

# 全息瞄准器中虚像漂移分析

王海林<sup>1</sup> 朱日宏<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>南京理工大学理学院, 江苏 南京 210094  
<sup>2</sup>南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

**摘要** 介绍了全息瞄准器的工作原理、特点及应用情况。对全息瞄准器中全息片的再现光束角度在水平和竖直方向微小偏移对“十”字叉虚像偏移角的影响进行了研究,给出了理论分析和实验测量的曲线结果,两者吻合得很好。对全息片的再现光波长漂移对“十”字叉虚像偏移角的影响也进行了定量分析,该分析结果为补偿光路的设计提供了依据。

**关键词** 全息;全息瞄准器;全息光学元件;角度偏移;虚像漂移;波长漂移

**中图分类号** O438.1 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL201138.1009001

## Analysis of Virtual Image Deflection in Holographic Sight

Wang Hailin<sup>1</sup> Zhu Rihong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>School of Science, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China  
<sup>2</sup>School of Electronic Engineering and Photoelectric Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

**Abstract** The operation principle, characteristics and also practical applications of holographic sights are introduced. The influence of tiny angular deflections of the reconstructing beam in vertical and horizontal directions on the deflection angle of virtual cross image is studied. With analytical and experimental results obtained, both of them agree with each other well. The wavelength drift influence on the deflection angle of the virtual cross image is also analyzed. This provides a basis for the design of compensating optical arrangement.

**Key words** holography; holographic sight; holographic optical element; angular deflection; virtual image deflection; wavelength drift

**OCIS codes** 090.2890; 090.2870; 100.2960

## 1 引言

全息瞄准器在美国、北约和俄罗斯已经装备部队。这种先进的瞄准器能以惊人的速度准确地瞄准目标,它结构轻巧、稳定耐用,尤其在近距离战斗、环境复杂、天气恶劣的情况下表现尤为出色<sup>[1~7]</sup>。越来越多的国家正在研究和装备这种优秀的设备。全息瞄准器的研究起源于 20 世纪 70 年代 ERIM (Environmental Research Institute of Michigan) 为美国国防部研制的全息瞄准系统,由于当时只能使用体积很大的 He-Ne 激光器为光源,故只能装备在大型武器和武装直升机上,而不能装备在轻型武器上。20 世纪 90 年代,由于半导体激光器的成熟,使

这项技术得以应用在轻武器上。

全息瞄准器中的全息片拍摄时通常使用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器,而全息瞄准器中的全息像再现光使用标称中心波长为 650 nm 的半导体激光。半导体激光实际中心波长与标称中心波长的差异,半导体激光在使用过程中温度等原因造成中心波长的漂移,再现光几何位置与拍摄参考光不一致,都会导致再现像与原物体位置不重合,这个问题在一般的全息像观察中不会产生什么影响,而在全息瞄准器中各种原因引起的再现像位置变化必须精确定量已知。本文根据全息瞄准器的原理,定量分析了全息瞄准器中再现光方位角及波长变化对虚像

收稿日期: 2011-05-20; 收到修改稿日期: 2011-06-21

作者简介: 王海林(1961—),男,博士,副教授,主要从事全息在兵器领域应用方面的研究。

E-mail: hailin@mail.njust.edu.cn

位置的影响,并进行了实验验证。

## 2 原理及实验

全息瞄准器使用原理图如图 1 所示。再现光 C 经光学系统后产生平行光。再现光 C 照射全息片 H,全息片的 1 级衍射波产生的“十”字虚像位于全息片右边某距离处(如 50 m),人眼位于全息片的左边。实际使用中,如人眼看到“十”字叉与目标重合即瞄准成功。全息片 H 拍摄通常选用波长为 632.8 nm 的单模 He-Ne 激光<sup>[6~8]</sup>。

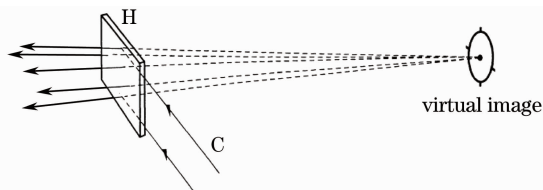


图 1 全息瞄准器使用原理图

Fig. 1 Schematic diagram for the operation of holographic sight

如图 2 所示,在拍摄平面全息片光路中,设物点 O 的坐标为  $(x_0, y_0, l_0)$ ;拍摄参考光 R 源点的坐标为  $(x_R, y_R, l_R)$ ,波长为  $\lambda_0$ ;再现光 C 源点的坐标为  $(x_C, y_C, l_C)$ ,波长为  $\lambda$ 。像点 I 的坐标为  $(x_1, y_1, l_1)$ ;  $l_0, l_R, l_C, l_1$  分别为物点 O、参考光 R 源点、再现光 C 源点、像点 I 到坐标原点的距离。有关系为<sup>[9]</sup>

$$\frac{x_1}{l_1} = \frac{x_C}{l_C} + \frac{\lambda}{\lambda_0} \left( \frac{x_0}{l_0} - \frac{x_R}{l_R} \right), \quad (1)$$

$$\frac{y_1}{l_1} = \frac{y_C}{l_C} + \frac{\lambda}{\lambda_0} \left( \frac{y_0}{l_0} - \frac{y_R}{l_R} \right). \quad (2)$$

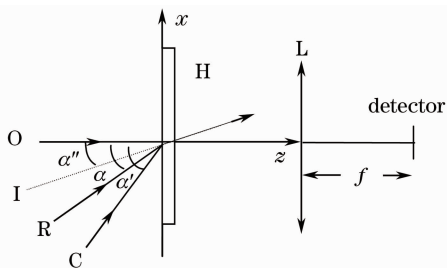


图 2 全息照片拍摄及再现原理图

Fig. 2 Schematic diagram of holographic recording and reconstruction

全息片拍摄时,物点 O 位于 z 轴上(实际拍摄光路为物点 O 与全息干版 H 之间有一成像透镜系统),其坐标为  $(0, 0, l_0)$ ,平行参考光在 x-z 平面内,以  $\alpha$  角照射全息干版 H。再现时仍用平行光照射全息片 H,  $\alpha', \beta'$  分别为平行再现光 C 与 z 轴、y 轴的夹角。  $\alpha'', \beta''$  分别为像点 I 矢径与 z 轴、y 轴的夹角。

再现光 C 相对于参考光的入射方向有微小变化,全息干版发生衍射所成的像点 I 相对于物点 O 的位置也有微小变化。由(1)和(2)式得各角之间的关系为

$$\pm \sqrt{1 - \cos^2 \beta'' - \cos^2 \alpha''} = \sqrt{1 - \cos^2 \beta' - \cos^2 \alpha'} - \frac{\lambda}{\lambda_0} \sin \alpha, \quad (3)$$

$$\cos \beta'' = \cos \beta'. \quad (4)$$

由(4)式可见  $\beta'' = \beta'$ ,即平行再现光 C 与 y 轴的夹角调节多少角度,虚像 I 与 y 轴的夹角就偏离多少角度,该结果与实验测量结果一致。

由(3)式,在  $\beta'' = \beta' \approx 90^\circ$  情况下有

$$\sin \alpha'' \approx \sin(\alpha + \Delta\alpha) - \frac{\lambda}{\lambda_0} \sin \alpha. \quad (5)$$

在  $\lambda = \lambda_0$  和  $\alpha = 60^\circ$  的情况下,由于  $\alpha''$  是一个很小的量,令  $\alpha' = \alpha + \Delta\alpha$ ,  $\Delta\alpha$  为再现光相对于与参考光的偏移角,是一个很小的量,由(5)式得出  $\alpha''$  与  $\Delta\alpha$  的理论关系曲线如图 3 所示,对此本文进行了实验验证。通过角度微调器调整再现光 C 的角偏移量  $\Delta\alpha$ ,并检测出相应的  $\alpha''$ ,实验结果( $F_2$  线)如图 3 所示,与理论分析的结果( $F_1$  线)吻合较好。检测虚像的位置( $\alpha''$  和  $\beta''$ )的方法是将四象限探测器(4-Q detector)光敏面置于聚焦物镜 L 的焦平面处,光敏面两个方向的直线分别与 x 轴和 y 轴平行。当光束相对光轴以  $\alpha''$  角入射时,光点在光敏面上发生偏移量为  $\Delta x = \alpha'' \times f$ ,f 为聚焦物镜焦距。选取较大的焦距 f,可增加角偏移量的测量精度。

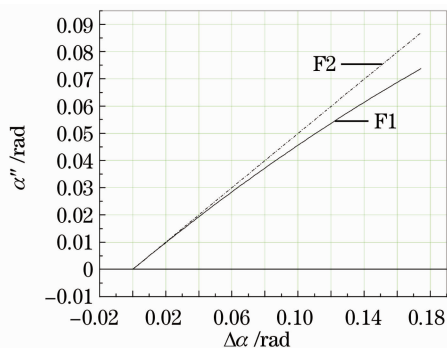


图 3  $\alpha''$  与  $\Delta\alpha$  的关系曲线

Fig. 3  $\alpha''$  versus  $\Delta\alpha$

在  $\Delta\alpha = 0$  的情况下,由(5)式得  $\alpha''$  与  $\lambda$  的关系如图 4 所示。  $\lambda_0 = 632.8$  nm,再现光选取中心波长为 650 nm 的半导体激光器。全息片拍摄时,需调整  $\alpha$  适当偏移量以保证全息片在枪瞄上安装后,在  $\alpha' = 60^\circ$  时,  $\alpha''$  为零。实际瞄准器工作中,温度变化使激光波长在中心标称波长附近漂移,波长漂移与温度的关系为 0.2~0.3 nm/°C,如温度变化 20 °C 引起

波长漂移约为 5 nm,由图 4 得虚像点 I 矢径与  $z$  轴的夹角  $\alpha''$  变化为 0.007 rad,如虚像点 I 位于 50 m 处,则会发生 0.35 m 的位移,这一位移对瞄准器使用产生不利的影响。可通过补偿光路来消除  $\lambda$  变化对  $\alpha''$  的影响,图 5 为一典型的补偿光路<sup>[4]</sup>,它的原理是把全息片看成一个透射光栅,当再现光 C 照射反射光栅(补偿光栅),反射光栅的第 1 级衍射光再照射全息片,全息片的 1 级衍射波产生的“十”字虚像 I 位置就会不随波长漂移而变化。补偿光栅参数的选择及与全息片的相对位置需进行严格的光学设计。

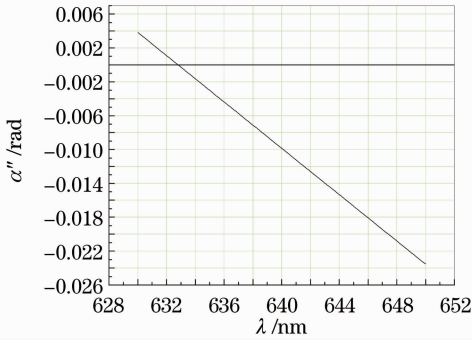


图 4  $\alpha''$  与  $\lambda$  的关系曲线

Fig. 4  $\alpha''$  versus  $\lambda$

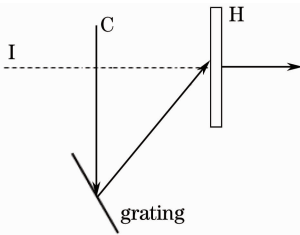


图 5 补偿光路

Fig. 5 Compensation optical path

### 3 结 论

定量分析了全息瞄准器中全息片的再现光束角度在水平和垂直方向微小偏移对“十”字虚像偏移角的影响,由虚像偏移角与虚像距离可知虚像位移量。虚像偏移角在校枪和使用中都需进行调节,全息瞄准器中可以通过调节图 4 中补偿光栅的方位角

及改变再现光束角度实现。瞄准器要适应各种使用环境(如温度范围  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),考虑到瞄准器的尺寸、重量和能量消耗,不能选择稳定半导体激光器温度的方法,只能使用补偿光路的方法,文中半导体激光峰值波长漂移对“十”字叉虚像偏移角影响的定量分析结果为补偿光路设计提供了依据。

全息瞄准器既具备一般瞄准具的瞄准直观、准确和方便使用的特点,又具备隐蔽性好,瞄准速度快和环境影响小的优点,对其研究和开发具有重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 Juris Upatnieks. Holographic gunsights for small arms [C]. *SPIE*, 1988, **2968**: 210~219
- 2 Juris Upatnieks. Holographic gunsight-the next generation [C]. *SPIE*, 2000, **3951**: 84~91
- 3 Xie Jinghui, Sun Ping. New advances in holography [J]. *Transaction of Beijing Institute of Technology*, 2003, **23**(2): 133~139
- 4 谢敬辉, 孙 萍. 全息术的新进展 [J]. 北京理工大学学报, 2003, **23**(2): 133~139
- 5 D. S. Lushnikov, S. E. Dubynin, S. B. Odinokov *et al.*. Method for parallax control of image reconstructed from holographic sight HOE [C]. *SPIE*, 2006, **6252**: 62521X
- 6 K. Srimannarayana, P. Rajesh Kumar. Design and developmental aspects of holographic sight for rifles and carbine [C]. *SPIE*, 2007, **6662**: 666207
- 7 Xiao Yong, Wang Sulin, Tang Daoguang *et al.*. Holographic characteristics of the photopolymer sensitized by four photosensitizers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(4): 928~933
- 8 肖 勇, 王素莲, 唐道广等. 四种光敏剂共敏化光致聚合物的全息性能研究 [J]. 中国激光, 2009, **36**(4): 928~933
- 9 Wang Longge, Li Feitao, Zhao Lei *et al.*. Study of holographic characteristics of a photopolymer doped with  $\text{TiO}_2$  nanoparticle [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(12): 3103~3107
- 10 王龙阁, 李飞涛, 赵 磊等. 掺杂  $\text{TiO}_2$  纳米颗粒的光致聚合物全息特性的研究 [J]. 中国激光, 2010, **37**(12): 3103~3107
- 11 Cheng Ping, Zhu Haijin, Zhang Chao *et al.*. Research of laser speckle reduction for imaging of holographic sinusoidal grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(s2): 317~321
- 12 程 萍, 朱海金, 张 超等. 消激光散斑的全息正弦光栅制作技术研究 [J]. 光学学报, 2009, **29**(s2): 317~321
- 13 Yu Meiwen, Zhang Jingfang. Optical Holography [M]. Beijing: Beijing Education Press, 1995. 48~54
- 14 于美文, 张静方. 光全息术 [M]. 北京: 北京教育出版社, 1995. 48~54