

· 光电系统与amp;设计 ·

## 水下气泡幕激光后向探测中的背景噪声抑制

雷选华, 马治国, 王江安

(海军工程大学, 湖北 武汉 430033)

**摘要:**水下气泡幕的激光后向探测中,背景噪声尤其是水体的后向散射光信号对信号的接收和处理造成了严重的干扰.对该问题进行分析,并进行了实验研究,调整发射器和接收器之间的距离,对后向散射光信号功率进行实测,对数据进行了比较分析.结果表明,适当增大接收器和发射器之间的距离,有利于水体后向光散射信号的抑制,可提高有无气泡幕信号之间的差异,从而提高水下气泡幕激光后向探测的能力.

**关键词:**气泡幕;激光探测;后向光散射;功率;信噪比

**中图分类号:** TN215; TN248

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2010)03-0022-02

## Restraint of Background Noise for Laser Backward Detection of Bubble Films in Water

LEI Xuan-hua<sup>1</sup>, MA Zhi-guo<sup>2</sup>, WANG Jiang-an<sup>2</sup>

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Restraint of background noise, for example water interference, is an important problem for laser backward detection of bubble films in water. The problem was analyzed and an experiment was carried out. The powers of light backward scattered from water and bubble film were measured when the distances between the laser and the detector were changed, and the data were analyzed by comparison. The results show that moderately increasing the distance between laser and detector will favor restraint of water backward scattering light interference and will enlarge the difference between signals having and having no bubble films, so it will improve the laser backward detection capability of bubble films in water.

**Key words:** bubble film; laser detection; light backward scattering; power; SNR

已有研究<sup>[1-8]</sup>表明,由于水下气泡幕后向光散射信号较弱,水体散射对气泡后向光散射影响显著,要对水下气泡幕进行有效探测,必须对水体尤其是近距离水体的后向光散射信号进行抑制.

对近距离水体后向光散射抑制,可以采用多种方法,例如光学遮挡、距离选通、时间增益控制、同步扫描方法等.由于在水下气泡幕的激光探测中,受激光衰减的影响,探测距离是非常有限的,对于 10 m 左右的距离来讲,要想采用距离选通、时间增益控制、同步扫描等方法对近距离水体进行抑制存在着很大的技

术困难.光学遮挡方法在实验室条件下借助于器材易于实现,在实际应用中却很难,但可以在系统设计时通过采用合适的结构及参数来进行.

文中借助于光学遮挡思想,采用增大探测器与激光器之间距离的方法,对近距离水体光散射进行抑制,该方法简单、有效,且易于实现.

### 1 理论分析

从光学遮挡这一思路出发,考虑从光学设计上

收稿日期:2010-05-11

基金项目:国家部委基金项目(51302050301)

作者简介:雷选华(1971-),男,副教授,博士研究生,主要研究方向为光电技术、激光探测等.

实现对近距离水体的后向光散射信号进行抑制,从而提高系统对气泡幕的探测能力.激光器和接收器都有一定的视场,如将激光器和接收器分开一定的距离,则在近距离内将存在一定的盲区,在此范围内的水体所散射的光信号将不能进入接收器,从而实现了对近距离水体后向光散射信号的屏蔽.

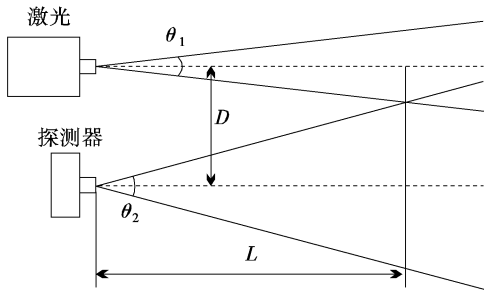


图 1 原理示意图

如图 1 所示,探测器和激光器光轴平行,其间距为  $D$ ,激光器的发散角为  $\theta_1$ ,探测器的视场角为  $\theta_2$ ,激光器与探测器的视场在距离  $L$  处交汇,则根据几何关系可得

$$L = D / (\tan \frac{\theta_1}{2} + \tan \frac{\theta_2}{2}) \quad (1)$$

从式(1)可以看出,  $L$  与  $D$  成正比.因此,在激光器发散角和接收器视场角一定的情况下,随着探测器与接收器之间距离的增大,所屏蔽的距离越远,近距离水体后向散射光将不能进入接收器的视场,从而实现了近距离水体后向光散射信号的抑制.

## 2 实验研究

### 2.1 实验装置

实验系统由激光器、气泡发生器和激光功率计 3 部分组成,如图 2 所示.激光器输出功率为 100 mW,波长为 532 nm.气泡幕由置于水槽底部的微孔陶瓷管产生,采用高精度激光功率计对后向散

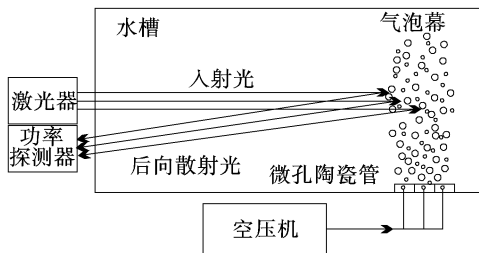


图 2 实验装置示意图

射光进行接收,激光功率计探头面积为  $1.0 \text{ cm}^2$ ,精度为  $1 \text{ nW}$ .

实验在自制 7 m 长玻璃水槽内进行,其宽和高分别为 1 m 和 0.5 m.水槽内侧和底部以黑纸覆盖,以消除水槽各表面反射光对测量结果的影响.测量过程中,由于气泡的随机运动,气泡在空间和时间上的分布是随机的,导致后向散射光信号随时间的起伏.为减小这一影响,对 10 s 内 2 000 个测量值进行平均,作为相应条件下的后向散射光功率.

### 2.2 实验结果

在没有开启气泡幕的情况下,保持激光功率计与激光器光轴的相互平行,逐渐增大激光功率计与激光器之间的距离,测量水体的后向散射光信号功率,结果如图 3 所示.可以看出,后向散射光功率随距离的变化曲线是相当平滑的单调递减曲线,距离越近,水体后向散射光信号越强.随着激光功率计与激光器之间距离的增大,水体后向散射光信号迅速变弱,当距离从 3 cm 增加到 43 cm 时,后向散射光功率从 21.8 nW 减小到 2.3 nW.

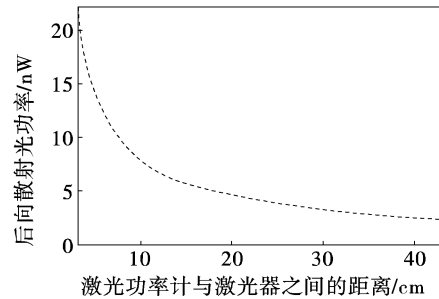


图 3 无气泡时后向散射光功率随距离的变化

打开气泡幕,移动气泡幕位置,对气泡幕的后向散射光信号功率进行测量.这里给出当气泡幕位于 5 m 时的测量结果,如图 4 所示.可以看出,后向散射光功率随距离的变化曲线不再是平滑的单调递减

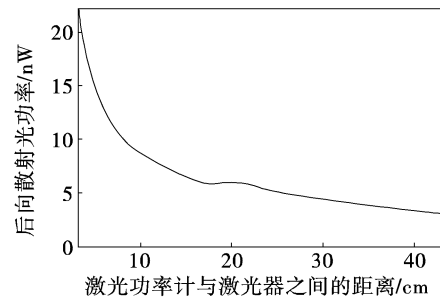


图 4 有气泡时后向散射光功率随距离的变化

(下转第 44 页)

出版社,1979.

- [3] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing [M]. Prentice Hall Inc,1996.

- [4] M Schlessinger, W S Chan. Design requirements for large-scale focal planes[J]. SPIE 1981, 282:2-14.

(上接第 23 页)

曲线,其间会有起伏.但随着距离的增大,总体上来看,后向散射光功率还是逐渐减弱的.当距离从 3 cm 增加到 43 cm 时,后向散射光功率从 20.9 nW 减小到 2.9 nW.

### 2.3 数据分析

将 2 组数据进行对比,在同一距离下有无气泡幕后向散射光信号功率取比值,将其作为气泡幕激光后向探测中的信噪比 SNR,结果如图 5 所示.可以看出,随着接收器与发射器之间距离的增大,虽然水体后向散射光信号和气泡幕后向散射光信号均变弱,但信噪比得到了增强.当距离从 3 cm 增加到 43 cm 时,信噪比从 0.96 增大到 1.23,增幅 37.5%.当距离为 3 cm 时,信噪比最小,为 0.96,其值接近 1,已很难判定气泡幕的存在;当距离为 33 cm 时,信噪比最大,达到 1.32.因此,适当增大接收器与发射器之间的距离,对气泡幕后向光散射信号的接收是有利的.

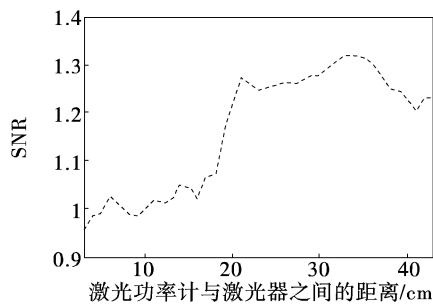


图 5 有无气泡的差值随距离的变化

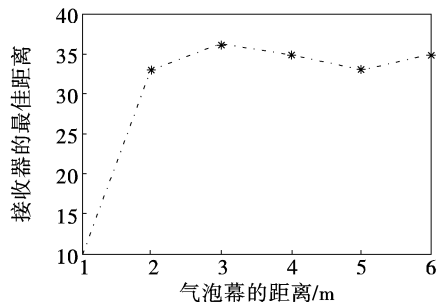


图 6 探测器最佳位置随气泡幕距离的变化

保持气泡幕的供气气压不变,改变气泡幕距离激光器和探测器的距离,再次对后向散射光功率进

行测量,分别找出有无气泡幕时光功率差值最大所对应的距离值,结果如图 6 所示.可以看出,当气泡幕距离在 2 m 以上时,最佳距离均在 35 cm 左右.这就说明,要想对远距离气泡幕进行探测,需要保持接收器与发射器之间的距离在 35 cm 为好,系统的探测性能可达到最佳.

## 3 结 论

理论和实验研究结果表明,适当增加发射器和接收器之间的距离,有利于水体后向光散射信号的抑制,有利于提高有无气泡幕信号之间的差异,从而有利于水下气泡幕的激光后向探测.这种方法简单、有效、可靠,且易于实现.

### 参考文献

- [1] Pereira F, Gharib M, Dabiri D, et al. Instantaneous whole field measurement of velocity and size of air microbubbles[C]//Tenth International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Portugal, 2000, 38(4):1-11.
- [2] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis. The Volume Scattering Function of Natural Bubble Populations[J]. Limnology & Oceanography, 2002, 47(5): 1273-1282.
- [3] Zhang Xiaodong, Marlon Lewis, Bruce Johnson. Influence of Bubbles on Scattering of Light in the Ocean [J]. Applied Optics, 1998, 37(27): 6525-6536.
- [4] Alexander A Kokhanovsky. Optical properties of bubbles [J]. Journal of Optics A, 2003, 5:47-52.
- [5] Alexander A Kokhanovsky. Single Light Scattering: Bubbles versus Droplets [J]. America Journal of Physics, 2004, 72(2): 258-263.
- [6] 刘继芳,雷卫宁,冀邦杰.光检测尾流特征中抑制背景干扰的方法[J].鱼雷技术,2007, 15(2):24-27.
- [7] 马治国,王江安,蒋兴舟.水体散射对气泡后向光散射特性的影响[J].激光与红外,2007, 37(11):1153-1155.
- [8] 马治国,王江安,石晟玮.水中气泡激光后向散射衰减特性研究[J].激光与红外,2008, 38(1):14-16.