

文章编号: 2095-2163(2019)01-0050-03

中图分类号: TP311.52

文献标志码: A

# 一种光电经纬仪室内动态误差检测方法分析

王玉坤, 贾娜

(91550 部队 42 分队, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 动态测角误差是光电经纬仪的重要指标之一。如何解决其室内动态测角误差的检测问题和评估工作是一项十分重要的课题, 本文主要介绍了小角度扰动法在室内检测某型光电经纬仪动态测角误差中的应用。叙述了检测设备的组成、检测方法、数据处理过程及测量结果和实践应用的检验。这一检测方法适用于新型光电经纬仪的动态测角精度的室内检测, 其检测结果可作为光电经纬仪在外场中的动态测角精度的依据。

**关键词:** 扰动法; 经纬仪; 平行光管; 动态误差

## Analysis of a photoelectric theodolite indoor dynamic error detection method

WANG Yukun, JIA Na

(No.91550 Troops of PLA, Dalian Liaoning 116023, China)

**[Abstract]** The dynamic angles error testing of theodolite is one of the most important guide line. How to solve the indoor dynamic angles error testing and evaluating is a very important work, This paper introduces the dynamic angles error used in certain indoor theodolite testing and evaluating, and describes the equipment's composing, checking methods, data processing and practice application. The methods is used to achieve the indoor dynamic angles error testing and evaluating, and the results can be the basis of the outfield dynamic angles error testing and evaluating.

**[Key words]** perturbation method; theodolite; parallel optics cannulation; dynamic error

## 0 引言

随着科学技术的不断进步, 可见光、红外探测等现代光电技术的应用得到了飞速的发展。可见光数字测量系统作为光电经纬仪的主要分系统, 用于完成目标探测并获取飞行目标实时图像资料, 其测量结果实时输出并送给伺服系统, 实现对目标的动态跟踪测量。数字相机在跟踪相对运动速度较高目标时, 存在目标成像拖尾现象, 会加大其动态误差。为此, 数字图像测量系统的动态测角误差的检测显得尤为重要。本文介绍了光电经纬仪动态精度指标的室内检测方法, 即小角度扰动法。通过小角度扰动法对某型号光电经纬仪数字图像测量系统的动态测角精度进行检测, 积累了一些室内精度检测经验, 并在实践中得以应用, 解决了光电经纬仪的室内装备动态精度检测只能依靠跟踪动态目标的检测手段的单一问题。小角度扰动法检测系统结构简单、过程便于操作、检测结果可靠。

## 1 光电经纬仪工作原理及检测系统结构

光电经纬仪是由电影经纬仪发展而来的, 是经

纬仪与光电探测装置结合的产物。经纬仪机架为 3 轴(垂直轴、水平轴、视准轴)地平装置。机架 3 轴相互垂直, 水平轴和视准轴可以绕垂直轴在水平面内旋转, 光电探测装置装于水平轴上, 其主光轴为视准轴, 并与水平轴垂直, 可以绕水平轴在垂直平面内旋转。在垂直轴和水平轴上分别装有轴角编码器<sup>[1-2]</sup>。视准轴绕垂直轴旋转时在垂直轴编码器读出的角度称为方位角  $A$ , 视准轴绕水平轴旋转时在水平轴编码器读出的角度称为俯仰角  $E$ 。这样, 只要视准轴瞄准目标就能得到光轴指向目标的方位角和俯仰角。

为了确保精度检测的可靠性, 检测系统采用传统的 T 型架加装水平光管和高角平行光管, 其结构组成如图 1 所示。检测系统主要包括 T 型架、水平平行光管、高角平行光管、隔离地基环、高精度 T4 经纬仪、高精度水平仪和待检测经纬仪。

首先, 将 T4 经纬仪放置到 T 型检测架的水平光管与高角光管交汇的测量基座圆心处, 对水平光管进行测量得出水平光管的测量值  $A_1$  和  $E_1$ , 然后再用 T4 经纬仪对  $65^\circ$  高角的光管进行测量, 得出测量值  $A_2$  和  $E_2$ <sup>[3-4]</sup>。这样可得出 2 光管发出的 2 束平行

作者简介: 王玉坤(1978-), 男, 学士, 工程师, 主要研究方向: 光学测量; 贾娜(1986-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 光学测量。

收稿日期: 2018-11-22

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

光的夹角  $A_0$  和  $E_0$ , 即:

$$A_0 = A_2 - A_1 \quad (1)$$

$$E_0 = E_2 - E_1 \quad (2)$$

通过上式得出了水平光管和高角光管的空间夹角。然后再将被检测经纬仪放置到测量基座上, 调整到可同时测量到水平光管和高角光管的位置后, 对经纬仪进行调平(调平精度要求小于 1 角秒), 调平后用被检测经纬仪对水平光管和高角光管进行测量, 通过事后测量数据处理, 得出经纬仪测量的水平光管和高角光管的夹角  $A$  和  $E$ , 然后用经纬仪的夹角测量值减去 T4 经纬仪的测量值得出静态测量误差  $\Delta A_0, \Delta E_0$ , 即:

$$\Delta A_0 = A - A_0 \quad (3)$$

$$\Delta E_0 = E - E_0 \quad (4)$$

得出静态测量误差后, 再将经纬仪对准高角平行光管进行正弦扰动, 正弦扰动的中心角装定为  $A_2$  和  $E_2$ , 正弦扰动的摆幅为可见光视场的一半, 即 8.5 角分的摆幅。在这样的摆幅下做小角度扰动测量, 这样, 高角的平行光管的星点目标就在测量画幅内记录了相对运动轨迹。通过图像存储记录下星点目标运动轨迹, 通过事后处理得到一组高角光管的动态测量值, 用这一组得到的动态测量值与标定值  $A_2$  和  $E_2$  做差进行误差统计, 获得经纬仪的动态测角误差增量  $\delta A_0, \delta E_0$  [4-5]。

将静态误差与动态测量误差增量 2 个误差源合成, 根据公式(3)和(4)可得出经纬仪的动态测量误差  $\delta_A$  和  $\delta_E$ 。

$$\delta_A = \sqrt{(\Delta A_0)^2 + (\delta A_0)^2} \quad (5)$$

$$\delta_E = \sqrt{(\Delta E_0)^2 + (\delta E_0)^2} \quad (6)$$

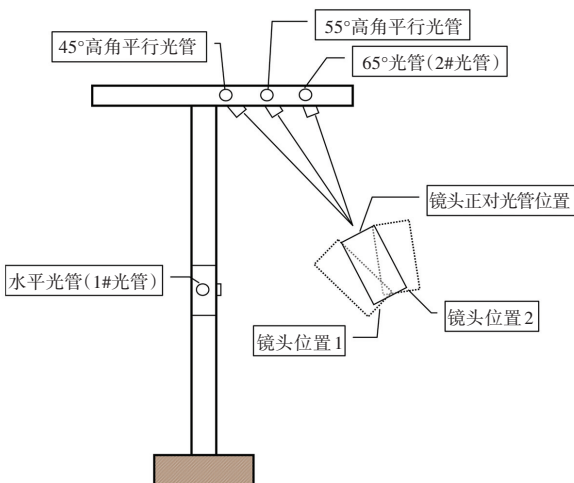


图 1 室内 T 型检测架结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of T indoor testing rack

## 2 检测方法及数据处理

### 2.1 平行光管标定

用高精度 T4 经纬仪对水平光管和高角光管进行测量记录, 得出水平光管和俯仰角为  $65^\circ$  的高角光管的夹角  $A_0$  和  $E_0$ 。

### 2.2 调整测量装备的工作状态

装备进行调平, 对水平光管和高角光管进行静态测量和动态测量, 在测量过程中对目标进行同步图像记录, 并事后进行图像判读处理获得被检测装备的照准差、零位差、水平轴倾斜误差及静态测量误差和动态误差增量 [6]。

### 2.3 图像存储与判读

装备在对光管进行图像记录时, 采用 20 Hz 记录频率对目标进行静态和动态测量, 获得静态和扰动图像。事后用图像判读软件对目标进行判读得到装备测量数据, 要求判读软件的图像处理精度为 0.5 角秒。

### 2.4 静态测量误差检测

用经纬仪对准 1# 平行光管和 2# 平行光管进行图像记录, 对得到的 2 组图像进行事后数据判读处理, 得到方位角和俯仰角的测量值, 根据公式(7)至(11)获得装备的照准差、零位差和静态测角误差, 检测结果见表 1。

$$C = (A_{\text{正镜}} - A_{\text{倒镜}} \pm 180) \times 3600/2 \quad (7)$$

$$L = (E_{\text{正镜}} + E_{\text{倒镜}} - 180) \times 3600/2 \quad (8)$$

$$I = C_{\text{高角}} - C / \cos(\text{RADIANS}(E_2)) / \tan(\text{RADIANS}(E_2)) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta A_0 &= (A_2 - A_1 - A) * 3600 - \\ &C * (1/\cos(\text{RADIANS}(E)) - 1) - \\ &I * \tan(\text{RADIANS}(E)) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Delta E_0 = (E_2 - E) * 3600 - L \quad (11)$$

表 1 静态测角误差检测结果

Tab. 1 Testing results of static angular error

光管标号	方位实测值	俯仰实测值	2#与 1#夹角 标定值
1# 正镜( $A_1, E_1$ )	242.849 030	359.665 72	$A =$ 90.162 6
1# 倒镜( $A'_1, E'_1$ )	62.847 394 7	180.333 11	$E =$ 63.690 9
2# 正镜( $A_2, E_2$ )	333.008 857	63.690 521	
2# 倒镜( $A'_2, E'_2$ )	153.009 480	116.308 21	
照准差( $C$ )		2.95	
零位差( $L$ )		- 2.11	
水平轴倾斜误差( $I$ )		- 3.85	
方位静态测角误差( $\Delta A_0$ )		- 5.88	
高低静态测角误差( $\Delta E_0$ )		0.74	

## 2.5 动态误差增量检测

光电经纬仪对准高角平行光管进行正弦扰动,同时记录图像,通过事后处理得到一组测量值,这一组测量值取平均值后,用每组测量值与平均值进行做差,并统计随机误差,本次实验测量值取 800 帧数据源进行的误差统计,其统计结果见表 2。

表 2 扰动的误差统计结果

Tab. 2 Statistical results of disturbance error

设备代号	方位角 A/ s		俯仰角 E/ s		抽样比 对帧数
	均值	标准差	均值	标准差	
第一次扰动检测结果	2.81	1.676 5	-2.61	1.649	800
第二次扰动检测结果	3.13	2.31	-4.95	2.55	800
平均误差	2.97	1.99	3.78	2.10	
误差合成	3.58		4.32		

## 2.6 计算动态测量精度

将装备的静态测量误差和动态误差增量按公式(5)和(6)进行误差合成,获得装备的动态测量精度如下:

$$\delta_A = \sqrt{(-5.88)^2 + (3.58)^2} = 6.88 \text{ (角秒)}$$

$$\delta_E = \sqrt{(0.74)^2 + (4.32)^2} = 4.39 \text{ (角秒)}$$

## 3 外场精度实验检验

小角度扰动法检测的动态测量精度结果,通过在外场精度实验过程中跟踪动态目标的 GPS 差分精度结果进行比对。在精度实验中抽取光电经纬仪的测量数据与 GPS 差分测量数据 4 000 个点进行比对,得到的 2 次精度实验的比对结果见表 3。

将上表中 2 次实验获得的系统误差平均值和标准差平均值合成,获得光电经纬仪的动态测量误差为:

$$\delta_A = \sqrt{(-0.55)^2 + (1.935)^2} = 2.01 \text{ (角秒)}$$

$$\delta_E = \sqrt{(-4.485)^2 + (2.99)^2} = 5.39 \text{ (角秒)}$$

表 3 2 次精度实验比对结果

Tab. 3 Comparing results of the two accuracy tests

精度实验	方位角 A/ s		俯仰角 E/ s		抽样比 对帧数
	均值	标准差	均值	标准差	
第一次精度实验结果	2.16	1.42	-3.45	3.30	4 000
第二次精度实验结果	-3.26	2.45	-5.52	2.68	4 000
平均误差	-0.55	1.935	-4.485	2.99	

通过外场进行的精度实验可获得的动态测量精度与室内小角度扰动法获得的动态测量精度检测结果相同,满足了光电经纬仪的动态测量精度指标要求。

## 4 结束语

采用小角度扰动法对光电经纬仪进行室内动态测量精度检测和评估,是一种简便有效的检测手段。光电经纬仪采用小角度扰动法对静止目标进行扰动测量所获得的动态测量误差,可以作为光电经纬仪外场动态测角精度指标检测的依据。

## 参考文献

- [1] 何照才,胡保安. 光电测量[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 侯宏录,周德云,王伟,等. 基于星体标定的光电跟踪系统测角精度评定[J]. 光电工程,2006,33(3):5-10.
- [3] 冯捷. 基于动态靶标光电经纬仪测角精度室内检测方法研究[D]. 西安:中国科学院研究生院,2009.
- [4] 景文博. 基于图像处理技术的靶场目标检测算法的研究[D]. 长春:长春理工大学硕士论文,2005.
- [5] 陆斌. 基于光学经纬仪的测量对象方法研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):342-343.
- [6] 赵金宇,王德兴,李文军,等. 望远镜系统误差动态修正的一种新方法[J]. 红外与激光工程,2005,34(2):244-247.

(上接第 49 页)

- [5] LAGE K, KARLBERG E O, STØRLING Z M, et al. A human phenome-interactome network of protein complexes implicated in genetic disorders[J]. Nature Biotechnology, 2007, 25(3): 309-316.
- [6] WU Xuebing, LIU Qifang, JIANG Rui. Align human interactome with phenome to identify causative genes and networks underlying disease families[J]. Bioinformatics, 2009, 25(1): 98-104.
- [7] LI Y, PATRA J C. Genome-wide inferring gene-phenotype relationship by walking on the heterogeneous network[J]. Bioinformatics, 2010, 26(9): 1219-1224.
- [8] PERI S, NAVARRO J D, AMANCHY R, et al. Development of human protein reference database as an initial platform for approaching systems biology in humans[J]. Genome Research, 2003, 13(10): 2363-2371.
- [9] HAMOSH A. Online Mendelian Inheritance in Man (OMIM), a knowledge base of human genes and genetic disorders[J]. Nucleic

Acids Research, 2005, 33(1):52-55.

- [10] WU Xuebing, JIANG Rui, ZHANG M, et al. Network-based global inference of human disease genes[J]. Molecular Systems Biology, 2008, 4(189): 189.
- [11] ZHANG S W, SHAO D D, ZHANG S Y, et al. Prioritization of candidate disease genes by enlarging the seed set and fusing information of the network topology and gene expression[J]. Molecular BioSystems, 2014, 10(6): 1400-1408.
- [12] VIRMANI A K, TSOU J A, SIEGMUND K D, et al. Hierarchical clustering of lung cancer cell lines using DNA methylation markers[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2002, 11(3):291-297.
- [13] SUGA Y, MIYAJIMA K, OIKAWA T, et al. Quantitative p16 and ESRI methylation in the peripheral blood of patients with non-small cell lung cancer[J]. Oncology Reports, 2008, 20(5): 1137-1142.