

国家计量技术规范
船舶自动识别系统（AIS）校准规范
（征求意见稿）
测量不确定度评定报告

规范起草组
2026 年 09 月

目 录

一、载波频率测量方法及不确定度评定	1
二、载波功率测量方法及不确定度评定	1
三、调制频率误差测量方法及不确定度评定	2
四、灵敏度测量方法及不确定度评定	4
五、定位误差测量方法及不确定度评定	6

船舶自动识别系统（AIS）校准不确定度评定

分别对船舶自动识别系统（AIS）的载波频率、载波功率、调制精度、灵敏度、定位误差进行不确定度评定。

一、载波频率测量方法及不确定度评定

1 测量模型

$$\Delta f = f_0 - \overline{f_x}$$

使用频率计直接测量被校准 AIS 输出信号的频率。

以使用 SS7406C 型频率计校准船站输出的 161.975MHz 为例进行不确定度评定。

2 不确定度来源分析

不确定度来源主要包含以下 3 项：

- （1）由标准器频率计准确度引入的不确定度分量 u_1 ；
- （2）由标准器频率计分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- （3）由测量重复性引入的不确定度分量 u_3 ；

3 测量不确定度的评定

3.1 由频率计计数不准引入的不确定度分量

由频率计 SS7406C 说明书可知，其相对频率偏差为 3×10^{-8} 。按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{3 \times 10^{-8} \times 161975000}{\sqrt{3}} = 2.8 \text{ Hz}$$

3.2 由频率计分辨力引入的不确定度分量

对于频率计 SS7406C，其频率测量位数为 12 位。测量 161.975MHz 时，最小显示位数为 0.001Hz，按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

3.3 重复性引入的不确定度分量

船站输出的 161.975MHz 重复性测量结果见表 1。

表 1 船站设备输出的 161.975MHz 重复性测量结果

序号	测量结果（MHz）
1	161.975118944
2	161.975119008
3	161.975118958
4	161.975119514
5	161.975119228
6	161.975119501
7	161.975119515
8	161.975118998
9	161.975119356
10	161.975119384

则，由重复性引入的标准不确定度为：

$$u_3 = s_n(f) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - \overline{f})^2} = 0.24 \text{ Hz}$$

4 合成标准不确定度

以上不确定度分量互不相关，则有：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 2.8\text{Hz}$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则有：

$$U = ku_c = 5.6\text{Hz}$$

相对扩展不确定度为：

$$U_r = 3.5 \times 10^{-8} (k = 2)$$

二、载波功率测量方法及不确定度评定

1 数学模型

$$\Delta P = P_0 - \overline{P_x}$$

使用功率计直接测量被校准 AIS 输出信号的功率。

以使用功率传感器 71710A、2438CA 功率计对船站输出的 161.975MHz，41dBm（12.5W）功率测量为例，进行不确定度评定。

2 不确定度来源

不确定度来源主要包含以下 4 项：

- （1）由功率计与被测 AIS 连接端口失配引入的不确定度分量 u_1 ；
- （2）功率计校准因子引入的不确定度分量 u_2 ；
- （3）由功率计分辨力引入的不确定度分量 u_3 ；
- （4）由重复性引入的不确定度分量 u_4 ；

3 标准不确定度评定

3.1 由功率计与被测 AIS 连接端口失配引入的不确定度分量

对于 161.975MHz 输出频率，功率传感器 71710A 的驻波比小于 1.1，船站的驻波比小于 1.5，按照最差的相位组合下，其误差为：

$$\Delta = 2 \bullet \Gamma_G \bullet \Gamma_L = 2\%$$

$$\Delta_{dB} = 10 \log_{10}(1 + \Delta) = 0.086\text{dB}$$

按反正弦子分布，则包含因子 $k = \sqrt{2}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.086}{\sqrt{2}} = 0.061\text{dB}$$

3.2 由功率计校准因子引入的不确定度分

使用的功率传感器 71710A，其校准证书上在 100MHz 频率处校准因子引入的不确定度为 1.9% ($k=2$)，则有：

$$u_2 = \frac{1.9\%}{2} = 0.95\% = 0.041dB$$

3.3 由功率计分辨力引入的不确定度分量

功率计分辨力为 0.01dB,按均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则由其引入的标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029dB$$

0.12% / $\sqrt{3}$ =0.07% 。

3.4 重复性引入的不确定度分量

船站在 161.975MHz 输出 41dBm 信号，重复性测量结果见表 2。

表 2 船站在 161.975MHz 输出 41dBm 重复性测量结果

序号	测量结果 (dBm)
1	41.16
2	41.19
3	41.21
4	41.20
5	41.19
6	41.18
7	41.22
8	41.18
9	41.16
10	41.17

则，由重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u_4 = s_n(P) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} = 0.020dB$$

4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量互不相关，分辨力引入的不确定度小于重复性引入的不确定度，故取重复性引入的不确定分量，则有：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_4^2} = 0.075dB$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则有：

$$U = ku_c = 0.15dB$$

三、调制频率误差测量方法及不确定度评定

1 测量模型

$$F' = F$$

使用频谱分析仪直接测量调频频偏。

以使用 4051A 型频谱分析仪，船站输出 161.975MHz，调频频偏为 2400Hz 的信号为例，进行测量不确定度评定。

2 不确定度来源

不确定度来源主要包含以下 3 项：

- (1) 频谱分析仪调频频偏测量不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 频谱分析仪分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 由重复性引入的不确定度分量 u_3 ；

3 标准不确定度评定

3.1 频谱分析仪调频频偏测量不准引入的不确定度分量

根据频谱分析仪说明书，其频率准确度为 1.5×10^{-7} ，测量 2400Hz 调频频偏时，按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{7.4}{\sqrt{3}} = 4.3Hz$$

3.2 频谱分析仪分辨力引入的不确定度分量

根据频谱分析仪说明书，其频率分辨力为 1Hz，按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则由其引入的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0.29Hz$$

3.3 由重复性引入的不确定度分量

船站站在 161.975MHz 处，调频频偏为 2400Hz，重复性测量结果见表 3

表 3 船站在 161.975MHz 处调频频偏重复性测量结果

序号	测量结果 (kHz)
1	2.561
2	2.498
3	2.437
4	2.509
5	2.430
6	2.585

7	2.578
8	2.557
9	2.538
10	2.439

则，由重复性引入的相对标准不确定度为：

$$u_3 = s_n(F) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} = 60.2 \text{ Hz}$$

4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量互不相关，分辨力引入的不确定度小于重复性引入的不确定度，故取重复性引入的不确定分量，则有：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 60.2 \text{ Hz}$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则有：

$$U = ku_c = 120 \text{ Hz}$$

相对扩展不确定度为：

$$U_r = 5\% (k = 2)$$

四、灵敏度及不确定度评定

1 数学模型

$$S' = S$$

使用信号发生器发射标准测试信号 3 号，按要求设置输出电平，被测 AIS 接收到的数据包误包率应 < 20%。

以使用 1435B-V 型信号发生器测量船站在 161.975MHz 频率处的灵敏度为例进行不确定度评定。

2 不确定度来源

不确定度来源主要包含以下 3 项：

- (1) 由信号发生器输出信号功率不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 由信号发生器分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 由衰减器不准确引入的不确定度分量 u_3 ；
- (4) 由重复性引入的不确定度分量 u_4 ；

3 标准不确定度评定

3.1 由信号发生器输出信号功率不准引入的不确定度分量

由 1435B-V 型信号发生器校准证书可知, 100MHz,-70dBm 处测量结果不确定度为 0.16dB($k = 2$), 则由其引入的相对标准不确定度为:

$$u_1 = \frac{0.16}{2} = 0.08dB$$

3.2 由信号发生器分辨力引入的不确定度分量

根据 1435B-V 型信号发生器说明书可知, 其功率分辨力为 0.01dB,按均匀分布,则包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则由其引入的标准不确定度为为:

$$u_2 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029dB$$

3.3 由衰减器不准确引入的不确定度分量

使用 30dB 固定衰减器进行测量, 由其说明书可知, 其最大允差为 $\pm 0.02dB/10dB, 30dB$ 衰减误差为 0.06dB, 按均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则由其引入的相对标准不确定度为:

$$u_3 = \frac{0.06}{\sqrt{3}} = 0.035dB$$

3.4 重复性引入的不确定度分量

船站设备在 161.975MHz 处灵敏度重复性测量结果见表.4。

表 4 船站灵敏度重复性测量结果

序号	灵敏度 (dBm)	误包率
1	-107dBm	0%
2	-107dBm	1%
3	-107dBm	1%
4	-107dBm	2%
5	-107dBm	1%
6	-107dBm	0%
7	-107dBm	0%
8	-107dBm	1%
9	-107dBm	2%
10	-107dBm	3%

则, 由重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u_4 = s_n(S) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} = 0dB$$

4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量互不相关, 则有:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.087dB$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则有：

$$U = ku_c = 0.18dB$$

五、定位误差测量方法及不确定度评定

1 数学模型

$$\Delta P_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

使用导航模拟器仿真法测量被校准 AIS 中 GNSS 模块定位误差。

以使用 GNS8308 型导航信号模拟器校准船站中 GNSS 模块为例进行不确定度评定。

2 不确定度来源

不确定度来源主要包含以下 3 项：

- (1) 由导航模拟器距离测量不准引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 由被测接收机测量分辨力引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 由重复性引入的不确定度分量 u_3 ；

3 标准不确定度评定

3.1 由导航模拟器距离测量不准引入的不确定度分量

对于 GNS8308 型导航信号模拟器，由上级校准证书给出的伪距扩展不确定度 0.0015m，包含因子 $k = 2$ ，则由其引入的相对标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.0015}{2} = 0.00075m$$

3.2 由被测接收机测量分辨力引入的不确定度分量

对于船站，其经度纬度分辨力均为 0.00001'，则纬度分辨力为：

$$\Delta N = 111320 \times \frac{0.00001}{60} = 0.0186m$$

按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则有：

$$u_N = \frac{0.0186}{2\sqrt{3}} = 0.00054m$$

模拟器输出纬度约为 28°，则经度方向分辨力为：

$$\Delta E = 111320 \times \frac{0.00001}{60} \times \cos 28^\circ = 0.0164m$$

按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则有：

$$u_E = \frac{0.0164}{2\sqrt{3}} = 0.00047m$$

两个正交分量相互独立，则有：

$$u_2 = \sqrt{u_N^2 + u_E^2} = 0.0007m$$

3.3 重复性引入的不确定度分量

船站设备动态水平定位重复性测量结果见表 5。

表 5 船站动态水平定位重复性测量结果

采样率/Hz	1		
每组采样	20		
测量结果	第一组	第二组	第三组
水平定位误差/m	2.438	2.313	2.290
重复性/m	0.088		

则，由重复性引入的相对标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{2.438 - 2.290}{1.69} = 0.088m$$

4 相对合成标准不确定度

以上不确定度分量互不相关，分辨力引入的不确定度小于重复性引入的不确定度，故取重复性引入的不确定分量，则有：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.088m$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则有：

$$U = ku_c = 0.18m$$
