



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX—XXXX

合成孔径声呐校准规范

Calibration Specification for Synthetic Aperture Sonars

(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

合成孔径声呐校准规范

Calibration Specification for Synthetic Aperture Sonars

JJF XXXX—XXXX

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

交通运输部东海航海保障中心

上海迈波科技有限公司

参加起草单位：自然资源部第二海洋研究所

海军工程大学

上海地海科技有限公司

国防科技大学

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：

柳义成（交通运输部天津水运工程科学研究所）

张 良（交通运输部东海航海保障中心）

陈 鑫（上海迈波科技有限公司）

参加起草人：

张济博（自然资源部第二海洋研究所）

唐劲松（海军工程大学）

苏希华（上海地海科技有限公司）

王 俊（国防科技大学）

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	1
5.1 工作频率误差	1
5.2 方位向分辨率示值误差	1
5.3 距离向分辨率示值误差	2
5.4 声源级误差	2
5.5 垂直波束宽度误差	2
5.6 高程示值误差	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 设施与设备	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	6
9 复校时间间隔	6
附录 A 原始记录格式	7
附录 B 校准证书内页格式	9
附录 C 测量不确定度评定示例	12

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。

合成孔径声呐校准规范

1 范围

本规范适用于二维合成孔径声呐、干涉合成孔径声呐校准。

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

GB/T 7965—2002 声学 水声换能器测量

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界定的术语和定义适用于本规范。

3.1 二维合成孔径声呐 2D synthetic aperture sonar

通过合成孔径处理在距离向和方位向两个维度上实现高分辨率成像的声呐。

3.2 干涉合成孔径声呐 interferometric synthetic aperture sonar

利用相位干涉测量原理，实现对目标三维高程信息提取的合成孔径声呐。

4 概述

合成孔径声呐已被广泛应用于水下目标探测与识别、海洋工程与基础设施监测、海洋地形测绘与地质调查等领域。

合成孔径声呐由发射阵列、接收阵列和信号处理单元等组成。

利用合成孔径成像原理，通过小物理声学基阵运动，逐次发射、接收和存储信号，再把所有存储的回波信号进行相干叠加获得一个虚拟大孔径阵列，进而产生一个窄波束，实现探测高分辨率走航方向的声呐。

5 计量特性

5.1 工作频率误差

合成孔径声呐标称工作频率与实际工作频率值之差，最大允许误差为 $\pm 1\%F$ ， F 为实际工作频率。

5.2 方位向分辨率示值误差

合成孔径声呐方位向分辨率示值与实际方位向分辨率之差，最大允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

5.3 距离向分辨率示值误差

合成孔径声呐距离向分辨率示值与实际距离向分辨率之差，最大允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

5.4 声源级误差

合成孔径声呐标称声源级与实际声源级示值之差，最大允许误差为 $\pm 10\%SL$ ， SL 为实际声源级。

5.5 垂直波束宽度误差

合成孔径声呐标称垂直波束宽度与实际垂直波束宽度示值之差，最大允许误差为 $\pm 10\%B$ ， B 为实际波束宽度。

5.6 高程示值误差

合成孔径声呐高程示值与实际高程示值之差，最大允许误差为 $\pm 1\%D$ ， D 为实际高程。

注：以上指标不作为合格性判据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件要求如下：

- a) 室温： $5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 水温： $5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 相对湿度：应不大于 90%。

6.2 设施与设备

校准设施与设备要求如下：

- a) 钢卷尺：测量范围 $0 \sim 10\text{m}$ ，准确度等级 II 级。
- b) 声速剖面仪：最大允许误差 $\pm 0.2\text{ m/s}$ 。
- c) 标准水听器：频率范围 $0.1\text{ MHz} \sim 2.5\text{ MHz}$ ，扩展不确定度 $U=0.9\text{ dB}(k=2)$ 。
- d) 信号采集器：最高采样频率为 10 MHz ，电压测量扩展不确定度 $U=2\text{ mV}(k=2)$ 。
- e) 标准目标块套组：边长为 5 cm 、 10 cm 、 15 cm 、 20 cm 、 25 cm 、 30 cm 、 50 cm 的正方体目标块，边长最大允许误差 $\pm 0.2\text{ cm}$ 。
- f) 消声水池，要求如下：
 - 1) 对频率高于 5 kHz 的声波吸声系数应不低于 0.99；
 - 2) 合成孔径声呐与标准水听器中心间的距离应满足远场条件公式 (1) 的要求。

$$\begin{cases} d \geq \frac{L^2}{\lambda} \\ d \geq L \end{cases} \quad (1)$$

式中：

d ——合成孔径声呐与标准水听器之间的距离，m；

L ——合成孔径声呐线列换能器的长度，m；

λ ——水中声波波长，m。

g) 试验车：位于消声水池之上，应配有回转/升降装置，角度控制最大允许误差 $\pm 0.1^\circ$ ，位移控制最大允许误差 ± 0.5 cm，速度控制最大允许误差 ± 0.01 m/s。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目及对应的校准方法条款编号见表1。

表1 校准项目表

序号	校准项目	校准方法对应条款编号
1	工作频率误差	7.2.1
2	方位向分辨率示值误差	7.2.2
3	距离向分辨率示值误差	7.2.3
4	声源级误差	7.2.4
5	垂直波束宽度误差	7.2.5
6	高程示值误差	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 工作频率误差

工作频率误差校准步骤如下：

a) 将合成孔径声呐安装在试验车，调节回转装置使发射扇面垂直于水面，调节升降装置使发射扇面入水深度为2 m；

b) 将标准水听器安装在试验车，调节升降装置使标准水听器与发射扇面中心在同一深度上，距离需满足自由场、远场条件；

c) 将标准水听器连接到信号采集器，调节合成孔径声呐发射参数使其正常工作，信号采集器记录水听器端采集的直达波信号；

d) 按公式(2)将直达波信号转换为频域信号，读取频率值作为标准值，与合成孔径声呐标称工作频率作差，计算工作频率误差。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (2)$$

式中：

$X(f)$ ——直达波频域信号，V；

$x(t)$ ——直达波时域信号，V；

i ——虚数单位；

t ——直达波采集时间，s；

f ——直达波频率，Hz。

7.2.2 方位向分辨率示值误差

方位向分辨率示值误差校准步骤如下：

a) 水池底部中间位置沿平行航迹线方向铺设标准目标块套组，根据合成孔径声呐方位向分辨率的设计指标设置相邻目标块间距；

b) 将声速剖面仪安装在试验车，调节升降装置使合声速剖面仪入水深度为 2m，获取声速值并输入到合成孔径声呐信号处理单元；

c) 将合成孔径声呐安装在试验车，调节升降装置使合成孔径声呐入水深度为 2m；

d) 控制试验车以合成孔径声呐指标速度航行，使发射阵完整扫过标准目标块套组。判读声图像上平行航迹线方向的目标块，量取目标块之间的距离 3 次取平均值作为合成孔径声呐方位向分辨率示值，与目标块之间标准距离值作差，计算方位向分辨率示值误差。

7.2.3 距离向分辨率示值误差

方距离向分辨率示值误差校准步骤如下：

a) 水池底部中间位置沿垂直航迹线方向铺设标准目标块套组，根据合成孔径声呐距离向分辨率的设计指标设置相邻目标块间距；

b) 将声速剖面仪安装在试验车，调节升降装置使合声速剖面仪入水深度为 2m，获取声速值并输入到合成孔径声呐信号处理单元；

c) 将合成孔径声呐安装在试验车，调节升降装置使合成孔径声呐入水深度为 2m；

控制试验车以合成孔径声呐指标速度航行，使发射阵完整扫过标准目标块套组。判读声图像上垂直航迹线方向的目标块，量取目标块之间的距离 3 次取平均值作为合成孔径声呐距离向分辨率示值，与目标块之间标准距离值作差，计算距离向分辨率示值误差。

7.2.4 声源级误差

声源级误差校准步骤如下：

a) 安装合成孔径声呐与标准水听器至试验车，调节升降装置使发射扇面和标准水听器位于消声水池同一深度；

b) 通过回转装置找到垂直波束中心位置，调节升降装置找到水平波束中心位置；

c) 使用钢卷尺测量合成孔径声呐至标准水听器之间水平距离 r ；

d) 启动合成孔径声呐，脉冲宽度调整至 $<10\text{ms}$ ；

e) 通过示波器读取标准水听器采集的开路电压 U_{oc} ；

f) 按公式 (3) 计算发射声源级，作为实际声源级；

$$SL = 20\lg U_{oc} + 20\lg r - M \quad (3)$$

式中：

SL ——合成孔径声呐实际发射声源级，dB；

U_{oc} ——标准水听器输出的开路电压，V；

r ——合成孔径声呐至标准水听器的距离，m；

M ——标准水听器灵敏度级，dB（基准值为 $1\text{ V}/\mu\text{Pa}$ ）；

g) 声源级标称值与实际声源级作差，计算声源级误差。

7.2.5 垂直波束宽度误差

垂直波束宽度误差校准步骤如下：

a) 按照 7.2.4 步骤 a) ~b) 安装合成孔径声呐与标准水听器；

b) 以步进间隔 0.2° 旋转回转装置，标准水听器采集水声信号的开路电压；

c) 按照 GB/T 7965—2002 中 14.2 规定的方法计算垂直波束宽度，与标称垂直波束宽度作差计算误差。

7.2.6 高程示值误差

高程示值误差校准步骤如下：

a) 将合成孔径声呐安装在试验车，调节回转装置使其处于水平工作状态，调节升降装置使其入水深度为 2 m ；

b) 在水平距离 10 m 处放置高度分别为 10 cm 、 20 cm 、 50 cm 的目标块；

c) 将声速剖面仪安装在试验车，调节升降装置使合声速剖面仪入水深度为 2 m ，获取声速值并输入到合成孔径声呐信号处理单元；

d) 控制试验车以合成孔径声呐指标速度航行，使发射阵完整扫过标准目标块套组，读取声呐图像目标块高度示值，与目标块实际高度作差，计算高程示值误差。

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。

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，合成孔径声呐复校时间间隔建议为12个月。

附录A

原始记录格式

证书编号：XXXXXX

合成孔径声呐校准记录				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				
1、工作频率误差				
实际值 kHz	标称值 kHz	工作频率误差 kHz	测量不确定度 (k=2)	
2、方位向分辨率示值误差				
实际值 m	标称值 m	方位向分辨率示值误差 m	测量不确定度 (k=2)	
3、距离向分辨率示值误差				
实际值 m	标称值 m	距离向分辨率示值误差 m	测量不确定度 (k=2)	

证书编号：XXXXXX

4. 声源级误差

实际值 dB	标称值 dB	声源级误差 dB	测量不确定度 ($k=2$)

5. 垂直波束宽度误差

实际值 °	标称值 °	垂直波束宽度 误差 °	测量不确定度 ($k=2$)

6. 高程示值误差

实际值 m	标称值 m	高程示值误差 m	测量不确定度 ($k=2$)

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：XXXXXX

校准机构授权说明				
校准的技术依据				
校准环境条件及地点				
校准使用的计量标准装置				
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	检定/校准证书编号	有效期至

校准结果

1、工作频率

实际值 kHz	标称值 kHz	工作频率误差 kHz	测量不确定度 ($k=2$)

2、方位向分辨率示值误差

实际值 m	标称值 m	方位向分辨率示值误差 m	测量不确定度 ($k=2$)

3、距离向分辨率示值误差

实际值 m	标称值 m	距离向分辨率示值误差 m	测量不确定度 ($k=2$)

4、声源级误差

实际值 dB	标称值 dB	声源级误差 dB	测量不确定度 ($k=2$)

证书编号：XXXXXX

校准结果

5、垂直波束宽度误差

实际值 °	标称值 °	垂直波束宽度 误差 °	测量不确定度 ($k=2$)

6、高程示值误差

实际值 m	标称值 m	高程示值误差 m	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。

以下空白

第 3 页 共 3 页

附录C

测量不确定度评定示例

C.1 工作频率误差校准结果的测量不确定度评定

C.1.1 测量模型

工作频率误差是合成孔径声呐标称的工作频率值减去校准装置测得的合成孔径声呐工作频率，其测量模型如下：

$$\Delta f = f_s - f_b \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δf ——合成孔径声呐工作频率误差，Hz；

f_s ——合成孔径声呐标称工作频率，Hz；

f_b ——合成孔径声呐实际工作频率，Hz。

C.1.2 标准不确定度来源

标准不确定度的主要来源为工作频率实际值测量引入的标准不确定度，包含以下分量：

- (1) 数字示波器引入的标准不确定度 $u_1(f_b)$ ；
- (2) 标准水听器引入的标准不确定度 $u_2(f_b)$ ；
- (3) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(f_b)$ 。

C.1.3 标准不确定度的评定

C.1.3.1 数字示波器引入的标准不确定度 $u_1(f_b)$

由《数字存储示波器校准规范》可知，数字示波器频率最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ ，被校设备的标称频率 600kHz，因此，本次校准使用的数字示波器的最大允许误差为 12Hz，以

均匀分布考虑，包含因子 k 取 $\sqrt{3}$ ，则数字示波器引入的标准不确定度为

$$u(f_s) = \frac{12\text{Hz}}{\sqrt{3}} = 6.93\text{Hz}$$

C.1.3.2 标准水听器引入的标准不确定度 $u_2(f_b)$

已知标准水听器的测量不确定度为 $U=0.7\text{dB}$ ($k=2$)，因此，由标准水听器引入的标准不确定度

$$\mu_1(\beta_b) = \frac{U}{k} = \frac{0.7\text{dB}}{2} = 0.35\text{dB}$$

C.1.3.3 测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(f_b)$

被校设备标称的工作频率为 600kHz，计算 10 次重复测量值的实验标准偏差，进行测量重复性引入的标准不确定度评价，具体数据见表 C.1。

表 C.1 合成孔径声呐工作频率测量数据

序号	1	2	3	4	5
测量值/kHz	600.06	599.95	599.94	600.05	600.01
序号	6	7	8	9	10
测量值/kHz	599.93	599.95	600.08	599.91	600.06

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，根据贝塞尔公式得工作频率实验标准偏差 $s = 0.06\text{kHz}$ ，则工作频率测量重复性所引入的标准不确定度为 $\mu_3(f_b) = 0.06\text{kHz}$ 。

C.1.4 各不确定度分量汇总

标准不确定度汇总表见表 C.2。

表 C.2 工作频率测量不确定度分量综合分析表

序号	不确定度来源	评定方法	符号	标准不确定度
1	数字示波器引入的标准不确定度	B 类	$u_1(f_b)$	6.93Hz
2	标准水听器引入的标准不确定度	B 类	$u_2(f_b)$	0.35dB
3	测量重复性引入的标准不确定度	A 类	$u_3(f_b)$	0.06kHz

C.1.5 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关，根据不确定度的传播律，将上述不确定度分量进行合成，则

$$u_c = \sqrt{(c_1(f_b)u_1(f_b))^2 + (c_2(f_b)u_2(f_b))^2 + (c_3(f_b)u_3(f_b))^2} = 0.071\text{kHz}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为 $U = 2u_c \approx 0.15\text{kHz}$ 。

C.2 垂直波束宽度误差校准结果的测量不确定度评定

C.2.1 测量模型

波束宽度误差通过合成孔径声呐标称的波束宽度减去合成孔径声呐校准装置测得的波束宽度获得，对于垂直航迹线方向波束宽度误差校准结果的测量不确定度评定，测量模型如下：

$$\Delta\alpha = \alpha_s - \alpha_b \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\Delta\alpha$ ——合成孔径声呐垂直航迹线方向波束宽度误差，°；

α_s ——合成孔径声呐标称垂直航迹线方向波束宽度，°；

α_b ——合成孔径声呐垂直航迹线方向波束宽度实际值，°。

C.2.2 标准不确定度来源

标准不确定度主要来源为波束宽度实际值测量引入的标准不确定度，包含以下分量：

(1) 标准水听器引入的标准不确定度 $u_1(\alpha_b)$ ；

(2) 回转装置引入的标准不确定度 $u_2(\alpha_b)$ ；

(3) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(\alpha_b)$ 。

C.2.3 标准不确定度的评定

C.2.3.1 标准水听器引入的标准不确定度 $u_1(\alpha_b)$

波束宽度校准使用的标准器为标准水听器，由本规范 6 校准条件知标准水听器的测量不确定度为 $U=0.9\text{dB}$ （ $k=2$ ），因此，由标准水听器引入的标准不确定度

$$u_1(\alpha_b) = \frac{U}{k} = \frac{0.9\text{dB}}{2} = 0.45\text{dB}。$$

C.2.3.2 回转装置引入的标准不确定度 $u_2(\alpha_b)$

回转装置角度控制的最大允许误差 $\pm 0.1^\circ$ ，采用 B 类不确定度评定方法，估计分布为均匀分布，升降装置引入的测量不确定度为 $u_2(\alpha_b) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.06^\circ$ 。

C.2.3.3 垂直航迹线方向测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(\alpha_b)$

被校设备标称的波束宽度为 50° ，计算 10 次重复测量值的实验标准偏差，进行测量重复性引入的标准不确定度评价，具体数据见表 C.3。

表 C.3 合成孔径声呐波束宽度（垂直航迹线）测量数据

序号	1	2	3	4	5
测量值/°	50.00	50.00	50.02	50.00	49.97
序号	6	7	8	9	10
测量值/°	50.02	50.03	50.04	49.97	50.04

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，根据贝塞尔公式得波束宽度实验标准偏差 $s = 0.03^\circ$ ，则垂直航迹线方向波束宽度测量重复性所引入的标准不确定度为 $u_3(\alpha_b) = 0.03^\circ$ 。

C.2.4 各不确定度分量汇总

标准不确定度汇总表见表 C.4。

表 C.4 垂直航迹线方向波束宽度测量不确定度分量综合分析表

序号	不确定度来源	评定方法	符号	标准不确定度
1	标准水听器引入的标准不确定度	B 类	$u_1(\alpha_b)$	0.45dB
2	回转装置引入的标准不确定度	B 类	$u_2(\alpha_b)$	0.06°
3	测量重复性引入的标准不确定度	A 类	$u_3(\alpha_b)$	0.03°

C.2.5 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关，根据不确定度的传播律，将上述不确定度分量进行合成，则

$$u_c(\Delta\alpha) = \sqrt{(c_1(\alpha_b)u_1(\alpha_b))^2 + (c_2(\alpha_b)u_2(\alpha_b))^2 + (c_3(\alpha_b)u_3(\alpha_b))^2} \approx 0.07^\circ$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，扩展不确定度为 $U = 2u_c(\Delta\alpha) = 0.14^\circ$ 。

C.3 距离向分辨率示值误差校准结果的测量不确定度评定

C.3.1 测量模型

距离向分辨率示值误差是通过合成孔径声呐分辨率的测量值减去合成孔径声呐校准

装置实际分辨率获得的，其测量模型如下：

$$\Delta R = R_m - R_b \quad (\text{C.3})$$

式中：

ΔR ——距离分辨力示值误差，cm；

R_m ——合成孔径声呐距离分辨力测量值，cm；

R_b ——合成孔径声呐可分辨的目标块之间的标准距离，cm。

C.3.2 标准不确定度来源

测量不确定度的主要来源有：

- (1) 合成孔径声呐引入的标准不确定度 $u(R_m)$ ；
- (2) 目标块距离测量引入的标准不确定度 $u(R_b)$ 。

C.3.3 不确定度的评定

C.3.3.1 合成孔径声呐引入的标准不确定度 $u(R_m)$

C.3.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(R_m)$

此测量不确定度为被校准设备测量重复性所引入的标准不确定度，在测量不确定度评价的过程中，被校设备可分辨的相邻目标块最小距离为 100mm，重复测量 10 次进行标准不确定度评价，具体数据见表 C.5。

表 C.5 合成孔径声呐距离向分辨率测量数据

序号	1	2	3	4	5
测量值/mm	99	103	98	98	100
序号	6	7	8	9	10
测量值/mm	97	99	100	103	101

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，根据贝塞尔公式计算距离分辨力测量数据的实验标准偏差 $s = 2\text{mm}$ ，则距离分辨力测量重复性所引入的标准不确定度为 $u_1(R_m) = 2\text{mm}$ 。

C.3.3.1.2 水中声速误差引入的标准不确定度 $u_2(R_m)$

声速是合成孔径声呐进行分辨率校准的重要参量，在合成孔径声呐工作的过程中，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。在合成孔径声呐校准的过程中，声波沿水平方向传播，声波所经过的水域的温度和盐度变化较小，声速变化较小。因此，无须对合成孔径声呐进行整个声速剖面的声速改正。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 $D = \frac{1}{2}ct$ ，在本测试距离下，声波传播时间为 0.01s ，则由声速极限误差引起的合成孔径声呐分辨率示值极限误差为 $\pm 2 \times 10^{-3}\text{m}$ ，以均匀分布考虑，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，其标准不确定度为 1.15mm 。

$u_1(R_m)$ 、 $u_2(R_m)$ 两个不确定度分量互不相关，则合成孔径声呐引入的标准不确定度

$$u(R_m) = \sqrt{u_1(R_m)^2 + u_2(R_m)^2} = 2.3\text{mm}$$

C.3.3.2 目标块距离测量引入的标准不确定度 $u(R_b)$

目标块距离误差来源于钢卷尺，钢卷尺最大允许误差 $\pm 4\text{mm}$ ，采用 B 类不确定度评定方法，估计分布为均匀分布，则目标块距离误差引入的测量不确定度为

$$u(R_b) = \frac{4}{\sqrt{3}} = 2.31\text{mm}$$

C.3.4 各不确定度分量汇总

标准不确定度汇总表见表 C.6。

表 C.6 距离向分辨率测量不确定度分量综合分析表

序号	不确定度来源	符号	标准不确定度	灵敏系数
1	合成孔径声呐引入的标准不确定度	$u(R_m)$	2.3mm	1
2	目标块距离测量引入的标准不确定度	$u(R_b)$	2.31mm	-1

C.3.5 合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关，根据不确定度的传播律，将上述不确定度分量进行合成，则

$$u_c = \sqrt{(c(R_m)u(R_m))^2 + (c(R_b)u(R_b))^2} = 3.26\text{mm}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为 $U = 2u_c \approx 7\text{mm}$ 。