

光电经纬仪调焦行差 对测角总误差影响的分析

赵 强

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 基于光电经纬仪靶场校飞试验测角总误差的误差修正中, 其调焦行差对光电经纬仪的测角总误差的影响, 以 GW-1208 光电经纬仪为例, 讨论了其光学系统中存在的调焦行差, 并定量分析了调焦行差对光电经纬仪方位和高低测量数据的影响, 通过对靶场校飞试验数据的分析, 在测量数据处理中对光电经纬仪的调焦行差进行了修正。结果表明, 修正后测角总误差满足技术指标要求。本文针对误差处理中对调焦行差的修正, 也可以为解决今后光电经纬仪在靶场校飞试验的类似问题提供参考。

关键词: 光电经纬仪; 调焦行差; 测角总误差; 靶场校飞试验

中图分类号: TH761.1; TB92 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112812.0067

1 引 言

光电经纬仪是靶场用于导弹、运载火箭的动力段和弹头的再入段精密测量的光学仪器, 是校准无线电测控设备的基本测量设备。与无线电测量设备相比, 它具有测量精度高、直观性强等优点。光电经纬仪一般主要由光学系统(望远镜)、角度传感器系统(方位、高低编码器)、图像记录系统(摄影机、测量电视等)、伺服跟踪系统等组成。

2 光电经纬仪测量的基本原理

光电经纬仪测量是通过光学系统(望远镜)将目标成像到图像记录系统, 同时记录下目标偏离视

场中心的偏差量及脱靶量; 伺服系统捕获锁定并跟踪目标; 角度传感器测量出光学系统视场中心相对于目标的极坐标的二维角度位置信息与脱靶量合成目标的实际角度位置。由光电经纬仪的测量原理过程可以看出, 光学系统(望远镜)在测量中占有极其重要的地位。在靶场的数据处理中要对光电经纬仪的系统误差进行修正(主要包括光学系统视轴误差、水平轴误差、零位误差等), 水平轴倾斜误差是在室内检测中标定出来的, 而光学系统视轴误差和编码器零位误差是通过战前和战后测量方位标得到的。方位标一般距光电经纬仪的测站距离为 3~7 km 左右, 光电经纬仪的光学系统需要进行调焦到有限距离, 对方位标进行正镜和倒镜测量, 计算出视轴误差和编

码器零位误差,跟踪测量目标与测站的距离一般为20~45 km左右(相当于无穷目标)。光学系统的调焦机构的精度——调焦行差的大小也决定了光电经纬仪的测角总误差。

3 调焦行差对测角总误差的影响和分析

对于光电经纬仪的测角总误差来说,其系统误差主要由以下各项组成:

- (1) 定向误差 ΔA_ϕ
- (2) 视轴误差 c
- (3) 零位误差 h
- (4) 水平轴误差 b
- (5) 垂直轴误差 l

上述误差对光电经纬仪测角的影响如下^[1-2]:

$$\begin{cases} \Delta A_i = \Delta A_\phi + c \sec E_i + l \sin(\alpha_H - A_i) \operatorname{tg} E_i + b \operatorname{tg} E_i \\ \Delta E_i = h - l \cos(\alpha_H - E_i) \end{cases} \quad (1)$$

在(1)式中,垂直轴误差可通过调整观察电子水平仪估算出来,水平轴误差在室内检测标定出来,而定向差、视轴差、零位差通过对方位标正、倒镜拍照计算出来。

室内检测用的检测架目标和方位标使用平行光管和动态靶标提供的目标,相当于无穷远目标。在室内检测中,光电经纬仪计算系统误差都是在一个调焦状态的条件下得到的,光学系统的调焦行差不参与测角总误差数据处理。而在靶场校飞试验检测实际应用中,跟踪测量目标基本上是在无穷远的条件下进行的,事后处理数据需要修正的视轴差、零位差是根据战前、战后拍摄有限距离方位标计算出来的,这样,调焦行差就参与事后的数据处理,由于调焦行差造成有限距离的单向误差与无穷远的单向误差相差较大,从而造成光电经纬仪测量数据超差。因此,需要对光电经纬仪的调焦行差标定出来,在靶场校飞处理数据时对调焦行差进行修正,从而保证靶场校飞的数据准确性。

光电经纬仪在跟踪测量时工作高度不大于 65° ,实际在靶场校飞跟踪目标一般在 $25^\circ \sim 50^\circ$ 之间,调

焦行差在方位方向主要影响视轴差,而视轴差随着光电经纬仪高角的变化而变化,高角越大,影响越大;调焦行差在高低方向主要影响零位差。

GW-1208 光电经纬仪主光学系统是口径为625 mm,1~5 m连续变焦系统,主要用于靶场飞行目标外弹道测量和姿态测量。GW-1208 光电经纬仪在靶场验收过程中,经过多次校飞试验,事后测角总误差高低方向超差,事后测角总误差 σ_A 为 $4'' \sim 6''$ 、 σ_E 为 $10'' \sim 13''$ (事后测角总误差要求 $\sigma_A = \sigma_E \leq 8''$,焦距为5 m)。通过对事后的测量数据分析,高低测角残差数据里有一固定的系统误差,表现为光电经纬仪高低测量值全部小于理论值。在对误差修正数据中发现,视轴差和零位差的修正值用的是战前和战后拍摄方位标计算出的测量值,因为GW-1208 光电经纬仪在靶场校飞试验中调焦位置始终是在无穷远的状态下跟踪测量的,而在GW-1208 光电经纬仪实际工作中发现,在近距离到无穷远的调焦过程中,高低方向存在比较明显的调焦行差。通过靶场实际检测,分别对准5 km方位标目标和平行光管目标,用下列公式计算出调焦行差^[3]:

$$\Delta f_A = \frac{(A_{\text{正镜}} - A_{\text{倒镜}})_{\text{光管}} - (A_{\text{正镜}} - A_{\text{倒镜}})_{5 \text{ km}}}{2} \quad (2)$$

$$\Delta f_E = \frac{(E_{\text{正镜}} + E_{\text{倒镜}})_{\text{光管}} - (E_{\text{正镜}} + E_{\text{倒镜}})_{5 \text{ km}}}{2} \quad (3)$$

式中, Δf_A 是光电经纬仪方位调焦行差; Δf_E 是光电经纬仪方高低行差; $A_{\text{正镜}}$ 为光电经纬仪方位正镜编码器读数; $A_{\text{倒镜}}$ 为光电经纬仪方位倒镜编码器读数; $E_{\text{正镜}}$ 为光电经纬仪高低正镜编码器读数; $E_{\text{倒镜}}$ 为光电经纬仪高低倒镜编码器读数。

实测平行光管目标:

$$A_{\text{正镜}} = 0^\circ 16' 16'' \quad E_{\text{正镜}} = 359^\circ 53' 16''$$

$$A_{\text{倒镜}} = 180^\circ 16' 14'' \quad E_{\text{倒镜}} = 179^\circ 6' 46''$$

5 km 目标:

$$A_{\text{正镜}} = 30^\circ 42' 36'' \quad E_{\text{正镜}} = 359^\circ 39' 30''$$

$$A_{\text{倒镜}} = 210^\circ 42' 36'' \quad E_{\text{倒镜}} = 179^\circ 20' 50''$$

依据公式计算得到调焦行差: $\Delta f_A = 1''$ 、 $\Delta f_E = -9''$,在光电经纬仪高角 50° 时对光电经纬仪方位测角总

误差影响为 $1.4''$ ($1''/\cos 50^\circ$)，对高低方向测角总误差影响为 $-9''$ 。选取任意一次靶场校飞试验数据 ($\sigma_A=5.3''$ 、 $\sigma_E=11.6''$)，将实测的调焦行差代入公式(1)进行修正，得到如下公式：

$$\begin{cases} \Delta A_i = \Delta A_\varphi + c \sec E_i + I \sin(\alpha_H - A_i) \operatorname{tg} E_i + b \operatorname{tg} E_i - \Delta f_i \sec E_i \\ \Delta E_i = h - I \cos(\alpha_H - E_i) - \Delta f_E \end{cases} \quad (4)$$

测角总误差为： $\sigma_A=3.5''$ 、 $\sigma_E=2.6''$ ，测量结果满足技术指标要求。

4 结束语

分析表明，对于光电经纬仪靶场校飞试验数据处理中的误差修正，必须考虑对光电经纬仪调焦行

差的修正。由于室内检测与靶场校飞试验条件的不同，应在室内检测中标定出光电经纬仪光学系统的调焦行差，应对有限距离特征点，例如：3.5 km、5 km、7 km、10 km（靶场方位标与测量站点的距离），各个不同有限距离的方位标与无穷远目标的调焦行差标定出来，这样，在靶场校飞试验中针对拍摄不同的战前、战后方位标，修正各个对应的调焦行差。本文仅从靶场校飞试验的实际工作角度出发，阐述了光电经纬仪调焦行差对测角总误差的影响，通过对调焦行差在数据处理中的修正应用，能真实地反映光电经纬仪靶场校飞试验测角总误差的要求。

参考文献

- [1] 何照才，胡保安. 光学测量系统[M]. 北京：国防工业出版社，2002.
- [2] 王家骥. 光学仪器总体设计[G]. 长春：中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，1998.
- [3] 中华人民共和国国家计量检定规程—光学经纬仪[S]. 北京：中国计量出版社，2003.

作者简介：赵强（1967-），男，汉族，吉林长春人，高级工程师，硕士生导师，主要从事光电测量控制设备总体检验技术研究。E-mail: zhqiang7604@163.com