

文章编号: 1001-3806(2009)05-0515-03

## 舰载武器系统激光对瞄方法研究

李刚, 孔小健\*

(海军工程大学 兵器工程系, 武汉 430033)

**摘要:** 为了解决目前舰载武器激光对瞄系统存在对瞄成像光斑尺寸较小, 以及在动态场景情况下该成像光斑极易偏离出观测视场等缺陷, 采用渐变折射率平板波导对成像激光进行1维扩束, 激光束在与传播方向垂直平面内的一个方向上进行很好的扩束, 而在另一个方向上基本不影响原有光束的传输性能。对改进后的系统进行模拟实验。结果表明, 扩束光线具备了较好的对瞄观测效果。

**关键词:** 激光技术; 对瞄; 波导; 扩束

**中图分类号:** TN249 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2009.05.020

## Research of laser pointing method of shipborne weapons

LI Gang, KONG Xiao-jian

(Department of Weapon Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** There are several problems of the present laser pointing system of shipborne weapons, such as small imaging spot and its possibility deviating from the field of view under dynamic conditions. In order to overcome the disadvantages, a graded index optical waveguide was used to extend the imaging laser in one dimension perpendicular to the propagating direction. The laser beam was extended in only in one direction, keeping invariable in the other direction. Experiments on the modified system show that the point performance of the extended beam is good.

**Key words:** laser technique; pointing; waveguide; beam extend

### 引言

舰载武器系统零位一致性检测工作在部队的实战和日常训练中经常遇到, 系统的零位若发生变化, 将影响射击的准确性, 因此必须检查和规正系统的零位。常用的瞄星法只能在晴朗夜间进行, 易受天气影响<sup>[1]</sup>。而单纯的激光对瞄系统存在成像光斑尺寸过小, 且在动态场景下易偏离出观测视场等缺陷。作者从理论上分析了用有限远目标模拟无穷远的星体, 并用光波导器件对激光对瞄系统进行改进。通过实验对该系统进行了模拟, 经平板波导扩束的激光对瞄观测效果得到明显的改善。

### 1 理论分析

鉴于瞄星法受天气影响较大, 不能满足部队实战和日常训练需要, 因此有必要寻求新的解决办法。

本文中以岸上有限远目标模拟无穷远星体, 并以激光作为其对瞄光源。以后主炮作为被测单机, 以中

央指挥镜作为基准单机, 以两者的零位一致性检测方法为例, 对舰载武器系统零位一致性检测方法的工作原理作简单介绍<sup>[2-3]</sup>。后主炮与中央指挥镜的零位一致性检测原理如图1所示。

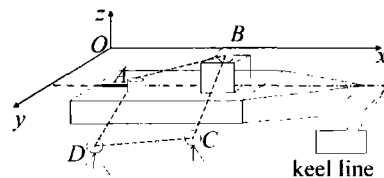


Fig. 1 Detection schematic diagram

图中后主炮、中央指挥镜的中心点和舰舷外两个有限距离的观测点分别以A, B, C, D表示, 这4点构成一个空间四边形ABCD(如图1中虚线所示)。为方便起见, 建立如图所示坐标系, 其中x-y平面与水平面平行, 且x轴与舰船船艏线平行, z轴垂直向上为正。从原理上讲, 检测时令空间四边形ABCD各个测量点分别依次与其相邻的测点相互对瞄, 通过各自的测角机构读出每一测点的实际水平转角和高低角, 即可得到水平方向投影的平面四边形和垂直方向投影的平面四边形的各个角度的实测值( $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \beta_A, \beta_B, \beta_C, \beta_D$ )从而求得水平和高低零位偏差<sup>[2]</sup>。

水平零位误差:

作者简介: 李刚(1983-), 男, 硕士研究生, 现主要从事激光扫描成像方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: zhpx2003@163.com

收稿日期: 2008-07-29; 收到修改稿日期: 2008-10-21

$$\sigma_1 = \alpha_1 - \alpha_A + \alpha_2 - \alpha_D \quad (1)$$

式中,  $\alpha_2$  为  $A, D$  两点对瞄时后主炮水平读数;  $\alpha_1$  为  $B, C$  两点对瞄时中央指挥镜水平读数。(1)式即是后主炮与中央指挥镜水平零位偏差的计算公式。 $\sigma_1$  的符号规则同  $A, B$  测点,  $-\sigma_1$  即为修正量。

同理, 高低零位误差:

$$\sigma_2 = \beta_C - \beta_D + \beta_B - \beta_A \quad (2)$$

(2)式即是后主炮与中央指挥镜的高低零位偏差的计算公式。 $\sigma_2$  的符号规则同各个测点的俯仰角规定,  $-\sigma_2$  即为修正量。在实际的调整工作中, 只要将  $-\sigma_1$  和  $-\sigma_2$  的具体数值提供给指挥仪, 按照角度的有关规定, 在后主炮指示为 0 时, 通过机械或电气的方法加以修正即可。

但是, 由于激光在观测系统的分划上成像所得的光斑尺寸较小, 在动态场景情况下舰载武器系统对瞄时, 舰船会随海浪发生各种位移、纵摇及横摇, 该成像光斑极易偏离出观测视场, 给对瞄观测带来极大的不便, 因此, 本方案选用一种渐变折射率平板波导光耦合器来对激光束进行整形处理<sup>[4,5]</sup>, 使激光束在与传播方向垂直平面内的一个方向上进行很好的扩束<sup>[6]</sup>, 而在另一个方向上基本不影响原有光束的传输性能, 从而实现对半导体激光束的 1 维线扩束, 因而理论上在观测系统屏幕上聚焦成像的将是一条明亮的光线, 而非光斑, 该光线应当充满整个观测视场, 从而使对瞄观测变得相对轻松。

平板波导由夹在低折射率的衬底和覆盖层之间的高折射率的薄膜构成。由于光在薄膜的上、下两界面上发生全反射, 使光被限制在膜层内沿 Z 字形路径传播<sup>[7]</sup>。当光波在平板波导中沿 z 方向传播时, 它只在 x 方向受到限制, 而在 y 方向不受限制。

为简便起见, 把波导的有效折射率(模折射率)定义为<sup>[8]</sup>:

$$N_v = \beta_v/k = n_f \sin \theta_v \quad (3)$$

式中,  $v$  表示模数的模阶数,  $\theta_v$  表示  $v$  阶导模的模角,  $\beta$  为导模的传播常数,  $k$  为波矢量的模,  $n_f, n_s, n_c$  分别为薄膜、衬底和覆盖层的折射率, 且满足  $n_f > n_s \geq n_c$ , 平板波导模式方程可改写为:

对于 TE 模:

$$(n_f^2 - N_v^2)^{1/2} kd = v\pi + \arctan\left(\frac{N_v^2 - n_s^2}{n_f^2 - N_v^2}\right)^{1/2} + \arctan\left(\frac{N_v^2 - n_c^2}{n_f^2 - N_v^2}\right)^{1/2} \quad (4)$$

对于 TM 模:

$$(n_f^2 - N_v^2)^{1/2} kd = v\pi + \arctan\left[\left(\frac{n_f}{n_s}\right)^2 \left(\frac{N_v^2 - n_s^2}{n_f^2 - N_v^2}\right)^{1/2}\right] + \arctan\left[\left(\frac{n_f}{n_c}\right)^2 \left(\frac{N_v^2 - n_c^2}{n_f^2 - N_v^2}\right)^{1/2}\right] \quad (5)$$

渐变折射率平板波导光耦合器<sup>[9]</sup>的示意图如图 2 所示, 渐变折射率平板波导光耦合器光轴沿 z 轴方

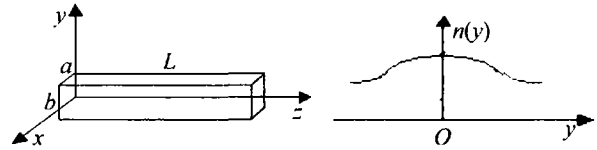


Fig. 2 Schematic diagram of the coupler

向, x 轴方向折射率分布不变, 沿 y 轴方向折射率分布为平方率分布, 即:

$$n^2(y) = n_0^2(1 - Ay^2), (0 \leq |y| \leq b/2) \quad (6)$$

式中,  $n_0$  是平板波导中点的折射率分布值, 相对折射率差为  $\Delta$  时:

$$\sqrt{A} = 2\sqrt{2\Delta}/b \quad (7)$$

聚焦常数  $\sqrt{A}$  反映了渐变折射率平板波导对于光线的会聚能力。在平行于  $y-z$  平面的任意截面上, 与自聚焦透镜一样, 存在焦距:

$$P = 2\pi/\sqrt{A} \quad (8)$$

若取平板波导长度  $L = 0.25P$ , 则在平行于  $y-z$  平面的任意截面上, 与自聚焦透镜一样, 对于在其端面, 沿  $y-z$  平面入射的线光源具有准直作用。若入射线光源的条宽为  $a$ , 光束发散角对应的数值孔径角为  $d_{NA}$ , 则经过渐变折射率平板波导光耦合器的变换作用, 在平行于  $x-z$  平面方向, 光束发散角不变, 而在平行于  $y-z$  平面的任意截面上, 输出端光束的半径和发散角分别为:

$$a_b = d_{NA}/(n_0\sqrt{A}) \quad (9)$$

$$\theta_b = -a(n_0\sqrt{A}) \quad (10)$$

由以上推导可知, 经平板波导整形后, 激光束在与传播方向垂直平面内的一个方向上进行很好的扩束, 而在另一个方向上基本不影响原有光束的传输性能。因此, 在对瞄时, 可先将激光束调至横向(或纵向), 进行横向(或纵向)对准, 然后将波导器件(可调)旋转  $90^\circ$ , 进行纵向(或横向)对准。

## 2 实验验证

按照以上方案, 以经纬仪、半导体激光器、平板波导制成样机, 在近距离对瞄观测时, 经平板波导扩束后虽然激光能量密度有所减小, 但激光光源中心的强度仍使得 CCD 达到饱和, 因此, 考虑使用一对偏振片来调控成像激光的光强, 如图 3 所示。

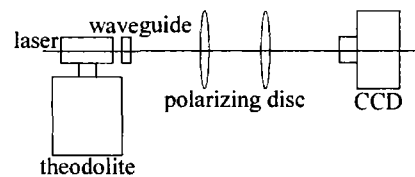


Fig. 3 System schematic diagram

图 4 所示为 CCD 拍到的激光扩束线, 如图所示,

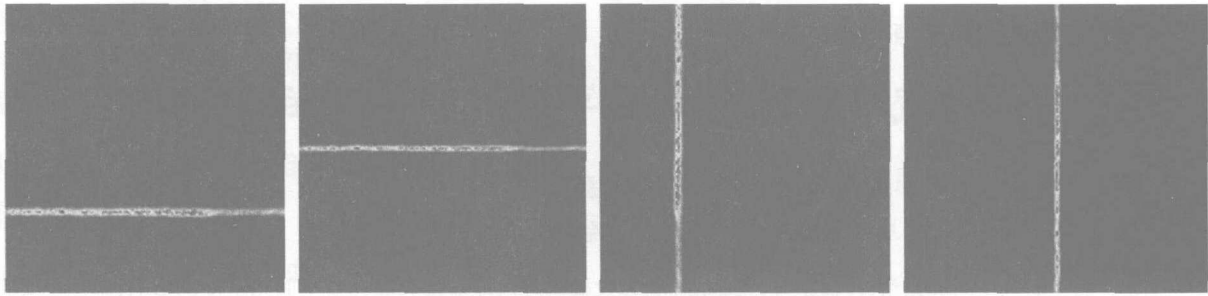


Fig. 4 The extended beam captured by CCD

在对瞄时先进行横向对准,然后将波导器件旋转 $90^\circ$ ,进行纵向对准。

图5所示为未经平板波导拍摄到的激光光斑以及在远距离观测时扩束线的成像情况。

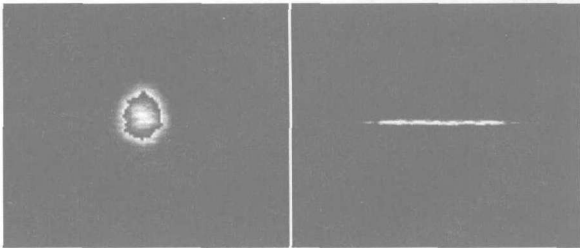


Fig. 5 The laser spot and the extended beam at a long distance

由图4及图5可发现,扩束后的激光较原激光光斑在对瞄观测时具有明显的优势。

### 3 结论

从理论上分析了用有限远目标模拟无穷远的星体,并用光波导系统对瞄及高精度测角来完成舰载武器系统零位一致性检测任务的可行性,并通过实验对该系统进行了模拟。结果表明,该系统在近距离对瞄观测时具备了较好的实验效果;当距离增大到一定程度,观测系统中激光扩束线的长度有所减小。通过平板波导对激光1维扩束,有效地解决了激光光斑成像

尺寸较小、不易对瞄观测的问题,对于开发新型舰载武器对瞄技术的研究具有积极的意义。该系统在远距离观测时的成像效果有待进一步提高。

### 参考文献

- [1] SUN Sh Ch, GAO J D, LI M Y. The associative regulation of shipborne gun weapon system [M]. Wuhan: Naval University of Engineering Press, 2003: 20-27 (in Chinese).
- [2] KONG X J, WANG J A, LIU Q Zh, et al. Research on the zero collimation of the warship weapon systems [J]. Journal of Naval University of Engineering, 2001, 13(6): 59-62 (in Chinese).
- [3] FAN Zh G. Electric-optic measuring and testing technique [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004: 11-20 (in Chinese).
- [4] LIANG Y P, DAI T L. An improvement of collimating performance using column collimator of semiconductor laser [J]. Chinese Journal of Laser, 2004, 31(11): 1305-1311 (in Chinese).
- [5] HE X J, YANG H J, QIU Q. The collimating design of array semiconductor laser beam [J]. Laser Technology, 2004, 28(6): 658-660 (in Chinese).
- [6] LI Y Q, CUI M. Waveguide theory and technique [M]. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 2002: 77-88 (in Chinese).
- [7] YU D Y, TAN H Y. Engineering optics [M]. Beijing: China Machine Press, 2006: 477-481 (in Chinese).
- [8] LI J Zh, SU Sh X, ZHAO J M, et al. Optical manual [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985: 254-256 (in Chinese).
- [9] KONG X J, HUANG D X, LIU D M, et al. Research on gradient-index strip waveguide coupler [J]. Infrared and Laser Engineering, 2004, 33(2): 204-208 (in Chinese).
- [10] GONG M L, YUAN Y Y, LI C, et al. Numerical modeling of transverse mode competition in strongly pumped multimode fiber lasers and amplifiers [J]. Optics Express, 2007, 15(6): 3236-3246.
- [11] HIDEHIKO Y, PANEL P, MASUD M. Beam quality factor of higher order modes in a step-index fiber [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(3): 1350-1355.
- [12] BONATI G, VOELCKEL H, GABLER T, et al. 1.53kW from a single Yb-doped photonic crystal fiber laser [C]//Late Breaking Developments. San Jose: Photonics West, 2005: 5709-2a.
- [13] FERMAN M E. Single-mode excitation of multimode fibers with ultra-short pulses [J]. Opt Lett, 1998, 23(1): 52-54.
- [14] KOPLOW J P, KLINER D A V, GOLDBERG L. Single-mode operation of a coiled multimode fiber amplifier [J]. Opt Lett, 2000, 25(7): 442-444.
- [15] ALVAREZ-CHAVEZ J A, GRUDININ A B, NILSSON J, et al. Mode selection in high power cladding pumped fiber lasers with tapered section [C]//Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO'99. Washington, DC: The Optical Society of America, 1999: 247-248.
- [16] LIMPERT J, ZELLMER H, TUNNERMANN A, et al. Suppression of high order modes in a multimode fiber amplifier using efficient gain-loss-management (GLM) [C]//Advanced Solid-State Lasers. Paper MB20. Washington, DC: The Optical Society of America, 2002: 112-114.
- [17] HOTOLEANU M, SODERLUND M, KLINER D, et al. High order modes suppression in large mode area active fibers by controlling the radial distribution of the rare earth dopant [J]. Proc SPIE, 2006, 6102: 61021T1-61021T8.
- [18] GRIEBNER U, KOCH R, SCHÖNNAGEL H, et al. Efficient laser operation with nearly diffraction-limited output from a diode-pumped heavily Nd-doped multimode fiber [J]. Opt Lett, 1996, 21(4): 266-268.
- [19] GRIEBNER U, SCHÖNNAGEL H. Laser operation with nearly diffraction-limited output from a Yb: YAG multimode channel waveguide [J]. Opt Lett, 1999, 24(11): 750-752.

(上接第514页)