

广西壮族自治区计量校准规范

《数字水准仪检定装置》

试 验 报 告

（征求意见稿）

《数字水准仪检定装置》计量校准规范编写组

2024 年 01 月

一、试验目的：

校准规范编写小组在商议后，一致决定分别对平行光管法数字水准仪检定装置及标准条码尺外业模拟法进行试验，目的是验证《数字水准仪检定装置》校准规范征求意见稿中规定的计量特性、校准条件和校准方法的是否科学准确且合理可行。

本文采用相同的或级别精度均符合的计量标准作为标准器具，分两组试验进行。第一组针对平行光管法数字水准仪检定装置，第二组进行两种方法的比对验证：即将平行光管法数字水准仪检定装置与标准条码尺外业模拟法进行比对。

二、试验情况：

第一组试验

平行光管法数字水准仪检定装置（内置标准条码）：

一、试验机构：广西壮族自治区计量检测研究院

二、试验日期：2023 年 11 月 30 日 ； 试验地点：广西计量院；

三、试验方法：

考虑到平行光管里内置标准条码的特殊代表性，选取费式法、日本法两种常规校正方法的进口、国产数字水准仪为代表，对数字水准仪检定装置的两项计量技术指标进行校准，分别是水平准线偏差、视距测量标准偏差。

数字水准仪多目标偏离准线偏差，选取德国蔡司精密水准仪精密水准仪当标准器，利用蔡司水准仪的双摆分别对被检装置中的近目标 15m、远距离 30m 分划板进行测量计算获得多目标偏离准线偏差。

四、试验装置：数字水准仪检定装置（西安富图公司）

五、试验原始记录如下：

数字水准仪检定装置校准记录格式

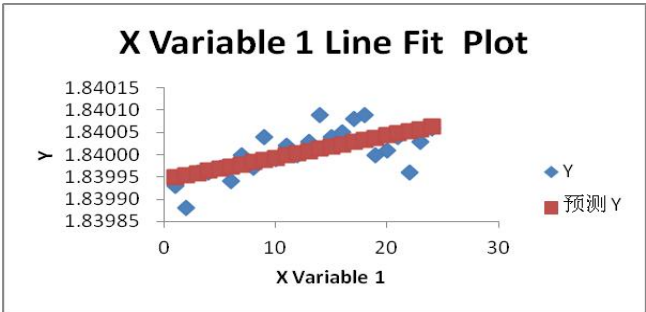
一、水平准线偏差（平行光管内置标准条码法）

表. 1.1 水平准线偏差

标准器：数字水准仪 DiNi (751643) 环境温度：22℃ 相对湿度：53%RH
校准日期：2023 年 11 月 06 日 校准员： 核验员：

| 测量位置 (m) | A 平行光管的分划板标高 | | B 平行光管的分划板标高 | | A 管标高差 | B 管标高差 | i 角 (") |
|----------------|--------------|---------|--------------|---------|----------|---------|-----------|
| | 15m | 30m | 15m | 30m | | | |
| H ₁ | 1.83993 | 1.84000 | 1.84003 | 1.84000 | -0.00007 | 0.00003 | 0.3 |
| H ₂ | 1.83988 | 1.83997 | 1.84009 | 1.84001 | -0.00009 | 0.00008 | 0.1 |
| H ₃ | 1.83996 | 1.84004 | 1.84004 | 1.84004 | -0.00008 | 0.00000 | 0.6 |
| H ₄ | 1.83996 | 1.83999 | 1.84005 | 1.83996 | -0.00003 | 0.00009 | -0.4 |
| H ₅ | 1.83997 | 1.84002 | 1.84008 | 1.84003 | -0.00005 | 0.00005 | 0.0 |
| H ₆ | 1.83994 | 1.84000 | 1.84009 | 1.84006 | -0.00006 | 0.00003 | 0.2 |
| 平均值 | 1.83994 | 1.84000 | 1.84006 | 1.84002 | -0.00006 | 0.00005 | 0.1 |
| 标准偏差(mm) | 0.033 | 0.024 | 0.027 | 0.035 | / | / | / |

A、B 平行光管的目标高度标称值是 1.84000m；取上述测量结果中偏离最大值为水平准线偏差，则双平行光管的水平准线偏差为 0.6"。以 A、B 双管各测量位置的标高进行线性拟合，得到线性斜率为 0.000005，则水平基准线的线性拟合图如下：



根据各测量点的目标高测量值计算分别得到平行光管 A、B 的视轴误差，如下表：

| 测量位置 | 平行光管 A 视轴误差 (") | 平行光管 B 视轴误差 (") |
|----------------|-------------------|-------------------|
| H ₁ | -1.0 | 0.4 |
| H ₂ | -1.2 | 1.1 |
| H ₃ | -1.1 | 0.0 |
| H ₄ | -0.4 | 1.2 |
| H ₅ | -0.7 | 0.7 |
| H ₆ | -0.8 | 0.4 |
| 平均值 | -0.9 | 0.6 |

以上数据均表明平行光管 A、B 建立起来的水平准线均满足水平准线偏差≤2" 的技术要求，无论是 A 管还是 B 管的视轴误差均符合要求。

表 1.2 水平准线偏差

标准器：数字水准仪 LS15

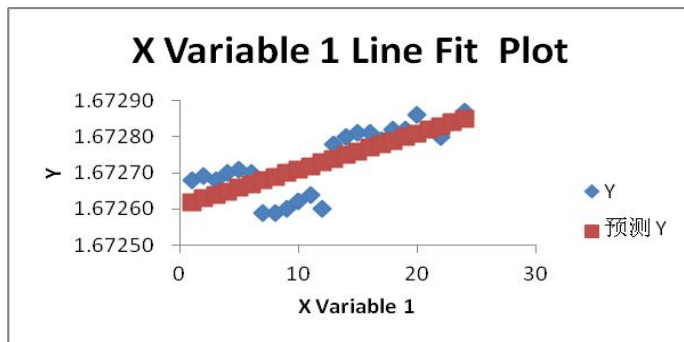
环境温度：21℃ 相对湿度：53%RH

校准日期：2023 年 11 月 08 日

校准员： 核验员：

| 测量位置 (m) | A 平行光管的分划板标高 | | B 平行光管的分划板标高 | | A 管标高差 | B 管标高差 | i 角 (") |
|----------------|--------------|---------|--------------|---------|---------|----------|-----------|
| | 15m | 30m | 15m | 30m | | | |
| H ₁ | 1.67268 | 1.67259 | 1.67278 | 1.67282 | 0.00009 | -0.00004 | -0.3 |
| H ₂ | 1.67269 | 1.67259 | 1.67280 | 1.67286 | 0.00010 | -0.00006 | -0.3 |
| H ₃ | 1.67268 | 1.67260 | 1.67281 | 1.67282 | 0.00008 | -0.00001 | -0.5 |
| H ₄ | 1.67270 | 1.67262 | 1.67281 | 1.67280 | 0.00008 | 0.00001 | -0.6 |
| H ₅ | 1.67271 | 1.67264 | 1.67279 | 1.67284 | 0.00007 | -0.00005 | -0.1 |
| H ₆ | 1.67270 | 1.67260 | 1.67282 | 1.67287 | 0.00010 | -0.00005 | -0.3 |
| 平均值 | 1.67269 | 1.67261 | 1.67280 | 1.67284 | 0.00009 | -0.00003 | -0.4 |
| 标准偏差(mm) | 0.012 | 0.020 | 0.015 | 0.027 | / | / | / |

A、B 平行光管的目标高度标称值是 1.67263m；取测量结果中偏离最大值为水平准线偏差，则双平行光管的水平准线偏差为 -0.6"。以 A、B 双管各测量位置的标高进行线性拟合，得到线性斜率为 0.000010，则水平基准线的线性拟合图如下：



根据各测量点的目标高测量值计算分别得到平行光管 A、B 的视轴误差，如下表：

| 测量位置 | 平行光管 A 视轴误差 (") | 平行光管 B 视轴误差 (") |
|----------------|-------------------|-------------------|
| H ₁ | 1.2 | -0.6 |
| H ₂ | 1.4 | -0.8 |
| H ₃ | 1.1 | -0.1 |
| H ₄ | 1.1 | 0.1 |
| H ₅ | 1.0 | -0.7 |
| H ₆ | 1.4 | -0.7 |
| 平均值 | 1.2 | -0.5 |

以上数据均表明平行光管 A、B 建立起来的水平准线均满足水平准线偏差 $\leq 2''$ 的技术要求，无论是 A 管还是 B 管的视轴误差均符合要求。

二、条码分划板视距误差（平行光管内置标准条码法）

表 2.1 条码分划板视距误差

标准器：数字水准仪 DiNi (751643) 环境温度：22℃ 相对湿度：53%RH
校准日期：2023 年 11 月 06 日 校准员： 核验员：

| 测量位置 | 序号 | 视距测量值 D_i (m) | $\triangle D$ (m) | 视距测量值 D_i (m) | $\triangle D$ (m) |
|------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| A 管 | 1 | 13.870 | -0.007 | 29.017 | 0.001 |
| | 2 | 13.879 | 0.002 | 29.014 | -0.002 |
| | 3 | 13.878 | 0.001 | 29.019 | 0.003 |
| | 4 | 13.880 | 0.003 | 29.014 | -0.002 |
| | 5 | 13.876 | -0.001 | 29.019 | 0.003 |
| | 6 | 13.878 | 0.001 | 29.014 | -0.002 |
| | 平均值 | 13.877 | / | 29.016 | / |
| | A 管视距误差：0.003m=3mm | | | | |
| B 管 | 1 | 13.881 | 0.000 | 29.038 | -0.002 |
| | 2 | 13.881 | 0.000 | 29.041 | 0.001 |
| | 3 | 13.881 | 0.000 | 29.04 | 0.000 |
| | 4 | 13.881 | 0.000 | 29.042 | 0.002 |
| | 5 | 13.88 | -0.001 | 29.042 | 0.002 |
| | 6 | 13.88 | -0.001 | 29.038 | -0.002 |
| | 平均值 | 13.881 | / | 29.040 | / |
| | B 管视距误差：-0.002m=-2mm | | | | |

表 2.2 条码分划板视距误差

标准器：数字水准仪 LS15 环境温度：22℃ 相对湿度：53%RH
校准日期：2023 年 11 月 06 日 校准员： 核验员：

单位：m

| 测量位置 | 序号 | 视距测量值 D_i (m) | $\triangle D$ (m) | 视距测量值 D_i (m) | $\triangle D$ (m) |
|------|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| A 管 | 1 | 15.013 | 0.000 | 30.079 | 0.003 |
| | 2 | 15.014 | 0.001 | 30.075 | -0.001 |
| | 3 | 15.013 | 0.000 | 30.075 | -0.001 |
| | 4 | 15.013 | 0.000 | 30.075 | -0.001 |
| | 5 | 15.013 | 0.000 | 30.074 | -0.002 |
| | 6 | 15.014 | 0.001 | 30.076 | 0.000 |
| | 平均值 | 15.013 | / | 30.076 | / |
| | A 管视距误差：0.003m=3mm | | | | |
| B 管 | 1 | 14.985 | 0.001 | 30.121 | -0.003 |
| | 2 | 14.985 | 0.001 | 30.129 | 0.005 |
| | 3 | 14.984 | 0.000 | 30.118 | -0.006 |
| | 4 | 14.983 | -0.001 | 30.126 | 0.002 |
| | 5 | 14.983 | -0.001 | 30.122 | -0.002 |
| | 6 | 14.985 | 0.001 | 30.127 | 0.003 |
| | 平均值 | 14.984 | / | 30.124 | / |
| | B 管视距误差：-0.006m=-6mm | | | | |

表 2.3 条码分划板视距误差

标准器：数字水准仪 SDL30(15725)

环境温度：21℃

相对湿度：53%RH

校准日期：2023 年 11 月 08 日

校准员：

核验员：

单位：m

| 测量位置 | 序号 | 视距测量值 D_i (m) | ΔD (m) | 视距测量值 D_i (m) | ΔD (m) |
|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A 管 | 1 | 15.02 | 0.000 | 30.09 | -0.005 |
| | 2 | 15.02 | 0.000 | 30.10 | 0.005 |
| | 3 | 15.02 | 0.000 | 30.09 | -0.005 |
| | 4 | 15.02 | 0.000 | 30.09 | -0.005 |
| | 5 | 15.02 | 0.000 | 30.10 | 0.005 |
| | 6 | 15.02 | 0.000 | 30.10 | 0.005 |
| | 平均值 | 15.02 | / | 30.095 | / |
| | A 管视距误差：±0.005m=±5mm | | | | |
| B 管 | 1 | 14.99 | -0.002 | 30.14 | 0.002 |
| | 2 | 14.99 | -0.002 | 30.14 | 0.002 |
| | 3 | 14.99 | -0.002 | 30.13 | -0.008 |
| | 4 | 14.99 | -0.002 | 30.14 | 0.002 |
| | 5 | 15.01 | 0.018 | 30.14 | 0.002 |
| | 6 | 14.98 | -0.012 | 30.14 | 0.002 |
| | 平均值 | 14.992 | / | 30.138 | / |
| | B 管视距误差：0.018m=18mm | | | | |

表 2.4 条码分划板视距误差

标准器：数字水准仪 EL302A(30000856)

环境温度：22℃

相对湿度：52%RH

校准日期：2023 年 11 月 11 日

校准员：

核验员：

| 测量位置 | 序号 | 视距测量值 D_i (m) | ΔD (m) | 视距测量值 D_i (m) | ΔD (m) |
|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| A 管 | 1 | 15.021 | 0.002 | 30.082 | 0.002 |
| | 2 | 15.019 | 0.000 | 30.081 | 0.000 |
| | 3 | 15.019 | 0.000 | 30.08 | -0.001 |
| | 4 | 15.018 | -0.001 | 30.083 | 0.002 |
| | 5 | 15.018 | -0.001 | 30.074 | -0.006 |
| | 6 | 15.019 | 0.000 | 30.083 | 0.002 |
| | 平均值 | 15.019 | / | 30.0805 | / |
| | A 管视距误差：-0.006m=-6mm | | | | |
| B 管 | 1 | 14.986 | -0.001 | 30.108 | -0.003 |
| | 2 | 14.985 | -0.002 | 30.111 | 0.000 |
| | 3 | 14.985 | -0.002 | 30.120 | 0.009 |
| | 4 | 14.989 | 0.002 | 30.109 | -0.002 |
| | 5 | 14.989 | 0.002 | 30.104 | -0.007 |
| | 6 | 14.985 | -0.002 | 30.113 | 0.002 |
| | 平均值 | 14.987 | / | 30.111 | / |
| | B 管视距误差：0.009m=9mm | | | | |

三、多目标偏离准线偏差（平行光管内置标准条码法）

表 3.1 多目标偏离准线偏差

标准器：Ni002（460676）

环境温度：22℃ 相对湿度：52%RH

校准日期：2023 年 10 月 16 日

校准员： 核验员：

| 平 行 光 管 A 记 录 | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------|--------|
| 测量位置 | 近距离 15m | 远距离 30m | 无穷远目标∞ |
| 测回Ⅰ（格） | 0.1 | 0 | / |
| 测回Ⅱ（格） | 0.2 | 0.3 | / |
| （Ⅰ+Ⅱ）/2（格） | 0.15 | 0.15 | / |
| 测量结果 | 0.15×0.05mm=0.01mm | | |
| 平 行 光 管 B 记 录 | | | |
| 测量位置 | 近距离 15m | 远距离 30m | 无穷远目标∞ |
| 测回Ⅰ（格） | 0 | -1.6 | / |
| 测回Ⅱ（格） | -0.7 | -1.4 | / |
| （Ⅰ+Ⅱ）/2（格） | -0.35 | -1.5 | / |
| 测量结果 | （-1.5）×0.05mm=-0.10mm | | |
| 注：本实例采用 Ni002 水准仪，其测微器为 0.05mm/格。 | | | |

表 3.2 多目标偏离准线偏差

标准器：Ni002（460676）

环境温度：22℃ 相对湿度：52%RH

校准日期：2023 年 10 月 16 日

校准员： 核验员：

| 平 行 光 管 A 记 录 | | | | | |
|---------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 测量位置 | 1m | 3m | 15m | 30m | 50m |
| 测回摆 I 读数 | 570 | 582 | 640 | 726 | 788 |
| 测回摆 II 读数 | 546 | 532 | 452 | 380 | 270 |
| (I + II) /2 | 558 | 557 | 546 | 553 | 529 |
| △ | 0 | -1 | -12 | -5 | -29 |
| 测量结果 | (-2.9) × 0.05mm=-0.15mm | | | | |
| 平 行 光 管 B 记 录 | | | | | |
| 测量位置 | 1m | 3m | 15m | 30m | 50m |
| 测回摆 I 读数 | 500 | 520 | 608 | 698 | 868 |
| 测回摆 II 读数 | 478 | 468 | 434 | 348 | 166 |
| (I + II) /2 | 489 | 494 | 521 | 523 | 517 |
| △ | 0 | 5 | 32 | 34 | 28 |
| 测量结果 | 3.4 × 0.05mm=0.12mm | | | | |

四、条码分刻板标高误差

表 4.1 条码分刻板标高误差

标准器：数字水准仪 DiNi (751643) 环境温度：22℃ 相对湿度：53%RH
 校准日期：2023 年 11 月 06 日 校准员： 核验员：

| 测量位置 | 序号 | 标高测量值 h_i (m) | Δh (mm) | 标高测量值 h_i (m) | Δh (mm) |
|------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A 管 | 1 | 1.83993 | -0.070 | 1.84000 | 0.000 |
| | 2 | 1.83988 | -0.120 | 1.83997 | -0.030 |
| | 3 | 1.83996 | -0.040 | 1.84004 | 0.040 |
| | 4 | 1.83996 | -0.040 | 1.83999 | -0.010 |
| | 5 | 1.83997 | -0.030 | 1.84002 | 0.020 |
| | 6 | 1.83994 | -0.060 | 1.84000 | 0.000 |
| | 平均值 | 1.83994 | / | 1.84000 | / |
| | A 管的目标高度标称值是 1.84000m，则 A 管标高误差：-0.12mm | | | | |
| B 管 | 1 | 1.84003 | 0.030 | 1.84000 | 0.000 |
| | 2 | 1.84009 | 0.090 | 1.84001 | 0.010 |
| | 3 | 1.84004 | 0.040 | 1.84004 | 0.040 |
| | 4 | 1.84005 | 0.050 | 1.83996 | -0.040 |
| | 5 | 1.84008 | 0.080 | 1.84003 | 0.030 |
| | 6 | 1.84009 | 0.090 | 1.84006 | 0.060 |
| | 平均值 | 1.84006 | / | 1.84002 | / |
| | B 管的目标高度标称值是 1.84000m，则 B 管视距误差：0.09mm | | | | |

表 4.2 条码分刻板标高误差

标准器：数字水准仪 LS15 环境温度：22℃ 相对湿度：53%RH
 校准日期：2023 年 11 月 06 日 校准员： 核验员：

| 测量位置 | 序号 | 标高测量值 h_i (m) | Δh (mm) | 标高测量值 h_i (m) | Δh (mm) |
|------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A 管 | 1 | 1.67268 | 0.05 | 1.67259 | -0.04 |
| | 2 | 1.67269 | 0.06 | 1.67259 | -0.04 |
| | 3 | 1.67268 | -0.05 | 1.67260 | -0.03 |
| | 4 | 1.67270 | 0.07 | 1.67262 | -0.01 |
| | 5 | 1.67271 | 0.08 | 1.67264 | 0.01 |
| | 6 | 1.67270 | 0.07 | 1.67260 | -0.03 |
| | 平均值 | 1.67269 | / | 1.67261 | / |
| | A 管的目标高度标称值是 1.67263m，则 A 管标高误差：0.08mm | | | | |
| B 管 | 1 | 1.67278 | 0.15 | 1.67282 | 0.19 |
| | 2 | 1.67280 | 0.17 | 1.67286 | 0.23 |
| | 3 | 1.67281 | 0.18 | 1.67282 | 0.19 |
| | 4 | 1.67281 | 0.18 | 1.67280 | 0.17 |
| | 5 | 1.67279 | 0.16 | 1.67284 | 0.21 |
| | 6 | 1.67282 | 0.19 | 1.67287 | 0.24 |
| | 平均值 | 1.67280 | / | 1.67284 | 0.19 |
| | B 管的目标高度标称值是 1.67263m，则 B 管视距误差：0.24mm | | | | |

五、二维微倾台的示值误差（平行光管内置标准条码法）

表 5.1. 二维微倾台的纵向示值误差

标准器：数显倾角仪(90S1094)

环境温度：22℃

相对湿度：52%RH

校准日期：2023 年 10 月 16 日

校准员：核验员：

| 测量位置 (') | 数显倾角仪测量值 | | 纵向示值误差 |
|--------------|----------|------|--------|
| | " | 转换为' | ' |
| -8 | -465.4 | -7.8 | -0.2 |
| -6 | -349.3 | -5.8 | -0.2 |
| -4 | -225.4 | -3.8 | -0.2 |
| -2 | -110.2 | -1.8 | -0.2 |
| 0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 113.2 | 1.9 | 0.1 |
| 4 | 235.1 | 3.9 | 0.1 |
| 6 | 350.1 | 5.8 | 0.2 |
| 8 | 470.6 | 7.8 | 0.2 |
| 纵向示值误差：±0.2' | | | |

表 5.2 二维微倾台的横向示值误差

| 测量位置 | 数显倾角仪测量值 | | 横向示值误差 |
|--------------|----------|------|--------|
| | " | 转换为' | ' |
| -8 | -476.8 | -7.9 | 0.1 |
| -6 | -366.0 | -6.1 | -0.1 |
| -4 | -233.6 | -3.9 | 0.1 |
| -2 | -118.9 | -2.0 | 0.0 |
| 0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 111.4 | 1.9 | -0.1 |
| 4 | 231.4 | 3.9 | -0.1 |
| 6 | 348.8 | 5.8 | 0.0 |
| 8 | 480.4 | 8.0 | 0.0 |
| 横向示值误差：-0.1' | | | |

第二组试验

数字水准仪检定装置推荐的比对溯源法

一、试验机构：广西壮族自治区计量检测研究院

二、试验日期：2023 年 12 月 06 日 ； 试验地点：南宁市 ；

三、试验方法：标准条码尺外业模拟法即在室外相距 $D=45\text{m}$ 的距离两端设置配套的因瓦条码水准标尺，将距离 D 均分为三等分如图 1-4 布置，分别在距 A、B 条码水准标尺 15m 处设两个仪器站，即测站 1，测站 2。将徕卡 LS15（346913）数字水准仪照准 15m 的 A 尺测量读数 h_A ，继而旋转数字水准仪 180° 照准 30m 的 B 尺测量读数 h_B ；然后搬动数字水准仪换测站 2，再次测量 B 尺 15m 测量读数 h'_B ，再次翻转数字水准仪 180° 照准 30m 的 A 尺测量读数 h'_A 。共进行 6 次重复性测量，通过计算标准条码尺外业模拟法的数字 i 角值，与平行光管法测量的数字 i 角值进行比对。

表 5 数字 i 角重复性测量数据

| 测量目标 | A 尺标高读数 (m) | | B 尺标高读数 (m) | | 外业模拟法测 量结果 (″) | 平行光管法测 量结果 (″) | 差值 Δ (″) |
|------|-------------|---------|-------------|---------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 测量位置 | 15m | 30m | 15m | 30m | | | |
| 1 | 1.67598 | 1.67558 | 1.67674 | 1.67651 | 1.2 | -0.1 | -1.3 |
| 2 | 1.67601 | 1.67589 | 1.67676 | 1.67661 | -0.2 | -1.5 | -1.3 |
| 3 | 1.67596 | 1.67557 | 1.67675 | 1.67650 | 1.0 | 0.0 | -1.0 |
| 4 | 1.67589 | 1.67559 | 1.67668 | 1.67669 | 2.1 | 0.8 | -1.3 |
| 5 | 1.67588 | 1.67566 | 1.67679 | 1.67662 | 0.3 | -0.5 | -0.8 |
| 6 | 1.67600 | 1.67560 | 1.67669 | 1.67654 | 1.7 | 0.4 | -1.6 |
| 平均值 | 1.67595 | 1.67565 | 1.67673 | 1.67660 | 1.2 | -0.1 | -1.2 |

标准条码尺外业模拟法与平行光管法数字水准仪检定装置装置(内置标准条码)的比对结果：

数字水准仪其数字 i 角的测量不确定度 $U_{lab} = 2.7''$ ，则

$\sqrt{\frac{n-1}{n}} \cdot U_{lab} = 1.9''$ ，因此由上表可知，数字水准仪检定装置的两种比对方法均满足：

$$|y_{lab} - \bar{y}| \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} \cdot U_{lab}$$

三、总结语

综上所述，本试验报告的测量方法来源于规范的征求意见稿，作为验证起草规范的计量特性是否科学合理，校准项目及校准方法是否行之有效、准确可靠，起草小组在项目调研、规范编制、和征求意见等工作中做了非常大的努力，通过不断的试验论证不断的完善征求意见稿最终形成该版本。在该规范的制定过程中，得到了同行计量机构、兄弟院所及相关生产企业的大力支持与帮助，在此起草小组由衷地感谢！

起草小组

2024 年 01 月 25 日