

基于靶标实现光电经纬仪伺服系统的室内检测^{*}

贾峰¹, 武征¹, 姬琪²

(1. 92941 部队 91 分队 辽宁葫芦岛 125000; 2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘要:为解决靶场光电经纬仪伺服系统的检测,在原有检测设备的基础上,对动态精度靶标的计算机系统增加引导数据输出功能,并以异步串行通讯的方式发送给光电经纬仪伺服系统,通过接收引导跟踪完成伺服控制系统的室内检测。该方法可用于靶场光电经纬仪伺服控制系统跟踪性能和跟踪精度的检测,具有较高的实用价值。

关键词:动态精度靶标;伺服系统;室内检测;引导;跟踪

中图分类号:V 556.5

文献标识码:A

文章编号:1674-5620(2011)04-0091-04

Indoor Detection of the Servo System of Cinetheodolites

Based on Target Mark

JIA Feng¹, WU Zheng¹, JI Qi²

(1. PLA Unit 92941, Huludao, Liaoning Province 125000; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

Abstract: Guidance data output is added to the computer system of a dynamic precision target mark to meet requirements of detection of the servo system of a cinetheodolite. The guidance data is sent to the servo system of the cinetheodolite through asynchronous serial communication and indoor detection of the servo control system is performed by means of guided tracking with the guidance data. The method shows a high level applicability and can be used in validation of the tracking performance and tracking accuracy of the servo control systems of cinetheodolites.

Keywords: Dynamic Precision Target Mark; Servo System; Indoor Detection; Guidance; Tracking

0 引言

光电经纬仪是靶场重要的测量外弹道数据和飞行状态的测量设备,其伺服系统的主要作用是控制光电经纬仪方位和俯仰 2 个方向的运动机构按照预定的轨迹或规律运动,无论是定点、数引、还是跟踪测量都离不开伺服系统的参与,只有伺服控制系统的精度满足要求,光电经纬仪测得的数据才有意义,因此对光电经纬仪伺服系统的检测就显得十分重要。

目前靶场动态精度靶标只具备检测自动跟踪功能电视的动态测角精度,对不具备自动跟踪功能的光电经纬仪不能进行检测。针对这一问题,提出对动态精度靶标的计算机系统改造,在原有计算机系统功能上增加引导数据输出功能,引导数据按照靶场现有数据通信的接口和协议输出,光电经纬

仪通过接收引导跟踪动态精度靶标,完成动态目标测量,从而完成靶场光电经纬仪伺服系统的室内检测^[1]。

以靶场某型号光电经纬仪伺服系统的实际检测为例,主要技术指标为:最小角速度为 $0.01(^\circ)/s$,最大角速度为 $60(^\circ)/s$,最大角加速度为 $30(^\circ)/s^2$;跟踪精度的系统误差最大值 < 3 ,随机误差均方差 < 20 ;过渡过程时间 $t_s < 0.5 s$,超调量 $< 5\%$ ^[2]。

1 动态精度靶标

动态精度靶标是光检中心的重要检测装备,主要功能是在程序控制下实现目标的运动,并提供精确的空间角位置信息。动态精度靶标主要包括稳定的支撑结构、高精度的轴系结构、精密的角度输出元件和可以生成无穷远空中目标的光学系统以及控制

* 收稿日期:2010-10-21;修回日期:2010-11-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50207004)

第一作者简介:贾峰(1978-),男,工程师,主要从事靶场光学测量与检测方面的研究;E-mail:qingjiu_98@163.com

模拟目标运动的电子学系统。

动态精度靶标的旋转电机带动平行光管, 平行光管发出的平行光模拟外场飞行的目标, 通过改变目标在方位和俯仰上的角速度和角加速度, 实现对不同运动目标的模拟, 引导光电经纬仪跟踪, 从而实现对光电经纬仪方位、俯仰跟踪伺服系统的检测。检测时使动态精度靶标转动, 输出方位俯仰角度数据作为引导数据输送给光电经纬仪, 光电经纬仪随动跟踪, 并同时记录数据、绘制曲线、分析曲线和数据, 判断其伺服系统是否满足技术指标要求。

动态精度靶标与光电经纬仪空间位置关系为^[4]

$$\begin{cases} E = \arcsin(\cos a \sin b + \sin a \cos b \cos t) \\ A = \arcsin\left(\frac{\sin a \sin t}{\cos E}\right) \end{cases} \quad (1)$$

式中 A 、 E 分别为光电经纬仪的方位角和俯仰角; t 是匀速运动的角速度, t 为目标运动所用的时间; a 、 b 分别为动态精度靶标的半锥角和倾角。

用徕卡全站仪对动态精度靶标进行标校, 测出俯仰角最高点 E_1 和最低点 E_2 , 则有 $a = (E_1 - E_2)/2$, $b = E_2 + a$, 求得 $a = 21.5315$, $b = 41.1194$ 。由动态精度靶标与光电经纬仪空间运动关系可知, 靶标的半锥角 a 、倾角 b 确定后, 分析计算可以得出光电经纬仪唯一的空间位置。

2 动态精度靶标的改造

2.1 引导数据的实现

当动态精度靶标作匀速圆周运动时, 角速度为常量, 由式(1)求得方位角速度 A 、俯仰角速度 E 为

$$E = -\frac{\sin a \cos b \sin t}{\cos E}$$

$$A = \frac{\sin a \sin E}{\cos E \cos a} E + \frac{\sin a \cos b}{\cos E \cos a}$$

动态精度靶标以角速度 ω 转动, 计算机根据目标编码器信息 T 得到目标的空间位置, 再通过坐标变换成光电经纬仪跟踪目标的方位角 A 和俯仰角 E , 以及方位角速度 A 、俯仰角速度 E 。通过动态精度靶标检测光电经纬仪引导等性能时, 根据复合控制的原理产生模拟信号, 通过改变动态精度靶标角速度 ω 来改变目标在方位和俯仰上的角速度和角加速度, 实现对不同运动目标的模拟, 引导光电经纬仪进行电视跟踪并检测伺服系统跟踪精度。

2.2 硬件改造

靶场光电经纬仪具有统一的数据通信接口和协议, 并具有接收引导跟踪目标的功能。动态精度靶标按此接口和协议发送引导数据, 靶场所有的经纬仪都可以正确接收引导数据, 从而实现接收引导跟踪动态靶标的功能。

在动态精度靶标的计算机系统功能上增加引导数据输出功能, 采用 RS-422 异步串行通讯方式, 硬件采用 MOXA 公司设计的 RS-422 智能多端口串行数据通讯串口 CF-134 卡, 引导数据和绝对时间按照靶场现有数据通信的接口和协议输出^[5]。具体技术实现如图 1 所示。

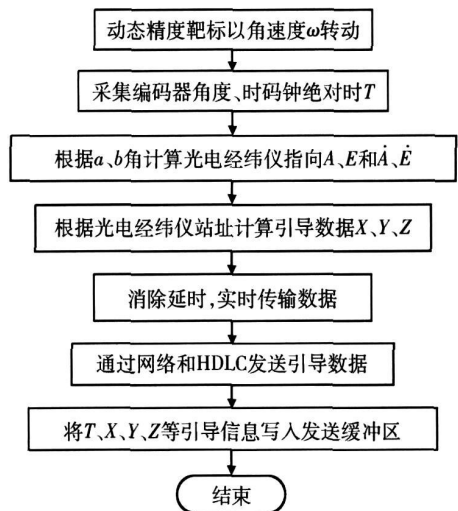


图 1 动态精度靶标引导光电经纬仪技术实现

Fig. 1 Technical realization of guidance of the cinetheodolite with the dynamic precision target

3 伺服系统的检测

在检测过程中, 由动态精度靶标和光电经纬仪的主控计算机记录数据, 并将记录的数据转换为文本文件保存, 然后再导入检测计算机中, 用 Origin 和 Excel 对数据进行处理计算, 根据检测结果判断该经纬仪的伺服系统是否符合技术指标的要求。

3.1 最小角速度的检测

动态精度靶标采用等速工作模式, 输入等速引导数据: 方位和俯仰速度均为 0.01 ()/s。光电经纬仪等速引导跟踪随动, 同时记录动态精度靶标和光电经纬仪绝对时、编码器角度信息, 根据下式计算最低角速度

式中 A_{\min} 、 E_{\min} 分别为方位和俯仰最小角速度;
 A 、 E 分别为方位和俯仰角度变化量; t 为角度变化的时间。

根据记录的数据作图(见图 2(a)), 可以看出, 最小角速度满足技术指标的要求, 但是伺服系统在低速转动时不是很稳定。

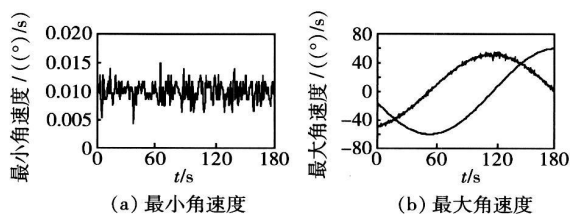


图 2 检测结果

Fig. 2 Detection result: (a) the minimum angular velocity; (b) the maximal angular velocity

3.2 最大角速度的检测

动态精度靶标采用正弦工作模式, 输入正弦引导数据: 角速度 $\omega = 60(\text{°})/\text{s}$, 摆幅 $A = 120$, 对应的最大角加速度为 $\omega^2/A = 30(\text{°})/\text{s}^2$ 。光电经纬仪以正弦规律转动, 同时记录动态精度靶标和光电经纬仪数据, 计算出角速度取最大值作为测量结果。根据记录的数据作图(见图 2(b)), 可以看出, 伺服系统很稳定, 最大角速度为 $55(\text{°})/\text{s}$ 。

3.3 最大角加速度的检测

动态精度靶标采用正弦工作模式, 在引导数据输入时, 以满足最大角加速度为依据。计算角加速度的公式为 ω/t , ω 为 t 时间内的角速度变化量。光电经纬仪以正弦规律转动, 根据记录的数据计算出来的结果取最大值作为测量结果, $\omega/t = 29(\text{°})/\text{s}^2$ 。

3.4 数字引导误差的检测

动态精度靶标采用正弦工作模式, 输入正弦引

导数据: 角速度 $\omega = 20(\text{°})/\text{s}$, 摆幅 $A = 40$, 角加速度为 $10(\text{°})/\text{s}^2$ 。光电经纬仪以正弦规律转动, 同时记录动态精度靶标和光电经纬仪数据, 计算出角速度, 取最大值作为测量结果。根据记录的数据信息计算出系统误差最大值和随机误差均方值。取 1 个周期数据做图, 如图 3 所示。

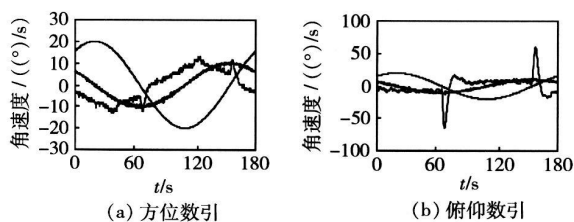


图 3 数字引导误差

Fig. 3 Digital guidance error: (a) digital guidance of azimuth; (b) digital guidance of elevation

由于数字引导误差一般都很小, 远远小于跟踪指标的要求, 所以系统误差以 1 个周期内误差的最大值作为测量结果。随机误差的计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中 n 为 1 个周期数据个数; X_i 为第 i 点引导误差^[6]。

根据式(2)计算出系统误差最大值为 70, 随机误差均方值为 16。

3.5 伺服系统跟踪性能的检测

动态精度靶标采用等速工作模式, 输入等速引导数据: 周期 $T = 65 \text{ ms}$, 启动时间为 20 ms。光电经纬仪等速随动跟踪, 跟踪稳定后, 记录动态精度靶标和光电经纬仪数据, 取 1 个周期以上的数据(见表 1)。

表 1 记录脱靶量数据表

Tab. 1 Recording of miss distance measurement data

时刻	动态精度靶标(理论值)		光电经纬仪(测量值)		脱靶量值	
	$E/(\text{°})$	$A/(\text{°})$	$E/(\text{°})$	$A/(\text{°})$	$E/(\text{°})$	$A/(\text{°})$
11:06:09	20.331 4	353.413	20.332 7	353.413 4	164.2	187.4
11:06:11	19.657 5	358.018 1	19.655 7	358.037 9	-65.4	27.6
11:06:13	19.710 6	2.658 4	19.709 9	2.658 1	-17.4	34.2
11:27:31	28.785 3	21.673 8	28.793 1	21.666 3	-32.4	7.8
11:27:33	32.349 0	24.665 1	32.362 8	24.655 2	-49.8	19.2
11:27:35	36.296 8	27.008 3	36.293 6	27.002 4	2.4	1.2

根据表 1 的数据绘制曲线,截取一段见图 4。

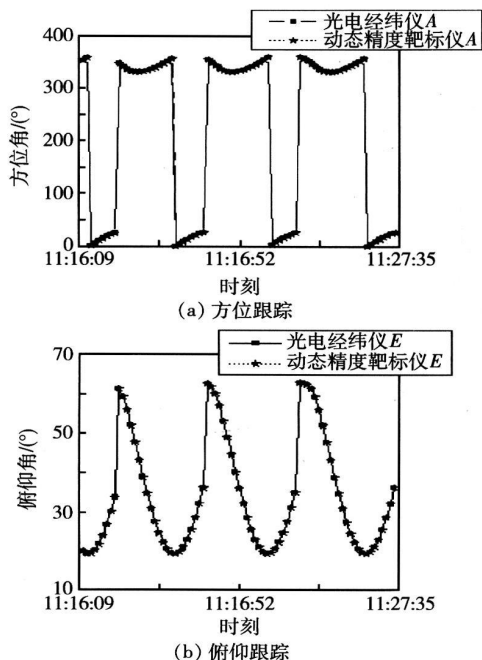


图 4 方位和俯仰跟踪误差结果

Fig. 4 Azimuth and elevation result of tracking error:
(a) azimuth tracking; (b) elevation tracking

$$A = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}; E = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (3)$$

根据贝塞尔公式(3)得跟踪随机均方差 $E = 16.8062$, $A = 18.8299$;方位系统误差最大值为 197,俯仰系统误差最大值为 169。

3.6 过渡过程时间 t_s , 超调量

测量时,将红外视场的 2/3 区域定义为线性区,使光学测量系统处于手动状态,将目标调至线性区边缘,然后由手动状态切至自动跟踪状态,同时计算机记录数据。此时目标由线性视场边缘迅速回至中心点,直至稳定,此运动过程就是伺服系统过渡过程。检测结果如图 5 所示。可以看出,过渡过程时间和超调量分别为 $t_s < 0.5\text{ s}$, $< 5\%$ 。^[7]

4 结束语

通过对靶场实际检测需求分析研究,以现有的检测装备为基础,对动态精度靶标进行改造,实现引导跟踪,并以某型号的光电经纬仪伺服系统实际检

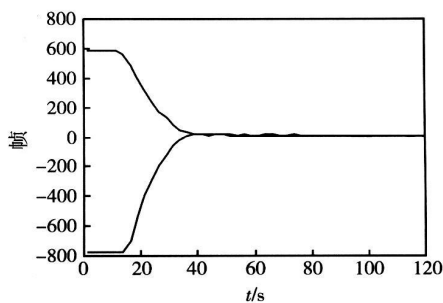


图 5 过渡过程检测结果

Fig. 5 Transition course detection result

测为例,验证了该检测方法的正确性和可行性。该检测方法可以应用到靶场的光电经纬仪伺服控制系统的检测中,还可以用于其他各种不能自动跟踪光电测量装备的动态精度检测,不仅拓展了动态精度检测靶标的应用范围,而且对靶场具有实用价值。

参考文献

- [1] 何照才. 光学测量系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002 (He Zhaocai. Optical Measuring System[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002)
- [2] 李景镇. 光学手册[M]. 北京: 科学技术出版社, 1986(Li Jingzhen. Optical Handbook[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1986)
- [3] 张波. 可编程动态旋转靶标标定方法[J]. 光学精密工程, 2003, 11(2): 176-180(Zhang Bo. Calibration of Programmable Dynamic Target[J]. Optics and Precision Engineering, 2003, 11(2): 176-180)
- [4] 贾峰, 李桂芝, 李阳. 光电经纬仪室内检测系统的研究与应用[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(3): 32-35 (Jia Feng, Li Guizhi, Li Yang. Research on Application of Cinetheodolite Indoor Test System [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2011, 30(3): 32-35)
- [5] 赵曙光, 郭万友, 杨颂华, 等. 可编程逻辑器件原理、开发与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000(Zhao Shuguang, Guo Wanyou, Yang Songhua, et al. Programming Logic Device Principle, Development and Application [M]. Xi an: Xidian University Publishing House, 2000)
- [6] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000(Fei Yetai. Error Theory and Data Processing[M]. Beijing: China Machine Press, 2000)
- [7] 赵贤森. 经纬仪原理、使用与检定[M]. 北京: 中国计量出版社, 1993(Zhao Xiansen. Theodolite Principle, Use and Calibrating [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1993)