

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)
试 验 报 告

规范起草组

2025 年 6 月

目 录

1	概述	1
2	参考标准及依据文件	1
3	试验内容	2
3.1	标准水听器校准试验	2
3.2	船载水声探测系统噪声原位校准试验	2
4	试验条件要求	2
4.1	环境条件	2
4.2	试验船参数	3
4.3	试验工况	4
5	校准试验方法及结果	4
5.1	标准水听器校准试验方法及结果	4
5.2	船载水声探测系统噪声原位校准试验方法	6
6	示值误差不确定度评定	3
附录 A	数据记录格式	4

1 概述

水声探测系统是科考船的关键设备，对科考能力起着至关重要的作用。船舶安装水声探测系统位置的自噪声直接影响以声音为测量手段设备的精度和效率，对船载水声探测系统进行噪声原位校准的需求迫在眉睫，精确校准后的水声探测系统可显著提升船舶的科考能力。

国内外目前并无船载水声探测系统校准相关参照的标准，国际上仅有针对水听器校准的规范 IEC 60565（自由场校准+低频声压场校准），国内的相关校准规范也仅针对 1kHz~200kHz 水声换能器(JJF1861—2020)和 20Hz~100kHz 水下噪声源(JJF1651—2017)。一方面，以上校准规范都是单个设备的校准，而船载水声探测系统是个较为复杂的系统，其噪声原位与海况和船舶运行状况等息息相关；另一方面，以上校准基本在实验室环境下或者船舶静态环境下实现，随着探测技术的发展，在多波束工作的动态环境下采用一定的方法开展噪声原位校准工作，对原始声学探测数据进行一系列分析处理和修正，得到精确的测量结果，对科技发展具有重要的意义。

本试验大纲规定了船载水声探测系统噪声原位校准规范的试验内容及试验方法等内容，可指导规范的具体实施。

试验目的主要有两个：

- 1) 完成标准水听器的实验室校准；
- 2) 利用自噪声监测系统完成船载水声探测系统噪声原位的海试校准。

2 参考标准及依据文件

本试验依据以下标准和文件资料：

GJB 274—1987 船舶水下自噪声测量方法

JJG 340—2017 1Hz~2kHz标准水听器（密闭腔比较法）检定规程

JJG 1017—2007 1kHz~1MHz标准水听器检定规程

JJF 1034 声学计量术语及定义

JJF 1651—2017 20Hz~100kHz水下噪声源校准规范

JJF 1861—2020 1kHz~200kHz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

《船载水声探测系统噪声原位校准规范试验大纲》

3 试验内容

本次试验内容主要包括标准水听器校准试验和船载水声探测系统噪声原位校准试验两部分内容。

3.1 标准水听器校准试验

依据现行国家标准或行业计量检定规程/校准规范完成量值溯源，应符合 JJG 1017—2007、JJG 340—2017、GB/T 3223—1994、GB/T 4130—2017、GB/T 7965—2002、IEC 60565.1—2020、IEC 60500—2017 的技术要求，校准的内容为声压灵敏度，标准水听器检定包含的外观检查、绝缘电阻、电容等项目在此不作详细阐述。

3.2 船载水声探测系统噪声原位校准试验

当试验船以船载水声探测系统正常工作对应的状态下自由航行时，将已经标校后的标准水听器和前置放大器、动态信号分析仪等设备组成自噪声监测系统，安装于试验船上，对船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给出噪声原位数据。

4 试验条件要求

4.1 环境条件

4.1.1 噪声原位校准环境条件

- a) 环境温度：5℃~35℃；
- b) 相对湿度：不大于 90%；
- c) 煤质温度：5℃~30℃。

4.1.2 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 1.25m，风速不大于 5.5m/s；
- c) 海洋环境背景噪声低于探测系统位置处自噪声 10dB 以上；
- d) 海域水深：50m~4000m。

4.2 试验船参数

试验对象为深远海新型多功能科考船，船体主要结构参数如表 1 所示。该船的主要声学探测系统工作频段和设备性能参数如表 2 所示。

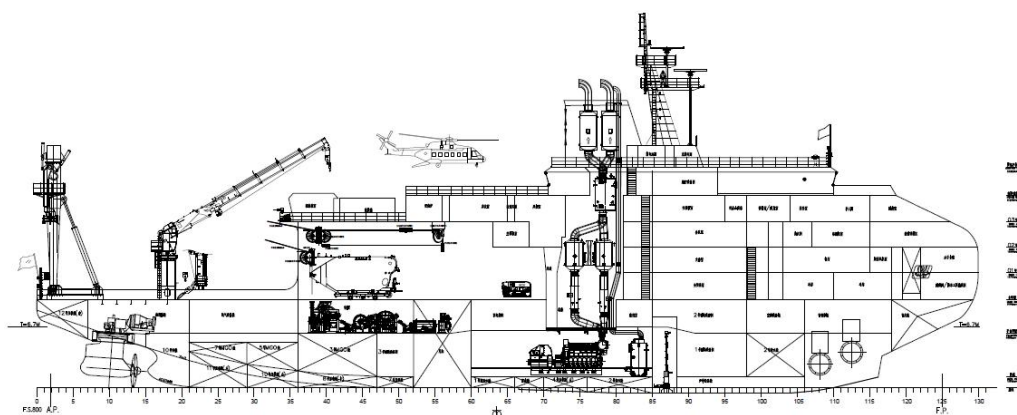


图 1 多功能科考船侧视图

表 1 船体概况

总长	103.96 m
垂线间长	98.445 m
型宽	19.7 m
型深	9.7 m
设计排水量	9300t
设计吃水	6.7m
结构吃水排水量	9828t
结构吃水	7m
经济航速	12kn

表 2 被试船舶声学探测设备性能表

序号	设备名称	工作频率	使用工况	背景噪声要求	指向性(波束角度)
1	水声定位系统	8kHz-16kHz	0 节 (DP 模式)、 AUV 作业 (2-4 节)、 载人深潜水下作业 (2-4 节)	60dB	60 度
2	水声通信系统	7.5 kHz -12.5kHz		60dB	30 度
3	全向水平声纳系统 SU90	20 kHz -30kHz		45dB	水平发射: 360 度; 水平接收: 8.5-13 度; 垂向发射: 4.9-7 度; 垂向接收: 5.3-7.4 度。
4	多波束测深系统	10.5-15.5kHz (中心频率 12kHz)	8、10、12 节	55dB	1 度

4.3 试验工况

海试船舶的试验工况为船舶 8 节和 12 节航速。

5 校准试验方法及结果

5.1 标准水听器校准试验方法及结果

5.1.1 校准试验方法

本规范使用的标准水听器频率范围较宽 (300Hz~40kHz)，单一的校准方法无法满足全频段校准需求，因此将标准水听器的低频和中高频分别采用不同的校准方法，表 4 为 GB/T 7965—2002《声学 水声换能器测量》中基本电声参数的测量及计算方法、适用频率以及测量不确定度，从表中可以看出：

- 低频部分（低于 2kHz）的校准方法可采用振动液柱法，具体参考 JJG 340—2017《1Hz~2kHz 标准水听器（密闭腔比较法）检定规程》；
- 中高频（2kHz-40kHz）的校准方法可采用自由场互易法，具体参考 JJG 1017—2007《1kHz~1MHz 标准水听器检定规程》。

表 3 基本电声参数

参数	符号	单位	测量及计算方法	频率范围	测量不确定度
自由场[电压]灵敏度	M	V/Pa	球面波自由场互易法	100Hz~1MHz	1.0dB
自由场[电压]灵敏度[级]	M	dB(基准值: 1V/ μ Pa)	柱面波自由场互易法	200Hz~10kHz	1.0dB
			球面波自由场比较法	100Hz~1MHz	1.5dB
			柱面波自由场比较法	200Hz~10kHz	1.5dB
			噪声均匀场比较法	100Hz~4kHz	2.0dB
声压灵敏度	M_p	V/Pa	振动液柱法	10Hz~2kHz	1.0dB
声压灵敏度[级]	M_p	dB(基准值: 1V/ μ Pa)	密闭腔比较法	1Hz~4kHz	1.0dB
指向性函数	$D(\theta, \varphi)$		直接法	500Hz~500kHz	5%~10%
波束宽度	2θ	°			
最大旁瓣级	L_b	dB			

5.1.2 校准试验结果

采用 B&K 8105 水听器作为标准水听器,根据 5.1.1 节方法对该水听器的灵敏度级和指向性进行校准,下表为杭州应用声学研究所水声校准/检测实验室的校准数据。

表 4 B&K8105 水听器灵敏度级校准数据

f/kHz	M/dB	f/kHz	M/dB	f/kHz	M/dB	f/kHz	M/dB
0.00315	-213.4	0.040	-213.1	0.630	-213.0	8.00	-213.6
0.004	-213.3	0.063	-212.9	0.800	-213.0	10.0	-213.5
0.005	-213.3	0.080	-213.0	1.00	-213.4	12.5	-213.4
0.0063	-213.0	0.100	-213.1	1.25	-213.5	16.0	-213.7
0.008	-212.9	0.125	-213.0	1.60	-213.4	20.0	-214.3
0.01	-212.8	0.160	-212.9	2.00	-213.4	25.0	-215.3
0.0125	-213.0	0.200	-213.0	2.50	-213.4	31.5	-216.6
0.016	-212.9	0.250	-213.4	3.15	-213.3	40.0	-216.1
0.020	-212.9	0.315	-213.2	4.00	-213.4	/	/
0.025	-212.9	0.400	-213.1	5.00	-213.5	/	/
0.0315	-212.9	0.500	-212.9	6.30	-213.2	/	/

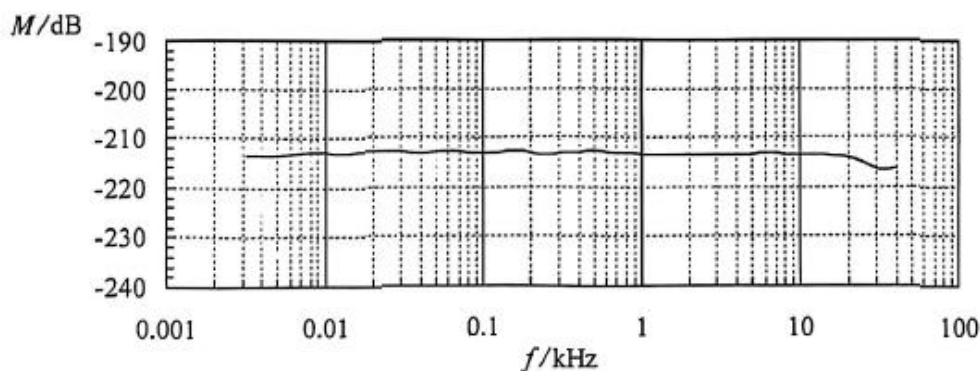


图 2 B&K8105水听器灵敏度级曲线

本次校准的测量不确定度为：

$$f=0.00315\text{kHz}\sim 0.8\text{kHz} \quad U=1.3\text{dB} \quad (k=2)$$

$$f=1.00\text{kHz}\sim 40.0\text{kHz} \quad U=0.9\text{dB} \quad (k=2)$$

5.2 船载水声探测系统噪声原位校准试验方法

5.2.1 试验原理

船载水声探测系统噪声原位校准系统的设备组成框图如图3所示。

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： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）；

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。

当试验船以船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，对船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，船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船载水声探测系统的自噪声示值误差。

按公式（2）船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： $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ）。

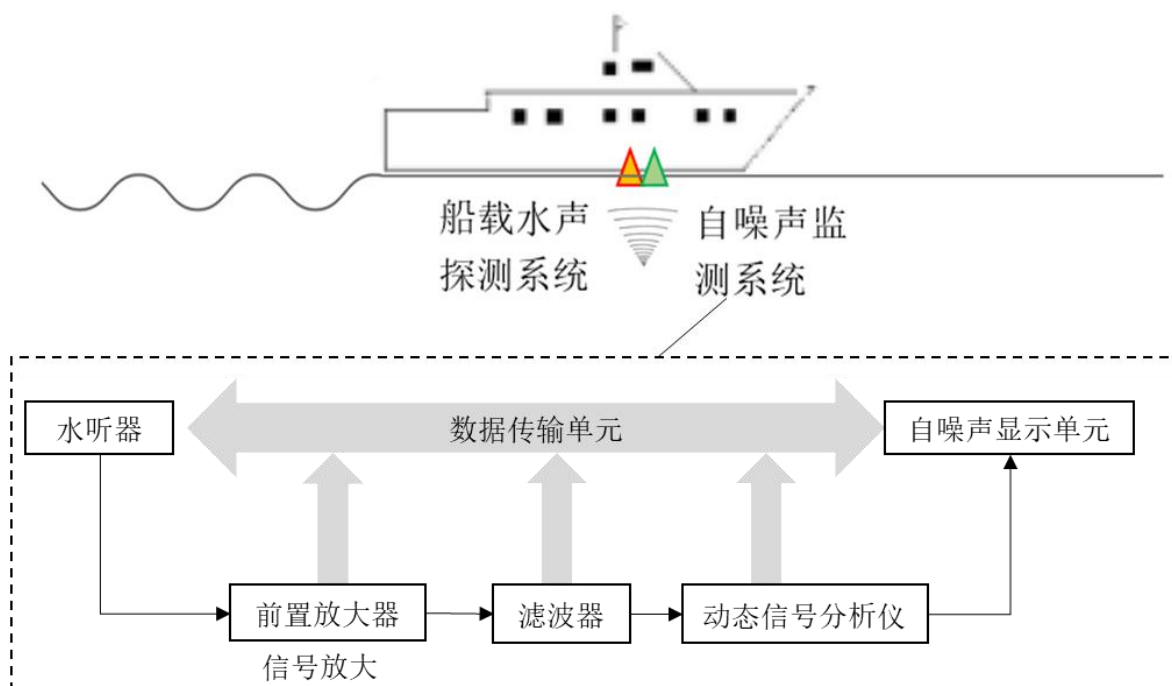


图 3 船载水声探测系统噪声原位校准系统设备组成框图

5.2.2 试验步骤

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10dB以上；

d) 将船舶航行至指定航速（通常为6kn~12kn航速，具体以船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。

5.2.3 噪声原位校准试验结果

船舶航行稳定在 12kn 航速和 8kn 航速时，多波束接收阵工作，自噪声监测系统和水声探测系统分别测量 8 次自噪声水平，每次测量均为同时采集。两个系统显示的自噪声示值如表 5~表 8 所示。

表 5 12kn 航速下自噪声监测系统的自噪声示值数据

dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$								
f/Hz	L_{pf1}	L_{pf2}	L_{pf3}	L_{pf4}	L_{pf5}	L_{pf6}	L_{pf7}	L_{pf8}
315	65.3	64.2	64.5	65.6	64.0	64.9	65.7	65.7
400	67.3	67.3	68.0	68.2	67.3	66.7	67.1	66.5
500	71.4	71.4	70.4	69.8	70.6	70.1	71.0	69.8
630	71.1	71.9	70.9	71.4	72.4	71.6	72.5	72.7
800	65.4	64.6	64.8	64.4	64.1	64.5	65.5	65.1
1000	60.9	58.9	59.6	60.5	60.4	60.6	59.3	59.5
1250	57.0	56.7	57.5	55.6	56.6	56.3	57.5	56.0
1600	54.1	53.5	54.0	54.5	54.6	53.4	53.4	54.2
2000	53.3	53.1	53.4	52.3	52.8	52.5	52.6	51.4
2500	52.1	51.1	51.2	52.0	51.5	51.9	52.7	52.1
3150	52.8	54.2	53.7	52.7	53.3	53.4	53.7	54.3
4000	50.9	51.3	51.0	52.8	50.9	51.6	51.6	52.7
5000	53.5	52.8	52.0	52.6	53.2	51.9	53.1	52.5
6300	55.1	53.4	53.6	55.2	54.5	54.4	54.7	54.2
8000	52.1	53.8	53.3	53.7	52.0	53.4	52.2	53.7
10000	51.2	51.0	52.0	52.0	52.2	50.5	51.9	52.1
12500	54.9	55.4	54.0	54.7	54.6	55.6	54.2	54.4
16000	55.4	56.2	55.8	55.9	55.8	55.6	56.4	55.8
20000	53.6	53.6	53.5	53.0	52.9	52.4	53.5	53.8
25000	52.2	52.7	52.8	51.2	53.0	51.6	51.5	51.6
31500	51.1	51.6	50.4	50.6	51.9	51.4	50.6	51.7
40000	50.3	49.2	49.9	50.2	50.9	50.8	51.2	50.8

表 6 12kn 航速下水声探测系统的自噪声示值数据

dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$

f/Hz	L_{pf1}	L_{pf2}	L_{pf3}	L_{pf4}	L_{pf5}	L_{pf6}	L_{pf7}	L_{pf8}
315	65.0	64.3	65.9	65.4	65.3	65.4	65.0	66.8
400	66.1	66.1	68.4	69.2	66.9	66.6	67.4	66.4
500	70.9	71.0	69.3	70.2	69.7	68.8	72.0	69.2
630	72.3	72.4	71.8	70.1	71.0	73.0	72.4	71.7
800	65.4	64.8	65.6	65.0	64.1	64.0	65.9	66.0
1000	61.6	58.9	60.6	61.8	59.6	59.3	58.4	58.6
1250	56.9	56.0	56.8	56.9	58.1	57.2	56.0	55.0
1600	52.6	53.4	54.9	54.9	54.8	54.2	52.0	54.6
2000	54.3	53.5	52.8	52.7	52.9	52.5	52.9	50.8
2500	51.6	51.0	49.9	52.6	51.6	50.8	51.9	53.3
3150	52.5	53.1	54.2	52.6	53.4	54.7	54.5	55.3
4000	52.4	51.5	52.3	53.6	51.6	52.3	50.4	51.7
5000	53.0	52.0	53.1	52.0	52.7	50.8	54.2	52.6
6300	54.3	53.2	52.5	53.8	53.6	55.2	55.8	54.3
8000	52.0	53.8	54.4	54.2	52.7	52.8	52.8	54.1
10000	50.9	50.4	52.1	53.2	50.8	49.7	52.0	52.7
12500	53.6	55.2	54.5	53.7	54.7	56.3	55.4	53.4
16000	54.2	55.2	56.4	54.6	56.8	54.5	55.6	56.1
20000	55.0	54.0	52.4	52.7	51.6	53.2	53.9	53.6
25000	52.0	52.3	54.3	52.3	52.6	52.9	50.4	51.5
31500	51.5	52.3	49.4	50.7	51.4	52.3	49.5	50.7
40000	49.2	49.9	49.5	50.0	51.5	50.5	49.8	50.0

表 7 8kn 航速下自噪声监测系统的自噪声示值数据

dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$								
f/Hz	L_{pf1}	L_{pf2}	L_{pf3}	L_{pf4}	L_{pf5}	L_{pf6}	L_{pf7}	L_{pf8}
315	62.8	63.8	63.7	62.5	62.9	62.8	62.7	63.2
400	64.4	63.5	64.7	65.2	64.8	63.4	63.4	64.6
500	69.1	69.6	68.2	68.5	69.4	69.8	68.5	68.8
630	70.3	69.3	70.4	69.8	69.9	70.3	70.9	70.2
800	63.5	63.0	62.6	62.6	63.7	64.4	62.6	64.4
1000	58.0	57.3	58.4	57.6	58.9	58.5	57.4	57.6
1250	55.0	56.0	54.2	54.1	54.3	54.9	54.5	54.9
1600	52.8	53.1	53.4	53.1	52.5	52.9	52.1	53.6
2000	52.0	52.5	53.0	52.5	52.1	51.2	53.0	51.8
2500	51.8	51.1	50.9	51.8	52.4	50.9	52.6	51.8
3150	54.3	53.4	54.5	53.9	54.1	53.7	55.0	53.4
4000	51.9	52.9	52.6	51.8	52.0	52.9	51.2	52.4
5000	52.4	53.1	51.8	51.9	52.3	51.8	51.9	53.1
6300	53.8	54.8	54.0	53.4	53.4	53.3	54.5	53.9
8000	52.8	51.9	53.8	53.7	53.8	53.2	52.7	52.5
10000	51.3	51.6	51.9	51.7	51.7	51.7	50.7	52.0
12500	54.1	54.6	53.8	53.8	53.6	54.8	54.8	55.1
16000	52.6	53.4	52.0	53.3	52.6	53.5	51.6	52.0
20000	51.6	51.5	51.4	51.1	51.3	51.5	50.8	52.6
25000	50.8	51.3	51.8	51.4	50.6	51.7	50.3	51.5
31500	49.6	49.9	50.3	49.6	49.8	49.3	49.4	49.0
40000	49.2	49.4	49.2	50.0	48.3	48.3	49.0	49.2

表 8 8kn 航速下水声探测系统的自噪声示值数据

dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$								
f/Hz	L_{pf1}	L_{pf2}	L_{pf3}	L_{pf4}	L_{pf5}	L_{pf6}	L_{pf7}	L_{pf8}
315	61.9	62.4	61.4	63.0	62.3	63.6	62.2	62.9
400	63.8	64.1	65.2	62.9	63.8	65.2	64.1	65.1
500	70.1	68.7	68.1	69.6	70.5	68.0	68.0	69.1
630	68.8	70.3	69.3	71.4	69.8	70.6	69.9	71.7
800	63.6	64.8	62.2	64.2	64.6	63.0	63.7	63.2
1000	58.9	58.7	57.4	59.4	57.2	57.0	57.6	57.6
1250	55.9	54.0	56.3	55.0	54.3	55.4	54.8	54.4
1600	53.9	51.7	52.6	51.8	52.0	51.7	51.5	51.6
2000	51.6	53.2	52.5	52.7	52.0	51.6	53.1	51.7
2500	51.0	51.3	50.9	51.0	52.2	50.7	52.4	51.7
3150	55.7	54.2	54.4	55.1	54.4	54.5	53.0	54.7
4000	53.2	50.6	52.0	51.6	51.9	53.4	51.5	52.8
5000	52.6	53.6	52.7	53.6	53.8	52.5	51.5	52.2
6300	53.3	52.9	54.8	55.1	54.2	53.0	53.3	52.9
8000	53.4	53.3	51.4	53.5	52.5	51.5	53.9	54.1
10000	50.2	52.8	50.5	50.4	51.3	51.7	52.6	51.2
12500	55.6	54.7	53.7	52.9	54.5	55.2	55.2	55.2
16000	52.8	51.7	52.7	52.0	54.0	54.1	53.0	51.9
20000	51.2	51.5	50.9	52.3	51.0	50.9	52.4	50.3
25000	51.3	52.3	51.0	50.5	51.6	49.5	51.0	51.2
31500	48.9	49.3	49.8	50.2	49.4	50.3	49.9	50.1
40000	49.9	49.0	50.0	48.5	49.2	49.4	47.8	47.7

6 示值误差不确定度评定

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

$$U = ku_c$$

则:

在300 Hz $\leq f \leq$ 1 kHz时: $U=2.00$ dB ($k=2$);

在1 kHz $< f \leq$ 40 kHz时: $U=1.86$ dB ($k=2$)。

校准结果的测量不确定按 JJF 1059.1—2012 的要求评定, 具体测量不确定度评定过程参见《船载水声探测系统噪声原位校准示值误差不确定度评定》报告。

附录 A 数据记录格式

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