

**国家计量技术规范**  
**船载水声探测系统噪声原位校准规范**  
**(征求意见稿)**  
**测量不确定度评定报告**

规范起草组  
2025年06月

## 目 录

1 车载水声探测系统自噪声示值误差测量模型 .....	1
2 示值误差测量模型灵敏系数 .....	1
3 自噪声监测系统的自噪声示值测量不确定度分量 .....	1
3.1 测量模型 .....	1
3.2 测量不确定度分量 .....	2
3.3 测量不确定度分量汇总 .....	7
3.4 自噪声监测系统的自噪声示值引入的合成标准不确定度 .....	8
4 车载水声探测系统自噪声示值测量不确定度分量 .....	11
4.1 测量不确定度分量 .....	11
4.2 测量不确定度分量汇总 .....	13
4.3 水声探测系统的自噪声示值引入的合成标准不确定度 .....	14
5 车载水声探测系统自噪声示值误差合成标准不确定度 .....	16
6 扩展不确定度 .....	16

## 1 船载水声探测系统自噪声示值误差测量模型

船载水声探测系统自噪声示值误差的计算公式如（1）所示：

$$\Delta L_{PS} = L_{PS} - L_{PS0} \quad (1)$$

式中：

$L_{PS}$ ——船载水声探测系统的自噪声示值，即噪声声压谱密度声源级，dB（基准值： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）；

$L_{PS0}$ ——自噪声监测系统的自噪声示值，即噪声声压谱密度声源级，dB（基准值： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）。

以上数学模型中， $\Delta L_{PS}$ 、 $L_{PS}$ 和 $L_{PS0}$ 互不相关，故其合成方差为：

$$u_c(\Delta L_{PS}) = \sqrt{c^2(L_{PS})u_c^2(L_{PS}) + c^2(L_{PS0})u_c^2(L_{PS0})} \quad (2)$$

## 2 示值误差测量模型灵敏系数

由公式（2）可求得船载水声探测系统噪声原位校准系统示值误差测量不确定度的灵敏系数为：

$$c(L_{PS}) = 1 \quad (3)$$

$$c(L_{PS0}) = 1 \quad (4)$$

## 3 自噪声监测系统的自噪声示值测量不确定度分量

### 3.1 测量模型

自噪声监测系统的噪声声压谱密度声源级计算公式如（5）所示：

$$L_{PS0} = 20\lg U_{0C} + 20\lg d_0 - M_0 - 10\lg \Delta f \quad (5)$$

式中：

$L_{PS0}$ ——噪声频带声压级，dB（基准值： $1\mu\text{Pa}$ ）；

$U_{0C}$ ——水听器输出的开路电压，V；

$d_0$ ——水听器测试距离，m；

$M_0$ ——水听器的自由场开路电压灵敏度级，dB；（基准值： $1\text{V}/\mu\text{Pa}$ ）；

$\Delta f$  ——噪声声压谱线的分析带宽，Hz。

由公式（5）可求得自噪声监测系统的噪声声压谱密度级示值的测量不确定度的灵敏系数为：

$$c(U_{0C}) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial U_{0C}} = \frac{20}{U_{0C}} \lg e$$

$$c(d) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial d} = \frac{20}{d} \lg e$$

$$c(M_0) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial M_0} = -1$$

$$c(\Delta f) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial \Delta f} = -\frac{10}{\Delta f} \lg e$$

### 3.2 测量不确定度分量

#### 1) 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

测量重复性引入的标准不确定度分量按A类方法评定。用本规范所规定的条件，在相同测量条件下，充分考虑定位、温度等因素对校准结果的影响，在 $300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz}$ 频率范围对同一自噪声监测系统的声压谱密度声源级重复测量8次，结果如表1所示。测量结果的最大实验标准偏差 $S_n$ ，在 $300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz}$ 时为0.8dB。取多次测量的平均值作为校准结果，按公式（6）得到测量重复性引入的每个频率点的不确定度分量，如表1所示。

$$u_1 = \frac{S_n}{\sqrt{8}} \quad (6)$$

每隔一段时间重复同样的测量8次，使用同样的处理方法，每一次测量重复性引入的不确定度分量均在相同的范围内，认为稳定性引入的不确定度分量可忽略不计。

表1 噪声声压谱密度级的测量数据

$f/\text{kHz}$	$L_{ps1}/\text{dB}$	$L_{ps2}/\text{dB}$	$L_{ps3}/\text{dB}$	$L_{ps4}/\text{dB}$	$L_{ps5}/\text{dB}$	$L_{ps6}/\text{dB}$	$L_{ps7}/\text{dB}$	$L_{ps8}/\text{dB}$	$S_n/\text{dB}$	$u_1/\text{dB}$
0.315	62.8	63.8	63.7	62.5	62.9	62.8	62.7	63.2	0.5	0.16
0.400	64.4	63.5	64.7	65.2	64.8	63.4	63.4	64.6	0.7	0.25
0.500	69.1	69.6	68.2	68.5	69.4	69.8	68.5	68.8	0.6	0.21
0.630	70.3	69.3	70.4	69.8	69.9	70.3	70.9	70.2	0.5	0.17
0.800	63.5	63.0	62.6	62.6	63.7	64.4	62.6	64.4	0.8	0.27
1.00	58.0	57.3	58.4	57.6	58.9	58.5	57.4	57.6	0.6	0.20
1.25	55.0	56.0	54.2	54.1	54.3	54.9	54.5	54.9	0.6	0.21
1.60	52.8	53.1	53.4	53.1	52.5	52.9	52.1	53.6	0.5	0.17
2.00	52.0	52.5	53.0	52.5	52.1	51.2	53.0	51.8	0.6	0.21
2.50	51.8	51.1	50.9	51.8	52.4	50.9	52.6	51.8	0.7	0.23
3.15	54.3	53.4	54.5	53.9	54.1	53.7	55.0	53.4	0.6	0.19
4.00	51.9	52.9	52.6	51.8	52.0	52.9	51.2	52.4	0.6	0.21
5.00	52.4	53.1	51.8	51.9	52.3	51.8	51.9	53.1	0.6	0.20
6.30	53.8	54.8	54.0	53.4	53.4	53.3	54.5	53.9	0.5	0.19
8.00	52.8	51.9	53.8	53.7	53.8	53.2	52.7	52.5	0.7	0.24
10.0	51.3	51.6	51.9	51.7	51.7	51.7	50.7	52.0	0.4	0.15
12.5	54.1	54.6	53.8	53.8	53.6	54.8	54.8	55.1	0.6	0.20
16.0	52.6	53.4	52.0	53.3	52.6	53.5	51.6	52.0	0.7	0.26
20.0	51.6	51.5	51.4	51.1	51.3	51.5	50.8	52.6	0.5	0.18
25.0	50.8	51.3	51.8	51.4	50.6	51.7	50.3	51.5	0.7	0.24
31.5	49.6	49.9	50.3	49.6	49.8	49.3	49.4	49.0	0.6	0.21
40.0	49.2	49.4	49.2	50.0	48.3	48.3	49.0	49.2	0.5	0.19

2) 标准水听器校准引入的标准不确定度分量  $u_2$ 

标准水听器引入的标准不确定度分量根据水听器校准报告中给定的数据进行评定。校准报告中  $300\text{Hz} \leq f \leq 800\text{Hz}$  时  $U=1.3\text{dB}$  ( $k=2$ )， $1\text{kHz} \leq f \leq 40\text{kHz}$  时  $U=0.9\text{dB}$  ( $k=2$ )，则标准水听器校准的标准不确定度为：

在  $300\text{Hz} \leq f \leq 800\text{Hz}$  时， $u(M_0)=1.3\text{dB}/2=0.65\text{dB}$ ；

在  $1\text{kHz} \leq f \leq 40\text{kHz}$  时， $u(M_0)=1.1\text{dB}/2=0.45\text{dB}$ 。

因其灵敏系数  $c(M_0)=\frac{\partial L_{PS}}{M_0}=-1$ ，故有：

在  $300\text{Hz} \leq f \leq 800\text{Hz}$  时， $u_2=|c(M_0)| \cdot u(M_0)=0.65\text{dB}$ ；

在  $1\text{kHz} \leq f \leq 40\text{kHz}$  时， $u_2=|c(M_0)| \cdot u(M_0)=0.45\text{dB}$ 。

3) 动态信号分析仪引入的标准不确定度分量  $u_3$

动态信号分析仪引入的标准不确定度分量根据动态信号分析仪校准报告中给定的数据进行评定。校准报告中显示频率幅值示值误差为-0.1%，则动态信号分析仪引入的标准不确定度分量为：

$$u_3 = -0.1\% \times L_p \quad (7)$$

式中， $L_p$ 为每个频率点处多次测量得到的声压谱密度级的能量平均值，dB（基准值： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）。

$$L_p = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{10^{0.1L_{p_i}}}{n} \quad (8)$$

式中， $L_{p_i}$ 为每个频率点处第*i*次测量的声压谱密度级，dB（基准值： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）； $n$ 为测量次数。

每个频率点处的标准不确定度分量如表2所示。

#### 4) 噪声声压谱线分析带宽误差引入的标准不确定度分量 $u_4$

噪声声压谱线分析带宽引入的标准不确定度分量按B类方法评定。分析带宽的误差不应超过 $\pm 3.0\%$ ，以分析频率范围40kHz，分析谱线40000为例，分析带宽 $\Delta f=1\text{Hz}$ ，则 $\Delta f$ 的绝对误差为 $\pm 0.03\text{Hz}$ ，以均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则测量 $\Delta f$ 时滤波器的标准不确定度为：

$$u(\Delta f) = 0.03/\sqrt{3} = 0.017 \text{ Hz}$$

因其灵敏系数 $c(\Delta f) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial \Delta f} = -\frac{10}{\Delta f} \lg e$ ，故有：

$$u_4 = |c(\Delta f)| u(\Delta f) = \frac{10}{1} \lg e \times 0.017 = 0.08 \text{ dB}$$

#### 5) 距离测量引入的标准不确定度分量 $u_5$

距离测量引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。对距离测量的示值误差不应超过 $\pm 1\%$ ，以 $d$ 为例，距离测量值的算术平均值为5m，则绝对误差为 $\pm 0.05\text{m}$ 。以均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则测量 $d$ 时距离测量的示值误差的标准不确定度为：

$$u(d) = 0.05/\sqrt{3} = 0.03 \text{ Hz}$$

因其灵敏系数 $c(d) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial d} = \frac{20}{d} \lg e$ ，故有：

$$u_5 = |c(d)|u(d) = \frac{20}{5} \lg e \times 0.03 = 0.05 \text{ dB}$$

6) 测量水域偏离自由场条件引入的标准不确定度分量  $u_6$

测量水域偏离自由场条件引入的标准不确定度分量按B类方法评定，由于测量水域偏离自由场条件导致声场的不均匀性，在  $300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz}$  频率范围内不应超过  $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则声场不均匀引入的标准不确定度分量为：

$$\text{在 } 300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz} \text{ 时, } u_6 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}。$$

7) 前置放大器不准确引入的标准不确定度分量  $u_7$

前置放大器不准确引入的标准不确定分量按B类方法评定。前置放大器引入的误差不应超过  $\pm 0.3\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则仪器输入阻抗不足引入的标准不确定度分量为：

$$u_7 = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

8) 信噪比不足引入的标准不确定度分量  $u_8$

信噪比不足引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。信噪比不足引入的误差不应超过  $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则仪器输入阻抗不足引入的标准不确定度分量为：

$$u_8 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

9) 电干扰引入的标准不确定度分量  $u_9$

电干扰引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。信噪比不足引入的误差不应超过  $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则仪器输入阻抗不足引入的标准不确定度分量为：

$$u_9 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

10) 海况不稳定引入的标准不确定度分量  $u_{10}$

海况不稳定引入的标准不确定分量按B类方法评定。海况不稳定引入的误差不应超过  $\pm 0.3\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海况不稳定引入的标准不确定度分量为：

$$u_{10} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

11) 海水温度变化引入的标准不确定度分量  $u_{11}$ 

海水温度变化引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海水温度变化引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海水温度变化引入的标准不确定度分量为：

$$u_{11} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

12) 海水盐度变化引入的标准不确定度分量  $u_{12}$ 

海水盐度变化引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海水盐度变化引入的误差不应超过 $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海水盐度变化引入的标准不确定度分量为：

$$u_{12} = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

13) 水面反射引入的标准不确定度分量  $u_{13}$ 

水面反射引入的标准不确定度分量按B类方法评定，水面反射引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则水面反射引入的标准不确定度分量为：

$$u_{13} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

14) 海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量  $u_{14}$ 

海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海底底质/地形地貌引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量为：

$$u_{14} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

15) 船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量  $u_{15}$ 

船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量按B类方法评定，船底外形轮廓反射引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量为：

$$u_{15} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

16) 设备工况不稳定引入的标准不确定度分量  $u_{16}$

设备工况不稳定引入的标准不确定分量按B类方法评定。设备工况不稳定引入的误差不应超过 $\pm 0.3\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则设备工况不稳定引入的标准不确定度分量为：

$$u_{16} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

17) 对水对地航向引入的标准不确定度分量 $u_{17}$

对水对地航向引入的标准不确定度分量按B类方法评定，对水对地航向引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则对水对地航向引入的标准不确定度分量为：

$$u_{17} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

18) 多普勒效应引入的标准不确定度分量 $u_{18}$

多普勒效应引入的不确定度分量按B类方法评定，多普勒效应引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则多普勒效应引入的标准不确定度分量为：

$$u_{18} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

### 3.3 测量不确定度分量汇总

自噪声监测系统的自噪声示值各频率点处的测量不确定度来源汇总于表2。

表2 测量不确定度来源汇总表

序号	标准不确定度			
	来源	符号	数值/dB	灵敏度系数
1	测量重复性引入的标准不确定度分量	$u_1$	见表3	1
2	标准水听器校准引入的标准不确定度分量	$u_2$	0.65 (300Hz $\leq f \leq$ 800kHz) 0.45 (1kHz $\leq f \leq$ 40kHz)	1
3	动态信号分析仪引入的标准不确定度分量	$u_3$	见表3	1
4	噪声声压谱线分析带宽误差引入的标准不确定度分量	$u_4$	0.08	1
5	距离测量引入的标准不确定度分量	$u_5$	0.05	1
6	测量水域偏离自由场条件引入的标准不确定度分量	$u_6$	0.12	1
7	前置放大器不准确引入的标准不确定度分量	$u_7$	0.17	1
8	信噪比不足引入的标准不确定度分量	$u_8$	0.06	1
9	电干扰引入的标准不确定度分量	$u_9$	0.06	1
10	海况不稳定引入的标准不确定度分量	$u_{10}$	0.17	1
11	海水温度变化引入的标准不确定度分量	$u_{11}$	0.12	1
12	海水盐度变化引入的标准不确定度分量	$u_{12}$	0.06	1
13	水面反射引入的标准不确定度分量	$u_{13}$	0.12	1
14	海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量	$u_{14}$	0.12	1
15	船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量	$u_{15}$	0.12	1
16	设备工况不稳定引入的标准不确定度分量	$u_{16}$	0.17	1
17	对水对地航向引入的标准不确定度分量	$u_{17}$	0.12	1
18	多普勒效应引入的标准不确定度分量	$u_{18}$	0.12	1

### 3.4 自噪声监测系统的自噪声示值引入的合成标准不确定度

测量模型公式中， $d$ 、 $M$ 、 $\Delta f$ 都是单一因素引起的不确定度分量，而 $U_{oc}$ 与多个不确定度分量有关。因列举的不确定度分量互不相关，可得到300Hz~40kHz自噪声监测系统的水下噪声声压谱密度级示值的合成标准不确定度如表3所示。

$$u_c(L_{PS0}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2 + u_{14}^2 + u_{15}^2 + u_{16}^2 + u_{17}^2 + u_{18}^2}$$

表3 自噪声监测系统的自噪声示值各频率点处的不确定度分量

频率 /Hz	测量 重复 性引 入的 标准 不确定 度 $u_1$ /dB	标准 水听 器校 准引 入的 标准 不确定 度 $u_2$ /dB	动态 信号 分析 仪引 入的 标准 不确定 度 $u_3$ /dB	噪声 声压 谱线 分析 带宽 误差 引入 的标 准不 确定 度 $u_4$ /dB	距离 测量 引入 的标 准不 确定 度 $u_5$ /dB	测量 水域 偏离 自由 场条 件引 入的 标准 不确定 度 $u_6$ /dB	前置 放大 器不 准确 引入 的标 准不 确定 度 $u_7$ /dB	信噪 比不 足引 入的 标准 不确定 度 $u_8$ /dB	电干 扰引 入的 标准 不确定 度 $u_9$ /dB	海况 不稳 定引 入的 标准 不确定 度分 量 $u_{10}$ /dB	海水 温度 变化 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{11}$ /dB	海水 盐度 变化 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{12}$ /dB	水面 反射 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{13}$ /dB	海底 底质/ 地形 地貌 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{14}$ /dB	船底 外形 轮廓 反射 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{15}$ /dB	设备 工况 不稳 定引 入的 标准 不确定 度分 量 $u_{16}$ /dB	对水 对地 航向 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{17}$ /dB	多普 勒效 应引 入的 标准 不确定 度分 量 $u_{18}$ /dB	合成标 准不确 定度 $u_c(L_{ps0})$ /dB
315	0.16	0.65	0.06	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.81</b>
400	0.25	0.65	0.06	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.83</b>
500	0.21	0.65	0.07	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.82</b>
630	0.17	0.65	0.07	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.81</b>
800	0.27	0.65	0.06	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.84</b>
1000	0.20	0.45	0.06	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
1250	0.21	0.45	0.06	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
1600	0.17	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.66</b>
2000	0.21	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
2500	0.23	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.68</b>
3150	0.19	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
4000	0.21	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
5000	0.20	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>

## JJF XXX—XXXX

频率 /Hz	测量 重复 性引 入的 标准 不确 定度 $u_1$ /dB	标准 水听 器校 准引 入的 标准 不确 定度 $u_2$ /dB	动态 信号 分析 仪引 入的 标准 不确 定度 $u_3$ /dB	噪声 声压 谱线 分析 带宽 误差 引入 的标 准不 确定 度 $u_4$ /dB	距离 测量 引入 的标 准不 确定 度 $u_5$ /dB	测量 水域 偏离 自由 场条 件引 入的 标准 不确 定度 $u_6$ /dB	前置 放大 器不 准确 引入 的标 准不 确定 度 $u_7$ /dB	信噪 比不 足引 入的 标准 不确 定度 $u_8$ /dB	电干 扰引 入的 标准 不确 定度 $u_9$ /dB	海况 不稳 定引 入的 标准 不确 定度 分量 $u_{10}$ /d B	海水 温度 变化 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{11}$ /dB	海水 盐度 变化 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{12}$ /dB	水面 反射 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{13}$ /dB	海底 底质/ 地形 地貌 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{14}$ /dB	船底 外形 轮廓 反射 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{15}$ /dB	设备 工况 不稳 定引 入的 标准 不确 定度 分量 $u_{16}$ /dB	对水 对地 航向 引入 的标 准不 确定 度分 量 $u_{17}$ /dB	多普 勒效 应引 入的 标准 不确 定度 分量 $u_{18}$ /dB	合成标 准不确 定度 $u_c(L_{ps0})$ /dB
6300	0.19	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
8000	0.24	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.68</b>
10000	0.15	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.65</b>
12500	0.20	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
16000	0.26	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.69</b>
20000	0.18	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.66</b>
25000	0.24	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.68</b>
31500	0.21	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.67</b>
40000	0.19	0.45	0.05	0.08	0.05	0.12	0.17	0.06	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.42</b>

## 4 船载水声探测系统自噪声示值测量不确定度分量

### 4.1 测量不确定度分量

#### 1) 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

测量重复性引入的标准不确定度分量按A类方法评定。用本规范所规定的条件，在相同测量条件下，充分考虑定位、温度等因素对校准结果的影响，在 $300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz}$ 频率范围对同一自噪声监测系统的声压谱密度声源级重复测量8次，结果如表1所示。测量结果的最大实验标准偏差 $S_n$ ，在 $300\text{Hz} \leq f \leq 40\text{kHz}$ 时为1.0dB。取多次测量的平均值作为校准结果，按公式（6）得到测量重复性引入的每个频率点的标准不确定度分量，如表4所示。

每隔一段时间重复同样的测量8次，使用同样的处理方法，每一次测量重复性引入的不确定度分量均在相同的范围内，认为稳定性引入的不确定度分量可忽略不计。

表4 噪声声压谱密度级的测量数据

$f/\text{Hz}$	$L_{ps1}/\text{dB}$	$L_{ps2}/\text{dB}$	$L_{ps3}/\text{dB}$	$L_{ps4}/\text{dB}$	$L_{ps5}/\text{dB}$	$L_{ps6}/\text{dB}$	$L_{ps7}/\text{dB}$	$L_{ps8}/\text{dB}$	$S_n/\text{dB}$	$u_1/\text{dB}$
315	61.9	62.4	61.4	63.0	62.3	63.6	62.2	62.9	0.7	0.25
400	63.8	64.1	65.2	62.9	63.8	65.2	64.1	65.1	0.8	0.29
500	70.1	68.7	68.1	69.6	70.5	68.0	68.0	69.1	1.0	0.34
630	68.8	70.3	69.3	71.4	69.8	70.6	69.9	71.7	1.0	0.35
800	63.6	64.8	62.2	64.2	64.6	63.0	63.7	63.2	0.9	0.31
1000	58.9	58.7	57.4	59.4	57.2	57.0	57.6	57.6	0.9	0.32
1250	55.9	54.0	56.3	55.0	54.3	55.4	54.8	54.4	0.8	0.28
1600	53.9	51.7	52.6	51.8	52.0	51.7	51.5	51.6	0.8	0.29
2000	51.6	53.2	52.5	52.7	52.0	51.6	53.1	51.7	0.7	0.24
2500	51.0	51.3	50.9	51.0	52.2	50.7	52.4	51.7	0.6	0.22
3150	55.7	54.2	54.4	55.1	54.4	54.5	53.0	54.7	0.8	0.28
4000	53.2	50.6	52.0	51.6	51.9	53.4	51.5	52.8	1.0	0.34
5000	52.6	53.6	52.7	53.6	53.8	52.5	51.5	52.2	0.8	0.28
6300	53.3	52.9	54.8	55.1	54.2	53.0	53.3	52.9	0.9	0.31
8000	53.4	53.3	51.4	53.5	52.5	51.5	53.9	54.1	1.0	0.37
10000	50.2	52.8	50.5	50.4	51.3	51.7	52.6	51.2	1.0	0.35
12500	55.6	54.7	53.7	52.9	54.5	55.2	55.2	55.2	0.9	0.32
16000	52.8	51.7	52.7	52.0	54.0	54.1	53.0	51.9	0.9	0.32
20000	51.2	51.5	50.9	52.3	51.0	50.9	52.4	50.3	0.7	0.26
25000	51.3	52.3	51.0	50.5	51.6	49.5	51.0	51.2	0.8	0.28
31500	48.9	49.3	49.8	50.2	49.4	50.3	49.9	50.1	0.5	0.18
40000	49.9	49.0	50.0	48.5	49.2	49.4	47.8	47.7	0.9	0.31

2) 信噪比不足引入的标准不确定度分量  $u_2$ 

信噪比不足引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。信噪比不足引入的误差不应超过 $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则仪器输入阻抗不足引入的标准不确定度分量为：

$$u_2 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

3) 电干扰引入的标准不确定度分量  $u_3$ 

电干扰引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。信噪比不足引入的误差不应超过 $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则仪器输入阻抗不足引入的标准不确定度分量为：

$$u_3 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

4) 海况不稳定引入的标准不确定度分量  $u_4$ 

海况不稳定引入的标准不确定分量按B类方法评定。海况不稳定引入的误差不应超过 $\pm 0.3\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海况不稳定引入的标准不确定度分量为：

$$u_4 = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

5) 海水温度变化引入的标准不确定度分量  $u_5$ 

海水温度变化引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海水温度变化引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海水温度变化引入的标准不确定度分量为：

$$u_5 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

6) 海水盐度变化引入的标准不确定度分量  $u_6$ 

海水盐度变化引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海水盐度变化引入的误差不应超过 $\pm 0.1\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海水盐度变化引入的标准不确定度分量为：

$$u_6 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB}$$

7) 水面反射引入的标准不确定度分量  $u_7$ 

水面反射引入的标准不确定度分量按B类方法评定，水面反射引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则水面反射引入的标准不确定度分量为：

$$u_7 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

8) 海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量  $u_8$

海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量按B类方法评定，海底底质/地形地貌引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量为：

$$u_8 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

9) 船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量  $u_9$

船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量按B类方法评定，船底外形轮廓反射引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量为：

$$u_9 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

10) 设备工况不稳定引入的标准不确定度分量  $u_{10}$

设备工况不稳定引入的标准不确定分量按B类方法评定。设备工况不稳定引入的误差不应超过 $\pm 0.3\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则设备工况不稳定引入的标准不确定度分量为：

$$u_{10} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB}$$

11) 对水对地航向引入的标准不确定度分量  $u_{11}$

对水对地航向引入的标准不确定度分量按B类方法评定，对水对地航向引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则对水对地航向引入的标准不确定度分量为：

$$u_{11} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

12) 多普勒效应引入的标准不确定度分量  $u_{12}$

多普勒效应引入的标准不确定度分量按B类方法评定，多普勒效应引入的误差不应超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。以均匀分布考虑，取  $k = \sqrt{3}$ ，则多普勒效应引入的标准不确定度分量为：

$$u_{12} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB}$$

## 4.2 测量不确定度分量汇总

水声探测系统的自噪声示值各频率点处的测量不确定度来源汇总于表5。

表5 测量不确定度来源汇总表

序号	标准不确定度			
	来源	符号	数值/dB	灵敏度系数
1	测量重复性引入的标准不确定度分量	$u_1$	见表6	1
2	信噪比不足引入的标准不确定度分量	$u_2$	0.06	1
3	电干扰引入的标准不确定度分量	$u_3$	0.06	1
4	海况不稳定引入的标准不确定度分量	$u_4$	0.17	1
5	海水温度变化引入的标准不确定度分量	$u_5$	0.12	1
6	海水盐度变化引入的标准不确定度分量	$u_6$	0.06	1
7	水面反射引入的标准不确定度分量	$u_7$	0.12	1
8	海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量	$u_8$	0.12	1
9	船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量	$u_9$	0.12	1
10	设备工况不稳定引入的标准不确定度分量	$u_{10}$	0.17	1
11	对水对地航向引入的标准不确定度分量	$u_{11}$	0.12	1
12	多普勒效应引入的标准不确定度分量	$u_{12}$	0.12	1

## 4.3 水声探测系统的自噪声示值引入的合成标准不确定度

因列举的不确定度分量互不相关,可得到300kHz~40kHz水声探测系统的水下噪声声压谱密度级示值的合成标准不确定度如表5所示。

$$u_c(L_{PS}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2}$$

表6 水声探测系统的自噪声示值各频率点处的不确定度分量

频率 /Hz	测量重 复性引 入的标 准不确 定度 $u_1$ /dB	信噪比 不足引 入的标 准不确 定度 $u_2$ /dB	电干扰 引入的 标准不 确定度 $u_3$ /dB	海况不稳 定引入 的标准不 确定度分 量 $u_4$ /dB	海水温度 变化引入 的标准不 确定度分 量 $u_5$ /dB	海水盐度 变化引入 的标准不 确定度分 量 $u_6$ /dB	水面反射 引入的标 准不确 定度分 量 $u_7$ /dB	海底底质/ 地形地貌引 入的标准不 确定度分 量 $u_8$ /dB	船底外形轮 廓反射引入 的标准不确 定度分 量 $u_9$ /dB	设备工况 不稳定引 入的标 准不确 定度分 量 $u_{10}$ /dB	对水对地 航向引入 的标准不 确定度分 量 $u_{11}$ /dB	多普勒效 应引入的 标准不确 定度分 量 $u_{12}$ /dB	合成标 准不确 定度 $u_c(L_{ps})$ /dB
315	0.25	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.47</b>
400	0.29	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
500	0.34	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.53</b>
630	0.35	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.53</b>
800	0.31	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.5</b>
1000	0.32	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.51</b>
1250	0.28	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
1600	0.29	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
2000	0.24	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.46</b>
2500	0.22	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.46</b>
3150	0.28	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
4000	0.34	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.53</b>
5000	0.28	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
6300	0.31	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.51</b>
8000	0.37	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.54</b>
10000	0.35	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.53</b>
12500	0.32	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.51</b>
16000	0.32	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.51</b>
20000	0.26	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.47</b>
25000	0.28	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.49</b>
31500	0.18	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.44</b>
40000	0.31	0.12	0.06	0.17	0.12	0.06	0.12	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	<b>0.51</b>

## 5 船载水声探测系统自噪声示值误差合成标准不确定度

船载水声探测系统自噪声示值误差合成标准不确定度如公式（2）所示，每个频率点处的合成标准不确定度如表7所示。

表7 合成标准不确定度

频率 /Hz	自噪声监测系统示值 标准不确定度 $u_c(L_{ps0})/\text{dB}$	船载水声探测系统示值 标准不确定度 $u_c(L_{ps})/\text{dB}$	噪声原位校准系统 合成标准不确定度 $u_c(\Delta L_{ps})/\text{dB}$
315	0.81	0.47	0.94
400	0.83	0.49	0.96
500	0.82	0.53	0.98
630	0.81	0.53	0.97
800	0.84	0.5	0.98
1000	0.67	0.51	0.84
1250	0.67	0.49	0.83
1600	0.66	0.49	0.82
2000	0.67	0.46	0.81
2500	0.68	0.46	0.82
3150	0.67	0.49	0.83
4000	0.67	0.53	0.85
5000	0.67	0.49	0.83
6300	0.67	0.51	0.84
8000	0.68	0.54	0.87
10000	0.65	0.53	0.84
12500	0.67	0.51	0.84
16000	0.69	0.51	0.86
20000	0.66	0.47	0.81
25000	0.68	0.49	0.84
31500	0.67	0.44	0.80
40000	0.42	0.51	0.66

## 6 扩展不确定度

在300 Hz~40 kHz范围内，船载水声探测系统自噪声示值误差的扩展不确定度为：

$$U = ku_c$$

则：

在300 Hz ≤  $f$  ≤ 1 kHz时：  $U=2.0$  dB ( $k=2$ )；

在1 kHz <  $f$  ≤ 40 kHz时：  $U=1.7$  dB ( $k=2$ )。