



中华人民共和国测绘地理信息计量检定规程

JJG(测绘) 2101—2013

数字水准仪

Digital Levels

2013-08-05 发布

2013-10-01 实施

国家测绘地理信息局 发布

数字水准仪检定规程

Verification Regulation of Digital Levels

JJF(测绘) 2101—2013

代替 CH/T 8019—2009

归口单位：国家测绘地理信息局

起草单位：国家光电测距仪检测中心

本规程委托国家测绘地理信息局标准化工作委员会负责解释

本规程起草人：

齐维君（国家光电测距仪检测中心）

方爱平（国家光电测距仪检测中心）

张 莉（国家光电测距仪检测中心）

王三明（国家光电测距仪检测中心）

李 明（国家光电测距仪检测中心）

吴秀娟（国家光电测距仪检测中心）

目 录

引言	(Ⅲ)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
5 计量性能要求	(1)
5.1 竖轴运转误差	(1)
5.2 视距乘常数	(1)
5.3 CCD 轴和视准轴一致性	(1)
5.4 视准轴误差	(1)
5.5 视准轴安平误差	(1)
5.6 补偿性能	(1)
5.7 望远镜调焦运行误差	(2)
5.8 测站单次高差标准差	(2)
5.9 磁致误差	(2)
5.10 视距测量精度	(2)
5.11 分辨力	(2)
5.12 系统误差	(2)
6 通用技术要求	(3)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定条件	(3)
7.2 检定项目	(3)
7.3 检定方法	(4)
7.4 检定结果处理	(17)
7.5 检定周期	(17)
附录 A 视距乘常数检定记录及计算示例	(18)
附录 B CCD 轴和视准轴一致性检定记录及计算示例	(19)
附录 C 电子 i 角的检定记录及计算示例	(20)
附录 D 视准轴安平误差检定记录及计算示例	(21)
附录 E 补偿误差检定记录及计算示例	(22)
附录 F 望远镜调焦运行误差检定记录及计算示例	(24)
附录 G 测站单次高差标准差检定记录及计算示例	(25)
附录 H 全方位交流磁场水平方向最大磁致误差方位角检定记录及计算示例	(27)

附录 J	最大磁致误差方位上特性曲线检定记录及计算示例	(28)
附录 K	视距测量精度检定记录及计算示例	(32)
附录 L	分辨力检定记录及计算示例	(33)
附录 M	系统误差检定记录及计算示例	(34)

引 言

本规程按 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》，对 CH/T 8019—2009《数字水准仪检定规程》进行了编辑性修改和内容完善。

数字水准仪检定规程

1 范围

本规程适用于 DSZ05 和 DSZ1 级数字水准仪的首次检定、后续检定和使用中检查。与数字水准仪配套使用的因瓦条码水准标尺的检定，应按 JJG(测绘) 2102 执行。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJG(测绘) 2102 因瓦条码水准标尺

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和计量单位

以下术语和定义适用于本规程。

3.1 磁致误差 magnetism influencing error

磁场对观测高差所产生的误差，又称磁误差。

3.2 竖向检定系统 vertical comparator system

由精密位移基准、机电控制机构和影像传感器等组成的能使水准标尺沿竖直方向平稳移动和测量的检定装置。

3.3 系统误差 systematic error

由数字水准仪与其配套使用的条码水准标尺构成的水准测量系统在观测过程中得到的高差观测值与其真值的比例因子，也称为系统一致性。

4 概述

数字水准仪，又称电子水准仪，是以自动安平水准仪为基础，在望远镜光路中增加了分光镜和读数器（电荷耦合器件（CCD）），采用条码水准标尺和图像处理系统构成的光机电一体化产品。

数字水准仪广泛地应用于大地水准测量、形变测量、各种工程水准测量与大型精密机械安装等。

5 计量性能要求

5.1 竖轴运转误差计量性能要求见表 1。

5.2 视距乘常数计量性能要求见表 1。

5.3 CCD 轴和视准轴一致性计量性能要求见表 1。

5.4 视准轴误差计量性能要求见表 1。

5.5 视准轴安平误差计量性能要求见表 1。

- 5.6 补偿性能计量性能要求见表 1。
 5.7 望远镜调焦运行误差计量性能要求见表 1。
 5.8 测站单次高差标准差计量性能要求见表 1。
 5.9 磁致误差计量性能要求见表 1。
 5.10 视距测量精度计量性能要求见表 1。
 5.11 分辨力计量性能要求见表 1。
 5.12 系统误差计量性能要求见表 1。

表 1 计量性能要求

序号	检定项目	计量性能要求		
1	竖轴运转误差	圆水准器误差≤1/4 仪器标称角值		
2	视距乘常数	视距乘常数误差≤0.4%		
3	CCD 轴和视准轴一致性	≤1/3 仪器标称精度		
4	视准轴误差	光学 <i>i</i> 角	≤8"	
		电子 <i>i</i> 角	≤15"	
5	视准轴安平误差	DSZ05 级数字水准仪	≤0.30"	
		DSZ1 级数字水准仪	≤0.35"	
6	补偿性能	补偿范围≥8′		
		DSZ05 级数字水准仪	补偿误差≤0.20(″)/(′)	
		DSZ1 级数字水准仪	补偿误差≤0.30(″)/(′)	
7	望远镜调焦运行误差	≤0.5 mm		
8	测站单次高差标准差	室外法	DSZ05 级数字水准仪	≤0.12 mm
			DSZ1 级数字水准仪	≤0.20 mm
		光管法	DSZ05 级数字水准仪	≤0.08 mm
			DSZ1 级数字水准仪	≤0.15 mm
9	磁致误差	60 μT (1 倍地磁场强磁致误差)	DSZ05 级数字水准仪	≤0.02″ (直流)
				≤0.06″ (交流)
			DSZ1 级数字水准仪	≤0.04″ (直流)
				≤0.10″ (交流)
10	视距测量精度	偏差≤0.10 m		
		标准差≤0.02 m		
11	分辨力	≤0.02 mm		
12	系统误差	≤20 μm/m		

6 通用技术要求

- 6.1 仪器上应标明厂名（或厂标）、仪器型号及出厂编号。
- 6.2 仪器外表应无脱漆、锈蚀和伤痕，仪器密封性能应良好，光学零件表面应清洁，不应有脱胶、脱漆、油迹、霉点等缺陷。
- 6.3 望远镜视场亮度应均匀，分划板成像应清晰，刻线应平直，无结节、断线等现象。
- 6.4 仪器各运动机构转动应灵活，不应有松动、卡滞和影响操作的现象。
- 6.5 调节望远镜目镜时，视场内十字丝交点不应有晃动现象。
- 6.6 仪器的补偿机构能正常工作。
- 6.7 使用中和修理后的仪器，允许有不影响仪器准确度的外观缺陷。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

- 7.1.1 室内检定项目应在常温下进行。
- 7.1.2 用于数字水准仪检定的因瓦条码水准标尺应在检定合格后使用。
- 7.1.3 磁致误差检定条件应符合表 2 的规定。

表 2 磁致误差检定条件

条件	要求
检定室温度/℃	20 ± 5
检定时室内温度变化/(℃/h)	≤ 0.5
标准器具预热时间/min	≥ 40
线圈四周 1 m 以内的空间磁场变化/ μT	≤ 10
被检仪器体积空间的磁场非均匀性	$\leq 1.0\%$

7.2 检定项目

检定项目、检定器具和检定类别见表 3。

表 3 检定项目、检定器具和检定类别

序号	检定项目	检定器具	检定类别		
			首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观检视及开机检查	-	+	+	+
2	望远镜分划板横丝与竖丝的垂直度	-	+	+	+
3	竖轴运转误差	-	+	+	+
4	视距乘常数	配套条码水准标尺或自准直光管(焦距 $f \geq 1\,000\text{ mm}$)	+	-	+
5	CCD 轴和视准轴一致性	配套条码水准标尺	+	+	-

表 3 (续)

序号	检定项目	检定器具	检定类别		
			首次检定	后续检定	使用中检查
6	视准轴误差	水准仪检定仪、测微平行光管 ($f \geq 1\,000\text{ mm}$)	+	+	+
7	视准轴安平误差	二维微倾工作台 (量程 $\geq 15'$) 内置条码水准标尺编码影像的专用光管、条码水准标尺	+	+	+
8	补偿性能	二维微倾工作台 (量程 $\geq 15'$)、内置条码水准标尺编码影像的专用光管、条码水准标尺、测微平行光管 ($f \geq 1\,000\text{ mm}$)	+	+	+
9	望远镜调焦运行误差	水准仪检定仪或自准直光管、内置条码水准标尺编码影像的专用光管	+	—	+
10	测站单次高差标准差	二维微倾工作台、内置条码水准标尺编码影像的专用光管、室外检定时配套条码水准标尺	+	+	+
11	磁致误差	二维亥氏线圈 (直径 $\phi \geq 1\,000\text{ mm}$)、 $1 \times 10^{-6} \mu\text{T}$ 弱磁场测量仪、1% 磁场均匀度、0.5 级毫安表、内置条码水准标尺编码影像的专用光管	+	—	—
12	视距测量精度	无合作目标测距精度优于 5 mm 的全站仪	+	+	+
13	分辨力	双频激光干涉仪或其他标准装置 (标准偏差 $\leq 0.01\text{ mm}$)	+	—	—
14	系统误差	双频激光干涉仪或其他标准装置 (标准偏差 $\leq 5\text{ }\mu\text{m}$)	+	—	—
注：在检定类别中，“+”为必检项目，“—”为可选项目。					

7.3 检定方法

7.3.1 外观检视及开机检查

对 6.1~6.7 进行目视与操作检验。

7.3.2 望远镜分划板横丝与竖丝的垂直度

用望远镜十字丝照准水平位置某一目标点，微动望远镜使目标的像在十字丝的横丝上移动，不应有目力可见的偏差。

7.3.3 竖轴运转误差

将被检仪器安置在检定台上，使望远镜视准轴方向与任意两个脚螺旋位置平行，调整脚螺旋使被检仪器水准气泡居中，将望远镜旋转 180° ，若气泡偏离，分别调整脚螺旋和水准器的螺钉至偏离量的一半。将望远镜旋转 90° ，调整另一脚螺旋使气泡居中，反复上述操作直至精确整平被检仪器。观察被检仪器的水准气泡是否居中，旋转到任一位置时该水准器的最大偏移量为竖轴运转误差。

7.3.4 视距乘常数

将被检仪器固定在检定台上，并调焦至无穷远位置，对准自准直光管。转动光管测微手轮，使其横丝照准被检仪器分划板上丝两次，并读数求和得 d_1 ；转动光管测微手轮，照准被检仪器分划板中丝两次，并读数求和得 d_2 。再转动光管底脚螺旋，使其横丝对准仪器分划板中丝，转动光管测微手轮照准被检仪器分划板中丝两次，并读数求和得 d'_2 ；转动光管测微手轮，照准被检仪器分划板下丝两次，并读数求和得 d_3 。

以上操作为 1 个测回。共测 2 个测回，并取 2 个测回的平均值，按公式 (1) 计算视距乘常数

$$\left. \begin{aligned} k &= \cot[(d_2 - d_1) + (d_3 - d'_2)] \\ \Delta k &= \frac{k - 100}{100} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中：

d_1 、 d_2 、 d'_2 、 d_3 ——视距丝上丝、中丝、下丝各 2 次照准读数之和，(″)；

k ——视距乘常数；

Δk ——视距乘常数误差。

视距乘常数检定记录及计算示例参见表 A.1。

7.3.5 CCD 轴和视准轴一致性

在室外 20~30 m 的平坦距离两端分别安置被检仪器和配套条码水准标尺，环境应稳定。精确整平被检仪器，用望远镜瞄准标尺因瓦尺带中心，观测读数 5 次并取其平均值 h_0 。然后向左水平微动望远镜，瞄准尺带中心至尺带左边缘的 1/2 处，观测读数 5 次并取其平均值 h_1 ；向右水平微动望远镜，瞄准尺带中心至尺带右边缘的 1/2 处，观测读数 5 次并取其平均值 h_2 。取 $|h_1 - h_0|$ 和 $|h_2 - h_0|$ 中较大值作为检定结果。

CCD 轴和视准轴一致性检定记录及计算示例参见表 B.1。

7.3.6 视准轴误差

7.3.6.1 光学 i 角

7.3.6.1.1 建立水平基准

建立水平基准过程如下：

a) 按图 1 所示安置被检仪器。

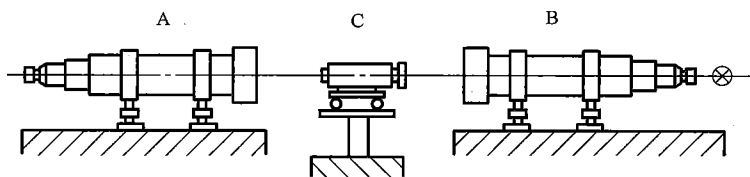


图 1 建立水平基准示意图

b) 将 A、B 两平行光管物镜相对安置, 其中 A 光管带测微器。调整 A、B 光管十字丝, 使其大致重合。将一台精密水准仪被检仪器 C 整平在 A、B 光管的光路中, 并分别照准 A、B 两光管的十字丝分划板, 使两光管的十字丝横丝与被检仪器 C 十字丝横丝吻合。并用 A 光管测微器照准被检仪器 C 的十字丝横丝, 读数 2 次并取其平均值。

c) 取出被检仪器 C, 用 A 光管测微器照准 B 光管十字丝读数 2 次并取其平均值。按公式 (2) 计算 A 与 B 光管的光轴平行度

$$F = (\bar{d}_1 + \bar{d}_2) / 2 \quad (2)$$

式中:

F ——A、B 光管的光轴平行度, (");

$\bar{d}_1$ ——A 光管照准水准仪两次读数的平均值, (");

$\bar{d}_2$ ——A 光管照准 B 光管两次读数的平均值, (")。

d) 经反复调试, 直到 $F \leq 1''$ 。

7.3.6.1.2 光管法

将被检仪器安置于 A、B 光管光路中, 精确整平被检仪器, 用 A 光管测微器照准被检仪器十字丝横丝并读数为 d_1 , 取下被检仪器, 再用 A 光管测微器照准 B 光管十字丝并读数, 记为 d_2 , 按公式 (3) 计算光学 i 角

$$i = d_1 - d_2 \quad (3)$$

观测 3 个测回, 取平均值作为检定结果。

7.3.6.1.3 检定仪法

将被检仪器安置于水准仪检定仪上, 将水准仪检定仪的分划板调整至无穷远位置, 精确整平被检仪器, 用被检仪器望远镜瞄准水准仪检定仪上的目标, 检查被检仪器的十字丝是否与目标线重合, 若不重合, 打开被检仪器的调整护盖, 使用专用工具进行调整并使其重合。

7.3.6.2 电子 i 角

7.3.6.2.1 野外法

按被检仪器操作手册中所规定的方法进行被检仪器电子 i 角的检定和设置。

电子 i 角的检定记录及计算示例参见表 C.1。

7.3.6.2.2 光管法

使用内置条码水准标尺编码影像的专用光管, 调整被检仪器高, 使其照准光管内置条码标尺, 读数 3 次并取其平均值, 按公式 (4) 计算电子 i 角

$$i = [(h - h_0) / d] \rho'' \quad (4)$$

式中:

i ——电子 i 角, ($''$);

h ——观测值平均值, m;

h_0 ——标准值, m;

d ——视距, m;

ρ'' ——206 265 $''$ 。

7.3.7 视准轴安平误差

7.3.7.1 野外法

选择一段长为 30~35 m 的平坦地段, 在视线的两端分别安置条码标尺和被检仪器, 精确整平被检仪器, 瞄准标尺进行标准模式测量, 读数 5 次并取其平均值 h_0 , 然后在不改变被检仪器高度的前提下, 调整脚螺旋使被检仪器倾斜至超出补偿范围, 并迅速复位瞄准标尺进行观测, 读数 5 次并取其平均值 h_i , 以相同的方法使被检仪器分别向前、后、左、右倾斜, 并迅速复位进行观测, 每个方向进行 3 次观测, 以每个方向每次观测读数 5 次的平均值与 h_0 之差的标准偏差作为检定结果。

视准轴安平误差检定记录及计算示例参见表 D. 1。

7.3.7.2 光管法

在内置条码水准标尺编码影像的专用光管和二维微倾工作台构成的检定装置上进行。精确整平被检仪器, 瞄准光管内置标尺进行标准模式测量, 读数 5 次并取其平均值 h_0 ; 然后, 在不改变被检仪器高度的前提下, 用二维微倾工作台使被检仪器倾斜 1.5° , 并迅速复位瞄准标尺进行观测, 读数 5 次并取其平均值 h_i 。以相同的方法使被检仪器向前、后、左、右倾斜, 并迅速复位进行观测, 每个方向进行 3 个测回观测并取平均值, 以每个方向的平均值与 h_0 之差的标准偏差作为检定结果。

检定记录及计算示例同表 D. 1。

7.3.8 补偿性能

7.3.8.1 补偿范围

将被检仪器整平在二维微倾工作台上, 使望远镜视准轴与二维微倾工作台纵轴平行, 并对准平行光管上十字丝交点, 用二维微倾工作台上纵向与横向微倾装置, 按被检仪器出厂给出的补偿范围指标, 进行前倾、后倾、左倾、右倾, 同时观察被检仪器视准轴在光管目标上的偏离量。当望远镜十字丝与光管十字丝偏离时, 取二维微倾工作台倾斜量的最小值作为检定结果。

7.3.8.2 补偿误差

7.3.8.2.1 室外法

室外补偿误差的计算过程如下:

a) 选择一段长约 60 m 的平坦地段, 在视线的两端分别安置条码水准标尺 A、B (即 A、B 目标), 将被检仪器置于视线中间, 并使其中两个脚螺旋的连线与视线垂直, 精确整平被检仪器, 分别照准条码水准标尺 A、B 进行测量, 对每个标尺分别进行 5 次测量并取其均值, 按公式 (5) 计算出被检仪器竖轴铅垂时 A、B 两目标的高差

$$h'_0 = \overline{A}_0 - \overline{B}_0 \quad (5)$$

式中:

h'_0 ——竖轴铅垂时 A、B 两目标之间的高差, m;

$\bar{A}_0$ 、 $\bar{B}_0$ ——竖轴垂直时 A、B 目标读数平均值, m。

b) 调整被检仪器的脚螺旋, 使被检仪器向 A 目标倾斜 $+\alpha$ 角后, 分别照准 A、B 目标进行读数; 然后, 向 A 目标倾斜 $-\alpha$ 角后, 分别照准 A、B 目标进行读数。 $\pm\alpha$ 角的大小取被检仪器圆水准气泡的标称值, 按公式 (6) 计算出被检仪器竖轴纵向倾斜后 A、B 两目标高差

$$h_{\pm\alpha} = \bar{A}_{\pm\alpha} - \bar{B}_{\pm\alpha} \quad (6)$$

式中:

$h_{\pm\alpha}$ ——竖轴纵向倾斜 $\pm\alpha$ 时, A、B 两目标之间的高差, m;

$\bar{A}_{\pm\alpha}$ 、 $\bar{B}_{\pm\alpha}$ ——竖轴纵向倾斜 $\pm\alpha$ 时, A、B 目标各自读数平均值, m。

c) 将被检仪器复位整平, 参照 7.3.8.2.1 b) 的方法, 按公式 (7) 计算被检仪器竖轴横向倾斜后 A、B 两目标高差

$$h_{\pm\beta} = \bar{A}_{\pm\beta} - \bar{B}_{\pm\beta} \quad (7)$$

式中:

$h_{\pm\beta}$ ——竖轴横向倾斜 $\pm\beta$ 时, A、B 两目标之间的高差, m;

$\bar{A}_{\pm\beta}$ 、 $\bar{B}_{\pm\beta}$ ——竖轴横向倾斜 $\pm\beta$ 时, A、B 目标各自读数平均值, m。

d) 再次将被检仪器复位整平, 参照 7.3.8.2.1 a) 的方法, 按公式 (5) 计算被检仪器竖轴铅垂时 A、B 两目标的高差 h''_0 , 取前后两次高差 h'_0 和 h''_0 的均值 h_0 作为竖轴铅垂时 A、B 两目标的高差。

e) 按公式 (8) 计算被检仪器的补偿误差, 取最大绝对值为检定结果

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{\pm\alpha} &= h_{\pm\alpha} - h_0 \\ \Delta h_{\pm\beta} &= h_{\pm\beta} - h_0 \\ \Delta_{\pm\alpha} &= \frac{\Delta h_{\pm\alpha}}{D\alpha} \rho'' \\ \Delta_{\pm\beta} &= \frac{\Delta h_{\pm\beta}}{D\beta} \rho'' \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中:

$\Delta h_{\pm\alpha}$ 、 $\Delta h_{\pm\beta}$ ——竖轴倾斜于铅垂时的高差差值, m;

$\Delta_{\pm\alpha}$ 、 $\Delta_{\pm\beta}$ ——被检仪器补偿误差, (") / (');

α ——被检仪器纵向倾斜角, (');

β ——被检仪器横向倾斜角, (');

D ——A、B 两目标间的距离, m;

ρ'' ——206 265"。

补偿误差检定记录及计算示例参见表 E.1。

7.3.8.2.2 光管法

在由内置条码水准标尺编码影像的专用光管和回转台 (或多齿分度台) 所组成的检测台上进行检定, 检定方法、记录及计算示例同 7.3.8.2.1。

7.3.9 望远镜调焦运行误差

望远镜调焦运行误差的计算过程如下:

a) 被检仪器安置在检定台上, 将自准直光管 (或水准仪检定仪) 的分划板调焦至无穷远位置, 整平被检仪器, 照准自准直光管目标, 并用自准直光管调整螺旋使目标横丝与被检仪器十字丝重合。将自准直光管调至近点位置, 调整被检仪器脚螺旋照准近目标, 若十字丝不重合, 升高或降低检定台, 使被检仪器十字丝与近点目标重合, 并保持水准气泡位置不变。如此反复上述操作, 直至自准直光管远点与近点目标均在十字丝交点上为止。

b) 分别观测 5 m、10 m、20 m、30 m、50 m (或 70 m) 处目标, 按公式 (9) 计算各目标点处的调焦运行误差 v_i , 取绝对值最大值作为检定结果。

$$\left. \begin{aligned} v_i &= \Delta_i + (\bar{D} - D_i)K \\ K &= \frac{5 \sum_{i=1}^n (D_i \Delta_i)}{5 \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中:

Δ_i ——各目标点观测值与平均值之差, mm;

D_i ——各目标点至被检仪器的距离, m;

$\bar{D}$ ——各目标点至被检仪器的距离的平均值, m;

c) 也可用同等准确度的其他方法进行检定。

望远镜调焦运行误差检定记录及计算示例参见表 F.1。

7.3.10 测站单次高差标准差

7.3.10.1 室外法

选择一段长约 60 m 的平坦地段, 分别在测线的两端和中间位置安置标尺 A、B 及被检仪器, 整平被检仪器, 进行观测读数, 共测 12 组。每观测一组后, 应变动被检仪器高度与脚螺旋方位。

按公式 (10) 计算每组测量高差值残差

$$v_i = h_i - h_0 \quad (10)$$

式中:

v_i ——每组测量高差值残差, mm;

h_i ——观测高差, mm;

h_0 ——观测高差平均值, mm。

按公式 (11) 计算测站单次高差标准差

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (11)$$

式中:

σ ——测站单次高差标准差, mm;

n ——观测组数。

测站单次高差标准差检定记录及计算示例参见表 G. 1。

7.3.10.2 光管法

在由两个内置条码水准标尺编码影像的专用光管和二维微倾工作台构成的检定装置上进行检定，检定方法、记录和计算示例同 7.3.10.1。

7.3.11 磁致误差

7.3.11.1 测定光管的磁方位角和当地磁场强度

用标准罗盘仪测定内置条码水准标尺编码影像的专用光管的磁方位角，同时用测磁仪测定当地磁场强度的水平分量 T_1 和垂直分量 T_2 ，按公式 (12) 计算光管所在位置的磁场强度

$$T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2} \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

式中：

α ——光管水平方向磁方位角，(°)；

T ——光管所在位置的磁场强度， μT 。

7.3.11.2 全方位直流（交流）磁场水平方向最大磁致误差方位角检定

全方位直流（交流）磁场水平方向最大磁致误差方位角的检定过程如下：

a) 将被检仪器安置在观测墩上（见图 2），并使被检仪器位于线圈中心，整平被检仪器并瞄准专用光管约 30 m 处的目标。

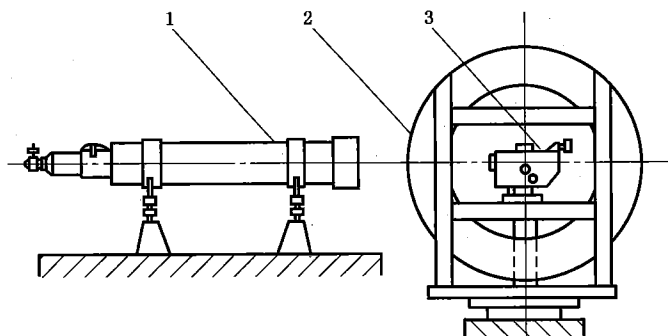


图 2 磁致误差检定示意

1—内置条码标尺编码影像的专用光管；2—二维亥氏线圈；3—被检仪器

b) 接通水平磁场电源，调整电压，将电流表升至 $600 \mu\text{T}$ 的电流位置。平稳地转动线圈架，使线圈水平磁场方向与光管平行，即线圈上刻度盘刻度在 0° 为起始读数位置。等间隔观测，在每个刻度按如下步骤观测（即正向磁场观测顺序，同一方位反方向磁场也按上述步骤进行观测）：

- 1) 切断电源：第一次精确照准目标，读数 5 次并取其平均值 d_1 ；
- 2) 接通电源：第二次精确照准目标，读数 5 次并取其平均值 d_2 ；
- 3) 保持通电：第三次精确照准目标，读数 5 次并取其平均值 d_3 ；
- 4) 切断电源：第四次精确照准目标，读数 5 次并取其平均值 d_4 。

c) 连续顺时针转动线圈到分布的各点对径位置进行检测，直到 360° 为止。共测 n

个点, n 不得少于 8。紧接着从 360° 开始进行反向磁场观测, 返测时逆转线圈, 通反向电流。回到 0° 位置为 1 个测回, 共测 2 个测回。最后求出水平方向磁致误差最大方位角。

d) 按公式 (13) 计算每一位置正反向磁场磁致误差

$$y = \frac{(d_2 + d_3) - (d_1 + d_4)}{2} \quad (13)$$

式中:

y ——磁致误差, mm;

d_i ——水准仪第 i 次 ($i=1, 2, 3, 4$) 读数均值, m。

e) 按公式 (14) 计算水平方向最大磁致误差方位角

$$\left. \begin{aligned} Y &= f(\alpha) = a_0 + b \cos(\alpha - \phi) = a_0 + a_1 \sin \alpha + a_2 \cos \alpha \\ b &= \sqrt{a_1^2 + a_2^2} \\ \phi &= \arctan(a_1/a_2) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中:

α ——线圈磁场方向相对视准轴的方位角, $(^\circ)$;

b ——磁场影响幅值, mm;

ϕ ——水平方向直流 (或交流) 磁致误差最大时的磁场方位角, $(^\circ)$;

a_0 、 a_1 、 a_2 ——未知数, 度盘圆周对称取点读数, 用最小二乘法按公式 (15) 求解

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \\ a_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \sin \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i} \\ a_2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cos \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i} \\ R &= \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \\ m &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i v_i)}{n - 3}} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

式中:

y_i ——磁场影响观测值, mm;

Y_i ——回归值, mm;

$\bar{y}$ ——磁场影响观测值的平均值, mm;

R ——相关系数;

m ——回归精度, mm;

v_i ——每组观测值残差, mm。

全方位交流磁场水平方向最大磁致误差方位角检定记录及计算示例参见表 H. 1。

7.3.11.3 最大磁致误差方位上特性曲线检定

将线圈固定在最大磁致误差方位角位置, 以正向电流从零开始, 依次递增电流值, 即分别以 2.0、4.0、6.0、7.0 倍地磁场强对应的电流进行观测, 再依次递减电流值, 即分别以 7.0、6.0、4.0、2.0 倍地磁场强对应的电流进行观测, 并返回到零位。

同理, 以反向电流从零开始, 依次递增电流值, 即分别以 -2.0、-4.0、-6.0、-7.0 倍地磁场强对应的电流进行观测, 再依次递减电流值, 即分别以 -7.0、-6.0、-4.0、-2.0 倍地磁场强对应的电流进行观测, 并返回到零位。

使用正向和反向电流观测作为 1 个测回, 共测 2 个测回。观测方法同 7.3.11.2。

计算 $60 \mu\text{T}$ (1 倍地磁场强) 磁致误差估值作为检定结果。具体计算过程如下:

a) 计算公式如下:

1) 适用于点对称公式为

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x |x| \quad (16)$$

2) 适用于轴对称公式为

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (17)$$

b) 取 $a_0 = 0$ 的过原点抛物线公式, 即

$$\left. \begin{aligned} a_2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i |x_i| y_i) - \sum_{i=1}^n (x_i^2 |x_i|) \sum_{i=1}^n (x_i y_i) / \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^4 - (\sum_{i=1}^n x_i^2 |x_i|)^2 / \sum_{i=1}^n x_i^2} \\ a_1 &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n (x_i^2 |x_i|) a_2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \\ R &= \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \\ m &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{n - 2}} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

式中:

a_0 、 a_1 、 a_2 ——回归系数;

R ——相关系数;

m ——回归精度, μm ;

x_i ——电流值, A;

y_i ——磁场影响观测值, mm;

$\bar{y}$ ——磁场影响观测值的平均值, mm。

c) 按公式 (19) 计算 2 个测回磁场影响的标准差 M_t

$$M_t = m \sqrt{(A_1^2 \sum_{i=1}^n x_i^4 - 2A_1^3 \sum_{i=1}^n x_i^2 |x_i| + A_1^4 \sum_{i=1}^n x_i^2) / H} \quad (19)$$

式中:

A_1 ——60 μT (1 倍地磁场强) 磁场电流值, 加反向电流时为 $-A_1$;

$$H = \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i^4 - (\sum_{i=1}^n x_i^2 |x_i|)^2$$

d) 按公式 (20) 计算 60 μT (1 倍地磁场强) 磁致误差估值

$$Y_t = a_1 A_1 + a_2 A_1 |A_1| \quad (20)$$

最大磁致误差方位上特性曲线检定记录及计算示例参见表 J.1 和表 J.2。

7.3.12 视距测量精度

选择一段长 30 m 的平坦地段, 先用满足表 3 要求的全站仪测定被检仪器到标尺的标准距离, 再用被检仪器测量视距, 测量 10 次。

按公式 (21) 计算视距测量偏差和标准差

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_i &= |D_0 - D_i| \\ \Delta D_s &= \max\{\Delta D_i\} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$\sigma_{\text{距}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{D} - D_i)^2}{10 - 1}}$$

式中:

D_0 ——视距标准值, cm;

D_i ——第 i 次视距测量值, cm;

ΔD_s ——视距测量偏差, cm;

$\sigma_{\text{距}}$ ——视距测量标准差, cm;

$\bar{D}$ ——视距测量平均值, cm。

视距测量精度检定记录及计算示例参见表 K.1。

7.3.13 分辨力

将被检仪器安置在观测台上, 在距被检仪器 4~8 m, 以双频激光干涉仪为基准的竖向检定系统 (见图 3) 上安置条码水准标尺, 每次移动标尺 0.01 mm, 被检仪器每次读数 3 次并取均值, 共移动 30 次。标尺下降时取正值, 上升时取负值。按公式 (22) 归算到标尺零点的观测值

$$H_i = h_i + (i-1)d \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (22)$$

式中:

H_i ——第 i 次归算到标尺零点的观测值, mm;

h_i ——被检仪器对第 i 次标尺移动位置时观测值的平均值, mm;

d ——标尺移动步距, mm;

n ——条码水准标尺的移动次数。

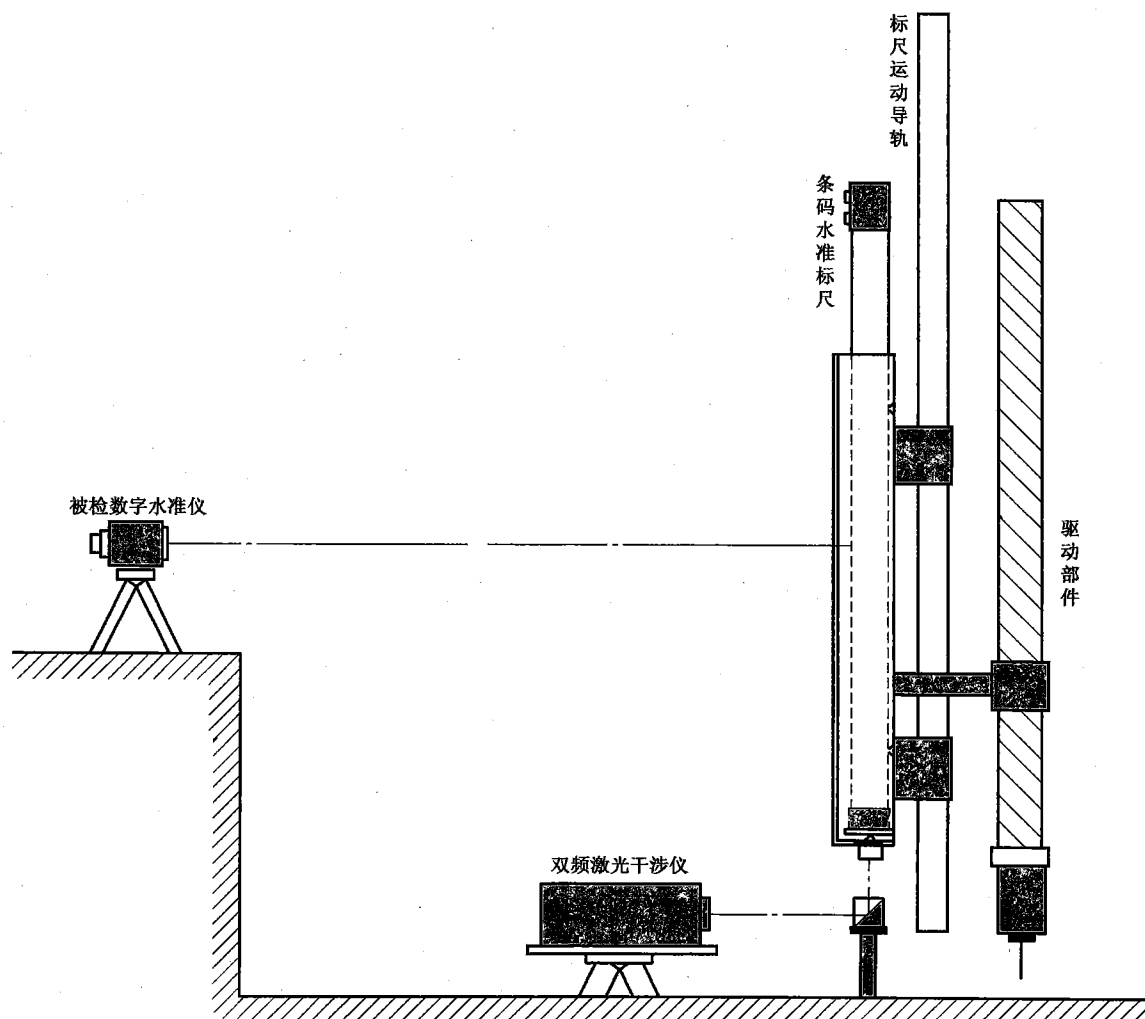


图 3 竖向检定系统示意图

按公式 (23) 计算归算量的均值

$$H_0 = \sum_{i=1}^n H_i / n \quad (23)$$

式中:

H_0 ——归算量的均值, mm。

按公式(24)计算残差值

$$v_i = H_i - H_0 \quad (24)$$

式中:

v_i ——归算量与其均值之差, mm。

按公式(25)计算被检仪器分辨力

$$m_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (25)$$

式中:

m_r ——分辨力, mm。

分辨力检定记录及计算示例参见表 L. 1。

7.3.14 系统误差

在室内稳定的环境条件下, 将被检仪器安置在距标尺 4~8 m 的观测墩上并整平。将与被检仪器配套使用的条码水准标尺安置在专用的, 由双频激光干涉仪、标尺运动导轨和驱动部件构成的竖向检定系统上(见图 3)。

将被检仪器瞄准标尺高度约 0.3 m 或 0.5 m 处(分别对应于 2 m 和 3 m 尺长的标尺), 双频激光干涉仪读数清零。标尺每次移动 0.05 m 或 0.10 m, 累计移动量约为 1.4 m 或 2.0 m。测量完成后, 水准标尺应回到测量的起点位置, 并读取双频激光干涉仪读数。检定开始与结束时起点位置的两次双频激光干涉仪读数之差不应大于 0.010 mm。被检数字水准仪每次测量读数 5 次并取其平均值, 同时读取双频激光干涉仪的值, 按公式(26)可计算其差值

$$y_i = (\xi_i - \xi_0) - (h_i - h_0) \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (26)$$

式中:

y_i ——被检数字水准仪第 i 次测量观测值的平均值与双频激光干涉仪的值之差, mm;

ξ_i ——双频激光干涉仪第 i 次的值, mm;

ξ_0 ——测量开始时起始位置双频激光干涉仪的读数, mm;

h_i ——被检数字水准仪第 i 次测量观测值的平均值, mm;

h_0 ——起始位置被检数字水准仪的观测平均值, mm;

n ——样本数。

以 h_i 为横坐标, y_i 为纵坐标作线性回归, 则

$$y_i = \alpha + \beta h_i + \varepsilon_i \quad (27)$$

式中:

α ——回归模型常数项系数, mm;

β ——回归模型一次项系数, $\mu\text{m}/\text{m}$;

ε_i ——残差, mm;

h_i ——水准仪 5 次读数的平均值, m。

按公式 (28) 计算公式 (27) 中的回归系数 α 和 β

$$\left. \begin{aligned} \hat{\alpha} &= \frac{\sum_{i=1}^n h_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n (h_i y_i)}{n \sum_{i=1}^n h_i^2 - (\sum_{i=1}^n h_i)^2} \\ \hat{\beta} &= \frac{-\sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n y_i + n \sum_{i=1}^n (h_i y_i)}{n \sum_{i=1}^n h_i^2 - (\sum_{i=1}^n h_i)^2} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

则残差为

$$\tilde{\varepsilon}_i = -\hat{\alpha} - \hat{\beta} h_i + y_i \quad (29)$$

测量标准差为

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \tilde{\varepsilon}_i^2}{n-2}} \quad (30)$$

α 标准差为

$$\hat{\sigma}_\alpha = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n h_i^2}{n \sum_{i=1}^n h_i^2 - (\sum_{i=1}^n h_i)^2}} \quad (31)$$

β 标准差为

$$\hat{\sigma}_\beta = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{n}{n \sum_{i=1}^n h_i^2 - (\sum_{i=1}^n h_i)^2}} \quad (32)$$

取 β 表示系统误差 (系统一致性), 单位为 $\mu\text{m}/\text{m}$ 。得到系统误差 β 值后, 采用 t 检验法进行系统误差显著性检验。系统误差 β 的检验统计量 $t_\beta = |\hat{\beta}|/\hat{\sigma}_\beta$, 回归模型常数项系数 α 的检验统计量 $t_\alpha = |\hat{\alpha}|/\hat{\sigma}_\alpha$ 。显著水平取 0.05, 当 $t_\beta \geq t_{n-2, 0.025}$, 求得的系统误差 β 为显著有效; 当 $t_\alpha \geq t_{n-2, 0.025}$, 求得的回归模型常数项 α 为显著有效。具体有以下情况:

——当 α 和 β 均显著时, 所选的回归模型有效。

——当 α 不显著, β 显著时, 这时选用的回归模型变为 $y_i = \beta h_i + \epsilon_i$, 依此求得

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i y_i)}{\sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (33)$$

残差为

$$\tilde{\epsilon}_i = -\hat{\beta} h_i + y_i \quad (34)$$

测量标准差为

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \tilde{\epsilon}_i^2}{n-1}} \quad (35)$$

β 标准差为

$$\hat{\sigma}_\beta = \hat{\sigma}_0 / \sqrt{\sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (36)$$

——当 β 不显著, α 显著或者不显著时, 不进行系统误差改正。

系统误差检定记录及计算示例参见表 M.1。

7.4 检定结果处理

经检定符合本规程要求的数字水准仪, 发给检定证书; 不符合本规程要求的发给检定结果通知书, 并注明不合格项目。

7.5 检定周期

数字水准仪检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

视距乘常数检定记录及计算示例

表 A.1 给出了视距乘常数检定记录及计算示例。

表 A.1 视距乘常数检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

测回数	读数							d_2-d_1		$(d_2-d_1)+(d_3-d'_2)$	
	视距丝	1		2		和 (平均)		$d_3-d'_2$		$(d_3-d'_2)$	$(d_3-d'_2)$
		(')	(")	(')	(")	(')	(")	(')	(")		
I	上丝 d_1	0	34.0	0	34.2	01	08.2	17	09.7	34	21.8
	中丝 d_2	9	09.0	9	08.9	18	17.9				
	中丝 d'_2	0	35.2	0	35.1	01	10.3	17	12.1		
	下丝 d_3	9	11.2	9	11.2	18	22.4				
II	上丝 d_1	0	34.0	0	33.8	01	07.8	17	10.2	34	22.1
	中丝 d_2	9	08.9	9	09.1	18	18.0				
	中丝 d'_2	0	35.2	0	35.2	01	10.4	17	11.9		
	下丝 d_3	9	11.1	9	11.2	18	22.3				
平均值				d_2-d_1				17	10.0	34	22.0
				$d_3-d'_2$				17	12.0		
$k=\cot(34'22.0'')=100.03 \quad \Delta k=\frac{100.03-100}{100}\times 100\%=0.03\%$											

附录 B

CCD 轴和视准轴一致性检定记录及计算示例

表 B.1 给出了 CCD 轴和视准轴一致性检定记录及计算示例。

表 B.1 CCD 轴和视准轴一致性检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

标尺位置	读数/m	标尺位置	读数/m	备注
居中	1.706 9	偏右	1.706 9	
	1.707 0		1.706 9	
	1.707 0		1.706 9	
	1.707 0		1.706 9	
	1.707 0		1.706 9	
平均值 h_0	1.706 98	平均值 h_2	1.706 90	
偏左	1.706 9			
	1.706 9			
	1.706 9			
	1.706 9			
	1.706 9			
平均值 h_1	1.706 90			
$h_1-h_0=-0.08\text{ mm}$ $h_2-h_0=-0.08\text{ mm}$				

附录 C

电子 i 角的检定记录及计算示例

表 C.1 给出了电子 i 角的检定记录及计算示例。

表 C.1 电子 i 角的检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

序号	视高线/m	视距/m
1	1.862 34	22.091
2	1.862 28	22.090
3	1.862 29	22.092
4	1.862 30	22.089
5	1.862 31	22.089
6	1.862 27	22.090
7	1.862 30	22.086
8	1.862 31	22.088
9	1.862 29	22.091
10	1.862 32	22.093
平均值	1.862 30	22.090
$i = \frac{1.861\ 22 - 1.862\ 30}{22.09} \times 206\ 265 = -10.1\ (")$		
注: 标准视线高为 1.861 22 m, 机内原存 i 角为 0"。		

附录 D

视准轴安平误差检定记录和计算示例

表 D.1 给出了视准轴安平误差检定记录及计算示例。

表 D.1 视准轴安平误差检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

观测次数	置平	前倾			后倾		
		1	2	3	1	2	3
1	1.655 50	1.655 50	1.655 48	1.655 51	1.655 53	1.655 54	1.655 53
2	1.655 50	1.655 50	1.655 48	1.655 51	1.655 53	1.655 54	1.655 53
3	1.655 50	1.655 50	1.655 48	1.655 54	1.655 53	1.655 54	1.655 52
4	1.655 50	1.655 49	1.655 48	1.655 53	1.655 53	1.655 54	1.655 53
5	1.655 50	1.655 49	1.655 48	1.655 53	1.655 53	1.655 54	1.655 52
平均值/m	1.655 500	1.655 496	1.655 480	1.655 524	1.655 530	1.655 540	1.655 526
差值 v_i /mm		0.004	0.020	-0.024	-0.030	-0.040	-0.026
观测次数		左倾			右倾		
		1	2	3	1	2	3
1		1.655 50	1.655 52	1.655 54	1.655 53	1.655 52	1.655 52
2		1.655 50	1.655 52	1.655 54	1.655 54	1.655 52	1.655 52
3		1.655 50	1.655 52	1.655 54	1.655 54	1.655 53	1.655 52
4		1.655 50	1.655 52	1.655 54	1.655 53	1.655 52	1.655 52
5		1.655 50	1.655 52	1.655 54	1.655 53	1.655 52	1.655 52
平均值/m		1.655 500	1.655 520	1.655 540	1.655 534	1.655 522	1.655 520
差值 v_i /mm		0.000	-0.020	-0.040	-0.034	-0.022	-0.020
安平误差/''			$\frac{1}{30 \times 10^3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} v_i^2}{12}} \times 206\,265'' = 0.18$				
注：视距为 30 m。							

附录 E

补偿误差检定记录及计算示例

表 E.1 给出了补偿误差检定记录及计算示例。

表 E.1 补偿误差检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观测: _____ 记录: _____ 日期: _____

仪器位置	观测次数	A 目标 读数/m	B 目标 读数/m	仪器位置	观测次数	A 目标 读数/m	B 目标 读数/m
仪器置平	1	1.462 0	1.449 1	仪器向 A 目标倾斜 $+\alpha=8'$	1	1.461 9	1.449 1
	2	1.462 0	1.449 1		2	1.461 9	1.449 1
	3	1.461 9	1.449 1		3	1.461 9	1.449 1
	4	1.461 9	1.449 1		4	1.461 9	1.449 1
	5	1.462 0	1.449 1		5	1.461 9	1.449 1
	均值	1.461 96	1.449 10		均值	1.461 90	1.449 10
A、B 两目标高差: $h'_0=+0.012\ 86\ \text{m}$				A、B 两目标高差: $h_{+\alpha}=+0.012\ 80\ \text{m}$			
仪器向 B 目标倾斜 $-\alpha=8'$	1	1.461 7	1.449 0	仪器向左 方向倾斜 $-\beta=8'$	1	1.461 6	1.449 3
	2	1.461 7	1.449 0		2	1.461 6	1.449 3
	3	1.461 7	1.449 1		3	1.461 6	1.449 3
	4	1.461 7	1.449 0		4	1.461 6	1.449 3
	5	1.461 7	1.449 0		5	1.461 6	1.449 3
	均值	1.461 70	1.449 02		均值	1.461 60	1.449 30
A、B 两目标高差: $h_{-\alpha}=+0.012\ 68\ \text{m}$				A、B 两目标高差: $h_{-\beta}=+0.012\ 30\ \text{m}$			
仪器向右 方向倾斜 $+\beta=8'$	1	1.461 9	1.448 7	仪器置平	1	1.461 6	1.449 1
	2	1.462 0	1.448 7		2	1.461 8	1.449 0
	3	1.462 0	1.448 7		3	1.461 8	1.449 0
	4	1.462 0	1.448 7		4	1.461 8	1.449 0
	5	1.462 0	1.448 7		5	1.461 8	1.449 0
	均值	1.461 98	1.448 70		均值	1.461 76	1.449 02
A、B 两目标高差: $h_{+\beta}=+0.013\ 28\ \text{m}$				A、B 两目标高差: $h''_0=+0.012\ 74\ \text{m}$			

表 E.1 (续)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

仪器位置	观测 次数	A 目标 读数/m	B 目标 读数/m	仪器位置	观测 次数	A 目标 读数/m	B 目标 读数/m
$h_0 = (h'_0 + h''_0) / 2 = +0.012\ 80\ \text{m}$ $\Delta h_{+\alpha} = (h_{+\alpha} - h_0) = 0.000\ 00\ \text{m} \quad \Delta_{+\alpha} = 0.000('')/(')$ $\Delta h_{-\alpha} = (h_{-\alpha} - h_0) = -0.000\ 12\ \text{m} \quad \Delta_{-\alpha} = -0.051('')/(')$ $\Delta h_{-\beta} = (h_{-\beta} - h_0) = -0.000\ 50\ \text{m} \quad \Delta_{-\beta} = -0.214('')/(')$ $\Delta h_{+\beta} = (h_{+\beta} - h_0) = +0.000\ 48\ \text{m} \quad \Delta_{+\beta} = +0.206('')/(')$							
取最大绝对值为仪器补偿误差: $0.214('')/(')$							
注: A、B 两目标高差为 60.11 m, 其中, A 目标距离为 30.110 m, B 目标距离为 30.000 m。							

附录 F

望远镜调焦运行误差检定记录及计算示例

表 F.1 给出了望远镜调焦运行误差检定记录及计算示例。

表 F.1 望远镜调焦运行误差检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

距离 D_i/m			5	10	20	30	70
观测值	Ⅰ (格)	往	62.7	63.3	65.0	63.3	63.7
		返	63.3	63.5	63.2	63.6	63.0
	Ⅱ (格)	往	63.3	63.8	63.5	63.5	62.3
		返	63.4	62.9	62.7	62.7	62.5
$h_i = \text{观测值平均值} \times 0.05^{\text{①}}$ /mm			3.16	3.17	3.18	3.16	3.14
平均值			$\bar{h} = \sum h_i / 5 = 3.16\text{mm}$ $\bar{D} = \sum D_i / 5 = 27\text{ m}$				
$\Delta_i = h_i - \bar{h}$ /mm			0.00	+0.01	+0.02	0.00	-0.02
$D_i \Delta_i$ /m · mm			0.00	+0.10	+0.40	0.00	-1.40
$(\bar{D} - D_i)K$ /mm			-0.007	-0.006	-0.002	+0.001	+0.015
$v_i = \Delta_i + (\bar{D} - D_i)K$ /mm			-0.007	+0.004	+0.018	+0.001	-0.005
$v = \max (v_i) = 0.018\text{ mm}$ $K = -0.9 / 2\ 680 = -3.4 \times 10^{-4}\text{ (mm/m)}$							
① 0.05 为格值。							

附录 G

测站单次高差标准差检定记录及计算示例

表 G.1 给出了测站单次高差标准差检定记录及计算示例。

表 G.1 测站单次高差标准差检定记录及计算示例

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观 测：_____ 记 录：_____ 日 期：_____

序号	后视读数 h_A/m	前视读数 h_B/m	相对高差 $h_i=(h_A-h_B)/\text{m}$	序号	后视读数 h_A/m	前视读数 h_B/m	相对高差 $h_i=(h_A-h_B)/\text{m}$
1	1.461 6	1.449 1	+0.012 74	5	1.459 4	1.447 0	+0.012 46
	1.461 8	1.449 0			1.459 4	1.447 0	
	1.461 8	1.449 0			1.459 4	1.446 9	
	1.461 8	1.449 0			1.459 4	1.446 9	
	1.461 8	1.449 0			1.459 4	1.446 9	
	1.461 76	1.449 02			1.459 40	1.446 94	
2	1.461 2	1.448 3	+0.012 94	6	1.459 0	1.446 2	+0.012 80
	1.461 2	1.448 3			1.459 0	1.446 2	
	1.461 3	1.448 3			1.459 0	1.446 2	
	1.461 3	1.448 3			1.459 0	1.446 2	
	1.461 2	1.448 3			1.459 0	1.446 2	
	1.461 24	1.448 30			1.459 00	1.446 20	
3	1.460 6	1.448 0	+0.012 54	7	1.459 3	1.446 8	+0.012 52
	1.460 5	1.448 0			1.459 3	1.446 8	
	1.460 6	1.448 0			1.459 3	1.446 7	
	1.460 5	1.448 0			1.459 3	1.446 8	
	1.460 5	1.448 0			1.459 3	1.446 8	
	1.460 54	1.448 00			1.459 30	1.446 78	
4	1.460 1	1.447 4	+0.012 74	8	1.460 0	1.447 2	+0.012 76
	1.460 1	1.447 4			1.460 0	1.447 3	
	1.460 1	1.447 4			1.460 0	1.447 2	
	1.460 1	1.447 3			1.460 0	1.447 2	
	1.460 1	1.447 3			1.460 0	1.447 3	
	1.460 10	1.447 36			1.460 00	1.447 24	

表 G.1 (续)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观测: _____ 记录: _____ 日期: _____

序号	后视读数 h_A/m	前视读数 h_B/m	相对高差 $h=(h_A-h_B)/\text{m}$	序号	后视读数 h_A/m	前视读数 h_B/m	相对高差 $h_i=(h_A-h_B)/\text{m}$
9	1.460 3	1.447 9	+0.012 44	11	1.461 5	1.449 0	+0.012 50
	1.460 3	1.447 9			1.461 5	1.449 0	
	1.460 4	1.447 9			1.461 5	1.449 0	
	1.460 3	1.447 9			1.461 5	1.449 0	
	1.460 4	1.447 9			1.461 5	1.449 0	
	1.460 34	1.447 90			1.461 50	1.449 00	
10	1.461 1	1.448 4	+0.012 76	12	1.462 2	1.449 5	+0.012 70
	1.461 1	1.448 4			1.462 2	1.449 5	
	1.461 2	1.448 3			1.462 2	1.449 5	
	1.461 1	1.448 4			1.462 2	1.449 5	
	1.461 2	1.448 4			1.462 2	1.449 5	
	1.461 14	1.448 38			1.462 20	1.449 50	
$h_0 = \frac{\sum_{i=1}^{12} h_i}{n} = +0.012\ 658\ \text{m} \quad \sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_0)^2}{n-1}} = \pm 0.16\ \text{mm}$							

附录 H

全方位交流磁场水平方向最大磁致误差方位角检定记录及计算示例

表 H.1 给出了全方位交流磁场（交流合成磁场）水平方向最大磁致误差方位角检定记录及计算示例。

表 H.1 全方位交流磁场水平方向最大磁致误差方位角检定记录及计算示例

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观 测：_____ 记 录：_____ 计 算：_____

温 度：_____ 时 间：_____ 摆 位：_____ 日 期：_____

方位角/ (°)	正向电流读数/m		通—断 y/mm	反向电流读数/m		通—断 y/mm	均值 $\bar{y}$ / mm
	断电	通电		断电	通电		
0	0.448 65	0.448 66	0.015	0.448 35	0.448 35	0.010	0.002 5
	0.448 65	0.448 67		0.448 34	0.448 36		
	0.448 650	0.448 665		0.448 345	0.448 355		
45	0.448 62	0.448 62	-0.005	0.448 34	0.448 35	0.010	-0.007 5
	0.448 63	0.448 62		0.448 33	0.448 34		
	0.448 625	0.448 620		0.448 335	0.448 345		
90	0.448 58	0.448 59	0.000	0.448 35	0.448 35	0.005	-0.002 5
	0.448 58	0.448 57		0.448 33	0.448 34		
	0.448 580	0.448 580		0.448 340	0.448 345		
135	0.448 59	0.448 60	0.000	0.448 35	0.448 36	0.005	-0.002 5
	0.448 59	0.448 58		0.448 36	0.448 36		
	0.448 590	0.448 590		0.448 355	0.448 360		
180	0.448 60	0.448 56	-0.025	0.448 36	0.448 34	-0.010	-0.007 5
	0.448 58	0.448 57		0.448 36	0.448 36		
	0.448 590	0.448 565		0.448 360	0.448 350		
225	0.448 56	0.448 57	-0.005	0.448 35	0.448 36	-0.005	0.000 0
	0.448 57	0.448 55		0.448 36	0.448 34		
	0.448 565	0.448 560		0.448 355	0.448 350		
270	0.448 55	0.448 55	0.010	0.448 37	0.448 36	-0.010	0.010 0
	0.448 55	0.448 57		0.448 36	0.448 35		
	0.448 550	0.448 560		0.448 365	0.448 355		

表 H.1 (续)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 计 算: _____
 温 度: _____ 时 间: _____ 摆 位: _____ 日 期: _____

方位角/ (°)	正向电流读数/m		通—断 y/mm	反向电流读数/m		通—断 y/mm	均值 $\bar{y}$ / mm
	断电	通电		断电	通电		
315	0.448 51	0.448 54	0.025	0.448 36	0.448 37	0.000	0.012 5
	0.448 50	0.448 52		0.448 37	0.448 36		
	0.448 505	0.448 530		0.448 365	0.448 365		
360	0.448 47	0.448 47	0.000	0.448 36	0.448 41	0.035	-0.017 5
	0.448 45	0.448 45		0.448 37	0.448 39		
	0.448 460	0.448 460		0.448 365	0.448 400		

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{-0.012\ 5}{9} = -0.001\ 4$$
$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \sin \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i} = \frac{-0.028\ 4}{4.0} = -0.007\ 1$$
$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \cos \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i} = \frac{-0.002\ 2}{5.0} = -0.000\ 4$$
$$\phi = \arctan(a_1/a_2) \approx 267^\circ$$

附录 J

最大磁致误差方位上特性曲线检定记录及计算示例

表 J.1 和表 J.2 给出了最大磁致误差方位上特性曲线检定记录及计算示例。

表 J.1 最大磁致误差方位上特性曲线检定记录示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 计 算: _____
 温 度: _____ 时 间: _____ 日 期: _____

测回数	地磁 场强 (倍数)	往测/m		通—断 y/mm	返测/m		通—断 y/mm	均值 $\bar{y}/\mu\text{m}$
		断电	通电		断电	通电		
1	0.0	0.448 32	0.448 29	0.000	0.448 40	0.448 39	-0.005	-2.5
		0.448 35	0.448 38		0.448 40	0.448 40		
		0.448 335	0.448 335		0.448 400	0.448 395		
	2.0	0.448 33	0.448 33	0.000	0.448 40	0.448 41	0.000	0.0
		0.448 36	0.448 36		0.448 41	0.448 40		
		0.448 345	0.448 345		0.448 405	0.448 405		
	4.0	0.448 35	0.448 38	0.005	0.448 40	0.448 42	0.010	7.5
		0.448 40	0.448 38		0.448 41	0.448 41		
		0.448 375	0.448 380		0.448 405	0.448 415		
	6.0	0.448 38	0.448 38	-0.015	0.448 38	0.448 41	0.015	0.0
		0.448 38	0.448 35		0.448 40	0.448 40		
		0.448 380	0.448 365		0.448 390	0.448 405		
	7.0	0.448 39	0.448 34	-0.055	0.448 41	0.448 42	0.005	-25.0
		0.448 44	0.448 38		0.448 41	0.448 41		
		0.448 415	0.448 360		0.448 410	0.448 415		
	0.0	0.448 41	0.448 41	-0.005	0.448 32	0.448 32	0.005	0.0
		0.448 42	0.448 41		0.448 31	0.448 32		
		0.448 415	0.448 410		0.448 315	0.448 320		
	-2.0	0.448 38	0.448 39	0.015	0.448 32	0.448 34	-0.005	5.0
		0.448 39	0.448 41		0.448 35	0.448 32		
		0.448 385	0.448 400		0.448 335	0.448 330		

表 J.1 (续)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 计 算: _____
 温 度: _____ 时 间: _____ 日 期: _____

测回数	地磁 场强 (倍数)	往测/m		通—断 y/mm	返测/m		通—断 y/mm	均值 $\bar{y}/\mu\text{m}$
		断电	通电		断电	通电		
1	—4.0	0.448 42	0.448 38	0.015	0.448 32	0.448 34	0.000	7.5
		0.448 37	0.448 44		0.448 35	0.448 33		
		0.448 395	0.448 410		0.448 335	0.448 335		
	—6.0	0.448 40	0.448 39	—0.020	0.448 36	0.448 37	0.025	2.5
		0.448 41	0.448 38		0.448 31	0.448 35		
		0.448 405	0.448 385		0.448 335	0.448 360		
	—7.0	0.448 39	0.448 40	0.005	0.448 37	0.448 37	0.000	2.5
		0.448 40	0.448 40		0.448 37	0.448 37		
		0.448 395	0.448 400		0.448 370	0.448 370		
注：1 倍场强对应的电流值为 0.19 A,视距为 19.989 m。								

表 J.2 最大磁致误差方位上特性曲线计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____

计 算: _____ 日 期: _____

序号	$x_i /$ 0.19 A	$y_i /$ μm	计算	Y_i	$Y_i - y_i$	$(Y_i - y_i)^2$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	7.0	-25.0	$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 210$ $\sum_{i=1}^n (x_i^2 x_i) = 1\,262$ $\sum_{i=1}^n x_i^4 = 7\,938$ $\sum_{i=1}^n (x_i y_i) = -217.5$ $\sum_{i=1}^n (x_i x_i y_i) = -1\,457.5$	-10.2	14.8	219.04	-24.9	620.01
2	6.0	0.0		-6.2	-6.2	38.44	0.1	0.01
3	4.0	7.5		-0.7	-8.2	67.24	7.6	57.76
4	2.0	0.0		1.3	1.3	1.69	0.1	0.01
5	0.0	-1.3		0	1.3	1.69	-1.2	14.40
6	-2.0	5.0		-1.3	-6.3	39.69	5.1	26.01
7	-4.0	7.5		0.7	-6.8	46.24	7.6	57.76
8	-6.0	2.5		6.2	3.7	13.69	2.6	6.76
9	-7.0	2.5		10.2	7.7	59.29	2.6	6.76
	$\bar{y}$	-0.1			Σ	487.01		776.52
$a_2 = -0.425\,0 \quad a_1 = 1.518\,1$ $Y = a_1 x + a_2 x x $ $m = \sqrt{487.01 / (9 - 2)} = 8.34 (\mu\text{m}) \quad R = \sqrt{1 - (487.01 / 776.52)} = 0.610\,6$ $H = (210 \times 7\,938 - 1\,262^2) \times 0.19^6 = 74\,336 \times 0.19^6 = 3.497$ $M_i = 8.34 \times \sqrt{(0.19^2 \times 7\,938 \times 0.19^4 - 2 \times 0.19^3 \times 1\,262 \times 0.19^3 + 0.19^4 \times 210 \times 0.19^2) / 3.497} = 2.30 (\mu\text{m})$ $Y_i = (1.518\,1 - 0.425\,0) \times 10^{-6} / 19.989 \times 206\,265 = 0.011\,3 (")$								

附录 K

视距测量精度检定记录及计算示例

表 K.1 给出了视距测量精度检定记录及计算示例。

表 K.1 视距测量精度检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____
 标准距离: $D_1 = 30.00 \text{ m}$ $D_2 = 10.00 \text{ m}$

序号	视距测量值 D_{1i}/m	$\Delta D_{1i}/\text{cm}$	ΔD_{1i}^2	视距测量值 D_{2i}/m	$\Delta D_{2i}/\text{cm}$	ΔD_{2i}^2
1	30.010	0.0	0.00	10.009	0.1	0.01
2	30.011	0.1	0.01	10.008	0.0	0.00
3	30.015	0.5	0.25	10.008	0.0	0.00
4	30.000	-1.0	1.00	10.008	0.0	0.00
5	30.011	0.1	0.01	10.008	0.0	0.00
6	30.005	-0.5	0.25	10.008	0.0	0.00
7	30.016	0.6	0.36	10.008	0.0	0.00
8	30.011	0.1	0.01	10.008	0.0	0.00
9	30.012	0.2	0.04	10.008	0.0	0.00
10	30.007	-0.3	0.09	10.008	0.0	0.00
$\bar{D}$ 、 $\sum_{i=1}^{10} \Delta D$ 、 $\sum_{i=1}^{10} \Delta D^2$	30.010	-0.2	2.02	10.008	0.1	0.01
$\bar{D} - D_1 = 30.010 - 30.000 = 1.0(\text{cm})$ $\bar{D} - D_2 = 10.008 - 10.000 = 0.8(\text{cm})$ $\sigma_{\text{距}1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{D} - D_i)^2}{10 - 1}} = 0.47 \text{ cm} \quad \Delta D_{s1} = 1.60 \text{ cm}$ $\sigma_{\text{距}2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{D} - D_i)^2}{10 - 1}} = 0.03 \text{ cm} \quad \Delta D_{s2} = 0.90 \text{ cm}$						

附录 L

分辨力检定记录及计算示例

表 L.1 给出了分辨力检定记录及计算示例。

表 L.1 分辨力检定记录及计算示例

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
 观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

序号	观测值 h_i / mm	双频激光干涉 仪读数 / mm	归算值 H_i / mm	残差 v_i / mm	序号	观测值 h_i / mm	双频激光干涉 仪读数 / mm	归算值 H_i / mm	残差 v_i / mm
1	1 059.010 0	-0.559 9	1 059.010 0	0.003 7	16	1 059.150 0	-0.702 7	1 059.007 2	0.000 9
2	1 059.020 0	-0.569 0	1 059.010 9	0.004 6	17	1 059.160 0	-0.712 6	1 059.007 3	0.001 0
3	1 059.030 0	-0.578 1	1 059.011 8	0.005 5	18	1 059.170 0	-0.722 7	1 059.007 2	0.000 9
4	1 059.040 0	-0.578 1	1 059.012 8	0.006 5	19	1 059.180 0	-0.732 5	1 059.007 4	0.001 1
5	1 059.050 0	-0.596 1	1 059.013 8	0.007 5	20	1 059.190 0	-0.742 1	1 059.007 7	0.001 4
6	1 059.050 0	-0.605 6	1 059.004 3	-0.002 0	21	1 059.200 0	-0.752 1	1 059.007 8	0.001 5
7	1 059.060 0	-0.615 0	1 059.004 9	-0.001 4	22	1 059.210 0	-0.761 9	1 059.008 0	0.001 7
8	1 059.070 0	-0.624 4	1 059.005 5	-0.000 8	23	1 059.210 0	-0.772 3	1 058.997 6	-0.008 7
9	1 059.080 0	-0.634 3	1 059.005 6	-0.000 7	24	1 059.230 0	-0.781 8	1 059.008 1	0.001 8
10	1 059.090 0	-0.643 8	1 059.006 1	-0.000 2	25	1 059.230 0	-0.791 9	1 058.998 0	-0.008 3
11	1 059.100 0	-0.653 4	1 059.006 5	0.000 2	26	1 059.240 0	-0.801 8	1 058.998 1	-0.008 2
12	1 059.110 0	-0.663 3	1 059.006 6	0.000 3	27	1 059.260 0	-0.811 7	1 059.008 1	0.001 8
13	1 059.120 0	-0.673 0	1 059.006 9	0.000 6	28	1 059.270 0	-0.821 5	1 059.008 4	0.002 1
14	1 059.130 0	-0.683 0	1 059.006 8	0.000 5	29	1 059.280 0	-0.831 7	1 059.008 2	0.001 9
15	1 059.140 0	-0.692 9	1 059.007 0	0.000 7	30	1 059.280 0	-0.841 4	1 058.998 5	-0.007 8
$H_0 = 1\,059.006\,3\text{ mm}$ $m_r = 0.004\,2\text{ mm}$									

附录 M

系统误差检定记录及计算示例

表 M.1 给出了系统误差（系统一致性）检定记录和计算示例。

表 M.1 系统误差检定记录及计算示例

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观 测：_____ 记 录：_____ 日 期：_____

序号	ξ_i/mm	h_i/m	y_i/mm	序号	ξ_i/mm	h_i/m	y_i/mm
0	0.000 059	0.483 430	-483.429 941	20	1 023.065 542	1.506 480	-483.414 458
1	51.829 256	0.535 260	-483.430 744	21	1 074.314 818	1.557 750	-483.435 182
2	102.831 356	0.586 250	-483.418 644	22	1 125.318 630	1.608 740	-483.421 370
3	154.087 871	0.637 510	-483.422 129	23	1 176.562 013	1.659 990	-483.427 987
4	205.087 262	0.688 510	-483.422 738	24	1 227.559 546	1.710 990	-483.430 454
5	256.334 274	0.739 760	-483.425 726	25	1 278.798 084	1.762 220	-483.421 916
6	307.333 478	0.790 760	-483.426 522	26	1 329.800 363	1.813 220	-483.419 637
7	358.581 331	0.842 000	-483.418 669	27	1 381.046 445	1.864 470	-483.423 555
8	409.574 948	0.893 000	-483.425 052	28	1 432.054 133	1.915 480	-483.425 867
9	460.822 237	0.944 240	-483.417 763	29	1 483.303 577	1.966 720	-483.416 423
10	511.822 271	0.995 250	-483.427 729	30	1 534.307 903	2.017 740	-483.432 097
11	563.077 470	1.046 500	-483.422 530	31	1 585.555 271	2.068 970	-483.414 729
12	614.080 154	1.097 510	-483.429 846	32	1 636.553 407	2.119 980	-483.426 593
13	665.330 449	1.148 760	-483.429 551	33	1 687.791 025	2.171 200	-483.408 975
14	716.324 887	1.199 750	-483.425 113	34	1 738.788 598	2.222 220	-483.431 402
15	767.571 484	1.251 010	-483.438 516	35	1 790.035 659	2.273 460	-483.424 341
16	818.566 713	1.301 990	-483.423 287	36	1 841.040 341	2.324 460	-483.419 659
17	869.805 518	1.353 240	-483.434 482	37	1 892.293 117	2.375 717	-483.423 883
18	920.808 281	1.404 220	-483.411 719	38	1 943.301 447	2.426 720	-483.418 553
19	972.060 524	1.455 490	-483.429 476	39	1 994.555 065	2.477 970	-483.414 935
$\hat{\beta}=2.57 \mu\text{m}/\text{m} \quad \hat{\sigma}_{\beta}=1.75 \mu\text{m}/\text{m}$							
$\hat{\alpha}=-483.427 855 \text{ mm} \quad \hat{\sigma}_{\alpha}=0.002 788 \text{ mm}$ $t_{\alpha}= \hat{\alpha} /\hat{\sigma}_{\alpha}>t_{38,0.025}=2.02, \alpha \text{ 显著有效}$ $t_{\beta}= \hat{\beta} /\hat{\sigma}_{\beta}<t_{38,0.025}=2.02, \beta \text{ 不显著, 不需要进行系统误差改正}$							

责任编辑 余易举

JJG(测绘) 2101—2013

中华人民共和国测绘地理信息计量检定规程

数字水准仪

JJG(测绘) 2101—2013

*

国家测绘地理信息局发布

测绘出版社 出版发行

地址：北京市西城区三里河路50号 邮编：100045

电话：(010)83543956 68531609 68531363 网址：www.chinasmp.com

三河市世纪兴源印刷有限公司印刷

新华书店经销

成品尺寸：210mm×297mm 印张：2.75 字数：57千字

2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷

印数：0001—2000册

本书如有印装质量问题，请与我社门市部联系调换。

ISBN 978-7-5030-3240-0



9 787503 032400 >

定价：41.00元