

文章编号 1674-2915(2010)05-0509-04

水平轴倾斜的检测方法

王涛^{1,2}, 宋立维¹

(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: 对经纬仪的一个重要的系统误差—水平轴倾斜进行了分析, 讨论了水平轴倾斜对经纬仪测角精度的影响。介绍了常用的水平轴倾斜检测方法, 针对其局限性提出了一种新的基于莱卡经纬仪的水平轴倾斜检测方法。实验显示这种新方法具有通用性, 且根据莱卡读数即可以轻易判断被测经纬仪的倾斜方向。最后, 对两种方法的测量误差进行了比较, 比较结果表明, 新方法的测量误差源虽然比传统方法多, 但由于莱卡经纬仪的各项精度指标都很高, 故其测量误差 < 4 , 优于传统方法的测量精度。

关键词: 光电经纬仪; 莱卡经纬仪; 水平轴倾斜; 角度测量

中图分类号: V556; TH745 文献标识码: A

Detection method for horizontal axis tilts

WANG Tao^{1,2}, SONG Li-wei¹(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,**Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: The horizontal axis tilt of a theodolite is an important systematic error. In this paper, the horizontal axis tilt error of the theodolite was analysed, and the effect of the horizontal axis tilt on the measuring accuracy of theodolite was discussed. Then, the common detection method of horizontal axis tilt was introduced, and a new detection method based on the Leica theodolite was proposed according to the limitations of common methods. Experiments show that the new method has a good universality and can obtain the tilt directions of the theodolite easily based on Leica values. Finally, the measurement errors of two methods were compared, results show that the measuring error from new method is less than 4 because of Leica theodolite with excellent specifications, which is superior to that of common detection method.

Key words: photoelectric theodolite; Leica theodolite; horizontal axis tilt; angle measurement

1 引言

现代光电经纬仪具有实时测量、高精度、自动跟踪监控和易于图像再现等优点,已广泛地应用于航空、航天、武器试验、大地测量等科研和军事领域。随着我国国防事业的发展,经纬仪在靶场上的应用也越来越多,其主要用于完成试验中目标外弹道、航迹、姿态及拦截脱靶量的测量^[1,2]。水平轴倾斜是经纬仪的一个重要系统误差,一般是在检测出真值后通过系统误差修正来消除水平轴倾斜对测角误差的影响。在经纬仪跟踪架的加工装调阶段,水平轴倾斜的检测通常是在水平轴端面加一个双面反射镜,然后通过自准直法测得两个反射面夹角后计算得出水平轴倾斜误差。但这种方法只适用于水平轴能通视的经纬仪,具有一定的局限性。本文提出了一种基于莱卡经纬仪的水平轴倾斜检测的新方法,通过对两种方法的测量误差进行比较,可以看出新检测方法的测量精度高于传统方法,且具有通用性。

2 水平轴倾斜对测角精度的影响

由于零件加工和装配存在误差,经纬仪的水平轴线与垂直轴线不可能完全垂直,这种不垂直度称为水平轴倾斜或横轴差^[3],用字母 b 表示。水平轴倾斜误差对测角的影响见图1。

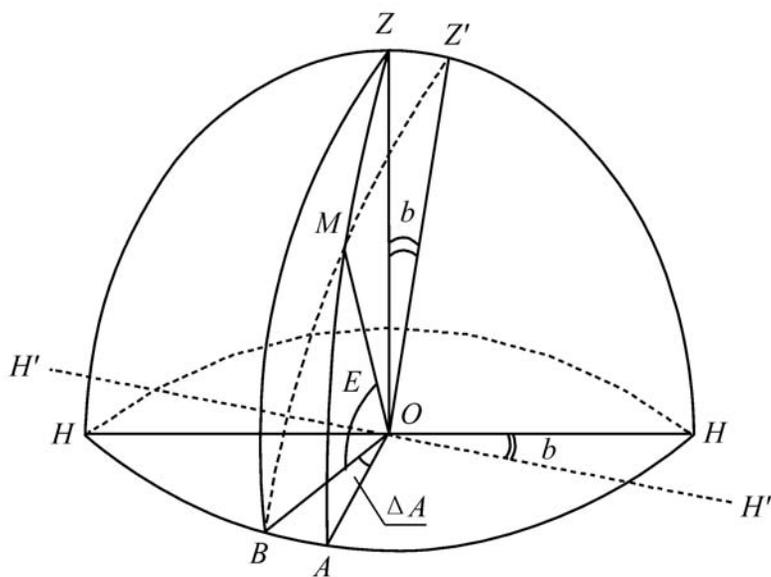


图1 水平轴倾斜误差的影响

Fig. 1 Impact of horizontal axis tilt errors

图中 $H'H'$ 为理想水平轴线, HH 为实际水平

轴线,其交角 $HOH = b$, OA 为理想照准轴, OB 为实际照准轴。 OZ 为理想垂直轴, OZ 为垂直于 HH 的轴线,空间目标 M 高低角为 E 。

分别做大圆弧 AZ , BZ , BZ 和 AH 。从图中可以看出 $ZM = 90^\circ - E$, $ZB = 90^\circ$; $BZA = A$, $ZBZ = b$ 。

考察球面三角形 ZMB , 显然这是一个球面直边三角形,由球面直边三角形的余切公式可得:

$$\cot b \times \sin A = \cot(90^\circ - E), \quad (1)$$

即: $\sin A = \tan b \times \tan E$

由于 A 和 b 都很小,故由幂级数公式得:

$$A = b \times \tan E. \quad (2)$$

同理可以推导出:

$$\sin E = \sin E \times \cos b, \quad (3)$$

式中: E 为目标高低角测量值。

由于 b 的值很小,所以可以得出:

$$E \approx E.$$

通过以上分析可以看出,水平轴倾斜误差影响着高俯仰角时的方位测量精度^[4,5]。

3 常用的水平轴倾斜检测方法

常用的水平轴倾斜检测通常是在水平轴端面加一个双面反射镜,将其反射面与水平轴轴线调整垂直,然后用自准直光管瞄准反射面。将经纬仪绕方位轴旋转 180° ; 即可通过读取从反射镜另一面返回像的角度值计算出水平轴倾斜误差^[6,7]。常用水平轴检测方法见图2。

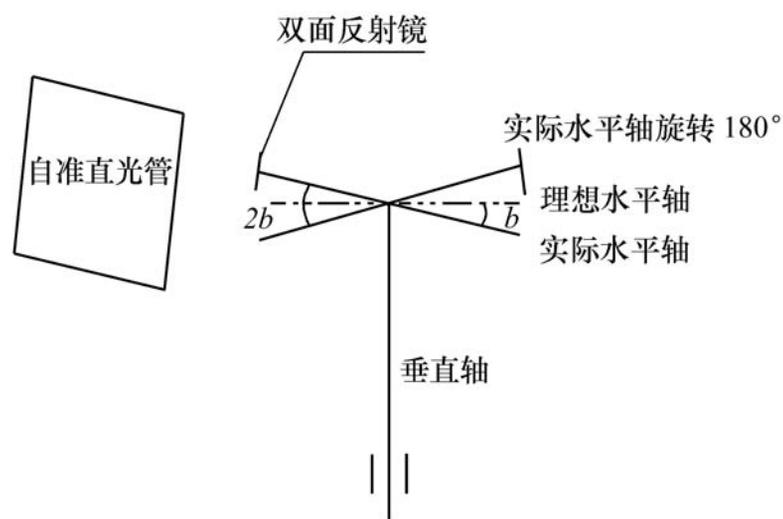


图2 常用的水平轴倾斜检测方法

Fig. 2 Traditional detection method of horizontal axis tilts

从图 2 中可以看出, 自准直光管从反射镜背面读取的数值为水平轴倾斜 b 的 2 倍。这种检测方法原理简单, 操作也较简便, 但要求水平轴能通视, 否则不能读取反射镜两个反射面读数, 具有一定的局限性。

4 基于莱卡经纬仪的水平轴倾斜检测新方法

根据水平轴倾斜的定义, 本文提出一种新的基于莱卡经纬仪的水平轴检测方法。新方法示意图如图 3 所示。

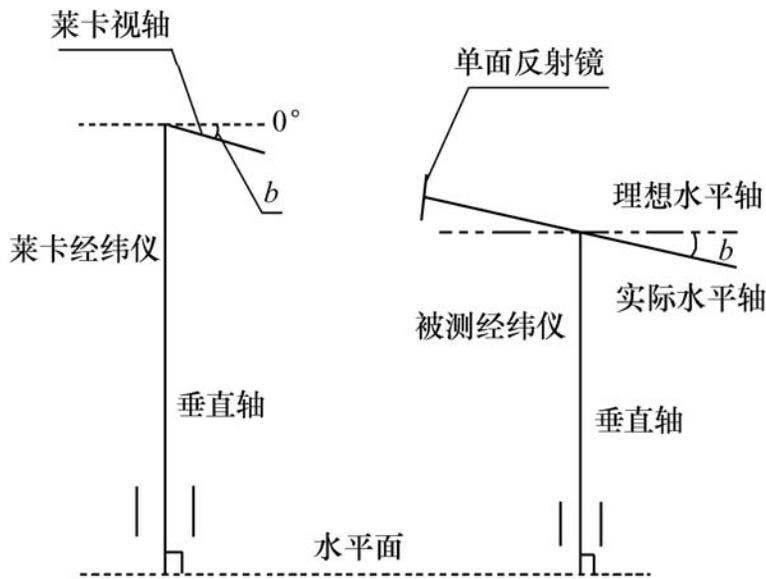


图 3 一种水平轴倾斜检测的新方法

Fig. 3 A new detection method of horizontal axis tilt

为检测水平轴倾斜, 需要先将被测经纬仪调平, 调平后的被测经纬仪垂直轴与水平面垂直,

此时的水平轴倾斜即为被测经纬仪水平轴与水平面的夹角。高精度莱卡经纬仪的调平误差和零位差都在 0.5 之内, 利用这一性能可以直接通过莱卡经纬仪读出被测经纬仪的水平轴倾斜。具体方法如下: 首先将被测经纬仪调平, 然后在水平轴端面上加一个带有调整机构的平面反射镜, 通过调整机构将平面反射镜与水平轴轴线调垂直(用 0.2 自准直光管瞄准平面反射镜, 旋转水平轴后, 0.2 光管的返回像在分划板内画圈, 当所画圆最小时, 平面反射镜即与水平轴轴线垂直); 用莱卡经纬仪视轴对准平面反射镜后, 将莱卡调平, 利用莱卡经纬仪的自准功能, 将平面镜返回像调至莱卡分划板中心, 此时的莱卡俯仰编码器读数即为被测经纬仪的水平轴倾斜。

这种新方法的优点是具有通用性; 倾斜方向容易判断, 根据莱卡读数可以轻易地判断出被测经纬仪的倾斜方向。

5 两种测量方法的误差比较

传统水平轴倾斜检测方法的误差源^[8]有: 被测经纬仪垂直轴系角晃动误差, 双面反射镜两个反射面的平行度误差, 反射镜与水平轴轴线的不垂直度误差和自准直光管误差。现代光电经纬仪的轴系精度都很高, 垂直轴系的角晃动一般都能控制在 1 之内。水平轴倾斜检测的误差取极限误差分析^[8], 测量误差分析见表 1。

表 1 传统水平轴倾斜检测方法误差

Tab. 1 Measurement errors of traditional detection method for horizontal axis tilts

垂直轴角晃动/()	平行度误差/()	光管误差/()	反射镜不垂直度误差/()	综合检测误差/()
1	2	0.2	1.5	4.7

新方法的误差源主要有: 被测经纬仪调平误差, 反射镜与被测经纬仪水平轴轴线的不垂直度

误差, 莱卡调平误差, 莱卡零位差和莱卡自准直误差, 检测误差见表 2。

表 2 水平轴倾斜检测新方法测量误差

Tab. 2 Measurement errors of new detection method for horizontal axis tilts

被测经纬仪调平误差/()	反射镜不垂直度误差/()	莱卡调平误差/()	莱卡零位差/()	莱卡自准直误差/()	综合检测误差/()
1	1.5	0.5	0.5	0.5	4

通过两种检测方法的测量误差比对可以看出,新方法的测量误差源虽然比传统方法多,但由于莱卡经纬仪的各项精度指标都很高,所以新方法的测量精度优于传统方法。

6 结 论

本文提出了一种光电经纬仪水平轴倾斜检测

的新方法,利用高精度莱卡经纬仪零位差 < 0.5 的特性,认为莱卡经纬仪俯仰角 0° 即为水平面。将被测经纬仪和莱卡调平后,将一面反射镜与被测经纬仪水平轴轴线调整垂直,通过读取莱卡经纬仪俯仰角数值即可得出被测经纬仪的水平轴倾斜误差。通过对测量方法的误差分析,得出该方法的测量误差 < 4 , 优于传统的水平轴检测方法,且没有局限性。

参考文献:

- [1] 赵学颜,李迎春. 靶场光学测量[M]. 北京: 装备指挥技术学院, 2000.
ZHAO X Y, LI Y CH. *Optical Measurement in Shooting Range*[M]. Beijing: Institute of Command and Technology, 2000. (in Chinese)
- [2] 何照才,胡保安. 光电测量[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
HE ZH C, HU B A. *Photoelectric Measurement*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. (in Chinese) .
- [3] 高福晖. 大型经纬仪轴系晃动的傅里叶谐波分析方法[J]. 光电工程, 1998, (10) : 1-10.
GAO F H. Fourier harmonic analysis method for axial system wobbling of the large-scale theodolite[J]. *Opto. Electronic Eng.*, 1998, (10) : 1-10. (in Chinese)
- [4] 李慧,沈湘衡. 光电经纬仪轴系误差仿真计算的新方法[J]. 红外与激光工程, 2008, (4) : 334-337.
LI H, SHEN X H. New shafting error simulating method of photoelectric theodolite[J]. *Infrared and Laser Eng.*, 2008, (4) : 334-337. (in Chinese)
- [5] 金光,王家骥,倪伟. 利用坐标变换推导经纬仪三轴误差[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(5) : 89-94.
JIN G, WANG J Q, NI W. The three-error axis of the odolite with the utilization of the coordinate to the variation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1999, 7(5) : 89-94. (in Chinese)
- [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) : 244-246.
ZHAO J Y, WANG D X, LI W J, *et al.*. New method of dynamic corection for the system errors of telescope[J]. *Infrared and Laser Eng.*, 2005, 34(2) : 244-246. (in Chinese)
- [7] 杜俊峰,李正周. GD-220 光电经纬仪轴系的精度分析[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(4) : 416-419.
DU J F, LI ZH ZH. Analysis of the axial accuracy of the GD-220 photoelectric theodolite[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(4) : 416-419. (in Chinese)
- [8] 毛英泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
MAO Y T. *The Theory of Error and Analysis of Accuracy*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1985. (in Chinese)

作者简介: 王 涛(1981—),男,黑龙江虎林人,助理研究员,主要从事光电经纬仪、光学镜头等方面的研究。

E-mail: toniear@ 163. com