

# 重力加速度式波浪浮标检定规程

(实验报告)

主要起草单位：国家海洋标准计量中心、自然资源部厦门海洋中心、  
山东省科学院海洋仪器仪表研究所、中国人民解放军 32217 部队

二零二四年五月

## 一、检定方法简述

### 1. 检定方法

#### 1.1 波高、波周期示值误差

##### 1.1.1 波高、波周期检定点

(1) 波高检定点应包含 1.00 m、3.00 m、6.00 m。

(2) 在每个波高检定点处，设置 3-7 个波周期检定点。各波周期检定点的选取按公式 (1) 计算。

$$T_0(i) = \frac{6T_{\max} \cdot T_{\min}}{(i-1) \cdot T_{\max} + (7-i) \cdot T_{\min}} \quad (i=1,2, \dots, 7) \quad (1)$$

式中：

$T_0(i)$ ——波高检定点对应的第  $i$  个波周期检定点的值，s；

$T_{\max}$ ——仪器波周期测量范围的最大值，s；

$T_{\min}$ ——对应波高检定点的波周期检定点的最小值，s；

注：

(1) 计算结果按数字修约规则，小数点后保留 1 位有效数字。

(2) 当  $T_{\max} > 30$  s 时，取  $T_{\max} = 30$  s。

(3)  $T_{\min}$  按公式 (2) 确定：

$$T_{\min} = \sqrt{\frac{21\pi \cdot H_0}{g}} \quad (2)$$

式中：

$H_0$ ——波高检定点，m；

$g$ ——为重力加速度值。

$g$  取值  $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  时，通过 (2) 式计算得出：

$H_0=1.00$  m 时， $T_{\min}=2.6$  s；

$H_0=3.00$  m 时， $T_{\min}=4.5$  s；

$H_0=6.00$  m 时， $T_{\min}=6.4$  s。

##### 1.1.2 海浪频率谱相对误差

在波高检定点  $i$ 、第  $j$  个频率检定点的标准海浪频率谱记作  $S_{fS}(ij)$ ，海浪频率谱示值误差按公式 (3) 计算。

$$\Delta S_{f(ij)} = S_{fC}(ij) - S_{fS}(ij) \quad (3)$$

式中：

$i = 1,3,6; j = 1,2, \dots, 7$ —— $i$ 表示标准波高检定点,  $j$ 表示频率检定点的序数;  
 $\Delta S_{f(ij)}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点 $i$ , 第 $j$ 个频率检定点的海浪频率谱的示值误差,  $\text{m}^2/\text{Hz}$ ;

$S_{Cij}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点 $i$ , 第 $j$ 个频率检定点测得的海浪频率谱,  $\text{m}^2/\text{Hz}$ ;

$S_{Sij}$ ——模拟装置在波高检定点 $i$ , 第 $j$ 个频率检定点所模拟的标准海浪频率谱,  $\text{m}^2/\text{Hz}$ 。

### 1.1.3 海浪频率谱倍差

已知 $S_f$ 海浪频率谱数值与有效波高的平方成正比, 如式(5)所示,

$$S_f = \frac{H^2}{2} \pi \delta(f) \quad (4)$$

式中:

$H$ ——表示有效波高,  $\text{m}$ ;

$\delta(f)$ ——表示单位序列, 当频率检定点时,  $\delta(f) = 1$ , 否则,  $\delta(f) = 0$ 。

可知, 在海浪频率谱检定点时, 波浪浮标或波浪传感器的海浪频率谱与有效波高的平方成正比。

#### 选定海浪频率谱倍差检定点

模拟海浪频率范围为(0.03~0.16) Hz, 基于均匀分布, 选定包括范围上限和下限在内的3~7个检定点。

#### 模拟过程

波高检定点顺序为1.00 m、3.00 m、6.00 m, 先后3次在模拟装置径向位置上固定受检仪器, 调整动平衡, 设定模拟装置旋转周期(为频率检定点倒数), 启动模拟装置模拟波浪水质点运动, 模拟装置单次运动时长一般不短于1024s。

#### 海浪频率谱倍差

按公式(5)计算波高检定点 $i$ 与波高检定点 $k$ 的海浪频率谱倍差

$$R_{ik} = \frac{S_{Cij}}{S_{Ckj}} \quad (5)$$

式中:

$i = 1,3,6; k = 1,3,6$ ——表示波高检定点, 也是有效波高数值,  $\text{m}$ ;

$j = 1,2, \dots, 7$ ——表示频率检定点的数量;

$R_{ik}$ ——表示波浪浮标或波浪传感器在波高检定点 $i$ 和 $k$ 时, 海浪频率谱比例值。

1.2 按照波高检定点，将波浪浮标或波浪传感器安装在检定装置上，确保安全稳固，同时调整装置的功能模块，使波浪浮标或波浪传感器随检定装置运动时始终保持竖直状态。

1.3 调整检定装置，使之平衡。如果是通过匀速圆周旋转模拟正弦曲线的检定装置，波浪浮标或波浪传感器安装完成后整个装置的重量应相对于旋转中心水平对称。

1.4 将波高检定点、波周期检定点、波浪谱频率检定点、装置运行时间等参数依次置入检定装置的控制系統，启动装置运行。

1.5 检定装置启动进入匀速转动状态，每转动一周为模拟一个完整正弦波。波浪浮标或波浪传感器同步采集每一个波高、波周期值，在波浪谱检定时采集波高与对应的波浪谱频率，并在其采集时段结束后，给出该时段内统计得到的波浪特征值。

注：

(1) 当检定装置的实际波周期示值与设定波周期值的差值的绝对值不大于 0.1 s，认为检定装置进入匀速运转状态。

(2) 不同波浪浮标或波浪传感器的采集时长不同，检定装置运行时间应不少于该采集时间。

(3) 当波浪浮标的采集时长尚未结束、但已采集 100 个完整波数，可提前结束检定装置的运行。

## 2. 数据处理

### 2.1 有效波波高示值误差

在每个波高检定点  $i$ ，对应进行 7 个同波高、不同波周期的示值误差检定，每组波高的示值误差按公式 (6) 计算。

$$\Delta H_{ij} = H_{(1/3)ij} - H_{0ij} \quad (i=1, 3, 6, j=1, 2, \dots, 7) \quad (6)$$

式中：

$\Delta H_{ij}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个试验的波高示值误差，

m；

$H_{(1/3)ij}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个试验测得的有效波波高，m；

$H_{0ij}$ ——检定装置在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个试验所模拟的标准有效波波高，m。

### 2.2 有效波周期示值误差

在每个波高检定点  $i$ ，对应进行 7 个波周期示值误差检定，有效波周期示值误差按公式（7）计算。

$$\Delta T_{ij} = T_{(1/3)ij} - T_{0ij} \quad (i=1, 3, 6, j=1, 2, \dots, 7) \quad (7)$$

式中：

$\Delta T_{ij}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个波周期检定点的有效波周期的示值误差，s；

$T_{(1/3)ij}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个波周期检定点测得的有效波周期，s；

$T_{0ij}$ ——检定装置在波高检定点  $i$ ，第  $j$  个波周期检定点所模拟的标准有效波周期，s。

### 2.3 海浪频率谱相对示值误差计算

按公式（8）计算海浪频率谱相对示值误差，

$$R_{fij} = (\Delta S_{f(ij)} / S_{fS(ij)}) \times 100\% \quad (8)$$

### 2.4 海浪频率谱相对倍差误差

按公式（9）计算海浪频率谱相对倍差误差，

$$R_{fik} = [R_{ik} / (H_{0ij}^2 / H_{0kj}^2)] \times 100\% \quad (9)$$

## 二、试验数据及结果分析

以国内某涉海单位生产的 1 台重力加速度式波浪浮标传感器为例，对其进行检定。

### 重力加速度式波浪浮标（传感器）检定记录表格式

|                       |                  |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 计量器具名称                | 波浪传感器            | 证书编号                  | ——               |            |       |       |       |       |       |       |
| 型号/规格                 | ——               | 出厂编号                  | ——               |            |       |       |       |       |       |       |
| 送检单位                  | ——               |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 制造单位                  | ——               |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 检定依据                  | ——               |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 外观及通电检查情况             | 符合               |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| <b>检定使用的计量（基）标准装置</b> |                  |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 名称                    | 测量范围             | 不确定度或准确度等级<br>或最大允许误差 | 计量（基）标准<br>证书编号  | 有效期至       |       |       |       |       |       |       |
| 波浪浮标检定装置              | 波高：(1~6)m        | $U=0.2\text{mm}, k=2$ | CDJc2023-02899   | 2024.05.04 |       |       |       |       |       |       |
| <b>检定使用的标准器</b>       |                  |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 名称                    | 测量范围             | 不确定度或准确度等级<br>或最大允许误差 | 证书编号             | 有效期至       |       |       |       |       |       |       |
| 钢卷尺                   | (0~15)m          | 1 级                   | FCDlj23074449    | 2024.04.29 |       |       |       |       |       |       |
| 电子秒表                  | (0~3600)s        | $\pm 0.10\text{s}$    | FDXdn24022131    | 2025.04.10 |       |       |       |       |       |       |
| 频率计                   | 10Hz~100MHz<br>z | $2.5 \times 10^{-6}$  | FDXdn23041775    | 2024.06.11 |       |       |       |       |       |       |
| <b>检定时间、地点及其环境条件</b>  |                  |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| 地点                    | 波浪浮标校准室          | 时间                    | 2024 年 04 月 14 日 |            |       |       |       |       |       |       |
| 温度                    | 20.0℃            | 相对湿度                  | 37%              |            |       |       |       |       |       |       |
| <b>检定结果</b>           |                  |                       |                  |            |       |       |       |       |       |       |
| A                     | 标准值              | 波高 $H_0$              | m                | 1.0        |       |       |       |       |       |       |
|                       |                  | 波周期 $T_0$             | s                | 25.0       | 10.3  | 6.4   | 4.7   | 3.7   | 3.0   | 2.6   |
|                       |                  | 海浪频率谱                 | $\text{m}^2/H_z$ | 0.040      | 0.097 | 0.156 | 0.213 | 0.270 | 0.333 | 0.385 |
|                       | 测量值              | 波高 $H_0$              | m                | 1.0        | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   |
|                       |                  | 波周期 $T_0$             | s                | 25.0       | 10.2  | 6.5   | 4.7   | 3.8   | 3.0   | 2.7   |
|                       |                  | 海浪频率谱                 | $\text{m}^2/H_z$ | 0.040      | 0.098 | 0.154 | 0.213 | 0.263 | 0.333 | 0.370 |
|                       | 示值误差             | 波高 $H_0$              | m                | 0.0        | -0.1  | -0.1  | -0.1  | -0.1  | -0.1  | -0.1  |
|                       |                  | 波周期 $T_0$             | s                | 0.0        | -0.1  | 0.1   | 0.0   | 0.1   | 0.0   | 0.1   |
|                       |                  | 海浪频率谱<br>对误差          | %                | 0          | 1     | -2    | 0     | -3    | 0     | -4    |

(续上表)

|  |      |           |                                     |       |       |       |       |       |       |       |
|--|------|-----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| B  | 标准值  | 波高 $H_0$  | m                                   | 3.0   |       |       |       |       |       |       |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 25.0  | 14.2  | 9.9   | 7.6   | 6.2   | 5.2   | 4.5   |
|  |      | 波高 $H_0$  | m                                   | 0.040 | 0.070 | 0.101 | 0.132 | 0.161 | 0.192 | 0.222 |
|  | 测量值  | 波周期 $T_0$ | s                                   | 2.9   | 3.0   | 3.0   | 3.0   | 3.0   | 3.0   | 2.9   |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 25.0  | 14.2  | 9.9   | 7.5   | 6.2   | 5.2   | 4.5   |
|  |      | 波高 $H_0$  | m                                   | 0.040 | 0.070 | 0.101 | 0.133 | 0.161 | 0.192 | 0.222 |
|  | 示值误差 | 波周期 $T_0$ | s                                   | -0.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | -0.1  |
|  |      | 海浪频率谱相对误差 | %                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | -0.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| C  | 标准值  | 波高 $H_0$  | m                                   | 6.0   |       |       |       |       |       |       |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 25.0  | 16.8  | 12.7  | 10.2  | 8.5   | 7.3   | 6.4   |
|  |      | 波高 $H_0$  | m                                   | 0.040 | 0.060 | 0.079 | 0.098 | 0.118 | 0.137 | 0.156 |
|  | 测量值  | 波周期 $T_0$ | s                                   | 6.0   | 6.0   | 6.0   | 5.9   | 5.9   | 6.0   | 5.9   |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 25.0  | 16.9  | 12.6  | 10.2  | 8.5   | 7.2   | 6.4   |
|  |      | 波高 $H_0$  | m                                   | 0.040 | 0.059 | 0.079 | 0.098 | 0.118 | 0.139 | 0.156 |
|  | 示值误差 | 波周期 $T_0$ | s                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | -0.1  | -0.1  | 0.0   | -0.1  |
|  |      | 海浪频率谱相对误差 | %                                   | 0.0   | 0.1   | -0.1  | 0.0   | 0.0   | -0.1  | 0.0   |
|  |      | 海浪频率谱     | $\text{m}^2/H_z$                    | 0     | -1    | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| 原始数据文件名                                    |      |           | 波浪传感器-Y0042-121\原始数据\RESULTDT-1.txt |       |       |       |       |       |       |       |
| 注：检定数据按波高分组，标以 A、B、C；波高确定后，每个波周期对应一组仪器输出值。 |      |           |                                     |       |       |       |       |       |       |       |

检定员：贾伟广

核验员：朱丽萍

### 三、结论

利用《重力加速度式波浪浮标检定规程》对波浪浮标（传感器）进行检定，检定数据表明来检仪器准确度符合一级要求，检定后仪器能满足涉海行业波浪监测技术指标要求，可有力保障测量数据的准确可靠。