

文章编号: 1003-501X(2006)03-0017-03

一种光电经纬仪单项差检测新方案

郎小龙, 赵 强

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130031)

摘要: 提出了一种光电经纬仪单项差检测新方案, 光电经纬仪以正镜瞄准不同俯仰角度目标测得的方位角与高精度经纬仪标定的方位角真值有一定差异, 利用这种差异与光电经纬仪的照准差和不垂直度误差之间的内在联系, 推导出光电经纬仪的照准差和不垂直度误差。新检测方案的单项差测量误差小于 $10''$ 对由于结构限制不能进行倒镜测量的机载光电测量系统单项差修正有实际意义。

关键词: 光电经纬仪; 机载光电测量系统; 照准差; 不垂直度误差

中图分类号: TH761.1

文献标识码: A

New testing approach for sighting error and non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis for a photoelectrical theodolite

LANG Xiao-long, ZHAO Qiang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China)

Abstract: There is a difference between different azimuths measured by a photoelectrical theodolite in normal position of telescope and azimuths measured by a higher accurate theodolite in vary pitch angles, the indwelling affiliation is existed in the difference with the sighting error and non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis for a photoelectrical theodolite, then both errors of a photoelectrical theodolite is deduced. The error of the new test method is less than $10''$, by way of developing the new testing method, it has practical meaning to correct above errors for an airborne photoelectrical measurement system which can't aim in reversed position of telescope because of structural limit.

Key words: Photoelectrical theodolite; Air-borne photoelectrical measurement system; Sighting error; Non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis

引 言

机载光电测量系统以视野限制小、可以对目标全程跟踪等优点正日益受到重视。但是, 作为靶场观测设备家族的后起之秀, 仍有许多棘手问题制约着机载光电系统的研制、生产。比如, 一般机载光电测量设备的水平轴运动范围受到结构限制, 导致视轴在俯仰方向上不能像陆基光电经纬仪从 0° (水平面)运动到 180° (水平面), 无法按传统正倒镜测量方位角方法来求解光电系统的照准差和不垂直度误差。而准确地把单项差的大小、方向检测出来, 并在系统装调中把它控制在允许范围内或者在事后数据处理中消除光电系统

收稿日期: 2005-02-10; 收到修改稿日期: 2005-08-29

作者简介: 郎小龙(1962-), 男(汉族), 吉林长春人, 副研究员, 在读博士生, 从事光学仪器结构设计及光电仪器检测技术研究。

E-mail: lang_xiaolong@Yahoo.com.cn

单项差对于测角精度的影响,对于机载光电测量系统获得一定的指向精度具有重要意义,研究适用于机载光电测量系统特点的单项差检测方法势在必行。

传统的经纬仪单项差包括照准差、不垂直度误差和竖轴调平误差等,竖轴调平误差可以在机载光电测量系统安装时调试、修正,故不包括在本文涉及的范围。

1 传统光电经纬仪单项差检测方法

照准差是经纬仪视轴与水平轴之间不垂直误差。传统照准差检测方法如图 1 所示,首先调平光电经纬仪竖轴,使其视轴对准大致水平的平行光管发出的星点像中心,记录光电经纬仪正镜方位角度 $A_{\text{正}}$,分别沿方位、俯仰转动经纬仪 180° ,再次使视轴对准同一平行光管发出的星点像中心,并记录光电经纬仪倒镜方位角度 $A_{\text{倒}}$,则照准差

$$C = \frac{A_{\text{正}} - A_{\text{倒}} \pm 180^\circ}{2} \quad (1)$$

不垂直度误差是经纬仪水平轴与竖轴之间不垂直度。传统不垂直度误差检测方法如图 2 所示,首先调平经纬仪竖轴,使其视轴对准俯仰角度为 E 的平行光管发出的星点像中心,记录经纬仪正镜方位角度 $A_{\text{正}}$,分别沿方位、俯仰转动经纬仪 180° ,再次使视轴对准同一平行光管发出的星点像中心,并记录经纬仪倒镜方位角度 $A_{\text{倒}}$,则不垂直度误差

$$i = \left(\frac{A_{\text{正}}' - A_{\text{倒}}' \pm 180^\circ}{2} - \frac{C}{\cos E} \right) \cdot \text{ctg} E \quad (2)$$

2 机载光电测量系统单项差检测原理

在精密光电经纬仪方位测角总精度检测中需要把残余照准差和不垂直度误差带来的影响从方位测角误差中剔除掉,用到如下修正公式

$$A = A_0 - \left(\frac{C}{\cos E} + i \tan E \right) \quad (3)$$

式中 A 为照准差、不垂直度误差已修正的方位角, A_0 为方位角测量值, E 为平行光管高低角度, C 为待检光电经纬仪的照准差, i 为待检光电经纬仪的不垂直度误差。公式(3)中表示实测光电经纬仪的方位角误差减去由照准差和不垂直度误差残差引起的偏差才能得到真实的方位角误差。如果已知平行光管间方位角真值 ΔA ,机载光电测量系统由于照准差和不垂直度误差引起的实测方位角偏差 ΔA_0 也可以通过测量得到,在光电经纬仪只用正镜瞄准不同高角平行光管时,照准差和不垂直度误差仅仅是的方位角变化和俯仰角的函数。那么通过两组不同高角 E 的公式(3)就可以反算出机载光电测量系统照准差和不垂直度误差。为防止光电经纬仪其它偏差(如轴系误差)影响单项差检测精度,实际测量过程中把三个平行光管布置在一个铅垂面内。

如图 3 所示,沿一个铅垂面内布置三个平行光管,其中一个视轴在水平面内,三个平行光管视轴交汇于

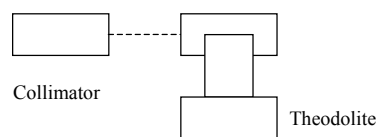


图 1 照准差传统测量示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of traditional testing of sighting error

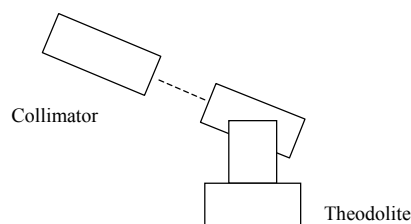


图 2 不垂直度误差传统测量示意图

Fig.2 Diagrammatic sketch of traditional testing of non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis

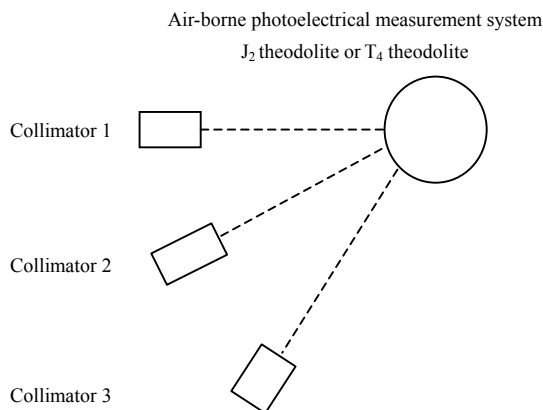


图 3 机载光电测量系统单项差测量原理示意图

Fig.3 Diagrammatic sketch of test of sighting error and non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis for an air-borne photoelectrical measurement system

一点, T_4 经纬仪的中心安置在此交点上, 通过调整下面的两个平行光管, 同时用 T_4 经纬仪正倒镜反复测量得到, $A_{真1}$ 、 $A_{真2}$ 、 $A_{真3}$, 可以认为是三个平行光管方位角真值, 两个低角平行光管与水平面平行光管俯仰角分别是 E_2 、 E_3 。再把另一台已知照准差和不垂直度误差确定值的 J_2 经纬仪安置于平行光管交汇点上, 经过竖轴调平后, J_2 经纬仪测量平行光管的方位角分别为: A_1 、 A_2 、 A_3 。对于同一台 J_2 经纬仪来说, 由于照准差和不垂直度误差影响, 随着仰角升高, J_2 经纬仪测得的平行光管的方位角 A_2 、 A_3 将不等于 A_1 , 它们之间符合如下关系式:

$$\begin{aligned}(A_{真1} - A_{真2}) - (A_1 - A_2) &= C\left(\frac{1}{\cos E_2} - 1\right) + i \tan E_2 \\(A_{真1} - A_{真3}) - (A_1 - A_3) &= C\left(\frac{1}{\cos E_3} - 1\right) + i \tan E_3\end{aligned}\quad (4)$$

解方程 4 可得 C 和 i , 通过符号可以判断照准差和不垂直度误差的误差方向。

$$C = \frac{[(A_{真1} - A_{真2}) - (A_1 - A_2)]\cos E_2 \sin E_3 - [(A_{真1} - A_{真3}) - (A_1 - A_3)]\cos E_3 \sin E_2}{\sin E_3 - \sin E_2 - \sin(E_3 - E_2)} \quad (5)$$

$$i = \frac{[(A_{真1} - A_{真3}) - (A_1 - A_3)]\cos E_3 (1 - \cos E_2) - [(A_{真1} - A_{真2}) - (A_1 - A_2)]\cos E_2 (1 - \cos E_3)}{\sin E_3 - \sin E_2 - \sin(E_3 - E_2)} \quad (6)$$

3 测量结果

3.1 J_2 经纬仪单项差测量试验

把一个 J_2 经纬仪的照准差和不垂直度误差调到一个已知数值, 如 $C_0=20''$, $i_0=15''$, 用 J_2 经纬仪模拟待测光电经纬仪。参照上述原理用 J_2 经纬仪和 T_4 经纬仪测量出相应参数, 再按公式(5)、(6)进行处理, 结果如下表 1。

表 1 照准差和不垂直度误差计算表

A_1	E_1	A_2	E_2	A_3	E_3	C	i
9°8'11"	0°0'0"	9°8'27"	35°0'0"	9°9'32"	70°0'0"	17.2"	17.7"

$$C_0 - C = 2.8''$$

$$i_0 - i = -2.7''$$

实测结果与已知 J_2 经纬仪实际单项差非常接近, 测量误差小于 $10''$, 验证了这种检测原理的正确性。

3.2 一种机载光电测量系统测量结果

一种机载光电测量系统实际测量中采用 5 个不同俯仰角平行光管, 即在含有两个未知数的线性方程中, 方程组数(即测量次数)多于未知数数目。即

表 2 一种机载光电测量系统照准差和不垂直度误差计算表

Table 2 Calculation of sighting error as well as non-perpendicularity between horizontal axis and vertical axis for kind of air-borne photoelectrical measurement system

A_1	E_1	A_i	E_i	C	i
3°7'16"	0°0'0"	A_2	3°7'25.2"	E_2	20°0'0"
		A_3	3°7'36.6"	E_3	35°0'0"
		A_4	3°7'48.4"	E_4	45°0'0"
		A_5	3°9'8.7"	E_5	70°0'0"
				30.2"	20.7"

$$A_1 - A_i = C\left(\frac{1}{\cos E_i} - 1\right) + i \tan E_i \quad (i = 2, 3, 4, 5) \quad (7)$$

用最小二乘法处理数据, 充分利用补偿性减小随机误差影响, 获得更可靠的检测结果。详见表 2。

4 结 论

本文提出了一种光电经纬仪单项差检测新方案, 利用光电经纬仪以正镜瞄准不同俯仰角度目标测得的方位角与高精度经纬仪标定的方位角真值之间的差异, 与光电经纬仪的照准差和不垂直度误差的关系式, 推导出光电经纬仪的照准差和不垂直度误差。该检测方案的单项差测量误差小于 $10''$, 对于由于结构限制无法按常规进行正、倒镜测量的机载光电测量系统单项差检测、修正有特别的实际意义, 为进一步提高机载光电测量系统测角精度提供了可靠保证。

(下转第 77 页)

性都明显优于通常的相位共轭腔。但当泵浦电压过低时，由于形成光栅的不稳定性；以及当泵浦电压过高时，由于出现光学击穿现象，二者都会导致所形成的相位共轭镜的反射率变小，使得输出能量和峰值功率有一定起伏。但相对于一般的共轭腔，输出的起伏性大大降低。

参考文献：

- [1] 屈 军, 张为俊, 高晓明, 等. 改进 YAG 对撞增强型相位共轭腔的研究[J]. 光电子·激光, 2004, **15**(3): 291-294.
QU Jun, ZHANG Wei-jun, GAO Xiao-ming, et al. Improved colliding-enhanced YAG phase-conjugation ring resonator[J]. **Journal of Optoelectronics. Laser**, 2004, **15**(3): 291-294.
- [2] 杨爱玲, 杨经国, 丁 磊, 等. 受激布里渊散射中的相位跃变[J]. 中国激光, 2001, **28**(8): 732-734.
YANG Ai-ling, YANG Jing-guo, DING Lei, et al. Phase jump in the process of stimulated Brillouin scattering[J]. **Chinese J. Lasers**, 2001, **28**(8): 732-734.
- [3] G.K.N.WONG, M.J.DAMZEN. Investigations of optical feedback used to enhance stimulated scattering[J]. **IEEE J. Quantum Electron**, 1990, **26**(1): 139-148.
- [4] Michael T. DUIGNAN, B.J.FELDMAN, W.T. WHITNEY. Threshold reduction for stimulated Brillouin scattering using a multipass Herriott cell[J]. **J. Opt. Soc. Am. B**, 1992, **9**(4): 548-559.
- [5] A.M.SCOTT, W.T. WHITNEY, M.T. DUIGNAN. Stimulated Brillouin scattering and loop threshold reduction with a 2.1 μ m Cr, Tm, Ho: YAG laser[J]. **J. Opt. Soc. Am. B**, 1994, **11**(10): 2079-2087.
- [6] A.M.SCOTT, W.T.WHITNEY. Characteristics of a Brillouin ring resonator used for phase conjugation at 2.1 μ m[J]. **J. Opt. Soc. Am. B**, 1995, **12**(9): 1634-1641.
- [7] Axel HEUER, Ralf MENZEL. Phase-conjugating stimulated Brillouin scattering mirror for low powers and reflectivities above 90% in an internally tapered optical fiber[J]. **Opt. Lett**, 1998, **23**(11): 834-836.
- [8] O.KULAGIN, G.A.PASMANIK, A.L.GAETA, et al. Observation of Brillouin chaos with counter propagating laser beams[J]. **J. Opt. Soc. Am. B**, 1991, **8**(10): 2155-2157.
- [9] 柳 强, 鞠有伦, 王月珠, 等. 受激布里渊散射相位共轭腔及腔内光学参变振荡[J]. 光学学报, 1999, **19**(8): 1090-1093.
LIU Qiang, JU You-lun, WANG Yue-zhu, et al. Stimulated Brillouin scattering phase-conjugate resonator and internal optical parametric oscillator[J]. **Acta Optica Sinica**, 1999, **19**(8): 1090-1093.
- [10] ZEL'DOVICH B Ya, PILIPETSKY N F, SHKUNOV V V. **Principles of Phase Conjugation**[M]. New York: Springer-Verlag, 1985. 25-142.

~~~~~  
(上接第 19 页)

#### 参考文献：

- [1] 王家骥. 光学仪器总体设计[D]. 长春：长春光机所研究生部，2003.  
Wang Jia-qi. Overall design of optical instrument [D]. Changchun: Post Student Department of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [2] 何照才, 胡保安. 光电测量[M]. 北京：国防工业出版社，2002.  
He Zhao-cai, Hu Bao-an. **Photoelectrical measurement** [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002.
- [3] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京：机械工业出版社，2000.  
Fei Ye-tai. Error Theory and Datum Process [M]. Beijing: China Mechanic Industry Press, 2000.
- [4] 王家桢. 160-I-1 数字电影经纬仪说明书(光学机械部分)[R]. 长春：长春光机所，1977.  
Wang Jia-zhen. 160-I-1 Manual of Digital Cinetheodolite(Optical and Mechanical Part)[R]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, 1977.
- [5] GB/T3161-2003. 光学经纬仪[S]. 北京：中国标准出版社，2003.  
GB/T3161-2003. Optical Theodolite [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2003.