文章编号:1001-5078(2012)07-0786-04

· 红外材料与器件 ·

双波段机载光电平台跟踪精度检测装置分析

张 宁1,沈湘衡1,宋 莹1,2

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林长春130033;2. 中国科学院研究生院,北京100039)

摘 要:为保证某型号双波段机载光电平台的可见光电视、红外跟踪测量系统在跟踪精度室内 检测过程中能够同时接收目标并可以任意切换,提出了一种可产生双目标的新型检测装置。 文中主要分析了机载平台与检测装置之间的空间位置关系和数学模型,描述了检测装置的两 个目标在做圆周运动的同时进行同步调整的必要性,并建立了同步调整误差模型。实验表明, 当检测装置的两个目标以周期为20s做匀速圆周运动时,旋转轴均方根误差为1.21",两轴系 同步误差为19.2",满足机载平台跟踪精度的检测要求。

关键词:机载光电平台;检测装置;跟踪精度;数学模型;同步误差

中图分类号: V556.5 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn. 1001-5078.2012.07.015

Tracking error analyzing model of dual-band airborne optoelectronic platform

ZHANG Ning¹, SHEN Xiang-heng¹, SONG Ying^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: A new system is developed for testing the tracking error of dual-band airborne optoelectronic platform with visual TV/IR tracking and measurement systems. Visual TV/IR tracking and measurement systems detect the targets at the same time and they can be switched arbitrarily with this new testing device. The paper analyzes the space relationship and mathematical model between airborne platform and testing device. The necessity of double targets' angle synchronous adjustment is given. At last, the mathematical model of synchronous error is built. The experiment results indicate that the RMS error of swivel bearing is 1.21", and the RMS error of adjustment bearing is 19.2", when the double targets of testing device move circularly with the period of 20 s. The results show that the resting device meets the demands of testing the tracking error of airborne platform.

Key words: airborne optoelectronic platform; testing device; tracking precision; mathematical model; synchronous error

1 引 言

由于机载光电平台(简称机载平台)系统装载在 飞机上,载机的姿态变化、振动和飞行中的风阻^[1]等 会造成光电平台视轴指向的不稳定^[2]。为了克服这 些影响,需要在光电平台上建立稳定控制系统^[3],同 时为了完成对目标的跟踪测量,需要利用跟踪伺服系 统完成对视轴指向的控制。因此,机载平台的跟踪精 度是影响机载平台性能的重要指标,在机载平台的调 试和检测过程中需要对该项指标进行检测^[4]。为此, 需要研制专门的检测装置进行检测。

某型号机载光电平台同时装有可见光电视和红

外两个波段的跟踪测量系统,在室内对跟踪精度检测过程中需要同时对两个成像系统进行成像跟踪检测。检测过程中要求一个成像系统完成跟踪,另一 个系统进行成像并提取脱靶量信息,而且可以完成 跟踪系统的任意切换,现有的检测装置均不满足检 测需要。因此,为完成对该机载平台的检测,提出了 能够提供满足双波段机载平台跟踪性能检测要求的 双目标检测装置,并利用该检测装置进行了实验。

作者简介:张 宁(1982 -),男,博士,助研,主要研究方向为光 电测量设备动态性能评价。E-mail;ning0025@163.com 收稿日期;2012-02-03

本文主要介绍了机载平台与检测装置的空间关 系和检测装置的模型。为满足检测要求,分析了检 测装置的双目标实时调整的必要性。检测装置双目 标实时调整与目标旋转的同步误差是决定检测装置 性能的一个重要指标,文中分析了同步误差模型,并 利用检测装置进行实验,给出了实验结果。结果表 明,可以利用该检测装置完成双波段机载平台跟踪 精度的检测。

2 机载平台与检测装置的模型关系

2.1 机载平台与检测装置的空间位置

双波段机载光电平台与检测装置的空间位置关 系如图1所示。机载平台有红外跟踪测量系统和可 见光电视跟踪测量系统,并且在工作过程中需要同 时对目标进行跟踪并给出目标信息。为此,检测装置 需要提供两个目标。为保证在室内检测过程中,目标 能够在相机上成像,检测装置采用平行光管产生模拟 无穷远目标。平行光管采用卡塞格林结构^[5]。旋转 臂绕旋转轴旋转,使目标绕旋转轴做圆周运动,产生 用于机载平台的动态目标。为了使双波段机载平台 跟踪过程中,可见跟踪系统和红外跟踪系统不丢失目 标,需要使双光管绕调整轴实时角度调整。



Fig. 1 the testing model between airborne platform and testing device

2.2 机载平台跟踪与检测装置的数学模型

机载平台与检测装置的数学模型可以用图 2 所示。为简化表述,取检测装置的一个目标进行说明。 点 *0* 是机载平台水平轴和垂直轴的交点,点 *T* 是靶标上模拟目标的光点。目标为 *T*,检测装置的半锥角 *a*,旋转轴线与水平面夹角 *b*。根据设计指标,*a* = 25°,*b* = 30°。



图 2 机载平台与检测装置的位置关系

Fig. 2 the space relation between airborne platform and testing device

为了便于描述机载平台与检测装置的数学模型,将图 2 中检测装置运动目标以平面 XOY 进行 180°投影,得到模型如图 3 所示。此时的模型与用 于光电经纬仪检测的动态靶标模型一致^[6-7]。



Fig. 3 the space relation of projection of 180°

检测时,目标在垂直于 OR 轴线的平面内做圆 周运动。假定目标在最高位置点 T₀ 开始运动到点 T,机载平台的视轴也由 OT₀ 运动到 OT。a 为目标 点 T 方向与检测装置旋转轴线 RT 的夹角,也是机 载平台跟踪视轴与检测装置旋转轴线的夹角, b 为 旋转轴线 OR 与水平面的倾角, A 为平台方位角, E 为平台俯仰角。根据球面三角定理,机载平台的方 位角 A、俯仰角 E 都将随 θ 角的变化按下述公式改 变:

$E = \arcsin(\cos a \sin b + \sin a \cos b \cos \theta)$	(1	l)
--	----	---	---

 $A = \arcsin(\sin a \sin \theta / \cos E) \tag{2}$

当检测装置标的目标做匀速圆周运动,且运动

角速度为 ω 时,对式(1)、式(2)求导方位角速度 \dot{A} 和俯仰角速度 \dot{E} ,进一步求导得到目标运动的角加速度 \ddot{A}, \ddot{E}_{o} 。

当检测装置的运动周期为 20 s 时,最大方位角 速度 \dot{A}_{max} = 14. 74°/s,最大方位角加速度 \ddot{A}_{max} = 5.23°/s²,最大俯仰角速度 \dot{E}_{max} = 8.45°/s,最大俯 仰角加速度 E_{max} = 2.57°/s²。

3 检测装置的双目标同步调整

为了保证同时为双波段机载平台提供可见、红 外目标,在检测装置上安装了两个平行光管模拟无 穷远目标。两个光管平行,并且间距与机载平台两 个跟踪系统的位置间隔一致。在检测装置的目标做 圆周运动过程中,两个平行光管必须绕调整轴做旋 转速度相等,方向相反的调整运动,并且采用同步控 制信号,保证机载平台能够完成对目标的跟踪而不 丢失。

3.1 双目标同步调整的必要性

检测过程中,假设两个平行光管固定不动,随着 检测装置旋转臂的运动,目标源的运动轨迹如图 4 所示。假设两个模拟目标分别为 *T*₁ 和 *T*₂,靶标旋 转臂绕 *O* 点旋转时,两平行光管的中心在以 *OO*'为 半径,*O* 点为圆心的圆 *OO*'运动,两个平行光管始终 位于圆 *OO*'的法线上。则形成如图 4 的运动轨迹。 由于机载平台的两个跟踪系统有两个自由度,但其 中一个系统的自由度存在角度限制,不能任意旋转 和调整角度,必须依附于主跟踪系统。这样,机载平 台在跟踪检测装置时,会使一个跟踪系统失去目标, 达不到两个系统同时检测的目的。



图 4 目标位置固定不动时的运动轨迹图 Fig. 4 the running track of fixed target

为达到两个跟踪系统同时检测的目的,必须使 检测装置的两个平行光管绕一个轴系旋转来调整两 个平行光管的角度。这个轴系相对动态靶标旋转臂 轴系而言,称之为调整轴。调整轴的旋转角速度与 旋转轴一致,并且方向相反时,正好可以保证两个平 行光管距离圆心 0 的位置始终保持不变,则可使机 载平台的两个系统同时可以跟踪到目标,从而完成 双波段机载平台跟踪精度的检测,此时运动轨迹如 图 5 所示。



图 5 目标随角度调整时的运动轨迹图 Fig. 5 the running track of dynamic target which

is adjusting synchronously

3.2 同步调整误差分析

当检测装置的旋转轴和调整轴具有相同的角速 度并同步控制^[8]时,才可以保证机载平台的两个成 像跟踪系统均可以接收到目标。但是,实时控制过 程中,不可能完全做到准确同步,它们之间的差值这 里称为同步调整误差简称同步误差,相对精度称为 同步精度。

下面利用图 6 对同步调整误差进行分析。由图 6,假设任一时刻旋转臂位于 OO'位置,两平行光管 为 T_1, T_2 。经 Δt 时间后,旋转臂逆时针运动到 OO''位置处,转过角度,则调整轴需要同时顺时针转过角 度 θ 来调整平行光管位置。但是由于各种原因,调 整轴实际转过的角度为 $\theta' = \theta + \Delta \theta$ 。则旋转轴和调 整轴之间同步误差为 $\Delta \theta$ 。



图 6 旋转轴与调整轴的同步误差示意图 Fig. 6 synchronization error between swivel bearing and adjustment bearing

3.3 同步调整误差实验

检测装置的主要指标如下:旋转轴旋转误差不 超过 2"(均方根误差),同步误差不超过 30"(均方根 误差)。下面对检测装置的旋误差和同步误差进行 分析。

(1)当旋转轴以角速度为10°/s 做匀速圆周运 动时,旋转轴误差曲线如图7所示。此时旋转误差 均方根值为1.02″。



步误差最大值为47",误差均方差为15.1",满足30" 的指标要求。



11111



when the signal speed is $10^{\circ}/s$

(2)当旋转轴以角速度为 20°/s 做匀速圆周运 动时,旋转轴误差曲线如图 9 所示。此时旋转误差 均方根值为 1.21"。



图 9 角速度为 10°/s 时的旋转轴实时误差曲线 Fig. 9 the real-time curve of swivel bearing when the signal speed is 10°/s

此时,两轴系之间实时同步误差如图 10 所示。 此时同步误差最大值为 65",误差均方差为 19.2", 满足 30"的指标要求。



4 结 论

为了满足某型号带有可见、红外双波段跟踪测 量系统的跟踪精度检测,专门研制了某检测装置。 文中根据机载平台与检测装置之间的空间位置关系 给出了数学模型。通过分析数学模型,分析了检测 装置的两个目标在旋转的同时需要同步调整的必要 性,并给出了同步误差模型。利用研制的某检测装置 进行了实验。检测装置在功能上实现了双目标圆周 运动和同步角度调整的要求。当检测装置双目标以 周期为20s做匀速圆周运动时,旋转轴均方根误差为

1.21",两轴系同步误差为19.2",满足设计指标要求。 参考文献:

- [1] Liu Jiayan. Drag analysis of airborne photoelectric platforms[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 34 (2): 80-82. (in Chinese)
 刘家燕. 机载光电平台风阻分析[J]. 长春理工大学学报:自然科学版,2011,34(2):80-82.
- [2] Wang Ping, Wang Wei, Ding Jinwei, et al. Vibration damping design for airborne electro-optical surveillance platform[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19 (1):83-89. (in Chinese)
 王平,王伟,丁金伟,等. 机载光电侦察平台复合减振

设计[J]. 光学 精密工程,2011,19(1):83-89.

- [3] Zhang Jingyue, Ji Ming, Wang Huilin. Modeling and simulation of airborne stabilized sighting system[J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(6):491-495. (in Chinese) 张璟玥, 纪明, 王惠林. 机载稳瞄控制系统模型及仿真 分析[J]. 应用光学, 2006, 27(6):491-495.
- [4] Du Man, Li Benjun. A method of high accuracy evaluation for airborne dynamic inertial navigation platform[J]. Journal of Spacecraft TT & C Technology, 2005, 24(1): 23-25. (in Chinese) 杜曼,李本津. 一种机载平台动态测姿精度检验方法 [J]. 飞行器测控学报,2005,24(1):23-25.
- [5] Zhou Fengli, Li Xin, Dong Xuyong, et al. Alignment of cassegrain infrared optics system[J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(7):141-144. (in Chinese)
 周凤利,李辛,董续勇,等. 卡塞格林红外光学系统装 调技术研究[J]. 光电工程, 2011, 38(7):141-144.
- [6] Zhang Ning, Shen Xiangheng. Evaluating the tracking performance of photoelectric theodolite by using the amplitude frequency characteristic curve[J]. Laser & Infrared, 2011,41(7):793-799. (in Chinese)
 张宁, 沈湘衡. 基于幅频特性曲线的光电经纬仪跟踪性能评价[J]. 激光与红外,2011,41(7):793-799.
- [7] Zhang Ning, Shen Xiangheng, Yang Liang, et al. Evaluation of tracking performance of theodolite by using harmonic property of dynamic target [J]. Opt. Precision Eng., 2010, 18(6):1286 1294. (in Chinese) 张宁, 沈湘衡, 杨亮, 等. 利用动态靶标谐波特性评价 光电经纬仪的跟踪性能[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(6):1286-1294.
- [8] Yang Chenna, Zhang Yi. Design and simulation for double-motor synchronous control system [J]. Industrial Control Computer, 2009, 22(1):36-37. (in Chinese) 杨晨娜,张怡. 双电机同步控制系统的设计与仿真[J].工业控制计算机,2009,22(1):36-37.