

# 《雷达潮位仪校准规范》

## 征求意见稿

(不确定度评定)

国家海洋标准计量中心

自然资源部东海标准计量中心

自然资源部北海标准计量中心

天津云帆海洋科技有限公司

二零二四年五月

# 目 录

一、 水位高度示值误差测量不确定度评定 .....	3
1.1 测量模型 .....	3
1.2 来源分析 .....	3
1.3 分量计算 .....	3
1.4 合成及扩展不确定度.....	5
二、 计时示值误差测量不确定度评定.....	6
2.1 测量模型 .....	6
2.2 来源分析 .....	6
2.3 标准不确定度分量计算.....	6
2.4 合成标准不确定度评定和扩展不确定度评定.....	7

# 雷达验潮仪校准结果的测量不确定度评定示例

## 一、 水位高度示值误差测量不确定度评定

### 1.1 测量模型

$$\Delta h = h_X - h_S \quad (1)$$

式中：

$\Delta h$ —— 被检验潮仪（水位计）的水位示值误差，mm；

$h_X$ —— 被检验潮仪（水位计）的水位示值，mm；

$h_S$ —— 验潮仪检定装置的标准水位示值，mm。

由于  $h_X$  和  $h_S$  互不相关，则：

$$u_c^2 = c_X^2 u^2(h_X) + c_S^2 u^2(h_S) = u^2(h_X) + u^2(h_S) \quad (2)$$

### 1.2 来源分析

分析误差来源：一是被校验潮仪测量重复性引入的；二是被校验潮仪电磁波探测面与水平面不平行引入的（开放式雷达验潮仪）；三是计量标准设备引起的。计量标准设备引起的误差主要是因瓦标准尺性能、标准水位读取部分的不确定度带来的。

### 1.3 分量计算

#### 1.3.1 被校雷达验潮仪（水位计）测量重复性引起的标准不确定度分量 $u(h_X)$

以某型号雷达验潮仪为例，在潮位升高 4 m 校准点上，标准水位值达到稳定后，读取被校水位计示值，求校准后潮位示值与该值差值的实验标准差，具体数据见表 1。

测量结果见下表 1：

表 1 雷达验潮仪重复性测量数据

标准值 (mm)	验潮仪示值 (mm)				
4000	4010	4010	4011	4010	4010
	4009	4010	4010	4010	4010

水位平均值:

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 4010 \text{ mm}$$

水位测量重复性:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} = 0.47 \text{ mm} \quad (3)$$

根据贝塞尔公式, 计算测量重复性引入的标准不确定度为  $u(h_x) = 0.47 \text{ mm}$ 。

当重复性引入的不确定分量大于被校验潮仪的分辨力引入的不确定分量时, 应该用重复性引入的不确定分量代替分辨力分量, 即二者取其大值。被校的验潮仪带数字显示装置, 分辨力为  $1 \text{ mm}$  的验潮仪, 其标准不确定度分量为  $0.29 \text{ mm}$ 。

### 1.3.2. 被校验潮仪电磁波探测面与水平面不平行引入的 $u(h_p)$

对于开放式雷达验潮仪, 当探测面与水平面不平行存在夹角  $\theta$  时, 经计算假定探测面与水平面的夹角  $\theta$  分别为  $1^\circ$ ,  $\Delta h$  计算结果见表 2

表 2 探测面与水平面夹角  $1^\circ$  对应不同电磁波发射角产生的测量误差

电磁波发射角/ $^\circ$	$\Delta h/\text{mm}$
3	1.20
4	0.72
6	0.68

电磁波探测面与水平面不平行产生的夹角存在一定得随机性, 结合上表计算结果, 由此引入的距离差取  $1.20 \text{ mm}$ , 按均匀分布, 其标准不确定度分量为  $u(h_p) =$

$$1.2 / \sqrt{3} \text{ mm} \approx 0.69 \text{ mm}$$

### 1.3.3 计量标准设备引入的标准不确定度分量 $u(h_s)$

### 1.3.3.1 面阵 CCD 监视系统

面阵 CCD 监视系统的分辨率为 0.001 mm，测量及转换失真度为±0.01 mm，该项不确定度分量很小，可以忽略不计。

### 1.3.3.2 标准钢卷尺—因瓦标准尺

#### a) 标准钢卷尺因环境温度影响的误差

受温度影响，标准尺总长  $L$  为 10 m，在计量标准工作温度范围为(5~35)°C，时，因瓦标准尺环境温度影响带来的误差为  $(-1.875 \times 10^{-3} \sim +4.125 \times 10^{-3})$  mm，该误差可忽略不计。

#### b) 因瓦标准尺的示值误差

根据中国计量科学研究所的校准结果，最大允许误差为： $\pm(0.03+0.03L)$  mm（式中  $L$  以米为单位， $L=10$  m）。按均匀分布，其标准不确定度分量为：

$$u_{s1} = 0.33\text{mm}/\sqrt{3} \approx 0.19\text{mm}$$

### 1.3.3.3 标准水位读取

CCD 靶面与连通管水位不处在同一水平面引起的标准不确定度分量  $u_{s2}$

人工读取 CCD 监视图像中的水位值时，存在一定的可视高度差，考虑视野高度和 CCD 摄像头与因瓦尺距离，经计算

CCD 靶面与连通管水位不处在同一水平面的最大误差  $\Delta a$  为

$$\Delta a = \frac{\Delta d' \cdot \Delta a_1}{\Delta a_2 + 2\Delta a_1} = \frac{18.75 \times 12}{300 + 2 \times 10} \text{mm} = 0.70 \text{mm} \quad (4)$$

按均匀分布计算，由此引起的标准不确定度分量  $u_{s2} = \Delta a / \sqrt{3} = 0.40$  mm。

### 1.3.3.4 计算由计量标准设备引入的标准不确定度分量 $u(h_s)$

由于  $u_{s1}$ 、 $u_{s2}$  相互独立，则标准设备引起的标准不确定度分量  $u(h_s)$  为：

$$\begin{aligned} u(h_s) &= \sqrt{u_{s1}^2 + u_{s2}^2} \\ &= \sqrt{0.19^2 + 0.40^2} \text{mm} = 0.44\text{mm} \end{aligned} \quad (5)$$

## 1.4 合成及扩展不确定度

以分辨力为 1 mm 的开放式雷达验潮仪为例，其测量不确定度分量见表.3:

表 3 开放式雷达验潮仪测量不确定度分量

符号	不确定来源	标准不确定度分类/mm
$u(h_x)$	验潮仪测量重复性	0.67
$u(h_p)$	探测面与水平面不平 行度	0.69
$u(h_s)$	计量标准设备	0.44

$$u_c = \sqrt{u^2(h_x) + u^2(h_s)} = \sqrt{0.67^2 + 0.69^2 + 0.44^2} \text{ mm} = 1.1 \text{ mm}$$

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为  $U = k \cdot u_c = 2 \times 1.1 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$

## 二、计时示值误差测量不确定度评定

### 2.1 测量模型

$$\Delta t = t_N - t_B \quad (6)$$

式中：

$\Delta t$  —— 仪器计时装置与计时器的 24 h 计时误差，min；

$t_N$  —— 仪器计时装置 24 h 的时间间隔，min；

$t_B$  —— 计时器 24 h 的时间间隔，min。

### 2.2 来源分析

在国家海洋计量站建立的验潮仪（水位计）检定装置计量标准上分析误差来源：一是被检仪器测量重复性引入的，二是计量标准设备引起的。

### 2.3 标准不确定度分量计算

#### 2.3.1. 被检验潮仪（水位计）计时测量重复性引起的标准不确定度分量 $u(t_B)$

应用标准计时器计时，计算示值误差见表 5。

表 4 24h 计时误差

标准 24 h 计时示值	被检仪器 24 h 计时示值	示值误差
00:00'11"~4:09'15"=24:09'04"	08:50:20~08:59:25=24:09:05	1
00:00'08"~4:02'10"=24:02'02"	08:30:10~08:32:12=24:02:02	0

00:00'09"~4:10'10"=24:10'01"	08:40:12~08:50:14=24:10:02	1
00:00'06"~4:00'18"=24:00'12"	09:11:15~09:11:27=24:00:12	0
00:00'10"~4:19'25"=24:19'15"	08:45:20~09:04:34=24:19:16	1
00:00'04"~4:05'16"=24:05'12"	08:50:10~08:55:23=24:05:13	1
00:00'07"~4:05'15"=24:05'08"	08:55:20~09:00:29=24:05:09	1
00:00'12"~4:11'15"=24:11'03"	09:20:01~09:31:05=24:11:04	1
00:00'11"~4:08'13"=24:08'02"	09:10:15~09:18:18=24:08:03	1
00:00'10"~4:15'45"=24:15'35"	08:40:40~08:56:16=24:15:36	1

根据贝塞尔公式，计算测量重复性引入的标准不确定度为  $u(t_B)=0.31\text{ s}$ 。

被检的仪器分辨力为 1 s 的仪器，其标准不确定度分量为 0.29 s。当重复性引入的不确定分量小于被校仪器的分辨力引入的不确定分量时，应该用分辨力引入的不确定分量代替重复性分量，即二者取其大值。

### 2.3.2. 计量标准设备引入的标准不确定度分量 $u(t_N)$

计时标准装置采用电子秒表，检定合格的电子秒表 24 h 的最大允许误差为  $\pm 0.5\text{ s}$ 。按均匀分布，其标准不确定度分量为：

$$u(t_N) = \frac{0.5\text{s}}{\sqrt{3}} \approx 0.29\text{s}$$

电子秒表的分辨力为 0.01 s，由读数带来的不确定度分量为 0.003 s，远小于 0.29 s，忽略。

## 2.4 合成标准不确定度评定和扩展不确定度评定

$$u_c = 0.43$$

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为  $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.43\text{ s} \approx 0.9\text{ s}$ 。