



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX—XXXX

船载水声探测系统噪声原位校准规范

Specification for in-situ calibration of noise in shipborne acoustic detection systems

(征求意见稿)

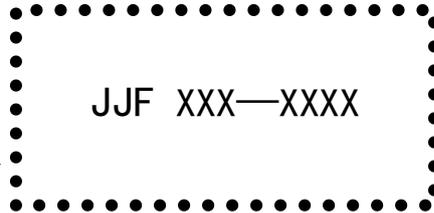
XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

船载水声探测系统噪声 原位校准规范

Calibration specification for in-situ calibration of noise in
shipborne acoustic detection 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：中国船舶集团有限公司第七一一研究所

交通运输部东海航海保障中心

自然资源部第二海洋研究所

交通运输部天津水运工程科学研究所

参加起草单位：中国科学院声学研究所

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：

叶林昌（中国船舶集团有限公司第七一一研究所）

张 良（交通运输部东海航海保障中心）

童宗鹏（中国船舶集团有限公司第七一一研究所）

苟诤慷（自然资源部第二海洋研究所）

高术仙（交通运输部天津水运工程科学研究所）

参加起草人：

沈建平（中国船舶集团有限公司第七一一研究所）

刘晓东（中国科学院声学研究所）

目 录

引 言	I
1 范围	2
2 引用文件	2
3 术语	2
4 概述	4
5 计量特性	4
5.1 自噪声示值误差	4
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 校准用测量设备及配套设备	4
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	5
8 校准结果表达	7
9 复校时间间隔	7
附录 A 校准原始记录推荐格式	8
附录 B 校准证书内页推荐格式	9
附录 C 自噪声示值误差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。

船载水声探测系统噪声原位校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为300 Hz~40 kHz的船载单波束、多波束和浅地层剖面仪等水声探测系统噪声原位校准，其他频率的水声探测系统的噪声原位校准参照本规范执行。

2 引用文件

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

- GJB 274—1987 船舶水下自噪声测量方法
- JJG 340—2017 1 Hz~2 kHz标准水听器（密闭腔比较法）检定规程
- JJG 1017—2007 1 kHz~1 MHz标准水听器检定规程
- JJF 1034 声学计量术语及定义
- JJF 1651—2017 20 Hz~100 kHz水下噪声源校准规范
- JJF 1861—2020 1 kHz~200 kHz水声换能器校准规范
- GB/T 3102.7 声学的量和单位
- GB/T 3223—1994 声学 水声换能器自由场校准方法
- GB/T 3947 声学名词术语
- GB/T 4128—1995 声学 标准水听器
- GB/T 4130—2017 声学 水听器低频校准方法
- GB/T 5265—2009 声学 水下辐射噪声测量
- 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 1001、JJF 1034、GJB 274—1987和GB/T 5265—2009界定的及以下术语和定义适用于本规范。

本规范采用GB/T 3102.7规定的量和单位。

3.1 水声探测系统 underwater acoustic detection system

能够利用声波在水中的传播和反射特性，通过电声转换和信息处理完成水声探测和通讯的系统。

3.2 自噪声监测系统 self-noise monitoring system

自噪声监测系统是一套由标准水听器、数据采集单元、数据传输单元、数据显示系统等组成的软硬一体智能化监测系统，并配有减振模块和独立电源，能对船舶自噪声进行全天候在线监测。

3.3 原位校准 in-situ calibration

在试验船舶以船载水声探测系统正常工作对应的状态下航行，利用标校后的标准水听器连接成自噪声监测系统，对船载水声探测系统进行标定和校准。

3.4 船舶水下自噪声 underwater self-noise of ship

安装在船舶壳体上的水听器，接收到的由于船舶自身动力装置、设备和船体运动所引起的水噪声。

[GJB 274—1987，定义1.2]

3.5 标准水听器 standard hydrophone

用作水声计量的、性能稳定并经过绝对校准的换能器。

注：常作为建立水中声压基准或标准用的标准器，并借此传递声压量值。

[JJF1034—2020，定义5.3]

3.6 自噪声频带声压级 self-noise band sound pressure level

一定频带内的自噪声声压级。

注：单位为分贝（dB）；基准值为 $1\mu\text{Pa}$ 。

[GJB 274—1987，定义1.3]

3.7 1/3 oct（倍频程）自噪声频带声压级 1/3 octave self-noise band sound pressure level

第 i 号中心频率 $f(i)$ 的1/3oct滤波器输出的自噪声频带声压级。

注：单位为分贝（dB）；基准值为 $1\mu\text{Pa}$ 。

[GJB 274—1987，定义1.4]

3.8 自噪声声压谱[密度]级 self-noise sound pressure spectrum [density] level

单位带宽内自噪声声压级。

注：单位为分贝（dB）；基准值为 $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

[GJB 274—1987，定义1.5]

3.9 背景噪声级

安装在船舶壳体上水听器所接收到的除船舶的自噪声以外的一切干扰噪声级。

[GJB 274—1987，定义1.7]

4 概述

船载水声探测系统的工作原理为：采用声波在水中的传播特性进行目标探测、导航和通信。

船载水声探测系统由换能器基阵、信号处理单元以及辅助系统组成。

船载水声探测系统广泛应用于军事领域、民用领域（水运工程建设、海洋工程测量及海洋资源调查等）以及水下导航通信。

5 计量特性

5.1 自噪声示值误差

船载水声探测系统噪声测量示值与自噪声监测系统噪声测量示值之差，自噪声示值最大允许误差为 ± 4 dB。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 噪声原位校准环境条件

- a) 环境温度：5 °C~35 °C；
- b) 相对湿度：30 %~90 %；
- c) 水温：5 °C~30 °C。

6.1.2 噪声原位校准水域条件

- a) 海区开阔，远离航道，保证试验船有充足的机动范围；
- b) 海域浪高不大于1.25 m，风速不大于5.5 m/s；
- c) 海洋环境背景噪声低于探测系统位置处自噪声10 dB以上；
- d) 海域水深：50 m~4000 m。

6.2 校准用测量设备及配套设备

6.2.1 自噪声监测系统

自噪声监测系统由标准水听器、前置放大器、滤波器、动态信号分析仪、数据传输单元和自噪声显示单元构成。

自噪声监测频响范围：300 Hz~40 kHz；灵敏度：不低于-205 dB（基准1 v/μPa）；频率响应：当300 Hz~40 kHz时，±1.0 dB；配备独立电源，电磁噪声干扰误差小于±0.1 dB；在频率300 Hz~40 kHz范围内，自噪声示值测量扩展不确定度 $U \leq 1.7$ dB， $k=2$ 。

a) 标准水听器：标准水听器可拆装，且安装减振不低于18 dB；标准水听器数量不少于1个，安装于水声探测系统附近，如果是多波束测深系统，需安装在接收阵附近；在频率300 Hz~800 Hz范围内，标准水听器灵敏度级测量扩展不确定度 $U \leq 1.3$ dB， $k=2$ ；在频率1 kHz~40 kHz范围内，标准水听器灵敏度级测量扩展不确定度 $U \leq 0.9$ dB， $k=2$ ；

b) 前置放大器：在校准频率范围内，前置放大器的输入阻抗比水听器的输出阻抗至少高100倍，动态范围不应小于60 dB，增益误差不超过±0.3 dB；

c) 滤波器：中心频率处的相对衰减不超过±0.4 dB；

d) 动态信号分析仪：最高分析频率应高于最高校准频率，分析谱线不少于800，幅值示值误差不超过±1%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

船载水声探测系统的校准项目为自噪声示值误差。

7.2 校准方法

7.2.1 校准原理

自噪声监测系统的标准水听器接收水声探测系统安装位置处的声信号后，经前置放大器放大，再经滤波器滤波，由动态信号分析仪测量水听器的开路电压，通过自噪声监测系统的信号处理，由自噪声显示单元展示测量得到的噪声声压谱密度声源级，即自噪声示值。计算公式如式（1）所示：

$$L_{PS0} = 20 \lg \frac{P_f}{P_0} = 20 \lg (U_{0C} \cdot d) - M - 10 \lg \Delta f \quad (1)$$

式中：

L_{PS0} ——自噪声监测系统的自噪声示值，dB（基准值：1μPa/√Hz）；

P_f ——用一定带宽的滤波器测得的等效1m处的噪声声压，Pa；

P_0 ——基准声压, $P_0 = 1\mu\text{Pa}$;

U_{0C} ——水听器输出的开路电压, V;

D ——水听器测试距离, m;

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

Δf ——噪声声压谱线的分析带宽, Hz。

当试验船以车载水声探测系统正常工作对应的状态下自由航行时, 将自噪声监测系统安装于试验船上, 对车载水声探测系统进行原位校准, 在不同航行状态下, 自噪声监测系统分别测量出噪声原位数据, 车载水声探测系统的自噪声示值与自噪声监测系统的差值即为车载水声探测系统的自噪声示值误差。

按公式 (2) 计算车载水声探测系统的自噪声示值误差 ΔL_{PS} 。

$$\Delta L_{PS} = L_{PS} - L_{PS0} \quad (2)$$

式中:

L_{PS0} ——自噪声监测系统声压谱级示值, dB (基准值: $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$) ;

L_{PS} ——水声探测系统声压谱级示值, dB (基准值: $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$) 。

7.2.2 校准步骤

校准步骤见下:

a) 将自噪声监测系统安装至进行水声探测系统校准的被试船舶, 自噪声监测系统的标准水听器和水声探测系统的安装位置距离不超过0.5 m, 调试自噪声监测系统和水声探测系统, 确保两个系统正常工作;

b) 被试船舶航行至符合6.1.2节所述海试环境下的海域, 被校水声探测系统的换能器与自噪声监测系统的标准水听器在校准水域浸泡30 min, 温度和压力达到平衡后, 记录环境条件参数并开始测量;

c) 船舶锚定状态下, 利用自噪声监测系统测量该海域下船舶的背景噪声, 背景噪声需低于指定航速下的噪声10 dB以上;

d) 将船舶航行至指定航速 (通常为6 kn~12 kn航速, 具体以车载水声探测系统的工作航速为准), 在被试船舶的工作航速下, 均匀选取不少于4组航速状态, 此时水声探测系

统的发射模块向海底发射声波，待接收模块开始接收海底信号时，自噪声监测系统和水声探测系统同时采集并记录测点位置的自噪声示值；

e) 关闭自噪声监测系统和水声探测系统，按公式（2）计算不同航速状态下水声探测系统的自噪声示值误差。

8 校准结果表达

经校准的水声探测系统应出具校准证书。校准证书至少应包括以下信息：

- a) 校准证书；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 证书的编号，每页及总页数的标识；
- d) 校准单位校准专用章；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 含沙量测量仪的名称、制造商、规格型号、出厂编号；
- g) 进行校准的日期和地点；
- h) 对校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号；
- i) 本次校准所用的测量标准的名称、出厂编号、不确定度/准确度等级/最大允许误差、证书编号、溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境条件的描述，包括温度、湿度等；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 校准证书签发人的签名、职务，以及签发日期；
- m) 校准试验的操作人及核验人的签名；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准原始记录推荐格式见附录A，校准证书内页推荐格式见附录B，校准结果的不确定度评定示例见附录C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔最长为12个月。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，仪器使用者可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

仪器经修理或对测量结果产生怀疑时，应重新进行校准。

附录 A

校准原始记录推荐格式

环境条件：水深：_____ 海况（浪高、风速）：_____ 背景噪声：_____

1. 自噪声示值误差

航速 kn	自噪声监测系统示值 dB	船载水声探测系统自噪声示值 dB					船载水声探测系统自 噪声示值均值 dB	示值误差 dB

校准员：

核验员：

校准日期： 年 月 日

附录 B

校准证书内页推荐格式

校准结果：

自噪声示值误差

航速 kn	自噪声监测系统示 值 dB	船载水声探测系统自噪声示 值 dB					船载水声探测系 统自噪声示值均 值 dB	自噪声示 值误差 dB	测量不 确定度 ($k=2$)

附录 C

自噪声示值误差的不确定度评定示例

C.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计算公式如 (C.1) 所示:

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

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, ΔL_{PS} 、 L_{PS} 和 L_{PS0} 互不相关, 故其合成方差为:

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

C.2 示值误差测量模型灵敏度系数

灵敏度系数为:

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

C.3 自噪声监测系统的自噪声示值测量不确定度分量

C.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 (C.3) 所示:

$$L_{PS0} = 20\lg U_{0C} + 20\lg d_0 - M_0 - 10\lg \Delta f \quad (\text{C.3})$$

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: $1\text{V}/\mu\text{Pa}$);

Δf ——噪声声压谱线的分析带宽, Hz。

灵敏度系数为:

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

$$c(M_0) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial M_0} = -1, \quad c(\Delta f) = \frac{\partial L_{PS}}{\partial \Delta f} = -\frac{10}{\Delta f} \lg e$$

C.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C.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0.8 dB。取多次测量的平均值作为校准结果, 按公式(C.4)得到测量重复性引入的每个频率点的不确定度分量, 如表C.1所示。

$$u_1 = \frac{S_n}{\sqrt{8}} \quad (\text{C.4})$$

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C.1 噪声声压谱密度级的测量数据

f/kHz	L_{ps1}/dB	L_{ps2}/dB	L_{ps3}/dB	L_{ps4}/dB	L_{ps5}/dB	L_{ps6}/dB	L_{ps7}/dB	L_{ps8}/dB	S_n/dB	u_1/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：

$$\text{当 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 800 \text{ Hz} \text{ 时, } u(M_0)=1.3 \text{ dB}/2=0.65 \text{ dB} \quad (\text{C.5})$$

$$\text{当 } 1 \text{ kHz} \leq f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时, } u(M_0)=1.1 \text{ dB}/2=0.45 \text{ dB} \quad (\text{C.6})$$

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

$$\text{当 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 800 \text{ Hz} \text{ 时, } u_2=|c(M_0)| \cdot u(M_0)=0.65 \text{ dB} \quad (\text{C.7})$$

$$\text{当 } 1 \text{ kHz} \leq f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时, } u_2=|c(M_0)| \cdot u(M_0)=0.45 \text{ dB} \quad (\text{C.8})$$

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：

$$u_3 = -0.1\% \times L_p \quad (\text{C.9})$$

式中：

L_p ——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： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）。

$$L_p = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{10^{0.1L_{pi}}}{n} \quad (\text{C.10})$$

式中：

L_{pi} ——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。

$$\text{当 } f=1250 \text{ Hz时, } u_3=0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.11})$$

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40 kHz，分析谱线40000为例，分析带宽 $\Delta f = 1 \text{ Hz}$ ，则 Δf 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 Δf 时滤波器的标准不确定度为：

$$u(\Delta f) = 0.03/\sqrt{3} = 0.017 \text{ Hz} \quad (\text{C.12})$$

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

$$u_4 = |c(\Delta f)| u(\Delta f) = \frac{10}{1} \lg e \times 0.017 = 0.08 \text{ dB} \quad (\text{C.13})$$

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5 m，则绝对误差为 ± 0.05 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：

$$u(d) = 0.05/\sqrt{3} = 0.03 \text{ Hz} \quad (\text{C.14})$$

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

$$u_5 = |c(d)|u(d) = \frac{20}{5} \lg e \times 0.03 = 0.05 \text{ dB} \quad (\text{C.15})$$

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 ± 0.2 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：

$$\text{在 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时, } u_6 = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.16})$$

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 ± 0.3 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：

$$u_7 = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB} \quad (\text{C.17})$$

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 ± 0.1 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：

$$u_8 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.18})$$

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。电干扰引入的误差不应超过 ± 0.1 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：

$$u_9 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.19})$$

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：

$$u_{10} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB} \quad (\text{C.20})$$

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：

$$u_{11} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.21})$$

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：

$$u_{12} = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.22})$$

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：

$$u_{13} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.23})$$

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：

$$u_{14} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.24})$$

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 ± 0.2 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：

$$u_{15} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.25})$$

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 ± 0.3 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：

$$u_{16} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB} \quad (\text{C.26})$$

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 ± 0.2 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：

$$u_{17} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.27})$$

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 ± 0.2 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：

$$u_{18} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.28})$$

C.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分量汇总表见表C.2。

表C.2 测量不确定度分量汇总表

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B.1	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	0.06	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

C.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 、 Δf 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300 Hz~40 kHz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：

$$u_c(L_{PS0}) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2 + u_{14}^2 + u_{15}^2 + u_{16}^2 + u_{17}^2 + u_{18}^2} \quad (\text{C.29})$$

$$\text{在 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(L_{PS0}) = 0.84 \text{ dB} \quad (\text{C.30})$$

$$\text{在 } 1 \text{ kHz} < f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(L_{PS0}) = 0.69 \text{ dB} \quad (\text{C.31})$$

C.4 船载水声探测系统自噪声示值测量不确定度分量

C.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_{B1}

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C.3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1.0 dB。取多次测量的平均值作为校准结果，按公式（C.4）得到测量重复性引入的每个频率点的不确定度分量，如表C.3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C.3 噪声声压谱密度级的测量数据

f/Hz	Lps_1/dB	Lps_2/dB	Lps_3/dB	Lps_4/dB	Lps_5/dB	Lps_6/dB	Lps_7/dB	Lps_8/dB	S_n/dB	u_1/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_{B2}

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 ± 0.1 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：

$$u_{B2} = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.32})$$

3) 电干扰引入的标准不确定度分量 u_{B3}

电干扰引入的标准不确定度分量按照B类方法评定。电干扰引入的误差不应超过 ± 0.1 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：

$$u_{B3} = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.33})$$

4) 海况不稳定引入的标准不确定度分量 u_{B4}

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 ± 0.3 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：

$$u_{B4} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB} \quad (\text{C.34})$$

5) 海水温度变化引入的标准不确定度分量 u_{B5}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B5} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.35})$$

6) 海水盐度变化引入的标准不确定度分量 u_{B6}

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 ± 0.1 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：

$$u_{B6} = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ dB} \quad (\text{C.36})$$

7) 水面反射引入的标准不确定度分量 u_{B7}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B7} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.37})$$

8) 海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量 u_{B8}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B8} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.38})$$

9) 船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量 u_{B9}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B9} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.39})$$

10) 设备工况不稳定引入的标准不确定度分量 u_{B10}

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 ± 0.3 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：

$$u_{B10} = 0.3/\sqrt{3} = 0.17 \text{ dB} \quad (\text{C.40})$$

11) 对水对地航向引入的标准不确定度分量 u_{B11}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B11} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.41})$$

12) 多普勒效应引入的标准不确定度分量 u_{B12}

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 ± 0.2 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：

$$u_{B12} = 0.2/\sqrt{3} = 0.12 \text{ dB} \quad (\text{C.42})$$

C.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分量汇总表见表C.4。

表C.4 测量不确定度分量汇总表

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_{B1}	见表B.3	1
2	信噪比不足引入的标准不确定度分量	u_{B2}	0.06	1
3	电干扰引入的标准不确定度分量	u_{B3}	0.06	1
4	海况不稳定引入的标准不确定度分量	u_{B4}	0.17	1
5	海水温度变化引入的标准不确定度分量	u_{B5}	0.12	1
6	海水盐度变化引入的标准不确定度分量	u_{B6}	0.06	1
7	水面反射引入的标准不确定度分量	u_{B7}	0.12	1
8	海底底质/地形地貌引入的标准不确定度分量	u_{B8}	0.12	1
9	船底外形轮廓反射引入的标准不确定度分量	u_{B9}	0.12	1
10	设备工况不稳定引入的标准不确定度分量	u_{B10}	0.17	1
11	对水对地航向引入的标准不确定度分量	u_{B11}	0.12	1
12	多普勒效应引入的标准不确定度分量	u_{B12}	0.12	1

C.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300 Hz~40 kHz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：

$$u_c(L_{PS}) = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 + u_{B5}^2 + u_{B6}^2 + u_{B7}^2 + u_{B8}^2 + u_{B9}^2 + u_{B10}^2 + u_{B11}^2 + u_{B12}^2} \quad (\text{C.43})$$

$$\text{在 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(L_{PS}) = 0.53 \text{ dB} \quad (\text{C.44})$$

$$\text{在 } 1 \text{ kHz} < f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(L_{PS}) = 0.53 \text{ dB} \quad (\text{C.45})$$

C.5 车载水声探测系统自噪声示值误差的合成标准不确定度

车载水声探测系统自噪声示值误差的合成标准不确定度如下：

$$\text{在 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(\Delta L_{PS}) = 0.99 \text{ dB} \quad (\text{C.46})$$

$$\text{在 } 1 \text{ kHz} < f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时: } u_c(\Delta L_{PS}) = 0.87 \text{ dB} \quad (\text{C.47})$$

C.6 扩展不确定度

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

$$U = k u_c \quad (\text{C.48})$$

则：

$$\text{在 } 300 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ kHz} \text{ 时: } U = 2.0 \text{ dB } (k=2) \quad (\text{C.49})$$

$$\text{在 } 1 \text{ kHz} < f \leq 40 \text{ kHz} \text{ 时: } U = 1.7 \text{ dB } (k=2) \quad (\text{C.50})$$