

《浅水底物分辨标准场校准规范》

# 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》（市监量函[2018]540号）的要求，山东科技大学、交通运输部天津水运工程科学研究所组织成立了《浅水底物分辨标准场校准规范》国家计量校准规范起草组，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）。试验对象具有一定的操作性、可执行性、推广性和实用性。

起草组提供以下论据（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。

## 1 试验目的

在《浅水底物分辨标准场校准规范》的制定过程中，为了合理的确定各校准项目的技术要求及校准方法，以山东科技大学海洋测量综合试验场为试验对象，对规范中提出的校准项目进行试验，验证该校准规范的正确性和可行性。

## 2 试验方法

依据《浅水底物分辨标准场校准规范》，选取试验项目及试验方法，详见表 1。

表 1 试验项目及试验方法

序号	试验项目	对应计量性能要求条款号	对应校准方法条款号
1	试验水池尺寸	6.1	8.3
2	升降杆臂垂直度	6.2	8.4
3	标准目标物尺寸偏差	6.3.1	8.5.1
4	标准目标物间距	6.3.2	8.5.2
5	行车速度	6.4	8.6

## 3 试验设备

浅水底物分辨标准场校准试验设备有：

- (1) 钢卷尺：测量范围 0~10m，准确度等级 2 级。



图 1 钢卷尺

- (2) 徕卡 TM30 全站仪：测量范围 0~1000m，准确度等级 2 级。

无棱镜模式下设备技术指标见表 2。

表 2 TM30 全站仪无棱镜模式技术指标

测角精度	$\pm 0.5''$
测距精度	$\pm (2+2 \times 10^{-6}D) \text{ mm}$



图2 徕卡 TM30 全站仪

(3)徕卡 AT930 激光跟踪仪: 测量范围 0~160m, 测角最大允许误差 $\pm 15\mu\text{m}+6\mu\text{m}/\text{m}$ , 测距最大允许误差 $\pm 0.5\mu\text{m}/\text{m}$ 。

测速设备技术指标见表3。

表3 TM30 全站仪无棱镜模式技术指标

测角精度	$\pm 15\mu\text{m}+6\mu\text{m}/\text{m}$
测距精度 $\mu\text{m}/\text{m}$	$\pm 0.5$
动态锁定精度 $\mu\text{m}$	$\pm 10$
工作温度 $^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$
最大采样频率 Hz	1000
光学对中精度 mm	$\pm 0.003$



(a) AT930 激光跟踪仪

(b) 磁性反射标靶

## 4 试验过程及数据

### 4.1 准备工作

#### 4.1.1 环境条件

测量开始前，确认试验场地的环境条件满足规范要求后，再进行校准。

(1) 温度：20 °C ± 15 °C。

(2) 相对湿度：不大于 80%。

#### 4.1.2 外观及功能检查

采用目测和手检的方法检查标准场各部件的外观和功能，确认不影响校准结果后，再进行校准。

##### (1) 试验水池

目测检查池体应坚固无裂缝，池底池壁平整。

##### (2) 升降装置

检查确认升降装置各组成结构良好，无明显变形，支架连接处没有影响性能的锈蚀，确保升降杆臂能正常上下升降。

##### (3) 标注目标物套组

检查标准目标物表面涂覆层均匀、牢固，没有影响性能的锈蚀和变形。

##### (4) 行车

检查确认行车各组成结构良好，检查行车运行轨道平整无异物，检查无影响行车运行性能的锈蚀和变形，启动行车测试，确保行车能正常运行。

#### 4.1.3 设备安装

将钢卷尺、全站仪、激光跟踪仪按规范要求进行安装与准备操作。

### 4.2 试验记录

#### 4.2.1 试验水池尺寸

根据校准规范要求，采用 TM30 全站仪对山东科技大学海洋测量综合试验场的水池进行了验证试验，试验水池尺寸（长度、宽度和深度）校准试验结果分别由表 4、表 5 和表 6 给出，其中，试验水池长度校准结果 41.0140m，测量扩展不确定度  $U=2.448\text{mm}$ ， $k=2$ ；宽度校准结果 10.5185m，测量扩展不确定度  $U=2.372\text{mm}$ ， $k=2$ ；深度校准结果 8.5068m，测量扩展不确定度  $U=2.360\text{mm}$ ， $k=2$ ，均满足  $U_L \leq (5+2 \times 10^{-6}L)\text{mm}$ ， $k=2$  的要求。

表 4 试验水池长度测量数据

次数	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$L$ (m)
1	0.1758	41.0136	0.0081	41.0140
2	0.1760	41.0129	0.0079	41.0133
3	0.1753	41.0131	0.0080	41.0135

4	0.1753	41.0135	0.0076	41.0139
5	0.1753	41.0141	0.0081	41.0145
6	0.1749	41.0141	0.0078	41.0148
均值	0.1754	41.0136	0.0079	41.0140
$S_n$	——	——	——	0.00057
试验水池尺寸测量扩展不确定度 $U/mm$ , $k=2$				2.448

表 5 试验水池宽度测量数据

次数	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$L$ (m)
1	10.5181	0.0090	0.0122	10.5181
2	10.5179	0.0089	0.0123	10.5179
3	10.5186	0.0089	0.0124	10.5186
4	10.5182	0.0092	0.0126	10.5182
5	10.5189	0.0099	0.0123	10.5189
6	10.5193	0.0097	0.0124	10.5193
均值	10.5185	0.0093	0.0124	10.5185
$S_n$	——	——	——	0.00052
试验水池尺寸测量扩展不确定度 $U/mm$ , $k=2$				2.372

表 6 试验水池深度测量数据

次数	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$L$ (m)
1	0.0065	0.0015	8.5075	8.5075
2	0.0074	0.0006	8.5070	8.5070
3	0.0064	0.0003	8.5069	8.5069
4	0.0061	0.0011	8.5063	8.5063
5	0.0067	0.0011	8.5062	8.5062
6	0.0058	0.0015	8.5067	8.5067
均值	0.0065	0.0010	8.5068	8.5068
$S_n$	——	——	——	0.00047
试验水池尺寸测量扩展不确定度 $U/mm$ , $k=2$				2.360

#### 4.2.2 升降杆臂垂直度

根据校准规范要求，采用 TM30 全站仪对山东科技大学海洋测量综合试验场的升降装置进行了验证试验，升降杆臂垂直度校准试验结果见表 7，升降杆臂垂直度测量结果为 0.113%，测量扩展不确定度  $U=0.078%$ ， $k=2$ ，满足  $U \leq 0.1%$ ， $k=2$  的要求。

表 7 升降杆臂垂直度重复性测量数据

测量次序	测量值 (m)				偏移量 (mm)		垂直高度差 (m)	垂直度 (%)	均值 (%)	标准偏差 (%)	扩展不确定度 $U/\%$ , $k=2$
	升降杆 上端中心		升降杆 下端中心		$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$				
1	x	2.7462	X	2.7449	1.3	2.1	3.0734	0.080	0.113	0.027	0.078
	y	- 19.5305	Y	- 19.5284							
	z	-0.0329	Z	-3.1063							
2	x	2.7470	X	2.7450	2.0	2.5	3.0737	0.103			
	y	- 19.5311	Y	- 19.5286							
	z	-0.0329	Z	-3.1066							
3	x	2.7471	X	2.7451	2.0	1.7	3.0736	0.087			
	y	- 19.5308	Y	- 19.5291							
	z	-0.0334	Z	-3.1070							
4	x	2.7473	X	2.7454	1.9	3.5	3.0739	0.130			
	y	- 19.5320	Y	- 19.5285							
	z	-0.0333	Z	-3.1072							
5	x	2.7484	X	2.7464	2.2	3.6	3.0737	0.137			
	y	- 19.5329	Y	- 19.5293							
	z	-0.0345	Z	-3.1082							
6	x	2.7493	X	2.7465	2.8	3.3	3.0727	0.141			
	y	- 19.5329	Y	- 19.5296							
	z	-0.0345	Z	-3.1072							

#### 4.2.3 标准目标物尺寸偏差

根据校准规范要求，采用经检定的钢卷尺对标准目标物的尺寸偏差校准项目进行了验证试验，校准结果见表 8、表 9，基本尺寸为 5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、50cm 的标准目标物尺寸偏差均未超出最大允许误差  $\pm 2\text{mm}$ 。

表 8 标准目标物尺寸测量数据

标准目标物	钢卷尺检定时温	钢卷尺膨胀系数	钢卷尺名义长度(m)	钢卷尺实际长度(m)
-------	---------	---------	------------	------------

编号	度(°C)				
	20	$11.8 \times 10^{-6}$	10		10.0023
	次数	温度(°C)	长度(mm)	宽度(mm)	高度(mm)
1	1	27.4	49.1	49.5	49.4
	2	27.4	49.1	49.5	49.3
	3	27.4	49.1	49.5	49.4
	4	27.4	49.1	49.5	49.4
	5	27.4	49.1	49.5	49.3
	6	27.4	49.0	49.5	49.4
	7	27.4	49.1	49.5	49.4
	8	27.4	49.1	49.5	49.4
	9	27.4	49.1	49.5	49.4
	10	27.4	49.0	49.5	49.4
	均值	27.4	49.1	49.5	49.4
	2	1	27.4	99.6	99.0
2		27.3	99.6	99.0	99.3
3		27.3	99.6	99.0	99.3
4		27.4	99.6	99.0	99.3
5		27.4	99.7	99.0	99.4
6		27.4	99.6	99.1	99.3
7		27.4	99.6	99.0	99.4
8		27.4	99.6	99.0	99.3
9		27.4	99.7	99.1	99.4
10		27.4	99.7	99.1	99.4
均值		27.4	99.6	99.0	99.3
3		1	27.3	149.3	149.7
	2	27.4	149.2	149.7	149.1
	3	27.4	149.3	149.7	149.1

	4	27.4	149.3	149.6	149.0
	5	27.3	149.3	149.6	149.0
	6	27.4	149.3	149.6	149.1
	7	27.3	149.2	149.6	149.0
	8	27.4	149.2	149.7	149.1
	9	27.4	149.3	149.6	149.0
	10	27.4	149.3	149.6	149.1
	均值	27.4	149.3	149.6	149.1
4	1	27.3	199.1	199.2	199.7
	2	27.4	199.1	199.2	199.6
	3	27.4	199.1	199.3	199.7
	4	27.4	199.1	199.2	199.6
	5	27.3	199.2	199.2	199.7
	6	27.4	199.1	199.2	199.7
	7	27.4	199.1	199.2	199.7
	8	27.4	199.1	199.2	199.7
	9	27.4	199.1	199.3	199.7
	10	27.4	199.1	199.3	199.7
	均值	27.4	199.1	199.2	199.7
	5	1	27.3	249.0	249.2
2		27.3	249.0	249.2	249.5
3		27.4	249.0	249.2	249.5
4		27.4	248.9	249.2	249.4
5		27.3	248.9	249.3	249.4
6		27.3	249.0	249.2	249.5
7		27.4	248.9	249.2	249.5
8		27.4	249.0	249.2	249.5
9		27.4	249.0	249.2	249.5
10		27.4	249.0	249.2	249.5

	均值	27.4	249.0	249.2	249.5
6	1	27.3	299.3	299.2	299.7
	2	27.3	299.3	299.1	299.7
	3	27.4	299.2	299.1	299.7
	4	27.3	299.2	299.2	299.6
	5	27.3	299.2	299.1	299.7
	6	27.3	299.2	299.1	299.7
	7	27.4	299.2	299.1	299.7
	8	27.2	299.3	299.1	299.7
	9	27.4	299.3	299.1	299.6
	10	27.4	299.3	299.1	299.7
		均值	27.3	299.3	299.1
7	1	27.3	499.5	499.1	499.3
	2	27.4	499.6	499.2	499.4
	3	27.4	499.5	499.2	499.4
	4	27.4	499.5	499.2	499.4
	5	27.3	499.5	499.1	499.4
	6	27.4	499.6	499.2	499.3
	7	27.4	499.5	499.1	499.3
	8	27.4	499.6	499.1	499.4
	9	27.4	499.5	499.2	499.4
	10	27.4	499.6	499.2	499.4
		均值	27.4	499.5	499.2

表 9 标准目标物尺寸偏差校准结果

标准目标物编号	尺寸均值 (mm)	基本尺寸 (mm)	尺长改正 (mm)	温度改正 (mm)	改正后的值 (mm)	尺寸偏差 (mm)
1	49.1	50.0	0.01	0.01	49.12	0.88
	49.5	50.0	0.01	0.01	49.52	0.48

	49.4	50.0	0.01	0.01	49.42	0.58
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1200	
2	99.6	100.0	0.02	0.01	99.63	0.37
	99.0	100.0	0.02	0.01	99.03	0.97
	99.3	100.0	0.02	0.01	99.33	0.67
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1260	
3	149.3	150.0	0.03	0.01	149.34	0.66
	149.6	150.0	0.03	0.01	149.64	0.36
	149.1	150.0	0.03	0.01	149.13	0.87
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1300	
4	199.1	200.0	0.05	0.02	199.17	0.83
	199.2	200.0	0.05	0.02	199.27	0.73
	199.7	200.0	0.05	0.02	199.77	0.23
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1320	
5	249.0	250.0	0.06	0.02	249.08	0.92
	249.2	250.0	0.06	0.02	249.28	0.72
	249.5	250.0	0.06	0.02	249.58	0.42
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1387	
6	299.3	300.0	0.07	0.03	299.40	0.60
	299.1	300.0	0.07	0.03	299.20	0.80
	299.7	300.0	0.07	0.03	299.80	0.20
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1464	
7	499.5	500.0	0.11	0.04	499.65	0.35
	499.2	500.0	0.11	0.04	499.35	0.65
	499.4	500.0	0.11	0.04	499.55	0.45
	扩展不确定度 $U/\text{mm}$ , $k=2$				0.1877	

#### 4.2.4 标准目标物间距

根据校准规范要求，采用经检定的钢卷尺对标准目标物间距进行了验证试验，校准结

果见表 10，在考虑往返测量误差以及钢卷尺系统误差的影响下，对目标物之间的间距进行了误差改正，改正后的结果见表 11 标准目标物间距校准结果，标准目标物间距测量结果 100.117cm，标准目标物间距测量扩展不确定度  $U=0.3428\text{mm}$ ， $k=2$ ，满足  $U \leq (0.5+0.2L)\text{mm}$ ， $k=2$  的要求。

表 10 标准目标物间距重复测量数据

钢卷尺检定时温度(°C)		钢卷尺膨胀系数	钢卷尺名义长度(m)	钢卷尺实际长度(m)
20		$11.8 \times 10^{-6}$	10	10.0023
间距编号	次数	温度(°C)	间距(cm)	间距(cm)
1	1	27.5	100.10	100.00
	2	27.3	100.00	100.10
	3	27.3	100.10	100.10
	4	27.4	100.10	100.10
	5	27.5	100.10	100.10
	6	27.5	100.10	100.00
	7	27.3	100.10	100.10
	8	27.4	100.10	100.10
	9	27.5	100.10	100.10
	10	27.5	100.10	100.10
	均值	27.4	100.09	100.08

表 11 标准目标物间距校准结果

目标物间距编号		均值(cm)	尺长改正 (cm)	温度改正 (cm)	改正后间距(cm)	改正后间距(cm)
1	往测 $d_1$	100.09	0.023	0.009	100.122	100.117
	返测 $d_2$	100.08	0.023	0.009	100.112	
标准目标物间距测量扩展不确定度 $U/\text{mm}$ ， $k=2$					0.3428	

#### 4.2.5 行车速度

根据校准规范要求，采用AT930激光跟踪仪对行车速度进行了验证试验，单次测速过程中行车在不同位置处的速度测量结果见图1，行车速度校准结果0.17658m/s（见表12），行车速度测量扩展不确定度 $U=0.006512\text{m/s}$ ， $k=2$ 。

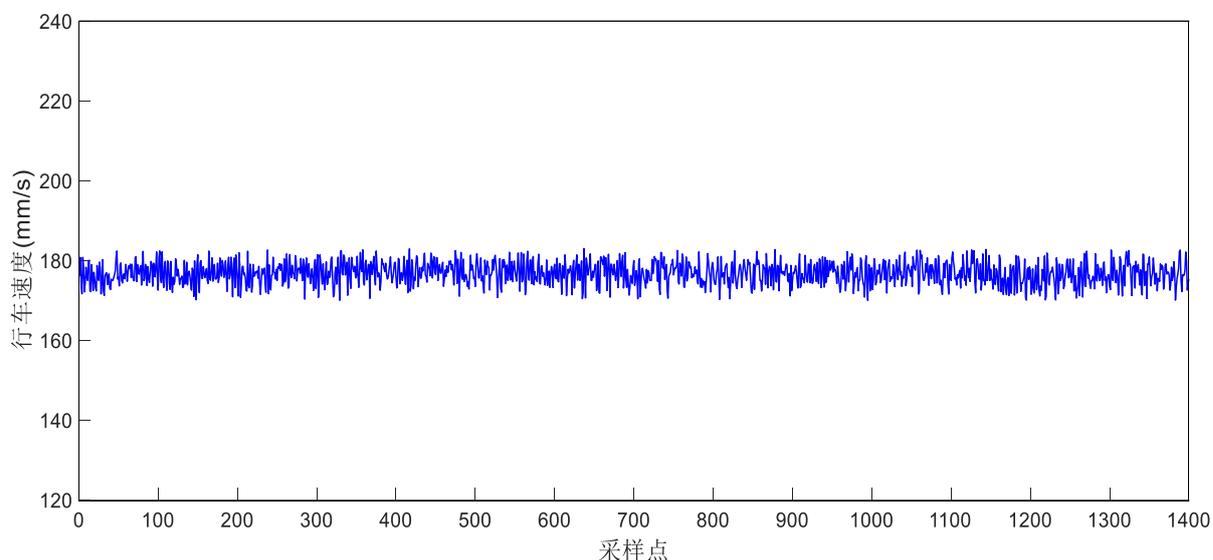


图 1 单次测速不同位置处的行车速度

表 13 行车速度校准结果

测量序号	1	2	3	4	5	6	7	8
行车速度 m/s	0.17678	0.17678	0.17678	0.17678	0.17678	0.17678	0.17678	0.17678
标准偏差 m/s	3.70	3.44	3.42	3.60	3.55	3.55	3.55	3.56
均值 m/s	0.17658							
标准偏差 mm/s	0.23							
扩展不确定度 $U/(\text{m/s}), k=2$	0.006512							

## 5 试验结论

试验结果表明，所选浅水底物分辨标准场的试验水池尺寸、升降杆臂垂直度、标准目标物尺寸偏差及间距、行车速度测试结果符合预期的要求，《浅水底物分辨标准场校准规范》的各项技术指标合理，测量方法科学，具有理论依据和可行性。