

竖盘自动归零指标在经纬仪检验中的应用

周慎杰 潘正风

摘 要

本文提出一种利用经纬仪竖盘自动归零指标同时进行照准部旋转正确性和水准器格值检验的方法。这个方法也适合于一般具有竖盘符合水准器的经纬仪。

一、前 言

由于秒级经纬仪竖盘指标自动归零有较高的灵敏度，安置精度可达 ± 0.3 秒，因此有可能用以测定竖轴的晃动误差^{[1][2]}。

在《国家三角测量和精密导线测量规范》中所介绍的经纬仪照准部旋转正确性的检验和水准器格值检验是分别测定的。前一项检验是粗略的，后一项检验的操作方法比较麻烦。本文的目的是介绍一种利用竖盘自动归零指标，同时进行照准部旋转正确性和水准器格值检验的方法。这种方法操作简便，通过计算可确定竖轴晃动误差的大小和水准器的格值。这种方法对于一般的带有竖盘符合水准器的秒级经纬仪也是适用的，但它检验的精度要比竖盘自动归零指标的经纬仪略低一些。

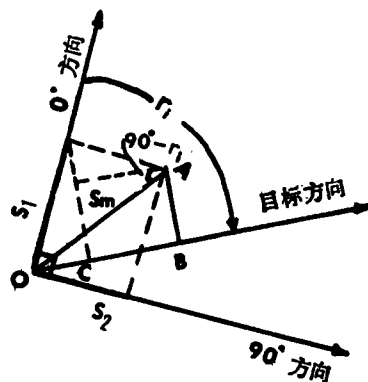
二、检验竖轴晃动误差的原理

经纬仪竖轴的晃动误差是由于轴的加工、磨损和润滑剂等影响而产生的，这种误差可分成系统误差和偶然误差两部分，但总的说可以用一个平均位置来表示竖轴的位置。竖轴的倾斜对天顶距读数的影响可用图一来说明，其中A为竖轴倾斜的平均位置，倾斜量用 S_m 表示， S_m 在水平度盘 0° 和 90° 方向上的分量分别为 S_1 和 S_2 ，这样由于竖轴倾斜在目标方向 r_i 上对天顶距读数的影响为：

$$OB = OC + CB = S_1 \cos r_i + S_2 \sin r_i$$

对于固定在一定高度角位置的望远镜来说，每个天顶距读数 Zr_i 受竖轴倾斜、竖轴晃动误差和读数误差的影响，因此观测天顶距 Zr_i 的误差方程为

$$v_i = S_1 \cos r_i + S_2 \sin r_i + Z^0 - Zr_i \quad (1)$$



图一

式中： Z^0 为没有竖轴倾斜和晃动误差时的天顶距， r_i 为水平度盘位置。

根据式(1)，当竖轴晃动主要是偶然晃动时，则得相应的法方程

$$\left. \begin{aligned} [\cos^2 r_i] S_1 + [\sin r_i \cos r_i] S_2 + [\cos r_i] Z^0 - [Z r_i \cos r_i] &= 0 \\ [\sin r_i \cos r_i] S_1 + [\sin^2 r_i] S_2 + [\sin r_i] Z^0 - [Z r_i \sin r_i] &= 0 \\ [\cos r_i] S_1 + [\sin r_i] S_2 + n \cdot Z^0 - [Z r_i] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)'$$

如果在水平度盘几个均匀分布的位置上进行竖盘天顶距读数，则法方程(2)'可简化为

$$\left. \begin{aligned} \frac{n}{2} S_1 - [Z r_i \cos r_i] &= 0 \\ \frac{n}{2} S_2 - [Z r_i \sin r_i] &= 0 \\ n Z^0 - [Z r_i] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

令 $f_i = Z r_i - Z^0$ ，得

$$[f_i \cos r_i] = [Z r_i \cos r_i]$$

$$[f_i \sin r_i] = [Z r_i \sin r_i]$$

则

$$\left. \begin{aligned} Z^0 &= \frac{[Z r_i]}{n} \\ S_1 &= \frac{2}{n} [f_i \cos r_i] \\ S_2 &= \frac{2}{n} [f_i \sin r_i] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

单位中误差

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-3}} \quad (4)$$

由式(4)求出的中误差包含着目标方向上的竖轴晃动误差和天顶距的读数误差。天顶距的测量中误差对于带有自动归零指标的秒级经纬仪来说约为 ± 0.5 秒，而秒级经纬仪的竖轴晃动误差通常是1~2秒，因此秒级经纬仪进行竖轴晃动误差的检验，按式(4)求得的中误差可以作为竖轴晃动中误差的衡量指标。

三、检验照准部水准管格值的原理

在检验竖轴晃动误差时，对 n 个度盘位置进行天顶距读数，然后读出照准部水准管两端的格值位置。望远镜在 r_i 方向上，这时气泡两端的读数为 $L_{r_i右}$ 和 $L_{r_i左}$ ，假定气泡格值注

记向竖盘方向增加。由水平度盘几个均匀分布的位置上的气泡两端读数,可以求得在竖轴没有倾斜的情况下气泡中心位置的读数 L^0 ;

$$L^0 = \frac{1}{2n} [Lr_{i右} + Lr_{i左}] \quad (5)$$

因此望远镜在 r_i 方向上,这时由于竖轴倾斜而产生的气泡中心的偏移为:

$$\Delta Lr_i = \frac{1}{2} (Lr_{i右} + Lr_{i左}) - L^0 \quad (6)$$

由于水准管轴和望远镜视准轴相互垂直,因此望远镜在 r_i 方向上时,水准管轴就在 $r_i + 90^\circ$ 方向上。将在 $r_i + 90^\circ$ 方向上天顶距的读数 $Z(r_i + 90^\circ)$ 减去天顶距读数的平均值 Z^0 ,即可得到在水准管轴线方向内竖轴的倾斜:

$$\Delta Z_{(r_i + 90^\circ)} = Z_{(r_i + 90^\circ)} - Z^0 \quad (7)$$

则相应的水准管格值为

$$\tau_{r_i} = \frac{\Delta Z_{(r_i + 90^\circ)}}{\Delta L_{r_i}} \quad (8)$$

水准管的平均格值为

$$\tau = \frac{1}{n} [\tau_{r_i}] \quad (9)$$

四、检验方法和实例

秒级经纬仪照准部正确性和水准管格值的检验,其操作方法如下:

1、经纬仪稳固地安置在仪器墩或三脚架上,先整平仪器,然后转动照准部,使望远镜的指向和二个脚螺旋连线方向平行。再旋转另一个脚螺旋,使竖轴倾斜,气泡趋于水准管的一端。

2、配置水平度盘读数为 15° ,并将望远镜固定在合适的高度角位置,在检验过程中不再变动望远镜高度。然后进行天顶距读数,同时读取气泡位置。对于一般的带有竖盘水准器的秒级经纬仪,进行天顶距读数时,必须使竖盘水准管气泡居中。

3、顺时针旋转照准部,每隔 30° 重复两项操作,直至水平度盘位置为 345° ,共在水平度盘12个均匀分布位置进行天顶距和气泡位置读数。

4、以上完成第一组观测,总共须进行四组观测。每组观测均按式(3)、(1)、(4)计算竖轴晃动误差,按式(5)、(6)、(7)、(8)、(9)计算水准管格值。由于在水平度盘 105° 和 285° 位置处水准气泡大致居中, ΔLr_i 值较小,所求得的水准气泡格值就不够准确,因此水准管格值的计算只取8个或者10个水平度盘位置。

检验实例一

仪器：威特 T₂ 257585

日期：1984.1.24

观测者：潘正风

记录者：周慎杰

第一组观测

序号	水平度盘	天顶距读数 ° ' "	f _i "	V _i "	气泡读数		ΔL _i	τ _i "
					右	左		
1	15°	105 06 30.1	- 0.37	- 0.31	0.4	14.0	- 1.70	18.16
2	45°	06 15.5	- 14.97	- 1.27	0.7	14.3	- 1.40	19.55
3	75°	06 03.1	- 27.37	- 0.09	1.2	14.9	- 0.85	18.67
4	105°	05 59.6	- 30.87	- 0.44	2.1	15.7	0	
5	135°	06 03.1	- 27.37	0.59	2.9	16.5	+ 0.80	22.04
6	165°	06 14.6	- 15.87	0.80	3.5	17.1	+ 1.40	20.74
7	195°	06 30.0	- 0.47	1.15	3.7	17.3	+ 1.60	19.33
8	225°	06 48.1	17.63	- 1.39	3.5	17.1	+ 1.40	18.52
9	255°	06 59.5	29.03	- 1.57	2.9	16.5	+ 0.80	17.16
10	285°	07 01.4	30.93	0.38	2.1	15.7	0	
11	315°	06 56.4	25.93	0.85	1.4	14.9	- 0.75	19.96
12	345°	06 44.2	13.73	1.34	0.8	14.4	- 1.30	21.05
		105 06 30.47			8.90			19.52

$$S_1 = 7''.45, \quad S_2 = -30''.42$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{9}} = +1''.12$$

各组检验结果：

组号	竖轴晃动中误差	水准管格值
1	±1''.12	19''.52
2	±0''.58	20''.28
3	±1''.17	19''.86
4	±0''.84	20''.03

$$\text{平均值} = 19''.92 \pm 0''.14$$

检验实例二

仪器: 蔡司010—A 806449

日期: 1984, 1.24

观测者: 潘正风

记录者: 周慎杰

第一组观测

序号	水平度盘	天顶距读数	f_i	V_i	气泡读数		ΔL_i	τ_i
					右	左		
1	15°	110 04 23.9	- 3.35	0.13	4.2	15.5	1.94	16.01
2	45°	04 40.8	13.55	-1.02	4.1	15.3	1.79	15.61
3	75°	04 51.7	24.45	0.48	3.4	14.7	1.14	17.41
4	105°	04 58.3	31.05	-0.40	2.6	13.8	0.29	
5	135°	04 55.2	27.95	0.20	1.7	12.9	-0.61	
6	165°	04 47.1	19.85	-1.74	0.7	12.0	-1.56	15.16
7	195°	04 28.8	1.55	1.66	0.2	11.5	-2.06	13.47
8	225°	04 12.6	-14.65	2.12	0.5	11.8	-1.76	16.62
9	255°	04 03.6	-23.65	-1.28	0.2	12.5	-1.06	18.63
10	285°	03 59.5	-27.75	-2.90	2.0	13.2	-0.31	
11	315°	03 58.0	-29.25	1.10	2.9	14.1	0.59	
12	345°	04 07.5	-19.75	1.64	3.9	15.1	1.59	15.38
		110 04 27.25			7.91			16.04

$$S_1 = -11''.04, S_2 = 28''.77$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{9}} = \pm 1''.69$$

各组检验结果:

组号	竖轴晃动中误差	水准管格值
1	$\pm 1''.69$	16''.04
2	$\pm 1''.44$	15''.28
3	$\pm 1''.54$	16''.30
4	$\pm 1''.61$	16''.13

$$\text{平均值} = 15''.94 \pm 0''.20$$

五、結 論

1、利用竖盘自动归零指标同时进行照准部旋转正确性和水准器格值检验的方法,是利
用仪器本身具有的高精度部件,而不需增添其它仪器,也不必安置观测目标。这种检验方法
比《国家三角测量和精密导线测量规范》所介绍的照准部正确性和水准器格值检验的方法,
操作简便,通过简单计算,就可确定竖轴质量的好坏和气泡的格值,而且用本法测定水准器
格值的精度与康斯托克法相当^[4]。

2、这种检验方法对于一般带有竖盘水准器的秒级经纬仪,甚至对于 T₃ 类型的经纬仪
也是适用的,但是为了减少外界条件的影响,保证检验结果的正确性,检验工作应在室内仪
器墩上进行。例如,经实际测定, T₃ 210743 和国产苏光厂 J₂ 760046 的竖轴晃动中误差分别
为 0.7" 及 1.2"^[4]。

参 考 文 献

- [1] R. Reiser, Die Messung kleiner Neigungen und Neigungsänderungen, «A V N»
8—9, 1975.
- [2] A. Elmiger, U. Meyer, Zur Bestimmung und Berücksichtigung Stehachsenschiefe bei
der Richtungsmessung. «V P K» 6, 1981.
- [3] 国家测绘局, 国家三角测量和精密导线测量规范, 测绘出版社, 1975。
- [4] 邵进达等六人, 经纬仪竖盘指标在仪器检验和水平角中应用的研究, 武汉测绘学院工
测系 790 级毕业设计, 1983。

On the Application of Automatic Vertical Index

to the Calibration of a Theodolite

Zhou Shenjie Pan Zhengfeng

Abstract

The method introduced in this paper may be used for determining simultaneously
the wobbling error of a vertical axis and the sensibility of a tubular level by the
automatic vertical index of a theodolite. This method is also suitable for the theodolite
with a contract index level.