

尾流气泡幕散射光的性质*

纪延俊^{1,2} 何俊华¹ 董晓娜¹ 郑黎¹ 陈良益¹

(1 中科院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 山东滨州学院, 滨州 256604)

摘要 用波长为 630 nm 的激光器作为光源, 硅二极管直接接收气泡幕的散射光. 对不同气泡幕的散射光作不同点的均值, 同时用 Matlab 语言程序计算散射光不同点自相关, 充分证明了散射光的随机性. 从散射光的统计性质来看, 它的均值和相关性与气泡幕参数之间存在一定的规律, 使光探测尾流具有可实现性.

关键词 气泡; 尾流; 散射光; 随机信号; 相关性

中图分类号 O436 **文献标识码** A

0 引言

舰船尾流是由大量气泡组成的^[1], 这些气泡是由于螺旋桨的空化作用和船体对波浪的破碎而形成的. 舰船不同, 形成的尾流参数不同, 气泡的参数包含尾流的信息, 所以人们对舰船尾流研究转化为对气泡幕的研究. 气泡幕因此成为判断舰船的依据, 也为实现鱼雷跟踪提供依据. 在鱼雷探测方面, 应用最广泛的是声呐回波反演法^[2]实现对气泡幕的探测, 但探测精度低. 由于光的灵敏度高, 用光探测气泡幕的性质会大大提高探测精度, 激光探测成为许多国家秘密的研究方向. 国外光探测主要有两种方法, phase-Doppler anemometry^[3]法和 PIV^[4]法. 这两种方法信息量大, 处理繁琐. 本实验直接通过对散射光的分析来确定气泡的尺寸分布, 与前面两种方法相比, 提高了计算速度.

1 理论分析

气泡在产生过程中, 尺寸的分布满足 Poisson 分布^[5]. 根据力学知识可推测, 气泡在水中会被溶解、上浮, 不同大小的气泡在水中受的浮力不同, 所以上浮速度不同, 直径越大上升速度越快, 所以大气泡迅速上升到水表面破裂, 在水中得以较长时间存在的是小气泡, 因此越滞后尾流中的气泡直径就越小, 速度越小. 光射入气泡幕, 运动的气泡经过光束时, 对光发生散射, 探测到的散射光, 应是直径段内各种直径的气泡在光束不同位置对光作用的随机叠加. 所以散射光中带有气泡幕的信息, 如果可以由散射光的性质确定出气泡幕的参数, 说明光探测尾流具有可实现性.

2 尾流实验

因为在尾流的不同部位气泡直径段不同, 实验采用气压可调气泵, 及各种孔径的微孔陶瓷管来模拟气泡幕, 充气泵对放于水中的陶瓷管充气, 在不同的气压下, 产生不同速度的气泡幕, 用不同孔径的陶瓷管产生不同直径的气泡, 这样就模拟出了尾流不同部位的气泡幕.

2.1 实验设备

实验在实验室中进行, 采用功率为 3 mW, 波长为 630 nm 的红光氦氖激光器, 光束直径 0.8 mm, 充气泵气压可调范围为 0~8 个大气压, 气压分别取 0.3、1、2 个大气压, 选用微孔直径为 20 μm 的陶瓷管, 放在长、宽、高分别为 500 mm、300 mm、400 mm 的水槽中, 光电二极管作为探测器, 光电流经放大器, 再经 A/D 卡变为数字电压信号, 实验布局如图 1.

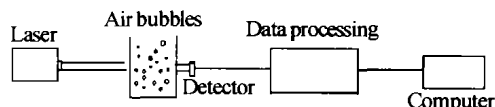


图 1 实验示意图

Fig. 1 sketch of the experiment

2.2 实验所得散射光波形

微孔直径为 20 μm 的陶瓷管, 分别在 0.3、1、2 个大气压下产生气泡幕, 采样频率为 3 kHz, 取样点数为 500, 探测器所得的散射光曲线如图 2. 横坐标为采样点数, 纵坐标为散射光引起的相应电压值, 它与光强成正比.

从图 2 中看, 所得信号为杂乱的, 毫无规律的; 但总体可看出随气泡速度的增大, 光的衰减越厉害, 说明信号具有一定的统计意义.

*51448 国防科技重点实验室资助项目

Tel: 029-88483821 Email: jiyanjungirl@163.com

收稿日期: 2003-06-30

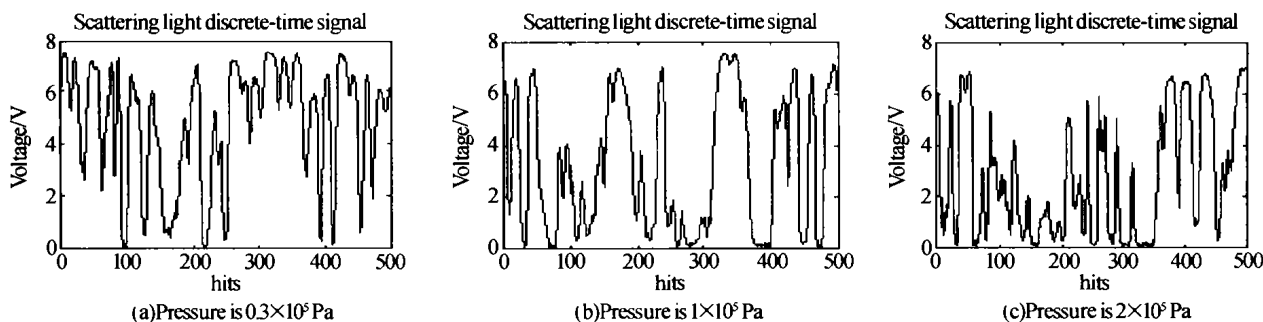


图 2 不同气压下散射光强度曲线
Fig. 2 Scatter light intensity curve in different pressure

3 对散射光信号的分析

3.1 求均值

对以上采集的信号做不同点数的均值, 分别做 500 点的均值, 从 50 点算起, 做 450 点的均值, 100 点算起, 做 400 点的均值, 200 点算起, 求 300 点的均值, 如表 1 所示.

表 1 不同气压下不同点数的均值

	500 点均值	后 450 点均值	后 400 点均值	后 300 点均值
0.3	4.8045	4.6989	4.7052	5.0926
1	3.9878	4.0871	4.2545	4.5359
2	2.7386	2.6872	2.6651	3.1524

表中数据表明, 起始点不同均值不同, 所以均值是时间的函数, 这是非平稳随机信号的特征.

3.2 自相关性

根据自相关的定义^[6], 相关函数表示为

$$r_{xx}(m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)x(n+m) \quad (1)$$

而我们获得的散射光强度是有限长序列, 采样值点数 $N=500$ 为有限值, 这种情况下只能求 $r(m)$ 的估计值, 上式变为

$$\hat{r}_{xx}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-|m|} x(n)x(n+m) \quad (2)$$

陶瓷管的微孔直径为 $20 \mu\text{m}$, 分别在 1、2 个供气压力下产生气泡幕, 在获得散射光的强度值后, 用 Matlab 计算机语言来实现散射光的自相关. 利用公式(2), n 从 0 点算起, m 分别取 100、200, 对应于 n 的取值范围分别为 $[0, 399]$ 、 $[0, 299]$, 作其散射光的自相关函数曲线; n 从 50 点算起, 再分别取 $m=100、200$, 对应于 n 的取值范围分别为 $[50, 399]$ 、 $[50, 299]$, 作其散射光的自相关函数曲线, 如图 3、图 4.

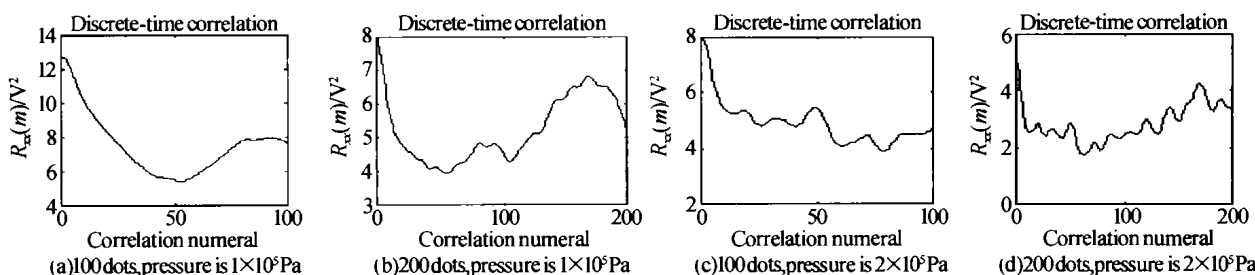


图 3 从零点算起、不同气压下的自相关函数曲线
Fig. 3 Correlation curve calculated from zero on different pressure

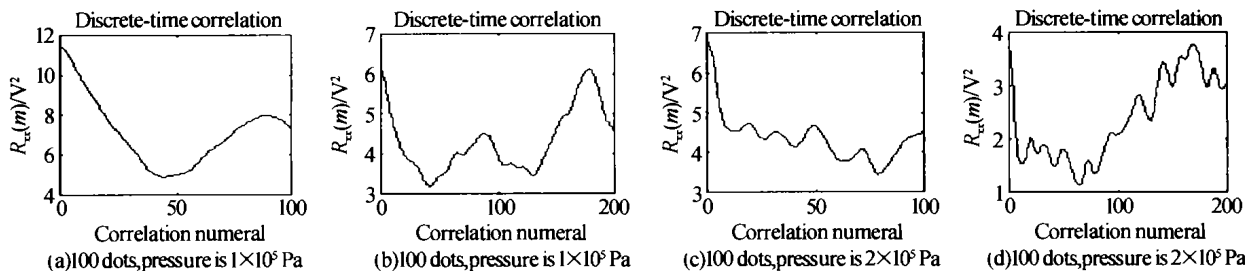


图 4 从 50 点开始算起, 不同气压下自相关函数曲线
Fig. 4 Correlation curve calculated from 50 on different pressure

从图中可看出, 相关性随 m 增大而减小, 说明相似性在减小, 相关曲线表现为毫无规律的波形, 表明信号为非周期的, 变换 $x(n)$ 的起始位置, 看到此信号的自相关函数不仅与 m 大小有关, 且与 $x(n)$

的选取位置有关, 说明它不是宽平稳的; 所以散射光信号是随机信号, 不能看作平稳过程, 不能通过一个确切的数学公式描述, 不能准确地预测, 我们只有从统计的意义上研究.

4 结论

随气泡速度的增大,散射光均值减小,因为速度增大单位时间内经过光束的气泡数增多,光的衰减增大;随气泡速度的增大,相关性相对减小,说明散射光虽然为随机信号,但它的统计特征量仍含有气泡幕的信息,证明光探测尾流具有可实现性。

参考文献

- 1 Blanchard D C, Woodcock A H. Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus* 9, 1957. 145 ~ 158
- 2 钱祖文,李保文,郑晓瑜,等. 气泡幕中的声传播及其反演. *中国科学 A 辑*,1992,(2):193 ~ 199
Qian Z W, Li B W, Zhen X Y, *et al. Science in China (Series A)*, 1992, (2):193 ~ 199
- 3 Naqwi A, Durst F, Liu X Z. Two optical methods for simultaneous measurement of particle size, velocity, and refractive index. *Applied Optics*, 1991, **30**(33):4949 ~ 4959
- 4 Abe M, Yoshida N, Hishida K, *et al.* Multilayer PIV Technique with High power Pulse Laser Diodes. In Proc. 9th Int. Symp. Appl. Laser Tech. Fluid Mech., Lisbon, Portugal, 1998. 1 ~ 8
- 5 Davids N, Thurston E G. The acoustical impedance of a bubbly mixture and its size distribution function. *J O S A*, 1950, **22**(1): 20 ~ 23
- 6 胡广书. 数字信号处理-理论、算法与实现. 北京:清华大学出版社,1997. 320
Hu G S. Digital Signal Processing-Theory, Algorithm and Realization. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 1997. 320

The Character of the Scattered Light of Bubbles Wall in Wake

Ji Yanjun^{1,2}, He Junhua¹, Dong Xiaona¹, Zheng Li¹, Chen Liangyi¹

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

² Binzhou University of Shandong, Binzhou 256604

Received date: 2003-06-30

Abstract Lamp-house was laser which wavelength is 630 nm, the light scattered by air bubbles wall was incepted by Si-diode. The scattered light's mean value of different air bubbles wall was calculated at different point. Scattered light was analyzed with auto-correlation using Matlab procedure contemporary. Thus the random of scattered light was proved. From the scattered light's statistical character, its mean value and auto-correlation have some orderliness with the parameter of air bubbles wall, which can realize the detection of light to wake.

Keywords Bubble; Wake; Scattered light; Random signal; Correlation



Ji Yanjun was born in 1974 in Shandong Province. She is the teacher of Shandong Binzhou University. Now, she is studying for M. S. degree in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. Her main study direction is the optical character of the wake of naval vessel.