

**JJF**

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX-20XX

**投弃式温度剖面仪校准规范**

**Calibration Specification for Expendable Bathythermograph**

(征求意见稿)

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

国家市场监督管理总局 发布



# 投弃式温度剖面仪校准规范

Calibration Specification for Expendable

Bathythermograph

JJF XXX-20XX

**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：**国家海洋局南海标准计量中心

**参加起草单位：**国家海洋局东海标准计量中心

国家海洋标准计量中心

国家海洋局北海标准计量中心

中山大学

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



**本规程主要起草人：**

王志超（国家海洋局南海标准计量中心）

**参加起草人：**

钱 飞（国家海洋局南海标准计量中心）

张岳洪（国家海洋局南海标准计量中心）

赵秀玲（国家海洋局东海标准计量中心）

王宝森（国家海洋标准计量中心）

高文典（国家海洋局北海标准计量中心）

邱春华（中山大学）

# 目 录

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 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 .....	(2)
7.1 外观及功能检查 .....	(2)
7.2 温度示值误差 .....	(2)
7.3 温度测量重复性 .....	(3)
7.4 动态响应特性 .....	(3)
8 校准结果表达 .....	(4)
9 复校时间间隔 .....	(4)
附录 A .....	(5)
附录 B .....	(6)
附录 C .....	(7)

# 引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》共同构成制定本规范的基础性系列规范。

本规范是针对投弃式温度剖面仪校准制定的计量技术规范，主要参考了JJG 763-2019《温盐深测量仪检定规程》、JJF 1049-1995《温度传感器动态响应校准》和GB/T 2828.1《计数抽样检验程序 第一部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划》等文件中的技术指标、方法等内容。

本规范为首次发布。





# 投弃式温度剖面仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于投弃式温度剖面仪温度示值误差、温度测量重复性和温度测量传感器动态响应特性的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1049-1995 温度传感器动态响应校准

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第一部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

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 投弃式温度剖面仪 expendable bathythermograph

一次性手动或自动投放进行海洋温度剖面测量的仪器。

#### 3.1.2 动态响应特性 Dynamic Response

温度测量传感器的动态响应特性是指温度测量传感器的温度与被测介质温度增量之间的关系，一般用微分方程或传递函数的形式表示。在实际校准中，常用温度测量传感器对阶跃温度的响应来描述其动态响应特性的特征参数，主要有热响应时间和时间常数。

#### 3.1.3 热响应时间 Thermal Response Time

温度测量传感器的输出温度变化到相当于该环境温度阶跃量的某个规定百分数时所需要的时间，记为 $\tau_{XX}$ ，达到阶跃温度量的 10%，50%和 90%所需要的时间分别记为 $\tau_{0.1}$ ， $\tau_{0.5}$ ， $\tau_{0.9}$ 。

#### 3.1.4 时间常数 Time Constant

达到温度阶跃温度量的 63.2%所需要的时间，记为 $\tau$ 。

### 3.2 计量单位

温度单位：摄氏度，符号 $^{\circ}\text{C}$ ；

时间单位：秒，符号 s。

## 4 概述

投弃式温度剖面仪是一种通过投弃温度测量传感器进行温度测量的一次性测量设备，主要应用于走航中或定点快速测量海洋温度剖面数据。投弃式温度剖面仪在温度测量传感器的快速下降过程中感应海水温度剖面，包括探体、发射器、甲板处理单元及计算机软件，其中探体是发射入水中消耗掉的部分，探体置于套筒中，内部安置温度测量传感器以测量海水温度，探体一般为鱼雷型流线结构，温度测量传感器将采集的信号通过导线传输到船上的甲板处理单元处理并显示。发射时，将探体和发射器连接，拔出释放插销后使探体自由下落入水，温度测量传感器入水后，其电极通过海水与接地线形成回路开始测量，采集海水温度的同时计算探体的下落深度，并由计算机显示，实时观察海洋的温度剖面，温度测量传感器达到最大深度后，断开导线，完成测量。

投弃式温度剖面仪发射器和探体结构示意图，如图 1 和图 2 所示。

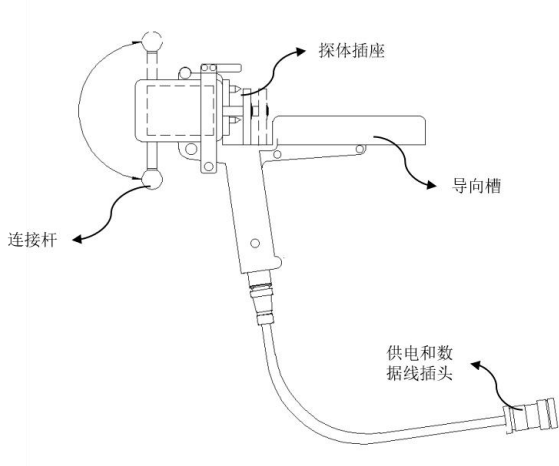


图1 投弃式温度剖面仪发射器结构示意图

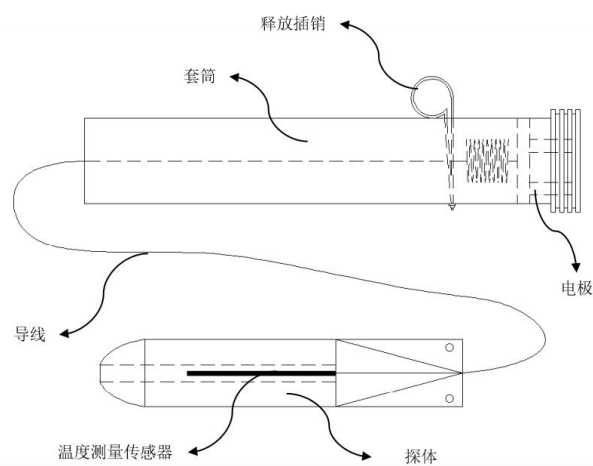


图2 投弃式温度剖面仪探体结构示意图

## 5 计量特性

投弃式温度剖面仪的温度示值误差、温度测量重复性和动态响应特性应符合表1要求。

**表1 投弃式温度剖面仪计量特性要求**

计量特性	技术指标
温度示值误差	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
温度测量重复性	$\leq 0.07^{\circ}\text{C}$
动态响应特性	温度测量传感器的时间—信号响应曲线应能有效识别动态响应特性的特征参数值。
注：以上指标不作为合格判定依据，仅供参考。	

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度：(10~35) °C；

相对湿度：(20~80) %RH；

电磁场、振动情况：除地磁场外，应无显著电磁干扰、无显著振动源存在。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 温度计

用于校准温度示值误差、温度测量重复性和动态响应特性时的参考标准，温度计的最大允许误差为 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。

#### 6.2.2 恒温水槽

用于校准温度示值误差、温度测量重复性和动态响应特性时提供稳定的水浴环境，控温范围(0~35) °C，恒温水槽的控温波动性： $\leq 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$ 、温场均匀性： $\leq 0.02^{\circ}\text{C}$ 。

## 7 校准项目和校准方法

可根据待校准投弃式温度剖面仪的数量，按照 GB/T 2828.1 中的抽样方法抽样后进行校准。

### 7.1 外观及功能检查

目测投弃式温度剖面仪的外观是否完好，检查安装和信号连接是否正常。

### 7.2 温度示值误差

7.2.1 校准温度点一般从 35°C、30°C、25°C、20°C、15°C、10°C、5°C、0°C 中选取不少于 5 个温度点。

7.2.2 将投弃式温度剖面仪探体固定于恒温水槽中，将温度计和投弃式温度剖面仪探体置于恒温水槽

内，温度计尽量靠近投弃式温度剖面仪温度传感器位置。

7.2.3 控制恒温水槽达到校准点温度，待温度稳定后，温度计和投弃式温度剖面仪同时测量不少于 10 组读数，取对应温度读数的算术平均值分别作为该校准点上的标准温度值和投弃式温度剖面仪温度示值，并记录，记录格式见附录 A。

7.2.4 按 7.2.3 的步骤进行下一个校准点，直到完成全部温度点的校准。

7.2.5 按公式（1）计算示值误差。

$$\Delta T_i = T_i - T_{is} \quad (1)$$

式中：

$\Delta T_i$ ——投弃式温度剖面仪在第  $i$  个校准点的温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_i$ ——投弃式温度剖面仪在第  $i$  个校准点的温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_{is}$ ——第  $i$  个校准点的标准温度示值， $^{\circ}\text{C}$ 。

取绝对值最大的  $\Delta T_i$  作为投弃式温度剖面仪温度示值误差。

### 7.3 温度测量重复性

与温度示值误差校准同步进行，在温度示值误差校准过程中，任选 1 个校准点进行温度测量重复性校准，待校准点上温度稳定后，按照 7.2.3 步骤完成 10 次测量，按公式（2）计算温度测量重复性。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中：

$\sigma$ ——温度测量重复性， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_i$ ——第  $i$  次测量的温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\bar{T}$ —— $n$  次测量的算术平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$n$ ——测量次数（ $n = 10$ ）。

### 7.4 动态响应特性

完成温度示值误差和温度测量重复性校准后，对满足校准条件的投弃式温度剖面仪进行温度传感器动态响应特性校准。

#### 7.4.1 动态响应特性校准装置

##### （1）温度阶跃系统

由恒温水槽和匀速运动控制装置组成，用于动态响应特性校准。温度阶跃系统是为了给被校投弃式温度剖面仪提供一个定量的温度突变，产生温度阶跃所需的时间应小于被校准传感器时间常数或  $\tau_{0.5}$  的 10%。

匀速运动控制装置应能控制投弃式温度剖面仪探体在恒温水槽中以不小于 0.1 m/s 的速度垂直均匀运动，速度均匀度优于  $\pm 10\%$ 。

水槽深度应满足动态响应特性校准要求，投弃式温度剖面仪探体在水槽内匀速运动的时间应不小于其热响应完成的时间。

##### （2）采集测试控制系统

用于动态响应特性校准的数据采集。可采用投弃式温度剖面仪配套的数据采集器和软件，或采用数字示波器、配置高速模数转换器的计算机或高速采样数字万用表等。记录仪表自身的响应时间应小于待校准投弃式温度剖面仪温度传感器时间常数的 10%，时间分辨力应优于待校准温度传感器时间常数的 1%；采用输出信号放大器时，输出信号放大器自身响应时间应不超过待校准温度传感器时间常数的 1%，并且放大倍数连续可调。

7.4.2 控制恒温水槽内水温，与室温形成温度阶跃，一般控制温度阶跃量为不小于  $5^{\circ}\text{C}$ 。

7.4.3 将投弃式温度剖面仪探体固定安装在温度阶跃系统的运动控制装置上，连接采集测试控制系统。校准前应经过静态测量，确定投弃式温度剖面仪的温度测量传感器的阶跃起始温度和终止温度的信号

示值。

7.4.4 启动采集测试控制系统，待恒温水槽内水温稳定且投弃式温度剖面仪在空气中示值稳定后，再启动温度阶跃系统，将投弃式温度剖面仪探体匀速（不小于 0.1 m/s）投入恒温水槽中，采集并记录投弃式温度剖面仪探体入水后信号值与时间的变化关系，测量结束后，将投弃式温度剖面仪探体从水中提出，恢复到初始状态。

7.4.5 由采集的信号值与时间数据绘制时间—信号响应曲线，经数字滤波光滑处理后，记录投弃式温度剖面仪探体入水时的初始信号值、动态响应过程结束的终止信号值和动态响应特性点信号值，记录格式见附录 A。

7.4.6 根据时间—信号响应曲线，找到投弃式温度剖面仪探体入水时的初始信号值和动态响应特性点信号值对应的时间，按公式（3）计算动态响应特性的特征参数值 $\tau_n$ 。

$$\tau_n = t_n - t_0 \quad (3)$$

式中：

$\tau_n$ —— $\tau_{0.9}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.1}$ 或 $\tau$ ；

$t_n$ ——投弃式温度剖面仪信号值达到 $\tau_{0.9}$ 、 $\tau_{0.5}$ 、 $\tau_{0.1}$ 或 $\tau$ 时的时间，s；

$t_0$ ——温度阶跃开始时的时间，既投弃式温度剖面仪探体入水时间，s。

7.4.7 重复 7.4.4 操作，按 7.4.5、7.4.6 处理数据并计算。重复测量 3 次， $\tau_n$ 的 3 次测量值与 3 次测量的平均值的相对偏差不得大于 10%，否则再重复操作，直至满足要求。

7.4.8 将 $\tau_n$ 3 次测量的平均值作为最终计算结果，保留 3 位有效数字。

## 8 校准结果表达

校准证书由封面和内页组成。校准证书内页信息参考格式参见附录 D。

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；
- d) 证书的唯一性标识，每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期及仪器的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 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

投弃式温度剖面仪为一次性使用仪器，不可重复使用，不推荐复校时间间隔。

## 附录 A

## 投弃式温度剖面仪校准原始记录参考格式

原始记录编号：

第 页,共 页

标准器及配套设备								
名称/编号	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	证书 有效期至		
委托单位/地址								
仪器名称		仪器编号		型号规格				
测量范围		生产厂商		委托日期				
校准地点		环境条件						
外观及功能检查		技术依据及代号						
偏离校准规范的说明								
温度示值误差								
校准点 (°C)	标准温度值 (°C)			仪器温度示值 (°C)			示值误差 (°C)	
	示值		平均值	示值		平均值		
.....								
测量重复性								
仪器温度值 (°C)			温度平均值 (°C)			重复性 (°C)		
动态响应特性								
特性点	传感器运动 速度 (m/s)	阶跃温度 (°C)	初始信号值	终止信号值	特性点信号值	响应时间 (s)	响应时间 平均值 (s)	相对 偏差
.....								

校准员：

核验员：

日期：

## 附录 B

## 校准证书内页信息参考格式

证书编号：

原始记录号：

第 页，共 页

## 校 准 结 果

## 一、校准使用的标准器及配套设备

标准器及配套设备				
名称/编号	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	证书有效期至

## 二、校准环境条件及地点

温度		湿度	
地点			

## 三、被校项目及校准结果

1.外观检查：

2.温度示值误差：

标准温度值 (°C)	温度示值 (°C)	示值误差 (mS/cm)

3.温度测量重复性：

4.动态响应特性：

特性点	传感器运动速度 (m/s)	阶跃温度 (°C)	热响应时间 (s)

5.扩展不确定度：

6.校准结果的说明：

以下空白

## 附录 C

## 投弃式温度剖面仪校准结果的不确定度评定示例

## C.1 温度示值误差校准结果的不确定度评定

以 20°C 时的温度示值误差校准结果为例。

## C.1.1 数学模型

$$\Delta T = T - T_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta T$ ——温度传感器在校准点的温度示值误差，°C；

$T$ ——温度传感器在校准点的仪器温度示值，°C；

$T_s$ ——温度传感器在校准点的标准温度值，°C。

对式 (C.1) 求偏导,得灵敏度系数为：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_s} = -1$$

## C.1.2 测量不确定度来源分析

温度示值误差校准结果的测量不确定度主要由以下分量组成：

- (1) 被校仪器测量重复性引入的不确定度；
- (2) 标准温度计引入的不确定度；
- (3) 测温比较电阻引入的不确定度；
- (4) 恒温水槽温场均匀性和波动性引入的不确定度。

## C.1.3 不确定度评定

C.1.3.1 被校投弃式温度剖面仪温度测量重复性引入的不确定度分量  $u_1(T_p)$ 

测量重复性引入的不确定度分量  $u(T_p)$ ，可以通过在连续条件下测量一组数据列，用不确定度的 A 类评定方法获得。恒温水槽稳定在 20.00°C，待恒温水槽温度稳定后开始测量，连续记录 10 组数据，取连续测量的平均值作为最佳估计值，表 C1 给出了仪器测量重复性数据，以贝塞尔公式计算实验标准差，则重复性引入的不确定度为：

$$u(T_p) = s/\sqrt{10} = 0.013 \text{ } ^\circ\text{C}$$

表 C1 投弃式温度剖面仪重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (°C)	20.13	20.09	20.13	20.15	20.11	20.10	20.18	20.14	20.19	20.08

C.1.3.2 仪器示值分辨力引入的不确定度分量  $u_2(T_p)$ 

用不确定度的 B 类评定方法获得。仪器示值分辨力为 0.001°C，则不确定度半宽区间为 0.0005°C，一般服从均匀分布，因此取  $k = \sqrt{3}$ ，示值分辨力引入的不确定度为：

$$u_2(T_p) = 2.9 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

重复性引入的不确定度分量  $u_1(T_p)$ ，大于仪器示值分辨力引入的不确定度分量  $u_2(T_p)$ ，故在合成标准不确定度的计算中，只需引入重复性引入的不确定度分量  $u_1(T_p)$ ，不需引入仪器示值分辨力引入的不确定度分量  $u_2(T_p)$ 。

C.1.3.3 标准温度计引入的不确定度分量  $u(T_1)$ 

用不确定度的 B 类评定方法获得。标准温度计的最大允许误差为  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ，则其误差可能值区间的半宽度为 0.005°C，按均匀分布计算，取置信因子  $k = \sqrt{3}$ ，其标准不确定度为：

$$u(T_1) = 0.005/\sqrt{3} = 0.003 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.1.3.4 恒温水槽温场均匀性引入的不确定度分量  $u(T_2)$ 

用不确定度的 B 类评定方法获得。恒温水槽均匀性为 0.02°C，则温场均匀性引入的误差可能值区间半宽为 0.01°C，在此区间服从反正弦分布，包含因子  $k = \sqrt{2}$ ，其标准不确定度为：

$$u(T_2) = 0.01/\sqrt{2} = 0.007\text{ }^\circ\text{C}$$

### C.1.3.5 恒温水槽温场波动性引入的不确定度分量 $u(T_3)$

用不确定度的 B 类评定方法获得。恒温水槽波动性为  $0.02^\circ\text{C}$ ，则温场波动性引入的误差可能值区间半宽为  $0.01^\circ\text{C}$ ，在此区间服从反正弦分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，其标准不确定度为：

$$u(T_3) = 0.01/\sqrt{3} = 0.006\text{ }^\circ\text{C}$$

### C.1.4 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总见表 C2。

表 C2 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	符号	标准不确定度 ( $^\circ\text{C}$ )
测量重复性引入的不确定度分量	$u(T_p)$	0.013
标准温度计引入的不确定度分量	$u(T_1)$	0.003
恒温水槽温场均匀性引入的不确定度分量	$u(T_2)$	0.007
恒温水槽温场波动性引入的不确定度分量	$u(T_3)$	0.006

各分量相互独立，仪器温度示值误差校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(T_p) + u^2(T_1) + u^2(T_2) + u^2(T_3)} = 0.016\text{ }^\circ\text{C}$$

### C.1.5 扩展不确定度

包含因子取  $k = 2$ ，则投弃式温度剖面仪温度示值误差校准结果的扩展标准不确定度为：

$$U = ku_c = 0.032\text{ }^\circ\text{C}$$

### C.1.6 测量不确定度评定报告

投弃式温度剖面仪在  $20.00^\circ\text{C}$  校准点上，温度示值误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.03\text{ }^\circ\text{C}, k = 2$$

## C.2 动态响应特性校准结果的不确定度评定

以时间常数 $\tau$ 的校准结果的不确定度评定为例。

### C.2.1 数学模型

$$\tau = t_\tau - t_0 \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\tau$ ——投弃式温度剖面仪温度响应时间常数，s；

$t_\tau$ ——投弃式温度剖面仪温度示值达到 $\tau$ 时的时间，s；

$t_0$ ——时间起始点，s。

对式 (C.2) 求偏导，得灵敏度系数为：

$$c_1 = \frac{\partial \tau}{\partial t_\tau} = 1, c_2 = \frac{\partial \tau}{\partial t_0} = -1$$

投弃式温度剖面仪温度与采集的电阻信号，其函数关系为：

$$R = A \times T + B \quad (\text{C.3})$$

式中：

A、B 为常数；

R——数字多用表采集到的电阻值， $k\Omega$ 。

$t_\tau$ 时刻投弃式温度剖面仪的温度为 $T_\tau$ ，相应的数字多用表采集到的电阻值为 $R_\tau$ ，可以认为，在 $[t_\tau - \Delta t, t_\tau + \Delta t]$ 的微小区间内， $R_\tau$ 与 $t_\tau$ 呈线性关系：

$$R_\tau = C \times t_\tau + D \quad (\text{C.4})$$

式中：C、D 为常数。

则根据 $\tau$ 的定义：

$$R_\tau = R_0 + 0.632 \times (R_1 - R_0) = 0.368 \times R_0 + 0.632 \times R_1 \quad (\text{C.5})$$



式中：

$R_0$ ——环境温度 $T_0$ 对应的电阻值（初始电阻值）；

$R_1$ ——恒温水槽温度 $T_1$ 对应的电阻值（终止电阻值）。

根据式（C.2）、（C.3）、（C.4）和（C.5），可得 $\tau$ 的数学模型为：

$$\tau = \frac{0.368 \times A \times T_0 + 0.632 \times A \times T_1 + B - D}{C} - t_0 \quad (\text{C.6})$$

式中， $\left(\frac{0.368 \times A \times T_0 + 0.632 \times A \times T_1 + B - D}{C}\right)$ 部分即为 $t_\tau$ ，仅带入终止时刻 $t_\tau$ 的不确定度分量的过程计算，

不确定度仍按式（C.2）的模型评定。

### C.2.2 测量不确定度来源分析

时间常数 $\tau$ 的校准结果的测量不确定度主要由以下分量组成：

- （1）起始时刻 $t_0$ 的不确定度分量；
- （2）终止时刻 $t_\tau$ 的不确定度分量。

影响因素包括：

- （1）数字多用表的时间分辨力；
- （2）数字多用表电阻值测量的误差；
- （3）投弃式温度剖面仪的最大允许误差；
- （4）恒温水槽温度的波动；
- （5）环境温度的波动；
- （6）投弃式温度剖面仪运动速度对热传导过程的影响。

### C.2.3 常数值确定

#### （1）A、B 值计算

常数 A、B 的值通过投弃式温度剖面仪的标定结果拟合计算得出。测量中，环境温度为 25.0℃，恒温水槽温度为 10.0℃，投弃式温度剖面仪的标定结果分别为 15.40 kΩ、20.20 kΩ，按式（C.3）拟合后可得：

$$R = -0.32 \times T + 23.4$$

#### （2）C、D 值计算

常数 C、D 的值通过对 $t_\tau$ 的重复测量结果拟合计算得出，取 $\Delta t = 0.003\text{s}$ ，重复测量结果见表 C3。

表 C3 重复测量结果

$t_\tau$	$R_\tau$ (kΩ)	$R_\tau(t_\tau - \Delta t)$ (kΩ)	$R_\tau(t_\tau + \Delta t)$ (kΩ)
0.268	18.64	18.61	18.67
0.269	18.64	18.61	18.67
0.274	18.64	18.61	18.67

带入重复测量的平均值，按式（C.4）拟合后可得：

$$R_\tau = 10 \times t_\tau + 15.94$$

### C.2.4 不确定度评定

#### C.2.4.1 起始时刻 $t_0$ 的不确定度分量 $u(t_0)$

投弃式温度剖面仪传感器入水后，会产生非常明显的阶跃变化，其不确定度主要由数字多用表采集数据的时间分辨力组成，当前数字多用表采样率为 1000 Hz，则其采集数据的时间分辨力为  $1 \times 10^{-3}\text{s}$ ，则不确定度半宽区间为  $5 \times 10^{-4}\text{s}$ ，一般服从均匀分布，取置信因子  $k = \sqrt{3}$ ，则时间分辨力引入的不确定度为：

$$u(t_0) = u_p = 2.9 \times 10^{-4} \text{ s}$$

#### C.2.4.2 $\tau$ 的终止时刻 $t_\tau$ 的不确定度分量 $u(t_\tau)$

$t_\tau$ 的不确定度主要来源为 $R_\tau$ 的不确定度和数字多用表采集数据的时间分辨力,结合式(C.4),根据不确定度的传播规律可得:

$$u(t_\tau) = \sqrt{u_p^2 + (u(R_\tau)/C)^2} \quad (\text{C.7})$$

(1)  $R_\tau$ 的标准不确定度 $u(R_\tau)$

由式(C.5)可知, $R_\tau$ 的不确定度主要来源为 $R_0$ 和 $R_1$ 的不确定度以及数字多用表读取 $R_\tau$ 的分辨力,故:

$$u(R_\tau) = \sqrt{u_p^2(R) + 0.368^2 \times u^2(R_0) + 0.632u^2(R_1)} \quad (\text{C.8})$$

式中:

$u_p(R)$ ——数字多用表读取电阻值的分辨力,为 $0.01 \Omega$ ,在计算中使用的数量级均为 $0.01 \text{ k}\Omega$ ,故数字多用表读取电阻值的分辨力可以忽略。

(2)  $R_0$ 的标准不确定度 $u(R_0)$

$R_0$ 的不确定度主要来源为数字多用表读取电阻值的分辨力、环境温度的波动、投弃式温度剖面仪的最大允许误差,结合式(C.3)可得:

$$u(R_0) = \sqrt{u_p^2(R) + A^2 \times u_s^2(T_0) + A^2 \times u_e^2(T_0) + u_e^2(R)} \quad (\text{C.9})$$

式中: $u_s$ 表示波动引入的不确定度分量、 $u_e$ 表示仪器最大允许误差引入的不确定度分量。

环境温度波动为 $0.12^\circ\text{C}$ ,由标准温度计重复测得,标准温度计及配套设备测量的最大允许误差为 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ,则由波动引入的标准不确定度分量 $u_s(T_0)$ 为 $0.04^\circ\text{C}$ 。

投弃式温度剖面仪的最大允许误差为 $\pm 0.20^\circ\text{C}$ ,则半宽区间为 $0.10^\circ\text{C}$ ,在此区间服从反正弦分布,包含因子 $k = \sqrt{2}$ ,则由投弃式温度剖面仪的最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_e(T_0)$ 为 $0.07^\circ\text{C}$ 。

数字多用表电阻值在测量档位的最大允许误差为 $\pm 0.01 \text{ k}\Omega$ ,则半宽区间为 $0.005 \text{ k}\Omega$ ,在此区间服从均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$ ,则数字多用表电阻值在测量档位的最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_e(R)$ 为 $0.003 \text{ k}\Omega$ 。

将 $u_s(T_0)$ 和 $u_e(T_0)$ 带入式(C.9),可得:

$$u(R_0) = 0.026 \text{ k}\Omega$$

(3)  $R_1$ 的标准不确定度 $u(R_1)$

$R_1$ 的不确定度主要来源为数字多用表读取电阻值的分辨力、恒温水槽温度的波动、投弃式温度剖面仪的最大允许误差,结合式(C.3)可得:

$$u(R_1) = \sqrt{u_p^2 + A^2 \times u_s^2(T_1) + A^2 \times u_e^2(T_1) + u_e^2(R)} \quad (\text{C.10})$$

恒温水槽的波动度为 $0.02^\circ\text{C}$ ,均匀度为 $0.02^\circ\text{C}$ ,标准温度计及配套设备测量的最大允许误差为 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ,则由波动引入的标准不确定度分量 $u_s(T_1)$ 为 $0.01^\circ\text{C}$ 。

将 $u_s(T_0)$ 带入式(C.10),可得:

$$u(R_1) = 0.023 \text{ k}\Omega$$

将 $u(R_0)$ 、 $u(R_1)$ 代入式(C.8),可得:

$$u(R_\tau) = 0.035 \text{ k}\Omega$$

则 $\tau$ 的终止时刻 $t_\tau$ 的不确定度分量 $u(t_\tau)$ 为:

$$u(t_\tau) = \sqrt{(2.9 \times 10^{-4})^2 + (0.035/10)^2} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

因投弃式温度剖面仪运动速度对热传导过程的影响,体现在投弃式温度剖面仪传感器输出值的变化率上,即C值,故不再重复引入。

### C.2.5 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总见表C4。

表 C4 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	符号	标准不确定度 (s)
起始时刻 $t_0$ 的不确定度分量	$u(t_0)$	$2.9 \times 10^{-4}$
$\tau$ 的终止时刻 $t_r$ 的不确定度分量	$u(t_r)$	$3.5 \times 10^{-3}$

各分量相互独立，仪器温度示值误差校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(t_0) + u^2(t_r)} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

#### C.2.6 扩展不确定度

包含因子取 $k = 2$ ，则投弃式温度剖面仪时间常数 $\tau$ 的校准结果的扩展标准不确定度为：

$$U = ku_c = 0.007 \text{ s}$$

#### C.2.7 不确定度评定报告

投弃式温度剖面仪在传感器运动速度 0.2 m/s，温度阶跃 15.0°C时，时间常数 $\tau$ 的校准结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.007 \text{ s}, k = 2$$