

文章编号: 0258-7025(2001)08-0749-04

# 准直蓝、绿激光光束的水下目标反射功率 和水质参数研究\*

刘应状 朱光喜 朱耀庭 昌彦君

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

**提要** 根据准直激光光束在海水中的传播原理,研究了准直蓝、绿激光光束的水下目标反射功率以及海水水质参数与后向散射功率之间的关系;证明用准直蓝、绿激光可以实时探测水下目标和海水水质参数。

**关键词** 准直激光光束,目标反射功率,水质参数

中图分类号 TN 249 文献标识码 A

## Study of Underwater Target Reflection Power of Collimated Green-blue Laser Beam and the Quality of Seawater

LIU Ying-zhuang ZHU Guang-xi ZHU Yao-ting CHANG Yan-jun

(Department of Electronics & Information Engineering,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** Based on the theory of light beam transmitting in the seawater and the principle light scattering by particles, underwater target reflection power of collimated green-blue laser beam and the relation between water quality parameter and the backward scattering power were studied for monitoring the underwater target and water quality parameter in real time.

**Key words** collimated laser beam, target reflected power, water quality parameter

### 1 引言

如何计算准直激光光束的水下目标反射功率以及海水水质参数与后向散射功率之间的关系是蓝、绿激光进行水下目标探测和海洋环境监测的理论基础,传统的估算方法大都是类比空气中的雷达方程,将空气的光学参数换成海水的光学参数<sup>[1,2]</sup>。由于空气中的雷达探测与海水中的激光光束探测有所不同,因此,这种简单的替换所得到的计算结果比较粗糙,无法比较精确地描述机载激光的探测能力以及和海水水质参数的关系。另一类计算机载激光海底回波能量的方法是用 Monte Carlo 模拟法<sup>[3-5]</sup>,但是这种方法需要花很多的时间,同时还有一些人为的控制参数,更重要的是它无法在飞机上实时利用理论估算实测的目标反射信号和海水后向散射信号进行目标识别和海洋环境监测。本文根据准直激光光

束在海水中的传输特性,利用光与粒子的散射原理得到了准直激光光束的水下目标反射功率;同时,利用海水的后向散射功率与海水的水质参数的关系,研究了如何从接收信号中提取水下目标反射信号和海水水质参数的方法。

### 2 准直光束的水下目标反射功率

设准直光束的初始功率为  $P_i$ ,由于光束在海面的反射以及海水对光束的吸收与散射,入射功率密度将很快衰减,我们在文献[6]中获得了准直光束的水下光斑扩散的计算表达式

$$S(z) = S_0 \exp(-\rho_\sigma z) \quad (1)$$

其中,  $S_0$  为初始光斑(海面光斑)的面积,  $\rho_\sigma$  为海水的散射截面,  $S(z)$  为深度  $z$  处的光斑面积。于是,可以算出深度  $z$  处的入射功率密度为

\* 国防九五预研 98-2000-2-3-2 资助项目。

收稿日期: 2000-06-02; 收到修改稿日期: 2000-07-17

$$S_t = \frac{TP_t \exp(-\rho\alpha_z)}{S(z)} = \frac{1}{S_0} P_t T \exp(-\rho\alpha_z) \exp(-\rho\alpha_z) \quad (2)$$

其中,  $T$  为海水的透射率,  $\rho$ ,  $\alpha_s$  和  $\alpha_t$  分别为海水中粒子的密度、粒子的散射截面和粒子的总截面(吸收截面与散射截面之和)。

如果当光束传播到深度  $d$  处遇到一水下目标(如图 1 所示):

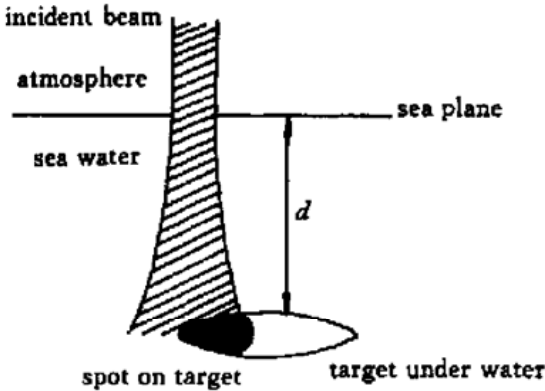


图 1 准直光束与目标相遇

Fig. 1 Collimated laser beam reflected by underwater target

则由散射理论可以得到目标在接收机处的散射功率密度为

$$S_r^T = \frac{|f(\mathbf{r}, \mathbf{s})|^2}{R^2} S_i \exp(-\gamma) = \frac{\sigma_b^T}{(H + d)^2} S_i \exp(-\gamma) \quad (3)$$

其中,  $f(\mathbf{r}, \mathbf{s})$  为散射振幅,  $H$  为机载激光距海面的高度,  $\sigma_b^T$  为目标的后向散射截面, 它与光束照射到目标上的面积有密切关系, 因子  $\exp(-\gamma)$  表示能量从目标到海面这一段由于海水的作用产生的衰减,  $\gamma$  为光从目标处到海面的光学厚度

$$\gamma = \int_0^d \rho\alpha_t dz \approx \rho\langle\alpha_t\rangle d \quad (4)$$

设接收器的接收面积为  $E$ , 则接收的反射功率为

$$P_r^T = ES_r^T = \frac{ET\sigma_b^T}{S_0(H + d)^2} P_t \cdot \exp(-\rho\alpha_s - \rho\alpha_t - \gamma) \quad (5)$$

我们将海水的总截面  $\alpha_t$  和散射截面  $\alpha_s$  用它们的平均值代替, 则接收器处接收到的目标反射功率为

$$P_r^T = \frac{ET\sigma_b^T}{S_0(H + d)^2} P_t \cdot$$

$$\exp[-(\rho\langle\alpha_s\rangle + 2\rho\langle\alpha_t\rangle)d] \quad (6)$$

在以上计算过程中, 忽略了大气对光束的作用, 这是因为大气对光的吸收和散射比海水的吸收和散射强度小得多。

从(6)式可以看出, 对于同样的机载激光探测系统, 在目标深度和飞行高度相同时, 目标的反射功率大小取决于目标的后向散射截面, 而目标的后向散射截面与光斑照射到目标上的面积以及目标本身的特性有密切关系; 如果是同一目标, 且照射到它上面的光斑面积也相同, 则目标反射功率应该是一个常数(如果入射光束是连续的)或者类似于方脉冲(如果入射光束是脉冲光束)的信号。

### 3 目标反射功率与海水后向散射功率实验数据分析

在实际探测过程中, 如果水下没有目标, 则接收到的只是海水的后向散射功率; 但当有目标存在时, 接收到的功率应该是目标的反射功率与海水的后向散射功率的叠加, 即

$$P_r = P_r^T + P_r^B \quad (7)$$

其中,  $P_r^B$  为海水的后向散射功率。我们在获得了它与海水的水质参数的关系, 并用它较好地解释了已有的实验数据, 其关系式为

$$P_r^B = \frac{ET\tau_c}{4\pi H^2} P_t \rho\sigma_b \exp(-2\rho\langle\alpha_t\rangle z) \quad (8)$$

其中,  $H$  为飞机距海面的高度,  $\tau$  为接收器的采样间隔,  $c$  为光速,  $\sigma_b$  为海水中粒子的后向散射截面, 其他参数同本文。

图 2(a) ~ (d) 为我们在南海机载实验过程中的其中四个连续的有目标时的接收功率实验曲线图。探测过程中, 入射光为蓝、绿脉冲光束, 频率为 100 Hz, 飞机的飞行高度为 150 m, 速度为 44 m/s 左右。横轴为深度(单位: m), 纵轴为相对强度的量化值(最大值为 255)。

为了从接收信号中获取目标的反射功率信号, 利用(7)式, 将接收的总功率减去海水的后向散射功率, 这样获得的目标反射信号如图 3(a) ~ (d) 所示。在计算海水的后向散射功率时使用的水质参数为目标附近水质参数的平均值, 约为 0.035。

从图中可以看出, 目标反射功率有一个明显的平台, 虽然它们不是严格意义上的方波, 但是, 考虑到海水对光的低通滤波特性后, 目标的反射信号基本上仍然可以看成是方波, 在理论预料之中。

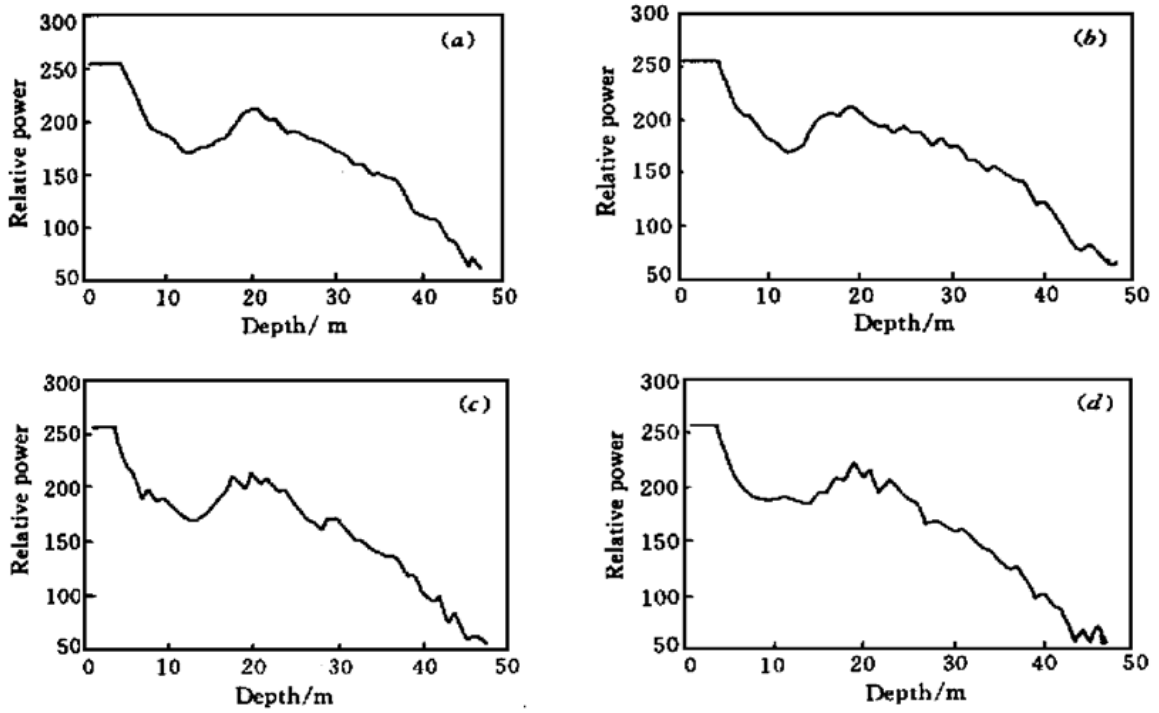


图2 3289号点(a), 3290号点(b), 3291号点(c)和3292号点(d)的接收信号  
 Fig. 2 Received signal of No. 3289 (a), No. 3290 (b), No. 3291 (c) and No. 3292 (d)

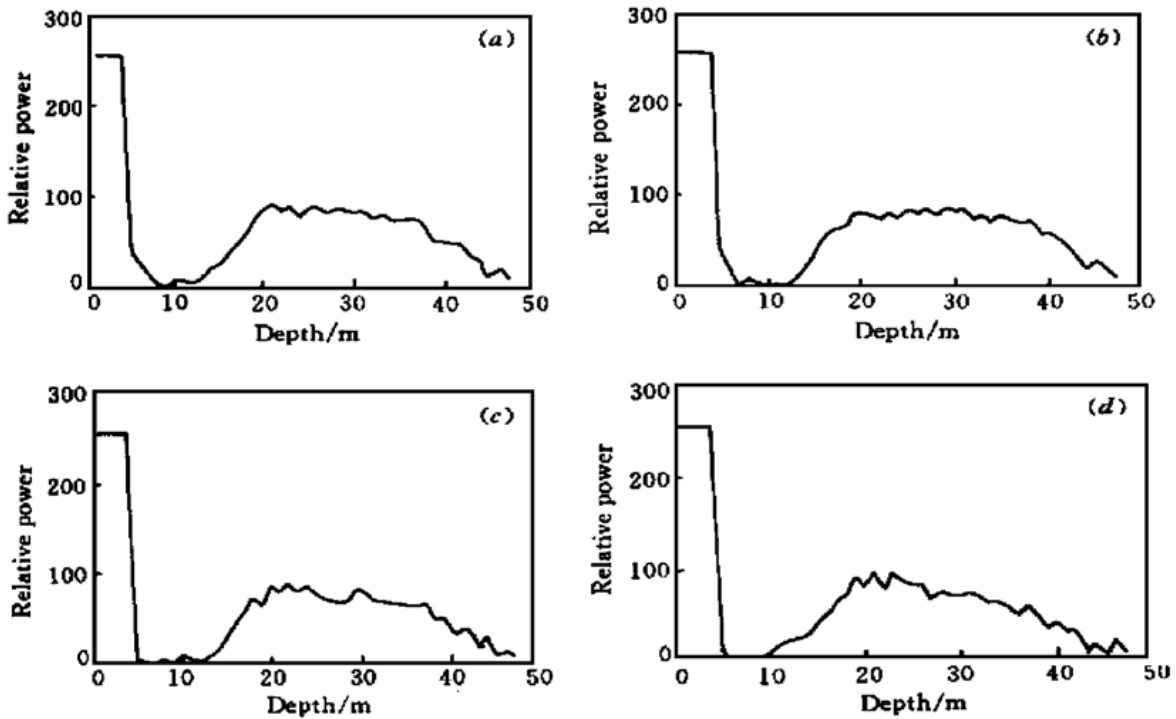


图3 3289号点(a), 3290号点(b), 3291号点(c)和3292号点(d)的目标反射功率  
 Fig. 3 Reflected power of No. 3289 (a), No. 3290 (b), No. 3291 (c) and No. 3292 (d)

利用接收信号不但可以探测水下目标, 同时还可以探测海水的水质参数, 监测海洋环境状况。在(8)式中, 由于  $\rho_{\sigma_b}$  与  $\rho_{\sigma_r}$  大致相当, 可以近似地认为相同, 考虑到在所有的测量点上当  $z = 0$  时, 接收功率最大(255), 于是可以求出海水的水质参数与后向散射功率之间的关系为

$$\rho \langle \sigma_t \rangle = \frac{(\ln 255 - \ln P_r^B)}{2z} \quad (9)$$

如果将  $P_r^B$  用实测的实验数据代替, 则可以得到实时海水水质参数曲线图, 它反映了海水的水质参数随深度的变化。从已有的实验数据中任意取四个典型的后向散射数据, 利用(9)式, 可以得到海水水质参数随深度的变化关系, 如图4(a) ~ (d)所

示。从图中可以看出在 5~10 m 附近,海水的水质参数较大,但随着深度的增加,海水的水质参数逐渐减小,最后趋于一个恒定值,说明了海水的水质从浅

到深,越来越“清洁”。这与文献[7]中所测量的结果大致相同。

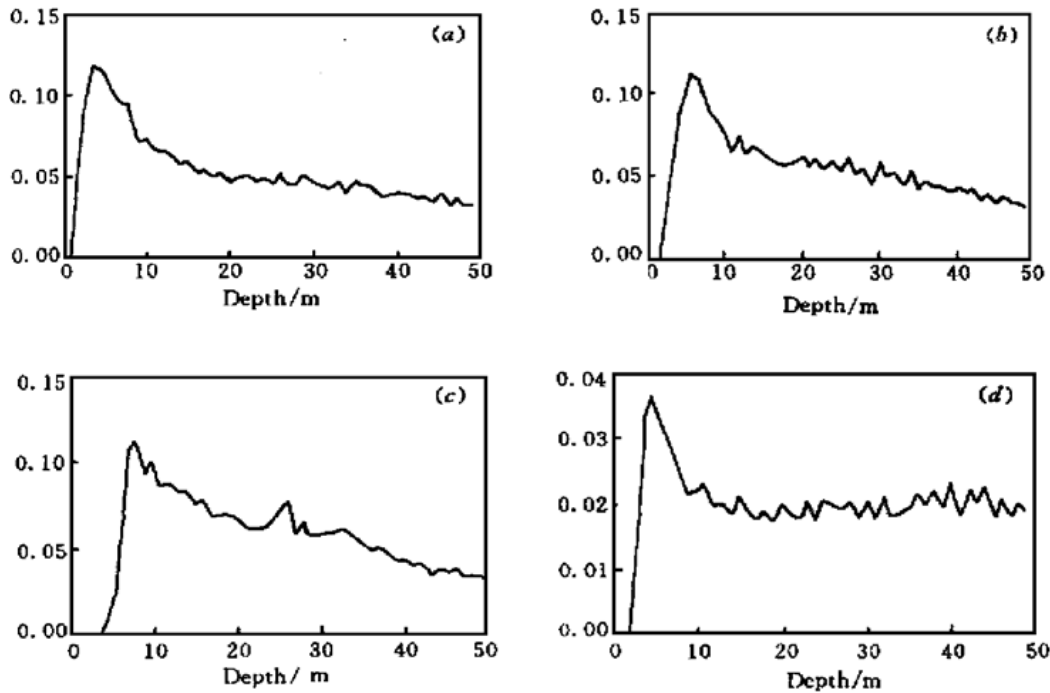


图4 119号点(a),68号点(b),3286号点(c)和1967号点(d)的水质参数随深度变化

Fig. 4 Change of water quality parameter with depth in No. 119 (a), No. 68 (b), No. 3286 (c) and No. 1967 (d)

## 4 结 论

本文首先从理论上分析了水下目标反射功率与系统参数和目标反射截面之间的关系,通过从接收信号中提取出的目标反射信号分析,发现目标反射信号有一个明显的平台,它应该是一个目标反射的方脉冲经过海水的低通滤波而形成的,和理论上的分析一致。同时,通过利用海水的水质参数与海水后向散射功率之间的关系,得到了如何从海水后向散射功率中实时获取海水的水质参数随深度的变化关系,通过对已有的实验数据分析,发现海水的水质参数在浅区较大,但随着深度的增加,水质参数逐渐减小趋于一个恒定值,这说明海水的水质从浅到深,越来越“清洁”。如果对一个海区进行扫描,便可得到该区域的海水水质参数的三维信息(即:水质参数随位置和深度的变化关系),从而达到分析和监测该海区的海洋环境状况的目的。

## 参 考 文 献

- 1 Hongsuk H. Kim. Airborne bathymetric charting using pulsed blue-green lasers. *Appl. Opt.*, 1977, **16**(1): 46~ 56
- 2 James H. Churnside, James J. Wilson, Viatcheslav V. Tatarskii. Lidar profiles of fish schools. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(24): 6011~ 6020
- 3 Chen Wenge, Lu Yimin, Huang Tiexia. Light scattering of oceanic laser radar system. *Acta Electronica Sinica* (电子学报), 1996, **24**(3): 112~ 115 (in Chinese)
- 4 Du Zhufeng, Lu Yimin, Yang Zongkai *et al.*. Monte Carlo calculations of the received oceanic lidar signals. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(1): 52~ 56 (in Chinese)
- 5 Clarence J. Funk. Multiple scattering calculations of light propagation in ocean water. *Appl. Opt.*, 1973, **12**(2): 301~ 313
- 6 Liu Yingzhuang, Zhu Yaoting, Zhu Guangxi *et al.*. Study of underwater spot spread of collimated laser beam. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(7): 617~ 620 (in Chinese)
- 7 R. G. Driscoll, J. N. Martin, S. Karp. OPSATOM Field Measurement. ADA034806, 1976