



电子经纬仪在一测回水平方向标准偏差 计量检定中两种方法比较^①

景 琦

(中国地震局第一监测中心计量检定站,天津 300180)

摘要:一测回水平方向标准偏差是衡量经纬仪测量精度的主要指标之一。结合经纬仪计量检定规程的要求,从测量的原理、方法、不确定度分析等方面入手,对电子经纬仪一测回水平方向标准偏差计量检定的两种方法进行比较。结果显示,多齿分度台法和多目标法在测量途径上基本相同,其测量不确定度分析的结果也基本相符。可能是由于在实际的计量检定过程中,计量检定人员、环境条件变化或其他因素造成了测量结果略有差异。

关键词:电子经纬仪;一测回水平方向标准偏差;多齿分度台法;多目标法;测量不确定度

中图分类号: P204

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)04-1132-04

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2015.04.1132

Comparison of Two Verification Methods for One Measuring-process Standard Deviation in the Horizontal Direction for an Electronic Theodolite

JING Qi

(First Monitoring Center, CEA, Tianjin 300180, China)

Abstract: Electronic theodolites have the advantages of providing quick and high-precision objective readings, and thus can reduce work intensity. In addition, the measurement results are easily entered onto a computer. This type of equipment is widely used in basic map surveying, such as in construction, the military, aviation, water conservancy, transportation, and earthquakes, and plays an extremely important role in measurement of deformation. To ensure measurement accuracy of electronic theodolites, metrological verification of the measurement accuracy indexes is crucial. One of the main indicators of theodolite measurement accuracy is the value of one measuring-process standard deviation in the horizontal direction. Using the requirements of the verification regulation and beginning with the measurement principle, method, and uncertainty analysis, a comparison of two verification methods was carried out for one measuring-process standard deviation in the horizontal direction for an electronic theodolite. The results indicated that the multi-tooth indexing table method and multi-objective method are performed in the same way, and the results of the uncertainty in measurement are consistent. This may be because during the actual process of metrological verification, changes in the metrological verification personnel, environmental conditions, or other factors caused the measured results to be slightly different.

Key words: electronic theodolite; one measuring-process standard deviation in the horizontal direction; multi-tooth indexing table method; multi-objective method; uncertainty in measurement

0 引言

随着国内高科技发展的需求,测绘计量器具、光学经纬

仪也得到了长足发展。电子经纬仪是集光学、机械、电子、计算机技术及半导体集成技术为一体的电子测角仪器。它产

^① 收稿日期:2014-12-22

作者简介:景琦(1983—),女(满族),辽宁铁岭人,硕士,工程师,研究方向:测绘仪器的计量检定。E-mail:comeback110@163.com。

生于 20 世纪 90 年代初^[1],具有读数客观、精度高、速度快、能够减轻作业强度、测量结果便于输入计算机和容易实现内外业一体化的优点,在建筑、军事、航空、水利、交通、地震等基础测绘领域广泛应用,并在形变测量中起着极其重要的作用^[2-3]。为了保证电子经纬仪的测角准确度,对其进行测量准确度指标等的计量检定是非常必要的。

一测回水平方向标准偏差是判定经纬仪测角准确度的主要指标。依据 JJG414-2003 光学经纬仪《检定规程》要求,判定测角准确度的主要检定方法有多齿分度台法和多目标法^[4]。本文在多年经纬仪计量检定经验的基础上,以电子经纬仪为主要工具,对这两种检定方法进行比较和分析。

1 经纬仪计量检定的方法

1.1 多齿分度台法

多齿分度台法是由多齿分度台产生的标准角与安置在多齿台上端面并与其同轴的电子经纬仪测得的角进行比较,最后求出标准偏差。当多齿台对零时,让装于其上的经纬仪照准前方的平行光管,水平度盘大约置零并读数,其后多齿台每隔 24 齿为一受检点逆时针旋转共 n 个标准角,经纬仪(照准部)顺时针旋转,在各受检点上照准平行光管并读数^[5],往测至 360° ,然后将经纬仪设置成倒镜状态,以同样方法检定受检点,最后回归零位^[6]。分别求出往返受检点读数,按公式计算得出一测回标准偏差。

(1) 数学模型

经纬仪各点读数:

$$x_{ij} = \frac{L_{ij} + R_{ij} \pm 180}{2} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为经纬仪 i 测回 j 测点读数; L_{ij} 为经纬仪 i 测回 j 测点盘左读数,当 $L_{ij} < 180^\circ$ 时取减号, $L_{ij} > 180^\circ$ 时取加号; R_{ij} 为经纬仪 i 测回 j 测点盘右读数。

其方向误差:

$$v_{ij} = x_{ij} - x_{i1} - \alpha_j \quad (2)$$

$$\delta_{ij} = v_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (3)$$

式中: v_{ij} 为测得角与标准角之差,即各受检点的零起分度误差; x_{i1} 为经纬仪 i 测回零方向测量值; α_j 为多齿分度台的标准角度值。

一测回水平方向标准偏差:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2}{m(n-1)}} \quad (4)$$

式中: μ 为一测回水平方向标准偏差; m 为测回数; n 为受检点数。

(2) 方差和传播系数

由于每个方向都是等精度测量,所以各受检点观测值的标准偏差相等,设为 $u(\alpha)$ 。

方差为

$$u^2(\mu_h) = c_1^2 u^2(\alpha) + c_2^2 u^2(\alpha_s) \quad (5)$$

传播系数为

$$c_1 = c_2 = \sqrt{\frac{1}{mn}} \quad (6)$$

1.2 多目标法

多目标法又称多目标平行光管法。在全园子午平台的水平方向上分别安置 4~6 个平行光管作为照准目标(也作为基准角)^[7]。检定时将经纬仪安置在检定台上,精确调平,整置水平度盘于受检位置。照准部顺时针方向旋转 1 周,依次以盘左位置照准目标 1 至目标 6 的角度,最后照准起始目标 1,回零读数,取起始零位与回零读数的平均值为盘左起始方向值。然后将经纬仪望远镜翻转 180° ,以逆时针方向旋转,分别照准目标 1、6、5、4、3、2、1,分别读数取平均值,此为一个测回。变换水平度盘起始位置,重复上述测回的观测,依次求出各测回的观测结果。

(1) 数学模型

在第 i 测回观测中,目标 j 对于目标 1 的角度值 α_{ij} :

$$\alpha_{ij} = \frac{L_{ij} + R_{ij} + 180^\circ}{2} - \frac{L_{i1} + R_{i1} \pm 180^\circ}{2} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6; j = 2, 3, 4, 5) \quad (7)$$

计算 α_{ij} 的残差 v_{ij} :

$$v_{ij} = \alpha_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \quad (8)$$

式中: m 为测回数; n 为照准目标数。

一测回水平方向偏差按下式求得:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(m-1)(n-1)}} \cdot \sqrt{\sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^m v_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=2}^n v_{ij} \right)^2} \quad (9)$$

(2) 方差和传播系数

由于每个方向都是等精度测量,其观测值的标准偏差相等,设为 $u(\alpha)$ 。

方差为

$$u^2(\mu_h) = \frac{1}{(m-1)(n-1)} u^2(v_{ij}) = \frac{1}{m(n-1)} u^2(\alpha) \quad (10)$$

传播系数为

$$c = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)}} \quad (11)$$

2 两种检定方法比较

2.1 测量途径分析

两种测量方法测量途径基本相同,都是多测回完成对多目标的水平角观测。虽然多齿分度台法是对一个目标进行多次观测,但这与认定为多目标测量没有本质上的差别。

两种测量途径采用的计算方法略有差异(表 1)。由于多齿分度台法的测量角度与受检过的多齿分度台的转动角度之间是直接比较,因此其更像对一个目标的外符合测量过程;而多目标法由于没有绝对的参照角度值进行比较,只是利用各测回各目标之间的测量结果进行测站平差,因此其更带有内符合测量的迹象。

表 1 两种测量方法测量途径上的比较

Table 1 Comparison of the two methods on the way of measuring		
比较项目	多齿分度台法	多目标法
测量原理	与标准值比较	常角法
测量目标	1 个平行光管(无穷远)	4~6 个平行光管(无穷远)
测量测回数	1~2 个不等	4~8 个不等
测量目标数	12~23 个不等	4~6 个不等
度盘变换	不需要	需要

2.2 测量结果分析

目前电子仪器的度盘偏心问题处理得很好,检测时观测照准也准确。采用多目标法的方向值极差值均大于多齿分度台法的方向极差值,一般情况下极差值大,标准偏差值就大^[8]。

有的仪器多目标法方向值极差值明显大于多齿分度台法,这是因为两种方法的取值方式不同,多目标法多次换盘,起始点多次发生改变,加之该检定台平行光管的布局特点,因此每次检测方向值的结果,都是正交平行光管的方向值极差最大,一条轴线上的平行光管方向值最小,第二支平行光管的方向极差值介于三、四支平行光管之间。

另外多齿分度台法采用一个起始点,虽然观测 2 个测回,第二个测回的起始位置并没有改变,只是重复地观测了一回;而多目标法起算点有 6 个,这 6 个点等间隔覆盖了半个度盘,由于为对径读数,也就覆盖了整个度盘的范围。在 6 个位置上选取极差值,比在一个位置上选取极差值有更多的变数,选出极大值的可能性就更大。实际检测的情况也证明了大多数多目标法的方向极差值比多齿分度台法大这一推理。

2.3 不确定度分析

在国内外的文献中,一般将测量不确定度描述为:“测量不确定度是测量结果所带有的一个参数,用以表征合理地赋予被测量之值的分散性。”而国内则有人^[9]将对测量不确定度的描述改为:“测量不确定度是测量结果所含有一个参数,用以表征合理地赋予被测量之测得值的分散性”。也就是说,测量不确定度是由测量条件所决定的客观存在。

由上述给出的数学模型、方差和传播系数的公式,对于电子经纬仪一测回水平方向标准偏差两种方法检定结果不确定度分析比较见表 2 和表 3。

两种方法在测量途径上基本相同,测量不确定度分析的结果也基本相同。从示值误差的角度来说,多目标法没有标准角度值与之比较,因而多齿分度台更为合适。从测绘控制测量的特点来说,多目标法更能模拟测绘的测量特点,即测量过程中多次搬站,不确定的后视方位角,任意的多个目标,按测回数观测,这就要求对仪器有一个综合的评价,多目标法就更为合适。因此对电经和全站仪的测角系统一测回水平方向标准偏差的仲裁检定,以多目标法检定为准是合理的。只是由于在实际的计量检定过程中,计量检定人员、环境条件变化或其他因素造成了测量结果略有差异。

表 2 多齿分度台法一测回水平方向标准偏差的测量不确定度

Table 2 Measurement uncertainty for one measuring-process standard deviation in horizontal direction of the multi- tooth indexing method				
序号	主要来源		多齿分度台法	
			标准不确定度	自由度
1	标准装置引入	平行光管的视差	0.015″	∞
2	的标准不确定	多齿分度台误差	0.1″	50
3	分量	检定装置稳定性	0.12″	9
标准装置引入的不确定度 $u(\alpha_i)$			0.16″	24
4	经纬仪测角误	经纬仪装置误差	忽略	-
5	差引入的不确	望远镜照准误差	0.19″	50
6	定分量	仪器显示的最小计量单位	0.06″	50
7		经纬仪读数重复性	0.16″	9
经纬仪测角误差引入的不确定度 $u(\alpha)$			0.26″	65
测回数与目标数			$m=2, n=23$	
一测回水平方向标准偏差测量不确定度			0.05″	
扩展不确定度			0.10″($k=1.99, p=95\%$)	

表 3 多目标法一测回水平方向标准偏差的测量不确定度

Table 3 Measurement uncertainty for one measuring-process standard deviation in horizontal direction of the multi-objective method				
序号	主要来源		多目标法	
			标准不确定度	自由度
1	标准装置	平行光管设计理论误差	0.03″	∞
2	引入的标	平行光管的视差	0.015″	∞
3	准不确定	经纬仪标准检定装置稳定性	0.12″	9
4	分量	经纬仪标准检定装置重复性	0.12″	9
5	经纬仪测	经纬仪装置误差	忽略	忽略
6	角误差引	望远镜照准误差	0.19″	50
7	人的不确	仪器显示的最小计量单位	0.06″	50
8	定分量	经纬仪读数重复性	0.16″	9
合成标准不确定度 $u(\alpha)$			0.31″	
测回数与目标数			$m=8, n=4$	
一测回水平方向标准偏差测量不确定度			0.06″	
扩展不确定度			0.12″($k=1.99, p=95\%$)	

3 讨论与结论

在电子经纬仪多目标法一测回水平方向标准偏差的检定过程中,各测回之间必须变换度盘起始位置,否则就可能忽略诸如照准部偏心,水平度盘偏心差等误差来源,使得计量检定的结果优于实际的偏差值。因此多目标法在仪器精度不高,需要的测回数较少时比较方便^[10],或者考虑通过使用外部手段如对多齿分度台或对无法变更度盘起始位置的仪器改换基座插孔来调整。而多齿分度台法实际是给了角度的一个外部的基准,能够追根溯源,比较直观,在检定的测回数较多时,多齿分度台法的检定效率要高于多目标法。

此外,由于采用两种方法检定一测回水平方向标准偏值是有差异的,即使采用同一种方法,相同的检定员或不同的检定员所测的结果也不尽相同。如果某台电子经纬仪或全站仪的一测回水平方向标准偏差的正确值在限差值左右,那

么该仪器在不同的地方检定,其结果也可能是五花八门,可能几个检定机构的检定结论会相左,因此不同检定机构间的比对和能力验证就很有必要。

参考文献(References)

- [1] 景琦,薄万举.电子水准仪与自动安平水准仪的对比研究——以 DINI11 和 NI002 为例[J].地震工程学报,2014,36(4):1102-1106.
JING Qi,BO Wan-ju.Comparative Study on Electronic and Automatic Compensated Levels Using DINI11 and NI002 as Examples[J].China Earthquake Engineering Journal,2014,36(4):1102-1106.(in Chinese)
- [2] 张莉,齐维君,方爱平,等.数字水准仪误差源及检定方法初探[J].测绘通报,2005,9:56-57.
ZHANG Li,QI Wei-jun,FANG Ai-ping,et al.A Preliminary Study of Error Source of Digital Level and Its Test Method[J].Bulletin of Surveying and Mapping,2005,9:56-57.(in Chinese)
- [3] 林淑冰,王志鹏,王海清,等.基于 PDA 的水准电子手簿系统的设计与实现[J].西北地震学报,2009,31(3):308-210.
LIN Shu-bing,WANG Zhi-peng,WANG Hai-qing,et al.Design and Realization of the Recording System for Leveling Based on PDA[J].Northwestern Seismological Journal,2009,31(3):308-310.(in Chinese)
- [4] 张则宇,师会生,刘智超,等.电子经纬仪一测回水平方向标准偏差两种检定方法比较[J].测试与校准,2006,26(3):38-40.
ZHANG Ze-yu,SHI Hui-sheng,LIU Zhi-chao,et al.Comparison of Two Verification Methods for One Measuring-process Standard Deviation in Horizontal Direction of Electronic Theodolites[J].Testing and Calibration,2006,26(3):38-40.(in Chinese)
- [5] 黄稣,庞耘.测绘仪器测量不确定度中的灵敏系数[J].中国测试技术,2008,34(2):18-21.
HUANG Su,PANG Yun.Sensitivity Coefficient in Measurement Uncertainty Components of Surveying Instruments[J].China Measurement & Testing Technology,2008,34(2):18-21.(in Chinese)
- [6] 王琨,李淑映.多齿台法检定Ⅱ级电子经纬仪“一测回水平方向标准偏差”测量结果的不确定度评定[J].计量与测试技术,2013,40(7):52-55.
WANG Kun,Li Shu-ying.The Uncertainty of Measurement Result for Muti-tooth Table Method for Verification of Ⅱ Electronic Theodolite “one Measuring-process Standard Deviation in Horizontal Direction”[J].Measurement and Testing Technology,2013,40(7):52-55.(in Chinese)
- [7] 赵凤华,柏静.经纬仪“一测回水平方向标准偏差”测量不确定度分析[J].计量与测试技术,2010,37(3):80-84.
ZHAO Feng-hua,BO Jing.Evaluation of Uncertainty of Measurement for One Measuring-process Standard Deviation in Back Horizontal Direction of Theodolites[J].Measurement and Testing Technology,2010,37(3):80-84.(in Chinese)
- [8] 陈海林,伍正昆.两种方法检定一测回水平方向标准偏差结果的比较[J].测绘技术装备,2014,1(16):90-92.
CHEN Hai-lin,WU Zheng-kun.Comparison of the Results for the Two Methods of One Measuring-process Standard Deviation in Horizontal Direction[J].Geomatics Technology and Equipment,2014,1(16):90-92.(in Chinese)
- [9] 龚云涛,李晶.Ⅱ级电子经纬仪“一测回水平方向标准偏差”的测量结果不确定度评定[J].计量与测试技术,2012,39(7):33-36.
GONG Yun-tao,LI Jing.Measurement Uncertainty Evaluation for One Round Horizontal Standard Deviation of Grade Ⅱ Electronic Theodolites[J].Measurement and Testing Technology,2012,39(7):33-36.(in Chinese)
- [10] 姬洪亮.全站仪计量检定方法的研究[M].郑州:中国人民解放军信息工程大学,2005.
JI Hong-liang.Researching of the Checking Way of Total Station Instrument[M].Zhengzhou:University of Information Engineering of the Chinese People's Liberation Army,2005.(in Chinese)
- [11] 夏峰,宋成科,孟庆筱,等.天津地区覆盖层土动力学参数统计分析[J].地震工程学报,2015,37(1):49-54.