

《超短基线水声定位仪校准规范》

试验报告

规范编制组

2022 年 8 月

说 明

根据国家市场监督管理总局文件《市场监管总局办公厅关于国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划有关事项的通知》的要求，交通运输部天津水运工程科学研究所组织成立了《超短基线水声定位仪》国家计量校准规范编制组，承担校准规范的制定工作。

本校准规范编制原则是根据国家技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的主要内容（如计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果的表达式、测量不确定度评价示例等），在试验中使用了英国 AAE 公司生产的 Easytrak 型超短基线水声定位仪和英国 Sonardyne 公司生产的 Ranger-2 型超短基线水声定位仪。试验对象具有一定的代表性。

编制组提供以下论据（包括试验、比对数据等）证明编写的指标、参数、技术要求、试验方法等内容是否满足校准规范的要求，是否具有可操作性、可执行性和实用性。

目 录

1.试验设备与设施	1
2.试验项目及方法	8
3.试验结果分析	11

1. 试验设备与设施

超短基线水声定位仪的试验设备与设施有：

(1) GPS接收机（图1），定位最大允许误差： $\pm 9\text{mm}$ ，型号：V98，生产单位：广州中海达卫星导航技术股份有限公司。检定证书见图2；



图 1 GPS 接收机

中国地震局第一监测中心计量检定站

检定证书

证书编号：G2006459 号

送检单位	国家水运工程检测设备计量站
计量器具名称	GPS接收机
型号/规格	V98
出厂编号	VAPC14510733
制造单位	中海达
检定依据	JJF 1118-2004 JJG 2301-2013
检定结论	合格

批准人：[Signature]
核检员：[Signature]
检定员：[Signature]

检定日期：2020年07月03日
有效期至：2021年07月02日

计量检定机构授权证书号：(津)法计(2019)020号
地址：天津市河东区一号桥耐火路7号
电话：022-24390090
邮编：300180
传真：022-24391357
Email: yzxxjls@126.com

证书编号: G2006359 号

中国地震局第一监测中心计量检定站是经天津市市场监督管理委员会授权的计量检定机构,可开展各种GPS接收机、全站仪、经纬仪、水准仪、水准标尺等计量器具的检定工作。

检定所使用的标准计量器具				
名称	出厂编号	不确定度/准确度	证书编号	证书有效期至
超短基线场	自建	MPE≤1.0 mm	CDJX2018-08	2021年4月8日
短基线场	自建	$U \leq 1 \times 10^{-6} D$ mm (k=2)	JX2018-05	2021年4月4日
中长基线场	自建	标准偏差 $\leq 3+0.01 \times 10^{-6} D$ mm	GPS2018-03	2021年3月30日
检定地点	中国地震局第一监测中心GPS接收机检定场			
检定环境条件	温度	32.1℃	相对湿度	46.8%RH

检定结果

序号	检定项目	检定结果
1	外观及各部件相互作用	合格
2	基座水准器检校	合格
3	基座光学对点器检校	合格
4	数据传输及后处理软件功能	合格
5	锁定卫星能力	合格
6	接收机天线相位中心一致性	2.4 mm
7	接收机短基线测量误差	1.7 mm
8	接收机中长基线测量误差	7.6 mm

注: 天线型号: 出厂编号: 7

以下空白

图2 GPS接收机检定证书

(2) 钢卷尺(图3), 准确度等级 I 级, 型号: 5m。检定证书见图4;



图3 钢卷尺


天津市计量监督检测科学研究院
 Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing
检定证书
 Verification Certificate
 证书编号: FCDJ22037399
 Certificate No.

送检单位 国家水运工程检测设计计量站(交通运输部天津水运工程科学研究所计量站)
 Name of Client
 计量器具名称 钢卷尺
 Name of Instrument
 型号/规格 5m
 Model/Type
 出厂编号 /
 Serial No.
 制造厂 田岛工具
 Manufacturer
 检定依据 JJG4-2015《钢卷尺》
 Verification Regulation
 检定结论 1级
 Conclusion

批准人: 路瑞军
 Approved by
 核验员: 胡建华
 Checked by
 检定员: 李凌梅
 Verified by

检定日期 2022 年 06 月 22 日
 Date of Verification Year Month Day
 有效期至 2022 年 12 月 21 日
 Date of Expiry Year Month Day

本院地址: 天津市南开区科研西路4号
 Add: No.4 KeYan West Road, NanKai District, Tianjin, China
 邮编: 300192
 Post Code
 电子邮件: timstbmd@126.com
 E-mail
 服务电话: 022-23009329
 Telephone
 传真号码: 022-23009354
 Fax
 投诉电话: 022-23009322
 Complain Tel.

第 1 页 共 3 页
Page of

天津市计量监督检测科学研究院检定证书
 Verification Certificate of TIMST
 证书编号: FCDJ22037399
 Certificate No.

检定结果
 Results of Verification

主要检定项目	示值最大允许误差
任意段示值误差	满足后续检定示值误差 $\pm(0.1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-4}L)$ 要求的2倍 L—整数米; 单位“mm”

以下空白

第 3 页 共 3 页
Page of

图4 钢卷尺检定证书

(3) 声速剖面仪 (图 5), 最大允许误差为 ± 0.2 m/s, 型号: SVS1500, 生产单位: 北京海卓同创科技有限公司。检定证书见图 6;



图 5 声速剖面仪

国家水运工程检测设备计量站	
检定证书	
证书编号: SZJdSS210517001 号	
单位名称	国家水运工程检测设备计量站
计量器具名称	声速剖面仪
型号/规格	SVS1500
出厂编号	02116089
生产单位	北京海卓同创科技有限公司
检定依据	JJG(交通)122-2015 水运工程 声速剖面仪
检定结论	合格
批准人	柳义成
(检定专用章)	核验员 李峰
	检定员 张明敬
检定日期	2021 年 05 月 17 日
有效期至	2022 年 05 月 16 日
计量检定机构授权证书号: (国)法计(2020)00021 号 电话: 022-59812345-5644	
地址: 天津市滨海新区塘沽新港二号路 2618 号 邮编: 300456	
EMAIL: tksgjjz@tiwte.ac.cn 传真: 022-59812271	

第 1 页 共 3 页



图 6 声速剖面仪检定证书

(4) 多维运行控制机构(图7): 可移动且能够安装超短基线水声定位仪并实现多维度控制。水平转动角度: $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$, 垂直转动角度: $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 安装有数显倾角仪, 角度最大允许误差 $\pm 0.05^{\circ}$, 数显倾角仪校准证书见图8;



图7 多维运行控制机构



 中国合格评定
 国家认可
 校准
 CALIBRATION
 CNAS L0642

天津市计量监督检测科学研究院
 Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing

校准证书

Calibration Certificate

证书编号: CCDjd21080186
 Certificate No.

客户名称: 国家水运工程检测设计总站 (交通运输部天津水运工程科学研究所计量站)
 Name of Client

客户地址/电话: 天津市滨海新区塘沽新道二号路2618号
 Address/Tel. of Client

样品名称: 数显倾角仪
 Name of Instrument

型号/规格: DN161D
 Model Type

出厂编号: 92618100021
 Serial No.

制造厂: 瑞莎
 Manufacturer

样品接收时间: 2021-10-20
 Reception Date

批准人: 马艺琦
 Approved by

检查员: 彭倩
 Checked by

校准员: 陈洁
 Calibrated by

证书签发日期: 2021 年 11 月 01 日
 Date of Calibration

天津地址: 天津市滨海新区塘沽新道4号
 Tel: 86-22-59471111
 天津邮编: 300410
 Fax: 86-22-59471111
 电子邮件: tianjin@cnas.com.cn
 E-mail:

联系电话: 022-23091229
 Telephone:
 传真号码: 022-23091224
 Fax:
 投诉电话: 022-23091222
 Complaint Tel.

第 1 页 共 3 页
Page 1 of 3

天津市计量监督检测科学研究院校准证书
 Calibration Certificate of TIMST

证书编号: CCDjd21080186
 Certificate No.

校准结果

Results of Calibration

1.零位误差: 0.000°		
2.示值误差:		
标称值(°)	实测值(°)	
	顺时针旋转	逆时针旋转
0	0.000	0.000
10	10.000	-9.998
20	19.999	-20.001
30	30.001	-30.002
40	40.001	-40.001
50	50.002	-50.001
60	59.999	-60.003
70	70.000	-70.002
80	80.001	-80.004
90	/	-90.000

注: 顺时针转至90° 仪器显示值89.992° 为极限显示值, 实际角度已超出显示范围, 故实测值/表示。
 测量结果扩展不确定度为: $U=0.013^{\circ}$, $k=2$ 。
 以下空白

建议(Suggestions):
 1.被校准仪器修理后, 请立即进行校准。
 The instrument shall be recalibrated timely if it is repaired.
 2.在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。
 The recalibration of instrument shall be required when a doubt of its measurement characteristics found in use.

第 3 页 共 3 页
Page 3 of 3

图 8 数显倾角仪校准证书

(5) 无人船（图 9），选用上海华测导航技术股份有限公司生产的华微 3 号无人船，续航时间不低于 6h@2m/s，最大航速不低于 6m/s，抗风等级：3 级；



图 9 无人船

(6) 原型深水港池（图10）及开阔水域（图11）：原型深水港池要求长度不小于150 m，宽度不小于20 m，深度不小于8 m。开阔水域要求深度不低于20m，直线距离不小于5km，海况不大于1级。



图 10 原型深水港池



图 11 开阔水域

2. 试验项目及方法

选用EasyTrak型（图12）及Ranger-2型（图13）超短基线水声定位仪作为试验样机，按规范中的校准方法开展定位示值误差校准。



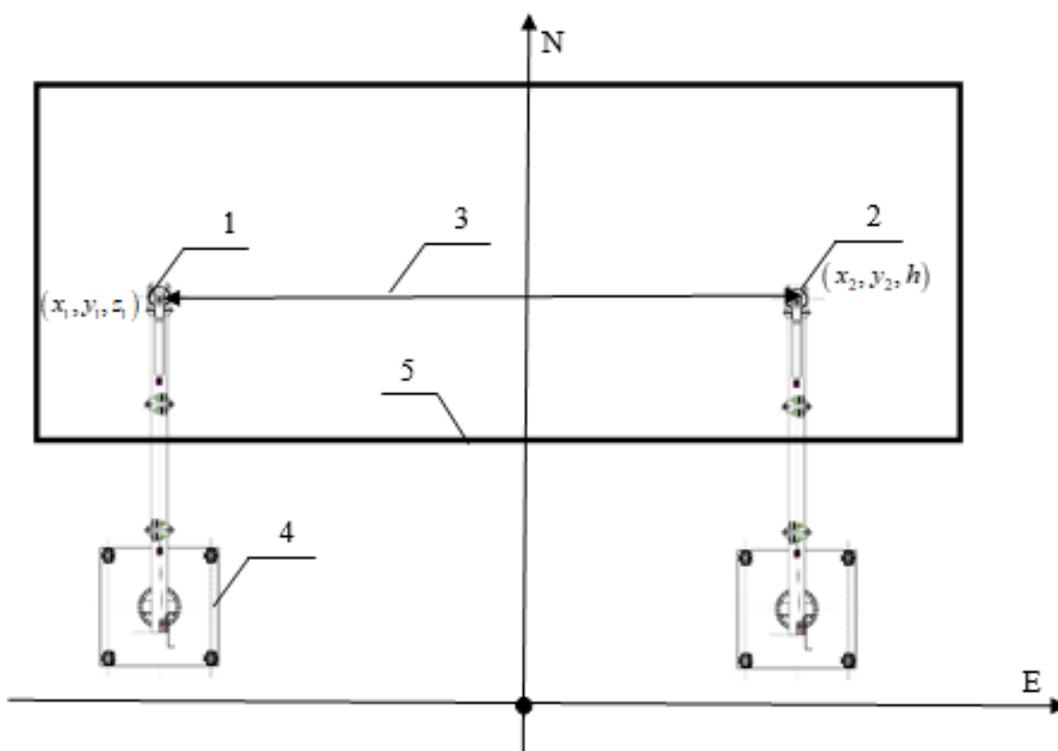
图 12 EasyTrak 型超短基线水声定位仪



图 13 Ranger-2 型超短基线水声定位仪

2.1 定位示值误差

校准原理示意图见图 14，校准步骤如下：

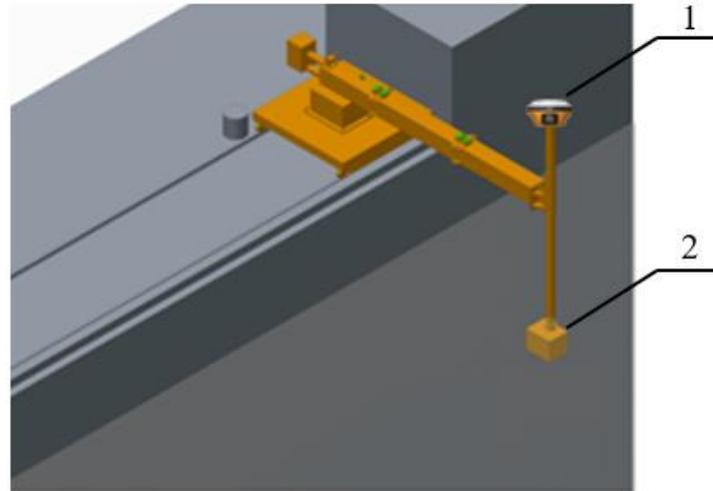


1—换能器；2—信标；3—换能器至声信标斜距；4—多维运行控制机构；5—水池边壁。

图 14 定位示值误差校准原理示意图

1) 主 GPS 接收机和副 GPS 接收机连接 CORS 基站，稳定一段时间后待 GPS 接收机处于“固定”解状态时将主 GPS 接收机固定于左侧多维运行控制机构升降杆上方，将副 GPS 接收机固定于右侧多维运行控制机构升降杆上方；

2)将超短基线换能器安装与左侧多维运行控制机构升降杆下端,且与主 GPS 接收机处于同一铅垂线上,安装结构示意图 15。同理,将信标固定于右侧多维运行控制机构升降杆下端且与副 GPS 接收机处于同一铅垂线上;



1—GPS 接收机; 2—超短基线换能器

图 15 多维运行机构升降杆结构示意图

3)使用钢卷尺分别量取 GPS 接收机原点至换能器基阵中心的垂直距离及 GPS 接收机原点至信标中心的垂直距离;

4)水平旋转多维运行控制机构横臂 90°,然后,缓慢下降升降杆直至换能器基阵入水深度不小于 2m 且与信标处于同一深度;

5)通过控制软件水平旋转升降杆与换能器连接端的云台,使换能器 X 轴方向对准信标发射中心,即换能器 X 轴与信标发射中心的连线平行于水池长边壁;

6)记录两台 GPS 接收机观测数据 (x_{B1}, y_{B1}, z_{B1}) 、 (x_{B2}, y_{B2}, z_{B2}) ,由 GPS 接收机测量结果可计算换能器基阵与信标的实际距离,将其作为标准值;

7)通过超短基线水声定位仪数据采集软件记录被检设备 X 方向测量结果 10 次,取其平均值作为被检设备测量值,与标准值作差计算示值误差;

8)开动右侧多维运行控制机构,调节换能器与信标的距离,重复步骤 6)完成 150m 内分部均匀的 5 个校准点 X 方向定位示值误差校准试验;

9)重复步骤 5)~8),完成 Y 方向与 Z 方向的定位示值误差校准试验。

3. 试验结果分析

3.1 EasyTrak 型超短基线水声定位仪校准结果分析

表 1 为 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 X 方向校准时被检设备观测数据, 分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点, 10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 2 为该设备 X 方向定位示值误差校准结果, 标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 1 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 X 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	5.0	4.8	4.9	5.3	5.4	5.09
		4.9	5.0	5.1	5.3	5.4	
2	25m	26.0	25.6	25.7	25.5	26.0	25.73
		25.8	25.8	25.8	25.4	25.4	
3	50m	51.1	51.5	51.7	51.5	51.2	51.31
		51.1	51.4	51.3	51.2	51.5	
4	100m	101.9	102.0	101.9	102.1	102.3	102.11
		102.1	102.4	102.2	102.3	102.4	
5	150m	153.0	153.0	153.4	153.5	153.0	153.20
		153.3	153.0	153.1	153.4	153.2	

表 2 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 X 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (%)
1	4.98	5.09	0.11	2.2
2	25.01	25.73	0.72	2.8
3	50.00	51.31	1.31	2.6
4	99.93	102.11	2.18	2.2
5	149.95	153.20	3.25	2.2

表 3 为 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Y 方向校准时被检设备观测数据, 分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点, 10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 4 为该设备 Y 方向定位示值误差校准结果, 标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 3 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Y 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	4.9	5.1	4.9	5.2	5.2	5.13
		4.9	5.0	5.3	5.3	5.1	
2	25m	25.5	25.6	26.0	25.5	25.7	25.76
		25.9	25.7	26.0	26.1	26.0	
3	50m	51.5	51.7	51.6	51.4	51.5	51.48
		51.5	51.8	51.2	51.2	51.7	
4	100m	102.3	102.4	102.4	102.1	102.1	102.38
		102.1	102.6	102.6	102.6	102.3	
5	150m	153.4	153.6	153.0	153.5	153.1	153.35
		153.3	153.3	153.5	153.1	153.3	

表 4 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Y 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (%)
1	5.01	5.13	0.12	2.4
2	25.05	25.76	0.71	2.8
3	50.07	51.48	1.41	2.8
4	100.13	102.38	2.25	2.2
5	149.99	153.35	3.36	2.2

表 5 为 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Z 方向校准时被检设备观测数据，分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点，10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 6 为该设备 Z 方向定位示值误差校准结果，标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 5 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Z 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	5.2	5.0	5.2	5.2	5.4	5.12
		5.1	4.9	5.1	4.8	5.1	
2	25m	26.1	25.8	25.8	25.7	25.8	25.74
		25.5	25.5	25.8	25.8	26.1	
3	50m	51.4	51.5	51.5	51.2	51.6	51.46
		51.8	51.6	51.4	51.2	51.8	
4	100m	102.3	102.5	102.6	102.3	102.7	102.49
		102.3	102.6	102.5	102.3	102.7	
5	150m	153.9	154.2	153.6	153.8	153.8	153.90
		154.1	153.8	154.0	154.0	153.6	

表 6 EasyTrak 型超短基线水声定位仪 Z 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (%)
1	4.98	5.12	0.14	2.8
2	25.00	25.74	0.74	3.0
3	50.00	51.46	1.46	2.9
4	99.96	102.49	2.53	2.5
5	149.93	153.90	3.97	2.6

由表 2、表 4、表 6 可知，该设备定位示值误差优于 3%R (R 表示斜距)。

3.2 Ranger-2 型超短基线水声定位仪校准结果分析

表 7 为 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 X 方向校准时被检设备观测数据，分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点，10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 8 为该设备 X 方向定位示值误差校准结果，标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 7 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 X 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	5.001	5.004	5.000	4.999	5.004	5.002
		5.001	5.006	5.003	5.006	4.999	
2	25m	25.029	25.031	25.033	25.038	25.032	25.032
		25.031	25.032	25.030	25.032	25.035	
3	50m	50.048	50.056	50.058	50.050	50.050	50.053
		50.050	50.048	50.055	50.058	50.053	
4	100m	100.082	100.079	100.077	100.078	100.083	100.078
		100.076	100.073	100.076	100.073	100.083	
5	150m	150.123	150.133	150.128	150.130	150.127	150.128
		150.127	150.125	150.133	150.123	150.127	

表 8 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 X 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (%)
1	4.998	5.002	0.004	0.80
2	25.011	25.032	0.021	0.84
3	50.005	50.053	0.048	0.96
4	9.979	10.078	0.099	0.99
5	149.989	150.128	0.139	0.93

表 9 为 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Y 方向校准时被检设备观测数据，分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点，10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 10 为该设备 Y 方向定位示值误差校准结果，标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 9 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Y 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	5.006	5.011	5.003	5.007	5.001	5.005
		5.008	5.002	5.002	5.003	5.008	
2	25m	25.027	25.020	25.022	25.020	25.021	25.023
		25.023	25.024	25.024	25.021	25.023	
3	50m	50.054	50.054	50.049	50.046	50.046	50.049
		50.049	50.049	50.045	50.047	50.047	
4	100m	100.104	100.099	100.100	100.100	100.103	100.102
		100.102	100.097	100.101	100.107	100.103	
5	150m	150.145	150.138	150.139	150.147	150.148	150.144
		150.143	150.143	150.140	150.147	150.145	

表 10 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Y 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (%)
1	5.001	5.005	0.004	0.80
2	25.001	25.023	0.022	0.88
3	50.006	50.049	0.043	0.86
4	100.005	100.102	0.097	0.97
5	149.998	150.144	0.146	0.97

表 11 为 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Z 方向校准时被检设备观测数据，分别选取了 5m、25m、50m、100m、150m 作为校准点，10 次测量结果的均值作为最终测量值。表 12 为该设备 Z 方向定位示值误差校准结果，标准值由两台 GPS 接收机的平面坐标测量值计算求得。

表 11 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Z 方向观测数据

序号	校准点	测量值 (m)					均值 (m)
1	5m	5.004	5.008	5.000	5.001	5.009	5.004
		5.000	4.999	5.003	5.004	5.008	
2	25m	25.021	25.026	25.021	25.019	25.027	25.024
		25.027	25.025	25.028	25.025	25.024	
3	50m	50.054	50.046	50.049	50.052	50.054	50.050
		50.049	50.045	50.052	50.048	50.052	
4	100m	100.096	100.097	100.093	100.095	100.091	100.094
		100.100	100.091	100.091	100.099	100.091	
5	150m	150.151	150.148	150.151	150.151	150.151	150.149
		150.144	150.150	150.146	150.149	150.146	

表 12 Ranger-2 型超短基线水声定位仪 Z 方向校准结果

序号	标准值 (m)	测量值 (m)	示值误差 (m)	定位精度 (‰)
1	5.000	5.004	0.004	0.80
2	25.000	25.024	0.024	0.96
3	51.001	51.050	0.049	0.96
4	99.999	100.094	0.095	0.95
5	153.002	153.149	0.147	0.96

由表 8、表 10、表 12 可知，该设备定位示值误差优于 1‰R (R 表示斜距)。