

利用测星实现经纬仪外场静态精度检测

郭丽虹

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍在电影经纬仪上实现的通过解算星体理论值, 实时引导经纬仪测星捕星解算经纬仪系统误差、随机误差、总误差的方法。

关键词: 误差; 精度; 经纬仪

1 引言

光电经纬仪测角精度检测分外场和内场, 在内场常用检测架加装不同高角的平行光管作目标, 用 T4 经纬仪测定目标的坐标值 (A 、 E), 被检经纬仪测得的架坐标值与真值之差便是测角误差, 对靶场光学测量设备外场精度检测, 选定的比较标准是星体相对于经纬仪的理论方位角和高低角。根据天文学原理可知, 对于确定的恒星在确定的时刻, 其相对于测量站的位置是精确可知的, 根据这一基本点, 利用现代化手段对天空星体进行测量, 从而实现经纬仪外场静态精度检测。

经纬仪外场测星解算误差的方法是早期成熟的理论, 之所以至今没能得到广泛应用是因为解算星体理论值的计算量庞大且复杂, 随着高技术发展, 经纬仪上加装微机系统, 使得经纬仪能够自动选星、测星、引星及解算系统误差, 从而使这一理论得以实现。

2 星体理论值的解算原理

根据天文学原理, 确定一颗星的理论位置须知该天文坐标赤经赤纬, 光学测量站的地理坐标经纬度, 观测时刻。

2.1 星体的时角计算

(1) 拍摄星体的地方平时或北京时化成世界时:

$$M = T - 8(\text{h})$$

M 为世界时; T 为北京时间。

(2) 把世界时换算成格林威治恒星时:

$$s = s_0 + (1 + \mu)M$$

s 为格林威治恒星时(h); s_0 为世界零时的恒星时。

$\mu = 0.00273791$ 为平时化恒星时系数。

(3) 把格林威治恒星时化成地方恒星时:

$$s_1 = s + \lambda e = s_0 + 1.0027379M + \lambda$$

s_1 为地方恒星时, s 为格林威治恒星时。

λ 为测量站天文经度;

(4) 把地方恒星时化成地方时角:

$$t = (s - \alpha) \times 15^\circ = [s_0 + 1.0027391 \times (T - 8) + \lambda - a] \times 15^\circ$$

t 为地方时角; α 为星体的赤经。

2.2 星体赤经赤纬的求取

天文年历所载的恒星数据是按一定表列时刻推算的, 要求非表列时刻的其它时刻的数值则需内插。用拉格朗日三点内插公式如下:

$$f = f_{00} + \sum_{i=-1}^1 L_i \times \Delta f_i = L_{-1}f_{-1} + L_0f_0 + L_1f_1 \quad (1)$$

f_{00} 为连续三个表列日期 d_{-1}, d_0, d_1 所对应的三个视位置 $\Delta f_{-1}f_0f_1$ 的共同部分。不同部分为 f_i , 则 $f_i = f_{00} + \Delta f_i (i = -1, 0, 1)$

L_i 为拉格朗日内插系数

$$\begin{aligned} L_{-1} &= 1/2(n-1) \times n \\ L_0 &= 1 - n \times n \\ L_1 &= 1/2(n+1) \times n \quad (n \text{ 为内插因子}) \\ n &= 1/10(D + M) \\ M &= (T - 8)/24 \\ D &= dt - d_0 \end{aligned}$$

T 为对某星体进行观测的北京时间;

D 为观测日期, 在天文年历表列日期 d_0 与 d_1 之间;

若观测时间不长, 精度要求不高时, (1) 式可改为线性内插, 公式如下:

$$f = f_{00} + (1 - n)\Delta f_0 + n\Delta f_1 \quad (2)$$

这样根据拉格日线性内插公式(2)便可求出天文年历中表列外任一时刻的视赤经 α 、视赤纬 δ 。

2.3 蒙气差的修正

由于大气折射, 需要进行蒙气差修正, 观测所得星的高低减去蒙气差, 得到星体的真正高度, 在已知温度(t)和大气压强(p)的情况下, 根据下式求蒙气差:

$$\Delta \rho = (60.2 \times 273 / (273 + t) \times p / 760 \times \cot E)$$

2.4 星体的理论位置的求解

在天文坐标中, 确定星体在天球某一点的位置用赤经纬表示, 在地球系上某一点观测恒星则用方位角、高低角表示, 还须知道观测点的大地经纬度及观测时刻。

设天体时间为 (t, δ) , 地平坐标为 (A, E) 则有矩阵:

$$\begin{bmatrix} \cos E \cos A \\ \cos E \sin A \\ \sin E \quad 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta & \cos t \\ \cos \delta & \sin t \\ \sin \delta & 0 \end{bmatrix}$$

将矩阵展开得:

$$\sin E = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\tan A = \cos \delta \sin t / (\cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi)$$

修正蒙气差后:

$$A_1 = \tan^{-1}(\cos \delta \sin t / (\cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi))$$

$$E_1 = \sin^{-1}(\sin \varphi \sin^{-1} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t) - \Delta \rho$$

A_1, E_1 为星体理论方位角和高低角;

λ, φ 为测量站的天文经度和纬度;

α, δ 为星体的视赤经和视赤纬;

$\Delta \rho$ 为蒙气差。

3 解算星体测量值

对经纬仪测角误差影响较大的单项差有定向差、视轴差、横轴差、零位差、垂直轴倾斜五项, 将其造成的误差分离有如下公式:

$$A_2 = A + \Delta a - g - c \cdot \sec E - b \cdot \tan E + I \cdot \sin(\alpha_t - A) \cdot \tan E$$

$$E_2 = E + \Delta e - h - I \cdot \cos(\alpha_t - A)$$

A_2, E_2 为方位角、高低角测量值;

A, E 为方位角、高低角编码器读数;

a, e 为电视脱靶量;

$g, c, \sec E, b \cdot \tan E, I \sin(\alpha_t - A) \tan E$

分别为定向差、视轴差、横轴差、垂直轴倾斜对方位角测量值的修正量;

$h, I \cos(\alpha_t - A)$ 分别为零位差、垂直轴倾斜对高低角测量值的修正量。

4 计算星体静态测角误差

对 i 颗星的 j 组数据进行统计, 对其测量值和理论值对比求差有:

$$\Delta A_{ij} = A_{2ij} - A_{1ij}$$

$$\Delta E_{ij} = E_{2ij} - E_{1ij}$$

4.1 静态测角总误差

$$\sigma A = \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (\Delta A_{ij})^2 / MN - 1 \right]^{1/2}$$

$$\sigma E = \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (\Delta E_{ij})^2 / MN - 1 \right]^{1/2}$$

4.2 静态测角系统误差

$$\sigma A_S = \left[\sum_{i=1}^N (\Delta A_i) / N \right]^{1/2}$$

$$\sigma E_S = \left[\sum_{i=1}^N (\Delta E_i) / N \right]^{1/2}$$

式中:

$$\Delta A_i = \sum_{j=1}^M \Delta A_{ij} / M$$

$$\Delta E_i = \sum_{j=1}^M \Delta E_{ij} / M$$

4.3 静态随机误差

$$\sigma A_r = (\sigma A^2 - \sigma A_S^2)^{1/2}$$

$$\sigma E_r = (\sigma E^2 - \sigma E_S^2)^{1/2}$$

5 具体实现

根据经纬仪捕星能力建立星库, 此星共有144颗3等以上的星, 系统机进入引导之前首先选星, 之后按选星顺序计算星体的理论值, 每颗星一秒计算一次理论值共一分钟, 即60组理论值, 最多可选20颗星。

实时程序是50Hz 采样, 将星体理论值插成50Hz 实时传输到机上引导经纬仪捕星, 同时系统机接收经纬仪实测数据, 即编码器、电视脱靶量数据。实时将星体理论值、实测值记录于内存, 引星结束后将内存中数据存入数据文件中, 供事后解算。

6 解算结果

测星时间: 1996年1月25日21 h 20 m 00 s

温度: $T = -0.3^\circ$ 大气压强: $P = 98351.64\text{Pa}$

仪器单项差如下:

零位差:	$h = -6.58$	水平轴误差:	$b = -1.29$
定向差:	$g = 0.47$	垂直轴误差:	$i = 0.765$
照准差:	$c = 1.08$	垂直轴倾斜角:	$\alpha = 315^\circ$
电视零点偏差:	$A = 4.58$	$E = -28.4$	

引星顺序: 星号: 194 201 210 C1 224 251 291 295
 星等: 0.34 1.70 1.75 2.05 1.20 1.93 0.48 1.21

解算结果:

单星总误差:	星号	帧数	方位总误差()	高低总误差()
	194	30	14.540815	13.414437
	201	30	48.548275	9.578043
	210	30	13.951133	8.817327
	C1	30	12.282014	10.151971
	224	30	25.344083	9.758983
	251	30	27.813181	18.922063
	291	30	10.579409	13.813958
	295	30	19.258960	21.842251

总误差: $\sigma A = 24.216835$ $\sigma E = 13.288205$

系统误差: $\sigma A_s = 15.719169$ $\sigma E_s = 10.286070$

随机误差: $\sigma A_r = 18.421803$ $\sigma E_r = 8.412678$

7 展 望

近年来,经纬仪外场静态精度检测已被靶场应用并且取得了满意的结果,随着高技术的发展,靶场对光测设备的自动化程度要求越来越高,星体自动化标校有待于进一步尝试,即利用多元线性回归方法求解经纬仪的各单项差,进行系统误差的分离。此外,通过测星可以在海上实现动态标定,把这一方法向前推进了一大步。

参 考 文 献

[1] 姚坤一,王国海.天文测量学.北京:测绘出版社,1984

[2] 中国科学院紫金山天文台.中国天文年历.北京:科学出版社,1995

Detecting of Theodolite Outfield Static Precision by Catching Stars

Guo Lihong

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper introduces the method of detecting outfield static precision of Film Theodolite, accomplishing it by measuring stellar theory value and guiding theodolite to catch stars and measuring system error, random error and total error.

Key words: Error, Precision, Theodolite.

郭丽虹 女, 1986年毕业于长春光机学院计算机软件专业。现在光电工程部从事微机通讯、大型应用软件编程工作。