



# 北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX-XXXX

## 红外温度变送器校准规范

Calibration Specification for Infrared Temperature Transmitter

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布



# 红外温度变送器校准规范

Calibration Specification for  
Infrared Temperature Transmitter

JJF(京) xx-xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规程委托北京市计量检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

郭 芳（北京市计量检测科学研究院）

裴立宁（北京市计量检测科学研究院）

张曦雯（北京市计量检测科学研究院）

崔莉霞（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：

吴 健（北京市计量检测科学研究院）

赵 霞（北京市计量检测科学研究院）

余 颖（北京市计量检测科学研究院）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量性能要求.....	(1)
4.1 示值误差.....	(1)
4.2 重复性.....	(2)
5 通用技术要求.....	(1)
5.1 外观.....	(2)
5.2 光学系统.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 标准器及其他设备.....	(2)
6.2 环境条件.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(2)
7.1 校准项目.....	(2)
7.2 校准方法.....	(3)
7.3 校准数据处理.....	(5)
8 校准结果表达.....	(7)
8.1 校准记录.....	(7)
8.2 校准证书.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 红外温度变送器原始记录格式.....	(8)
附录 B 校准证书参考格式.....	(9)
附录 C 示值误差的不确定度评定示例.....	(10)

# 引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的规定而制定。本规范参考了 JJG 856-2015《工作用辐射温度计》、JJF 1183-2007《温度变送器》，结合国内外各生产厂商的红外温度变送器技术参数和质量控制现状制订。

本规范为首次发布。

## 红外温度变送器校准规范

### 1 范围

本规范适用于测温范围为 $(-20\sim 1600)$ ℃的红外温度变送器的校准。

### 2 引用文件

本规范引用以下文件：

JJG 856-2015 工作用辐射温度计

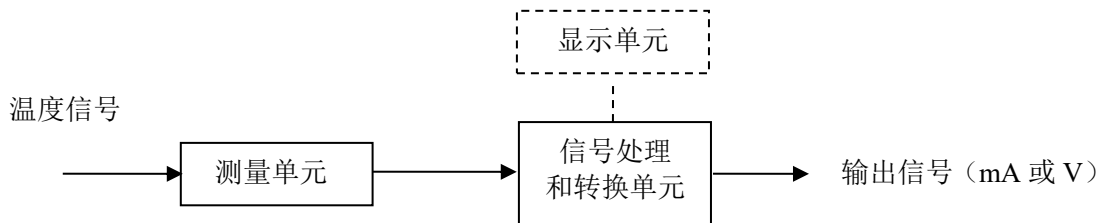
JJF 1183-2007 温度变送器

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

### 3 概述

红外温度变送器是以红外温度探测器为传感器的温度变送器。红外温度变送器通常由光学系统、光学探测器、信号放大器及信号处理、显示输出等部分组成，光学系统汇聚其视场内的目标红外辐射能量，红外能量聚焦在光电探测器上并转变为相应的电信号，该信号再经换算转换为被测目标的温度值，变送器可与计算机相连，能够随时监控温度进行数据采集和保存。

图1 红外温度变送器原理框图



红外温度变送器的标准化输出信号主要为 $(4\sim 20)$  mA、 $(0\sim 5)$  V等直流电信号，接线端子通常有六线制、四线制和二线制等形式。

### 4 计量性能要求

#### 4.1 示值误差

在红外温度变送器（以下简称变送器）的测温范围内，应不超过最大允许误差。

注：

1. 最大允许误差（或不确定度、准确度）应根据型号技术文件确定。
2. 最大允许误差技术指标应注明与之相对应的测量距离与辐射源直径。

## 4.2 重复性

应不超过变送器技术指标中对重复性的要求，同时应不超过最大允许误差绝对值的1/2。

## 5 通用技术要求

### 5.1 外观

5.1.1 变送器上应标有型号规格、制造厂家（或商标）和产品编号。

5.1.2 变送器上或使用说明书应给出测量范围、允许误差限、重复性、光谱范围、距离系数、输出信号形式、工作电压等信息。

5.1.3 变送器的各接线端子的连接处应接触良好，并有明确的标记。有显示单元的变送器，数字显示应清晰。

### 5.2 光学系统

光学系统应清洁，无损伤，零部件应完好无损，紧固件应无松动，可动部分应灵活可靠。

## 6 校准条件

### 6.1 标准器及其它设备

校准时所需要的标准仪器及配套设备可按变送器的规格参照表2进行选择。从提高校准能力出发，标准仪器及配套设备引入的扩展不确定度与变送器最大允许误差绝对值相比应尽可能小。

### 6.2 环境条件

6.2.1 环境温度：18℃~25℃。

6.2.2 相对湿度：20%~85%。

6.2.3 变送器周围除地磁场外，应无影响其正常工作的外磁场；实验过程中应避免强阳光和强辐射源对实验用辐射源和变送器的干扰；避免空气对流及环境温度波动对测量结果产生不可忽略的影响。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

变送器的示值误差和重复性。

#### 7.1.1 示值误差

校准温度点的选择应按变送器的量程均匀分布，一般应包括接近量程上、下限值的温



度点, 以及量程 50%附近的温度点, 不少于 5 个温度点。也可根据用户要求选择校准点。

表 2 标准仪器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备注
1	黑体辐射源	有效发射率 $\varepsilon \geq 0.995$ , 控温稳定度不大于 $0.1^\circ\text{C}/10\text{min}$ 与 $0.1\%t$ 的大者, 均匀性不大于 $\pm 0.15^\circ\text{C}$ 与 $0.15\%t$ 的大者	提供辐射温度或作为参考黑体辐射源 提供亮度温度	辐射源和参考温度计的适用范围 参考 JJG 856-2015, 7.1.1.1
2	面辐射源	有效发射率 $\varepsilon \geq 0.95$ , 控温稳定度不大于 $0.15^\circ\text{C}/10\text{min}$ 与 $0.15\%t$ 的大者, 均匀性不大于 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 与 $0.2\%t$ 的大者		
3	辐射温度计	不确定度 ( $k=2$ ) 不大于变送器最大允许误差的 $1/3$	参考温度计	
4	铂电阻温度计	根据量程选择相应的接触式参考温度计, 不确定度 ( $k=2$ ) 不大于变送器最大允许误差的 $1/5$		
5	标准热电偶			
6	电测仪器	电桥、直流数字多用表等, 其测量引入的不确定度应不超过标准器不确定度的 $1/3$ , 如 MPE: $\pm 0.01\%$ , 分辨力不低于 $1\ \mu\text{V}$	配合参考温度计使用	
7	直流电流表	( $0\sim 30$ ) mA, 其测量引入的不确定度应不超过变送器最大允许误差的 $1/20$ , 如: MPE: $\pm 0.01\%$	变送器输出信号的测量标准	/
8	直流电压表	( $0\sim 5$ ) V、( $0\sim 50$ ) V 单独作为测量电压信号的标准时, 其测量引入的不确定度应不超过变送器最大允许误差的 $1/20$ , 如: MPE: $\pm 0.01\%$	直流电压表单独可以作为变送器电压输出信号的测量标准; 与电阻组合取代直流电流表作为变送器电流输出信号的测量标准	/
9	标准电阻	$100\ \Omega$ ( $250\ \Omega$ ) 不低于 0.05 级		
10	零度恒温器	插入深度应不小于 200mm, 工作区域温度不大于 $(0\pm 0.1)^\circ\text{C}$	为标准热电偶提供参考端温度补偿的恒温装置	可以满足要求的其它恒温装置代替
11	直流稳压源	( $12\sim 48$ ) V, MPE: $\pm 1\%$	变送器的直流供电电源	/
12	测长工具	/	用于确定测量距离	/

13	校准工作台或 支架	/	具有平移或旋转等 功能	/
----	--------------	---	----------------	---

### 7.1.2 重复性

通常在测温范围中点附近选择温度点进行测量。

## 7.2 校准方法

### 7.2.1 准备工作

7.2.1.1 通用技术要求的检查按本规程 5.1, 5.2 进行。

7.2.1.3 根据说明书信息确定变送器的校准距离。

7.2.1.4 根据说明书信息确认对辐射源直径的要求。说明书未直接给出此信息时, 查出与校准距离相对应的视场直径, 选用的黑体辐射源的直径一般应不小于被测对象视场直径的 1.4 倍。

7.2.1.5 将参考辐射温度(如果适用)和变送器的发射率设定值设为 1。若变送器发射率为固定值(如 0.95), 其校准结果应增加该修正项(如果适用)。

7.2.1.6 连接变送器接线端子和配套设备。

注:六线制变送器一般是二根电压端,二根信号输出端和二根发射率输入端;四线制一般是二根电压端,二根信号输出端;二线制一般是电压和输入信号是同一个端子 [JJF 1183-2007, 附录 A]。

7.2.1.7 需要预热的参考标准、变送器和电测设备, 按预定时间进行预热;

### 7.2.2 瞄准要求

7.2.2.1 将参考辐射温度计(如果适用)和被校变送器安装在辐射源前方中心轴线延长线上。

7.2.2.2 按说明书规定的方法进行被校变送器的瞄准。说明书没有明确规定的, 默认瞄准辐射源空腔靶底。如果瞄准靶底时无法满足校准距离的要求, 在可获得有效校准结果的前提下, 允许将被校变送器的瞄准面从腔底向腔口方向移动。

7.2.2.3 通过被校变送器的辅助瞄准光束确定瞄准靶面中心。不具备辅助瞄准光束的, 可通过参考辐射温度计和被校变送器观测辐射源温度场, 根据温场的对称性确定中心位置。

### 7.2.3 示值误差

7.2.3.1 根据变送器的量程, 将辐射源的温度调到第一个校准点, 使稳定后的辐射源量值与校准点的偏差不超过变送器最大允许误差的 2 倍。

7.2.3.2 对参考温度计或参考辐射源应与被校变送器应尽量同步地记录两次数据。不能同步测量时, 可以按下列顺序进行。

## 标准→被校→被校→标准

注：1. 应在被校变送器示值相对稳定后读数。如有飘移，先用挡光板遮挡辐射源不少于 30s，并在移开挡光板并启动测量后的若干秒（一般为响应时间的 3 倍）后读数。

2. 同步是相对于辐射源稳定性而言的，若辐射源稳定性足够好，则可依次校准多个变送器。

7.2.3.3 改变校准点，稳定后重复 7.2.1 至 7.2.5.3 的步骤，完成其它校准点的测量。

## 7.2.4 重复性

7.2.4.1 辐射源在重复性校准点稳定后，使被校变送器瞄准辐射源。

7.2.4.2 用挡光板在变送器前遮挡不少于 30s 后移开挡光板，记录数据。

7.2.4.3 重复 7.2.4.2 的测量过程，共进行 10 次。

## 7.3 校准数据处理

## 7.3.1 输出直流电信号与温度值的换算

被校变送器输出直流电信号时，应换算为温度值  $t$ ：

$$t = \left( \frac{t_2 - t_1}{A_2 - A_1} \right) \times (A - A_1) + t_1 \quad (1)$$

式中：

$t_1$  —— 被校变送器的输入量程下限值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_2$  —— 被校变送器的输入量程上限值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$A$  —— 被校变送器的读数平均值； $\text{mA/V}$ ；

$A_1$  —— 被校变送器的输出的理论下限值， $\text{mA/V}$ ；

$A_2$  —— 被校变送器的输出的理论上限值， $\text{mA/V}$ 。

## 7.3.2 示值误差

7.3.2.1 计量标准实测标准值对校准点的温度差  $\Delta t_s$ 

计量标准器采用参考温度计时，标准器实测示值相对于校准点  $t_N$  的示值差  $\Delta t_s$  为：

$$\Delta t_s = \frac{1}{2}(t_{S1} + t_{S2}) - t_{SN} \quad (2)$$

式中：

$t_{S1}$ 、 $t_{S2}$  —— 接触式参考温度计测量辐射源的两次实际示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{SN}$  —— 由参考温度计证书确定的对应于校准点  $t_N$  的示值， $^{\circ}\text{C}$ 。

注：对于电量输出指示的参考温度计，可先将其换算为温度值。

计量标准器采用参考辐射源时，根据参考辐射源的亮度温度证书值，修正参考福辐射

源指示温度的实测值与证书值之差。辐射源实际亮度温度与校准点的示值差  $\Delta t_s$  为:

$$\Delta t_s = (t_{SC} - t_N) + \left(\frac{1}{2}(t_{SI1} + t_{SI2}) - t_{SIC}\right) \quad (3)$$

式中:

$t_{SC}$  ——参考辐射源证书在对应校准点  $t_N$  的亮度温度值, °C;

$t_{SIC}$  ——参考辐射源证书在对应校准点  $t_N$  的指示温度, °C;

$t_{SI1}$ 、 $t_{SI2}$  ——参考辐射源指示温度的两次实测值, °C。

7.3.2.2 被校变送器的实际示值与校准点的温度差  $\Delta t_T$  为:

$$\Delta t_T = \frac{1}{2}(t_{T1} + t_{T2}) - t_N \quad (4)$$

式中:

$t_{T1}$ 、 $t_{T2}$  ——红外温度变送器两次显示的读数, °C;

$t_N$  ——校准温度点, °C。

7.3.2.3 示值误差的计算

综合计量标准和被校变送器对校准温度点的温度差, 修正辐射源和被校变送器发射率偏离 1、被校与参考温度计测量点温差等因素引入的不可忽略影响, 示值误差  $\Delta t$  为:

$$\Delta t = (\Delta t_T - \Delta t_s) - \Delta t_{T\epsilon} + \Delta t_{T\epsilon} - \Delta t_{TS} \quad (5)$$

式中:

$\Delta t$  ——被校变送器在校准点  $t_N$  处的示值误差, °C;

$\Delta t_{T\epsilon}$  ——辐射源发射率偏离 1 引入的修正值, °C;

$\Delta t_{T\epsilon}$  ——被校变送器的发射率不可调为 1 时引入的修正值, °C;

$\Delta t_{TS}$  ——被校变送器的瞄准区域与参考温度计的测温区域之间的温度差, °C。

注:

1 辐射源发射率偏离 1 引入的修正值  $\Delta t_{T\epsilon}$  和被校变送器的发射率不可调为 1 时引入的修正值  $\Delta t_{T\epsilon}$  的计算方法见 JJG856-2015 《工作用辐射温度计》附录 C。

2 被校变送器瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差  $\Delta t_{TS}$  根据标准装置的实际情况确定, 必要时可采用多种计量标准形式进行验证。

7.3.2.2

7.3.3 重复性

重复性通常表示为单次测量的实验标准偏差  $s$  的 2 倍。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2} \quad (6)$$

式中:

$n$  ——测量次数;

$\delta_i$  ——被检温度计单次测量结果与参考温度读数的差值, °C;

$\bar{\delta}$  —— $\delta_i$  的平均值, °C。

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽地记载测量数据和计算结果, 记录格式参考附录 A。

### 8.2 校准证书

校准证书由封面和校准数据组成, 校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式参考附录 B。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过一年, 或由送校单位根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

## 附录 A 红外温度变送器原始记录格式

计量器具名称:		委托方名称:		证书编号:													
型号/规格:		产品编号:		制造厂:													
温度范围: ( ~ ) °C		最大允许误差:															
温度计参数: 发射率设置 ; 响应波长 $\mu\text{m}$ ; D: S= ; 显示分辨力: °C																	
计量标准:				技术文件:													
本次测量所使用的主要计量器具:																	
环境温度: °C; 相对湿度: %		校准员:		核验员:													
校准日期: 年 月 日																	
外观: <input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求		光学系统: <input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求															
测量距离: m		视场直径 S: mm		1.4S: mm													
校准地点:																	
校准温度点 (°C)	参考温度计					被校变送器		辐射源发射率不为 1 (°C)	变送器发射率不为 1 (°C)	测点温差 (°C)	校准结果						
	证书值 (°C)		实测值 (°C)			偏差 (°C)	测量值 (mA/V/°C)				换算温度 (°C)	偏差 (°C)	输出值 (°C)	示值误差 (°C)	U (k=2, °C)		
	名义温度	证书示值	1	2	平均值		1									2	平均值
校准温度点 (°C)	参考辐射源					被校变送器		辐射源发射率不为 1 (°C)	变送器发射率不为 1 (°C)	测点温差 (°C)	校准结果						
	证书值 (mV)		实测值 (mV)			偏差 (°C)	测量值 (mA/V/°C)				换算温度 (°C)	偏差 (°C)	输出值 (°C)	示值误差 (°C)	U (k=2, °C)		
	指示温度	亮度温度	1	2	平均值		1									2	平均值
重复性实验		测量温度点 (°C)	测量值 (mA/V/°C)										实验标准偏差 (mA/V/°C)	换算温度 (°C)	重复性 (°C)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				平均值	

## 附录 B

## 校准证书参考格式

B.1 校准证书第 2 页参见 JJF1002-2010《国家计量检定规程编写规则》的附录 G。

B.2 校准证书结果页

证书编号 XXXXXXX-XXXX

## 校 定 结 果

外 观						
光学系统						
标准温度 ℃	红外变送器 示值℃	示值误差 ℃	$U(k=2)$ ℃	测量距离 m	辐射源直径 mm	辐射源类型
重复性实验温度点/℃				重复性/℃		

说明：1、被校红外变送器的光谱范围：(    ~    ) $\mu\text{m}$ ；

2、被校红外变送器有效发射率为：

以下空白

## 附录 C

## 示值误差的不确定度评定示例

## C.1 示值误差的不确定度分析

## C.1.1 数学模型

按本规范给出的红外温度变送器校准方法，示值误差的数学计算模型为：

$$\Delta t = (\Delta t_T - \Delta t_S) - \Delta t_{TBE} + \Delta t_{TE} - \Delta t_{TS} \quad (C-1)$$

其中： $\Delta t$  ——被校变送器在校准点  $t_N$  处的示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta t_T$  ——被校变送器读数  $t_T$  相对于校准点  $t_N$  的温度偏差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta t_S$  ——辐射源校准量（通常为亮度温度） $t_S$  相对于校准点  $t_N$  的偏差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta t_{TE}$  ——辐射源发射率偏离 1 引入的误差，包括被校变送器示值和计量标准参考温度值两方面的影响， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta t_{TS}$  ——被校变送器瞄准区域与参考温度计测温区域之间的温度差， $^{\circ}\text{C}$ 。

## C.1.2 示值误差的测量不确定度来源

示值误差的测量不确定度来自计量标准装置、被校变送器以及校准操作三个方面：

## C.1.2.1 计量标准装置，包括标准器自身示值和辐射源特性的影响两方面。

量值溯源（校准不确定度与长期稳定性）；

重复性、分辨力、辅助仪表；

辐射源发射率和环境温度影响；

辐射源温度均匀性，包括标准器测量点（或目标）与被校变送器目标之间的温差；

辐射源控温的复现性或短期稳定性。

## C.1.2.2 被校变送器特性

重复性、分辨力、辅助仪表；

被校变送器的发射率不能设为 1（如果适用）引入的修正的影响。

## C.1.2.3 校准操作过程

参考辐射温度计（若使用）与被校变送器的瞄准；

数据处理中的简化与舍入。

## C.1.3 灵敏系数及合成标准不确定度

式（C-1）为温差的代数和公式，且等号右侧各项的系数绝对值均为 1，因此与之对应的温度不确定度分量的灵敏系数的绝对值也为 1。影响示值误差的不确定度因素



中，辐射源发射率对参考辐射温度计与被校变送器示值的影响，应分别按照完全相关的分量进行合成，采用算术相减合成方法；此后，各不相关分量依据不确定度传播率计算合成标准不确定度：

$$u^2(\Delta t) = u^2(\Delta t_S) + (u(\Delta t_{SB\epsilon}) - u(\Delta t_{TB\epsilon}))^2 + u^2(\Delta t_{T\epsilon}) + u^2(\Delta t_{TS}) + u^2(\Delta t_{OP}) \quad (C-2)$$

其中： $u(\Delta t_{OP})$ ——校准操作和测量条件影响等引入的标准不确定度， $^{\circ}\text{C}$ 。

## C.2 不确定度评定实例

### C.2.1 以接触式标准温度计为参考温度计，校准（8~14） $\mu\text{m}$ 红外温度变送器

采用精密铂电阻温度计作为参考温度计。黑体空腔置于液体恒温槽内，发射率  $0.995 \pm 0.003$ ，辐射面有效直径 65mm。被校变送器的光谱范围（8~14） $\mu\text{m}$ 、温度分辨力  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，输出信号为（4~20）mA，测温范围为（-20~180） $^{\circ}\text{C}$ ，最大允许误差为  $\pm 1\%t$  或  $1^{\circ}\text{C}$ ，重复性为  $\pm 0.5\%t$  或  $0.5^{\circ}\text{C}$ （ $t$  为温度测量值）。校准时被校变送器的发射率设置在 1.00，环境温度  $23.0^{\circ}\text{C}$ ，校准距离 0.3m，相应的目标直径为 20mm。计算在  $100^{\circ}\text{C}$  的校准结果——示值误差的不确定度。

#### C.2.1.1 影响固有误差的不确定度来源

##### C.2.1.1.1 计量标准——参考精密铂电阻温度计与黑体辐射源引入的不确定度

包括以下分量：

参考精密铂电阻温度计校准不确定度，由证书给出  $0.02^{\circ}\text{C}$ ，正态分布， $k=2$ ， $u_1=0.01^{\circ}\text{C}$ ；

参考精密铂电阻温度计在校准周期内的变化量为  $0.04^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_2=0.03^{\circ}\text{C}$ ；

测量辐射源温度的重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得出， $u_3=0.02^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源短期稳定性不超过  $0.05^{\circ}\text{C}$  每 10 分钟，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_4=0.03^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源均匀性对瞄准和测点温差都有影响，不超  $0.05^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_5=0.03^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源发射率的不确定度为 0.003，引入的温度修正为  $0.189^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_6=0.11^{\circ}\text{C}$ 。

##### C.2.1.1.2 被校变送器引入的不确定度

包括以下分量：

测量重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得， $u_7=0.06^{\circ}\text{C}$ ；

测量被校变送器的输出电流值的电测仪表引入的误差， $0.00636\text{mA}$ ，换算成温度值为  $0.0795^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_8=0.05^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.2.1.1.3 操作引入的标准不确定度

瞄准的影响包含在  $u_5$  中；

数据修约  $0.05^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_9=0.03^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.2.1.2 各不确定度分量的数值汇总表

各标准不确定度分量如表 1。

表 1 示值误差的不确定度分量表

不确定度来源		类别	灵敏系数	$u_i/^{\circ}\text{C}$
参考温度计（精密铂电阻温度计）	校准不确定度 $u_1$	B	-1	0.01
	校准周期内的稳定性 $u_2$	B	-1	0.03
	测温重复性 $u_3$	A	-1	0.02
黑体辐射源	短期稳定性 $u_4$	B	-1	0.03
	均匀性对瞄准的影响 $u_5$	B	1	0.03
	发射率修正对确定固有误差的影响 $u_6$	B	-1	0.11
被校变送器	测量重复性 $u_7$	A	1	0.06
	电测仪表 $u_8$	B	1	0.05
校准操作	数据修约 $u_9$	B	1	0.03

#### C.2.1.3 扩展不确定度的评定

由于各分量不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2} = 0.14^{\circ}\text{C}$$

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \cdot u_c = 0.28^{\circ}\text{C} \approx 0.3^{\circ}\text{C}$$

#### C.2.2 以辐射温度计为参考温度计，校准相同光谱范围的红外温度变送器

采用以波长  $3.9\ \mu\text{m}$ 、分辨力  $0.01^{\circ}\text{C}$  辐射温度计作为参考温度计。黑体辐射源发

射率  $0.998 \pm 0.005$ ，辐射面有效直径 50mm。被校变送器的波长  $3.9 \mu\text{m}$ 、温度分辨力  $0.1^\circ\text{C}$ ，输出信号为  $(4 \sim 20) \text{mA}$ ，测温范围为  $(200 \sim 1000)^\circ\text{C}$ ，最大允许误差为  $\pm 1\%t$ ，重复性为  $\pm 0.5\%t$  ( $t$  为温度测量值)。校准时被校变送器的发射率设置在 1.00，环境温度  $23.0^\circ\text{C}$ ，校准距离 1.2m，相应的目标直径为 10mm。计算在  $600^\circ\text{C}$  的校准结果——示值误差的不确定度。

#### C.2.2.1 影响固有误差的不确定度来源

##### C.2.2.1.1 计量标准——参考辐射温度计与黑体辐射源引入的不确定度

包括以下分量：

参考辐射温度计校准不确定度，由证书给出  $1.0^\circ\text{C}$ ，正态分布， $k=2$ ， $u_1=0.5^\circ\text{C}$ ；

参考辐射温度计在校准周期内的变化量为  $0.4^\circ\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_2=0.23^\circ\text{C}$ ；

测量辐射源温度的重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得出， $u_3=0.05^\circ\text{C}$ ；

辐射源短期稳定性不超过  $0.3^\circ\text{C}$  每 10 分钟，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_4=0.18^\circ\text{C}$ ；

辐射源均匀性对瞄准和测点温差都有影响，不超  $0.4^\circ\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_5=0.23^\circ\text{C}$ ；

辐射源发射率的不确定度为 0.005，因参考辐射温度计与被校变送器光谱范围相同，引入的温度修正为  $0^\circ\text{C}$ ， $u_6=0^\circ\text{C}$ 。

##### C.2.2.1.2 被校变送器引入的不确定度

包括以下分量：

测量重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得， $u_7=0.5^\circ\text{C}$ ；

测量被校变送器的输出电流值的电测仪表引入的误差， $0.0062\text{mA}$ ，换算成温度值为  $0.31^\circ\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_8=0.18^\circ\text{C}$ 。

##### C.2.2.1.3 操作引入的标准不确定度

瞄准的影响包含在  $u_5$  中；

数据修约  $0.05^\circ\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_9=0.03^\circ\text{C}$ 。

#### C.2.2.2 各不确定度分量的数值汇总表

各标准不确定度分量如表 2。

表 2 示值误差的不确定度分量表

不确定度来源		类别	灵敏系数	$u_i/^\circ\text{C}$
参考温度计（辐射温度计）	校准不确定度 $u_1$	B	-1	0.5
	校准周期内的稳定性 $u_2$	B	-1	0.23
	测温重复性 $u_3$	A	-1	0.05
黑体辐射源	短期稳定性 $u_4$	B	-1	0.18
	均匀性对瞄准的影响 $u_5$	B	1	0.23
	发射率修正对确定固有误差的影响 $u_6$	B	-1	0
被校变送器	测量重复性 $u_7$	A	1	0.5
	电测仪表 $u_8$	B	1	0.18
校准操作	数据修约 $u_9$	B	1	0.03

## C.2.2.3 扩展不确定度的评定

由于各分量不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2} = 0.82^\circ\text{C}$$

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \cdot u_c = 1.64^\circ\text{C} \approx 1.7^\circ\text{C}$$

## C.2.3 以辐射温度计为参考温度计，校准不同光谱范围的红外温度变送器

以中心波长  $0.66 \mu\text{m}$ 、显示分辨力  $0.01^\circ\text{C}$  的标准光电高温计作为参考温度计，其光谱发射率设定值设为 1.000，测量距离 1.5m 时的目标直径为 3mm。黑体辐射源发射率  $0.998 \pm 0.005$ ，辐射源空腔直径 50mm。被校变送器的波长  $1.6 \mu\text{m}$ 、温度分辨力  $0.1^\circ\text{C}$ ，输出信号为  $(4 \sim 20) \text{mA}$ ，测温范围为  $(350 \sim 1600)^\circ\text{C}$ ，最大允许误差为  $\pm(0.3\%t + 2^\circ\text{C})$ ，重复性为  $\pm(0.3\%t + 0.3^\circ\text{C})$ （ $t$  为温度测量值）。校准时被校变送器的发射率设置在 1.00，环境温度  $23.0^\circ\text{C}$ ，校准距离 1.1m，相应的目标直径为 3.7mm。计算在  $1600^\circ\text{C}$  的校准结果——示值误差的不确定度。

## C.2.3.1 影响固有误差的不确定度来源

## C.2.3.1.1 计量标准——参考辐射温度计与黑体辐射源引入的不确定度

包括以下分量：

标准光电高温计校准不确定度为  $1.0^\circ\text{C}$ ，正态分布， $k=2$ ， $u_1=0.5^\circ\text{C}$ ；

标准光电高温计在校准周期内的变化量不超过  $1.2^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_2=0.70^{\circ}\text{C}$ ；

测量辐射源温度的重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得出， $u_3=0.02^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源短期稳定性不超过  $0.6^{\circ}\text{C}$  每 10 分钟，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_4=0.35^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源均匀性不超过  $1.0^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_5=0.58^{\circ}\text{C}$ ；

辐射源发射率的不确定度为 0.005，对标准光电高温计的影响为  $0.81^{\circ}\text{C}$ ，对被校变送器的影响为  $1.94^{\circ}\text{C}$ ，两者以代数和方式合成，得  $1.13^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_6=0.65^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.2.3.1.2 被校变送器引入的不确定度

包括以下分量：

测量重复性，属于 A 类标准不确定度，通过贝塞尔公式计算得， $u_7=0.5^{\circ}\text{C}$ ；

测量被校变送器的输出电流值的电测仪表引入的误差， $0.007\text{mA}$ ，换算成温度值为  $0.55^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_8=0.32^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.2.3.1.3 操作引入的标准不确定度

瞄准的影响包含在  $u_6$  中；

数据修约  $0.05^{\circ}\text{C}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ， $u_9=0.03^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.2.3.2 各不确定度分量的数值汇总表

各标准不确定度分量如下表 3。

表 3 示值误差的不确定度分量表

不确定度来源		类别	灵敏系数	$u_i/^{\circ}\text{C}$
参考温度计（辐射温度计）	校准不确定度 $u_1$	B	-1	0.5
	校准周期内的稳定性 $u_2$	B	-1	0.70
	测温重复性 $u_3$	A	-1	0.02
黑体辐射源	短期稳定性 $u_4$	B	-1	0.35
	均匀性对瞄准的影响 $u_5$	B	1	0.58
	发射率修正对确定固有误差的影响 $u_6$	B	-1	0.65
被校变送器	测量重复性 $u_7$	A	1	0.5
	电测仪表 $u_8$	B	1	0.32

校准操作	数据修约 $u_9$	B	1	0.03
------	------------	---	---	------

## C.2.2.3 扩展不确定度的评定

由于各分量不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^9 u_i^2} = 1.4^\circ\text{C}$$

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \cdot u_c = 2.8^\circ\text{C}$$



