



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX—XXXX

超短基线水声定位仪校准规范

Calibration Specification for Ultra Short Base-Line Hydroacoustic Locator

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

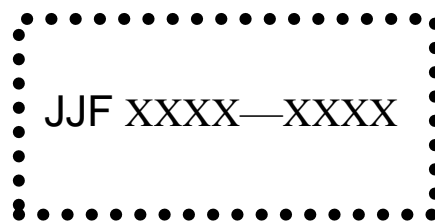
XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

超短基线水声定位仪校准规范

Calibration Specification for

Ultra Short Base-Line Hydroacoustic Locator



归口单位：全国水运专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：交通运输部天津水运工程科学研究所

参加起草单位：哈尔滨工程大学

天津水运工程勘察设计院有限公司

山东科技大学

河海大学

本规范由全国水运专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

柳义成（交通运输部天津水运工程科学研究所）

韩鸿胜（交通运输部天津水运工程科学研究所）

朱建军（哈尔滨工程大学）

隋海琛（天津水运工程勘察设计院有限公司）

辛明真（山东科技大学）

章家宝（河海大学）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 定位示值误差.....	(2)
5.2 作用距离.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 校准环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及设备.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(4)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 原始记录格式.....	(6)
附录 B 校准证书内页格式.....	(8)
附录 C 测量结果的不确定度评定示例.....	(10)

引言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

超短基线水声定位仪校准规范

1 范围

本规范适用于超短基线水声定位仪在150 m定位距离以内的校准，其他范围的超短基线水声定位仪的校准亦可参照执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

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

3 术语

JJF 1001-2011界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 斜距 slant range

声学基阵原点距信标的直线距离即为斜距。

4 概述

超短基线水声定位仪由换能器基阵、甲板处理单元和信标等组成，组成示意图见图1。信标固定在载体或者置于水下，超短基线换能器（以下简称“换能器”）构成特定几何形状的换能器基阵，换能器基阵接收信标发射的定位信号，测量换能器基阵与信标之间的斜距及方向角，实现对声信标的定位和导航。

超短基线水声定位仪已被广泛应用于水运工程建设、港口航道保障、海洋工程调查及海上救援等领域。

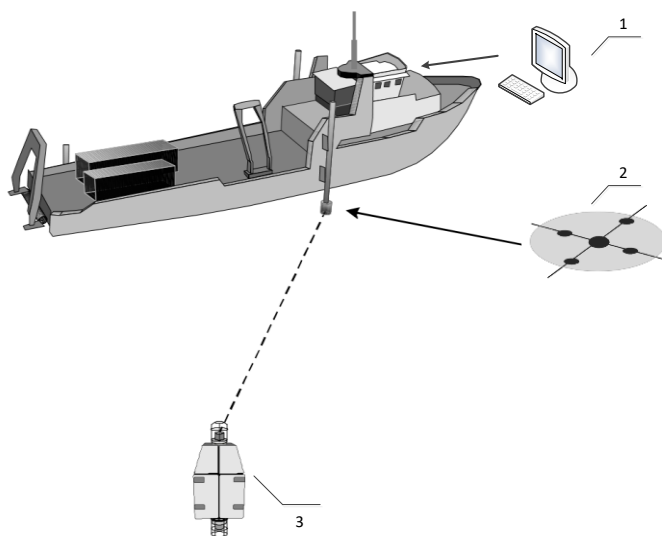


图1 超短基线水声定位仪组成示意图

1——甲板处理单元；2——换能器基阵；3——信标。

5 计量特性

5.1 定位示值误差

信标相对于超短基线换能器在 x 、 y 、 z 方向的测量示值与实际位置之差。

5.2 作用距离偏差

换能器可以接收到信标发射信号的最大间距与标称值之差。

6 校准条件

6.1 校准环境条件

6.1.1 温度： $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

6.1.2 水温： $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

6.1.3 相对湿度：不大于 95%。

6.2 测量标准及设备

校准使用的计量标准器应符合表 1 的规定，或使用更高准确度的标准器。配套设备应符合表 2 的规定。

表 1 计量标准器及其性能要求

序号	设备名称	性能要求
1	GPS 接收机	定位最大允许误差： $\pm 9\text{mm}$
2	钢卷尺	测量范围： $(0\sim 10)\text{ m}$ ，I 级
3	声速剖面仪	声速测量范围： $(1400\sim 1600)\text{ m/s}$ ，最大允许误差： $\pm 0.2\text{ m/s}$

表 2 配套设备及其技术要求

序号	设备名称	技术要求
1	深水池	长度不小于 150 m，宽度不小于 20 m，深度不小于 8 m
2	多维运行控制机构	可以匀速行驶，可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° ~ 360°，垂直转动角度：0° ~ 90°，角度最大允许误差±0.05°
3	开阔水域	深度不低于 20m，直线距离不小于 5km，海况不大于 1 级
4	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

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表3。

表 3 校准项目表

序号	校准项目	校准设备
1	定位示值误差	多维运行控制机构，GPS 接收机，钢卷尺，声速剖面仪。
2	作用距离偏差	无人船，钢卷尺，声速剖面仪，GPS 接收机，开阔水域。

7.2 校准方法

7.2.1 定位示值误差

a) 将换能器安装至多维运行控制机构升降杆下端，GPS接收机固定于升降杆上端，使用钢卷尺量取换能器至GPS接收机的垂直距离；

b) 旋转多维运行控制机构使换能器正方向平行于水池长边壁，且入水深度不小于3m；

c) 通过多维运行控制机构使信标与换能器入水深度相同，且位于换能器基阵坐标系x轴线上；

d) 使用声速剖面仪进行声速测量，用于超短基线水声定位仪声速修正；

e) 沿水池长边壁均匀选取5个校准点，水平移动信标，通过GPS接收机记录换能器及各校准点上信标的三维坐标，按式（1）计算信标至换能器的距离作为标准值，与超短基线定位仪测量值作差，计算x方向定位示值误差；

$$x_B = \sqrt{(x_i - x_S)^2 + (y_i - y_S)^2 + (z_i - z_S)^2} \quad (1)$$

式中：

x_B —— x 方向定位标准值，m；

(x_i, y_i, z_i) ——第*i*个校准点信标坐标值，m；

(x_S, y_S, z_S) ——水声换能器坐标值，m。

f) 水平旋转换能器-90°，按步骤e)方法进行试验，计算被校设备y方向定位示值误差；

g) 垂直旋转换能器 90°使其处于水平状态，使信标位于换能器基阵坐标系 z 轴线上，按步骤 e) 方法进行试验，计算被校设备 z 方向定位示值误差。

7.2.2 作用距离偏差

a) 将换能器安装至1#无人船底部，1#GPS接收机安装至1#无人船上且与换能器的平面坐标相同，使用钢卷尺量取换能器至1#GPS接收机的垂直距离；

b) 将2#GPS接收机安装2#无人船上方，通过缆绳连接信标与2#无人船，使用钢卷尺量取信标至2#GPS接收机的距离，并调节缆绳长度直至其为30m；

c) 使用声速剖面仪进行声速测量，用于超短基线水声定位仪声速修正；

d) 1#无人船悬停于开阔水域保持位置不变，启动2#无人船驶离1#无人船，直至换能器与信标的距离达到标称作用距离；

e) 判别换能器是否可以接收到信标的发射信号。如果可以接收，则行驶2#无人船增加信标与换能器的距离，直至无法接收信号，将该距离作为被校设备实际作用距离，与标称值作差计算偏差；

f) 如果无法接收信号，则行驶2#无人船减小信标与换能器的距离，直至换能器可以接收到信号，将该距离作为被校设备实际作用距离，与标称值作差计算偏差。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称与地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用性有关，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务和等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录A，校准证书内页格式见附录B，测量结果的不确定度评定示例见附录C。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，超短基线水声定位仪复校时间间隔建议为1年。

附录 A

原始记录格式

证书编号：_____

超短基线水声定位仪校准记录

第 页 共 页

器具名称		规格型号	
出厂编号		制造单位	
送检单位			
校准地点			
环境条件	环境温度：_____℃ 水温：_____℃ 相对湿度：_____%		
技术依据			
校准使用的计量（基）标准装置			
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号
			有效期至
校准使用的标准器			
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号
			有效期至

1、x方向定位示值误差

序号	换能器坐标值 m			信标坐标值 m			标准值 m	测量值 m	示值误差 m
	x	y	z	x	y	z			
1									
2									
3									
4									
5									

2、y方向定位示值误差

序号	换能器坐标值 m			信标坐标值 m			标准值 m	测量值 m	示值误差 m
	x	y	z	x	y	z			
1									
2									
3									
4									
5									

超短基线水声定位仪校准记录

第 页 共 页

3、z方向定位示值误差

序号	换能器坐标值 m			信标坐标值 m			标准值 m	测量值 m	示值误差 m
	x	y	z	x	y	z			
1									
2									
3									
4									
5									

4、作用距离偏差

换能器坐标值 m			信标坐标值 m			实际作用距离 m	是否可以接收信号	标称作用距离 m	偏差 m
x	y	z	x	y	z				
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
							<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

超短基线水声定位仪定位校准的测量不确定度 $U=XXXm$, $k=2$ 。

校准员: _____

核验员: _____

校准日期: ____年__月__日

附录 B

校准证书内页格式

证书编号XXXX-XXX				
校准机构授权说明				
校准的技术依据				
校准环境条件及地点				
环境温度	℃	地 点		
相对湿度	%	水 温	℃	
校准使用的计量（基）标准装置				
名 称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
校准使用的标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至

证书编号XXXX-XXX

校准结果

1、x方向定位示值误差

序号	标准值 m	测量值 m	示值误差 m
1			
2			
3			
4			
5			

2、y方向定位示值误差

序号	标准值 m	测量值 m	示值误差 m
1			
2			
3			
4			
5			

3、z方向定位示值误差

序号	标准值 m	测量值 m	示值误差 m
1			
2			
3			
4			
5			

超短基线水声定位仪定位校准的测量不确定度 $U=XXXm$, $k=2$ 。

4、作用距离偏差：_____m

第3页 共3页

以下空白

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 定位示值误差校准结果的测量不确定度评定

由于超短基线水声定位仪在 x 、 y 、 z 方向定位示值误差的校准过程相同。因此以 x 方向为例进行测量不确定度评定。

C.1.1 测量模型

考虑到影响测量不确定度的因素，其测量模型为：

$$\Delta x = x - x_0 + \Delta x_1 + \Delta x_2 \quad (1)$$

式中：

Δx ——超短基线水声定位仪某一校准点的定位示值误差，m；

x ——超短基线水声定位仪测量值，m；

x_0 ——标准器测量结果换算后的定位示值，m；

Δx_1 ——由水中声速不准确所引入的测量偏差，m；

Δx_2 ——由多维运行控制机构引入的测量偏差，m

C.1.2 合成灵敏度系数

由于超短基线水声定位仪测量误差数学模型中的 x 、 x_0 、 Δx_1 、 Δx_2 互不相关，故其合成方差为：

$$u^2(\Delta x) = c^2(x)u^2(x) + c^2(x_0)u^2(x_0) + c^2(\Delta x_1)u^2(\Delta x_1) + c^2(\Delta x_2)u^2(\Delta x_2) \quad (2)$$

式中灵敏度系数为：

$$c(x) = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial(x)} = 1, \quad c(x_0) = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial(x_0)} = -1, \quad c(\Delta x_1) = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial(\Delta x_1)} = 1, \quad c(\Delta x_2) = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial(\Delta x_2)} = 1。$$

C.1.3 计算分量不确定度

(1) 测量重复性引入的标准不确定度 $u(x)$

此测量不确定度为被校准设备所引入的测量不确定度，主要影响因素为测量重复性所引入的测量不确定度分量。在对超短基线水声定位仪试验样机校准的过程中，每个校准点集 10 个数据，求其平均值作为超短基线水声定位仪测量的结果。在测量不确定度评价的

过程中，以信标与换能器相距 100m 时作为代表性数据开展测量不确定度的评价，具体数据见表 C.1。

表 C.1 超短基线水声定位仪 x 方向测量数据

序号	1	2	3	4	5
测量结果(m)	99.921	100.138	99.978	100.026	99.975
序号	6	7	8	9	10
测量结果(m)	100.104	100.003	100.137	99.921	100.093

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，使用贝塞尔公式计算标准偏差，计算平均值的测量不确定度。 x 方向定位测量数据的标准偏差 $s = 0.084\text{m}$ ，则由测量重复性所引入的测量不确定度为 $u(x) = \frac{s}{\sqrt{10}} = 0.027\text{m}$ 。

(2) 超短基线水声定位仪标准器引入的标准不确定度 $u(x_0)$

在超短基线水声定位仪校准过程中，将经过检定的 GPS 接收机与钢卷尺作为计量标准器。安装 GPS 接收机于多维运行控制机构升降杆上方以获取该点的标准坐标值，使用钢卷尺量取 GPS 接收机相对于超短基线换能器的垂直偏差，由该垂直偏差可将 GPS 接收机的坐标值换算至超短基线换能器基准点。

GPS 接收机的最大允许误差为 $\pm 9\text{mm}$ ，采用 B 类不确定度评定方法，估计分部为均匀分部，查表知 $k = \sqrt{3}$ ，则由 GPS 接收机引入的标准不确定度 $u_1(x_0)$ 为 5.196mm 。

钢卷尺最大允许误差为 1.1mm ，采用 B 类不确定度评定方法，估计分部为均匀分部，则由钢卷尺引入的标准不确定度 $u_2(x_0)$ 为 0.635mm 。

由于标准不确定度 $u_1(x_0)$ 与 $u_2(x_0)$ 相互独立，则由标准器引入的标准不确定度：

$$u(x_0) = \sqrt{u_1^2(x_0) + u_2^2(x_0)} = 5.235\text{mm}$$

(3) 由水中声速测量不准确所引入的标准不确定度 $u(\Delta x_1)$

声速是超短基线水声定位仪定位校准的重要参量，应当进行整个声速剖面的声速修正。采用测量不确定度的 B 类评定方法进行评定。根据 JJG (交通) 122-2015《水运工程 声速剖面仪》，试验中所采用的表面声速仪最大允许误差 $\pm 0.2\text{m/s}$ 。由于 $D = \frac{1}{2}ct$ ，在标准斜

距为 100m 条件下, 选取声速为 1500m/s, 则声波传播时间为 0.133s, 则由声速极限误差引起的超短基线水声定位仪示值极限误差为 0.0266m, 其标准不确定度 $u(\Delta L_1)$ 为 15.4mm。

(4) 由多维运行控制机构引入的标准不确定度 $u(\Delta x_2)$

在多维运行控制机构水平或垂直转动过程中也会引入一定的标准不确定度。转动角度最大允许误差为 0.05° , 在标准斜距为 100m 条件下, 引入的距离偏差为 0.087m, 估计分部为均匀分部, 则由多维运行控制机构引入的标准不确定度 $u(\Delta x_2)$ 为 0.050m。

C.1.4 合成标准不确定度

表 C.2 各不确定度分量汇总

符号	来源	类型	标准不确定度	灵敏度系数
$u(x)$	测量重复性	A	0.027m	1
$u(x_0)$	校准器	B	5.235mm	-1
$u(\Delta x_1)$	声速剖面仪	B	15.4mm	1
$u(\Delta x_2)$	多维运行控制机构	B	0.050m	1

参照不确定度分量汇总表, 各分量互不相关, 合成标准不确定度如下:

$$u_c = \sqrt{c^2(x)u^2(x) + c^2(x_0)u^2(x_0) + c^2(\Delta x_1)u^2(\Delta x_1) + c^2(\Delta x_2)u^2(\Delta x_2)} = 0.059\text{m}$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为: $U = k \times u_c = 1.2 \times 10^{-1}\text{m}$ 。