

文章编号: 1001-3806(2005)02-0205-02

舰船尾流气泡后向光散射特性研究

王江安, 蒋兴舟, 马治国, 宗思光
(海军工程大学 兵器工程系, 武汉 430033)

摘要: 对水中气泡后向光散射特性进行了初步的定性研究。实验结果表明, 由于气泡的存在, 水的后向光散射特性有了明显的改善。水中气泡后向光散射强度与探测器类型、气泡距离以及气泡密度等因素有密切关系。采取一定的措施, 尾流气泡后向光散射信号是可以探测到的。

关键词: 尾流; 气泡; 光散射; 后向光散射

中图分类号: O437 **文献标识码:** A

Study on back light-scattering property of bubbles in ship wake

WANG Jiang-an, JIANG Xing-zhou, MA Zhi-guo, ZONG Si-guang

(Department of Weapon Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: The light back-scattering property has been developed primarily. The results show that the property of water has been changed obviously because of the influence of bubbles. The intensity of light back scattered from bubbles is related to the type of detector, the distance and the density of bubbles. The light signal back-scattered from wake bubbles can be detected by taking some measures.

Key words: wake; bubbles; light scattering; light back-scattering

引 言

舰船在航行过程中产生大量气泡, 并在很长时间内存在, 这就为通过尾流探测舰船提供了可能。由于气泡的存在, 水的光学特性与无气泡时会有显著的区别。当气泡的线度远大于所使用的光的波长时, 气泡的影响主要是对光的反射、折射和吸收; 当气泡的线度与所使用的光的波长可以比拟时, 其影响还有非常重要的一方面——散射^[1]。

目前, 在对水中气泡光散射特性进行的有限研究中, 主要集中在对前向光散射特性的研究上(后向散射光非常微弱, 难于探测)。但在某些应用领域, 前向光散射特性的应用受到了很大的限制, 因此, 急需开展对水中气泡后向光散射特性的研究工作。

1 气泡后向光散射特性分析

1.1 单个气泡后向光散射特性

单个气泡的散射主要取决于波长与粒子半径的比值。根据气泡半径大小的不同, 散射解分为以下 3 种情况^[2]: (1) 对于粒子尺寸远小于光波长, 可以用瑞利

散射近似, 强度反比于波长的四次方; (2) 当粒子尺寸远大于波长时, 则是用夫琅和费衍射作为近似; (3) 粒子尺寸接近于波长, 称为 Mie 散射解, 没有近似。

散射解最为直观表示就是散射光强度随角度的分布。当粒子直径 $d = 2a$ (a 为半径) 很小时, 散射角分布接近于瑞利分布, 前后向的散射强度相差不多。当 d 接近于波长时, 角分布已明显地与瑞利分布不同, 且前后向有接近于 2 个数量级的差别。而当粒子尺寸远大于波长时, 不仅出现了前后明显的差别, 而且存在许多局部的峰值。相同的特征是: (1) 前向总的散射强度大于后向总的散射强度; (2) $\theta = 0$ 时, 一定是最大值。

MARSTON 等人研究了单个气泡的临界角 (82.8°) 散射、布儒斯特角 (106.2°) 散射和辉角 (180°) 散射。研究结果表明, 由于气泡的存在大大影响了光在水中的传播特性^[3]。但是气泡的群体光学特性, 如大量气泡的散射系数、背散射系数与单个气泡的相应参数有何关系, 仍然没有有效的研究。

1.2 群聚气泡后向光散射特性

群聚气泡的光散射特性与气泡的密度分布以及气泡的大小等诸多因素有着密切的关系, 对其进行研究存在着极大的困难。STRAMSKI 最先对气幕的光学特性进行了研究。他研究了半径在 $10^{-5} \text{ m} \sim 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$ 范围的干净气泡的光散射特性, 发现这些气泡对光在水中的后向散射系数的贡献近似可达 10%。

作者简介: 王江安 (1951-), 男, 教授, 主要研究领域有光电技术、图像处理、目标识别等。

E-mail: madaoh@163.com

收稿日期: 2004-02-23; 收到修改稿日期: 2004-06-22

群聚气泡的后向光散射特性可通过下式进行计算:

$$b_b = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} Q(r) \pi r^2 n(r) dr \quad (1)$$

式中, b_b 为后向散射系数,单位为 m^{-1} , Q 为单个气泡的后向散射的无量纲有效因子,可由 Mie 理论计算得到, r_{\max} , r_{\min} 分别为气泡的最大半径和最小半径, $n(r)$ 为单位体积中半径为 r 的气泡个数。

2 实验

2.1 实验装置

为了研究水中气泡后向光散射特性,自行设计了一套实验系统,这一系统主要由激光发射系统、气泡产

生装置、信号接收系统以及信号处理系统 4 部分组成。实验产生激光功率为 100mW,波长为 $0.53\mu m$,气泡尺度在 μm 量级。分别采用硅、铟镓砷点源探测器对气泡源位于远、近位置处的后向散射光强度进行探测。信号接收系统进行数据采集,采样时间间隔均为 0.1s,每次采集的总数据不少于 500 个,即总采样时间均在 50s 以上。

2.2 实验结果

在黑暗环境下,控制气泡的生成与停止,对后向散射光进行接收和处理,所得到的后向光散射强度随时间变化的曲线如图 1 所示(图中正脉冲为有气泡生成时的信号起伏,图 1f 中气泡密度反复变化)。

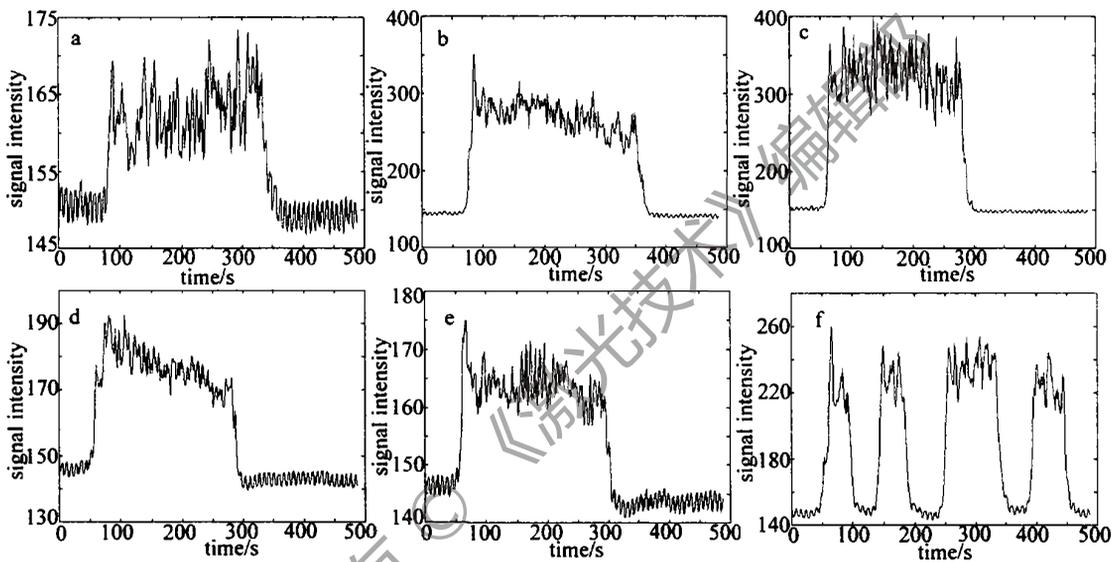


Fig 1 The curve of the back-scattering light intensity shift versus the time

2.3 分析与讨论

从图 1 中可以看出,由于气泡的存在,水的后向光散射特性有了明显的改变,强度显著变大。图 1f 为气泡密度反复变化时后向光散射强度的变化曲线,从中可以看出,后向光散射强度对气泡密度变化较敏感,气泡密度越大,后向光散射越强。另外,在有气泡存在的情况下,后向光散射信号有较大的起伏,这可能是气泡运动或是振荡的结果。

表 1 为后向光散射强度随探测器类型、气泡源距离远近以及气泡密度大小的关系表。从表中可以看

Table 1 The change of the back-scattering light intensity

detectors	distances	densities of bubbles	average intensity of signals	
a	AsGaIn	near	small	163
b	Si	near	small	271
c	Si	middle	big	327
d	Si	far	big	178
e	Si	far	small	164

出,后向散射光强度随气泡源密度的大小、距离的远近以及探测器种类的不同而有很大的变化。在同等条件下,硅探测器要好于铟镓砷探测器,随着气泡源距离的增加以及气泡密度的减小,后向光散射强度逐渐减弱。

如果以后向光散射强度作为探测水中气泡的判断,就目前的实验结果来看是可以的,但还需要对一些问题进行深入的研究:(1)后向光散射与气泡大小及密度的定量关系:该实验中产生的气泡幕厚度较小,如气泡幕厚度适当增大,实验效果会更好;(2)激光光束的选择以及控制:在该实验中使用的是连续光波,且没有进行扩束处理,如果采用脉冲光信号,并进行扩束,实验结果会更好;(3)探测器以及信号处理的改进:该实验采用点源探测器,所获取的信息很有限,如采用线阵或面阵,并对信号进行进一步的处理,实验结果会更好;(4)弱信号的提取以及背景噪声的抑制:水对光具有较强的衰减作用,当气泡源离探测器较远时后向光散射信号较弱。该实验直接提取光强度信号,容易受

(下转第 218 页)

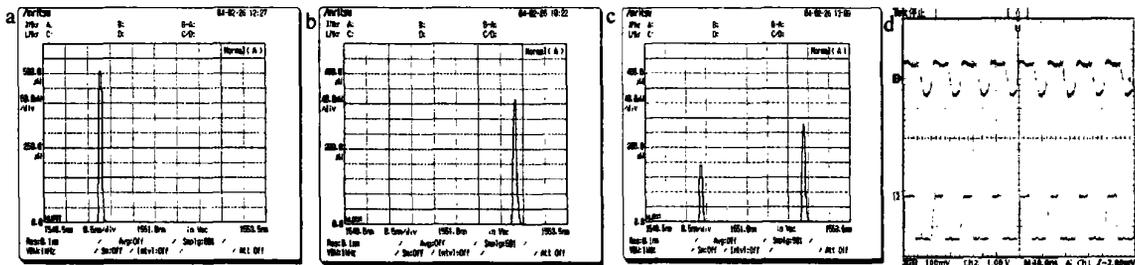


Fig 3 a—spectrum of the input signal source b—spectrum of external cavity laser with a bias current of 50mA c—spectrum of the output after wavelength conversion d—the output electrical signal after wavelength conversion and signal for monitor

体激光器输出所携带的原注入光信号的电信息,由于半导体激光器实现波长变换的原理利用的是激光器增益饱和效应,故波形 1 中的电信号同原注入信号反相。波形 2 是从注入光信号发生器提取监控信号,这里提取的监控信号同注入外腔半导体激光器的光信号相位也相反。结果,在示波器上可清楚地看到变换后信号(波形 1)和监控信号(波形 2)的同相变化。

实验中发现激光器工作电流,输入信号光功率都会对波长转换产生影响。如:给定的入射光功率下,增大激光器注入偏置电流,波长转换的波形有明显改善。合理地选择 FBG-ECL 的工作电流等参数,对于全光转换器有重要意义。另外如图 3d 所示,波长转换后的电信号的上升时间较长,根据(3)式,要使波长转换器得到高调制响应速率,目前有效的改进方法是降低光子寿命 τ_p 。减小外腔长度,提高耦合效率,优化外腔的结构是该器件实现在高速、大容量全光网中应用的关键。限于篇幅,关于光子寿命等细节对波长转换特性影响的分析将在另文中讨论。

3 结论

全光波长转换器将是未来全光网的核心器件之一。本文中针对基于半导体激光器实现波长转换的实验方案,建立理论分析模型,并自行搭建了一套基于光纤光栅外腔半导体激光器实现波长转换的实验平台。光纤光栅外腔半导体激光器实现波长变换还有一个突出优点,就是可以通过调谐光纤光栅的中心波长,从而实现全光波长转换器中对转发波长的可控转换。这将

在未来智能光网络中有很好的实用前景。

参考文献

- [1] YOO S J B. Wavelength conversion technologies for WDM network applications [J]. IEEE J Lightwave Technol, 1996, 14 (6): 955~966.
- [2] JOERGENSEN C, DAN IELSEN S, STUBKJAER K *et al* All-optical wavelength conversion at bit rates above 10 Gbit/s using semiconductor optical amplifier [J]. IEEE J Select Topics in Quantum Electron, 1997, 3 (5): 1168~1179.
- [3] DURHUUS T, JOERGENSEN C, MIKKELSEN B *et al* All optical wavelength conversion by SOA's in Mach-Zehnder configuration [J]. IEEE Photon Technol Lett, 1994, 6 (1): 53~55.
- [4] YATES J M, LACEY J P R, RUMSEW I C Z M P *et al* Performance of networks using wavelength converters based on four-wave mixing in semiconductor optical amplifiers [J]. IEEE J Lightwave Technol, 1999, 17 (5): 782~791.
- [5] WANG D, GOLOVCHENKO E A, PLIPETSKII A N *et al* Nonlinear optical loop mirror based on standard communication fiber [J]. IEEE J Lightwave Technol, 1997, 15 (4): 642~646.
- [6] 陈高庭, 瞿荣辉, 赵浩 *et al* 光纤光栅外腔分布布拉格反射激光器中的波长转换 [J]. 光学学报, 1998, 18 (3): 257~261.
- [7] 陈长勇, 乔学光, 贾振安 *et al* 一种新颖的光纤光栅应变与温度双参量传感器 [J]. 光电子·激光, 2003, 14 (8): 787~790.
- [8] AGRAWAL G P. Gain nonlinearities in semiconductor lasers: theory and application to distributed feedback lasers [J]. IEEE J Q E, 1987, QE23 (6): 860~868.
- [9] 赵同刚, 任建华, 李蔚 *et al* 半导体激光器实现波长转换的理论模拟分析 [J]. 光学学报, 2003, 23 (9): 1071~1075.
- [10] MCCALL M. On the application of coupled mode theory for modeling fiber Bragg gratings [J]. Journal of Lightwave Technology, 2000, 18 (2): 236~242.
- [11] 夏光琼, 吴正茂, 陈建国. 光纤光栅的长度对其峰值反射率的影响 [J]. 激光技术, 2002, 26 (2): 106~107.
- [12] KAKUCHI DA H, OHTSUBO J. Characteristics of a semiconductor laser with external feedback [J]. IEEE J Q E, 1994, QE30 (9): 2087~2097.

(上接第 206 页)

到外界环境(太阳光以及其它自然光等)的干扰。如采集其它特征信号,如功率谱信号等,则容易克服外界环境干扰,增大探测距离。

3 结论

从实验结果以及对实验结果的分析中,可以得出如下结论:在水中存在气泡的情况下,其后向光散射特性有了明显的变化。采取一定的措施,可以在一定距

离上探测到后向光散射信号。另外,后向光散射信号的强度除与激光光源的质量有关外,还与探测器类型、气泡幕距离以及气泡密度等关系密切。

参考文献

- [1] 张建生, 孙传东, 卢笛. 水中气泡的特性研究 [J]. 西安工业学院学报, 2000, 20 (1): 5~6.
- [2] 叶子. 光散射理论及应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 1995. 22~24.
- [3] BOHRON C F, HUFFMAN D R. Absorption and scattering of light by small particles [M]. New York: Wiley, 1983. 252~270.