



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 415—2001

工作用辐射温度计

The working Radiation Thermometers

2001-02-01 发布

2001-05-01 实施

国家质量技术监督局 发布

工作用辐射温度计检定规程

Verification Regulation of the

Working Radiation Thermometers

JJG 415—2001
代替 JJG 415—86

本规程经国家质量技术监督局于 2001 年 02 月 01 日批准，并自 2001 年 05 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

起草单位： 北京市计量科学研究所

本规程委托全国温度工作器具计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

刘 芊 （北京市计量科学研究所）

王发仁 （北京市计量科学研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 参考文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
4.1 允许误差限	(1)
4.2 重复性	(1)
5 通用技术要求	(1)
5.1 外观	(1)
5.2 绝缘电阻	(1)
5.3 光学系统	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定项目	(2)
6.2 检定条件	(2)
6.3 检定方法	(3)
6.4 检定数据处理	(4)
6.5 检定结果处理	(6)
6.6 检定周期	(6)
附录 A 高温辐射源窗口温度修正值的测定	(7)
附录 B 数据处理举例	(8)
附录 C 工作用辐射温度计检定记录	(9)
附录 D 检定证书背面格式	(10)
附录 E 不确定度评定	(11)

工作用辐射温度计检定规程

1 范围

本规程适用于工作用辐射温度计（温度范围 300~2200℃）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：

JJF 1001—1998《通用计量术语定义》

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

使用本规程时，应注意引用上述文献的现行有效版本。

3 概述

工作用辐射温度计（以下简称温度计）是通过检测被测目标的辐射亮度或它在不同波长下的比值（转换成电信号），非接触地实现温度测量的仪器。温度计主要由光学系统、探测器、信号处理及显示部分组成。

4 计量性能要求

4.1 允许误差限

温度计的允许误差限应符合 $\pm(a\%t)$ 的规定，其中 t 为测量范围的上限值或测量值， a 为温度计的准确度等级， a 、 t 以温度计的技术指标为准。对于多测量范围的温度计，不同的温度范围允许有不同的 a 值。

4.2 重复性

温度计测量同一温度的重复性应符合其技术指标的要求。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 温度计铭牌应标明制造厂名（或商标）、产品名称、型号规格、出厂编号、测量范围、出厂日期、型式批准标志及编号或制造计量器具许可证标志及编号。

5.1.2 温度计各开关按钮接触良好，开关、接线端钮应有明确标记。

5.1.3 新制造温度计的外壳、零部件有良好的表面处理，不得有锈蚀、霉斑，各部分装配应正确、可靠、无缺陷。

5.1.4 温度计的使用说明书应给出测量范围、允许误差限、重复性、工作波段、距离系数、输出信号形式、工作环境温度、响应时间、工作电压等。

5.2 绝缘电阻

当环境温度为 $15\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $45\%\sim 75\%\text{ RH}$ 时，采用交流供电的温度计的电源端子与外壳之间的绝缘电阻应不小于 $20\text{ M}\Omega$ 。

5.3 光学系统

温度计的光学系统应清洁无损伤，有瞄准系统的应瞄准清晰，瞄准标记应处于瞄准视场中心。

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 检定项目

首次检定、后续检定、使用中检验的项目见表 1。

表 1 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
4.1 允许误差限	+	+	+
4.2 重复性	+	-	+
5.1 外观	+	+	-
5.2 绝缘电阻	+	-	-
5.3 光学系统	+	+	-
注：表中“+”表示应检定，“-”表示可不检定。			

6.2 检定条件

6.2.1 检定设备

6.2.1.1 参考标准

检定所用的参考标准，其扩展不确定度 U_{95} 应小于被检温度计允许误差限绝对值的 $1/3$ 。

6.2.1.2 辐射源

辐射源的主要技术指标见表 2。

6.2.1.3 电测仪器

- 准确度等级不低于 0.01 级的直流电压（或电流）测量仪器；
- 寄生电势不大于 $0.4\text{ }\mu\text{V}$ 的无热电势转换开关；
- 与参考标准配套使用的电源、直流标准电阻和显示仪表。

6.2.1.4 辅助设备

表 2 辐射源的主要技术指标

温度范围 /℃	辐射源的有效 发射率	靶面的均匀性 /℃	靶面两端的温差 /℃	控温稳定度 (/℃/10min)
300~1400	$\epsilon = 1 \pm 0.010$	1	/	不大于 1
900~2200	$\epsilon = 1 \pm 0.015$	1	不大于 2	不大于 2

- a) 冰点器一个;
- b) 500 V 兆欧表一块;
- c) 具有上下左右移动和旋转功能的检定工作台一个。

6.2.2 检定的环境温度为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 85% RH。参考标准和电测设备工作的环境温度应符合其相应技术条件的要求。

6.3 检定方法

6.3.1 通用技术要求的检查按本规程 5.1, 5.3 进行。

6.3.2 绝缘电阻按本规程 5.2 用 500 V 兆欧表测量。

6.3.3 检定前的准备工作

- a) 将温度计按被测目标的大小或测量距离的要求安装在检定工作台上;
- b) 需预热的参考标准、温度计和电测设备, 按预定时间进行预热;
- c) 温度计有发射率调节功能的, 将发射率置于与辐射源靶面的有效发射率相同的数值。
- d) 检定用辐射源的靶面直径应大于或等于被测对象有效直径的 1.25 倍。
- e) 参考标准的瞄准和放置位置

用非接触式仪表作参考标准, 在瞄准时, 用一辅助光源照射在辐射靶上, 调整光学系统, 使其工作端 (灯丝或瞄准线) 清晰地对准靶心, 然后在辐射源的炉口加小孔光阑, 反复调整, 使靶心、小孔光阑和标准器的工作端 3 点在一条直线上, 最后将靶心聚焦在参考标准工作端的平面上。

用接触式仪表作参考标准时, 其工作端应放在表示辐射源靶面温度的位置上; 以二等标准铂铑 10-铂热电偶作参考标准时, 其参考端应处于 0°C 。

f) 被检温度计的瞄准

有瞄准系统的温度计的瞄准在升温的过程中按本规程 (6.3.3 e) 进行。

没有瞄准系统的温度计的瞄准以辐射源有效靶面的中心为瞄准目标, 调节温度计, 使二者同轴, 然后在辐射源前加一小孔光阑, 温度计在各个方向上微调, 调至最大值可以认为瞄准正确。

6.3.4 允许误差限的检定

根据参考标准证书的数值, 将辐射源的温度调到第一个检定点, 当辐射源达到控温

稳定度的要求时(见表2)开始测量。测量时按下列顺序进行:

标准→被检₁→被检₂…被检_n

↓

标准←被检₁←被检₂…被检_n

注: n 为被检温度计的序号。

参考标准和被检温度计每次各读一个数,取两次读数的平均值为检定点的读数结果。用非接触式仪表作参考标准时,两次读数结果的分散性不得大于 2°C ,用接触式仪表作参考标准时,二次读数结果的分散性不得大于 1°C ,辐射源偏离检定点的温度不得大于 5°C ,否则重新读数。被检温度计两次读数结果之差不得大于 2°C ,否则重新读数。

检定由下限至上限进行,一般不少于3个点(全量程的10%,50%,90%温度点),对于分为I,II,…量程的温度计,每个量程不得少于3个点。

6.3.5 重复性的检定

将辐射源稳定在某一温度点,对被测温度计在同一温度点进行测量,其测量次数不得少于10次,测量结果用实验标准差表示。

6.4 检定数据处理

6.4.1 参考标准的数据处理

6.4.1.1 参考标准是电流显示的数据处理

$$i_N = (i_1 + i_2)/2 \quad (1)$$

$$\Delta i_N = i_N - i_{\text{标}} \quad (2)$$

$$\Delta t_N = \frac{\Delta i_N}{(di/dt)_N} \quad (3)$$

式中: i_N ——参考标准在被检温度点的平均实测电流值, A;

i_1, i_2 ——参考标准在被检温度点的两次实测电流值, A;

$i_{\text{标}}$ ——参考标准在被检温度点检定证书上所给的标准电流值, A;

Δi_N ——由于实际温度偏离被检温度点引起的电流差值, A;

Δt_N ——由于实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, $^{\circ}\text{C}$;

$(di/dt)_N$ ——参考标准在被检温度点的电流-温度变化率, $\text{A}/^{\circ}\text{C}$ 。

注: N 表示被检温度点,下同。

6.4.1.2 参考标准是电压显示的数据处理

$$e_N = (e_1 + e_2)/2 \quad (4)$$

$$\Delta e_N = e_N - e_{\text{标}} \quad (5)$$

$$\Delta t_N = \frac{\Delta e_N}{(de/dt)_N} \quad (6)$$

式中: e_N ——参考标准在被检温度点的平均实测电压值, mV;
 e_1, e_2 ——参考标准在被检温度点的两次实测电压值, mV;
 $e_{\text{标}}$ ——参考标准在被检温度点检定证书上所给的标准电压值, mV;
 Δe_N ——由于实际温度偏离被检温度点引起的电压差值, mV;
 Δt_N ——由于实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, $^{\circ}\text{C}$;
 $(de/dt)_N$ ——参考标准在被检温度点的电压-温度变化率, mV/ $^{\circ}\text{C}$ 。

6.4.1.3 参考标准是温度显示的数据处理

$$t_N = (t_1 + t_2)/2 \quad (7)$$

$$\Delta t_N = t_N - t_{\text{标}} \quad (8)$$

式中: t_N ——参考标准在被检温度点的平均实测温度值, $^{\circ}\text{C}$;
 t_1, t_2 ——参考标准在被检温度点的两次实测温度值, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{\text{标}}$ ——参考标准在被检温度点检定证书上所给的标准温度值, $^{\circ}\text{C}$;
 Δt_N ——由于实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, $^{\circ}\text{C}$ 。

6.4.2 被检温度计的数据处理

6.4.2.1 温度计输出是电流显示的检定结果的数据处理

$$i'_N = (i'_1 + i'_2)/2 \quad (9)$$

$$(di'/dt)_N = \frac{i'_{N+1} - i'_{N-1}}{200} \quad (10)$$

$$I_N = i'_N - \Delta t_N(di'/dt)_N \quad (11)$$

式中: i'_N ——温度计在被检温度点的平均实测电流值, mA;
 i'_1, i'_2 ——温度计在被检温度点的两次实测电流值, mA;
 i'_{N+1}, i'_{N-1} ——温度计在被检的第 $N+1, N-1$ 点的平均实测电流值, mA;
 $(di'/dt)_N$ ——温度计在被检温度点的电流-温度变化率, mA/ $^{\circ}\text{C}$;
 Δt_N ——由 (3) 式求得的实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, $^{\circ}\text{C}$;
 I_N ——温度计在被检温度点的示值, mA。

注: (10) 式适用于每隔 100 $^{\circ}\text{C}$ 点检定时整百度点的 di'/dt 值的计算, 对首尾两点可线性外推。

6.4.2.2 温度计输出是电压显示的检定结果的数据处理

$$u'_N = (u'_1 + u'_2)/2 \quad (12)$$

$$(du'/dt)_N = \frac{u'_{N+1} - u'_{N-1}}{200} \quad (13)$$

$$U_N = u'_N - \Delta t_N(du'/dt)_N \quad (14)$$

式中: u'_N ——温度计在被检温度点的平均实测电压值, mV;

u'_1, u'_2 ——温度计在被检温度点的两次实测电压值, mV;

u'_{N+1}, u'_{N-1} ——温度计在被检第 $N+1, N-1$ 点的平均实测电压值, mV;

$(du'/dt)_N$ ——温度计在被检温度点的电压-温度变化率, mV/°C;

Δt_N ——由 (6) 式求得的实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, °C;

U'_N ——温度计在被检温度点的示值, mV。

注: (13) 式适用于每隔 100 °C 点检定时整百度点的 du'/dt 值的计算, 对首尾两点可线性外推。

6.4.2.3 温度计输出是温度显示的检定结果的数据处理

$$t'_N = (t'_1 + t'_2)/2 \quad (15)$$

$$T'_N = t'_N - \Delta t_N \quad (16)$$

式中: t'_N ——温度计在被检温度点的平均实测温度值, °C;

t'_1, t'_2 ——温度计在被检温度点的两次实测温度值, °C;

Δt_N ——由 (8) 式求得的实际温度偏离被检温度点引起的温度差值, °C;

T'_N ——温度计在被检温度点的示值, °C。

注: 在采用高温辐射源检定时需加窗口修正值 ΔT , 即在 (11), (14), (16) 式中加 ΔT 。 ΔT 的测定方法见附录 A。

6.5 检定结果处理

经检定符合本规程要求的发给检定证书并给出被检温度计在各个检定点的示值。

检定不合格的发给检定结果通知书, 并注明不合格项目。

6.6 检定周期

温度计的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

高温辐射源窗口温度修正值的测定

高温辐射源窗口温度修正值是在高温辐射源与温度计之间不引入和引入窗口玻璃的情况下，温度计两次读数的差值，具体测定方法如下。

A.1 将高温辐射源按其使用要求达到真空度后，关闭真空泵并向辐射源内充入保护气体（高纯氩气或高纯氮气），气体充入量应使辐射源内的空间在各个温度下始终保持一定的流量流出。

A.2 将高温辐射源升至第一个温度点，温度稳定后读数，读出带窗口时温度计的示值 $t_{\text{闭}}$ ，然后迅速将窗口移出视场，读出不带窗口时温度计的示值 $t_{\text{开}}$ 。

A.3 按下式求出第一个温度点的窗口温度修正值：

$$\Delta T = t_{\text{开}} - t_{\text{闭}}$$

式中： $t_{\text{开}}$ ——温度计不带窗口时的示值，℃；

$t_{\text{闭}}$ ——温度计带窗口时的示值，℃；

ΔT ——温度计的窗口温度修正值，℃。

附录 B

数据处理举例

B.1 例：参考标准为二等标准铂铑 10—铂热电偶，被检温度计为电流输出的数据处理。

B.1.1 二等标准铂铑 10—铂热电偶的数据处理

已知：检定点为 600 ℃， $e_{\text{标}} = 5.238 \text{ mV}$ ， $e_1 = 5.232 \text{ mV}$ ， $e_2 = 5.228 \text{ mV}$ ，参考端温度为 0 ℃， $(de/dt)_N = 0.010 \text{ mV/℃}$ ，代入式 (4)，(5)，(6)，得

$$e_N = (e_1 + e_2)/2 = 5.230 \text{ mV}$$

$$\Delta e_N = e_N - e_{\text{标}} = -0.008 \text{ mV}$$

$$\Delta t_N = \frac{\Delta e_N}{(de/dt)_N} = -0.8 \text{ ℃}$$

B.1.2 被检温度计的数据处理

已知： $i'_1 = 9.60 \text{ mA}$ ， $i'_2 = 9.58 \text{ mA}$ ， $i'_{N+1} = 12.06 \text{ mA}$ ， $i'_{N-1} = 6.89 \text{ mA}$ ，代入式 (9)，(10)，(11)，得

$$i'_N = (i'_1 + i'_2)/2 = 9.59 \text{ mA}, \Delta t_N = -0.8 \text{ ℃}$$

$$(di'/dt)_N = \frac{i'_{N+1} - i'_{N-1}}{200} = 0.026 \text{ mA/℃}$$

$$I'_N = i'_N - \Delta t_N (di'/dt)_N = 9.61 \text{ mA}$$

B.2 例：参考标准为标准光学高温计，被检温度计为温度输出的数据处理。

B.2.1 标准光学高温计的数据处理

已知：检定点为 1400 ℃， $i_{\text{标}} = 0.47054 \text{ A}$ ， $i_1 = 0.46966 \text{ A}$ ， $i_2 = 0.46982 \text{ A}$ ， $(di/dt)_N = 0.00048 \text{ A/℃}$ 代入式 (1)，(2)，(3)，得

$$i_N = (i_1 + i_2)/2 = 0.46974 \text{ A}$$

$$\Delta i_N = i_N - i_{\text{标}} = -0.00080 \text{ A}$$

$$\Delta t_N = \frac{\Delta i_N}{(di/dt)_N} = -1.7 \text{ ℃}$$

B.2.2 被检温度计的数据处理

已知： $t'_1 = 1388.0 \text{ ℃}$ ， $t'_2 = 1389.0 \text{ ℃}$ ， $\Delta T = 10.7 \text{ ℃}$ ， $\Delta t_N = -1.7 \text{ ℃}$ ，代入式 (15)，(16)，得

$$t'_N = (t'_1 + t'_2)/2 = 1388.5 \text{ ℃}$$

$$T'_N = t'_N - \Delta t_N + \Delta T = 1400.9 \text{ ℃}$$

附录 C

工作用辐射温度计检定记录

检定日期 年 月 日

送检单位	生产厂		型号		编号		证书号	
标准仪器 测量距离	No. _____, 电测仪器 _____, 标准电阻 _____, 温度 _____, 湿度 _____, RH _____		m, 工作波段 _____, μm , 绝缘电阻 _____, M Ω , 测量范围 _____, 外观 _____					
检定 点 ℃	标准示值 ()	被检示值 ()	检定点 ℃	标准示值 ()	被检示值 ()	检定点 ℃	标准示值 ()	被检示值 ()
平均值			平均值			平均值		
	Δi	ΔT ℃		Δi	ΔT ℃		Δi	ΔT ℃
	Δe	修正值 ℃		Δe	修正值 ℃		Δe	修正值 ℃
	Δf			Δf			Δf	
	参考端 ℃			参考端 ℃			参考端 ℃	
实测温度		实测温度			实测温度			
检定结果 ()	℃	℃	备注:					
检定员			数据处理的			核 验		结 论

附录 D

检定证书背面格式

检 定 结 果

温度点 (℃)

示值 ()

-
- 注 1. 检定根据国家检定规程 JJG 415—2001 《工作用辐射温度计》;
2. 下次送检请带此证书和仪表使用说明书。

附录 E

不确定度评定

E.1 概述

依据本检定规程的检定方法对红外温度计 ($\lambda_e = 1.55 \mu\text{m}$) 用中温辐射源, 以二等标准铂铑 10—铂热电偶为标准, 在 1000°C 点进行测量, 经过分析计算可得到该温度计在 1000°C 点的实际值。

E.2 数学模型

$$T = t - \Delta t \quad (\text{E.1})$$

式中: T ——红外温度计在 1000°C 时的实际值, $^\circ\text{C}$;

t ——红外温度计在测量时读数的平均值, $^\circ\text{C}$;

Δt ——测量时标准热电偶偏离检定点温度的值, $^\circ\text{C}$ 。

E.3 灵敏系数

$$\text{灵敏系数} \quad c_1 = \partial T / \partial t = 1 \quad (\text{E.2})$$

$$\text{灵敏系数} \quad c_2 = \partial T / \partial \Delta t = -1 \quad (\text{E.3})$$

E.4 不确定度来源

- 红外温度计短期重复性引入的标准不确定度 $u(t_1)$, (A);
- 由辐射源控温不稳定引入的标准不确定度 $u(t_2)$, (B);
- 由辐射源发射率偏离 1 引入的不确定度 $u(t_3)$, (B);
- 被检温度计的示值分辨力等引入的标准不确定度 $u(t_4)$, (B);
- 由标准热电偶的不确定度引入的标准不确定度 $u(\Delta t_1)$, (B);
- 由辐射源靶面的不均匀引入的标准不确定度 $u(\Delta t_2)$, (B);
- 靶面与标准器测温点之间的温差引入的标准不确定度 $u(\Delta t_3)$, (B);
- 由电测系统引入的标准不确定度 $u(\Delta t_4)$, (B)。

E.5 标准不确定度的评定

E.5.1 A 类标准不确定度的评定

E.5.1.1 对红外温度计在 1000°C 点进行重复测量, 测量 10 次, 求其平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k = 1002^\circ\text{C} \quad (n = 10) \quad (\text{E.4})$$

用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准差:

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.47^\circ\text{C} \quad (\text{E.5})$$

则标准不确定度 $u(t_1) = 0.47^\circ\text{C}$ 。

自由度

$$\nu(t_1) = n - 1 = 10 - 1 = 9 \quad (\text{E.6})$$

E.5.2 B类标准不确定度的评定

E.5.2.1 二等标准铂铑 10-铂热电偶经检定合格, 在周期内, 其扩展不确定度 1.0°C , 包含因子 $k=3$, 则标准不确定度 $u(\Delta t_1) = 1.0/3 = 0.33^\circ\text{C}$, 它具有 10% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(t_2) = \frac{1}{2(10\%)^2} = 50 \quad (\text{E.7})$$

E.5.2.2 辐射源控温不稳定性在 5 min 内不超过 0.5°C , 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(t_2) = 0.5/\sqrt{3} = 0.29^\circ\text{C}$, 具有 10% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(t_2) = \frac{1}{2(10\%)^2} = 50 \quad (\text{E.8})$$

E.5.2.3 辐射源有效发射率为 0.994, 在 1000°C 计算的扩展不确定度是 1.0°C (被检温度计的有效波长 $\lambda_e = 1.55 \mu\text{m}$), 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(t_3) = 1.0/\sqrt{3} = 0.58^\circ\text{C}$, 具有 25% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(t_3) = \frac{1}{2(25\%)^2} = 8 \quad (\text{E.9})$$

E.5.2.4 被检温度计的分辨力、人员的读数误差等为 1.0°C 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(t_4) = 1.0/\sqrt{3} = 0.58^\circ\text{C}$, 具有 25% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(t_4) = \frac{1}{2(25\%)^2} = 8 \quad (\text{E.10})$$

E.5.2.5 由辐射源靶面的不均匀性引入的不确定度为 1.0°C , 服从正态分布, $k=3$, 其标准不确定度 $u(\Delta t_2) = 1.0/3 = 0.33^\circ\text{C}$, 具有 20% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(\Delta t_2) = \frac{1}{2(20\%)^2} = 12 \quad (\text{E.11})$$

E.5.2.6 靶面与热电偶测量端之间的温差为 1.0°C 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(\Delta t_3) = 1.0/\sqrt{3} = 0.58^\circ\text{C}$, 具有 20% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(\Delta t_3) = \frac{1}{2(20\%)^2} = 12 \quad (\text{E.12})$$

E.5.2.7 电测系统在 1000°C 的变化是 $2 \mu\text{V}$, 相当于 0.2°C , 服从均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 其标准不确定度 $u(\Delta t_4) = 0.2/\sqrt{3} = 0.1^\circ\text{C}$, 具有 25% 的不可靠性, 则自由度

$$\nu(t_4) = \frac{1}{2(25\%)^2} = 8 \quad (\text{E.13})$$

E.6 合成标准不确定度

以上各项均不相关，因此合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2) + u^2(t_3) + u^2(t_4) + u^2(\Delta t_1) + u^2(\Delta t_2) + u^2(\Delta t_3) + u^2(\Delta t_4)}$$

$$= 1.2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{E.14})$$

u_c 的自由度

$$\nu = \nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum (u_c^4/\nu_i)} = 47 \quad (\text{E.15})$$

E.7 扩展不确定度

给定置信水平 0.95 和算得的自由度 47，查 t 分布表，得包含因子

$$k = t_{0.95}(47) = 2.01$$

扩展不确定度 $U = k u_c = 2.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($k = 2.01$, $\nu = 47$, $p = 0.95$)