

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

## 雷达验潮仪校准规范

Calibration Specification of Radar Tide Gauges

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

---

# 雷达验潮仪校准规范

JJFXXXX-XXXX

Calibration Specification of  
Radar Tide Gauges

---

归口单位：全国海洋专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：国家海洋标准计量中心

自然资源部东海标准计量中心

参加起草单位：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

本规范委托全国海洋专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

朱丽萍（国家海洋标准计量中心）

于建清（国家海洋标准计量中心）

张红轩（自然资源部东海标准计量中心）

参加起草人：

任越（自然资源部东海标准计量中心）

程绍华（国家海洋标准计量中心）

冷伟嵩（自然资源部北海标准计量中心）

袁成平（天津云帆海洋科技有限公司）

## 目录

引 言.....	V
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 术语.....	1
3.2 计量单位.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 校准环境条件.....	2
6.2 测量标准及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
7.3 数据处理.....	5
8 校准结果表达.....	6
8.1 校准记录.....	6
8.2 校准结果处理.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A.....	8
附录 B.....	10
附录 C.....	<b>11</b>

## 引 言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编写工作的基础性系列规范。

本规范参考了JJG587-2016《浮子式验潮仪》和GB/T 14914.2-2019《海洋观测规范 第2部分：海滨观测中对潮汐观测》。

本规范为首次制定。

# 雷达验潮仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于潮位（水位）测量范围（0~8）m 的雷达验潮仪（水位计）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用以下文件：

JJG 587-2016 浮子式验潮仪

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

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 动态示值误差 dynamic error of indication

为确定被测量的瞬时示值误差或被测量的平均示值误差，在测量期间随时间（或其他影响量）变化所进行的测量。

#### 3.1.2 回程误差 hysteresis error

仪器正行程与反行程在同一检定点/校准点上示值变化值的绝对值。

[来源：JJG587-2016，定义 3.1]

### 3.2 计量单位

潮位（水位）计量单位为毫米（mm）。

## 4 概述

雷达验潮仪（以下简称“验潮仪”）由主机、雷达换能器、导波缆/杆、供电系统、数据通讯模块以及数据处理软件等组成。工作原理是利用传感器探头发射电磁波信号，遇到液面时发生信号反射，随后被接收器接收，根据电磁波信号发射与反射所用时间测量探头与液面的距离，经过计算得到水位和潮位。

根据工作型式分为开放式和导波式，开放式雷达验潮仪以波束形式发射电磁波信号，导波式雷达验潮仪电磁波信号沿导波缆/杆传输，导波缆/杆另一端连接重锤。

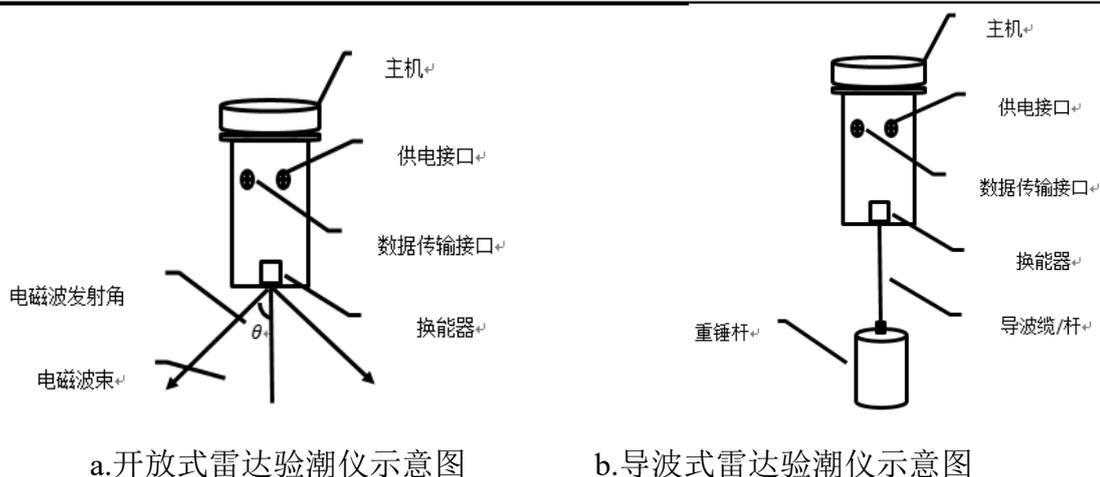


图 1. 雷达验潮仪示意图

## 5 计量特性

雷达验潮仪计量特性见表 1。

表 1 雷达验潮仪的计量特性

序号	项 目	最大允许误差
1	示值误差	$\pm 30\text{mm}$
2	回程误差	$\pm 30\text{mm}$
3	24 小时计时误差	$\pm 1\text{min}$
4	动态示值误差	$\pm 30\text{mm}$
注： 1. 具有自记功能的雷达验潮仪，可选择动态示值误差校准。 2. 以上指标不适用于合格判定，仅作为参考。		

## 6 校准条件

### 6.1 校准环境条件

环境温度： $(5\sim 40)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度：不大于 85%RH；

其它：周围无影响测量仪正常工作的机械振动和电磁干扰等。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准时所需的测量标准器及配套设备可按验潮仪的测量特性，参照表 2 进行选择并组合成套。进行动态示值误差校准，配套设备应具备自动测量和自动存储处理标准水位值和时间的时间的功能。

表 2 测量标准及配套设备

	名称	测量范围	最大允许误差	备注
测量标准	标准钢卷尺	不低于 10m	标准钢卷尺: $\pm(0.03+0.03L)$ mm, L 为整 m 数, 标尺间隔为 1 mm;	——
	计时器	连续计时不低于 24h	应不超过 $\pm 1s / 24h$	——
配套设备	水塔校准装置	水位变化范围 (0~8) m	水塔内径不小于 0.5m	配套设备 可选其一
	立式潮位模拟校准装置		水池内径不小于 1m	

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目包括：水位示值误差、回程误差、24 小时计时误差、动态示值误差。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观和通电检查

校准前需对潮位仪开展如下检查：

- 1) 观察和检查验潮仪的结构是否完整，各部分连接是否可靠。
- 2) 检查验潮仪是否有铭牌，铭牌是否清晰标有不可擦除的制造厂名（或厂标）、型号、出厂编号。
- 3) 检查验潮仪表面漆层、镀层是否均匀光滑，有无明显凹迹、裂缝、碰伤、锈蚀和爆皮等现象。金属件不应有严重锈蚀及其他机械损伤。
- 4) 对潮位仪通电，应能正常测量、显示/采集存储数据。

#### 7.2.2 校准前准备

将验潮仪安装在水塔校准装置的固定平台或立式潮位模拟装置的移动平台，验潮仪电磁波探测面应与水平面平行；安装完毕后，用水平气泡仪检查验潮仪在平台上的水平度。

对于水塔内径 0.5m 的校准装置，开放式雷达潮位仪电磁波发射角 $\theta$ 对应的最大安装高度（有效测量范围）见表 3。导波式雷达验潮仪应确保导波缆/杆保持自然垂直，重锤应能够完全浸没最低潮位面且不触底。

表 3 开放式雷达验潮仪电磁波反射角 $\theta$ 对应的最大安装高度

电磁波发射角 $\theta/^\circ$	有效测量范围/m
------------------------	----------

3	9.6
4	7.1
5	5.7
6	4.8

### 7.2.3 潮位示值误差

#### 7.2.3.1 校准点的选择

每隔 1 m 设置一个校准点，包括 0 m 校准点和上限测量点；用水塔校准装置校准时，电磁波发射角大于 4° 的验潮仪可选择每隔 0.5m 一个校准点。校准过程包括一次上升行程（正行程）和一次下降行程（反行程），校准时调整校准点标准水位值使其不超过 ±20mm。

#### 7.2.3.2 利用水塔校准装置校准

利用水塔校准装置校准时，具体校准过程如下：

1) 验潮仪安装完毕，打开进水阀及进水泵，使水位上升，记录测量标准水位值和验潮仪示值，分别作为标准初始值和验潮仪初始值。

2) 打开进水阀及进水泵，使水位上升至校准点，关闭进水泵和进水阀。

每个校准点的稳定时间为 1min，分别读取并记录标准值（精确至 1 mm）和验潮仪示值，读取次数为一次。

3) 继续使水位上升，依照 7.2.3.3 中 2) 校准下一个水位点，直至完成上限测量点水位的校准。

4) 上限测量点水位校准完毕后，将水位上升 100 mm，然后打开排水阀和排水泵，使水位下降，降至上限测量点时，关闭排水泵和排水阀，稳定 1 min 后分别读取并记录标准值（精确至 1 mm）和验潮仪示值，读取次数为一次。继续使水位下降，直至完成反行程所有水位点的校准。

#### 7.2.3.3 利用立式潮位模拟校准装置校准

利用立式潮位模拟校准装置校准时，具体校准过程如下：

1) 验潮仪安装完毕，调整验潮仪位置至测量盲区外附近位置作为初始校准点。

2) 将验潮仪缓慢上升至高度变化 1m。

每个校准点的稳定时间为 1min，分别读取并记录标准示值（精确至 1 mm）和验潮仪示值，读取次数为一次。

3) 继续上移验潮仪, 依照同样方法校准下一个潮位点, 直至完成上限测量点的校准。

上限测量点校准完毕后, 将验潮仪缓慢上升 100mm, 然后反向移动验潮仪至上限测量点, 稳定 1 min 后分别读取并记录标准示值 (精确至 1 mm) 和验潮仪示值, 读取次数为一次。继续缓慢向下移动验潮仪, 依照同样方法直至完成反行程所有校准点的校准。

#### 7.2.3.4 动态示值误差

具有自记功能的验潮仪, 完成示值误差校准后可根据需要开展潮位动态计量。水位变化至少 2000mm, 包括一次上升行程 (正行程) 和一次下降行程 (反行程), 具体校准过程如下:

- 1) 打开进水阀及进水泵使水位上升至适当位置, 关闭进水阀及进水泵。
- 2) 设置验潮仪时间与校准装置时间同步、采样频率为 1Hz, 调整标准水位变化率 (2~4) mm/s, 打开校准装置和验潮仪的自记存储功能。
- 3) 控制水位缓慢下降 100mm 至低水位点, 然后控制水位缓慢上升至少变化 2000mm 到达高水位点, 继续控制水位缓慢下降 2000mm 再次到达低水位点, 最后控制水位缓慢上升 100mm, 试验结束。

#### 7.2.4 回程误差

回程误差校准点均匀选取低、中、高三个校准点。分别使潮位/验潮仪高度上升和下降至同一校准点进行校准, 两次潮位/验潮仪高度的差值绝对值不超过 10mm。

#### 7.2.5 24h 计时误差校准

同时记录计时器和验潮仪开始时间, 经 24h 后, 再同时记录两者结束时间。

### 7.3 数据处理

#### 7.3.1 示值误差

各校准点示值误差按公式 (1) 计算。验潮仪在整个测量范围内有  $m$  个校准点。

$$\Delta H_i = H_{Ni} - H_{Bi} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中:

$\Delta H_i$ ——验潮仪在第  $i$  个校准点示值误差, mm;

$H_{Ni}$ ——验潮仪在第  $i$  个校准点示值, mm;

$H_{Bi}$ ——第  $i$  个校准点的标准示值, mm。

#### 7.3.2 动态示值误差

取标准示值和验潮仪示值每 1min 内的平均值作为标准动态示值和验潮仪动态示值, 计算每 1min 内的动态示值误差。

$$\Delta H_{Ei} = \bar{H}_{Ni} - \bar{H}_{Bi} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中:

$\Delta H_{Ei}$ ——验潮仪在第  $i$  min 的动态示值误差, mm;

$\bar{H}_{Ni}$ ——验潮仪在第  $i$  min 的动态平均示值, mm;

$\bar{H}_{Bi}$ ——第  $i$  min 标准动态平均示值, mm。

### 7.3.3 回程误差

各校准点回程误差按公式 (2) 计算。

$$\Delta H_{hi} = |H'_{Nzi} - H'_{NFi}| = |(H_{Nzi} - \Delta H_{zi}) - (H_{NFi} - \Delta H_{Fi})| \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中:  $\Delta H_{hi}$ ——验潮仪在第  $i$  个校准点回程误差, mm;

$H'_{Nzi}$ ——上升行程/正行程验潮仪修正至第  $i$  个校准点处的示值, mm;

$H'_{NFi}$ ——下降行程/反行程验潮仪修正至第  $i$  个校准点处的示值, mm;

$H_{Nzi}$ ——上升行程/正行程验潮仪在第  $i$  个校准点处调零后的示值, mm;

$H_{NFi}$ ——下降行程/反行程验潮仪在第  $i$  个校准点处调零后的示值, mm;

$\Delta H_{zi}$ ——上升行程/正行程标准器调零后示值  $H_{Bzi}$  与第  $i$  个校准点  $H_{0i}$  的差值, 即  $\Delta H_{zi} =$

$$H_{Bzi} - H_{0i}, \text{ mm};$$

$\Delta H_{Fi}$ ——下降行程/反行程标准器调零后示值  $H_{BFi}$  与第  $i$  个校准点  $H_{0i}$  的差值, 即  $\Delta H_{Fi} =$

$$H_{BFi} - H_{0i}, \text{ mm}。$$

### 6.3.4 24 小时计时误差

24 小时计时误差按公式 (4) 计算。

$$\Delta t = t_N - t_B \quad (4)$$

式中:

$\Delta t$ ——验潮仪计时装置与计时器的 24h 计时误差, s;

$t_N$ ——验潮仪计时装置 24h 的时间间隔, s;

$t_B$ ——计时器 24h 的时间间隔, s。

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准记录

校准记录格式参见附录 A。

## 8.2 校准结果处理

校准证书由封面和内页组成。校准证书内页格式参见附录 B。

校准证书至少包含以下内容：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），页码及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识、校准员和核验员的签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

建议雷达验潮仪（水位计）的复校时间间隔为 1 年，但当发现测量值出现异常时建议提前送校。



回程误差校准					单位为 mm
校准点	正行程验潮仪示值		反行程验潮仪示值		回程误差
	修正前	修正至校准点处	修正前	修正至校准点处	
回程误差的最大值:					
动态示值误差校准				单位为 mm	
	验潮仪示值每 1min 内的平均值	标准器示值每 1min 内的平均值	示值误差		
动态示值误差最大值:					

校准员

核验员



## 附录 C

## 雷达验潮仪校准结果的测量不确定度评定示例

## C.1 水位高度示值误差测量不确定度评定

## C.1.1 测量模型

$$\Delta h = h_X - h_S \quad (\text{C.1})$$

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：

$$u_c^2 = c_X^2 u^2(h_X) + c_S^2 u^2(h_S) = u^2(h_X) + u^2(h_S) \quad (\text{C.2})$$

## C.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。

## C.1.3 分量计算

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 C.1。

测量结果见下表 C.1：

表 C.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：

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

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  $0.29\text{ mm}$ 。

## 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时，经计算假定探测面与水平面的夹角分别为  $1^\circ$ ， $\Delta h$  计算结果见表 C.2

C.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  $u(h_p) = \frac{1.2}{\sqrt{3}}\text{ mm} \approx 0.69\text{mm}$

## 3. 计量标准设备引入的标准不确定度分量 $u(h_s)$

### 3.1 面阵 CCD 监视系统

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

### 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  $10\text{ m}$ ，在计量标准工作温度范围为  $(5\sim 35)^\circ\text{C}$ ，时，因瓦标准尺环境温度影响带来的误差为  $(-1.875 \times 10^{-3} \sim +4.125 \times 10^{-3})\text{ mm}$ ，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：

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

### 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

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

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。

### 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：

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

#### C.1.4 合成及扩展不确定度

4.1 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 A.3：

#### C.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  $U = k \cdot u_c = 2 \times 1.1 \text{mm} \approx 3 \text{mm}$

#### C.2 计时示值误差测量不确定度评定

##### C.2.1 测量模型

$$\Delta t - \text{测量模型} \quad \Delta t = t_N - t_B \quad (\text{C.6})$$

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。

### C.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。

### C.2.3 标准不确定度分量计算

#### 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 C.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 (s)
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  $u(t_B)=0.31$  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. 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  $\pm 0.5$  s。按均匀分布,其标准不确定度分量为:

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

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。

### C.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  $U = k \cdot u_c = 2 \times 0.43 \text{ s} \approx 0.9 \text{ s}$ 。

