



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX—XXXX

船载中深水多波束测深系统校准规范

Calibration Specification for Shipborne Medium-Depth Water Multi-beam Sounding
Systems

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

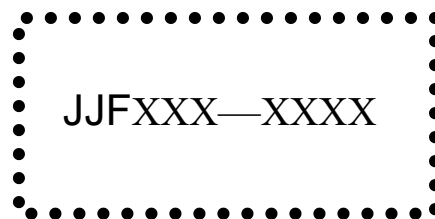
XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

船载中深水多波束测深系统 校准规范

Calibration Specification for

Shipborne Medium-Depth Water Multi-beam Sounding Systems



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：自然资源部第二海洋研究所

交通运输部东海航海保障中心

中国科学院声学研究所

交通运输部天津水运工程科学研究所

参加起草单位：上海地海科技有限公司

本规范委托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：

苟诤慷（自然资源部第二海洋研究所）

张 良（交通运输部东海航海保障中心）

刘晓东（中国科学院声学研究所）

柳义成（交通运输部天津水运工程科学研究所）

张济博（自然资源部第二海洋研究所）

参加起草人：

韩 磊（交通运输部东海航海保障中心）

苏希华（上海地海科技有限公司）

目 录

引 言.....	3
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	1
5.1 水深示值误差.....	2
5.2 波束宽度误差.....	2
5.3 扇区开角误差.....	2
5.4 发射声源级误差.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 计量标准.....	2
7 校准方法.....	2
7.1 校准前准备.....	2
7.2 水深示值误差.....	3
7.3 声源级、波束宽度、扇区开角误差.....	4
8 校准结果表达.....	5
9 复校时间间隔.....	5
附录 A 船载中深水多波束测深系统校准原始记录格式.....	6
附录 B 船载中深水多波束测深系统校准证书内页格式.....	8
附录 C 船载中深水多波束测深系统校准结果测量不确定度评定示例.....	11

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。

船载中深水多波束测深系统校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围在（50~11000）m的船载中深水多波束测深系统的现场校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1034-2020 声学计量术语及定义

JJF 1403-2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

GB/T 4300-2007 船舶与海上技术 船用陀螺罗经

GB/T 7965-2002 声学 水声换能器测量

GB 12327-2022 海道测量规范

GB/T 42640-2023 多波束水下地形测量技术规范

JJG（交通）122-2015《水运工程 声速剖面仪》

JJG（交通）139-2017《多波束测深仪 浅水》

JJG（交通）170-2020《水运工程 姿态测量仪》

JT/T 790-2010 多波束测深系统测量技术要求

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 1034-2020和GB/T 7965-2002、GB/T 42640-2023界定的术语和定义适用于本规范。

4 概述

船载中深水多波束测深系统通常由中深水多波束换能器、卫星定位仪、姿态传感器、罗经、声速仪、甲板单元、采集和处理计算机等组成，是一种换能器基阵装在船底或在船尾拖曳，采用条带声学束控技术，实现中深水区域大面积水下地形测量的回声测深装置，广泛应用于中深水海事搜救、海洋测绘等领域。

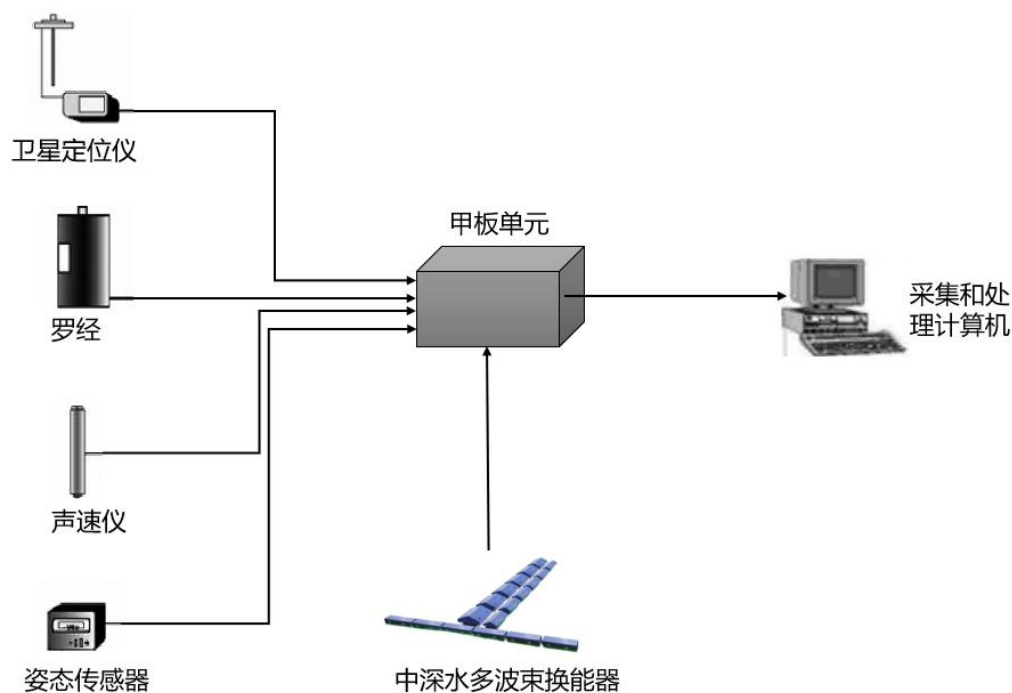


图 1 中深水多波束测深系统结构示意图

5 计量特性

5.1 水深示值误差

多波束测深系统水深示值与实际水深值之差。

5.2 波束宽度误差

多波束测深系统标称波束宽度与实际波束宽度之差。

5.3 扇区开角误差

多波束测深系统标称扇区开角与实际扇区开角之差。

5.4 发射声源级误差

多波束测深系统标称发射声源级与实测发射声源级之差。

6 校准条件

6.1 环境条件

海试水域要求：水深 50 m~11000 m，海况不大于 3 级；

消声水池要求：自由场测试区域不小于 8m，吸声效率优于 99%@3kHz。

6.2 计量标准

校准使用的计量标准器和水深测量成果图应符合表 1 的规定，或使用更高准确度的标准器。

表 1 计量标准项及其性能要求

序号	计量标准项	性能要求
1	船载单波束测深系统	水深测量范围：5 m～11000 m； 标准不确定度优于 0.1 m+0.1% d ， d 为深度，m。
2	坐底式水声检测系统	频率测量范围：10 kHz～100 kHz； 标准不确定度优于 0.9 dB； 最大工作水深：100 m； 水下定位不确定度：0.3 m+0.1% L ， L 为基线长度，m。
3	水深测量成果图	测量等级：一等； 比例尺：1:2000； 水深范围：100 m～2500 m； 水域环境：岩石型底质； 测绘单位：具有海洋测绘甲级和 CMA 资质； 成果认证：由国家测绘产品质量检验站出具优级报告； 有效期：半年。

7 校准方法

7.1 校准前准备

7.1.1 辅助传感器计量检校

船载中深水多波束测深系统的声速仪、姿态传感器、卫星定位仪、罗经等辅助传感器依据现行国家标准、计量检定规程和计量校准规范完成量值的溯源，应符合 JJG（交通）122-2015、JJG（交通）170-2020、JJF 1403-2013、GB/T 4300-2007 的技术要求。

7.1.2 多波束测深系统安装校准

船载中深水多波束测深系统的仪器安装偏差、定位延时、横摇偏差、纵摇偏差、首向偏差等可参照 GB/T 42640-2023 和 JT/T 790-2010 的要求完成安装校准，应符合 GB 12327-2022 的技术要求。

7.1.3 坐底式水声检测系统溯源验证

在消声水池中开展深水模拟测试。将多波束测深仪安装至水池试验行车，正常启动工作；布放坐底式水声检测系统至消声水池底部，控制试验行车带动多波束测深仪匀速通过坐底式水声检测系统正上方；采集多波束发射扇区内各角度位置的直达脉冲信号，绘制指向性图；按照 GB/T 7965-2002 规定，计算波束宽度、扇区开角、声源级，与标称值比较计算误差；分析时间同步、水下定位、设备安装、标准水听器误差与重复性等误差来源，评

定坐底式水声检测系统的测量不确定度。

7.2 水深示值误差

选取 2000 m 以深海域作为试验区，规划重复测线和交叉测线，开展船载中深水多波束测深系统和单波束测深系统现场比测，校准方法如图 2 所示。以单波束测深系统测量值为标准值，分别提取中央波束区和左右边缘波束区的同名水深点 50 个，计算船载中深水多波束测深系统全条带波束水深示值误差。

以水深测量成果图作为计量标准，开展船载中深水多波束测深系统同水域校准，分别提取中央波束区和左右边缘波束区的 50 个同名水深点进行比对，计算船载中深水多波束测深系统全条带波束水深示值误差。

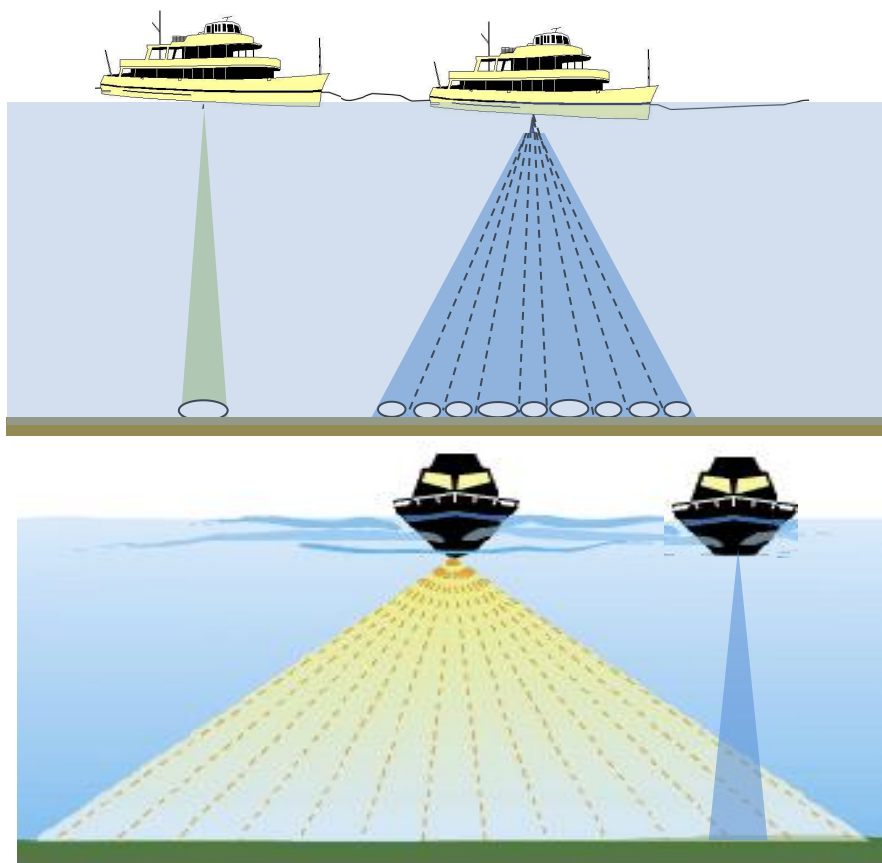


图 2 水深示值误差校准方法示意图

7.3 声源级、波束宽度、扇区开角误差

设定坐底式水声检测系统启动时间、频率、增益等采样参数；布放坐底式水声检测系统至 100m 以浅的地形平坦试验海区，校准方法如图 3 所示；建立船体坐标系，以坐底式水声检测系统坐标点为原点，规划“十字”、“草字”、“圆形”测线；启动船载中深水多波束测深系统，设定最大声源级、最大脉冲宽度、扇区开角等参数；控制测量船以 5m/s 的匀速通过坐底式水声检测系统上方海域，完成规划测线；回收坐底式水声检测系统，分析水声

数据；按照公式（1）计算发射声源级，与标称值比较计算误差。

$$\Delta S = S_s - 10 \lg U_\infty - 120 + M - 20 \lg d \quad (1)$$

式中：

ΔS ——多波束测深仪发射声源级误差，dB；

S_s ——多波束测深仪标称发射声源级，dB；

U_∞ ——坐底式水声检测系统中标准水听器输出端最大开路电压，V；

M ——坐底式水声检测系统中标准水听器灵敏度，dB（基准值 $1 \mu\text{V}/\mu\text{Pa}$ ）；

d ——坐底式水声检测系统中标准水听器到换能器相位中心距离，m。

提取沿航迹线方向各位置处标准水听器输出端的开路电压，计算声压级并绘制直角坐标系指向性图，截取下降 3dB 的波束角作为波束宽度，与标称波束宽度值比较计算示值误差；提取垂直航迹线方向各位置处标准水听器输出端的开路电压，计算声压级并绘制极坐标系指向性图，截取下降 3dB 的波束角作为扇区开角，与标称扇区开角值比较计算示值误差。

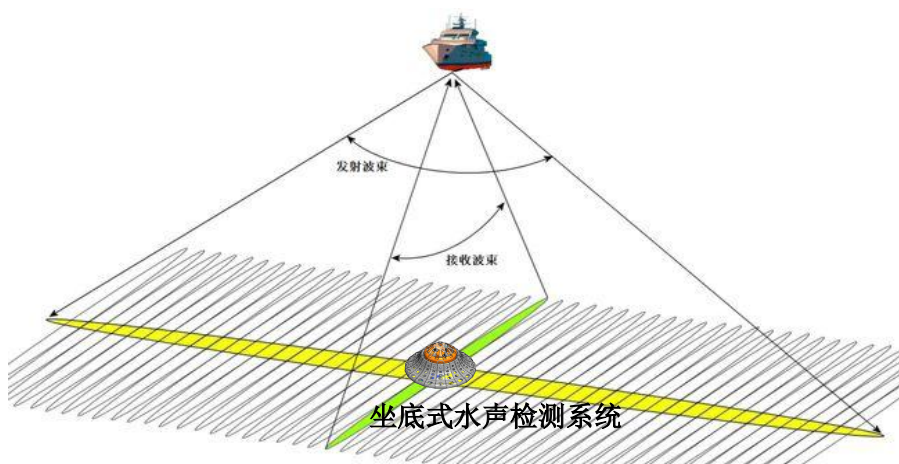


图3 波束宽度、扇区开角、声源级误差校准方法示意图

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) 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。

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，船载中深水多波束测深系统复校时间间隔建议为1年。

附录A

船载中深水多波束测深系统校准原始记录格式

中深水多波束测深系统校准记录										第 1 页 共 2 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		水深：_____ 风浪等级：_____									
1.水深示值误差											
标准值 m	波束号	测量值 m					测量值均值 m	示值误差 m	测量不确定度 (k=2)		

2.扇区开角误差

实际值 °	标称值 °	扇区开角误差 °	测量不确定度 ($k=2$)

3.波束宽度误差

	实际值 °	标称值 °	波束角误差 °	测量不确定度 ($k=2$)
平行航迹线方向				
垂直航迹线方向				

4.发射声源级误差

实际值 dB	标称值 dB	发射声源级误差 dB	测量不确定度 ($k=2$)

校准员：_____

核验员：_____

校准日期：____年__月__日

附录 B

船载中深水多波束测深系统校准证书内页格式

校准机构授权说明				
校准的技术依据				
校准环境条件及地点				
水深				
风浪等级				
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

第1页 共3页

校准结果

1.水深示值误差

标准值 m	波束号	测量值均值 m	示值误差 m	测量不确定度 (<i>k</i> =2)

校准结果

2. 波束宽度误差

	实际值 °	标称值 °	波束角误差 °	测量不确定度 ($k=2$)
平行航迹线方向				
垂直航迹线方向				

3. 扇区开角误差

实际值 °	标称值 °	扇区开角误差 °	测量不确定度 ($k=2$)

4. 发射声源级误差

实际值 dB	标称值 dB	发射声源级误差 dB	测量不确定度 ($k=2$)

注:

- 1 本证书校准结果仅对该计量器具有效;
- 2 本证书未加盖“校准专用章”无效;
- 3 下次校准时请携带(出示)此证书。

未经授权，不得部分复印本证书。

第3页 共3页

以下空白

附录 C

船载中深水多波束测深系统校准结果测量不确定度评定示例

C.1 数学模型

船载中深水多波束测深系统校准结果测量不确定度评定，就是对多波束测深系统在水深测量范围内各水深校准结果开展测量不确定度评定工作。由于多波束测深系统在不同的水深值的测量不确定度的结果不相同。因此采用标准水深为 500 m 时作为测量不确定度评定的典型案例。考虑到影响测量不确定度的因素，其测量模型为：

$$\Delta L = L - L_0 + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔL ——多波束测深系统的示值误差，m，

L ——船载中深水多波束测深系统的测量结果，m；

L_0 ——船载单波束测深系统计量装置的测量结果，m；

ΔL_1 ——由水中声速不准确所引入的测量偏差，m；

ΔL_2 ——由定位误差引入的测量偏差，m；

ΔL_3 ——由姿态测量误差引入的偏差，m；

ΔL_4 ——由安装时产生的多波束测深仪的位置偏差，m。

C.2 合成灵敏度系数

由于多波束测深系统测量误差数学模型中的 L 、 L_0 、 ΔL_1 、 ΔL_2 、 ΔL_3 、 ΔL_4 互不相关，故其合成方差为：

$$u(\Delta L)^2 = c^2(L)u^2(L) + c^2(L_0)u^2(L_0) + c^2(\Delta L_1)u^2(\Delta L_1) + c^2(\Delta L_2)u^2(\Delta L_2) +$$

$$c^2(\Delta L_3)u^2(\Delta L_3) + c^2(\Delta L_4)u^2(\Delta L_4)$$

式中灵敏系数为：

$$c(L) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(L)} = 1, \quad c(L_0) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(L_0)} = -1, \quad c(\Delta L_1) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(\Delta L_1)} = 1, \quad c(\Delta L_2) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(\Delta L_2)} = 1$$

$$c(\Delta L_3) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(\Delta L_3)} = 1, \quad c(\Delta L_4) = \frac{\partial(\Delta L)}{\partial(\Delta L_4)} = 1。$$

C.3 不确定度分量评定

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(L)$

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。在对多波束测深系统校准的过程中，每个校准点采集 50 个数

据，求其平均值作为多波束测深系统测量的结果。在测量不确定度评价的过程中，采用标准水深 500 m 时的数据，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.1 500 m 水深值时多波束测深仪水深测量数据

序号	测量结果 m	序号	测量结果 m	序号	测量结果 m	序号	测量结果 m	序号	测量结果 m
1	500.2	11	502.4	21	498.3	31	500.8	41	502.5
2	500.9	12	498.0	22	500.4	32	501.7	42	500.3
3	500.3	13	500.8	23	502.2	33	499.4	43	498.8
4	499.8	14	499.7	24	498.1	34	498.6	44	498.1
5	498.6	15	502.3	25	501.5	35	501.2	45	499.6
6	501.9	16	502.0	26	497.8	36	501.1	46	497.3
7	502.3	17	499.1	27	497.4	37	502.3	47	500.2
8	497.5	18	499.7	28	500.2	38	499.5	48	500.6
9	501.1	19	499.0	29	501.7	39	498.2	49	499.6
10	498.8	20	499.8	30	501.8	40	500.3	50	499.5

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。水深测量数据的标准偏差 $s=1.5$ m，水深测量重复性所引入的测量不确定度为

$$\mu(L) = \frac{s}{\sqrt{50}} = 0.2\text{m}$$

C.3.2 船载单波束测深系统计量装置引入的标准不确定度 $u(L_0)$

在船载中深水多波束测深系统校准过程中，以经过校准溯源的无人船搭载多波束测深系统作为计量标准器进行同水域同步比测，获取标准值。计量装置分别在实验室环境下、原型深水港池、水库、江河湖泊进行系统测深结果的不确定度评定，经评定该套计量标准引入的标准不确定度 $u_1(L_0)$ 为 0.7 m。

C.3.3 由水中声速测量不准确所引入的标准不确定度 $u(\Delta L_1)$

声速是多波束测深仪进行几何测量的重要参量，在多波束测深仪工作的过程中，应当进行整个声速剖面的声速修正。水中的声速主要受温度、盐度和压力影响。试验中所采用的声速仪最大允许误差 $\pm 0.2\text{m/s}$ 。由于 $D=ct/2$ ，在标准水深为 500 m 条件下，选取声速为 1500 m/s，则声波传播时间为 0.7 s，则由声速极限误差引起的多波束测深仪示值极限误差为 ± 0.14 m，其标准不确定度 $u(\Delta L_1)$ 为 0.08 m。

C.3.4 由定位误差引入的标准不确定度 $u(\Delta L_2)$

定位误差主要来源于 GNSS 接收机，对 GNSS 接收机采用标准不确定度的 B 类评定

方法，最大允许误差为 $\pm 1\text{ m}$ ，估计其为均匀分布，则其不确定度为

$$\mu(\Delta L_2) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6\text{m}$$

C.3.5 由姿态误差引入的标准不确定度 $u(\Delta L_3)$

姿态测量误差主要来源于姿态测量仪，对姿态测量仪采用标准不确定度的 B 类评定方法，根据 JJG（交通）170-2020《水运工程 姿态测量仪》，试验中所采用的姿态测量仪最大允许误差 $\pm 0.1^\circ$ ，当标准水深为 500 m 时，引入的斜距最大允许误差为 $7.6 \times 10^{-4}\text{m}$ ，估计其为均匀分布，则其不确定度为

$$\mu(\Delta L_3) = \frac{7.6 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 4.4 \times 10^{-4}\text{m}$$

可忽略不计。

C.3.6 由安装时引入的标准不确定度 $u(\Delta L_4)$

船载中深水多波束测深系统在安装时各设备相对位置主要通过激光测距的方式建立船体坐标系，最大允许误差 $\pm 1\text{ cm}$ ，采用 B 类不确定度评定方法，估计分布为均匀分布，查表得到 $k=\sqrt{3}$ ，则由安装引入的标准不确定度为 6 mm，可忽略不计。

C. 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
$u(L)$	多波束测深仪 测量重复性	A	0.2 m	1
$u(L_0)$	校准装置	B	0.7 m	-1
$u(\Delta L_1)$	声速仪	B	0.08 m	1
$u(\Delta L_2)$	GNSS 接收机	B	0.6 m	1
$u(\Delta L_3)$	姿态测量仪	B	$4.4 \times 10^{-4}\text{m}$	1
$u(\Delta L_4)$	安装偏差	B	6 mm	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：

$$\mu_c = \sqrt{\mu^2(L) + \mu^2(L_0) + \mu^2(L_1) + \mu^2(L_2) + \mu^2(L_3) + \mu^2(L_4)} = 0.95\text{m}$$

C. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为： $U = k \times \mu_c = 1.9\text{m}$ 。