

光电经纬仪的自动化标校 与白天测星技术的研究

金 光

摘要: 为了提高测量船的测量精度, 必须解决自动化标校和白天测星的关键技术。本文对此进行了理论探讨和外场实验, 得出了一些较重要的结论, 并为三号远洋测量船的星体跟踪器提出了技术方案, 对本方案的探测能力、测量精度、信号提取均做了深入分析。

一、引 言

随着航天技术的不断发展, 陆地试验靶场所用的测量设备因受领土条件和作用距离的限制, 已远远不能满足更远距离和全球性的不间断的测量的要求。因此必须在广阔的公海上设置机动的跟踪站——远洋测量船。

为了保证测量船上各种测量设备能在海上正常工作, 并达到很高的测量精度, 则必须知道测量船本身的精确位置和航向。为此, 在测量船上设置了惯性导航系统(简称惯导)。

天文综合校准是定期校正惯导的辅助导航系统之一。其精度的高低, 取决于光电经纬仪的测量精度。因此, 除了进一步降低经纬仪的随机误差外, 如何运用数学方法与经纬仪相结合, 实现实时校正技术, 来消除经纬仪的系统误差是提高其测量精度的有效途径。

天文综合校准是利用恒星在天球上的准确视位置, 通过经纬仪上的测量电视, 测出恒星方位角、高低角, 并经过计算机计算, 求出船本身的位置和真航向作为校正惯导系统的基础。因此, 这就要求经纬仪的测量电视能昼夜对恒星进行跟踪测量, 完成自动化标校。

二、自动化标校系统的原理

1. 经纬仪的系统误差方程

$$\begin{aligned}\Delta A &= a_0 + c(\sec E - 1) + H \operatorname{tg} E + V \sin(A - A_0) \operatorname{tg} E \\ \Delta E &= b_0 + V \cos(A - A_0) + K \cos E\end{aligned}\quad (1)$$

其中 a_0 是方位零位差,

b_0 是高低零位差,

c 是照准差; V 是调平误差;

H 是水平轴误差, K 是镜筒弯曲

ΔA , ΔE 为方位角误差和高低角误差,

A, E 是方位角和高低角。

2. 测星自动化标校

在执行标校前, 根据准备执行标校的时间及观测点的经纬度, 利用下式算出星体的理论方位角和高低角

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

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos \delta \sin t}{\sin \phi \cos t - \cos \phi \sin \delta} \quad (2)$$

$$t = 15.04107 \times T + S_0 + \lambda - \alpha$$

其中, E, A 是星的理论高低角和方位角;

α, δ 是星的赤经, 赤纬;

λ, ϕ 是观测点的经纬度;

T = 北京时间 - 8; S_0 为世界时零时的恒星时;

标校时, 先取所选的某一星体, 由计算机根据时间、经纬度通过公式(2)算出用于引导经纬仪的方位角和高低角, 用经纬仪上的测量电视对此星进行跟踪测量, 其测30次, 并进行数据处理, 可得到 $A_{\text{实}}, E_{\text{实}}$, 代入下列公式可得到仪器的实际测量精度。

$$\Delta A = A_{\text{实}} - A_{\text{理}}$$

$$\Delta E = E_{\text{实}} - E_{\text{理}} + \text{蒙气差修正}$$

这样就测出了某颗星在某时刻对于经纬仪的方位角和高低角, 并与星体的理论角相比较得到仪器的误差。然后再换星, 其测30颗星。于是得: $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_{30}$

$$\Delta E_1, \Delta E_2, \dots, \Delta E_{30}$$

并代入公式(1)

$$\Delta A_i = a_0 + (\sec E_i - 1)c + H \operatorname{tg} E_i + V \sin(A_i - A_0) \operatorname{tg} E_i$$

$$\Delta E_i = b_0 + \cos(A_i - A_0)V + K \cos E_i$$

$$i = 1, 2, \dots, -30$$

上述方程组是一个矩阵方程, 根据数学上的最小二乘法对矩阵方程求解, 得出经纬仪的各项系统误差。

3. 测星数据的处理

我们利用自编的标校程序对远望二号测量船的718-A微光电视测星数据进行了处理, 解出了经纬仪的系统误差, 并对测角误差进行校正, 使经纬仪的系统误差降低3倍以上。

三、白天测星技术的研究

为了用恒星的准确视位置对经纬仪的测角精度进行自动化标校和随时对测量船的惯导系统进行校正, 必须要求经纬仪的电视系统能昼夜对恒星进行跟踪测量, 并对测星数据进行处理。一般而言, 夜晚测星, 只要电视望远镜的口径和摄像器件的灵敏度满足一定的条件, 就会有足够多的恒星能被观测到。然而, 白天测星其问题却复杂得多, 它涉及到星体的搜索与识别、天空背景亮度、恒星的亮度与光谱、光学系统、光电器件、电子学处理等环节。因此开展白天测星技术的研究是解决白天测星问题的前提条件。我们知道白天测星的主要困难为:

- a. 星体被强烈的阳光和天空背景淹没了,
- b. 白天天空亮度不均匀, 白天星光信噪比低。为此, 利用光 662* 光电经纬仪在外场对白天天空背景亮度进行了测量, 得出了白天晴朗天空亮度变化范围为:

$$B = (7^m49-3^m07)/\text{角秒}^2$$

并对北极星, 牧夫- α 星等恒星进行了全日光下的白天测量实验, 得到了星信号信噪比等有关实验数据。

四、白天测星系统参数的确定

根据白天测星的星体跟踪器的技术要求, 分别对光学系统参数 (口径、焦距、视场)、CCD摄像器件的要求进行了详细分析和论证。并对星体捕获, 星信号的滤波、探测及跟踪进行了理论探讨, 编制了有关程序, 提出了数学模型和程序框图, 给出了白天测星系统的结构框图。

白天测星系统方框图 1。

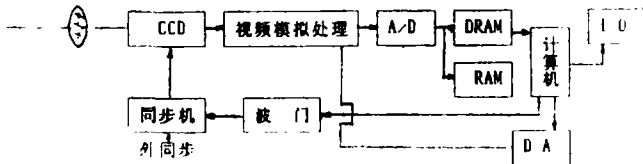


图 1

1. 光学系统焦距 ($f = 4000\text{mm}$)、口径 ($D = 200\text{mm}$)、视场 $\pm 4.7'$ 的望远系统所组成。

2. CCD摄像机技术指标

- (1) 象元数 $510\text{H} \times 492\text{V}$
- (2) 象元间距 $17\mu\text{mH} \times 13\mu\text{mV}$
- (3) 图像尺寸 $8.8\text{mmH} \times 6.6\text{mmV}$
- (4) 光谱范围 $0.45\mu\text{m} - 1.0\mu\text{m}$
峰值波长在 $0.7\mu\text{m}$

(5) 灵敏度: 最低工作照度 0.3 lx

3. 电路系统是由视频模拟处理、A/D转换、计算机、同步机等组成。

另外, 本文还对恒星的理论角度、白天测星系统进行了精度分析。

五、结束语

通过前面的理论分析和实验, 可以得出下面的结论。

1. 利用测星对光电经纬仪的精度进行自动化标校, 在不改变现有光电测量设备的加工精度的基础上, 进一步提高其测量精度的主要途径之一是下一代靶场仪器的重要标志。

2. 利用最小二乘法对经纬仪的测角误差进行回归计算是消除仪器的系统误差的有效方法。新提出的误差方程更接近实际, 修正效果更好, 它突出了主要误差来源, 又减少了计算

的工作量。

3. 白天测星技术对于测量船的自动化标校至关重要, 要想实现白天测星必须解决弱信号提取, 这对提高经纬仪的作用距离和进行深空测量都是非常有意义的。

4. 要想提高白天测星的极限星等, 除了光学系统的参数选择合理外, 应采用 CCD 作为摄像器件, 并对图像进行数字化处理, 进行背景相减。另外, 可选用滤光片, 消除天空背景光的干扰, 增加星信号的信噪比。

A Technical Study of the Automation Demarcation and Correction and the Day Light Stellar Measurement for Electro-optical Tracking Systems

Jin Guang

Abstract

In order to improve the measuring precision of the measuring-boat, the key technology for automation demarcation and day light steller measurement must be solved. This paper draws some rather importhat conclusions about the the oritical exploratory and the actual experiment having been done. It also put forward the technical plan for the star trackers of the third boat. This paper makes a thorough analysis of the probing ability, measuring precision and collecting signal as well. It will indicate the direction for the futher development.