

文章编号 1004-924X(2003)02-0176-05

# 可编程动态旋转靶标标定方法

张 波, 贺庚贤, 沈湘衡

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 动态旋转靶标可以给出检测光电测量设备跟踪精度和测量精度的空间角度真值, 针对动态靶标的空间角度标定问题提出了基于线阵 CCD 标定和视频判读标定的方法。他们是建立在对动态靶标空间位置重复性进行统计的基础上, 利用 Excel 等软件完成脱靶量数据处理。实验结果表明, 所提出的方法能够消除由于曝光、扫描和转移等时间不同步问题引起的单点电视脱靶量误差, 能够实现对动态靶标的标定。

**关键词:** 动态靶标; 动态标定; 线阵 CCD; 视频判读

**中图分类号:** V556.5 **文献标识码:** A

## Calibration of programmable dynamic target

ZHANG Bo, HE Geng-xian, SHEN Xiang-heng

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

**Abstract:** Some methods based on statistics for dimensional position and data processing by such software as Excel are suggested for the calibration of the dimensional angle shown by a dynamic target using linear matrix CCD and video interpretation. Experimental results show that these methods can be effectively used to reduce the TV undershoot errors resulting from asynchronous exposal, scan and transfer, and consequently achieve the calibration of dynamic target.

**Key words:** dynamic target; dynamic calibration; linear matrix CCD; video interpretation

## 1 引言

可编程动态旋转靶标是一种在室内检测光电跟踪测量设备的装置。利用该装置可以模拟一个空间运动目标, 供光电跟踪测量设备如光电经纬仪、红外跟踪测量系统、电视跟踪测量仪等进行跟踪和性能检测<sup>[1]</sup>。从功能上区分, 可编程动态靶

标可以单独作为跟踪靶标使用, 此时不需要对其在某一时刻的空间角度提出特定要求, 但是作为高精度测量靶标使用时, 需要准确地确定在任意时刻靶标的空间角度, 因此必须对靶标进行标定。

介绍了对动态靶标标定的几种方法, 提出了利用线阵 CCD 和视频判读法标定靶标的新思路, 并且利用视频判读法对旋转靶标进行了动态标定, 取得了令人满意的结果。

收稿日期: 2002-12-27; 修订日期: 2003-02-15.

基金项目: 中国科学院创新基金资助项目

## 2 动态靶标

动态靶标<sup>[2-3]</sup>由平行光管与反射镜  $S$  和编码器组成。当靶标的旋臂长度  $L$ , 出射平行光与旋转轴之间夹角  $a$  调整固定, 以及旋转轴与水平面夹角  $b$  确定之后, 被测仪器三轴交点  $O$  就是靶标旋转光锥的顶点。对于靶标的标定就是在  $O$  点测量靶标旋转光锥在一周内任意位置的空间角度的变化及其规律。图 1 为动态靶标的示意图。

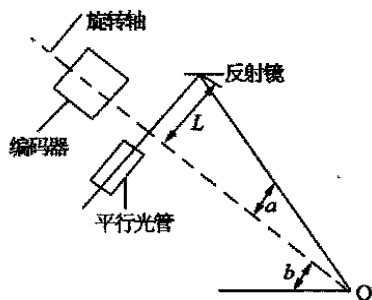


图 1 动态靶标示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dynamic target

动态靶标位置的空间角度输出基准是安装在靶标旋转轴上的 23 位高精度光电编码器, 分辨力是 0.154。靶标的空间角度是编码器角度值的相关函数。即有:

$$A_i = F(x_i, y_i), \quad (1)$$

式中:  $A_i$  为编码器角度值,  $x_i$  为空间方位角,  $y_i$  为空间高低角。

对动态靶标的空间角度进行精确标定可采用静态标定和动态标定两种形式。静态标定是指使动态靶标稳定在某些特定位置, 如:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  位置等, 并利用高精度经纬仪对其空间角度进行精度测量标定, 例如: 利用瑞士产的 Leica 全站仪, 精度为 0.5, 为被测试光电设备提供此时动态靶标代表的目标位置的空间指向角度值, 静态测量标定方法容易实现, 重复性好, 并可以作为动态标定的比对基准, 缺点是不可能 在  $360^\circ$  旋转锥角的范围内进行大密度测量。

在某一靶标位置得出静态标定的结果, 不能代表靶标在动态旋转时在该位置的空间角度, 原因是多方面的。诸如: 靶标在旋转过程中受离心力的作用产生的旋臂长度拉伸变形、旋转轴系的晃动等, 都可使靶标在动态过程中改变空间角度。

## 3 标定方法

为了准确地获得动态靶标在旋转过程中的空间角度, 用下列三种方法。

### 3.1 跟踪法标定动态靶标

利用在  $O$  点设置一台具有跟踪测量功能, 并能够实时记录和输出测量结果的高精度经纬仪, 如瑞士生产的 leica 激光跟踪仪, 当靶标旋转后, 用其对靶标进行实时跟踪测量, 并用计算机记录同一时刻的靶标编码器角度值、leica 激光跟踪仪的空间指向方位和俯仰角度值, 因该高精度跟踪仪具有 0.5 的测量精度, 所以其测量值可以用来作为动态靶标的标定值。

图 2 是跟踪测量标定方法的示意图。

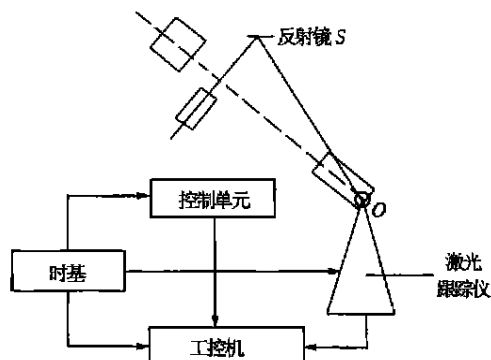


图 2 跟踪测量标定方法示意图

Fig. 2 Use of tracker for calibration

采用高精度经纬仪跟踪测量标定动态靶标, 操作简单, 可多次测量, 在用计算机进行数据处理后, 可以获得很高的精度 (标定精度取决高精度经纬仪的测量精度)。缺点是该仪器价格昂贵, 动辄数百万元, 同时连接时统设备需进行改造接口, 因此, 进行动态控制同步关系比较困难。

### 3.2 应用线阵 CCD 标定动态靶标

应用线阵 CCD<sup>[4]</sup> 标定方法如图 3 所示。在靶标出射光锥的任意位置, 设置一线阵 CCD 测量装置, 该装置可采用 5 036 像元的线阵 CCD 作为接收器件, 像元尺寸为  $7 \mu\text{m}$ , 接收光管焦距为 1 m, 则测角分辨力为 0.7, 有效视场为  $29.2^\circ$ 。该测量标定方法是当靶标的出射光斑扫过线阵 CCD 时, 在 CCD 输出信号中可以得到与光斑大小相对应的计数值, 对该光斑进行重复性位置计

数测量统计,检测其光斑位移,可以实现对靶标的动态标定,CCD 计数原理如图 4 所示。

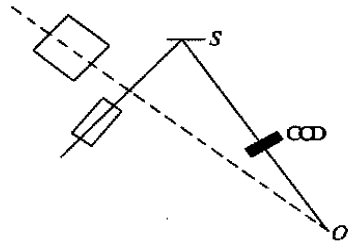


图 3 线阵 CCD 标定方法示意图

Fig. 3 Use of linear matrix CCD for calibration

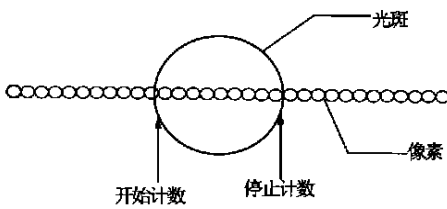


图 4 CCD 计数原理图

Fig. 4 CCD counting principle

在动态情况下获得的 CCD 计数值中,有下列关系存在:

$$L_d = L_c - L_i \quad (2)$$

式中:  $L_c$  为动态计数值,  $L_d$  为位移时产生的计数值,  $L_i$  为初始标定值。

线阵 CCD 接收光管固定不动,每次旋转靶标的出射光斑扫过 CCD 时会产生动态有效计数值  $L_c$ ,该值反映了靶标旋转后产生的各种影响位移的误差总效应,如轴系晃动、旋转臂变形等。从  $L_c$  中减去初始标定值  $L_i$ ,就可得到  $L_d$ ,而  $L_d$  即为位移量计数值,根据 CCD 视场和焦距可以换算成对应的空间角度变化量。对靶标空间角度变化量进行计算,并统计多次测量和不同位置,可以确定动态靶标空间角度变化的规律和精度<sup>[5-6]</sup>。

因为 CCD 曝光时间无法精确控制在光斑中心,所以应用这一方法,应首先静态标定光斑产生的初始标定计数值  $L_i$ ,静态标定光斑的示意图如图 5 所示。

在光斑图像的不同位置,让 CCD 曝光计数,会形成长度不等的  $L_1、L_2、L_3 \dots$  等计数值,利用该组数值建立一个数据库,在动态标定时,将动态计数值  $L_c$  和数据库中的所有不同值  $L_i$  进行逐点

相关比对,消除曝光时刻不同带来的计数误差,则计数值  $L_d$  就是动态靶标的空间位置变化量(需将 CCD 计数值换算成角度)。

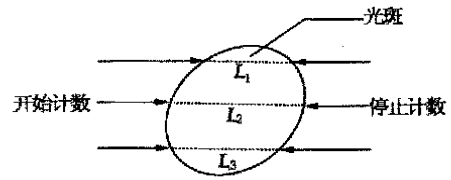


图 5 静态标定光斑示意图

Fig. 5 Diagram of facula for static calibration

利用线阵 CCD 进行动态靶标的标定可在出射光锥的任意位置进行。事实上也需要进行多点测量标定,该方法是单点动态测量和静态测量相结合的方法,具有单纯静态标定替代不了的优点,技术上实现容易,计算结果简单,动态标定可信度高。但是静态光斑数据库的建立需精确测定,因为形成一个具有对称几何形状的理想光斑还有一定的困难。

### 3.3 应用视频判读法标定动态靶标

利用视频判读的方法标定动态靶标的方法是判读电视图像信息中记录的动态靶标旋转光锥的运动轨迹,判别该运动轨迹在电视中形成的脱靶量时可忽视电视扫描同步时间引起的误差,只统计脱靶量轨迹在图像中的位置重复性,不追求某一点位的脱靶量,而是对光锥形成的轨迹进行统计,找出轨迹变化规律,以便得到动态靶标的空间角度变化规律。

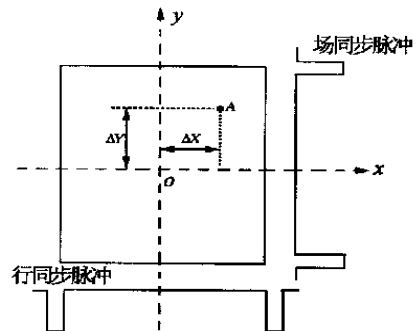


图 6 视频判读原理图

Fig. 6 Principle diagram of video interpretation

以靶面为原点建立笛卡尔坐标系,设 A 点为目标像点,它偏离坐标原点的量称为判读脱靶量,记作  $x、y$ 。由图 6 视频判读原理图可以看出,

$x$ 、 $y$  可以由同步脉冲与目标像点之间的时间关系来求得,这就是视频判读的原理<sup>[7-8]</sup>。将该原理用于标定动态靶标空间角度时,可以判读脱靶量形成的轨迹,靶标光锥形成的轨迹如图 7 所示。

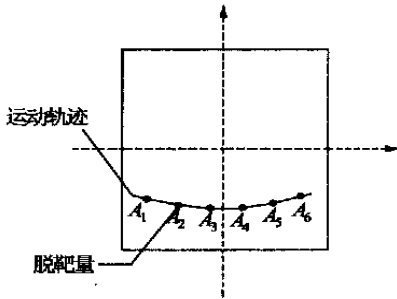


图 7 靶标光锥轨迹

Fig. 7 Track of target cone-shaped light

靶标旋转光锥的出射光斑在电视靶面上扫过,在靶面上形成脱靶量  $A_1、A_2、A_3 \dots$ 。用计算机判读该脱靶量序列并形成一条运动轨迹。虽然每一圈扫描过程中,因扫描时刻不同,会在不同位置出现  $A_1、A_2、A_3 \dots$  等不同点位脱靶量,因此会形成多条不同的运动轨迹,但是根据概率统计原理、利用 Excel 等工具软件进行处理,就可以从光锥运动形成的脱靶量序列轨迹中,得到靶标在动态旋转情况下空间角度的变化规律,这一方法也可以从模糊理论中得到验证和支持<sup>[9]</sup>。

视频判读的测量精度高,其判读对准误差可以做到一个像元,如果采用亚像元技术自动判读

还可提高精度。视频判读还可以在靶标旋转光锥做运动时成段落地监视标定。

### 4 实验结果

应用视频判读的方法,利用某型号光测设备电视系统对动态靶标进行了动态标定实验,并给出了实验结果。实验时,动态靶标以  $10^\circ/s$  速度旋转,录取数据共 8 组(见表 1),由于靶标光锥在水平方向穿越电视视场,因此在 8 组数据中, $Y$  方向电视脱靶量在  $X$  值近似相同时,变化范围  $< 2$ ,表明靶标位置在旋转过程中,轴系晃动和旋转臂变形等因素没有对靶标空间位置产生影响, $X$  方向的脱靶量变化大是由于电视扫描时间不同步引起,并不影响  $Y$  方向的测量结果,当靶标光锥在垂直方向穿越视场时,则上述结果正好相反。图 8 描述了电视脱靶量的 8 条轨迹的变化规律。从轨迹上看是基本重合的,反映了靶标空间角度位置重复性好,说明该靶标的标定结果是可信的。

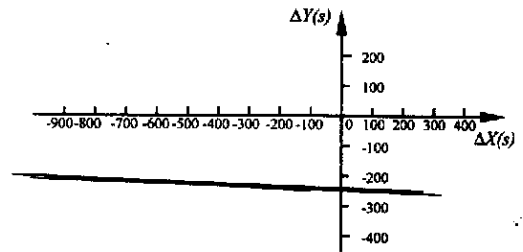


图 8 脱靶量的分布轨迹

Fig. 8 Distribution of TV undershoot error

表 1 实验数据

Tab. 1 experimental data sheet

第一组		第二组		第三组		第四组		第五组		第六组		第七组		第八组	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
270	- 266	310	- 266	204	- 266	290	- 266	204	- 266	290	- 266	346	- 269	323	- 269
23	- 259	66	- 262	- 42	- 259	42	- 262	- 42	- 259	42	- 262	92	- 266	69	- 266
- 221	- 252	- 184	- 252	- 290	- 252	- 204	- 255	- 290	- 252	- 204	- 255	- 148	- 259	- 178	- 259
- 468	- 245	- 429	- 248	- 541	- 255	- 455	- 248	- 541	- 255	- 455	- 248	- 399	- 248	- 425	- 248
- 716	- 238	- 679	- 238	- 785	- 238	- 702	- 241	- 785	- 238	- 702	- 241	- 643	- 241	- 676	- 245
- 963	- 231	- 924	- 231	- 1036	- 231	- 953	- 234	- 1036	- 231	- 953	- 234	- 894	- 234	- 920	- 238

## 5 结束语

长期以来,从事光电测量设备研制和检测的研究人员都在探讨对动态靶标的空间角度进行精确标定的理论和方法<sup>[10-11]</sup>。上述提到几种方法中,除跟踪法外都是建立在对靶标空间位置重复性的统计基础上实现,避免了由于电视曝光、转移

和扫描时间不易控制,给测量某一点位置精度造成的困难。实现该方法有成熟的硬件技术支持,并有 Excel 等实用软件工具可以处理大批量数据,因此是一种切实可行的方法,并可适用于其它形式如二维运动的动态靶标的标定。当然在采用线阵 CCD 和视频判读法标定动态靶标时,还可用自准光管对靶标轴系晃动等进行监测,以便提高动态标定的准确度。

### 参考文献:

- [1] 何照才,胡保安. 光学测量系统[M]. 北京:国防工业出版社,2002.  
HE ZH C, HU B A. *Optical measurement system* [M]. Beijing: National Defence Industries Press,2002. (in Chinese)
- [2] 王世华. 778 光电经纬仪的动靶标引导[J]. 光学工程,1986,2:61-66.  
WANG SH H. The guiding for the moving targets of the photoelectric theodolite 778[J]. *Optics Engineering*,1986,2:61-66. (in Chinese).
- [3] 李书贵. 舰用光电跟踪设备的仿真测试技术[J]. 舰船光学,1997,2:24-29.  
LI SH G. Simulation and measure technology of marine photoelectric tracking equipment[J]. *Marine Optics*, 1997,2:24-29. (in Chinese)
- [4] 蔡文贵,李永远,许振华. CCD 技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,1992.  
CAI W G,LI Y Y,XUE Z H. *CCD technology and application* [M]. Beijing: Electronic Industries Press,1992. (in Chinese)
- [5] 费业泰. 测量理论与数据处理[M]. 北京:机械工业出版社,2000.  
FEI Y T. *Measuring theory and data process* [M]. Beijing: Machine Industries Press,2000. (in Chinese)
- [6] 李志范,高文森. 数理统计与随机过程[M]. 长春:吉林大学出版社,2000.  
LI Z F, GAO W S. *Numeric statistic and random process* [M]. Changchun:Jilin University Press,2000. (in Chinese)
- [7] 沈湘衡,李清军,王健军. 利用视频判读进行白天测量方法的研究[J]. 光学 精密工程,2000,8(2):189-191.  
SHEN X H, LI Q J, WANG J J. Measuring star with video interpretation in daytime [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000,2:189 - 191. (in Chinese)
- [8] 李清军. 快速视频判读方法的研究[J]. 光学 精密工程,2000,8(4):321-324.  
LI Q J. Method of fast video interpretation[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000,8(4):321 - 324(in Chinese).
- [9] 李士勇. 模糊控制、神经控制与智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.  
LI SH Y. *Fuzzy control, neural control and intelligent cybernetics* [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1996. (in Chinese)
- [10] MA J G. Tracking and measuring technology of a tracking theodolite[J]. *SPIE*, 1992,1979:719-728.
- [11] KRISHNA R. Improved pointing accuracy using high-precision theodolite measurements[J]. *SPIE*, 1996,2812:199-220.

作者简介:张 波(1974 - ),女,吉林省吉林人,2000 年长春光学精密机械与物理研究所读硕士研究生,研究方向:光电测量设备精密检测技术。E-mail: zhanghui-net @163. net