

文章编号: 1001-3806(2004)04-0414-03

气泡的散射光与气泡尺寸分布

纪延俊^{1,2}, 何俊华¹, 陈良益¹

(1. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安 710068; 2. 滨州学院, 滨州 256604)

摘要: 从几何光学的角度出发分析了气泡对光的散射, 得出散射光强的波动特性与气泡的直径存在一定的关系。利用这个关系, 采用光强探测法, 对穿过模拟尾流气泡幕的光强进行了采集, 通过对光强波动的分析推得了尾流中气泡尺寸的大小以及分布情况。与以前的探测方法相比, 具有简便、数据量小等优点。

关键词: 气泡; 散射; 光强波动; 尺寸分布; 空化

中图分类号: O436 **文献标识码:** A

Scatter light of bubble and the distribution of bubble size

Ji Yan-jun^{1,2}, He Jun-hua¹, Chen Liang-yi¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China; 2. Binzhou University, Binzhou 256604, China)

Abstract: The scattering light of bubble is analysed from the point of view of geometry optics, from which it is concluded that the fluctuation of light intensity has some relation with the diameter of bubbles. Using this relation and adopting the light intensity detecting method, the light intensity through the wall of bubbles is collected, the dimension of bubbles and its distribution is deduced based on the analysis of fluctuation of light intensity. This method is brief and needs less data than other detecting methods.

Key words: bubble; scatter; light intensity fluctuation; size distribution; cavitation

引 言

水中航行的舰艇, 由于螺旋桨的空化作用和船体对波浪的碎开, 在船后和两侧产生大量的气泡, 不同的舰船产生的气泡幕尺寸分布不同, 不同的航行速度气泡幕的尺寸分布也不同, 通过确定气泡幕的性质, 进而确定航船的性质, 来实现鱼雷跟踪。现在应用最广泛的是声纳回波反演法^[1]实现对气泡幕的探测。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, 国外光探测主要有两种方法, phase-Doppler anemometry^[2]法和 PIV^[3]法, 这两种方法信息量大, 处理繁琐, 本文中将通过对散射光的分析来确定气泡的尺寸分布, 提高计算速度。

1 理 论

水中气泡对水中光的传播有很大的影响, 气泡较小时(与光波长相近), 一般用米散射来解释^[4], 且

作者简介: 纪延俊(1974-), 女, 讲师, 硕士研究生, 现从事舰船尾流光学特性的研究。

E-mail: jiyanjungirl @163.com

收稿日期: 2003-06-18; 收到修改稿日期: 2003-11-21

在具体的计算过程中, 米散射理论数据量大, 容易发生溢出, 而用几何光学的知识来解释更直观; 从光的折射、反射理论出发, 讨论气泡与光的相互作用中, 只考虑 3 种光线, 它们分别是: (1) 经气泡表面第 1 次反射的光线; (2) 在气泡内部第 1 次折射出的光线; (3) 经气泡内部第 2 次折射出的光线。

设气泡的直径为 D , 上升速率为 v , 光束的直径 b , 光从水中射向气泡, 是由光密介质射入光疏介质, 入射到气泡上的光束中只有沿直径方向入射的光线方向不变, 其余的光线完全偏离原先的直线方向, 到达不了探测器, 使探测光强变小, 随着气泡进入光束中的表面积增大, 被折射的光线越来越多, 到达探测器的光线就越来越少, 探测到的光强就相应地变小。下面分两种情况讨论。

(1) 当光束直径大于气泡的直径时 ($b > D$), 随气泡进入光束光强相应地变小, 当气泡完全进入光束中后, 光强到达最小值, 但仍有一部分光线可以直接到达探测面, 探测光强不会到达零值, 称光强的最小值处为波谷, 随气泡的上升, 当气泡的上表面露出光束的上边缘, 探测光强便随着气泡的上升开始增强, 气泡完全通过光束后, 探测光强恢复原先的值。

(2) 当光束直径小于气泡直径时 ($D > b$), 随气

泡进入光束光强相应地变小,光束完全射入气泡后,气泡还有一部分在光束外,这时大部分光线方向全都发生偏离,只有沿直径方向入射的光线到达探测面,探测到的光强很微弱,近似为 0,为光强的波谷,随着气泡的上升,探测光强经过一零值波谷后,当气泡的下表面高出光束的下边缘,光强开始增强,同样当气泡完全通过光束后,探测光强恢复原先的值。

2 应用

定义光强从没气泡时的值到变小再到恢复为一个波动,利用波谷的持续时间、波动的持续时间来判断气泡直径。设采样频率为 K ,波谷经历的点数为 N_1 ,波动经历的点数为 N_2 。

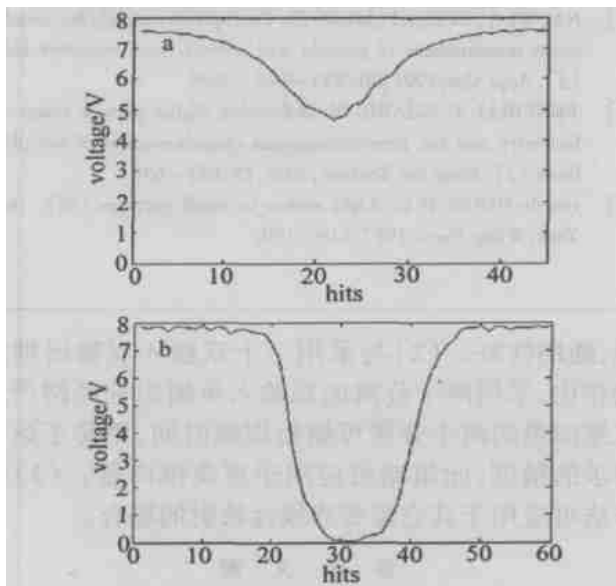


Fig. 1 The scatter light curve

a—bubble diameter smaller than the diameter of beam of light b—bubble diameter bigger than the diameter of beam of light

当光束直径大于气泡的直径时:设波谷的持续时间为 T_1 ,波动经历的时间为 T_2 ,波谷时间内气泡的上升距离为 $b - D$,总的一个波动时间内气泡上升距离为 $b + D$,以下方程组成立:

$$(b - D)/v = T_1, (b + D)/v = T_2 \quad (1)$$

得气泡的直径为:

$$D = (T_2 - T_1) b / (T_2 + T_1) = (N_2 - N_1) b / (N_2 + N_1) \quad (2)$$

当光束直径小于气泡的直径时:在波谷这一段时间内气泡上升距离为 $D - b$,在波动时间内,气泡上升的距离为 $D + b$,则气泡满足以下方程组:

$$(D - b) v = T_1, v = (D + b) / T_2 \quad (3)$$

得气泡的直径为:

$$D = (T_2 + T_1) b / (T_2 - T_1) =$$

$$(N_2 + N_1) b / (N_2 - N_1) \quad (4)$$

图 1a 和图 1b 分别为气泡直径小于和大于激光光束直径情况下,气泡对光的散射曲线。

从图 1a 中可看出散射光波谷处的光强不为 0,据前面理论分析,此时光束的直径大于气泡的直径,波谷只经历了 4 个点,整个波动经历了 32 个点,由 (2) 式推得气泡的直径为 0.62mm。从图 1b 中可看出散射光波谷处的光强为 0,据理论分析,此时气泡直径大于光束直径,波谷经历 10 点,波动经历 30 点,由 (4) 式得气泡的直径 $D = 1.6\text{mm}$ 。

3 实验

采用功率是 3mW,波长为 630nm 的激光器照射,用可调气压的气压泵充气,微孔直径为 50 μm 的微孔陶瓷管产生气泡流,光电二极管接收散射光,经放大、A/D 转换后输入 PC 机,采样频率为 5kHz。在气泡流密度不是很大时,采用高频采样能获得单个气泡对光的散射曲线,采集到的散射光曲线如图 2~图 4。

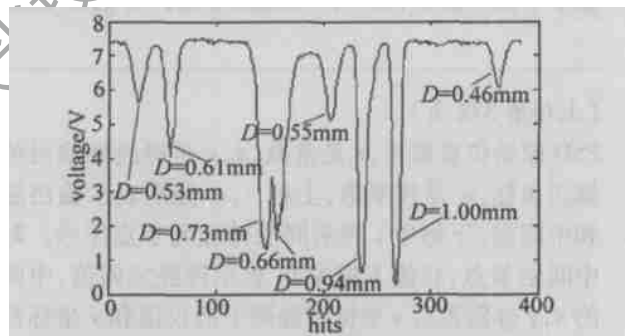


Fig. 2 Scatter light curve of bubble flow

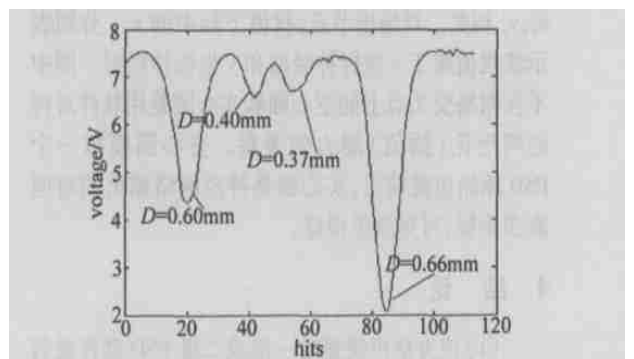


Fig. 3 Scatter light curve of bubble flow

图 5 为气泡直径分布柱状图。由图 5 可知,气泡分布最多的尺寸段处于尺寸分部区间的中间,称气泡出现最多的直径为最可几直径,其余的直径可看作是在这个直径向两侧的漂移,是一个随机过程,所以气泡的直径分布应遵从 Poisson 分布。

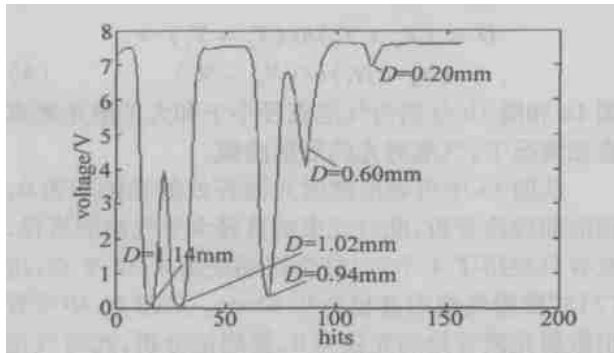


Fig. 4 Scatter light curve of bubble flow

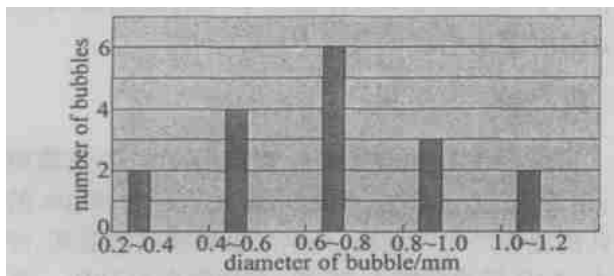


Fig. 5 Distribution of bubble size

在测量过程中,误差来源主要有两个:(1)经气泡散射后的光线,有一小部分会到达探测器,在理论波形中没考虑,所以理论光强值偏低;(2)实际中光

功率的浮动和气泡在上升过程中的“摆动”,会使实际波形变的不平滑。对于理论与实际之间误差的定量与半定量关系,是以后要研究的。

4 结论

直接通过探测散射光来确定气泡的尺寸分布,与 phase-Doppler anemometry 法和 PIV 法相比,信息处理量小、直观、简单、方便。在确定气泡的尺寸分布后,可确定探测点所处的尾流中位置,因而推测舰船通过的时间及性质。应用于鱼雷,便可实现鱼雷的自导。

参考文献

- [1] 钱祖文,李保文,郑晓瑜, *et al.* 气泡幕中的声传播及其反演[J]. 中国科学, 1992(A2):193~199.
- [2] NAQWI A, DURST F, LIU X Zh. Two optical methods for simultaneous measurement of particle size, velocity and refractive index [J]. Appl Opt, 1991, 30(33):4949~4959.
- [3] PEREIRA F, GHARIB M. Defocusing digital particle image velocimetry and the three-dimensional characterization of two-phase flows [J]. Meas Sci Technol, 2002, 13:683~694.
- [4] van de HULST H C. Light scatter by small particles [M]. New York: Wiley Press, 1957. 119~130.

(上接第 372 页)

PSD 原始位置输出, r 是常数, x, y 是神经网络输出的修正坐标, w 是权系数, 上标 o, m 分别表示输出层和中间层, 下标中 i 表示同层神经元节点序号。对中间层节点, 权值下标中 th 表示神经元阈值, 中间的 x, y 分别表示 x 坐标神经网络中的权值和 y 坐标神经网络中的权值, 右边的 x, y 分别表示该权值与输入 x_v, y_v 相关。对输出节点, 权值下标中的 x, y 分别表示该权值属于 x 坐标神经网络和 y 坐标神经网络。图中不在网格交叉点上的空心圆和实心圆是用软件对神经网络泛化(插值)能力的考察。空心圆模拟一个 PSD 原始位置输出, 实心圆是神经网络输出的对应真实坐标, 可见效果很好。

4 结论

(1) 该方法可快速对一维或二维 PSD 器件进行自动化样本数据采集和非线性修正, 形成一个针对被标定器件的权系数文件, 对器件的误差特性不敏

感, 通用性好。(2) 与采用一个双输入双输出神经网络相比, 采用两个分离的双输入单输出神经网络产生二维向量的两个分量可缩短训练时间, 更易于达到要求的精度, 此策略可应用于更高维向量。(3) 该方法可应用于其它需要非线性映射的场合。

参考文献

- [1] 袁红星, 王志兴, 贺安之. PSD 非线性修正的算法研究 [J]. 仪器仪表学报, 1999(3):16~21.
- [2] 易亚星, 李忠科, 邓方林. PSD 精密测量中的二维表检索算法 [J]. 计算机测量与控制, 2002(5):284~285.
- [3] 莫长涛, 陈长征, 张黎明, *et al.* 二维 PSD 非线性修正共轭梯度算法 [J]. 东北大学学报, 2003, 24(5):342~343.
- [4] 王爵树, 张新. 非线性二维光电位置传感器 (PSD) 研究 [J]. 集成电路通讯, 1995(3):11~17.
- [5] HAGAN M T. Neural network design [M]. 北京:机械工业出版社, 2002. 227~255.
- [6] 王宗炎, 洪振华. BP 网学习算法的改进及在模式识别中的应用 [J]. 南京航空航天大学学报, 1994(11):216~218.
- [7] NILSSON N J. Artificial intelligence anew synthesis [M]. 北京:机械工业出版社, 1999. 23~30.