

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0339-03

# 基于受激布里渊散射的水下物体探测

吕月兰

(哈尔滨工程大学理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要** 提出了基于受激布里渊散射(SBS)的水下物体探测方法。利用 SBS 信号的消失来判断水下物体的位置, 并利用发射信号和回波信号的时间差来计算物体的距离。当激光在水中聚焦, 焦点处的光功率密度达到阈值时就会发生 SBS, 而当焦点前有物体存在时, 便不能发生 SBS。理论计算表明, 在近衍射极限的情况下, 能量为 1 J, 脉宽为 10 ns 的单脉冲, 发射口径为 1 m 时, 可探测距离大于 100 m; 实验上, 在 2 m 的探测范围内测量误差小于 10 cm, 并且探测误差取决于激光脉冲宽度, 不会随探测距离的增加而增加。

**关键词** 测量; 非线性光学; 水下探测; 受激布里渊散射

**中图分类号** O437.2 **文献标识码** A

## Submarine Objects Detection Based on Stimulated Brillouin Scattering

LÜ Yue-lan

(School of Science, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** The principle of detecting submarine objects based on stimulated Brillouin scattering (SBS) is proposed. It is based on signal disappearance to determine the position of submarine objects, and temporal difference of pump signal and echo signal to calculate the distance submarine object. When laser is focused into the water, SBS occurs as the laser intensity is over the SBS threshold. On the other hand, SBS does not occur when some objects appear before the focus. Theoretically, within diffraction limitation, it can detect objects farther than 100 m with pulse energy of 1 J, pulse width 10 ns and emission diameter 1 m; experimentally, the measurement error is less than 10 cm within 2 m, which is determined by the pulse width and does not change with the detecting distance.

**Key words** measurement; nonlinear optics; submarine detecting; stimulated Brillouin scattering

## 1 引 言

自 20 世纪 60 年代中期以来, 人们已经对光散射技术作为一种海洋监测方法作了深入的研究<sup>[1,2]</sup>。在这方面, 人们主要利用布里渊散射进行海水声速、温度、盐度、水体粘滞系数等参量的测量<sup>[3~9]</sup>。其中, E. S. Fry<sup>[5]</sup>使用注入锁模脉冲激光器, 以及高精度扫描法布里-珀罗干涉仪, 获得了几乎达到理论极限的布里渊散射光谱。刘大禾等<sup>[5,6]</sup>在研究水中布里渊散射的基础上提出基于布里渊散射水下目标探测技术, 其基本思路是利用水中布里渊散射信号的消失来判断物体的存在, 但由于散射信号较弱, 探测距离不远, 而且由于使用系统较为复杂的边缘探测方法, 在实际应用中较为困难。

本文提出利用受激布里渊散射(SBS)探测水下

物体的方案, 其回波信号强, 可探测距离远, 并利用 SBS 信号的消失来判断水下物体的位置。

## 2 基本原理

### 2.1 受激布里渊散射原理

自从 1972 年前苏联的 B. Ya. Zel'dovich 发现了相位共轭现象以来, 这一技术得到广泛而深入的研究<sup>[10,11]</sup>。SBS 过程中的弹性声波场的产生与自发布里渊散射不同, 它是强激光作用下介质通过电致伸缩效应而产生的。这是一种相干的声波场, 它与入射激光耦合而产生 SBS 相干辐射。在介质内一旦达到 SBS 阈值, 大部份抽运光将转化为后向传输的斯托克斯波。SBS 的最引人注目的特点是具有相位共轭特性<sup>[11]</sup>, 即后向传输的斯托克斯波将沿原

**作者简介:** 吕月兰(1968—), 女, 黑龙江黑河人, 哈尔滨工程大学理学院教授, 博士, 主要从事非线性光学研究。

E-mail: luyuelan1968@163.com

光路返回,并且在各处相位为抽运光的准确反转。

### 2.2 探测原理

SBS有阈值特性,因此,当激光在水中聚焦,焦点处的光功率密度达到阈值时就会发生SBS,部分抽运光就会转化为后向传输的斯托克斯波。而当焦点前有物体存在时,激光无法聚焦,便不能发生SBS。探测原理框图如图1所示。它由以下几部分构成:脉冲激光器、预扩束系统、信号提取系统、发射/接收系统,信号处理系统。探测原理如下:脉冲激光器输出的光由分束片分出一部分进入探测器1,透射激光进入预扩束系统,使光功率密度降低,因此后继的信号提取系统可以承载更大的脉冲能量,从而可以提高探测距

离。信号提取系统用于提取SBS返回来的光,脉冲激光由信号提取系统进入发射系统。发射系统是一个变焦发射装置,焦点可以由零点向远处扫描,由于SBS具有相位共轭特性,反射斯托克斯波将沿原路返回。此时,原发射系统就变为接收系统,斯托克斯波由信号提取系统提取后由探测器2探测。当焦点扫描到物体上时,由于SBS的相互作用长度变短,反射的斯托克斯波强度逐渐减小,当焦点扫描到物体后时,斯托克斯波将完全消失。同时记录下斯托克斯波消失前探测器1和探测器2记录的抽运光和斯托克斯波的波形,由信号处理系统分析两波的延时,由此就可以计算出物体的位置。

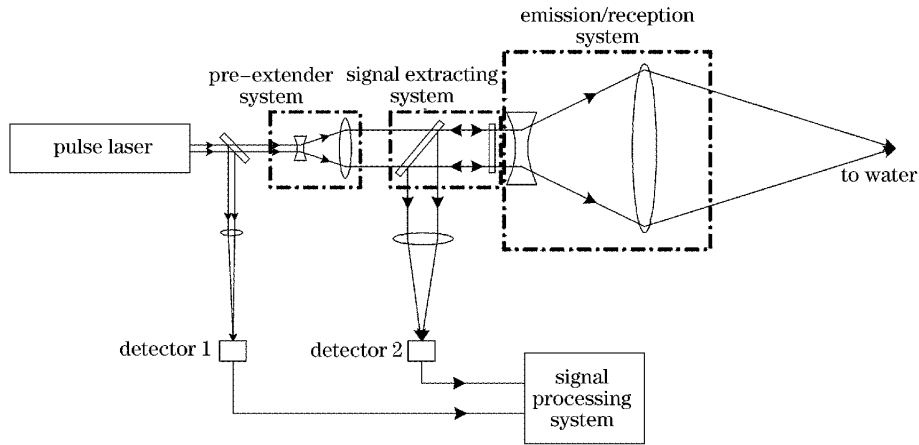


图 1 装置原理图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

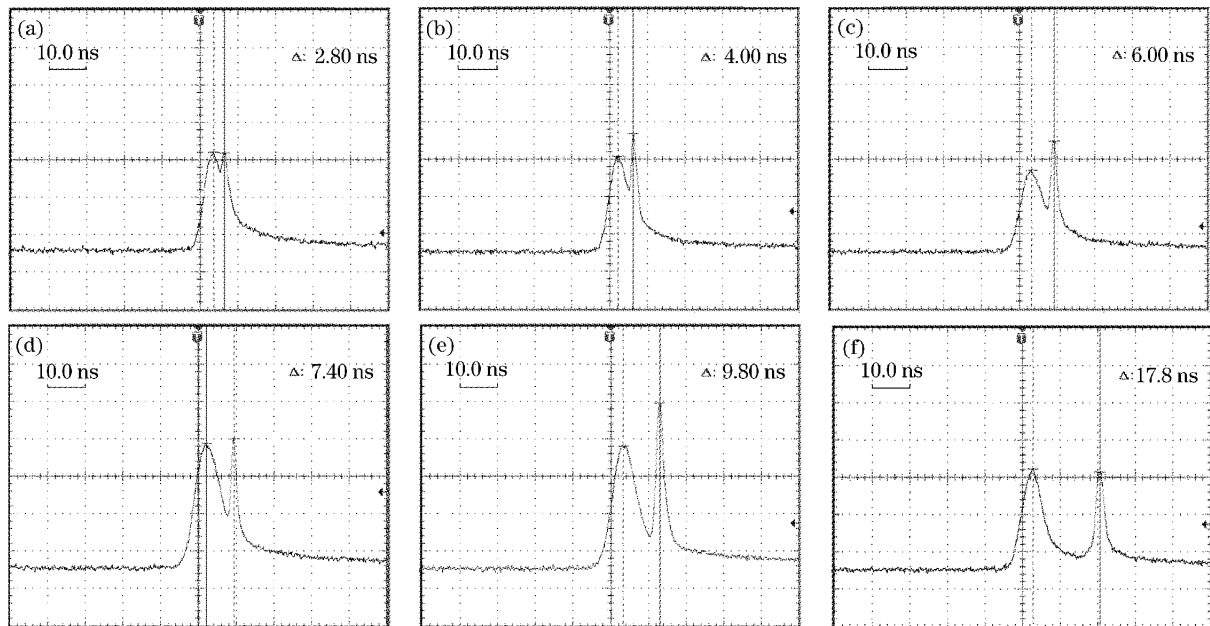


图 2 随物距离变化的探测波形图。(a)~(f)是物体距离分别为 32 cm,40 cm,67 cm,84 cm,104 cm,200 cm 的结果  
 Fig. 2 Temporal profile with different lengths. (a)~(f) are of case of  $L=32\text{ cm},40\text{ cm},67\text{ cm},84\text{ cm},104\text{ cm},200\text{ cm}$

### 3 实验研究

在水中蓝绿激光(450~570 nm)传输的损耗小,穿透能力最强。因此,采用倍频的 Nd:YAG 激光器,输出波长为 532 nm,调 Q 输出脉宽 7 ns,单脉冲能量 20 mJ。由于实验中单脉冲能量较小,并未使用预扩束系统。信号提取系统由偏振片和 1/4 波片构成,信号提取原理是:抽运光和斯托克斯波两次通过 1/4 波片偏振态旋转 90°,斯托克斯波再次到达偏振片时就由原来的透射变为反射。发射和接收系统由透镜组构成,透过调节正、负透镜之间的距离来完成焦距由近到远的扫描。实验用的水槽长度为 2 m,顶面为开放结构,可以在 0~2 m 之间放置物体。实验中,我们采用一个快响应 PIN 管同时探测抽运光与斯托克斯波的波形,采用 TDS 3032B 示波器记录波形,采样率为 2.5 GS/s。实验结果如图 2 所示,图 2(a)~(f)是实际距离分别为 32 cm,40 cm,67 cm,84 cm,104 cm,200 cm 时的探测波形图。

图中左侧为时间上先到达探测器的抽运光,右侧为时间上后到达探测器的斯托克斯波。从图中可以明显看到随着物体距离的增加,两脉冲之间的延时就越大,通过两脉冲之间的延时就可计算出物体的距离。表 1 是探测的时间差与计算出的物体距离,从表中可以看出在 2 m 的探测范围内最大误差小于 10 cm。由于探测误差取决于激光脉冲宽度、光电探测器的响应速度和示波器采样率,因此,探测误差不会随探测距离的增加而增加。

表 1 时间差与计算出的物体距离

Table 1 Time difference and calculated distance

Time difference /ns	Actual distance /cm	Measurement distance /cm
2.8	30	31.7
4.0	40	45.3
6.0	67	68.0
7.4	84	83.8
9.8	104	111.0
17.8	200	201.7

实际的探测距离受激光脉冲能量、发射口径以及海水吸收的影响。发射口径大,激光脉冲能量高,则焦点处光斑面积小,光功率密度高,因此可探测距离就越远。

### 4 结 论

实验验证了基于受激布里渊散射进行水下物体

探测的可行性。理论计算表明,在近衍射极限情况下,能量为 1 J,脉宽为 10 ns 的单脉冲,发射口径为 1 m 时,可探测距离大于 100 m。实验结果表明在 2 m 的探测范围内,探测误差小于 10 cm;结合激光扫描技术,可通过对水下物体进行二维扫描,不仅可以得到水下物体的位置和深度信息,同时也可以得到物体的形状信息。本方法具有探测距离深和探测精度高的优点,并且由于受激布里渊散射具有相位共轭特性,系统发射与接收可以并用,简化了装置。

### 参 考 文 献

- 1 D. A. Leonard, B. Caputo, F. E. Hoge. Remote sensing of subsurface water temperature by Raman scattering [J]. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(11): 1732~1745
- 2 J. G. Hirschberg, J. D. Byrne, A. W. Wouters *et al.*. Speed of sound and temperature in the ocean by Brillouin scattering [J]. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(15): 2624~2628
- 3 Xu Jianfeng, Li Rongsheng, Zhou Jing *et al.*. Measurements of bulk viscosity of water using Brillouin scattering [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(9): 1112~1115  
徐建峰,李荣胜,周静等. 用布里渊散射测量水的体粘滞系数 [J]. 光学学报, 2001, **21**(9): 1112~1115
- 4 Liu Dahe, Wang Huaying, Zhou Jing *et al.*. Measurements of sound speed in sea water with different salinity and temperature by Brillouin scattering method [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(4): 381~384  
刘大禾,汪华英,周静. 布里渊散射法测量盐度及温度不同的海水中的声速 [J]. 中国激光, 2000, **A27**(4): 381~384
- 5 Liu Dahe, Jefferey W. Katz. Edge technique for the measurements of Brillouin scattering in water [J]. *Chinese J. Lasers*, 1999, **A26**(4): 307~311  
刘大禾, Jefferey W. Katz. 水中布里渊散射的边缘探测方法 [J]. 中国激光, 1999, **A26**(4): 307~311
- 6 Ren Xiaobin, Gong Wengping, Dai Rui *et al.*. Accurate measurements of Brillouin shift in water by the filters with resonating absorption of iodine molecules [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(10): 1429~1433  
任晓斌,弓文平,戴瑞等. 用碘分子共振吸收滤波器精确测量水中的布里渊散射频移 [J]. 光学学报, 2004, **24**(10): 1429~1433
- 7 J. Xu, R. Dai, W. Gong *et al.*. Analyzing statistical errors for measurements of Brillouin scattering by the edge technique [J]. *Appl. Phys. B*, 2004, **79**(1): 131~134
- 8 Dahe Liu, Jianfeng Xu, Rongsheng Li *et al.*. Measurements of sound speed in the water by Brillouin scattering using pulsed Nd:YAG laser [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **203**: 335~340
- 9 W. Gong, R. Dai, Z. Sun *et al.*. Detecting submerged objects by Brillouin scattering [J]. *Appl. Phys. B*, 2004, **79**(5): 635~639
- 10 Lü Yuelan, Lü Zhiwei, He Weiming *et al.*. Optical limiting characteristics dependent on pump energy in stimulated Brillouin scattering process [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(2): 168~171  
吕月兰,吕志伟,何伟明等. 抽运能量对受激布里渊散射光限幅特性的影响 [J]. 光学学报, 2004, **24**(2): 168~171
- 11 Yang Jun, He Weiming, Lü Yuelan. Enhancing SBS Phase-conjugation Fidelity by a Special Dual Spectral-line Pump [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(6): 512~484  
杨珺,何伟明,吕月兰. 双频抽运提高 SBS 相位共轭保真度 [J]. 中国激光, 2003, **30**(6): 512~484