

文章编号 1004-924X(2000)03-0258-03

利用恒星标校卫星激光测距经纬仪指向精度

巩 岩

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要:指向精度是影响卫星激光测距经纬仪盲跟和白天测星的重要因素,而恒星标校法可以提高卫星激光测距经纬仪的指向精度,从而满足观测的需要。文中给出了一种利用观测恒星标校卫星激光测距经纬仪指向精度的方法。首先建立了影响经纬仪指向精度的状态参数模型,然后通过选择一定数量的恒星进行观测,确定出该模型的状态参数。最后给出了利用这种方法标校长春人卫站卫星激光测距经纬仪指向精度的结果。

关键词:恒星;标校;卫星激光测距(SLR);经纬仪;指向精度

中图分类号:V556.5 **文献标识码:**A

1 引言

卫星激光测距经纬仪的指向精度是一个很重要的技术指标,它不仅反映了经纬仪机架性能的好坏,同时它也是保证经纬仪精确跟踪、瞄准目标的重要因素。经纬仪在出厂时,指向精度一般都调整得较好,但是随着时间的推移,受各种因素的影响,其指向精度将不同程度的变坏,因此需要对其进行标校。标校卫星激光测距经纬仪指向精度的方法主要有两种:时角法和弧长法^[1~2]。我们采用时角法,其原理是:利用天文年历,计算出某颗恒星相对于测站的视位置,同时利用经纬仪瞄准该星,测出该星与理想位置的偏离量,通过测量整个天球上均匀分布的数十颗恒星,就可以计算出经纬仪的指向误差,并可利用此系统误差对实际观测值进行修正。本文的工作主要是围绕提高卫星激光测距经纬仪的指向精度以满足盲跟和白天观测的需要而进行的。因为盲跟和白天观测要求经纬仪的指向精度要在 $10''$ 以内,而经纬仪由于安装不够精确和长期使用中的偶然因素的影响,一般很难达到这个精度要求,故需测出经纬仪的状态参数,为其建立一个系统误差模型,以利用其标校经纬仪的指向精度。

2 建立误差模型

卫星激光测距经纬仪是地平式经纬仪,这种

经纬仪在理想情况下,是以铅垂向下的竖直轴为中心轴,水平轴在垂直于竖直轴的平面内全方位旋转,同时视准轴垂直于水平轴上下转动。所以影响地平式经纬仪指向精度的主要因素是经纬仪的轴系误差,包括竖直轴和视准轴的系统误差、视准轴与水平轴的不正交、零位差及镜筒弯曲误差等。

2.1 视准轴偏差带来的误差

设视准轴与理想值偏差一个角度 α ,其余两轴为理想状态,由球面三角学可以推导出:

$$\Delta A = \alpha \cdot \sec E_i \quad (1)$$

其中, ΔA 是方位角偏差, E_i 是某位置时高度的测量值, α 是视准轴的偏差量。

2.2 水平轴偏差带来的误差

设水平轴与理想情况存在一个偏差角 β ,其余两轴均为理想状态,则同样可以推出:

$$\Delta A = \beta \cdot \tan E_i \quad (2)$$

其中, β 是水平轴的实际状态和理想状态的差角。

2.3 竖直轴偏差带来的误差

设竖直轴存在一个偏差 γ ,而其余两轴皆处于理想状态,当经纬仪沿竖直轴旋转一周后, γ 的存在将给方位角和高度角同时带来偏差,根据球面三角学可推导出其分别为:

$$\Delta A = \gamma \cdot \sin(A_i - A') \cdot \tan E_i \quad (3)$$

$$\Delta E = +\gamma \cdot \cos(A_i - A') \quad (4)$$

其中, A' 为水平轴绝对水平时的方位角, A_i 是某位置时方位的测量值。

2.4 误差模型的建立

当以上三种分析的误差同时存在时,总误差应是以上误差的线性迭加,故有:

$$\begin{cases} \Delta A = \alpha \sec E_i + \beta \tan E_i + \gamma \sin(A_i - A') \tan E_i \\ \Delta E = +\gamma \cos(A_i - A') \end{cases} \quad (5)$$

由于光电码盘本身也存在误差,它将引起编码器的读数误差,所以,整个系统的误差应包括编码器在方位和高度上的零点补偿值 A_0 和 E_0 ,其值可以通过观测北极星获得.即,

$$\begin{cases} A_0 = A'_0 - A_c \\ E_0 = E'_0 - E_c \end{cases} \quad (6)$$

其中 A_c, E_c 分别为北极星的方位和高度的理论计算值, A'_0, E'_0 则为实测值。

根据以上的分析,经整理得转台误差模型为:

$$\begin{cases} \Delta A = \alpha \sec E_i + B \tan E_i - \delta \tan E_i \sin A_i - \\ \varphi \cos A_i \tan E_i + A_0 \\ \Delta E = -\delta \cos A_i + \varphi \sin A_i + E_0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\delta = -\gamma \cos A', \varphi = \gamma \sin A'$ 是竖直轴偏离铅垂方向带来的误差量.由(7)式可见,为了确定系统的误差模型需要确定六个误差参数。

3 选择和观测恒星

为了确定模型的参数,需选取一定数量的恒星,对其进行观测,以建立模型^[3].而为了观测恒星,则必须知道测站上空在指定观测期间的恒星的分布情况,并要求在尽可能均布的天区选取星等较亮的恒星作为观测对象.为了实现上述目的,我们编写了选星程序,程序框图如图1.选星程序对计算机里存储的含1353颗较亮恒星的FK4星表进行自动查询,求得每一颗恒星在所要求观测时刻的赤经和赤纬^[4],然后计算出测站坐标下的方位和俯仰,再在指定方向上进行选择判断,以确定该方向上的适当恒星,最终形成一个基于测站的恒星方位和俯仰的数据文件,用于恒星的跟踪和观测.由恒星的视位置推算出测站上空的方位(A)和高度(E)是根据如下公式得到的。

$$\begin{cases} \sin E = \sin \theta \sin \lambda + \cos \theta \cos \lambda \cos t \\ -\cos E \cos A = \cos \theta \sin \lambda - \sin \theta \cos \lambda \cos t \\ DH = 60.2 \times \cot E / 3600.0 \end{cases} \quad (8)$$

其中, $t = S_0 + T \times 1.0027379 + \lambda_E - \mu, S_0$ 为世

界零时的恒星时, T 为观测当天的世界时, λ_E, θ 为测站的经纬度, μ, λ 为恒星的视位置, DH 为蒙气差。

观测恒星时,采用转台自动跟踪加入人工修正的方式.转台跟踪程序对恒星预报文件先进行内插,再根据内插所得的数据文件控制转台跟踪相应恒星,跟踪效果可以通过微光电视监视,观测者通过计算机进行瞄准和人工修正,计算机自动采集数据存入相应的数据文件。

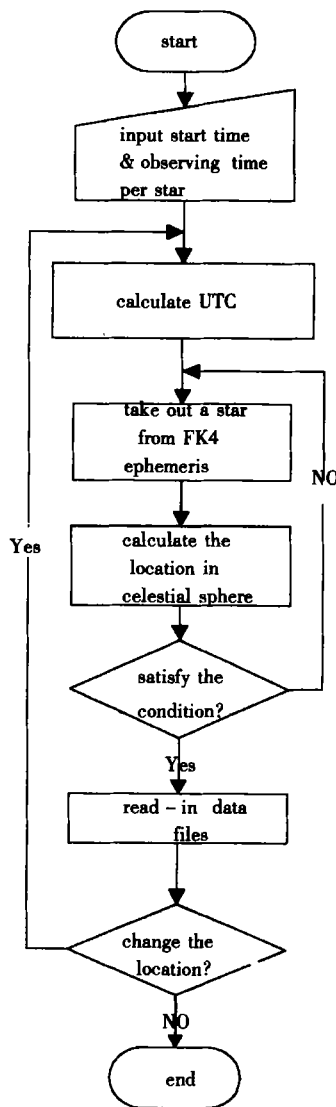


Fig. 1 Flowchart of choosing stars

4 计算和分析结果

用最小二乘法拟合求解方程组(7),可得长春人卫站卫星激光测距经纬仪转台模型的待定系数的值分别为:

$$\begin{cases} \alpha = 0.0126^\circ \\ \beta = 0.0113^\circ \\ \delta = 0.0012^\circ \\ \varphi = 0.0015^\circ \\ A_0 = 0.011^\circ \\ E_0 = 0.0028^\circ \end{cases}$$

将这些系数带回方程组(7)就可得出经纬仪的误差模型。

仪器的方位和高度上的指向精度和总指向精度的关系为:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum (\Delta A_i)^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum (\Delta E_i)^2}{n-1}} \quad (10)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_E^2} \quad (11)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

参考文献:

- [1] 白宝林, 杨光. 经纬仪状态参数的统计估计[J]. 测绘通报, 1988, (1): 33-36.
- [2] 金光, 王家骥, 倪伟. 星体弧长法标定光电经纬仪指向精度[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(4): 91-95.
- [3] 张光明, 王建军, 郭丽虹. 经纬仪的自动星体标校[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(4): 103-110.
- [4] 中国科学院紫金山天文台. 中国天文年历(1996)[M]. 北京: 科学出版社, 1995.

Calibrating the pointing precision of satellite laser ranging theodolite by observing stars

GONG Yan

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: The pointing precision of the satellite laser ranging theodolite is a key factor, which affects the blind-tracking and daytime observation. It can be improved by observing the stars and thus meet the observation demands. A method of calibrating the pointing precision of the laser ranging theodolite by observing the stars is described in this paper. Firstly, the model of state parameters is established, which will affect the pointing precision of theodolite. And then, the state parameters are obtained via choosing and observing some stars. Finally, The calibrating result of laser ranging theodolite in Changchun Observatory is also presented in this paper.

Key words: stars; calibration; satellite laser ranging; theodolites; pointing precision

作者简介: 巩岩(1968-), 男, 吉林梅河口市人. 1990年毕业于浙江大学光仪系, 毕业后主要从事卫星激光测距系统性能的提高和改进的研究工作, 1998年获光学理学硕士学位, 现在中科院长春光机所应用光学国家重点实验室攻读博士学位。

经过对45颗恒星的观测, 我们得到了卫星测距经纬仪现在的指向精度:

$$\begin{cases} \sigma_A = 0.0021^\circ \\ \sigma_E = 0.0027^\circ \\ \sigma = 0.0034^\circ \end{cases}$$

由此可见该经纬仪的指向精度约为 $12'' \sim 13''$ 量级, 与出厂时的检测结果($10''$)相差不多。

最后我们利用经纬仪的误差模型对恒星的预报进行了修正, 即:

$$\begin{aligned} A^* &= A_z - \hat{\sigma}_A \\ E^* &= E_d - \hat{\sigma}_E \end{aligned}$$

其中, A_z, E_d 为理论计算值, $\hat{\sigma}_A, \hat{\sigma}_E$ 为模型的修正量, A^*, E^* 为修正后的预报值. 按此预报值进行观测, 并按(8)~(11)式的方法再求系统的指向精度, 此时系统的指向精度可达 $5''$ 左右. 这说明按此模型对观测的卫星的预报进行修正, 可以基本消除系统误差, 使系统的指向精度满足盲跟和白天测星的需要。