

国家计量技术规范
涉水工程精密定位校准规范
（征求意见稿）
试验报告

规范起草组

2026 年 5 月

目 录

一、概述	1
二、主要技术要求	1
三、试验方法	1
四、试验结论	12

一、概述

目前，涉水工程常用的定位技术大体可以分为卫星定位技术、水下声学定位技术、水下光学定位技术和融合定位技术四大类，在深水油田、海上风电、沉管隧道等重大工程建设中得到广泛应用。随着定位方法及多传感器融合定位装置的不断涌现和更新，既要保证定位方法本身的定位精度，也要顾及各种方法之间组合融合定位精度，又要保证定位量值的溯源性，这就对涉水工程精密定位的量值评定方法和评定过程提出了更高的要求。根据《市场监管总局办公厅关于印发 2025 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》（市监计量发〔2025〕45 号），规范起草组编制了《涉水工程精密定位校准规范》征求意见稿，并选取市场上占有率较高的涉水工程精密定位设备作为样机开展试验，以验证规范的科学性、合理性及可行性。

二、主要技术要求

校准项目及相应技术要求见表 1。

表1 校准项目及技术要求

序号	检定项目	技术要求
1	卫星定位误差	MPE: $\pm (8\text{mm}+1\times 10^{-6}\times D)$
		MPE: $\pm (15\text{mm}+1\times 10^{-6}\times D)$
2	声学定位误差	MPE: $\pm 2\%L$
3	光学定位误差	MPE: $\pm 3\text{mm}$
4	综合定位误差	MPE: $\pm (1\text{cm}+2\%L)$
		MPE: $\pm 1.5\text{cm}$
注: 1 D 为GNSS接收机至CORS站的测量距离。 2 L 为斜距。		

三、试验方法

（一）试验对象

选取市场占有率较高且最具代表性的涉水工程精密定位设备进行试验，如图 1 至图 3 所示。其生产厂家、型号规格、出厂编号分别为：

1. 卫星定位设备：德国 Leica 公司，GS18T，100647；
2. 声学定位设备：英国 Sonardyne 公司，Ranger-2，324578；

3. 光学定位设备：河海大学。



图 1 Leica 公司 GS18T 型卫星定位设备



图 2 Sonardyne 公司 Ranger-2 型声学定位设备



图 3 光学定位设备

（二）标准器及配套设备

本次试验选用的标准器及其性能如下：

1. 标准观测点（图 4）：基线测量标准差 $\leq 3\text{mm}+0.5\times 10^{-6}D$ ，具备地心地固坐标系下的坐标，坐标测量标准差不大于 0.10m（水平）和 0.15m（高程）。



图 4 标准观测点

2. 钢卷尺（图 5）：测量范围（0~10）m，准确度等级为I 级，生产单位：长城精工。



图 5 钢卷尺

3. 室外水池（图 6）：水深 10m，长度 180m，具备声学换能器操作平台和信标操作平台。



图 6 室外水池和操作平台

4.室内水池（图 7）：长度不小于 10m，宽度不小于 3m，深度不小于 3m，水体浊度不大于 20 NTU，长边壁上方铺设平滑导轨。

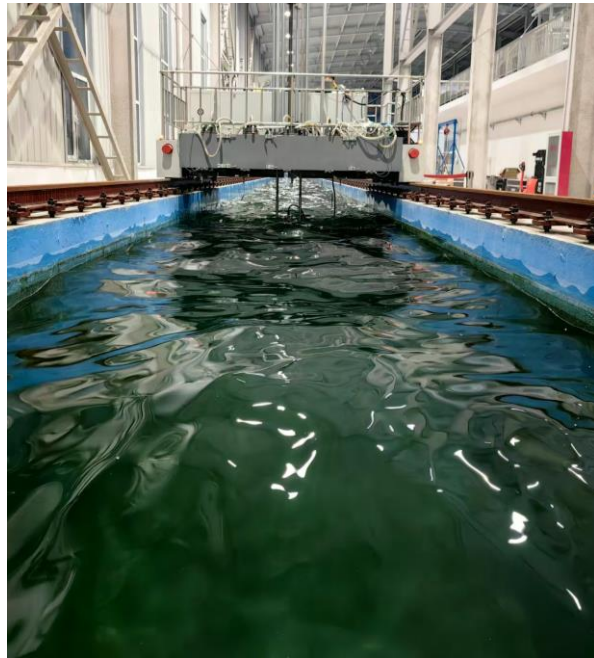


图 7 室内水池

5. 全站仪（图 8）：测量范围（0~100m）s，准确度等级为 I 级，生产单位：天宝公司。



图 8 全站仪

6. 开阔水域及升降装置（图 9）。

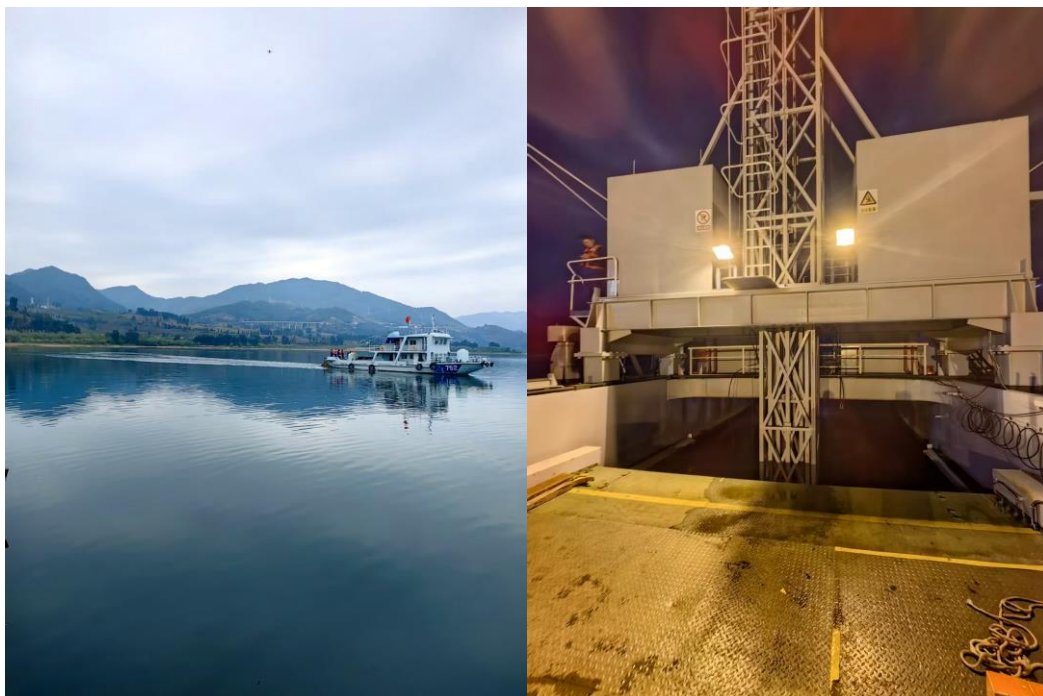


图 9 开阔水域及升降装置

(三) 试验步骤

1. 卫星定位误差

卫星定位误差试验步骤如下：

- a) 将GNSS接收机安装至标准观测点，连接星定位接收机和采集设备；



图 9 GNSS 接收机安装

- b) 使用钢卷尺测量GNSS接收机参考点至标准观测点的垂直高度 d ；
c) 启动GNSS接收机，连接CORS，设置定位数据更新频率为1 Hz，连续记录时间不少于10 min；
d) 选取10个连续的定位数据，按公式（1）计算平面定位误差；

$$\Delta G = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sqrt{(N_{G,i} - N_{G,0})^2 + (E_{G,i} - E_{G,0})^2}}{10} \quad (1)$$

式中：

ΔG ——卫星定位平面定位误差，m；

$(N_{G,i}, E_{G,i})$ ——GNSS接收机相对于CORS站点的平面坐标测量值，m；

$(N_{G,0}, E_{G,0})$ ——标准观测点相对于CORS站点的平面坐标标准值，m。

e) 按公式（2）计算高程定位误差。

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^{10} \sqrt{(U_{G,i} - d - U_{G,0})^2}}{10} \quad (2)$$

式中：

ΔU ——卫星定位高程定位误差，m；

$U_{G,i}$ ——GNSS接收机相对于CORS站点的高程坐标测量值，m；

d ——GNSS接收机参考点至标准观测点的垂直高度，m；

$U_{G,0}$ ——标准观测点相对于CORS站点的高程坐标标准值，m。

2. 声学定位误差

声学定位误差试验步骤如下：

a) 安装声学换能器至室外水池的声学换能器操作平台，调节平移装置使声学换能器位于室外水池短边壁中心，调节俯仰装置使发射面平行于室外水池短边壁，调节升降装置使声学换能器入水深度为5m；



图10 声学换能器安装

b) 安装信标至室外水池的信标操作平台，调节平移装置使信标位于室外水池短边壁中心，调节升降装置使信标入水深度为5m，将该位置作为起始点；

c) 启动信标操作平台，使其至声学换能器操作平台的水平距离为10m，使用全站仪测量信标至声学换能器的距离；

d) 在声学换能器定位开角范围内,依次调节信标操作平台的平移装置和升降装置;

e) 按公式(3)计算声学定位误差。

$$\Delta S_i = \sqrt{(X_{S,i} - X_{0,i}^S)^2 + (Y_{S,i} - Y_{0,i}^S)^2 + (Z_{S,i} - Z_{0,i}^S)^2} \quad (3)$$

式中:

ΔS_i ——第*i*个校准点声学定位误差。

$(X_{S,i}, Y_{S,i}, Z_{S,i})$ ——第*i*个校准点声学换能器测量的信标位置, m;

$X_{0,i}^S$ ——第*i*个校准点信标操作平台平移装置相对于起始点的平移距离, m;

$Y_{0,i}^S$ ——第*i*个校准点信标操作平台升降装置相对于起始点的升降距离, m;

$Z_{0,i}^S$ ——第*i*个校准点信标操作平台至声学换能器的水平距离, m。

f) 选取50m, 100m, 150m3个校准点, 按照步骤c)至步骤d)完成声学定位误差校准。

3. 光学定位误差

光学定位误差试验步骤如下:

a) 通过转接法兰将反射棱镜安装于水下光学定位设备正上方;

b) 通过校准行车将水下光学定位设备放置于室内水池底部,且保持反射棱镜位于水面之上;

c) 通过转接法兰将反射棱镜安装于反射靶标正上方;

d) 将反射靶标固定安装于行车升降机构,调节升降机构使水下光学定位设备定位中心与发射靶标中心入水深度相同;

e) 控制校准行车使水下光学定位设备与反射靶标的距离为1m;

f) 使用全站仪测量两个反射棱镜的相对位置,以水下光学定位设备正上方的反射棱镜为坐标原点;



图11 光学定位误差校准试验

g) 读取并记录10个水下光学定位设备示值，取算术平均值作为测量值；

h) 按公式（4）计算光学定位误差；

$$\Delta D_i = \sqrt{(\bar{X}_{D,i} - X_{0,i}^D)^2 + (\bar{Y}_{D,i} - Y_{0,i}^D)^2 + (\bar{Z}_{D,i} - Z_{0,i}^D)^2} \quad (4)$$

式中：

ΔD_i ——第 i 个校准点光学定位误差，m；

$(\bar{X}_{D,i}, \bar{Y}_{D,i}, \bar{Z}_{D,i})$ ——第 i 个校准点处水下光学定位测量值，m；

$(X_{0,i}^D, Y_{0,i}^D, Z_{0,i}^D)$ ——第 i 个校准点处水下光学定位标准值，m。

i) 按照步骤e)至步骤h)分别对2 m和3 m校准点进行光学定位误差校准。

（四）试验结果分析

1. 卫星定位误差

标准观测点坐标的标准值为（4308842.251,560564.818,2.653）m，GNSS接收机参考点至标准观测点的垂直偏差为0.100m，根据试验步骤完成试验样机对标准观测点坐标的连续采集，坐标测量结果如表2所示。

表2 标准观测点测量值

序号	测量值 m		
	N	E	U
1	4308842.248	560564.794	2.660
2	4308842.267	560564.818	2.647
3	4308842.265	560564.800	2.665
4	4308842.226	560564.834	2.659
5	4308842.243	560564.834	2.659
6	4308842.232	560564.800	2.666
7	4308842.232	560564.825	2.651
8	4308842.226	560564.792	2.674
9	4308842.233	560564.842	2.637
10	4308842.265	560564.799	2.635

由表2计算可得试验样机平面定位误差为0.025m，高程定位误差为0.097m，符合规范中规定的最大允许误差。

2. 声学定位误差

根据试验步骤完成样机声学定位示值误差试验，试验结果见表3。

表3 声学定位示值误差试验数据

测量值 m			信标平 移距离 m	信标升降 距离 m	信标至声学换能器 的水平距离 m	定位 误差 m	最大允 许误差 m
X	Y	Z					
1.001	0.000	5.001	1.000	0.000	5.000	0.001	0.010
1.002	1.001	50.005	1.000	1.000	50.000	0.005	0.100
2.008	1.002	100.008	2.000	1.000	100.000	0.011	0.200
2.003	2.002	150.010	2.000	2.000	150.000	0.011	0.300

由表3可试验样机的定位误差均符合规范中规定的最大允许误差 $\pm 2\%L$ 。

3. 光学定位示值误差

根据试验步骤完成样机光学定位示值误差试验，统计分析各校准点测量数据，得到如表4所示的校准结果。

表 4 光学定位示值误差试验数据

校准 点 m	测量值 m			测量值均值 m			标准值 m			定位 误差 m
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1.000	0.000	0.000	1.001	0.000	0.000	1.001	0.000	0.000	1.000	0.001
	0.000	0.000	1.000							
	0.000	0.000	1.001							
	0.000	0.000	1.002							
	0.000	0.000	1.002							
	0.000	0.000	1.001							
	0.000	0.000	1.002							
	0.000	0.000	1.001							
	0.000	0.000	1.002							
	0.000	0.000	1.000							
2.000	0.000	0.000	2.002	0.000	0.000	2.002	0.000	0.000	2.000	0.002
	0.000	0.000	2.002							
	0.000	0.000	2.002							
	0.000	0.000	2.001							
	0.000	0.000	2.001							
	0.000	0.000	2.003							
	0.000	0.000	2.001							
	0.000	0.000	2.003							
	0.000	0.000	2.003							
	0.000	0.000	2.002							

校准 点 m	测量值 m			测量值均值 m			标准值 m			定位 误差 m
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
3.000	0.000	0.000	3.002	0.000	0.000	3.002	0.000	0.000	3.000	0.00 2
	0.000	0.000	3.001							
	0.000	0.000	3.003							
	0.000	0.000	3.001							
	0.000	0.000	3.001							
	0.000	0.000	3.002							
	0.000	0.000	3.003							
	0.000	0.000	3.002							
	0.000	0.000	3.002							
	0.000	0.000	3.001							

由表4可知试验样机各校准点示值误差最大值为0.002m，最小值为0.001m，均符合规范中规定的最大允许误差 $\pm 3\text{mm}$ 。

试验结果表明：选用的试验样机均满足规范技术要求。

四、试验结论

试验设备满足《涉水工程精密定位校准规范（征求意见稿）》的计量特性要求：卫星定位示值误差优于规范中规定的最大允许误差 $\pm (8\text{mm}+1\times 10^{-6}\times D)$ （平面）、 $\pm (15\text{mm}+1\times 10^{-6}\times D)$ （高程），声学定位示值误差优于规范中规定的最大允许误差 $\pm 2\%L$ ，光学定位示值误差优于规范中规定的最大允许误差 $\pm 3\text{mm}$ 。本规范给出的校准方法不仅广泛综合了卫星、水声及光学定位方法，同时参考了当前行业内涉水工程精密定位设备的使用类型、通用检测方法与主要检测指标。经验证，本规范规定的计量特性、校准条件、校准项目和校准方法等能够满足涉水工程精密定位的校准，所以本规范具有一定的科学性、合理性及可行性。