

文章编号 1004-924X(2002)06-0650-05

# 精确校正激光测距仪三光轴平行的理论计算方法研究

张 维,周 冰,沈学举,段晓峰  
(军械工程学院,河北 石家庄 050003)

**摘要:**利用光学系统中的偏心环(框)结构精确校正光轴平行,是激光测距仪准确可靠测量目标距离的重要保障。由于这种光轴校正训练难以在实物上开展,所以本文以激光测距仪瞄准物镜具有偏心物镜框、环这种常见的双偏心结构为例,研究了精确校正瞄准与激光发射两光轴平行的仿真模拟所需的理论计算公式。具体研究内容有:一是证明两光轴平行度误差量可以借助平行光管和黑相纸测量出来;二是在已知光轴平行度误差量和瞄准物镜焦距情况下,给出校正光轴平行时计算瞄准物镜主点径向位移量的公式;最后,结合实际操作情况(利用拨转偏心物镜框、环实现物镜主点径向移动),在已知光轴平行度误差量和校正前偏心物镜框、环最薄点位置情况下,研究出精确校正光轴平行所需的确定偏心物镜框、环最薄点新位置的理论计算公式。

**关键词:**激光测距仪;光轴平行;偏心物镜框;偏心环;仿真模拟  
**中图分类号:**TH761.2 **文献标识码:**A

## 1 引言

与普通光相比,激光具有方向性好、单色性好、能量可以在时间上高度集中等特点,使激光测距与以往的光学测距相比有精度高、测得快、测得远、测距误差与距离无关等优点,与雷达测距相比有抗干扰能力强、隐蔽性好等优点<sup>[1-2]</sup>,这使激光测距仪在现代武器控制系统中发挥着日益重要的作用。为保障给武器控制系统提供准确可靠的距离数据,要求激光测距仪的三光轴(即激光发射光轴、激光接收光轴、瞄准光轴)平行度误差小于0.3mrad(毫弧度)。在小型化激光测距仪中,光轴平行的精确校正一般通过拨转光学系统的偏心环(框)实现。鉴于激光测距仪是集现代光学、电子、机械工艺为一体,结构精密、造价昂贵的光电仪器,院校的维修性实践不能在实物上开展,所以本文拟通过研究利用偏心环(框)结构精确校正光轴的基本原理和规律,获得适用于计算机仿真模拟<sup>[3-4]</sup>的理论计算方法。

## 2 精确校正光轴的基本原理和规律

实际激光测距仪中,用于精确校正光轴平行的偏心环(框)结构,有的位于瞄准系统、即瞄准物镜上,也有的位于发射系统、即发射目镜上,还有的位于接收系统、即小孔光栏上;其共同特点是通过径向(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。鉴于基本原理相同,所以本文以某型激光测距仪的瞄准物镜具有偏心物镜框和偏心环这种常见双偏心结构为例,研究精确校正瞄准光轴与激光发射光轴平行的理论计算方法。

图1是检验瞄准与激光发射两光轴平行度的装置,其原理为:由激光测距仪发射的准直激光束被平行光管的物镜会聚于焦面上一点,在焦面放置的黑相纸上打出一个斑点(图中的BD点),斑点的反射光线经平行光管准直后的出射方向与激光束方向平行;如果激光测距仪的瞄准光轴与激光发射光轴平行,那么通过瞄准系统应该观察到斑点在瞄准系统中所成的像与瞄准分划十字中心

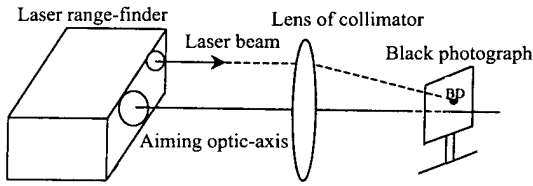


图 1 检验瞄准与激光发射两光轴平行度的装置

Fig. 1 Device for examining parallelism between the aiming and laser-shooting optic-axes.

重合(因为激光测距仪的瞄准光轴方向是瞄准物镜的主点与瞄准分划板十字中心连线的方向),若两光轴不平行则斑点像与分划中心不重合。可以证明:当两光轴不平行时,从分划板上读取的斑点与分划十字中心的偏差量角度值就是两光轴的平行度误差量<sup>[5-6]</sup>。

从图 2 看,当两光轴不平时,黑相纸上的斑点(图中的 BD 点)在瞄准光学系统中看来是位于无限远的轴外物点,它发出的通过瞄准物镜主点(图中的 W 点)的光线与瞄准光轴的夹角就是两轴的角度偏差量。若要使两光轴平行,必须使物镜的主点产生径向移动(移至图中的 W' 点)<sup>[2]</sup>,

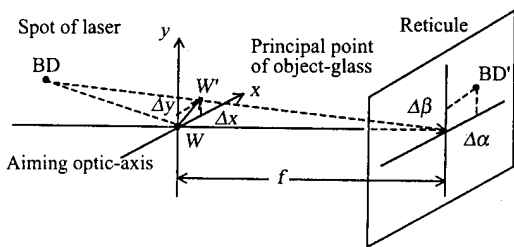


图 2 瞄准与激光发射两光轴的平行度误差

Fig. 2 Parallelism error between aiming and laser-shooting optic-axes.

实现瞄准光轴方向的改变,使黑相纸上斑点与瞄准物镜主点的连线能够和分划十字中心与瞄准物镜主点的连线位于一条直线上。由于瞄准系统中加有转像系统,所以分划板位置上所成的无限远物体的像是正像,因此当激光发射光轴与瞄准光轴不平行时,激光在黑相纸上打出的斑点(BD 点)在瞄准系统分划板位置上所成的像(图中分划板上的 BD' 点)相对于分划 + 十字中心在水平和垂直方向上的角度偏差量(图中的  $\Delta\alpha$  角,  $\Delta\beta$  角)就反映了激光发射光轴在水平和垂直方向上与瞄准光轴的平行度误差量。因此,为校正两光轴平行,

就必须使瞄准光轴在水平和垂直方向上向激光发射光轴方向分别转过  $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  角,即要使瞄准物镜的主点沿径向在水平方向(设为  $x$  方向)和垂直方向(设为  $y$  方向)分别变化:

$$x = f \cdot \Delta\alpha$$

$$Ay = f \cdot \Delta\beta \quad (1)$$

式中,  $f$  为瞄准物镜的像方焦距。 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  角度值应由分划板上读取的密位值转化为弧度值(该值一般在毫弧度量级,所以上式成立),并规定, BD 位于分划板的第一象限时  $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  均为正,位于第二象限时  $\Delta\alpha$  为负、 $\Delta\beta$  为正,位于第三象限时  $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  均为负,位于第四象限时  $\Delta\alpha$  为正、 $\Delta\beta$  为负。

### 3 精确校正光轴理论计算方法研究

由上面分析可知,精确校正光轴的实质就是精确校正瞄准物镜主点的径向位置,因此研究的核心内容就是从理论上找出能够与实践吻合的确定瞄准物镜主点径向位置的理论计算方法。

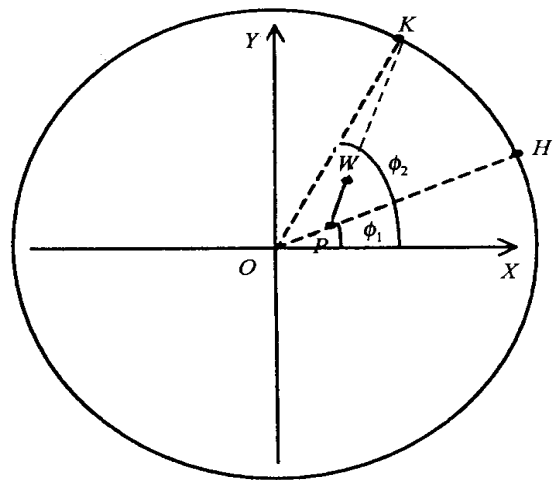


图 3 物镜中心与物镜框、偏心环最薄点的位置关系

Fig. 3 Relationship between the object-glass-center and thinnest position of the object-glass-frame and eccentric ring.

在具有双偏心结构的物镜系统中,一般偏心物镜框和偏心环的偏心量相同,可以互补。为研究方便,如图 3 所示,以瞄准光学系统的机械中心为坐标原点( $O$  点)作直角坐标系  $XOY$ , 使坐标系的 1, 2, 3, 4 象限分别与分划板的 1, 2, 3, 4 象限对应;再以圆环代表物镜框和偏心环,分别用  $K$

和  $H$  代表物镜框和偏心环的最薄点。在理论上, 可以近似地认为: 物镜径向移动时, 其中心径向移动量等于其主点径向移动量。所以, 可用对物镜中心径向移动量的计算代替对其主点径向移动量的计算。而且, 如果忽略机械制造误差, 可以认为当物镜框与偏心环处于互补位置 (即两者最厚点的连线或两者最薄点的连线通过物镜中心) 时, 物镜中心与机械中心重合 (位于  $O$  点)。

为方便理论计算, 定义:

(1) 物镜框、偏心环的偏心量均为  $e$ ;

(2)  $H$  点、 $K$  点与坐标原点  $O$  的连线与  $X$  轴正向所成的夹角分别为旋转角  $\alpha_1, \alpha_2$ , 以由  $X$  轴正向逆时针转向  $OH, OK$  方向为正。

由于偏心环外圆的圆心与机械中心重合, 所以其内圆的圆心 (在图 3 中用  $P$  点表示) 偏向薄点  $H$  方向且位于连线  $OH$  上, 因此  $P$  点在  $XOY$  坐标系中的位置坐标  $(x_p, y_p)$  为:

$$\begin{aligned} x_p &= e \cdot \cos \alpha_1 \\ y_p &= e \cdot \sin \alpha_1, \end{aligned} \quad (2)$$

由于偏心环的内圆与物镜框的外圆楔合, 所以  $P$  点也是物镜框外圆的圆心, 而物镜框内圆的圆心就是物镜中心 (在图 3 中用  $W$  点表示)。显然,  $W$  点偏向物镜框薄点  $K$  方向且位于  $P$  点与  $K$  点的连线上。考虑到偏心环的偏心量  $e$  与物镜的半径相比是一个很少量, 可以认为  $P$  点位置非常接近于  $O$  点, 所以可以近似认为  $P$  点与  $W$  点或  $K$  点的连线方向与  $x$  轴正向的夹角为  $\alpha_2$ , 于是可按下式求取  $W$  点在  $XOY$  坐标系中的位置坐标  $(x_w, y_w)$ :

$$\begin{aligned} x_w &= x_p + e \cos \alpha_2 = e(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \\ y_w &= y_p + e \sin \alpha_2 = e(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2), \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)表明: 在偏心量  $e$  一定时, 已知偏心环、物镜框最薄点 (或最厚点) 的旋转角  $\alpha_1, \alpha_2$ , 可以算出物镜中心的精确位置。反之, 如果想求出怎样拨转偏心环和物镜框才能将物镜中心移至某点  $W$ , 也就是求物镜中心位于坐标  $(x_w, y_w)$  时对应的旋转角  $\alpha_1, \alpha_2$ , 也应该是可以实现的。所以, 要解决图 2 中两光轴不平行的问题, 就是要找到满足下式的  $\alpha_1, \alpha_2$ :

$$\begin{aligned} x_w &= e(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \\ y_w &= e(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2), \end{aligned} \quad (4)$$

而由(1)式可知:

$$\begin{aligned} x_w &= x_w + x = e(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + f \cdot \\ y_w &= y_w + y = e(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) + f \cdot \end{aligned} \quad (5)$$

所以下列等式是成立的:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 &= (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + \frac{f}{e} \cdot \\ \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 &= (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) + \frac{f}{e} \cdot \end{aligned} \quad (5)$$

因在实际光轴平行性检验时等式右边的量均是可知的, 所以令:

$$\begin{aligned} A &= (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + \frac{f}{e} \cdot \\ B &= (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) + \frac{f}{e} \cdot \end{aligned} \quad (5)$$

于是有

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= A - \cos \alpha_1 \\ \sin \alpha_2 &= B - \sin \alpha_1, \end{aligned} \quad (6)$$

两式平方、相加, 得

$$2A \cos \alpha_1 = A^2 + B^2 - 2B \sin \alpha_1$$

再平方, 得

$$4A^2(1 - \sin^2 \alpha_1) = (A^2 + B^2)^2 - 4B(A^2 + B^2) \sin \alpha_1 + 4B^2 \sin^2 \alpha_1$$

故可求得

$$\alpha_1 = \arcsin \left[ \frac{1}{2} \left( B \pm \sqrt{\frac{4A^2 - A^2B^2 - A^4}{A^2 + B^2}} \right) \right], \quad (7)$$

代入(6)式, 得

$$\alpha_2 = \arcsin \left[ \frac{1}{2} \left( B \mp \sqrt{\frac{4A^2 - A^2B^2 - A^4}{A^2 + B^2}} \right) \right], \quad (8)$$

式(7)、(8)表明: 只要已知物镜焦距  $f$ 、物镜框和偏心环偏心量  $e$ 、瞄准和激光发射光轴的不平行度 (用  $\alpha_1, \alpha_2$  表征) 及其对应的物镜框和偏心环最薄点位置 (用  $x_1$  和  $x_2$  表征), 就能够计算出精确校正两光轴平行时应该拨转物镜框和偏心环最薄点抵达的新位置 (用  $x_1$  和  $x_2$  表征)。据此, 可以设计一个仿真模拟系统, 针对不同激光测距仪的光学参数, 设定各种可能的光轴不平行情况, 指导训练对象进行拨转偏心环 (框) 精确校正光轴的维修实践模拟训练, 检验训练对象的操作结果是否正确。

## 4 讨 论

(1) 由于利用偏心环 (框) 结构精确校正光轴

平行时,实际操作方法就是通过拨转偏心环和物镜框,即通过改变  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  达到径向移动物镜中心,改变光轴方向的目的,所以本文研究的理论方法与实际操作情况是吻合的。

(2) 由于从激光测距仪分划板上读取角度的精度为 0.1 或 0.2 密位(略大于 0.1 或 0.2 mrad),因此仿真精度只要达到 0.1 mrad 即可满足要求。而以某型激光测距仪为例,其双偏心物镜的焦距  $f = 140\text{mm}$ ,物镜框、偏心环偏心量均为  $e = 0.5\text{mm}$ ,考虑极限情况,光轴校正前物镜框、偏心环的最薄点重合,光轴校正后物镜框、偏心环的最厚点恰重合于原最薄点,则光轴校正量可达  $2 \times 2e/f = 14\text{mrad}$ ,这一过程中物镜框、偏心环均转过了  $180^\circ$ ,即光轴方向每改变 0.1 mrad,对应物镜框和偏心环转过约  $1.3^\circ$ ,因此只要仿真系统对物镜框和偏心环旋转角的识别精

度高于  $1.3^\circ$ ,就可以满足精度要求,这显然很容易做到。

(3) 当式(7)、(8)右边中括号内数值的绝对值超过 1 或者根号内的数值为负数时,  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  无实数解,这种情况可以这样理解:因为拨转偏心环(框)的方法仅适用于精确校正光轴平行,当光轴平行度误差量过大时,仅仅利用偏心环(框)结构无法校正光轴平行。仿真模拟遇到这种情况时可以提示“光轴平行度误差量超出精确校正的允许范围”。

(4) 本文研究的理论计算方法,虽然是为了解决精确校正激光测距仪三光轴平行的仿真模拟问题,但实际上也适用于其它光学仪器的类似光学系统,比如应用偏心环(框)结构精确校正望远镜系统的双目光轴平行等,因此具有较广泛的实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 魏光辉,杨培根.激光技术在兵器工业中的应用[M].北京:兵器工业出版社,1995.
- [2] 程守澄.光学仪器检校[M].北京:兵器工业出版社,1992.
- [3] 宋朝辉,卢镔.空间光学仪器研制开发中的一种优化算法[J].光学精密工程,1999,7(6):18-22.
- [4] 张斌,张晓辉,韩昌元.光学系统计算机辅助装调中的一种优化算法[J].光学精密工程,2000,8(3):273-277.
- [5] 宋文武,王希军.激光测距机低温测距性能实验设计[J].光学精密工程,2001,9(1):28-30.
- [6] 王贵甫,陈桂林,陈雨良.激光干涉仪数字测角的新方法及其应用[J].光学精密工程,2001,9(1):85-88.

## Study of the calculation method for accurately adjusting laser-range-finder s three-optic-axes to parallel to each other

ZHANG Chu , ZHOU Bing , SHEN Xue-ju , DUAN Xiao-feng

( *College of Ordnance Engineering , Shijiazhuang 050003 , China* )

**Abstract :** For laser range-finders to measure target s distance accurately and creditably it is important that three-optic-axes are accurately adjusted to be parallel to each other with eccentric object-glass-frame and rings. Because the exercises of optic-axes-adjustment cannot be done with real laser range-finders , the formulae used to imitate real optic-axes-adjustment are worked out by using an example in which the object-glass of laser range-finder has an eccentric object-glass-frame and ring to adjust aiming and laser-shooting axes to parallel. First , it is proved that the error of optic-axes-parallelism can be measured with a collimator and a black-photograph. Second , the formulae are given , which are used to calculate the radial displacement of an object-glass principal point , when aiming and laser-shooting axes are accurately adjusted to parallel with the known error of optic-axes-parallelism and focal distance of object-glass. Finally , knowing the error of optic-axes-parallelism and thinnest-position of eccentric object-glass-frame and ring before optic-axes-adjustment , the formulae are analyzed to give the new thinnest-position of eccentric object-glass-frame and ring for accurately adjusting optic-axes to parallel each other. According to the real handling of optic-axes-adjustment , the principle point of object-glass is moved by rotating eccentric object-glass-frame and ring.

**Key words :** laser range-finder ; optic-axes-parallelism ; eccentric object-glass-frame ; eccentric ring ; imitative simulation

**作者简介:**张 雏(1964 - ) ,女 ,山东省聊城市人 ,1984年毕业于山东大学光学系 ,1999年获南京理工大学光学工程专业工学硕士 ;现为中国人民解放军军械工程院光学与电子工程系讲师 ,主要从事军用光电仪器应用、设计和技术保障等方面的工作。