



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG XXXX-XXXX

重力加速度式波浪浮标

The Gravitational Acceleration Wave Buoy

(草稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

重力加速度式波浪浮标 检定规程

JJG XXXX-XXXX

代替 JJG 1144-2017

Verification Regulation of
The Gravitational Acceleration Wave Buoy

归口单位：全国海洋专用计量器具计量技术委员会

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

本规程委托全国海洋专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

贾伟广（国家海洋标准计量中心）

程绍华（国家海洋标准计量中心）

于建清（国家海洋标准计量中心）

陈宇东（自然资源部厦门海洋中心）

付 晓（山东省科学院海洋仪器仪表研究所）

赵士伟（中国人民解放军 32217 部队）

孙云鹏（中国人民解放军 32217 部队）

目录

| | |
|-----------------------|----|
| 引言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 引用文件 | 1 |
| 3 术语和计量单位 | 1 |
| 3.1 海浪谱 | 1 |
| 3.2 海浪频率谱 | 1 |
| 3.3 重力加速度式波浪传感器 | 1 |
| 3.4 重力加速度式波浪浮标 | 1 |
| 3.5 有效波波高 | 1 |
| 3.6 有效波周期 | 1 |
| 3.7 1/10 大波波高 | 2 |
| 3.8 1/10 大波周期 | 2 |
| 3.9 最大波高 | 2 |
| 3.10 最大波周期 | 2 |
| 3.11 平均波高 | 2 |
| 3.12 平均周期 | 2 |
| 4 概述 | 2 |
| 5 计量性能要求 | 3 |
| 6 通用技术要求 | 3 |
| 6.1 波浪浮标 | 3 |
| 6.2 波浪传感器 | 3 |
| 7 计量器具控制 | 4 |
| 7.1 检定条件 | 4 |
| 7.2 检定项目 | 4 |
| 7.3 检定方法 | 5 |
| 7.4 检定结果的处理 | 12 |
| 7.5 检定周期 | 12 |
| 附录 A | 13 |
| 附录 B | 15 |
| 附录 C | 16 |

引言

JJF 1002-2010《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成本规程修订工作的基础性系列规范。主要参考 GB/T 14914.3-2021 海洋观测规范 第 3 部分：浮标潜标观测等技术规范。

本规程顺应重力加速度式波浪浮标和波浪传感器的技术发展趋势，满足检定工作现实需求，对 JJG 1144-2017 版进行修订。与 JJG 1144-2017 版相比，除编辑性修订外，主要技术变化如下：

——增加了术语和定义内容，新增“海浪谱”、“海浪频率谱”术语（见 3.1、3.2）；

——增加了概述中内容，新增波浪浮标采集波面变化序列原理（见图 1）和波浪模拟装置工作原理示意（见图 2）；

——增加了计量性能要求内容，新增“海浪频率谱相对误差”、“海浪频率谱倍差相对误差”（见表 1）；

——增加了计量标准器内容，新增“激光测距仪”、“磁致伸缩位移传感器”计量标准器（见 7.1.1）；

——增加了检定项目，新增“海浪频率谱误差”“海浪频率谱倍差”检定项目（见 7.2）；

——增加了“海浪频率谱相对误差”（见 7.3.3）和“海浪频率谱倍差相对误差”（见 7.3.4）的检定方法；

——增加了数据处理内容，新增了“海浪频率谱”计算方法（见 7.3.3.4），新增了“海浪频率谱相对误差”计算方法（见 7.3.3.5），新增了“海浪频率谱倍差相对误差”计算方法（见 7.3.4）；

——修订了检定结果的处理内容，增加了海浪频率谱误差处理措施（见 7.4）；

——修订了检定记录表格式、检定证书内页信息及格式和检定结果通知书内页信息及格式（见附录 A、附录 B、附录 C）；

——本规程中所述波高、波周期、有效波波高和海浪频率谱等概念均符合 GB/T 15920-2010《海洋学术语物理海洋学》中的定义。

本规程历次版本发布情况为：——JJG 1144-2017。

重力加速度式波浪浮标检定规程

1 范围

本规程适用于重力加速度式波浪浮标（以下简称波浪浮标）和重力加速度式波浪传感器（以下简称波浪传感器）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

GB/T 15920-2010 海洋学术语 物理海洋学（引用术语）

GB/T 14914.3-2021 海洋观测规范 第3部分：浮标潜标观测

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和计量单位

GB/T 15920-2010《海洋学术语物理海洋学》中界定的以及下列术语和定义适用于本规程。

3.1 海浪谱

描述海浪内部能量相对于组成波的频率和方向分布的结构模式，又可分为频率谱和方向谱。

3.2 海浪频率谱

反映海浪内部能量相对于组成波的频率分布的海浪谱。不考虑海浪能量的方向属性，计量单位 m^2/Hz 。

3.3 重力加速度式波浪传感器

采用重力加速度计及相关测算原理，对海洋波浪进行测量，可输出波高、波周期、海浪谱等要素数据的独立工作单元。

3.4 重力加速度式波浪浮标

内置了重力加速度式波浪传感器，可测量波浪的波高、波周期和波向等参数，并可计算得出频谱和方向谱等频谱参数的浮标系统。

3.5 有效波波高

1/3 大波波高。将某一时段连续测得的波高序列从大到小排列，取排序后前 1/3 波高的平均值，计量单位 m 。

3.6 有效波周期

有效波各波高对应波周期的平均值，计量单位 s 。

3.7 1/10 大波波高

将某一时段连续测得的波高序列从大到小排列，取排序后前 1/10 波高的平均值，计量单位 m。

3.8 1/10 大波周期

1/10 大波各波高对应波周期的平均值，计量单位 s。

3.9 最大波高

某一时段连续测得的波高的最大值，计量单位 m。

3.10 最大波周期

最大波高对应的波周期，计量单位 s。

3.11 平均波高

某一时段连续测得的所有波高的平均值，计量单位 m。

3.12 平均周期

平均波高各对应的波周期的平均值，计量单位 s。

4 概述

波浪浮标内置了波浪传感器、数据采集处理器、信号发射机和电源，测量波浪的波高、波周期、波向等参数。波浪传感器内安装加速度计，加速度计随波面升降测量竖直加速度信号，经二次积分后得到波面起伏的位移信号，将该信号进行模数转换和计算处理后就可以得到波高特征值。一般采用跨零点法采集波周期特征值，并且与波高特征值采集同步完成。形成波高、波周期的波浪数据对，然后将波浪数据对按波高数值大小降序处理，波浪浮标采集波面变化曲线示意如图 1 所示。常见波浪时域特征值有：最大波高和最大波周期，十分之一大波波高和十分之一大波周期，有效波波高和有效波周期，平均波高和平均周期。

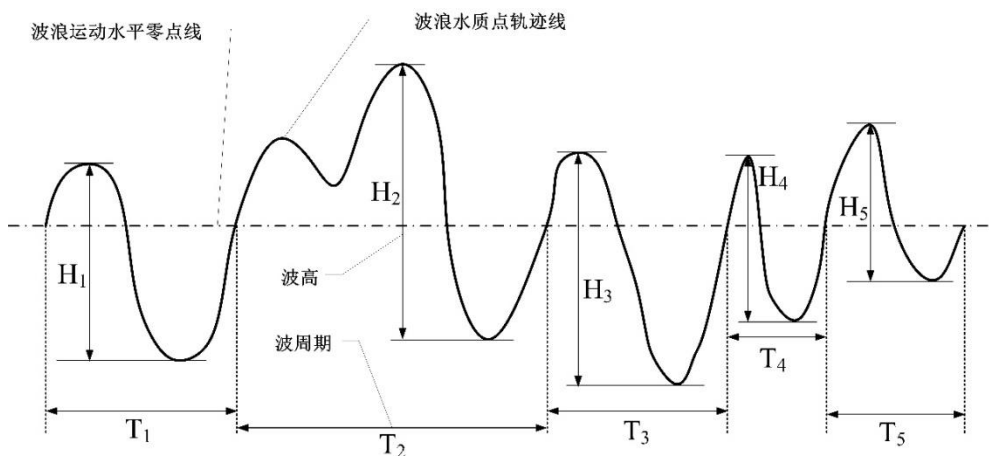


图 1 波浪浮标采集波面变化曲线示意图

5 计量性能要求

波浪浮标和波浪传感器的有效波波高、有效波周期的最大允许误差，以及海浪频率谱相对误差、海浪频率谱倍差相对误差应满足表 1 要求。

表 1 波浪浮标和波浪传感器的的准确度等级与示值误差

| 准确度等级 | 有效波波高最大允许误差 m | 有效波周期最大允许误差 s | 海浪频率谱相对误差 % | 海浪频率谱倍差相对误差 % |
|-------|--|------------------|---------------------------|---------------------------|
| 一级 | $\pm 5\% \times \text{测量值}$, (1~6) m | ± 0.5 | ± 10 , (0.03~0.38) Hz | ± 10 , (0.03~0.16) Hz |
| 二级 | $\pm 10\% \times \text{测量值}$, (1~6) m | ± 0.5 | ± 20 , (0.03~0.38) Hz | ± 20 , (0.03~0.16) Hz |
| 三级 | $\pm 15\% \times \text{测量值}$, (1~6) m | ± 0.5 | ± 30 , (0.03~0.38) Hz | ± 30 , (0.03~0.16) Hz |

6 通用技术要求

6.1 波浪浮标

6.1.1 外观

6.1.1.1 新出厂的波浪浮标的外壳表面漆层、镀层应均匀光滑，无明显划痕、碰伤、锈蚀和爆皮等现象。使用中的波浪浮标可放宽要求，应无影响仪器计量性能的外观缺陷。

6.1.1.2 波浪浮标的天线应无折断，锚灯应无损坏。

6.1.1.3 波浪浮标各旋钮、按键、开关应准确定位，无松动现象。

6.1.2 通电检查

对波浪浮标通电，进行功能检查。波浪浮标的锚灯应能正常闪亮，应能正常测量、接收和存储数据。

6.2 波浪传感器

6.2.1 外观

6.2.1.1 波浪传感器应无影响其计量性能的外观缺陷。

6.2.1.2 波浪传感器电源线、数据存储卡应齐全，各指示灯应能正常闪亮，数据卡插口无变形。

6.2.1.3 波浪传感器应有铭牌，各标志应清晰、不可擦除，标有制造厂名(或厂标)、型号、出厂编号。

6.2.2 通电检查

对波浪传感器通电，进行功能检查，应能正常测量、接收和存储数据。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 计量标准器

波高计量标准器有 3 种：激光测距仪、磁致伸缩位移传感器和钢卷尺，可根据受检计量器具波高技术性能，选一种；波周期计量标准器有 2 种：频率计和电子秒表，可根据受检计量器具波周期技术性能，选一种。技术指标要求见表 2。

表 2 计量标准器的技术指标

| 计量标准器名称 | | 测量范围 | 准确度等级/最大允许误差 | 适用准确度等级 |
|---------|-----------|---------------|------------------------|----------|
| 波高标准器 | 激光测距仪 | (0~10) m | ±1.5 cm | 一级、二级、三级 |
| | 钢卷尺 | (0~15) m | 二级 | 一级、二级、三级 |
| | 磁致伸缩位移传感器 | (0~6) m | ±2 cm | 二级、三级 |
| 波周期标准器 | 频率计 | 10 Hz~100 MHz | ±1×10 ⁻⁵ Hz | 一级、二级、三级 |
| | 电子秒表 | (0~3600) s | ±0.1 s/h | 一级、二级、三级 |

7.1.2 配套设备

配套设备为波浪模拟装置（以下简称为模拟装置），开展检定时，将受检波浪浮标或波浪传感器安装在模拟装置上，模拟装置运转时，能够实时保持仪器正面竖直向上的姿态，可为仪器提供竖直方向的正弦曲线轨迹。正弦曲线轨迹的波高和波周期可以设置，波高范围（1~6）m，波周期范围（2~40）s，波浪频率范围（0.025~0.5）Hz。模拟装置有效载荷要求不低于 180kg。

7.1.3 环境条件

7.1.3.1 环境温度：（5~35）℃；

7.1.3.2 相对湿度：≤85%。

7.2 检定项目

检定项目见表 4。

表 4 检定项目一览表

| 序号 | 检定项目 | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检查 |
|----|-----------|------|------|-------|
| 1 | 外观及通电检查 | + | + | + |
| 2 | 波高示值误差 | + | + | + |
| 3 | 波周期示值误差 | + | + | + |
| 4 | 海浪频率谱相对误差 | * | * | * |

| | | | | |
|------------------------|-------------|---|---|---|
| 5 | 海浪频率谱倍差相对误差 | * | * | * |
| 注：“+”表示应检项目，“*”表示选检项目。 | | | | |

7.3 检定方法

7.3.1 外观及通电检查

用目测和手动方式检查波浪浮标或波浪传感器。外观及通电检查应分别符合本规程 6.1 和 6.2 的规定。检查不合格的，应停止检定，并判定该仪器不合格。后续检定和使用中检查则允许仪器有不影响计量性能的外观缺陷。

7.3.2 波高、波周期示值误差

模拟装置带动受检波浪浮标（传感器）做波浪起伏运动，受检波浪浮标（传感器）测量得到波高和波周期数据，与此同时，采用激光测距仪、频率计等计量标准器，分别获得标准波高、标准波周期数据，经过数据处理后，完成波高、波周期示值误差检定工作，工作原理如图 2 所示。

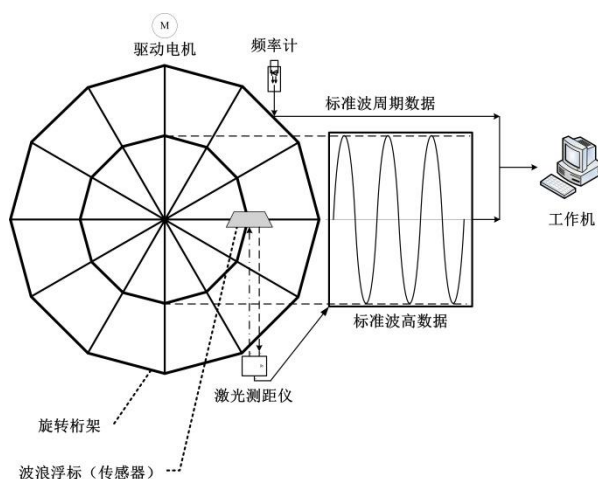


图 2 波高、波周期示值误差检定工作示意图

实际应用中，还可将波浪传感器集成到其他仪器或平台上（如竖直导轨升降运动平台、试验船），测量海浪并输出波浪数据。

7.3.2.1 选定波高、波周期检定点

在模拟装置工作时，波高和波周期检定工作同时完成，形成多组波浪数据对（波高，波周期）。一般包含 3 个波高检定点，每个波高检定点设置 7 个波周期检定点，具体过程如下：

- (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 7 个波周期检定点。各波周期检定点的选

取按公式（1）计算。

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

式中：

$i = 1, 2, \dots, 7$ ——表示波周期检定点的数量；

$T_0(i)$ ——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 $T_{\max} > 30s$ 时，取 $T_{\max} = 30s$ 。

（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 ——重力加速度值。

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

$H_0 = 1.00m$ 时， $T_{\min} = 2.6s$ ；

$H_0 = 3.00m$ 时， $T_{\min} = 4.5s$ ；

$H_0 = 6.00m$ 时， $T_{\min} = 6.4s$ 。

7.3.2.2 安装固定受检仪器

按照波高检定点，将波浪浮标或波浪传感器等受检仪器安装在模拟装置上，确保安全稳固，同时调整模拟装置的功能模块，使波浪浮标或波浪传感器随模拟装置运动时始终保持竖直向上姿态。

7.3.2.3 调整动平衡

调整模拟装置，使之平衡。如果是通过匀速圆周旋转模拟正弦曲线的模拟装置，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。

7.3.2.4 启动运行

将波高检定点、波周期检定点、装置运行时间等参数依次置入模拟装置的控制系統，启动装置运行。

7.3.2.5 采集波浪特征值

模拟装置进入匀速转动状态，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一组波高、波周期值，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) 当模拟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，认为模拟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，模拟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，可提前结束模拟装置的运行。

7.3.2.6 数据处理

7.3.2.6.1 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 (3) 计算。

$$\Delta H_{(ij)} = H_{(1/3)(ij)} - H_{0(ij)} \quad (3)$$

式中：

$i = 1, 3, 6; j = 1, 2, \dots, 7$ ——*i*表示标准波高检定点，*j*表示波周期检定点的数量；

$\Delta H_{(ij)}$ ——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；

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

7.3.2.6.2 有效波周期示值误差

在每个波高检定点*i*，对应进行 3~7 个波周期示值误差检定，有效波周期示值误差按公式 (4) 计算。

$$\Delta T_{(ij)} = T_{(1/3)(ij)} - T_{0(ij)} \quad (4)$$

式中：

$i = 1, 3, 6; j = 1, 2, \dots, 7$ ——*i*表示标准波高检定点，*j*表示波周期检定点的数量；

$\Delta T_{(ij)}$ ——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；

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

7.3.3 海浪频率谱相对误差

模拟装置带动受检波浪浮标（传感器）做波浪起伏运动。波浪浮标（传感器）测得波面序列数据，对序列数据进行相关函数法、周期图法等频域变换，或者进行最大似然法其他机理的频域变换，获得海浪频率谱数据。与此同时，模拟装置采用激光测距仪、频率计等计量标准器，分别获得每一个波浪模拟过程中的标准波高、标准波周期数据，对标准数据进行傅里叶变换处理后，得到海浪频率谱标准数据。最后进行数据处理后，可得到海浪频率谱相对误差。

7.3.3.1 选定海浪频率谱检定点

海浪频率谱检定点包含两个要素，一个要素是波高，可分为3个检定点；另一个要素是波浪频率，采纳 GB/T 14914.3-2021《海洋观测规范 第3部分：浮标潜标观测》频段划分规定，每个波高检定点设置3~7个频率检定点，具体过程如下：

(1) 3个波高检定点应包含1.00 m、3.00 m、6.00 m。

(2) 确定不同波高检定点时的海浪频率范围

在3个波高检定点，海浪频率谱最小频率相同，均为 $f_{min} = \frac{1}{T_{max}} = 0.03 \text{ Hz}$ 。

当波高设定点变化时，海浪频率谱最大频率 f_{max} 会不同， f_{max} 和波浪周期 T_{min} 关系如式（3）所示。

$$f_{max} = \frac{1}{T_{min}} \quad (5)$$

分别如下：

$H_{01} = 1.00\text{m}$ 时， $f_{max1} = 0.38\text{Hz}$ ，此时模拟海浪频率范围为（0.03~0.38）Hz；

$H_{03} = 3.00\text{m}$ 时， $f_{max3} = 0.22\text{Hz}$ ，此时模拟海浪频率范围为（0.03~0.22）Hz；

$H_{06} = 6.00\text{m}$ 时， $f_{max6} = 0.16\text{Hz}$ ，此时模拟海浪频率范围为（0.03~0.16）Hz。

(3) 在每个波高检定点处，先确定频率检定点数量，然后均匀选取各频率检定点。以1.00m波高、3个频率检定点为例，选取的海浪频率谱检定点分别为（1.00m，0.03Hz）、（1.00m，0.20Hz）、（1.00m，0.38Hz）。

7.3.3.2 模拟过程

在模拟装置上固定受检仪器，调整动平衡，设定模拟装置旋转周期（为频率检定点倒数），启动模拟装置后 10s 内，模拟装置进行匀速圆周转动状态，模拟波浪水质点运动，受检仪器做二维垂直平面起伏运动，根据受检仪器工作时长确定模拟装置运动时长，采纳 GB/T 14914.3-2021《海洋观测规范 第 3 部分：浮标潜标观测》观测时间时长规定，模拟装置单次运动时长一般不短于 1024s。

7.3.3.3 采集波面序列并计算海浪频率谱

模拟装置进入匀速转动状态，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采集波面序列值，经过运算后输出海浪频率谱数据。模拟装置同步采集波面序列值，依据奈奎斯特采样定律，采集频率 $f_s \geq 2f_{\max 1}$ ，采集数量 $N \geq 1024f_s$ ，采集结束后，进行离散傅里叶变换，获得海浪频率谱标准数据。

注：

(1) 当模拟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，认为模拟装置进入匀速运转状态。

(2) 受检仪器采集时长超过 1020s 时，可适当延长模拟装置工作时长，并相应增大模拟装置同步采集波面序列值的数量。

7.3.3.4 海浪频率谱示值误差计算

$h(t)$ 是模拟装置波面运动模拟信号，表达式如式 (6) 所示

$$h(t) = H \cos(f_s n + \theta) \quad (6)$$

式中：

H ——表示有效波高，m；

f_s ——表示采集频率，Hz；

θ ——表示 0 到 2π 之间均匀分布的随机相位。

n ——表示采样次序，是整数。

按公式(7)对 $h(t)$ 进行等间隔采样，采样间隔为 $T = \frac{1}{f_s}$ ，可得波面序列值 $h(nT)$ ，简记为 $h_a(n)$

$$h(t)|_{t=nT} = h(nT) = h\left(n \frac{1}{f_s}\right) \stackrel{\text{记作}}{\implies} h_a(n) \quad (7)$$

式中：

n 表示采样次序，是整数。

$h_a(n)$ 的自相关函数 $\hat{r}_{hh}(l)$ 按公式 (8) 计算，

$$\hat{r}_{hh}(l) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|l|-1} h_a^*(n) h_a(n+l) \quad (8)$$

式中：

$h_a^*(n)$ —— $h_a(n)$ 的复共轭序列；

N 为采集总数，是整数；
 n 表示采样次序，是整数， $0 \leq n \leq N$ ；
 l 表示运算中间变量，为整数。

按公式（9）对 $\hat{r}_{hh}(l)$ 进行傅里叶变换，得到频率 f 时的 N 点海浪频率谱为

$$Q_f = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \hat{r}_{hh}(l) e^{-j2\pi fl} \quad (9)$$

式中：

f ——表示模拟装置提供的波面运动模拟信号频率，Hz；
 l 表示运算中间变量，为整数。

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 $Q_{fS(ij)}$ ，海浪频率谱示值误差按公式（10）计算。

$$\Delta Q_{f(ij)} = Q_{f(ij)} - Q_{fS(ij)} \quad (10)$$

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号；
 $\Delta Q_{f(ij)}$ ——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， m^2/Hz ；

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

$Q_{fS(ij)}$ ——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， m^2/Hz 。

7.3.3.5 海浪频率谱相对误差计算

按公式（11）计算海浪频率谱相对误差，

$$R_{f(ij)} = [\Delta Q_{f(ij)} / Q_{fS(ij)}] \times 100\% \quad (11)$$

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号；
 $R_{f(ij)}$ ——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相对误差；

$\Delta Q_{f(ij)}$ ——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， m^2/Hz ；

$Q_{fS(ij)}$ ——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， m^2/Hz 。

7.3.4 海浪频率谱倍差相对误差

对式（9）进行推导后，可知海浪频率谱 Q_f 与有效波高的平方成正比，如式（12）所示，

$$Q_f = \frac{H^2}{2} \pi \delta(f) \quad (12)$$

式中：

H ——表示有效波高，m；

Q_f ——海浪频率谱， m^2/Hz ；

$\delta(f)$ ——表示单位采样脉冲序列，当且仅当频率 f 位于检定频率点时，

$\delta(f) = 1$ ，否则， $\delta(f) = 0$ 。

可知，在进行海浪频率谱检定时，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。

7.3.4.1 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。

7.3.4.2 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。

7.3.4.3 采集波面序列并计算海浪频率谱

波浪浮标或波浪传感器测量海浪频率谱数据过程与7.3.3.3相同，模拟装置获得海浪频率谱标准数据过程与7.3.3.4相同。

7.3.4.4 海浪频率谱倍差

按公式（13）计算波高检定点 i 与波高检定点 k 的海浪频率谱倍差

$$R_{(ik)} = \frac{Q_{f(ij)}}{Q_{f(kj)}} \quad (13)$$

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，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，海浪频率谱倍差值；

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

$Q_{f(kj)}$ ——波浪浮标或波浪传感器在波高检定点 k ，第 j 个频率检定点测得的海浪频率谱， m^2/Hz 。

7.3.4.5 海浪频率谱倍差相对误差

按公式（14）计算海浪频率谱倍差相对误差，

$$R_{f(ik)} = [R_{(ik)} / (H_{0(ij)}^2 / H_{0(kj)}^2)] \times 100\% \quad (14)$$

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，m；

$j = 1, 2, \dots, 7$ ——表示频率检定点的数量；

$R_{f(ik)}$ ——表示波浪浮标或波浪传感器在第 j 个频率检定点、波高检定点 i 和 k 时，海浪频率谱倍差相对误差；

$H_{0(ij)}$ ——模拟装置在波高检定点 i ，第 j 个频率检定点的标准有效波波高，m。

$H_{0(kj)}$ ——模拟装置在波高检定点 k ，第 j 个频率检定点的标准有效波波高，m。

7.4 检定结果的处理

所有有效波高的示值误差、有效波周期的示值误差、海浪频率谱相对误差和海浪频率谱倍差相对误差均应满足表 1 的要求，并根据表 1 的规定对波浪浮标或波浪传感器的准确度等级进行划分。任一波高检定点的有效波高示值误差或有效波周期示值误差或海浪频率谱相对误差或海浪频率谱倍差相对误差不符合表 1 的要求，则计量性能视为不符合本规程规定。

经检定的波浪浮标或波浪传感器，其外观及通电检查和计量性能均符合本规程的规定为合格，并出具检定证书。首次检定合格的仪器，应注明“首次送检”的内容。

外观及通电检查和计量性能有一项不符合本规程的规定，判定波浪浮标或波浪传感器不合格，出具检定结果通知书，并注明不合格项目和内容。

7.5 检定周期

波浪浮标或波浪传感器的检定周期一般不超过 1 年。凡在使用过程中经过修理的，均需重新检定。

附录 A

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 | | | | 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 | | | | | | | | | | |
| 检定使用的计量（基）标准装置 | | | | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度或准确度等级 或最大允许误差 | | | 计量（基）标准 证书编号 | 有效期至 | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 检定使用的标准器 | | | | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度或准确度等级 或最大允许误差 | | | 证书编号 | 有效期至 | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 检定时间、地点及其环境条件 | | | | | | | | | | |
| 地点 | | | | 时间 | 年月日 | | | | | |
| 温度 | ℃ | | | | 相对湿度 | % | | | | |
| 检定结果 | | | | | | | | | | |
| A | 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 测量值 | 波高 H0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 示值误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 相对误差 R_f | % | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 相对误差 | % | | | | | | | |

(续上表)

| | | | | | | | | | | |
|--|------|---------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|
| B | 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fC} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 测量值 | 波高 H0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fS} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 示值误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 相对误差 R_f | % | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 相对误差 | % | | | | | | | |
| C | 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fC} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 测量值 | 波高 H0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 S_{fS} | m^2/H_z | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | | |
| | 示值误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | | |
| | | 波周期 T_0 | s | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱 相对误差 R_f | % | | | | | | | |
| | | 海浪频率谱倍差 相对误差 | % | | | | | | | |
| 原始数据文件名 | | | | | | | | | | |
| 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

核验员

附录 B

检定证书内页信息及格式

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------|------|--|--|--|--|
| 证书编号: ×××× | | | | | | | | |
| 检定使用的计量(基)标准装置 | | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度或准确度等级或最大允许误差 | 计量(基)标准证书编号 | 有效期至 | | | | |
| | | | | | | | | |
| 检定使用的标准器 | | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | 证书编号 | 有效期至 | | | | |
| | | | | | | | | |
| 检定地点及其环境条件 | | | | | | | | |
| 地点: | 环境温度: °C | 相对湿度: % | | | | | | |
| 检定结果 | | | | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_z | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | | |

附录 C

检定结果通知书内页信息及格式

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------|------|--|--|--|
| 证书编号: ××××× | | | | | | | |
| 检定使用的计量(基)标准装置 | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度或准确度等级或最大允许误差 | 计量(基)标准证书编号 | 有效期至 | | | |
| 检定使用的标准器 | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | 证书编号 | 有效期至 | | | |
| 检定地点及其环境条件 | | | | | | | |
| 地点: | | 环境温度: °C | 相对湿度: % | | | | |
| 检定结果 | | | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | |
| 标准值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fc} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 测量值 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱 S_{fs} | m^2/H_s | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差 | 无量纲 | | | | | |
| 误差 | 波高 H_0 | m | | | | | |
| | 波周期 T_0 | s | | | | | |
| | 海浪频率谱相对误差 R_f | % | | | | | |
| | 海浪频率谱倍差相对误差 | % | | | | | |

检定不合格项目和内容:

第×页

共×页