

重力加速度式波浪浮标

(不确定度评定)

国家海洋标准计量中心

二零二四年五月

一、概述

检定后判定重力加速度式波浪浮标（传感器）波高、波周期示值误差和波浪谱频率相对误差是否合格，与检定人员在检定中选取的标准器准确度等级、采用的检定方法是否合理、检定环境是否符合规定要求等项目直接相关。现根据 JJG 1144-2017《重力加速度式波浪浮标检定规程》以及 JJF1059《测量不确定度评定与表示》，就本检定装置检定结果的测量不确定度进行分析评定。

二、数学模型

$$\Delta x = x_B - x_N \quad (1)$$

式中：

Δx ——重力加速度式波浪浮标（传感器）的有效波波高（波周期或波浪谱频率相对误差）示值误差；

x_B ——重力加速度式波浪浮标（传感器）的有效波波高（波周期或波浪谱频率相对误差）示值；

x_N ——波浪浮标检定装置的波高（波周期或波浪谱频率相对误差）示值。

对式（1）求偏导得灵敏系数为

$$c_B = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial x_B} = 1$$
$$c_N = \frac{\partial(\Delta x)}{\partial x_N} = -1$$

三、波周期测量不确定度评定

（一）波周期测量不确定度的来源

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_s
- b) 被测仪器测量重复性引入的标准不确定度分量 u_x

（二）波周期测量不确定度评定

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_s

波浪浮标检定装置波周期最大允许误差为 ± 0.2 s，标准设备引入的标准不确定度分量 $u_s = 0.2 \text{ s} / 1.732 = 0.115 \text{ s}$ 。

- b) 被测仪器重复性引起的标准不确定度分量 u_x

在装置正常工作条件下，将一台被测重力加速度式波浪测量仪安装在波浪浮

标检定装置上,被测波浪浮标工作方式设为检测工作方式,设定波浪浮标检定装置运行周期为 20.0 s,使用被测波浪浮标在重复条件下分别连续测量 10 个结果,得到数据如下:

19.88 s 20.12 s 20.12 s 20.12 s 20.00 s
20.00 s 20.00 s 20.00 s 20.12 s 20.00 s

波周期平均值: $\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 20.036 \text{ s}$

波周期测量重复性:

$$s_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.081 \text{ s}$$

波周期测量重复性为 0.081 s, $u_x = 0.081 \text{ s}$ 。

(三) 波周期的合成标准不确定度

$$U_{CT} = \sqrt{u_s^2 + u_x^2} = 0.14 \text{ s}$$

(四) 波周期扩展不确定度 (k=2)

$$U_T = k \times U_{CT} = 2 \times 0.14 \text{ s} = 0.28 \text{ s}$$

四、波高测量不确定度评定

(一) 波高测量不确定度的来源

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_s
- b) 被测仪器测量重复性引入的标准不确定度分量 u_x

(二) 波高测量不确定度评定

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_s

波浪浮标检定装置波高最大允许误差为 $\pm 0.2\% \text{ F.S}$, 满量程 6 m, 则标准设备引入的标准不确定度分量 $u_s = 6000 \text{ mm} \times 0.2\% / 1.732 = 6.9 \text{ mm}$ 。

- b) 被测仪器重复性引起的标准不确定度分量 u_x

在装置正常工作条件下,将一台被测重力加速度式波浪测量仪安装在波浪浮标检定装置上,被测波浪浮标工作方式设为检测工作方式,设定波浪浮标检定装置运行波高为 6 m,使用被测波浪浮标在重复条件下分别连续测量 10 个结果,得到数据如下:

6.0 6.0 6.0 6.0 6.0

5.9 6.0 6.0 6.0 6.0

波高平均值：
$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 5.99 \text{ m}$$

波高测量重复性：

$$s_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.032 \text{ m} = 32 \text{ mm}$$

波高测量重复性为 32mm， $u_x = 32 \text{ mm}$ 。

(三) 波高的合成标准不确定度

$$U_{CH} = \sqrt{u_s^2 + u_x^2} = 32.7 \text{ mm}$$

(四) 波高扩展不确定度 ($k=2$)

$$U_H = k \times U_{CH} = 2 \times 32.7 \text{ mm} = 65.4 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

五、波浪谱频率相对误差测量不确定度评定

(一) 波浪谱频率相对误差测量不确定度的来源

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_{fs}
- b) 被测仪器测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{fx}

(二) 波浪谱频率相对误差测量不确定度评定

- a) 标准设备引入的标准不确定度分量 u_{fs}

波浪浮标检定装置波浪频率标准设备为高精度频率计，定期送天津市计量监督检测科学研究院进行检定，根据天津市计量监督检测科学研究院出具的检定/校准证书，可以获得扩展不确定度为 $2.5 \times 10^{-6} \text{ Hz}$ ，扩展因子 $k=2$ ，因此可得标准设备引入的标准不确定度分量 $u_{fs} = 2.5 \times 10^{-6} \text{ Hz} / 2 = 1.25 \times 10^{-6} \text{ Hz}$ 。

- b) 被测仪器重复性引起的标准不确定度分量 u_{fx}

在装置正常工作条件下，将一台被测重力加速度式波浪测量仪安装在波浪浮标检定装置上，被测波浪浮标工作方式设为检测工作方式，设定波浪浮标检定装置运行周期为 9.9 s，此时波浪标准频率为 0.101 Hz，使用被测波浪浮标在重复条件下分别连续测量 10 个结果，得到被测波浪浮标频率数据如下：

0.101 Hz	0.102 Hz	0.101 Hz	0.101 Hz	0.101 Hz
0.101 Hz	0.101 Hz	0.102 Hz	0.102 Hz	0.101 Hz

被测波浪浮标频率平均值： $\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 0.1013 \text{ Hz}$

被测波浪浮标频率测量重复性：

$$s_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.0005 \text{ Hz}$$

被测波浪浮标频率测量重复性为 0.0005 Hz，即 $u_{fx} = 0.0005 \text{ Hz}$ 。

(三) 波浪谱频率误差的合成标准不确定度

$$U_{CF} = \sqrt{u_{fs}^2 + u_{fx}^2} = 0.0005 \text{ Hz}$$

(四) 波浪谱频率误差扩展不确定度 (k=2)

$$U_F = k \times U_{CF} = 2 \times 0.0005 \text{ s} = 0.001 \text{ Hz}$$

(五) 波浪谱频率相对误差扩展不确定度

此时波浪标准谱频率 f_s 为 0.101 Hz，所以可以波浪谱频率相对误差扩展不确定度为 $U_{Rf} = k \times (U_T / f_s) \times 100\% = 2 \times (0.001 / 0.101) \times 100\% = 2\%$ 。