

文章编号: 1001-3806(2012)02-0151-03

双光楔在激光测距机光轴校正中的应用

吕溥 韩国华

(中国兵器工业第208研究所,北京 102202)

摘要: 为了减轻激光测距机的重量和优化光轴校正结构,设计采用旋转双光楔校正结构。通过建立光轴平行性偏差与旋转双光楔角度量化关系模型,推导出对应公式,并应用于某轻武器光电火控的研制实践。结果表明,该校正方法能有效减小激光测距机的体积和重量,该校正结构具有环境稳定性好、校正简便、维修性好的特点,校正精度可达0.1mrad。

关键词: 激光技术;双光楔;激光测距机;光轴平行性;光轴校正方法;斜楔镜

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.02.002

Application of dual wedges in optical axis alignment for laser rangefinders

LÜ Pu, HAN Guo-hua

(No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

Abstract: In order to lighten weight of a laser rangefinder and improve the efficiency of optical alignment, a rotary dual-wedge pair was designed to align the optical axes. The mathematical model of the optical axis parallel deviation and the dual-wedge rotary angle was established, and the corresponding formula was derived. With a dual-wedge pair applied in a photoelectric fire control system of a light-weight weapon, the correction accuracy reached 0.1mrad. Experimental results indicate that this method is suitable to miniature the volume and weight, eliminate the influence of environment such as the temperature, shock. It is convenient for alignment and maintenance.

Key words: laser technique; dual wedges; laser rangefinder; optical-axis parallelism; method of optic-axis alignment; optical wedge

引言

激光测距技术以其体积小、操作简单、角分辨率及测量精度高、作用距离远和抗干扰能力强,一般可满足军事要求等突出优点,早在20世纪60年代就已装备部队^[1]。随着科学技术的发展和激光测距技术应用的不断拓展,激光测距技术正逐渐应用于轻武器火力控制。由于轻武器,特别是单兵携行战斗武器,对体积、重量极为敏感;同时对激光测距机的光轴结构稳定性和环境适应性要求极为苛刻,而激光测距机的作用距离和横向分辨率等与其激光发射轴、激光接收轴和观察瞄准轴的平行性有着至关重要的联系^[2],只有保证了三光轴的平行性才能保证激光测距机的作用距离和横向分辨率等重要指标。

目前,三光轴的平行误差常用的调整法是通过径向(垂直于光轴的方向)移动光学零件,改变相应的光

轴方向使之与其它光轴相平行,如采用偏心环(框)结构等^[3]。这些方法校正光轴难度大,而且体积大、质量重。

作者采用在发射光路和接收光路中各增加一对双光楔,通过旋转双光楔分别调整光路偏转角,实现瞄准、发射、接收光路的平行性校正。双光楔^[4]是指折射率相同、折射棱角相等的两块相互靠近的光楔组成的光机组件。原理是利用双光楔能使光线偏转一定角度原理,在发射和接收光路中各增加一对双光楔,用校正检测仪(如平行光管等)测量出光轴平行性偏差数值,按照本文中的计算模型粗算双光楔旋转方向和角度,再按双光楔组件上的刻度旋转光楔,此法操作简便、直观,校正工效高。

1 校正模型

激光发射轴和观察瞄准轴校正分别调整光路偏转角,实现发射、接收光路的平行性校正。双光楔是指折射率相同、折射棱角相等的两块相互靠近的光楔组成的光机组件。校正时,先用校正检测仪(如平行光管等)测量出光轴平行性偏差数值,按照本文中的计算

作者简介:吕溥(1965-),男,研究员级高工,从事轻武器瞄具、激光测距机和火控总体方面研究。

E-mail: lupuzh@126.com

收稿日期:2011-04-06;收到修改稿日期:2011-09-01

模型计算双光楔旋转方向和角度,再按双光楔组件上的刻度旋转光楔,最后,用校正检测仪复查光轴平行性参量是否满足要求。此法操作简便、直观,校正工效高。如图1所示^[5]。

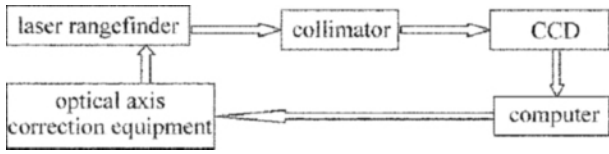


Fig. 1 Scheme of optical axis correcting system for laser rangefinders

如图2所示,双光楔参量和光轴平行性偏差量作为校正模型的输入,校正模型计算输出光楔旋转角度量即为调整值。

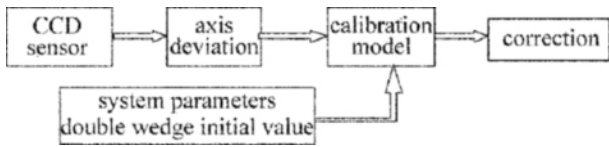


Fig. 2 Block diagram of mathematical model

对于光楔折射棱角 α 很小的情况(见图3),当光线的入射角很小时,出射角也很小,偏向角满足:

$$\delta = (n - 1) \times \alpha \quad (1)$$

式中, n 为光楔的折射率。

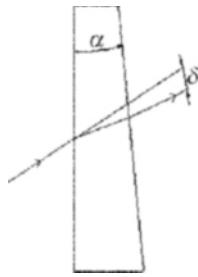


Fig. 3 Refractive property of wedge prism

如图4所示,双光楔(相隔一微小的间隙)的折射棱角均为 α ,当两光楔主截面平行且同向放置时,如图4a和图4b所示,所产生的偏向角最大(为两光楔偏向角之和);当一个光楔绕光轴旋转 180° (见图4c)时,所产生的偏向角为 0° 。

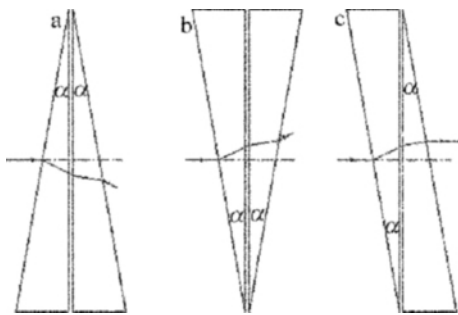


Fig. 4 Refractive property of dual-wedge prism

图5表示了双光楔的前后两个光楔的主截面绕光轴 z 旋转角度关系,校正前双光楔位置如图5a所示,前光楔主截面处于 OQ_1 位置,后光楔主截面处于 OP_1 位置,箭头方向为光楔厚边方向,设两个光楔的折射棱

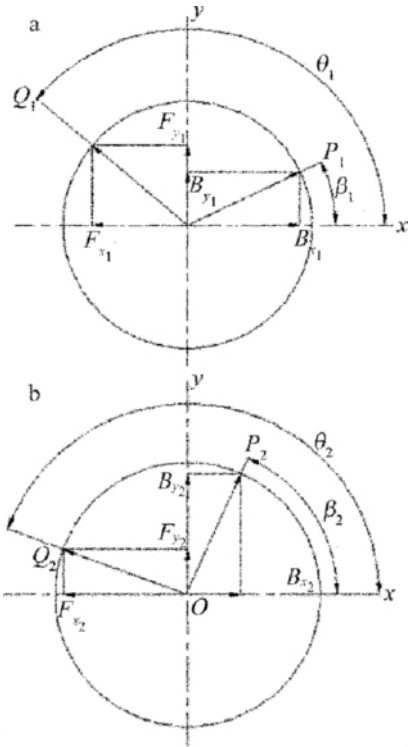


Fig. 5 Scheme of rotary angle of dual-wedge prism

角均为 α ,光线的偏向角 $\delta = (n - 1) \alpha$ (n 为光楔的折射率),前光楔在平行光管准直物镜的像方焦面上等效偏差分别为 $F_{x_1} = f' \tan \delta \cos \theta_1$, $F_{y_1} = f' \tan \delta \sin \theta_1$,其中 f' 为平行光管准直物镜的像方焦距;后光楔在平行光管准直物镜的像方焦面上等效偏差分别为 $B_{x_1} = f' \tan \delta \cos \beta_1$, $B_{y_1} = f' \tan \delta \sin \beta_1$ 。旋转前后两个光楔,双光楔位置如图5b所示,使前光楔主截面处于 OQ_2 位置,后光楔主截面处于 OP_2 位置,前光楔在平行光管准直物镜的像方焦面上等效偏差分别为 $F_{x_2} = f' \times \tan \delta \cos \theta_2$, $F_{y_2} = f' \tan \delta \sin \theta_2$;后光楔在平行光管准直物镜的像方焦面上等效偏差分别为 $B_{x_2} = f' \tan \delta \cos \beta_2$, $B_{y_2} = f' \tan \delta \sin \beta_2$ 。即旋转过程中光线在平行光管准直物镜的像方焦面上等效偏差分别变化了 $C_x = f' \tan \delta \cos \theta_2 + f' \tan \delta \cos \beta_2 - f' \tan \delta \cos \theta_1 - f' \tan \delta \cos \beta_1$, $C_y = f' \tan \delta \sin \theta_2 + f' \tan \delta \sin \beta_2 - f' \tan \delta \sin \theta_1 - f' \tan \delta \sin \beta_1$ 。 θ_1 为前光楔初始位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角, θ_2 为前光楔旋转后位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角, β_1 为后光楔初始位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角, β_2 为后光楔旋转后位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角。

通过对激光测距机光轴校正原理的分析,可得如下校正模型。

CCD 光敏面上激光像点与瞄准分划中心在水平和垂直方向的偏差量分别为: $\Delta x = C_x$, $\Delta y = C_y$ 。

经解算得:

$$\theta_2 = C - \arccos(\sqrt{A^2 + B^2}/2) \quad (2)$$

$$\beta_2 = C + \arccos(\sqrt{A^2 + B^2}/2) \quad (3)$$

或 $\theta_2 = C + \arccos(\sqrt{A^2 + B^2}/2) \quad (4)$

$$\beta_2 = C - \arccos(\sqrt{A^2 + B^2}/2) \quad (5)$$

式中，

$$C = \begin{cases} \arctan \frac{B}{A} & (B \geq 0) \\ 2\pi - \arctan \frac{B}{A} & (B < 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$A = \cos\theta_1 + \cos\beta_1 + \Delta x / (f \cdot \tan\delta) \quad (7)$$

$$B = \sin\theta_1 + \sin\beta_1 + \Delta y / (f \cdot \tan\delta) \quad (8)$$

式中 Δx 和 Δy 分别为 CCD 光敏面上激光像点与瞄准分划中心在水平和垂直方向的偏差量。

由 (1) 式 ~ (8) 式可知，光轴的校正模型建立了激光测距机的光轴误差与双光楔旋转的调整量的关系，只要知道 f 、像点偏移量 Δx 和 Δy 、前光楔初始位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角 θ_1 、后光楔初始位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角 β_1 、处于 OQ_1 位置，两个光楔的折射棱角 α 、光楔的折射率 n ，就可以计算出前光楔旋转后位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角 θ_2 、后光楔旋转后位置处主截面与 $x-y$ 截面 x 轴方向的夹角 β_2 。而 f 、 α 和 n 属于系统参量， θ_1 和 β_1 由初始位置可知，所以校正光轴时只需测量出像点偏移量 Δx 和 Δy ，即可求出前后光楔旋转的角度，通过旋转前后光楔即可校正光轴。

2 校正方法

光轴的校正方法可以分为手工校正和自动两种。

2.1 手工校正方法

手工校正方法的原理是在激光测距机前后光楔套筒外侧刻上刻度，用前后光楔套筒控制前后光楔的旋转，通过前后光楔套筒外侧上刻度校正前后光楔对应的刻度值，即初始夹角 θ_1 和 β_1 ，利用光轴平行性检测系统检测激光光斑与分划中心的偏差量 Δx 和 Δy ，将 Δx 和 Δy 代入校正模型，计算可得到物镜框和偏心环分别应调整的角度值，通过旋转前后光楔套筒带动前后光楔转动至其相对应的刻度值，即

可校正瞄准光轴。

2.2 自动校正方法

自动校正方法^[6]是通过 2 个步进电机代替人手进行自动旋转前后光楔套筒。利用 CCD 传感器可得知激光光斑与分划中心的偏差量 Δx 和 Δy ，将得到的偏差量 Δx 和 Δy 传输给单片机控制系统，单片机控制系统内存校正模型，解算出前后光楔需旋转的角度，控制步进电机旋转相应的角度值，带动前后光楔旋转到校正模型解算的角度，从而达到校正光轴的目的。

通过以上分析可见，这两种方法虽然有所区别，但都是根据激光测距机的光轴误差使前后光楔旋转一定的角度，实现对光轴的校正。

3 实验研究与精度分析

将前述方法和校正模型应用于某轻武器配用激光测距机的光轴校正中，该产品光轴平行性指标为 0.1mrad。据此设计，双光楔角 $\alpha = 1^\circ$ ，玻璃采用 K9。考虑极限情况，即光轴校正前前后光楔的薄边在 x 正方向重合，光轴校正后前后光楔的薄边在 x 负方向重合，这一过程中前后光楔均转过了 180° ，而光轴的校正量为 $4 \times (1.5163 - 1) \times 0.5 \times 3.14159 \times 1000 / 180 \approx 18\text{mrad}$ ，则光轴方向每改变 0.1mrad 对应前后光楔转过约 1° ，所以，只要旋转控制精度高于 1° ，即可满足精度要求。

对于半自动校正方法而言，只要刻度环最小刻度值小于 1° ，即可满足精度要求，对全自动校正方法而言，只要步进电机细分后每步转的角度小于 1° ，即可满足精度要求。

对某型激光测距机进行试验研究，实验中采用半自动校正方法，实验结果如表 1 所示。表中分别给出了用传统的平行光管法和本文中提出的 CCD 直接采集方法检测的光轴平行性结果和校正后的平行性误差，由表中数据可见，采用本文中提出的方法进行光轴校正后，误差均在最大允许误差范围内 0.1mrad。对于光轴平行性高于 0.1mrad 的激光测距机，只需提高旋转刻线精度，或结合检测仪器现场精确调整即可。本文中提出的校正方法对激光测距机光轴的检测校正是可行的。

Table 1 Comparison of experiment results

testing results by traditional methods before calibration/mrad	testing results by CCD before calibration/mrad	error detection by CCD /mrad	testing results by traditional methods after calibration/mrad
0.32	0.31	0.01	0.04
0.54	0.56	0.02	0.06
1.14	1.15	0.01	0.03
1.52	1.53	0.01	0.08
2.36	2.35	0.01	0.01
3.84	3.84	0	0.02
4.56	4.54	0.02	0.07

- [26] ALLEN C M, VERHAEGHE G, HILTON P A, *et al.* Laser and hybrid laser-MIG welding of 6.35 and 12.7mm thick aluminum aerospace alloy [J]. *Materials Science Forum*, 2006, 519/521: 1139-1144.
- [27] LIMA M S F, RIVA R, de OLIVEIRA A C, *et al.* Laser beam welding aerospace aluminum using fiber lasers [J]. *Proceedings of SPIE*, 2009, 7131: 713128/1-713128/4.
- [28] KATAYAMA S, NAGAYAMA H, MIZUTANI M, *et al.* Fiber laser welding of aluminum alloy [J]. *Welding International*, 2009, 23(10): 744-752.
- [29] MEI L F, CHEN G Y, JIN X Zh, *et al.* Study on fiber laser overlap-welding of automobile aluminum alloy [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, 37(8): 2091-2097 (in Chinese).
- [30] YU Y Ch, WANG Ch M, HU X Y, *et al.* Porosity in fiber laser formation of 5A06 aluminum alloy [J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010, 24(5): 1077-1082.
- [31] TU J F, PALEOCRASSAS A G. Fatigue crack fusion in thin-sheet aluminum alloys AA7075-T6 using low-speed fiber laser welding [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2011, 211(1): 95-102.
- [32] HU P P, WANG Ch M, HU X Y. Microstructure features of medium thickness aluminum alloy with fiber laser-MIG hybrid welding [J]. *Electric Welding Machine*, 2010, 40(11): 42-46 (in Chinese).
- [33] YU L, NAKATA K, YAMAMOTO N, *et al.* Texture and its effect on mechanical properties in fiber laser weld of a fine-grained Mg alloy [J]. *Materials Letters*, 2009, 63(11): 870-872.
- [34] CHOWDHURY S M, CHEN D L, BHOLE S D, *et al.* Microstructure and mechanical properties of fiber laser welded and diode laser welded AZ31 magnesium alloy [J]. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 2010, 42(7): 1974-1989.
- [35] LIU J, DONG J H, WU Y J. Analysis of welding procedure and welded joint microstructure of fiber laser welding Mg alloys [J]. *Journal of Materials Engineering* 2009(s1): 176-179 (in Chinese).
- [36] LIU J, DONG J H, SHINOZAKI K. Microstructure characteristics of fiber laser welding for AZ91D Mg alloy [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2009, 38(s3): 202-204 (in Chinese).
- [37] MELTON G. High productivity arc and laser welding of titanium and titanium alloys [EB/OL]. (2006-04) [2011-07-10]. <http://www.twi.co.uk/j32k/gsp/PR10569-ProjectOutline.pdf>.
- [38] COSTA A, MIRANDA R, QUINTINO L, *et al.* Analysis of beam material interaction in welding of titanium with fiber lasers [J]. *Materials and Manufacturing Processes*, 2007, 22(7/8): 798-803.
- [39] CUI L, KUTUSNA M, SIMIZU T, *et al.* Fiber laser-GMA hybrid welding of commercially pure titanium [J]. *Materials and Design*, 2009, 30(1): 109-114.
- [40] DAI Y Ch, WANG D F, YANG Y G. Laser welding repairing technology of aircraft Ti-alloy structure [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2010, 10(1): 92-94 (in Chinese).
- [41] LI Y, CHEN Y J. Experiment study about welding quality factors on laser welding of galvanized sheet [J]. *Journal of Shaoyang University (Natural Science Edition)*, 2010, 7(3): 43-46 (in Chinese).
- [42] KAWAHITO Y, TERAJIMA T, KIMURA H, *et al.* High-power fiber laser welding and its application to metallic glass $Zr_{55}Al_{10}Ni_5Cu_{30}$ [J]. *Materials Science and Engineering* 2008, B148(1/3): 105-109.

(上接第153页)

4 结束语

对传统的激光测距机光轴校正方法提出了新的方案,建立了光轴误差量与激光发射轴中的双光楔结构校正量之间的校正模型,提出双光楔结构半自动校正方法和全自动校正方法,并对两种校正方法的精度进行了分析。通过实验分析可知,新的方法校正激光测距机光轴方便、简单,能够在野战条件下对激光测距机进行光轴的检测与校正,校正精度满足激光测距精度要求。激光接收光轴和观察瞄准轴校正与激光发射轴和观察瞄准轴校正相比较,校正光斑一个是在照明接收小孔形成的,一个是通过激光器发射激光形成的,校正模型和方法完全相同。

参 考 文 献

- [1] ZHONG M, HAN K. The development of laser rangefinding technology for military of use [J]. *Laser Technology*, 1992, 16(1): 7-11 (in Chinese).
- [2] SU M K. Effect on the range ability of laser range finder by optics axis error [J]. *Laser Journal* 2001, 22(3): 39-40 (in Chinese).
- [3] ZHANG Ch, ZHOU B, SHEN X J, *et al.* Study of the calculation method for accurately adjusting laser-range-finder's three-optic-axes to parallel to each other [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 16(6): 650-653 (in Chinese).
- [4] HU Y X, AN L Sh. *Applied optics* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1996: 74-75 (in Chinese).
- [5] LUO X X, LIU B Q, SUN D P. Improvement of optical axis parallelism correction for laser rangefinder [J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(3): 519-520 (in Chinese).
- [6] AN H Zh, SU M K, GAO Y Y, *et al.* Automatic examine and rectify of optic-axes error in impulse laser ranger finder [J]. *Laser Journal*, 2003, 24(1): 54-55 (in Chinese).