

经纬仪的自动星体标校

张光明 王建军

(北京跟踪与通信技术研究所 北京 100094)

郭丽虹

(中科院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 星体标校是经纬仪在外场进行精度检测和单项误差调整常用的方法之一,目前靶场经纬仪在进行星体标校时多采用查阅星表的办法,自动化程度较低。本文介绍了一种自建星库计算星体位置,自动实现引星、拍星和星体标校的方法。详细叙述了该方法的原理和系统实现。

关键词: 经纬仪 星体 精度标校

中图分类号 V556.5 文献标识码 A

1 引言

经纬仪的静态拍星包括引星、拍星和数据处理三个步骤,它是对经纬仪进行外场精度标校极为有效的手段,在靶场已有很长的应用历史。大多数经纬仪的静态拍星都是事先依据天文年历计算和编制测量日当天的星表,然后按照星表给定的时间和星体方位和俯仰角把星体引入设备视场并进行拍星,数据处理时依据摄影胶片或实时记录下的准确拍摄时间、大地经纬度理论计算所测星体的精确位置并与测量值进行比对。这种方法人工干预多、自动化程度低,整个过程工作量大,所费时间长。本文介绍一种全自动化完成引星、拍星和精度标校的方法。此种方法经实验效果显著。

2 基本原理

自动引星和标校的核心是对应用星库对星体理论位置精确的计算。我们在系统微机中内

置有星库,星库中每个恒星的记录有星号、星等、平赤经、平赤纬、自行、视差等特征参数。依据这些参数进行天文学计算,可以得到任一测量时刻确定精度的星体位置。下面我们描述基于星体和天文参数计算星体位置的过程。为叙述方便,我们首先引入自基本历元 J2000.0 算起的儒略世纪数 T 和章动的概念。

基本历元 J2000.0 算起的儒略世纪数 T 是从世界时 2000 年 1 月 1 日 12 时算起的日数除以 36525。如采用 VB 的日期型数据类型 (DATE 类型), 计算较为方便。用日期类型 t 表示北京时观测时刻(含年、月、日、时、分、秒), 则在 VB 中分别用日期转换函数 CDATE 和分别将 2000 年 1 月 1.5 日和北京时与世界时的 8 小时时差转换为日期型数据, 观测时刻 t 对应的儒略世纪数 T 为

$$T = \frac{t - \text{TIMEVALUE}("8:0:0") - \text{CDATE}(\# 1/1/2000 12:00:00 PM\#)}{36525} \quad (1)$$

章动即为真天极绕平天极周期性的运动,它可以分解为黄经章动 ($\Delta\psi + d\psi$) 和倾角章动 ($\Delta\epsilon + d\epsilon$)。1984 年起黄经章动 ($\Delta\psi + d\psi$) 和倾角章动 ($\Delta\epsilon + d\epsilon$) 的计算依据“1980IA 章动理论”计算,其展开式共包括 106 项。列出如下

$$\Delta\psi + d\psi = \sum_{i=1}^{106} (a_i + b_i) \sin \varphi_i \quad (2)$$

$$\Delta\epsilon + d\epsilon = \sum_{i=1}^{106} (c_i + d_i) \cos \varphi_i \quad (3)$$

$$\varphi_i = M_{il}l + M_{il'}l' + M_{if}F + M_{id}D + M_{i\Omega}\Omega \quad (4)$$

l ——月亮平近点角;

l' ——太阳平近点角;

F ——月亮平升交点角距;

D ——日月平角距;

Ω ——月亮轨道对黄道平均升交点的黄经;

R —— l^R 等于 360 度。

它们的计算公式如下:

$$l = 134^\circ 57' 46.733'' + (1325^R + 198^\circ 52' 02.633'')T + 31.310''T^2 + 0.064''T^3 \quad (5)$$

$$l' = 357^\circ 31' 39.804'' + (99^R + 359^\circ 03' 01.224'')T - 0.577''T^2 - 0.012''T^3 \quad (6)$$

$$F = 93^\circ 16' 18.877'' + (1342^R + 82^\circ 01' 03.137'')T - 13.257''T^2 - 0.011''T^3 \quad (7)$$

$$D = 297^\circ 51' 01.307'' + (1236^R + 307^\circ 06' 41.328'')T - 6.691''T^2 - 0.019''T^3 \quad (8)$$

$$\Omega = 125^\circ 02' 40.280'' + (5^R + 134^\circ 08' 10.539'')T - 7.455''T^2 - 0.008''T^3 \quad (9)$$

章动计算中的 a_i 、 b_i 、 c_i 、 d_i 和 M_{il} 、 $M_{il'}$ 、 M_{if} 、 $M_{i\Omega}$ 等系数为常数,可查中国天文年历。实际计算中我们用了 106 项中影响比较大的 13 项,其系数如下表,表中序数为所引用项在天文年历

中 106 项参数表中的排序号:

Table 1 Parameters

No.	parameter					longitude nutation		tilt angle nutation	
	<i>L</i>	<i>L'</i>	<i>F</i>	<i>D</i>	Ω	coefficient of sine item		coefficient of cosine item	
1	0	0	0	0	1	- 171996	- 172.4 <i>T</i>	92025	8.9 <i>T</i>
2	0	0	0	0	2	2062	0.2 <i>T</i>	- 895	0.5 <i>T</i>
9	0	0	2	- 2	2	- 13187	- 1.6 <i>T</i>	5736	- 3.1 <i>T</i>
10	0	1	0	0	0	1426	- 3.4 <i>T</i>	54	- 0.1 <i>T</i>
11	0	1	2	- 2	2	- 517	1.2 <i>T</i>	224	- 0.6 <i>T</i>
12	0	- 1	2	- 2	2	217	- 0.5 <i>T</i>	- 95	0.3 <i>T</i>
13	0	0	2	- 2	1	129	0.1 <i>T</i>	- 70	0.0 <i>T</i>
31	0	0	2	0	2	- 2274	- 0.2 <i>T</i>	977	- 0.5 <i>T</i>
32	1	0	0	0	0	712	0.1 <i>T</i>	- 7	0.0 <i>T</i>
33	0	0	2	0	1	- 386	- 0.4 <i>T</i>	200	0.0 <i>T</i>
34	1	0	2	0	2	- 301	0.0 <i>T</i>	129	- 0.1 <i>T</i>
35	1	0	0	- 2	0	- 158	0.0 <i>T</i>	- 1	0.0 <i>T</i>
36	- 1	0	2	0	2	123	0.0 <i>T</i>	- 53	0.0 <i>T</i>

恒星在测量系坐标的计算包括三个步骤。首先依据星库中恒星的参数计算观测时刻恒星的视赤经和视赤纬; 其次计算观测时刻的真恒星时; 最后计算恒星在测站坐标系内的方位角和俯仰角。

2.1 恒星视赤经和视赤纬

由星库中各恒星的参数计算测量时刻恒星的视赤经和视赤纬按以下过程进行。

(1) 对 2000 年首平赤经和平赤纬 α_0 、 δ_0 进行岁差和自行修正, 获得观测瞬间的平位置 $\alpha_{\text{平}}$ 和 $\delta_{\text{平}}$ 。其修正公式为:

$$\alpha_{\text{平}} = \alpha_0 + (m + n \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta_0) T + \mu_{\alpha} T \quad (10)$$

$$\delta_{\text{平}} = \delta_0 + n \cos \alpha_0 T + \mu_{\delta} T \quad (11)$$

μ_{α} ——为恒星的赤经百年自行;

μ_{δ} ——为赤纬百年自行。

m 和 n 由下式确定:

$$m = 3^{\text{S}}.0749575 + 0^{\text{S}}.0085330T - 0^{\text{S}}.000000185T^2 \quad (12)$$

$$n = 20^{\text{S}}.043109 - 0^{\text{S}}.0085330T - 0^{\text{S}}.00000217T^2 \quad (13)$$

(2) 对 $\alpha_{\text{平}}$ 和 $\delta_{\text{平}}$ 进行章动修正, 计算观测瞬间恒星的真位置 $\alpha_{\text{真}}$ 和 $\delta_{\text{真}}$ 。

$$\alpha_{\text{真}} = \alpha_{\text{平}} + (\Delta \Psi + d \Psi)(\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta_0) - (\Delta \varepsilon + d \varepsilon) \cos \alpha_0 \operatorname{tg} \delta_0 \quad (14)$$

$$\delta_{\text{真}} = \delta_{\text{平}} + (\Delta \Psi + d \Psi) \sin \varepsilon \cos \alpha_0 + (\Delta \varepsilon + d \varepsilon) \sin \alpha_0 \quad (15)$$

式中 ε 为黄道和赤道的交角, 称为黄赤交角, 等于平黄赤交角 ε_0 加倾角章动 $(\Delta \varepsilon + d \varepsilon)$ 。

$$\varepsilon = 23^{\circ} 26' 21.448'' - 46''.915T - 0''.00059T^2 + 0''002813T^3 + (\Delta \varepsilon + d \varepsilon) \quad (16)$$

黄经章动 ($\Delta\phi + d\phi$) 和倾角章动 ($\Delta\varepsilon + d\varepsilon$) 由公式(2)和(3)给出。

(3) 对 $\alpha_{\text{真}}$ 和 $\delta_{\text{真}}$ 进行光行差修正, 得到 α' 和 δ' 。

$$\alpha' = \alpha_{\text{真}} - 20.49552'' (\cos L \cos \alpha_0 \sec \delta_0 + \sin L \sin \alpha_0 \sec \delta_0) \quad (17)$$

$$\delta' = \delta_{\text{真}} - 20.49552'' [\cos L \cos \varepsilon (\operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta_0 - \sin \alpha_0 \sin \delta_0) + \sin L \cos \alpha_0 \sin \delta_0] \quad (18)$$

式中 ε 同公式(16), L 为太阳的几何平黄经

$$L = 280^{\circ} 27' 59.21'' + 129802771''.36T + 1''.093T^2 \quad (19)$$

(4) 对 α' 和 δ' 进行视差修正, 得到最终的恒星视位置 $\alpha_{\text{视}}$ 和 $\delta_{\text{视}}$ 。

$$\alpha_{\text{视}} = \alpha' - 20.49552'' (0.0532\pi \sec \delta_0 \sin \alpha_0 \cos L \cos \varepsilon - 0.0448\pi \sec \delta_0 \cos \alpha_0 \sin L) \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \delta_{\text{视}} = \delta' - 20.49552'' [& 0.0532\pi \sin \delta_0 \cos \alpha_0 \cos L \cos \varepsilon \\ & - 0.0448\pi (\operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta_0 - \sin \delta_0 \sin \alpha_0) \sin L] \end{aligned} \quad (21)$$

π —— 为恒星的周年视差, 星库中的恒星参数之一。

2.2 真恒星时

真恒星时是真春分点的时角。北京时间观测时刻 t 时的真恒星时的表达式为

$$\begin{aligned} S = 6^{\text{h}} 41^{\text{m}} 50^{\text{s}}.54841 + 8640184^{\text{s}}.812866T + 0^{\text{s}}.093104T^2 - 6^{\text{s}}.2 \times T^3 \\ + (\Delta\Psi + d\Psi) \cos \varepsilon \end{aligned} \quad (22)$$

式中 $(\Delta\phi + d\phi) \cos \varepsilon$ 为赤经章动, 是黄经章动 ($\Delta\phi + d\phi$) 在真赤道上的投影。($\Delta\phi + d\phi$) 和黄赤交角 ε 的计算公式见公式(2)、(16)。

2.3 恒星在测量坐标系的理论方位角 A 和俯仰角 E

如果测站经度为 λ , 依据前述计算, 我们可以得到恒星对应测站的时角 $t_{\text{时角}}$ 为

$$t_{\text{时角}} = S + \lambda - \alpha_{\text{视}} \quad (23)$$

星体在测量坐标系中的理论方位角 A° 和理论俯仰角 E° 由下式确定

$$A^{\circ} = \operatorname{arctg} \frac{\cos \delta_{\text{视}} \sin t_{\text{时角}}}{\cos \delta_{\text{视}} \sin \varphi \cos t_{\text{时角}} - \sin \delta_{\text{视}} \cos \varphi} \quad (24)$$

$$E^{\circ} = \operatorname{arcsin}(\sin \varphi \sin \delta_{\text{视}} + \cos \varphi \cos \delta_{\text{视}} \cos t_{\text{时角}}) \quad (25)$$

φ —— 为测站的纬度。

实际观测时受大气折射的影响, 应对俯仰角进行蒙气差修正。观测俯仰角 E 为

$$E = E^{\circ} + 60''.2 \frac{273P}{1013T_0} \operatorname{ctg} E^{\circ} \quad (26)$$

P —— 测站气压, 单位为帕。

T_0 —— 为测站温度, 单位为 K。

经纬仪的精度一般在秒级, 用静态拍星法检验设备的精度时恒星位置的计算精度应比设备精度高 3 至 5 倍。依据上述星库和计算方法, 只要在恒星位置在 20 度至 65 度的高角范围内, 所确定的恒星位置精度在 10 年之内不必更换星库就可以达到精度检测的要求。

3 自动星标的实现

为实现设备的自动引星和星标功能, 设备的伺服控制系统、电视系统、B 码终端和系统微机必须有机的联系起来, 在系统微机的控制下协调工作。拍星用到的设备硬件关系框图如图 1 所示:

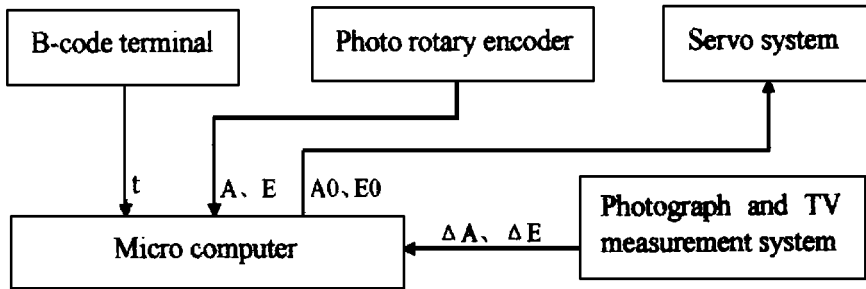


Fig. 1 The relation of hardware units

- B 码终端: 接收和解调 B 码时统信号, 获得设备所需的绝对时间信息并提供各种同步频率信号。
- 轴角编码器: 提供经纬仪轴向角度方位角及俯仰角即视轴空间指向角度的数值。
- 伺服控制系统: 在静态拍星过程中工作于数引工作状态。控制设备指向给定的角度值。
- 摄影、电视测量系统: 静态拍星时探测和确定星体脱靶量, 即星体偏离于视轴中心的角度值。

静态拍星的软件是这样设计的。首先微机系统采集 B 码终端的绝对时间信息, 计算出此刻星库中每一颗可视恒星的方位角和俯仰角。以方位角度的大小作为极坐标的 ρ 值, 以天顶角 ($90^\circ - \text{俯仰角}$) 作为极坐标的 θ 值, 用坐标点的大小代表恒星的星等, 在极坐标中标记可视恒星的位置构成一张星图, 并在此图内依据星体位置均匀分布的原则在 25 度至 65 度的俯仰角范围内选择要拍摄的星体。然后逐一将所选星体的理论位置送至伺服控制系统, 把设备数字引导至此位置后进行拍星, 在拍星的同时同步地记下拍摄的准确位置和轴角编码器的值。拍星完毕后, 处理出每颗星体的测量值和理论值, 按照 GJB 所规定的处理方法和程序就可以确定设备的静态测量精度和设备的单项误差分离结果。

4 结 束 语

我们所编制的自动星校程序中采用 Visual Basic 编制而成, 并应用了面向对象的编程思想把整个程序编制成为一个服务器程序, 可由其它程序随意调用, 程序接口简单, 人机界面直观、友好。所用星库数据源于公开出版物, 扩充和修改方便。经实验表明, 自动星校可以大大

减轻经纬仪的外场标校工作量, 结果良好。

参 考 文 献

- 1 紫金山天文台. 1993 年中国天文年历. 1993
- 2 伍拉德 E W. 球面天文学. 北京: 测绘出版社, 1984
- 3 GJB1381.1-92. 导弹、航天器试验外测设备的精度评定- 光电经纬仪. 1992

Auto Precision Calibration of Theodolite with Star Photogrammetry

ZHANG Guang-Ming, WANG Jiar-Gun

(*Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology, Beijing 100094*)

GUO Li-Hong

(*Changchun Institute of Optics & Fine Mechanism,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

Precision calibration with star photogrammetry is a the general method for adjust of theodolite. Instead of looking up for a star time table, a data base with 720 stars in it is established in our auto precision calibration system. The theory and system construction is described in this paper.

Key Words: Theodolite, Star, Precision calibration

张光明 男, 1967 年出生, 1987 年 7 月毕业于重庆大学应用物理系, 1990 年 6 月在中科院上海光机所研究生毕业并获工学硕士学位。1990 年 7 月起在北京跟踪与通信技术研究所工作, 一直从事靶场光测设备总体工作。曾获部委级科技进步三等奖二项, 发表论文多篇。