

# 天津市地方计量技术规范

JJF (津) XXX-XXXX

## 电容式波高仪校准规范

Calibration Regulation for Capacitive Wave Height Meter

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

# 电容式波高仪校准规范

Calibration Regulation for  
Capacitive Wave Height Meter

JJF(津) XXX-XXXX

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：交通运输部天津水运工程科学研究所

参加起草单位：天津水运工程勘察设计院有限公司

**本规范主要起草人：**

高术仙（交通运输部天津水运工程科学研究所）

栗克国（交通运输部天津水运工程科学研究所）

柳义成（交通运输部天津水运工程科学研究所）

**参加起草人：**

李志飞（天津水运工程勘察设计院有限公司）

赵昊旭（天津水运工程勘察设计院有限公司）

陈允约（交通运输部天津水运工程科学研究所）

张明敏（交通运输部天津水运工程科学研究所）

# 目 录

引言 .....	(II)
1 范围 .....	(1)
2 概述 .....	(1)
3 计量特性 .....	(1)
4 校准条件 .....	(2)
4.1 环境条件 .....	(2)
4.2 计量标准器及配套设备 .....	(2)
5 校准项目和校准方法 .....	(2)
5.1 校准前说明 .....	(2)
5.2 校准前准备 .....	(2)
5.3 零点漂移 .....	(2)
5.4 线性度 .....	(3)
5.5 示值误差 .....	(4)
6 校准结果表达 .....	(4)
7 复校时间间隔 .....	(5)
附录 A 电容式波高仪校准原始记录格式(推荐) .....	(6)
附录 B 电容式波高仪校准证书内页格式(推荐) .....	(8)
附录 C 示值误差的测量不确定度评定示例 .....	(10)

## 引 言

本规范依据 JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001 《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考了 JTS 238-2016 《水运工程试验检测仪器设备标准》等相关技术文件。

本规范为首次发布。

# 电容式波高仪校准规范

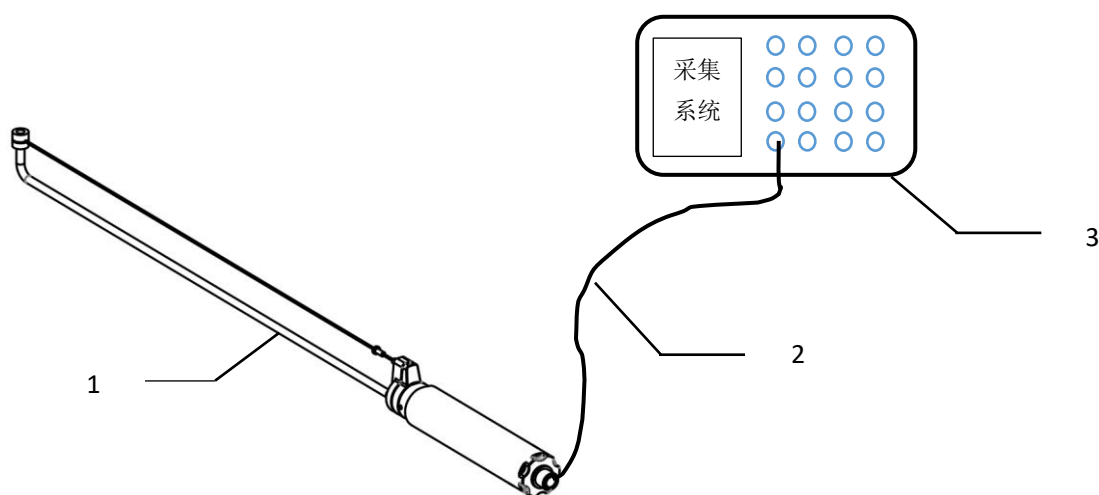
## 1 范围

本规范适用于电容式波高仪的校准。

## 2 概述

电容式波高仪广泛应用于水工模型、河道、水库、湖泊、港口或码头进行实时在线与离线监测。

电容式波高仪一般由电容式波高仪传感器、连接线缆和数据采集系统组成，结构示意图见图1。



1-电容式波高传感器；2-连接线缆；3-数据采集系统

图1 电容式波高仪结构示意图

电容式波高仪传感器是用有均匀绝缘层的导线制成，导线与水分别为两极，组成圆柱形电容。传感器淹没的深度随水面波动而变化，与之成正比的电容量变化经转换和放大后，所输出的电压或电流即反映了水面波动状况。

## 3 计量特性

3.1 零点漂移：在 2h 内零点漂移最大允许误差为 $\pm 3\%$ 。

3.2 线性度：在测量范围内线性度： $\pm 2\%$ 。

3.3 示值误差：最大允许误差为 $\pm 0.5\% \text{ F}\cdot\text{S}$ 。

注：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

## 4 校准条件

### 4.1 环境条件

4.1.1 环境温度：（15~30）℃。

4.1.2 相对湿度：≤90%。

4.1.3 水温：（15~25）℃。

4.1.4 周围无影响电容式波高仪正常工作的机械振动、电磁干扰等。

### 4.2 计量标准器及配套设备

4.2.1 水位传感器：测量范围应覆盖 0~1 m，最大允许误差±0.1% F·S。

4.2.2 波高传感器率定水槽：水位自动调节范围应覆盖 0~1 m，水温波动不超过±1℃/h。

## 5 校准项目和校准方法

### 5.1 校准前说明

对于可直接输出波高值的电容式波高仪，可跳过步骤 5.4。

### 5.2 校准前准备

检查仪器外观和相互作用，在没有影响校准计量性能的因素后将电容式波高传感器垂直放置于率定水槽上，按照使用说明书要求将电容式波高仪数据采集系统通道与电容式波高传感器编号一一对应安装。

### 5.3 零点漂移

将波高传感器率定水槽调节到 20 cm 水位，将电容式波高仪垂直放置在率定水槽上，测量时长不少于 20 s，采样频率不低于 10 Hz，记录测量时段内电容式波高仪初始输出信号的平均值  $x_0$ ，持续观测 2 h，每隔 20 min 记录电容式波高仪输出信号的平均值  $x_i$ ，按式（1）计算零点漂移  $\Delta x_i$ ，取绝对值最大的  $\Delta x_i$  为电容式波高仪的零点漂移。

$$\Delta x_i = \frac{x_i - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\Delta x_i$  ——电容式波高仪在 20 cm 处的漂移相对示值误差；

- $x_0$  ——电容式波高仪在20 cm处的示值稳定后输出信号的平均值；  
 $x_i$  ——电容式波高仪在20 cm处中间隔一段时间后输出信号的平均值；  
 $i$  ——各测量点的序数。

#### 5.4 线性度

a) 将水位传感器和电容式波高仪波高传感器垂直放置在率定水槽上，调节到满量程水位，并保持十分钟以上直至水位平稳；

b) 在电容式波高仪满量程范围内均匀选取 8 个校准点，每个校准点测量 3 次，以测得的上限为起点，按顺序分别记录在每个校准点处的水位传感器的水位值  $y_j$  和电容式波高仪的信号输出平均值  $x_j$ ；

c) 对电容式波高仪信号输出平均值  $x_j$  与水位传感器的水位值  $y_j$  按式 (2) 进行线性拟合，得到电容式波高仪在第  $j$  个校准点处输出量值拟合值  $\tilde{y}_j$ ；

$$\tilde{y}_j = y_0 + kx_j \quad (2)$$

式中：

$y_j$  ——水位传感器在第  $j$  个校准点处测量的水位值，cm；

$x_j$  ——被校准电容式波高仪在第  $j$  个校准点处的信号输出平均值，mA或mV；

$\tilde{y}_j$  ——被检电容式波高仪在第  $j$  个校准点处输出量值拟合值，cm；

$k$  ——斜率，cm/mA或 (cm/mV)；

$y_0$  ——截距，cm；

$j$  ——各校准点的序数。

d) 按式 (3) 计算电容式波高仪各校准点的线性度  $\gamma_j$ ，取各  $j$  点中绝对值最大的作为线性度校准结果。

$$\gamma_j = \frac{y_j - \tilde{y}_j}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\gamma_j$  ——电容式波高仪的幅值线性度；

$Y_{FS}$  ——满量程输出，cm。



## 5.5 示值误差

a) 按照6.3 b)的要求分别记录水位传感器的水位值  $y_j$  和电容式波高仪的信号输出平均值  $x_j$ ;

b) 根据式(2)计算得到电容式波高仪的输出量值拟合值  $\tilde{y}_j$ ;

c) 按式(4)计算水位传感器水位值  $y_j$  与电容式波高仪的输出量值拟合值  $\tilde{y}_j$  的差值作为示值误差  $\Delta h$ , 取示值误差中绝对值最大值作为示值误差测量结果。

$$\Delta h = \tilde{y}_j - y_j \quad (4)$$

式中:

$\Delta h$ ——电容式波高仪的波高示值误差。

## 6 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书应包括以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点;
- d) 校准证书编号, 页码及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校仪器的制造单位、名称、型号及编号;
- g) 校准单位校准专用章;
- h) 校准日期;
- i) 校准所依据的技术规范名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准时的环境温度、相对湿度;
- l) 校准结果及其测量不确定度;
- m) 对校准规范的偏离的说明(若有);
- n) “校准证书”的校准人、核验人、批准人签名及签发日期;
- o) 校准结果仅对被校仪器本次测量有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 部分复制证书或报告无效的声明。

## 7 复校时间间隔

仪器的复校时间间隔由用户自定，建议不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。如果对仪器的性能有怀疑或仪器更换重要部件及修理后应对仪器重新校准。

## 附录 A

## 电容式波高仪校准原始记录格式(推荐)

委托单位: \_\_\_\_\_ 证书编号: \_\_\_\_\_

仪器名称: \_\_\_\_\_ 仪器型号: \_\_\_\_\_

生产厂家: \_\_\_\_\_ 出厂编号: \_\_\_\_\_

校准日期: \_\_\_\_\_ 校准地点: \_\_\_\_\_

校准环境温度: \_\_\_\_\_ 相对湿度: \_\_\_\_\_

校准依据: \_\_\_\_\_

校准用计量器具及配套设备:

名称	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	有效期至

## A.1 零点漂移

$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$\Delta x_j$

## A.2 线性度和波高示值误差

测量范围 cm	校准点水位传感器读数 cm		电容式波高仪的信号输出值			波高拟合值 cm	线性度	波高示值误差 cm	不确定度 ( $k=2$ )
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						
	算术平均值		算术平均值						

校准员：\_\_\_\_\_

核验员：\_\_\_\_\_

## 附录 B

## 电容式波高仪校准证书内页格式（推荐）

证书编号××××-××××				
校准机构授权说明				
校准所依据的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点：				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
校准使用的主要标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	检定/校准证书编号	有效期至
第×页共×页				

证书编号××××-××××

## 校准结果

## 1. 零点漂移

零点漂移为\_\_\_\_\_。

## 2. 线性度和波高示值误差

测量范围 cm	校准点水位传 感器读数 cm	波高拟合 值 cm	线性度	波高示值 误差 cm	测量不确定度 ( $k=2$ )

线性度为\_\_\_\_\_

波高示值误差为\_\_\_\_\_，测量不确定度 ( $k=2$ ) \_\_\_\_\_。

以下空白

第×页 共×页

## 附录 C

## 示值误差的测量不确定度评定示例

## C.1 概述

测量方法：电容式波高仪的校准是通过与水位传感器测量的水位值相比较的方法来实现。

## C.2 测量模型

$$\Delta h = h_1 - h_2 + h_3 \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta h$ ——波高示值误差；

$h_1$ ——电容式波高仪波高测量拟合值，cm；

$h_2$ ——水位传感器测量的水位值，cm；

$h_3$ ——电容式波高仪安装误差，cm。

波高示值误差测量过程引入的不确定度主要为标准器引入的不确定度、电容式波高仪重复测量和安装引入的不确定度。

## C.3 标准不确定度

## C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度

此测量不确定度为被校准设备所引入的测量不确定度，主要影响因素为测量重复性所引入的测量不确定度分量。在测量不确定度评价的过程中，采用（0~60）cm 测量范围的电容式波高仪的 40cm 左右点位时的测量重复性作为代表性数据开展测量不确定度的评价，具体数据见表 C.1。

表 C.1 40cm 时电容式波高仪重复性测量数据 cm

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	40.260	40.646	40.603	40.562	40.383	40.277	40.612	40.615	40.471	40.574

采用测量不确定度的 A 类评定方法计算标准不确定度，使用贝塞尔公式计算标准偏差，计算算术平均值的测量不确定度。电容式波高仪水位测量数据的标准偏差  $s=0.145\text{cm}$ ，

水位测量重复性所引入的测量不确定度为  $u(h_1) = s / \sqrt{10} = 0.05\text{cm}$ 。

### C.3.2 水位传感器引入的标准不确定度

标准溶液引入的相对标准不确定度主要来源于硫化物溶液标准物质认定值和溶液标准物质稀释。

水位传感器选用磁致伸缩液位计。根据标准器在全量程最大允许误差为  $\pm 0.1\% \text{ F}\cdot\text{S}$ ，在  $40.679\text{cm}$  处，最大允许误差为  $\pm 0.06 \text{ cm}$ ，设为均匀分布，按不确定度的 B 类评定方法，有：

$$u(h_2) = \frac{0.006\text{cm}}{\sqrt{3}} = 0.004\text{cm} \quad (\text{C.2})$$

### C.3.3 安装偏差引入的标准不确定度

安装时，将磁致伸缩液位计水平安装于波高传感器率定水槽的上方。此种安装方式可能由于波高传感器率定水槽上方不完全水平，导致磁致伸缩液位计不够垂直，从而引起波高测量误差，按经验估计该测量误差在  $0.1\%$  范围内，在  $40\text{cm}$  测量点时，误差为  $0.04\text{cm}$ ，设为均匀分布，按不确定度 B 类评定方法，有

$$u(h_3) = \frac{0.04\text{cm}}{\sqrt{3}} = 0.03\text{cm} \quad (\text{C.3})$$

## C.4 合成标准不确定度

表 C.2 各不确定度分量汇总

cm

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏度系数
$u(h_1)$	测量重复性引入的标准不确定度	0.05 cm	1 cm
$u(h_2)$	水位传感器引入的标准不确定度	0.004 cm	-1 cm
$u(h_3)$	电容式波高仪安装引入的标准不确定度	0.03 cm	1 cm

参照不确定度分量汇总表，各分量不相关，合成标准不确定度如下：

$$u_c(\Delta h) = \sqrt{c_1^2 u^2(h_1) + c_2^2 u^2(h_2) + c_3^2 u^2(h_3)} = 0.06\text{cm} \quad (\text{C.4})$$

## C.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=k \times u_c(\Delta h)=0.12\text{cm}$ 。





