实验研究

余 扬¹, 王江安¹, 马治国^{1,2}, 石晟玮², 梁善勇¹

(1. 海军工程大学电子工程学院, 湖北 武汉 430033; 2. 海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 基于激光水下探测原理, 采用自主研发的激光探测舰船尾流气泡样机, 同时用气泡幕模拟舰船尾流, 通过比较无气泡和有气泡两种条件下的样机接收信号, 验证了样机的探测性能; 并对气泡幕置于不同位置处的样机接收信号进行了分析和比较, 研究了不同条件下回波信号的波形特点; 最后对下一步的实验提出了几点建议。

关键词: 激光探测; 舰船尾流; 样机; 实验

中图分类号: TN959.6 **文献标识码:** A

Pilot Experimental Study of a Prototype Optical Wake Detector

YU Yang¹, WANG Jiang-an¹, MA Zhi-guo^{1,2}, SHI Sheng-wei², LIANG Shan-yong¹

(1. College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. Weaponry Department of Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Based on the principle of underwater laser detecting, a prototype optical wake detector manufactured by the research group is used with simulated ship wake by the bubbles film, then the detecting capability of the prototype detector is validated. Moreover the different signals received by the prototype detector with the bubbles film of various distances are relatively analyzed, and the echoes' characteristics are also researched. In addition, some advice is proposed for next experiment.

Key words: laser detecting; wake; a prototype detector; experiment

1 引言

舰艇航行时, 在艇身后面会形成明显的与周围水域性质相异的特别水带, 这种特别的水带就是舰艇尾流。尾流作为探测舰艇的手段之一, 现在的声探测方法已做得非常成熟, 而且多个国家都早已装备了声尾流自导鱼雷。该型鱼雷在实际应用中已表现出稳定的搜索跟踪能力和良好的作战使用效能, 这说明应用尾流探测舰艇是完全可行的^[1]。

然而采用声方法探测舰艇尾流的作用距离较近, 逐渐不能满足现代战争条件下远程发现, 远程打击的战术要求, 因此必须发展新的探测手段^[2]。舰艇尾流中存在大量气泡, 当光束在传输过程中遇到气泡, 依气泡大小就会发生不同的折射, 反射和散射过程, 造成光在尾流中的传输特性与在纯水中明显

不同, 而且光波波长极短, 对探测微小尺度目标具有非常高的灵敏性^[3-5], 这就为尾流气泡的探测提供了另一种可行的发展方向, 为实现对舰艇的远程探测提供了可能。本文正是基于激光水下探测的原理, 采用自主研发的激光探测舰船尾流气泡样机, 并在水槽中用气泡幕模拟舰船尾流, 对样机的探测性能进行了验证性实验和初步分析。

2 激光水下探测原理

水下激光雷达探测的理论模型可以借鉴已经非常成熟的机载激光雷达方程^[6-7], 其模型可以用方程表示为:

作者简介: 余 扬(1982-), 男, 博士研究生, 研究方向是军用目标探测与制导技术。E-mail: yuyangworking@163.com
收稿日期: 2008-08-23

$$P_r(t) = P_1(t - \frac{2R}{c}) \gamma_b(R) \eta \frac{A}{R^2} \cdot$$

$$\exp(-2 \int_0^R \sigma(r) dr) \quad (1)$$

式中, P_r 为激光雷达探测器接收到的激光功率; P_1 为激光雷达发射的激光功率; c 为光速; t 为目标回波信号激光脉冲与发射激光脉冲之间的时间间隔; $\gamma_b(R)$ 为海水后向散射系数; η 为激光雷达系统的效率; A 为探测器的有效接收面积; R 为探测距离; $\sigma(r)$ 为发射激光束经过路径上的总衰减系数, r 为激光束传输途中到某一点的距离。式(1)表明, 激光雷达探测系统在 t 时刻的接收功率, 主要决定于激光雷达在 $(t - \frac{2R}{c})$ 时刻的发射功率, 并与系统效率和海水光学参数密切相关。

以 $t - \frac{2R}{c} = 0$ 为例, 此时 $t = \frac{2R}{c}$, 代入式(1)得到:

$$P_r(\frac{2R}{c}) = P_1(0) \gamma_b(R) \eta \frac{A}{R^2} \cdot$$

$$\exp(-2 \int_0^R \sigma(r) dr) \quad (2)$$

式(2)表示激光雷达在时刻 $\frac{2R}{c}$ 的接收功率, 取决于激光雷达在 0 时刻的发射功率, 并受系统效率和海水光学参数的影响, 即其中包含了大量的光束传输路径信息, 而距离 R 位置处的介质光学特性对 $P_r(\frac{2R}{c})$ 更是具有关键作用。

以上讨论的是激光雷达接收系统在时刻的接收功率, 而实际上接收器感应的是一定时间范围内进入接收镜头的光能量, 这就是一个功率积分的问题。假定接收器的带宽为 f_s , 则抽样周期 $T_s = \frac{1}{f_s}$, 接收器在 t 时刻通过采样环节可显示的接收数值是由一个抽样周期内接收到的光能量决定的, 这个光能量可由以下的功率积分得到:

$$E_r(t) = \int_{t-T_s}^t P_r(\tau) d\tau \quad (3)$$

由 $E_r(t)$ 和 T_s 就可以计算出一般常用的瞬时平均功率 $P_r(t)$:

$$P_r(t) = \frac{E_r(t)}{T_s} \quad (4)$$

也可以这样理解, 接收器感应到的是能量值, 再根据带宽计算出瞬时功率值, 然后从中得到光束传输路径上的介质信息。

从式(4)可以看出, 若接收器的带宽 f_s 越大, 则

T_s 越小, 计算出的瞬时平均功率 $P_r(t)$ 就越准确, 越接近真实的瞬时功率, 同时接收信号的分辨率也越高, 从中也就能获得更多的信息。反之, 如果带宽不够, 就可能导致接收信号的分辨率太小, 即不能从中有效地发现传输介质信息。

3 激光探测舰船尾流气泡样机

激光探测舰船尾流气泡样机系统的总体结构如图1所示。整套探测样机系统分为样机和监控仪两部分, 正常工作时它们之间用电源电缆和数据电缆联在一起。样机采用波长 532nm 的绿光激光器和雪崩光电二极管, 监控仪可以控制激光器的出光频率和脉冲能量等光源参数, 并且可以将样机的接收信号通过输出接口直接传到示波器和电脑中, 进行实时记录。从设计指标上来讲, 此激光探测舰船尾流气泡样机已达到了探测气泡的基本要求, 并为实验分析创造了良好的外部接口条件。

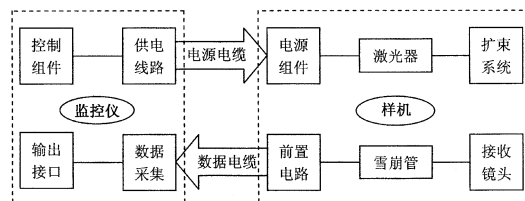


图1 样机系统结构简图

4 实验研究

4.1 实验装置

实验装置包括: 激光探测尾流气泡样机、水槽、陶瓷管阵列、空气泵、消光黑箱、示波器、电脑和电源, 实验原理图如图2所示。在水槽中放置黑箱是为了尽可能地吸收穿过气泡幕的部分光束, 避免剩余光束经槽壁反射后被样机的接收系统感应, 对后向散射光信号的分析产生干扰。实验过程中, 先关闭空气泵, 记录无气泡条件下样机的接收信号, 然后开启空气泵, 陶瓷管阵列即产生一定厚度的气泡幕, 并将气泡幕固定在水槽中的不同位置, 同时记录相应的样机接收信号。

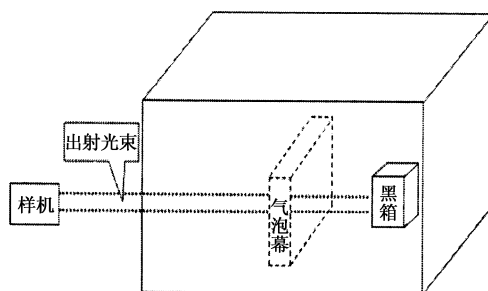


图2 实验原理图

4.2 实验结果及分析

首先来研究无气泡时的样机接收信号,其信号曲线如图3所示。由曲线可以看到,接收信号含有一个明显的峰值区,这是由黑箱的散射光造成的,但是接收信号波形不理想,峰值区后段存在较强的振荡。

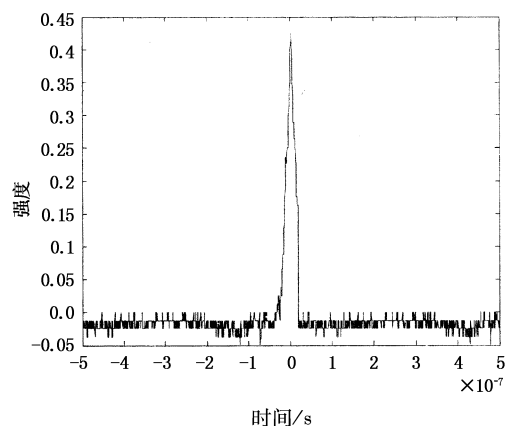
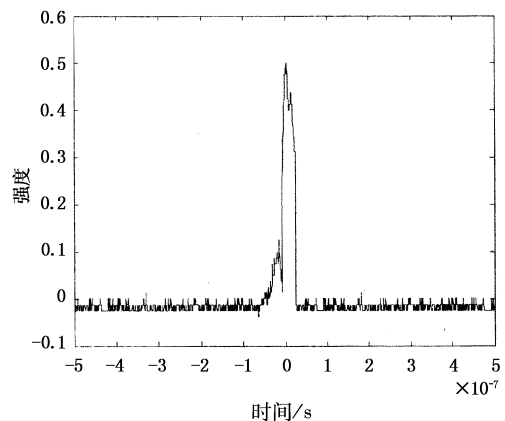
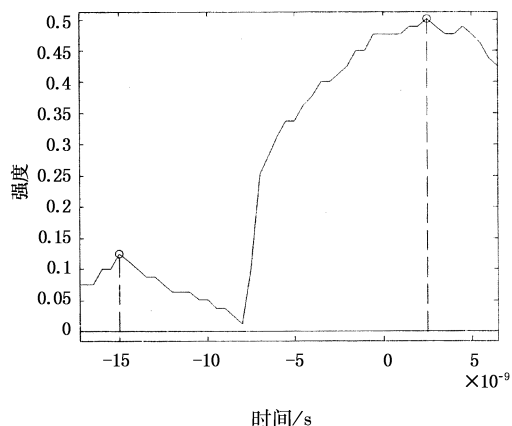


图3 无气泡时接收信号

在获取了无气泡时平静水域的样机接收信号,即得到纯粹的静水条件下的激光后向散射信号后,下面再来研究有气泡时的样机接收信号,并将有气泡时的接收信号与原净水信号相比较,从中掘取水下气泡的特征信息,实现对气泡的探测功能。

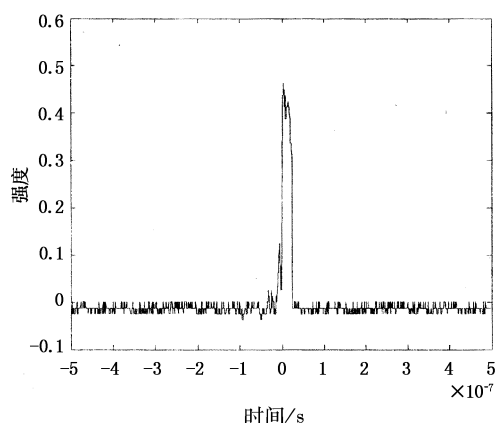


(a) 5m处接收信号

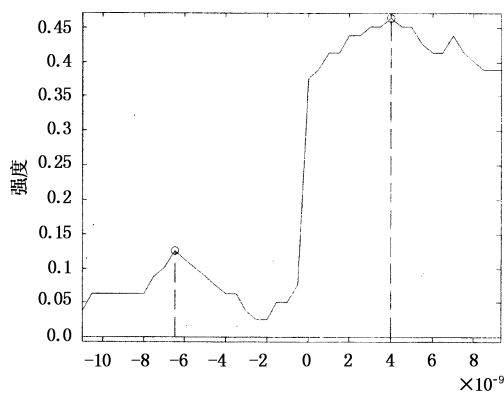


(b) 两峰间放大

图4 气泡幕置于5m处的接收信号



(a) 6m处接收信号



(b) 两峰间放大

图5 气泡幕置于6m处的接收信号

图4(a)中的曲线是气泡幕放置在距出光口5m处的接收信号,图4(b)是对曲线中两个峰值区的放大,图5是6m处的信号。图4(a)中的曲线明显包含有两个峰值区,由激光雷达方程式(1)并结合图2实验原理图中的光束传输过程分析,第一个较小的尖峰是由气泡幕的光散射造成的,第二个大主峰是由黑箱的光散射引起的。虽然第一个尖峰与后面的主峰相比幅度很小,但确实是清晰可见的,这表明水下气泡幕的存在对光束传输有明显影响,而且气泡幕的后向光散射信号能够被样机的接收系统感应到,并在接收信号波形上以尖峰的形式凸显出来。图5(a)中的信号曲线也存在两个峰值区,它们产生的原因与前面分析的一致,分别是由气泡幕和黑箱的光散射造成的。

比较图4(b)和图5(b)中的放大图可知,与5m处的信号相比,气泡幕放在6m时,两个峰值点的间隔变小,即两个峰值区靠得更近了,这是因为当气泡幕放在6m位置,与黑箱靠得更近,即光束传输时在气泡幕和黑箱上的散射点距离更近,从而在接收信号曲线上两个特征区域对应的时间差变小了。由理论计算,峰值点间隔的减小量约为10ns,在实验中

是7ns,造成这种偏差的原因可能是气泡幕与黑箱位置贴近时,两者相互影响增大,造成后向散射光信号发生变化,另外气泡幕的边界面也不能精确控制,会引起反射点的距离误差,其他影响实验结果的因素还需要深入分析。而且从图5可以看到两个峰值区有一部分已经重叠在一起了,这就是由于黑箱一直放置在水槽中的6.5m处,当气泡幕放在水槽中6m位置时,与黑箱靠得已经很近,光散射接收信号中的两个峰值区域有所重叠也就自然发生了。

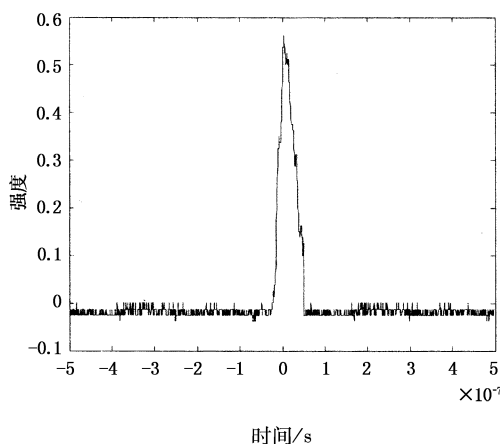


图6 气泡幕置于7m处的接收信号

最后将气泡幕置于7m的位置,记录数据,得到图6中的曲线,可以看到这时曲线上只剩下一个峰值了,这是因为气泡幕放在距样机发射光束出光口7m时(由水槽长度所限,实际上气泡幕是放在水槽中6.2m的位置,同时样机向后平移0.8m,总共间距7m),气泡幕的后沿与黑箱的吞光口相隔不到10cm了,在这种情况下,由于接收系统带宽 f_s 不够,气泡幕的光散射信号和黑箱的光散射信号会混叠在同一段抽样周期 T_s 内被样机接收,这样由式(3)计算的积分值是 T_s 内气泡幕和黑箱总的散射光能量,而据式(4)得到的瞬时功率值是两者光散射信号功率的叠加,因此在信号波形上分别对应气泡幕和黑箱的两个尖峰合二为一,形成了一个幅度和时间范围都较大的峰值区。

图7显示的是气泡幕放在不同位置时,样机接收信号的峰值曲线,图中将无气泡状态等效为将气泡幕置于无穷远(+∞)处。从曲线上的四个数据点可以看到,当气泡幕和黑箱位置接近重合时,即在图中7m附近的位置,样机接收信号的峰值最大,这是由于此时气泡幕和黑箱靠得非常近,已经超出了样机接收系统的分辨范围,从另一角度也可以说,这是由接收系统带宽 f_s 的限制引起的,从前面式(4)的理论分析中可知,如果 f_s 足够大,是能够从接

收信号波形分辨出靠得很近的气泡幕和黑箱的;无气泡时,峰值最小,但是仅根据四个数据点是不足以看出信号峰值规律的,这里只是做了一个简单的比较,全面深入的分析需要作进一步的实验才能完成。

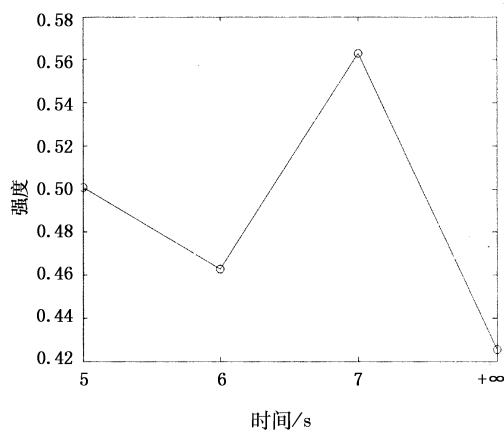


图7 气泡幕置于不同位置处的接收信号峰值

5 结论

从现阶段进行的初步样机实验可以得到以下结论,通过比较无气泡和有气泡条件下的样机接收信号,此激光探测舰船尾流气泡样机已具备了基本的探测尾流气泡能力,在水下一定范围内能感知气泡幕的存在;而且从接收信号波形分析,可以对气泡幕的位置做出大致判断,这些气泡的存在和分布信息都能够作为鱼雷自导系统的判断依据用以探测舰船尾流。下一步的实验重点将是获取更理想的接收信号,并在不同气泡条件下进行综合实验,研究不同距离、不同密度分布,不同大小气泡条件下的后向光散射信号,为舰船尾流目标特征判断提供坚实依据。

参考文献:

- [1] 蒋兴舟,陈喜,蒋涛. 鱼雷制导设计原理[M]. 武汉:海军工程大学,2001.
- [2] 石晟玮. 后向散射式激光尾流探测技术研究[D]. 武汉:海军工程大学,2008.
- [3] 王江安,蒋兴舟,马治国,等. 舰船尾流气泡后向光散射特性研究[J]. 激光技术,2005,29(2):205-206,218.
- [4] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis Bruce Johnson. Influence of bubbles on scattering of light in the ocean[J]. Applied Optics,1998,37(27):6525-6536.
- [5] Bohron C F, Huffman D R. Absorption and scattering of light by small particles[M]. New York: Wiley,1983.
- [6] 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.
- [7] Richard N, Dubinsky. Lidar moves toward the 21st century[J]. Lasers & Optronics,1988,4:94.