

# 偏振成像清晰度与成像距离关系的讨论

曹念文 刘文清 张玉钧 王锋平 宋炳超

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**摘 要** 根据水下目标成像清晰度与成像距离关系的计算公式, 通过实验改变成像距离, 获不同成像距离时的图像清晰度, 由实验数据作出成像清晰度与成像距离的关系图, 并与理论计算值比较。实测曲线与计算曲线的趋势相一致。

**关键词** 图像, 清晰度, 距离。

## 1 引 言

多年来, 国内外许多科研工作者对水下成像这一课题的研究主要着重于: 1) 导致水下目标成像不清晰的原因<sup>[1]</sup>; 2) 如何提高水下目标成像清晰度和成像距离<sup>[2]</sup>。我们对图像清晰度与成像距离的关系这一问题进行了定量讨论和实验研究, 为偏振成像技术改善水下目标图像质量和提高成像距离的实验研究提供一定的理论参考, 并能进行最远成像距离的计算<sup>[3]</sup>。同时, 我们认为光在水中的衰减和在大气中的传输很相似, 因此成像清晰度与成像距离的关系同样适用于激光在大气中的传输, 可测量激光在大气中的衰减常数, 根据大气有关参数和成像清晰度能估算出激光在大气中的传输距离。研究这一问题同样能促进大气光学的发展。

## 2 图像清晰度 $C$ 与成像距离 $r$ 的关系

图像清晰度与成像距离的关系为<sup>[4]</sup>

$$C = \exp(\xi - 4 \ln r - 2\alpha r) - 1, \quad (1)$$

式中,  $\xi$  为常数, 通过实测值( $C, r$ ) 可以求出;  $\alpha$  为水体衰减常数。

用 50 mJ、532 nm 激光作光源照射水下物体, 成像距离为 2 m, 在水体衰减长度为 0.6 m 时获得图像清晰度为 2.18, 在水体衰减长度为 0.5 m 时获得图像清晰度为 0.43。对于相同的成像距离、相同的入射光能量有下列关系式:

$$\frac{C_1 + 1}{C_2 + 1} = \frac{\exp(-2\alpha_1 r)}{\exp(-2\alpha_2 r)}, \quad (2)$$

把实验数据代入(2)式, 公式的左边值为 2.563, 右边的值为 2.814。可见上述理论公式和实验结果能符合, 存在一定的误差是因为把物体看成理想的朗伯(Lambert)体, 实际的水下物体对入射光的散射情况与理想的Lamber体可能存在一定的差别。

### 3 实 验

实验装置如与参考文献[4]相同。Nd: YAG 倍频激光(532 nm) 经过望远镜扩束后作成像光源, 照射水下目标, 目标反射光进入 CCD 成像系统, CCD 成像系统由照相机镜头和 CCD 组成。整个实验装置由计算机控制, 计算机发出电脉冲外触发激光器。计算机每发一个触发信号激光器发出一个光脉冲, CCD 便采集一幅图像。为了排除水粒子散射光对成像的干扰, 通常在入射光路上和 CCD 成像系统前加偏振器。水的衰减常数通常用小型固体 YVO<sub>4</sub>( 矾酸镱) 激光器和光电探测器测得, 小型固体 YVO<sub>4</sub> 激光器发出 533 nm 连续激光, 经水体衰减后用光电二极管接收并通过示波器测出电压信号的衰减。在实验过程中, 每改变一次成像距离都用高功率白炽灯照射目标, 并调整照相机镜头的焦距使计算机屏幕上的图像清晰, 这说明目标的反射光经过照相机镜头正好成像在 CCD 焦平面上。然后关掉白炽灯用 532 nm 激光作光源进行成像实验, 实验前在水槽上标好刻度值, 每改变一次距离都计下水槽上的刻度, 以便和

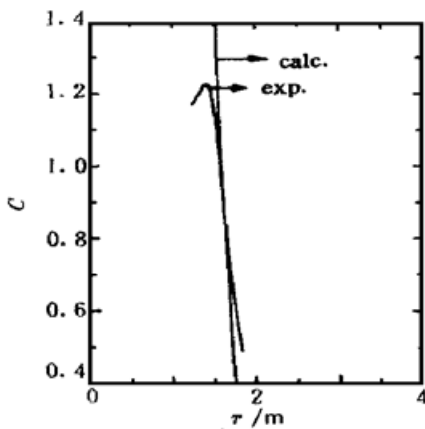


Fig. 1 The relation for  $C$  and  $r$

所成图像相对应。用软件算出所测图像的清晰度。

根据实验数据作出  $C-r$  关系曲线, 如图 1 所示, 横坐标为成像距离, 纵坐标为图像清晰度。根据实测曲线和公式

$$\xi = \ln(C + 1) + 2\alpha + 4 \ln r, \quad (3)$$

可算出常数  $\xi$ 。在图 1 曲线上任取一点, 如横坐标  $r$  为 1.589, 纵坐标  $C$  为 1.049, 即目标在 1.589 m 处的图像清晰度为 1.049, 把  $r$ 、 $C$  的值代入(3)式可算出常数:  $\xi = 3.04$ 。实验测得水体衰减常数为 0.2。然后根据(1)式, 把计算出的常数  $\xi$  代入其中便可作出  $C-r$  关系曲线:

$$C = \exp(3.04 - 4 \ln r - 2 \times 0.2r) - 1.$$

### 4 数据误差分析

从图 1 中可见, 实测曲线的趋势与计算曲线的趋势相同: 随着成像距离的增大图像清晰度很快减小, 曲线下降的趋势与水体衰减常数有关, 衰减常数越大曲线下降得越陡, 水体越清曲线下降得越平缓, 成像距离越远。在近距离时, 实测值并非趋向无穷大, 和理论计算值不符, 这是由于近距离成像时, 目标反射光强度较大导致 CCD 探测器接近饱和, 故在近距离区域, 成像距离越近图像清晰度反而呈下降趋势。在较远距离处实测值也并非像计算值那样很快趋于 0, 这是因为实验过程时间较长, 先从近距离成像, 当成像距离渐渐增大时, 实验时间也慢慢增大, 导致实验室水槽中水体变清, 衰减常数减小, 故这时清晰度实测值随距离的增加而缓慢减小。

### 5 讨 论

1)  $C-r$  关系曲线的计算是建立在一定的实验基础之上, 并非纯粹的理论计算, 必须先测出圆偏振成像系统在某成像距离  $r_0$  处所成图像清晰度  $C$ , 算出常数  $\xi$ , 测出水体的衰减常数  $\alpha$ , 然后根据(1)式用软件画出解出  $C-r$  关系曲线。

2) 通过实验, 只要测得某成像距离  $r$  处的图像清晰度, 就可按公式(1)估算出任意成像距离处的图像清晰度和最远成像距离, 这也是此项研究工作的实际意义。

- 3) 由于实验室水体的性质和水槽的长度的限制, 最远成像距离只有 2 米左右, 若是实际大洋海水, 衰减常数只有  $10^{-2}$  左右, 理论计算最远成像距离可达 10 米乃数十米。
- 4) 近距离和远距离成像都存在一定的误差, 这是由于探测器的性质决定。
- 5) (1) 式同样适用于激光大气传输, 此项工作正处研究之中。

### 参 考 文 献

- [1] McLean E A, Burris Jr. H R, Strand M P. Short-pulse range-gated optical imaging in turbid water. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(21): 4343-4347
- [2] Liu W, Cao N. Image enhancement by polarizing discrimination in turbid media. *Proc. SPIE*, 1997, **3121**: 1011-104
- [3] 曹念文, 刘文清等. 水下目标圆偏振成像及最远成像距离的计算. *中国激光*, 2000, **A27**(2): 150-154
- [4] 曹念文, 刘文清等. 水下物体激光圆偏振成像实验及与线偏振成像的比较. *光子学报*, 1998, **27**(6): 569-570

## Relation between Contrast of Image and Imaging Range for Underwater Object

Cao Nianwen      Liu Wenqing      Zhang Yujun

Wang Fengping      Shong Bingcao

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

(Received 23 December 1998; revised 29 April 1999)

**Abstract** According to the equation which expressing the relation between the contrast of underwater image and the imaging range, and by changing the imaging rang experimentally, the figure of  $C-r$  for experimental data and the figure of  $C-r$  for theoretical calculation are compared and analysed.

**Key words** image, contrast, range.