



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 978—2003

石油用高精密玻璃水银温度计

High Precision Mercury-in-Glass Thermometers for Used Petroleum

2003 - 03 - 05 发布

2003 - 06 - 01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

**石油用高精密玻璃
水银温度计检定规程**

**Verification Regulation of High Precision
Mercury-in-Glass Thermometers
for Used Petroleum**

JJG 978—2003

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2003 年 03 月 05 日批准，并自 2003 年 06 月 01 日起施行。

归口单位：全国温度工作器具计量技术委员会

主要起草单位：辽宁省计量科学研究院

贵州省计量测试院

本规程委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

孙云飞 （辽宁省计量科学研究院）

吴桂霞 （辽宁省计量科学研究院）

邓 萍 （贵州省计量测试院）

参加起草人：

孟庆先 （沈阳市玻璃计器厂）

李 谦 （上海医用仪表厂）

目 录

| | |
|---|-----|
| 1 范围 | (1) |
| 2 引用文献 | (1) |
| 3 概述 | (1) |
| 4 计量性能要求 | (1) |
| 5 通用技术要求 | (1) |
| 5.1 玻璃 | (1) |
| 5.2 感温液体和液柱 | (2) |
| 5.3 刻度与标志 | (2) |
| 5.4 感温泡、中间泡、安全泡 | (3) |
| 6 计量器具控制 | (3) |
| 6.1 检定条件 | (3) |
| 6.2 检定项目 | (3) |
| 6.3 检定方法 | (3) |
| 6.4 检定结果的处理 | (6) |
| 6.5 检定周期 | (6) |
| 附录 A 石油用高精密玻璃水银温度计检定记录格式 | (7) |
| 附录 B 石油用高精密玻璃水银温度计检定证书(内页)格式 | (8) |
| 附录 C 石油用高精密玻璃水银温度计温度修正值测量结果不确定度评定 | (9) |

石油用高精密玻璃水银温度计检定规程

1 范围

本规程适用于测量范围在 (0 ~ 150)℃, 分度值为 0.01℃、0.02℃和 0.05℃的石油用高精密玻璃水银温度计 (以下简称温度计) 的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献:

JB/T 9262—1999 《工业玻璃温度计和实验玻璃温度计》

GB 3145—1982 (90) 《苯结晶点测定法》

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》

使用本规程时应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

石油用高精密玻璃水银温度计是利用水银在玻璃感温泡和毛细管内的热膨胀原理来测温的, 它主要用于测量小温差, 试验容器温度场、石油粘度和苯结晶点的温度等场合。

温度计的结构分为棒式和内标式两种, 基本结构见图 1。

4 计量性能要求

温度计示值允许误差、示值稳定度、毛细管均匀性及刻度等分均匀性应符合表 1 规定。

表 1 ℃

| | | | | | | |
|--------------------|----------|----------|--------|------------|----------|------------|
| 分度值 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| 测量范围 | 0 ~ 100* | 0 ~ 100* | 4 ~ 6 | 100 ~ 150* | 0 ~ 100* | 100 ~ 150* |
| 示值允许误差 | ± 0.05 | ± 0.10 | ± 0.04 | ± 0.10 | ± 0.10 | ± 0.15 |
| 示值稳定度 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| 毛细管均匀性及 刻度等分均匀性 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| 注: * 可为该区间内的任意范围。 | | | | | | |

5 通用技术要求

5.1 玻璃

5.1.1 温度计的玻璃应光洁透明, 不得有裂痕及影响强度的缺陷, 在刻度范围内不得有影响读数的缺陷。

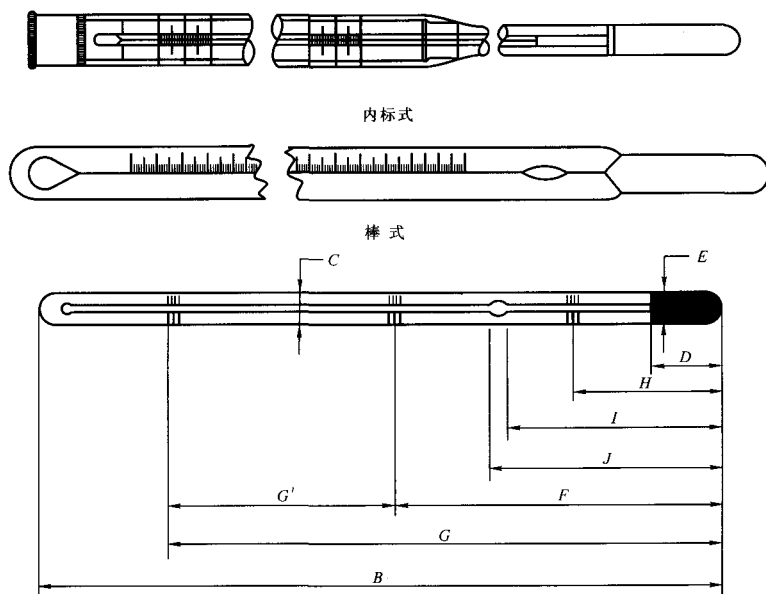


图1 石油用高精密玻璃水银温度计结构示意图

B—总长度, 210mm ~ 220mm; *C*—棒外径, 6mm ~ 7.5mm; *D*—水银球长度, 25mm ~ 35mm; *E*—水银球外径, 6mm ~ 不大于棒外径; 刻度设置, 球底部到线位置, 4℃; *F*—距离, 100mm ~ 115mm; 球底部到线位置, 6℃; *G'*—刻度部分长度; *G*—距离, 160mm ~ 175mm; 冰点刻度范围, -0.2℃ ~ +0.2℃; *H*—水银球底部到冰点距离缩小部分: 60mm ~ 70mm; *I*—距离底部最小值 (即 φ), 80mm; *J*—距离顶部最大值 (即 ψ), 90mm。

5.1.2 温度计应平直、粗细均匀、不得有显见的弯曲现象。

5.1.3 毛细管应平直、孔径均匀。正面观察温度计时, 液柱应具有最大宽度, 毛细管与感温泡、中间泡及安全泡的连接处均应呈圆弧形, 不得有劲缩现象, 管壁内应清洁无杂质。

5.1.4 棒式温度计应熔入一条乳白色或其他颜色的釉带。正面观察温度计时, 全部刻线的投影均应在釉带范围内。

5.2 感温液体和液柱

5.2.1 用作感温液体和液柱的水银必须纯净、干燥。

5.2.2 水银不得倒流 (真空除外), 上升时不得有明显的停滞或跳跃现象, 下降时不得有挂壁现象。

5.3 刻度与标志

5.3.1 温度计上的刻线应与毛细管的中心轴线相垂直。刻线、数字和其他标志应清晰准确，涂色应牢固耐久。

5.3.2 相邻两刻线的距离不得小于 0.5 mm，刻线的宽度不得大于 0.1 mm。

5.3.3 上、下限温度的刻线以外，应刻有不少于该温度计示值允许误差的展刻线。

5.3.4 每隔 10 或 20 条刻线应有标度值，温度计的零点和上下限也应标明相应的数字。

5.3.5 温度计应具有以下标志：表示国际温标摄氏度的符号℃、制造厂名或厂标、温度计的分度值、制造年月、编号、制造计量器具生产许可证标志。

5.4 感温泡、中间泡、安全泡

5.4.1 感温泡：棒式温度计感温泡的直径不得大于玻璃棒的直径，内标温度计感温泡直径不大于下体套管直径，感温泡内无气泡。

5.4.2 中间泡：温度计中间泡上端距主刻度下端第一刻线的距离不得大于 40 mm，苯结晶点温度计的尺寸见图 1。

5.4.3 安全泡：安全泡顶端应封圆。安全泡和温度计上限刻度以上的毛细管的总容积应能容纳超过上限温度 20℃ 的膨胀量，并能承受 60℃ 环境温度的液体膨胀量。

6 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检验。

6.1 检定条件

6.1.1 标准器：一等标准铂电阻温度计。

6.1.2 电测设备：精密测温电桥及配套设备，在引入修正值后的相对误差不得大于 2×10^{-5} ，最小步进值不得大于 $1 \times 10^{-4} \Omega$ ，也可使用同等准确度的其他电测设备。

6.1.3 水三相点瓶及保温容器。

6.1.4 冰点恒温器。

6.1.5 恒温槽：技术要求见表 2。

表 2

℃

| 恒温槽类别 | 工作区域水平温差 | 工作区域任意两点最大温差 | 温度波动度 |
|-------|----------|--------------|---------|
| 水槽 | 0.005 | 0.01 | ± 0.005 |
| 油槽 | 0.01 | 0.02 | ± 0.01 |
| 低温槽 | 0.01 | 0.01 | ± 0.01 |

注：工作区域是指标准与被检温度计感温泡所能触及到的范围。

6.1.6 读数望远镜和（5~10）倍放大镜或其他读数系统。

6.1.7 玻璃偏光应力仪及钢直尺等。

6.1.8 检定环境应能满足相应设备对环境条件的要求。

6.2 检定项目

温度计检定项目见表 3。

6.3 检定方法

表 3

| 检定项目 | | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检验 |
|--------------------------|---------|------|------|-------|
| 外观 | 6.3.1.1 | + | - | - |
| | 6.3.1.2 | - | + | - |
| 示值误差 | | + | + | + |
| 零点 | | + | + | + |
| 示值稳定度 | | + | - | - |
| 毛细管均匀性及刻度等分均匀性 | | + | - | - |
| 注：表中的“+”表示应检定，“-”表示可不检定。 | | | | |

6.3.1 外观检查

6.3.1.1 首次检定的温度计：用目力观察温度计应符合本规程 5.1~5.4 的要求。使用玻璃偏光应力仪观察温度计烧接部位时，应呈橙红色。

6.3.1.2 后续检定的温度计应着重检查温度计感温泡和其他部分有无损坏和裂痕等，液柱若有断节，经修复后方可检定。

6.3.2 示值误差检定

6.3.2.1 检定时应从下限温度逐点检定到上限温度，有零点的应先测定零点。

6.3.2.2 零点的示值检定可在水三相点瓶中进行，亦可用比较法在冰点器中进行；其他各温度点的检定均用比较法在恒温槽中进行。

6.3.2.3 温度计的检定点不应少于三个，检定间隔为 1℃，后续检定的温度计也可根据用户要求只对使用点进行检定。

6.3.2.4 标准铂电阻温度计插入深度应大于 250 mm，通过铂电阻温度计的电流为 1 mA，被检温度计应按规定浸没方式垂直插入恒温槽中，全浸式温度计检定点刻线露出液面的高度应不大于 15 条刻线，开始读数时槽温偏离检定点不超过 ±3 个分度值。

6.3.2.5 温度计插入槽中需稳定 (10~15) min，读数前应轻敲温度计，视线应与温度计垂直，并估读到分度值的 1/10。读数要迅速、准确、时间间隔应均匀。

6.3.2.6 检定时读数顺序为：

标准 → 被检 1 → 被检 2 → 被检 3 → …… 被检 n

↓

标准 ← 被检 1 ← 被检 2 ← 被检 3 ← …… 被检 n

共往返 5 次，对每支温度计读数 10 次。

6.3.2.7 浸没深度

全浸温度计露出液柱长度不得大于 15 mm，在特殊情况下局浸检定或使用，其露出液柱的温度修正值按式 (1) 计算：

$$\Delta t_1 = kn (t' - t_1) \quad (1)$$

式中： Δt_1 ——全浸温度计露出液柱的温度修正值，℃；

k ——水银视膨胀系数, $0.00016\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

n ——露出液柱的度数, $^{\circ}\text{C}$;

t_1 ——露出液柱的平均温度(辅助温度计放在露出液柱的下部 1/3 位置上, 注意和被检温度计很好地接触), $^{\circ}\text{C}$;

t' ——被检或使用温度计所指示的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

局浸温度计应按规定的插入深度进行检定。露出液柱的标准温度规定为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 当检定时露出液柱温度 t 不符合规定时, 应根据式 (2) 进行修正:

$$\Delta t_2 = kn(25 - t_1) \quad (2)$$

式中: t_1 , k , n 同式 (1);

Δt_2 ——局浸温度计露出液柱的温度修正值, $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.3 示值稳定度检定

将温度计以局浸方式在上限温度点(上限温度低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行)恒温 15 min 取出, 自然冷却至室温后, 立即测定第一次零点位置。

将温度计以局浸方式在上限温度点(上限温度低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行)恒温 24 h 取出, 自然冷却至室温后, 立即测定第二次零点位置。

6.3.3.1 用第二次零点位置的数值减去第一次零点位置的数值, 即为温度计的零点上升值, 此即示值稳定度。

6.3.3.2 无零点的温度计可按上述类似方法测定上限温度的示值变化, 即为示值稳定度。

6.3.4 毛细管均匀性及刻度等分均匀性的检定

应对温度计相邻两个定点间的任意点进行抽检, 该点检定的示值误差与两相邻点内插计算出示值修正值的差值不得超过表 1 的要求。

6.3.5 检定结果的计算

6.3.5.1 计算标准铂电阻温度计和被检温度计 10 次读数平均值。

6.3.5.2 标准铂电阻温度计的电阻比按式 (3) 计算:

$$W(t) = \frac{R(t)}{R_p} \quad (3)$$

式中: $R(t)$ ——在恒温槽温度 t 时的实测电阻值, Ω ;

R_p ——用标准铂电阻温度计在水三相点瓶中新测得的电阻值, Ω 。

6.3.5.3 由标准铂电阻温度计确定的实际槽温偏差按式 (4) 计算:

$$\Delta t_s = \frac{W(t) - W(t_n)}{(dW/dt)_{t_n}} \quad (4)$$

式中: Δt_s ——实际槽温偏差, $^{\circ}\text{C}$;

$W(t)$ ——由式 (3) 得出的电阻比;

$W(t_n)$ ——在名义温度 t_n 时的电阻比, 查表得;

$(dW/dt)_{t_n}$ ——在 t_n 时的微分电阻比, 查表得;

$t_n - W(t_n) - (dW/dt)_{t_n}$ 表格由检定标准铂电阻温度计的部门提供。

6.3.5.4 温度计修正值的计算方法:

$$x = \Delta t_s - \Delta t_d \quad (5)$$

式中: x ——被检温度计修正值,℃。

a) 全浸温度计做局浸检定时按式(6)计算修正值:

$$x_1 = \Delta t_s - (\Delta t_d + \Delta t_1) \quad (6)$$

式中: Δt_d ——被检温度计示值偏差,℃;

Δt_1 ——按式(1)计算。

b) 局浸温度计检定时露出液柱的温度与规定的露出液柱的标准温度不同时,按式(7)计算修正值:

$$x_2 = \Delta t_s - (\Delta t_d + \Delta t_2) \quad (7)$$

式中: Δt_2 ——按式(2)计算。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的温度计出具检定证书。证书上给出的示值修正值应化整到分度值的十分之一。不符合本规程要求的温度计出具检定结果通知书,并注明不合格项目。

6.5 检定周期

温度计的检定周期应根据使用情况确定,最长不得超过1年。

附录 A

石油用高精密玻璃水银温度计检定记录格式

| | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|------------------------|------------------|---|--|--|--|--|------------------------|
| 电测设备 No. | | 温度: °C | 铂电阻温度计 No. | 温度范围: °C | | | | | |
| 环境温度: °C | | 环境湿度: %RH | | | | | | | |
| 名义 温度 /°C | 次 数 | 电 测 示 值 /Ω | 送检单位 | | | | | | 电 测 示 值 /Ω |
| | | | 制造厂 | | | | | | |
| | | | 编 号 | | | | | | |
| | | | 分度值/°C | | | | | | |
| | 1 | 读 数 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 平均值 | | | 读 数 平均值 | | | | | | |
| 电测设备 两项平均值 | | | 零 点 位 置 | | | | | | |
| 电测设备 修正值 | | | 被 检 修正值 | | | | | | |
| 实测的 电阻值 $R(t)$ | | | | $W(t) = R(t)/R_0 =$ $\Delta t_s = [W(t) - W(t_s)] / (dW/dt)_{t_s} =$ | | | | | |

电桥读数者:

温度计读数者:

检定员:

核验员:

年 月 日

年 月 日

附录 B

石油用高精密玻璃水银温度计检定证书（内页）格式

石油用高精密玻璃水银温度计

测量范围 _____ °C 分度值 _____ °C 浸没方式 _____

检定结果

| | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--|
| 温度计的 示值/°C | | | | | |
| 修正值/°C | | | | | |
| 温度计的 示值/°C | | | | | |
| 修正值/°C | | | | | |

零点位置 _____ °C

附注：1. 根据示值计算实际温度的公式：

$$\text{实际温度} = \text{示值} + \text{修正值}$$

2. 下次送检请带此证书

附录 C

石油用高精密玻璃水银温度计温度修正值测量结果不确定度评定

- C.1 检测方法依据 JJG 978—2003 《石油用高精密玻璃水银温度计检定规程》。
 C.2 检定时环境条件为 25 ℃。
 C.3 以检定 (19~21)℃ 的全浸式温度计为例。
 C.4 数学模型

温度计修正值的数学模型为

$$\begin{aligned}x &= \Delta t_s - (\Delta t_d + \Delta t_1) \\ &= \Delta t_s - \Delta t_d - 0.000\ 16n(t' - t_1)\end{aligned}$$

式中: x ——被检水银温度计修正值, ℃;

Δt_s ——标准铂电阻温度计测得的实际槽温偏差, ℃;

Δt_d ——被检水银温度计示值偏差, ℃;

n ——被检水银温度计露出液柱度数, ℃;

t' ——被检水银温度计指示温度, ℃;

t_1 ——露出液柱的平均度数, ℃。

- C.5 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial x}{\partial \Delta t_s} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial x}{\partial \Delta t_d} = -1$$

$$c_3 = \frac{\partial x}{\partial t'} = -0.000\ 16n = -0.000\ 32$$

$$c_4 = \frac{\partial x}{\partial t_1} = 0.000\ 16n = 0.000\ 32$$

- C.6 各输入量的标准不确定度

- C.6.1 输入量 Δt_s 的标准不确定度 $u(\Delta t_s)$

- C.6.1.1 标准铂电阻温度计引入不确定度 $u(\Delta t_{s1}) = 2/2.58 = 0.8\ \text{mK}, \nu = \infty$

- C.6.1.2 电测设备引入不确定度 $u(\Delta t_{s2})$

$$\delta_w = \sqrt{2} [W(t) - 1] A = \sqrt{2} (1.079 - 1) \times 2 \times 10^{-5} = 2.23 \times 10^{-6}$$

$$\delta_i = 2.23 \times 10^{-6} / 0.003\ 96 = 5.6 \times 10^{-4}$$

$$u(\Delta t_{s2}) = 5.6 \times 10^{-4} / 2.58 = 0.22\ \text{mK}, \nu = \infty$$

所以

$$u(\Delta t_s) = \sqrt{u(\Delta t_{s1})^2 + u(\Delta t_{s2})^2} = \sqrt{0.8^2 + 0.22^2} = 0.83\ \text{mK}, \nu = \infty$$

- C.6.2 输入量 Δt_d 的标准不确定度 $u(\Delta t_d)$

- C.6.2.1 被检水银温度计重复性引入不确定度 $u(\Delta t_{d1})$

$$u(\Delta t_{d1}) = S/\sqrt{10} = 0.5 \text{ mK}, \quad \nu = 10 - 1 = 9$$

C.6.2.2 时间常数不一致, 温度波动引入不确定度 $u(\Delta t_{d2})$

$$u(\Delta t_{d2}) = 1/\sqrt{3} = 0.6 \text{ mK}, \quad \nu = 12$$

C.6.2.3 恒温槽温场不均匀引入不确定度 $u(\Delta t_{d3})$

$$u(\Delta t_{d3}) = 10/2\sqrt{3} = 2.9 \text{ mK}, \quad \nu = 12$$

因为各输入量相互独立, 所以

$$u(\Delta t_d) = \sqrt{u(\Delta t_{d1})^2 + u(\Delta t_{d2})^2 + u(\Delta t_{d3})^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.6^2 + 2.9^2} = 3.0 \text{ mK}$$

$$\nu = \frac{3.0^4}{\frac{0.5^4}{9} + \frac{0.6^4}{12} + \frac{2.9^4}{12}} = 13$$

C.6.3 输入量 t' 的标准不确定度 $u(t')$

C.6.3.1 重复性引入不确定度 $u(t_1') = S/\sqrt{10} = 0.5 \text{ mK}, \quad \nu = 10 - 1 = 9$

C.6.3.2 估读引入不确定度 $u(t_2') = 1/2\sqrt{3} = 0.29 \text{ mK}, \nu = 12$

因为各输入量相互独立, 所以

$$u(t') = \sqrt{u(t_1')^2 + u(t_2')^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.2^2} = 0.58 \text{ mK}$$

$$\nu = \frac{0.58^4}{\frac{0.5^4}{9} + \frac{0.29^4}{12}} = 15$$

C.6.4 输入量 t_1 的标准不确定度 $u(t_1)$

$$u(t_1) = 1/3 \times 2000/\sqrt{3} = 384.9 \text{ mK}, \nu = 12$$

C.7 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(\Delta t_s)]^2 + [c_2 u(\Delta t_d)]^2 + [c_3 u(t')]^2 + [c_4 u(t_1)]^2}$$

$$= \sqrt{0.69^2 + 9^2 + 0 + 0.014^2} = 3.1 \text{ mK}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{3.1^4}{\frac{0.83^4}{2431} + \frac{3.0^4}{13} + 0 + \frac{0.12^4}{12}} = 15$$

C.8 扩展不确定度

给定置信水平 95% 和算得的自由度 15, 查 t 分布表得覆盖因子, $k = t_{95}(15) = 2.13$ 。

于是扩展不确定度为

$$U_{95} = 2.13 \times 3.1 = 6.6 \text{ mK}$$

C.9 测量不确定度一览表 (见表 C-1)

表 C-1 测量不确定度一览表

| 符号 | 不确定度来源 | 类型 | 不确定度/mK | 概率分布 | 包含因子 | 标准不确定度/mK | 灵敏系数 | 自由度 |
|-----------------|------------|----|---------|--------|------------|-----------|-----------|----------|
| $u(\Delta t_s)$ | 标准器引入 | B | 2 | 正态 | 2.58 | 0.8 | 1 | ∞ |
| | 电测设备 | B | 0.56 | 正态 | 2.58 | 0.22 | 1 | ∞ |
| $u(\Delta t_d)$ | 检定重复性 | A | 0.5 | t 分布 | 1 | 0.5 | 1 | 9 |
| | 时间常数不同引入 | B | 1 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.6 | -1 | 12 |
| | 恒温槽温场不均匀引入 | B | 5 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 2.9 | -1 | 12 |
| $u(t')$ | 指示重复性 | A | 0.5 | t 分布 | 1 | 0.5 | -0.000 32 | 9 |
| | 示值估读 | B | 0.29 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 0.29 | -0.000 32 | 12 |
| $u(t_1)$ | 露出液柱修正 | B | 666.7 | 均匀 | $\sqrt{3}$ | 384.9 | 0.000 32 | 12 |
| $u_e(x)$ | 温度测量 | 合成 | - | t 分布 | - | 3.1 | - | 15 |
| U_p | 温度测量 | 扩展 | 6.6 | t 分布 | 2.13 | - | - | 15 |