

《超短基线水声定位仪校准规范》

编制说明

(征求意见稿)

规范编制组

2022年9月

目 录

一、任务来源	1
二、制定背景	2
三、编制过程	10
四、编制依据	11
五、主要技术内容的论据	11
六、不确定度评定	15
七、其他说明	16

一、任务来源

根据市场监管总局办公厅下达的《2021 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划》通知，由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校准规范》国家校准规范编制组，承担校准规范的编制工作。《超短基线水声定位仪校准规范》归口于全国水运专用计量器具计量技术委员会。

本规范主要起草人及其分工见表 1。

表 1 规范主要起草人及其主要工作

序号	姓名	单位	职称	主要工作内容
1	柳义成	交通运输部天津水运工程科学研究所	工程师	负责规范编制过程中的人员、部门组织、协调，对规范质量、技术要求总把关，是规范编制的总负责人。
2	韩鸿胜	交通运输部天津水运工程科学研究所	教高	确定超短基线水声定位仪的技术参数，规范形式和技术内容审核。
3	朱建军	哈尔滨工程大学	教授	负责现场试验操作，规程及其编制说明的编辑性工作。
4	隋海琛	天津水运工程勘察设计院有限公司	高工	超短基线水声定位仪校准装置论证。
5	辛明真	山东科技大学	副教授	提出并论证规范中重要性能指标要求，制定并实施试验方法与数据验证。
6	章家宝	河海大学	教授	规范形式和技术内容审核。

二、制定背景

1、目的、意义

2020年11月28日，“奋斗者”号全海深载人潜水器成功完成万米海试并胜利返航，成功坐底世界最深处马里亚纳海沟，坐底深度10909米，这意味着中国载人深潜事业取得新突破，我们可以驾驶潜水器到达海底世界的任一角落，标志着我国具有了进入世界海洋最深处开展科学探索和研究的能力。声波在水中传播时衰减远小于电磁波，水声定位设备可以精确测量潜水器与母船之间的距离和方位，是潜水器的通讯导航利器。随着水运工程建设以及海洋资源勘探的发展，水声定位系统的应用越来越广泛。在水下调查作业中，需要为水下设备进行定位，提供其地理坐标。其中声学定位是重要且有效的定位方法，主要包含长基线（LBL）、短基线（SBL）以及超短基线（USBL）定位技术。长基线系统构成组件多，布放较为复杂，定位精度高；短基线与超短基线基阵尺寸小，安装较方便，在水上搜救、沉船打捞、海底管道监测等领域具有广泛的应用。超短基线定位系统主要是通过测量水下目标的方位角和距离获得目标位置，因此其主要误差来源可以归结为两个方面：测距误差和测向误差。目标距离通过声波在水中传播时间的测量获得，时间测量和声速剖面测量的精度直接影响到距离测量的精度，因此测距误差主要是由测时误差和声速测量误差引起的。方位的测量误差即测向误差主要是由换能器各基阵之间的安装间距、声波波长、海洋噪声导致的相位测量误差和声线弯曲导致的相位测量误差引起，相位误差与基阵和应答器的位置关系即目标方位角有关。

目前法国 iXblue、挪威 Kongsberg、英国 Sonardyne、美国 LinkQuest 和德国 Evologics 等公司均推出了多款商用超短基线水下声学定位系统产品，其标称的定位性能指标已达到 0.2%~0.5%，代表着当今世界的最高水平。自 2001 年起，在国家 863 计划持续支持下，哈尔滨工程大学研制成功了远程超短基线定位系统，打破了国外技术长期垄断的格局。该系统自 2012 年起正式装备于我国系列远洋科考船上，如大洋一号、科学号、向阳红 09 和探索一号等，并已经执行了多次科考任务。超短基线定位技术比较成熟，已经实现超短基线定位系统的产品化、产业化、系列化，但是对于其量值的溯源性鲜有提及。超短基线水声定位系统计量校准研究主要在室内消声水池和海上进行。目前我国能开展超短基

线水声定位系统计量性能测试的实验室屈指可数，原因在于超短基线计量测试需要大型试验水池的支撑，由于受限于室内水池尺寸，测深范围一般不会超过50m，远不能满足超短基线的计量需求。海洋测绘人员有时只能认可生产厂家“标称”的各项性能指标和探测能力，亦或是只能通过现场选取特定环境自校或不同准确度等级仪器比测的方式进行误差分析与评定，潮汐、涌浪、剖面声速、海底地形变化等外场环境影响因素，给海上自校或比测的测量结果引入较大不确定度，存在量值无法溯源的弊端，缺乏对仪器装备可靠性、准确性和稳定性的准确判定，这样增加了成果质量的模糊度，例如测量中使用的声速剖面仪、姿态仪、罗经、GNSS定位仪是否经过权威机构计量检定；安装过程中所谓的“垂直”、“水平”操作方法与指示仪器是否规范有效；综合误差分析中是否关心各误差来源在综合误差中的概率分布与包含因子。因此，定期采用规范方法对仪器的性能参数进行计量尤为重要。

2、国内外现状

超短基线系统由船载部分与水下应答器构成。船载部分包括信号处理单元、换能器基阵和外围辅助传感器（如 GNSS 和姿态传感器），信号处理单元作为整个系统的控制系统，负责系统的运行；船载声学换能器阵安装在船舶底部或侧舷，由中心的发射换能器和四周的多个水听器组成。水下部分主要是指应答器，如果工作在同步时钟触发模式，还需包括同步时钟。发射换能器发射声信号，水听器接收来自水下应答器的声信号，当水下应答器在接收到发射换能器信号后，会发射应答信号，水听器接收应答信号。通过计算不同间距水听器接收信号的时间差和相位差，获得水下应答器的具体位置。通常，超短基线应答器安装在水下载体的背部，其半球形指向性可覆盖整个上半空间，保证在水下各种深度和倾角状态下超短基线定位系统都能够正常。

超短基线水声定位系统工作方式主要有3种：声学应答式、电触发式、pinger模式（应答器与接收器通过同步钟方式控制进行工作）。系统需配有垂直参考单元（VRU）、罗经（Gyro）、参考定位系统（GNSS）。系统工作时需要做大量的校准工作，绝对定位精度主要依赖于外围传感器 VRU、Gyro、GNSS、SVP 等。

2.1 国外典型超短基线水声定位系统发展现状

法国 iXblue 公司于 2000 年开始研制新一代超短基线定位仪，并于 2010 年完成产品定型，命名为 POSIDONIA II（见图 1）。POSIDONIA II 的最大定位深度可达 7000 m，最远定位斜距可达 8000 m~10000 m。得益于 iXblue 公司强大的技术基础和完整的研发团队，POSIDONIA II 最大的特点是组合兼容性强，数据融合技术独特。为了避免繁重的海上标定试验，iXblue 公司率先将姿态传感器（光纤罗经）与超短基线声学换能器阵固化在一起，实现一体化安装，开发了世界上首款便携式、即插即用、免标定的超短基线定位系统，并命名为 GAPS（见图 2）。GAPS 各传感器的安装误差/相对偏移量在出厂前已进行实验室预先标定，并固化在系统的内部程序中，宣称系统在海上作业现场无需标定，不存在各传感器之间的安装、测量误差问题，确保了系统的高精度定位。GAPS 的工作频段为 21.5 kHz~30.5 kHz，作用距离可达 4000 m，定位精度可达 0.2% 斜距。

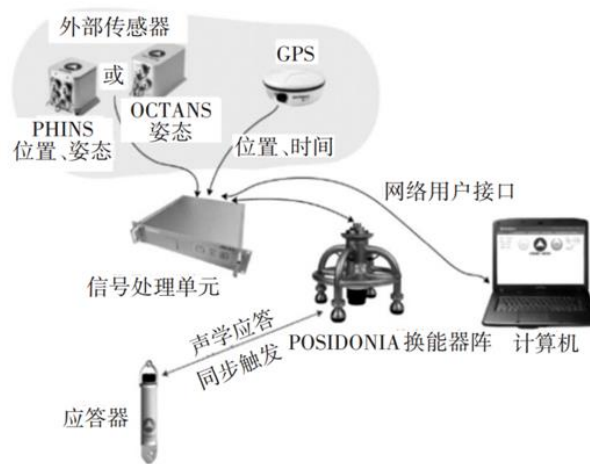


图 1 法国 iXblue 公司的 POSIDONIA II

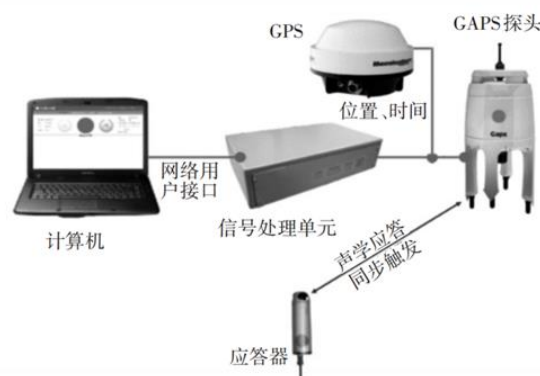


图 2 法国 iXblue 公司的 GAPS

为满足浅水和深水水下目标定位的不同需求，挪威 Kongsberg 公司是开发了 HiPAP 系列超短基线定位系统。采用了全新的收发单元和 Cymbal 技术。Cymbal 是一种用于通信和定位的全新声学协议，它采用基于相移键控的直序扩频技术，可以有效抑制多途干扰，使得定位过程中的角度估计精度提高 30%。特殊的换能器技术和先进的数字信号处理技术使得 HiPAP 具有精度高、重复性好、可靠性高等特点。图 3 为 HiPAP 102 超短基线定位系统。

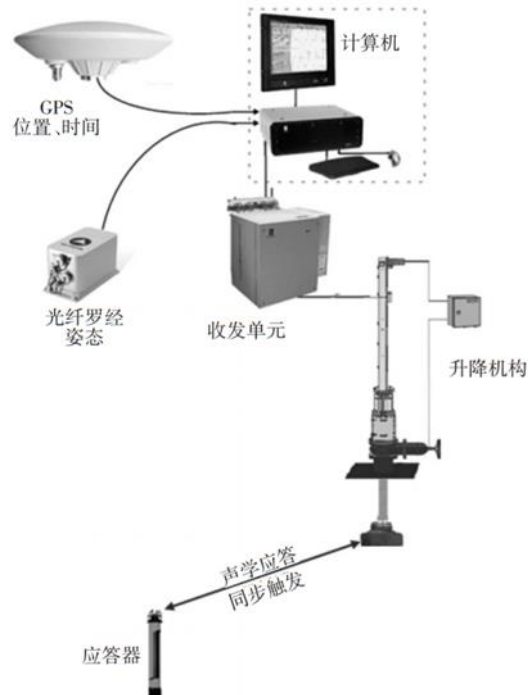


图 3 挪威 Kongsberg 公司的 HiPAP102

英国 Sonardyne 公司在 2005 年成功推出了基于宽带数字技术的 Wide Band 全系列超短基线产品，2010 年又推出了第二代宽带数字技术的 6G 全新超短基线产品。在独立通道资源、测距精度、多途干扰抑制、提高信噪比以及高速数字通信等方面都取得了很大的提高。其数字通信速率达到 1.5kbps~15kbps，真正实现了声学定位和高速数字通信的无缝衔接。图 4 为英国 Sonardyne 公司的 Ranger 2。

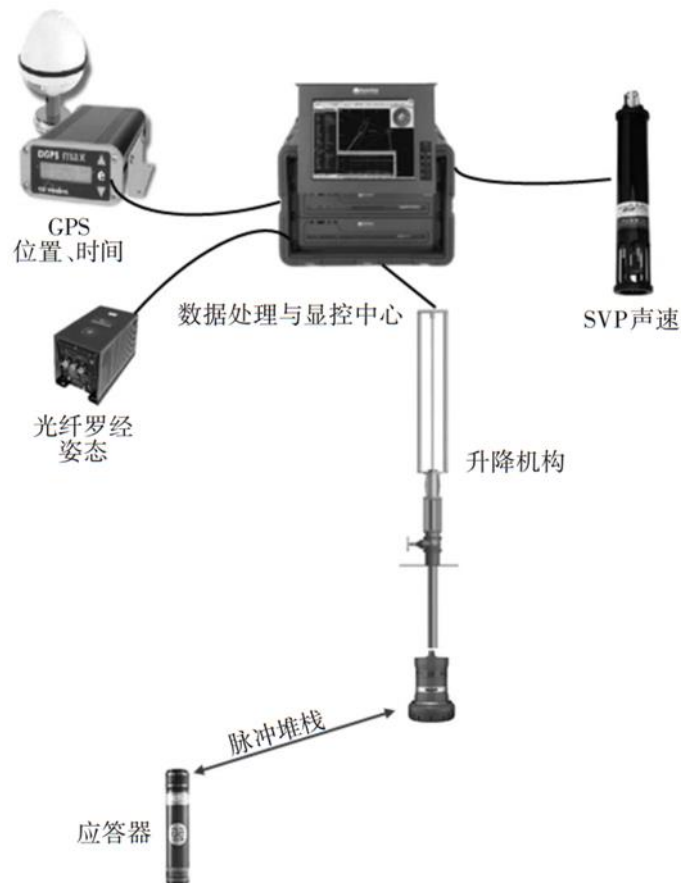


图 4 英国 Sonardyne 公司的 Ranger 2

美国 Link Quest 公司自 2002 年推出其首款浅水超短基线定位系统 Track Link1500 以来,迅速成为最畅销的超短基线定位系统。近年来开发的 Track Link 10000 系列产品属于低频远程超短基线定位系统。基于其独特的声学宽带扩频技术 (BASS), Link Quest 为用户提供超远程深水通信和跟踪定位解决方案。Track Link10000HA 是 Track Link 10000 系列中的高精度型号。其主要特点包括:得益于现代数字信号处理技术和最新 DSP 处理器的广泛应用,大大降低了用户费用,其价格较同类产品至少降低 40% 以上。

德国 Evologics 公司 S2CR 系列超短基线定位系统是在该公司 S2CR 型水声通信机基础上研发的超短基线定位系统。它无需进行定位和通讯模式转换,定位数据在声学传输时同时进行计算。这两种功能在一个完全集成的定位和通讯系统中相互补充,开创了新的广泛海底应用的可能性。Evologics 公司基于仿生学研究的扩频技术开发了 S2C 扫描扩频载波专利技术,实现了水下全双工数字水声通信。在低频段, S2CR 7/17D 的数字通信速率达到了 6.9 kbps。此外,

S2CR 7/17D 系统的耐压壳体内还可以加装运动传感器，从而提供母船的纵摇和艏摇的数据。表 1 给出了国外典型远程超短基线定位系统主要性能对比。

表 1 典型超短基线定位系统性能参数对比

产品	法国 iXblue POSIDONIA II	法国 iXblue GAPS	挪威 Kongsberg HiPAP102	英国 Sonardyne Ranger 2 pro	美国 LinkQuest TrackLink 10000HA	德国 Evlogics S2CR 7/17D
定位精度	0.2%斜距	0.2%斜距	0.2%斜距	0.1%斜距	-	-
测距精度	-	0.02 m	0.02 m	0.015 m	0.40 m	0.01 m
测角精度	-	0.09°	0.14°	-	0.25°	0.1°
工作深度	7000 m	-	7000 m	7000 m	7000 m	10000 m
作用距离	10000 m	4000 m	10000 m	10000 m	11000 m	11000 m
发射频带	8kHz~14kHz	21.5kHz~30.5 kHz	10kHz~12.5 kHz	14kHz~18 kHz	7.5kHz~12.5 kHz	7kHz~17 kHz
声源级	190±3 dB	191 dB	-	200 dB	-	65 W
接收阵元	4	4	31	-	-	-
接收频带	8kHz~14kHz	21.5kHz~30.5 kHz	13kHz~15.5 kHz	14kHz~18 kHz	7.5kHz~12.5 kHz	7kHz~17 kHz
信号形式	M-FSK	M-FSK	Cymbal	Wideband 2	声学宽带扩频	扫频扩展载波 S2C
覆盖角度	120°	200°	120°	180°	-	80°
同步方式	声学应答/同步触 发	声学应答/同步触 发	声学应答/同步触 发	脉冲堆栈	声学应答	声学应答
罗经	外置	内置	外置	外置	外置	可内置
标定方式	8字形	无需标定	4个方位基点+应答 器上方4个航向角	-	-	-
更新率	与距离有关	与距离有关	与距离有关	1 s	-	-
通信功能	-	160 bits/周期	具备通信功能	1.5 kbps~15 kbps	2400 baud	6.9 kbps
安装方式	舷侧/船底	便携式	船底	船底	船底	-
空气重量	34 kg	16 kg	-	41 kg	-	13.5 kg
声阵高度	420 mm	638 mm	-	487 mm	-	434 mm
声阵直径	580 mm	296 mm	460 mm	600 mm	-	170 mm

2.2 国内超短基线水声定位技术发展概况

我国在超短基线水声定位技术研究方面虽然起步较晚，但近年来也取得了很大的进步。国内有一些机构在进行 USBL 水声定位技术的研究，如中科院声学所、厦门大学、国家海洋局海洋技术研究所、中船重工第七一五所等单位。其中哈尔滨工程大学的研究成果较有代表性。

哈尔滨工程大学从 2002 年开始进行相关研究，2006 年成功研发国内首台深海超短基线定位系统样机，2012 年成功研发国内首台工程样机，2013 年成功研发国内首台定位系统产品。其中共研制出四种超短基线定位系统：深水重潜装潜水员超短基线定位系统、探索者号水下机器人超短基线定位系统、灭雷具配套水声跟踪定位装置和长程超短基线定位系统。前两种均是简易系统，仅用于近程的特殊使用场合。第三种是型号产品，其显著优点是浅海定位性能优良，即使对于水平方向(目标俯仰角为 0°)的目标，定位精度仍优于 3%D，浅海作用距离达到 3000m，可实时给出 3 个目标的轨迹。长程超短基线定位系统，其

作用距离达到 8000m，应答器工作水深达到 7000m，最高定位精度达到 0.2%D（基阵下方 $\pm 15^\circ$ 开角），测距精度 0.15m，综合定位精度 1m。相关设备在蛟龙号和向阳红 09 号船上进行了试验。在中国工程院院士杨士莪教授的带领下，“十一五”期间，哈尔滨工程大学孙大军等人完成了“高精度水下声学综合定位关键技术研究”，解决深水耐压超短基线声学基阵设计、宽带技术应用等几项关键技术，利用现有的硬软件资源构建试验系统进行湖上试验验证关键技术，为深海集成系统研制和试验奠定坚实技术基础。“蛟龙”号在 2014 年试验性应用航次第一航段的科考任务中，首次使用了由哈尔滨工程大学自主研发的国产高精度“超短基线定位系统”，打破了国外技术垄断格局。

中国科学院声学研究所东海研究站主要从事水声导航技术、水声定位技术、水声探测技术、超声应用技术、数字通信及信息处理技术和医疗声学技术等领域的研究和开发。其研究的超短基线定位设备分为低频、中频和高频 3 个频段，可以同时多个信标进行跟踪定位。作用距离为 6000m，测距精度优于 $0.1\text{m} + 0.1\%D$ ，定位精度为 $0.1\text{m} + 0.5\%D$ 。

中国的水下 DGPS 高精度定位系统是一套集成 GPS、长基线定位系统的高精度水下定位系统。这是继美国、法国之后我国率先利用 GPS 技术实现了水下高精度的自主导航。超短基线定位技术同样已经达到了应用阶段，可以推广进行产业化，目前已装备了大洋一号船、科学号船和向阳红 09 号船，在执行科考任务中发挥了重要的作用。长基线技术方面开展了海洋 6 号船上的应用性研究，预计近期可进行自有技术的验证。综合定位系统技术的关键技术攻关已完成，未来将会应用于 4500m 国产化载人潜水器。

我国由于资金及技术方面的限制，只有少数机构在进行水声定位技术的研究，发展水平与发达国家还有一定差距。我国自主研发的成熟产品较少，国内工程应用中的水声定位系统产品还有一大部分依靠国外引进。例如，“大洋一号”海洋科学综合考察船装备的 posidonia 6000 定位系统就是从 IXSEA 公司引进的。国家重大工程与重点项目中，水声定位关键技术设备依赖国外进口的局面亟待改善。

2.3 国内外超短基线定位校准技术发展现状

国内外针对如何提高超短基线定位精度，相关学者开展了大量研究，主要

从改进基阵系统、优化算法和消除影响因素误差等方面着手，很少涉及计量概念。设备性能的提高、量值的准确可靠应从计量角度给出科学评价，建立量值传递与溯源链，使超短基线水声定位的关键量值与国家计量基（标）准联系起来。

斯坦福大学的 Roger C.Hayward、J.David Powell 等人通过空间角度测量的方法来计算基阵与船体偏差，从而消除由于设备安装而引起的误差。

挪威的 Pettersen Hansen、Vestgard 等人采用锁相、相关技术检测相位和时间，从而得到比较精确的相位值，明显地提高了定位精度。

挪威 Kongsberg Simrad 公司致力于波束控制 (beam steering)、零控 (null steering)、自适应噪声消除 (adaptive noise canceling)、声学栅格 (acoustic baffles) 等技术的研究，并且已经开发或正在试验新的产品。

Nautronix、Sonardyne 等公司初步开发了一种扩展频谱定位技术 (spread spectrum ranging techniques)，相对于声脉冲群的距离修正技术，该技术可以将信噪比提高 (6~12) dB，使用这项技术可以得到纳米级的距离测量分辨率，并且对水面的噪声要求不严。

哈尔滨工程大学的喻敏、惠俊英等人在其论文中提出采用双十字正交直线阵作为定位基阵，并采用相关峰内插时延估计的方法来改进定位系统，使定位精度得到了一定程度的提高。

中北大学的肖亮、韩炎采用多阵元基阵定位方法进行水下定位，提高了系统的定位精度，实现了对远距离目标的准确定位。

国家海洋局海洋技术研究所荀俊姑、郭纪捷等人提出一种基于射线声学原理对超短基线声学定位系统的定位数据提出一种迭代处理算法，得到非常精确的水平距离测量结果。

交通运输部天津水运工程科学研究院作为主要起草单位，联合广州中海达卫星导航技术股份有限公司、哈尔滨工程大学等超短基线生产和研究单位，完成交通运输行业标准和部门计量检定规程 JJG (交通) 152-2020《超短基线水声定位仪》检定规程的制定工作，现已由交通运输部发布实施。

三、编制过程

1、编制原则

项目是在交通运输部部门计量检定 JJG（交通）152-2020《超短基线水声定位仪》提出的相关计量性能要求的基础上，对国内市场上的超短基线水声定位仪进行重新梳理，形成超短基线水声定位仪国家计量技术规范。

校准规范应做到：

- 符合国家有关法律、法规的规定；
- 适用范围应明确，在其界定的范围内，按需要力求完整；
- 充分考虑技术和经济的合理性，并为采用最新技术留有空间。

在校准规范的编写过程中，都必须执行国家的各种法律、法规，国家颁布的《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1094《测量仪器特性评定》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》等。针对的对象应该界定清晰，不应该与其他检定规程或校准规范相互交叉、覆盖，又互相矛盾。

国家计量校准规范适用于各种校准实验室的需要。很显然，由于各种校准实验室的服务目标不同，实验室之间的差异是很大的，如校准测量能力、测量范围、环境条件、设备条件、人员能力等各不相同。因此，国家计量校准规范规定的内容纪要提纲挈领，又要适用范围明确，在其界定的范围内，力求完整。国家计量标准规范通过对核心要素的规定，保证不同实验室对同种计量器具开展校准的校准结果具有相同的含义。

2、工作进程

在全国水运专用计量器具计量技术委员会的指导下，规范承担单位于 2020 年 12 月申报《超短基线水声定位仪国家校准规范》项目，2021 年 7 月获得国家市场监督管理总局下达的制定计划通知。

收到文件后，在承担单位的主持下，《超短基线水声定位仪校准规范》编制组组建成立并开始进行校准规范的编制。首先进行资料搜集，汇总分析国内外与超短基线水声定位仪相关的标准规程规范等；同时对原部门计量检定规程执行过程中的问题进行调研分析，并根据我国目前超短基线水声定位仪的实际应用情况与特点，结合超短基线水声定位仪测量技术需求进行编制。依据 JJF

1071-2010《国家计量校准规范编写规则》，规范编制组于2022年2月形成征求意见稿初稿。

经过编制组多次讨论，并经多次试验论证后，于2022年8月形成征求意见稿最终稿。

四、编制依据

本规范根据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》进行编制，并在编写中参考了以下有关文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

JJF 1034-2020 声学计量术语及定义

五、主要技术内容的论据

按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范包括 8 个章节和三个附录：1 范围、2 引用文件、3 术语和计量单位、4 概述、5 计量特性、6 校准条件、7 校准项目和校准方法、8 校准结果表达、9 复校时间间隔，以及附录 A 原始记录格式，附录 B 校准证书内页格式，附录 C 测量结果的不确定度评定示例。

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。

规范起草过程中，规范起草组基于原型深水港池 180m×25m×10m（长×宽×深）完成了英国 Ranger-2、英国 Easytrak 等超短基线水声定位仪在本校准装置下的校准试验。对于定位示值误差的校准，完成了（3~150）m 斜距范围内被校设备定位性能试验并进行了不确定度评定，该校准方法具有广泛的适用性。因此，确定了本规范的适用范围：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、术语和计量单位

本规范给出的术语和定义，主要引用于 JJF 1001-2011，如：

1.1 校准 **calibration**：在规定条件下的一组操作，其第一步是确定由测量标

准提供的量值与相应示值之间的关系，第二部则是用此信息确定由示值获得测量结果的关系，这里测量标准提供的量值与相应示值都具有测量不确定度。

1.2 扩展不确定度 *expanded uncertainty*: 合成标准不确定度与一个大于 1 的数字因子的乘积。

3、概述

本章节主要对超短基线水声定位仪的组成、原理和用途等方面进行了简要概述。

组成：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。

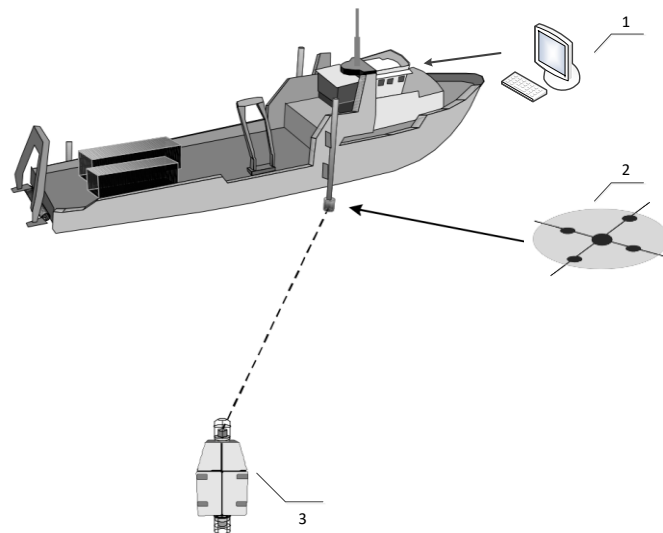


图1 超短基线水声定位仪组成示意图

1——甲板处理单元；2——换能器基阵；3——信标。

原理：信标固定在载体或者置于水下，超短基线换能器构成特定几何形状的换能器基阵，换能器基阵接收水声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。

用途：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。

4、计量特性

超短基线水声定位仪计量性能的提出主要依据多种国内外现有产品的技术参数（见表 1）、参考标准、征求意见、专家咨询、试验结果，并结合了目前水运工程应用需求和实际测量水平以及国内自主研发产品的技术水平。

4.1 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。

4.2 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。

由超短基线水声定位仪工作原理可知超短基线定位系统通过测量从水下目标到船底换能器阵的声波传播时间来计算目标的斜距 r ，通过测量从目标到达基阵各水听器的声波相位差来计算目标的俯仰角和方位角，从而确定目标相对基阵的相对位置 (x, y, z) ，最后通过 (x, y, z) 和基阵的 GPS 大地坐标换算出目标的大地坐标。

为了保证精度，水平角、斜距和俯仰角被认为是需要同时具备的 3 个基本的测定参数。本规范中将定位示值误差与作用距离作为超短基线水声定位仪的计量特性，其中，定位示值误差包含了被检设备的水平开角、垂直开角及斜距精度，此外，根据现有产品的技术参数，将作用距离偏差同时作为必需的校准参数，以综合评定超短基线水声定位仪的测量性能。

5、校准条件

5.1 校准条件

校准环境条件的规定主要考虑温度与湿度环境应能保证多波束测深仪校准过程的正常进行，依据《水文仪器基本环境检定条件及方法》(GB/T9359-2016)起草本部分内容。

5.2 测量标准及其他设备

(1) 定位示值误差

定位示值误差校准确定的标准器及配套设备为GPS接收机、钢卷尺、多维运行控制机构与声速剖面仪。

GPS接收机可溯源至中国地震局第一监测中心计量检定站。根据JJG(测绘)2301-2013 《全球导航卫星系统(GNSS)测量性接收机RTK》，RTK测量精度应小于 $\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$ ，式中， a 表示仪器标称固定误差， b 表示仪器标称比例误差， d 表示基线长度，GPS接收机在测量时至基站距离均小于1km，同时，经过对 $a=8\text{mm}$ ， $b=1\text{mm}$ 的GPS接收机作为标准器多次试验后，由该标准器引入的不确定度满足校准结果的要求，因此确定GPS接收机定位最大允许误差为 $\pm 9\text{mm}$ 。

钢卷尺可溯源至天津市计量监督检测科学研究院，测量范围：(0~10) m，准确度等级：I级。根据JJG 4-2015《钢卷尺》，I级钢卷尺尺带标称长度和任意两个非连续刻度之间的示值最大允许误差应小于 $(0.1\text{mm} + 10^{-4}L)$ ， L 表示四舍五入后的整数米。

多维运行控制机构可以匀速行驶（改变换能器与信标的距离以完成多个点的校准），可安装超短基线水声定位仪并实现多维度控制（通过改变换能器姿态实现三维定位示值误差的校准）。水平转动角度： $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，垂直转动角度： $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，角度最大允许误差 $\pm 0.05^{\circ}$ 。

(2) 作用距离偏差

作用距离偏差校准确定的标准器及配套设备为GPS接收机、钢卷尺、无人船及开阔水域。

无人船要求具有悬停功能，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（风速3.4m/s~5.5m/s，小波峰顶破裂，波高0.6m）。

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（波纹或涌浪和小波纹同时存在，微小波浪呈鱼鳞状，没有浪花）。

校准选用的计量标准器应满足上述性能要求，也可以使用更高准确度的标准器。

6、校准方法

6.1 定位示值误差

对于超短基线水声定位仪的定位示值误差，规范选择比较法进行校准。基于深水池，控制超短基线水声定位仪至信标的距离，并用GPS作为标准器测量其实际距离，与被检设备示值进行比较，计算差值。

6.2 作用距离偏差

对于超短基线水声定位仪的作用距离，规范选择判别法进行校准。当换能器与信标相隔一定距离时，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；如果无法接收，则行驶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。最后，通过计算被校设备的实际作用距离与标称值之差获得作用距离偏差。

7、校准结果

依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求对校准结果中的校准证书信息进行了规定。依据本规范出具的校准证书至少包括以下信息：

- 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。

8、复校时间间隔

依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求对复校时间间隔进行了规定：“建议超短基线水声定位仪的复校时间间隔为 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由超短基线水声定位仪的使用情况、使用者等诸因素所决定的，因此，建议送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。”

六、不确定度评定

为了验证校准方法的科学性，对超短基线水声定位仪的校准结果进行了不确定度评定，见附录 C《测量结果的不确定度评定示例》。

七、其他说明

1、与国际计量规范、国内标准等技术文件的兼容情况

本规范制定过程中参考了 JJG（交通）152-2020 《超短基线水声定位仪》中规定的测量方法。

2、对重大分歧意见的处理结果和依据等

无。