



京津冀地方计量技术规范

JJF(津)3015—2021

(300~1500)°C温度巡回检测仪 校准规范

(300~1500)°C Calibration Specification for
Temperature Itinerant Detecting Instrument

2021—04—16 发布

2021—05—16 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

(300~1500) °C温度巡回
检测仪校准规范

JJF(津)3015-2021

(300~1500)°C Calibration Specification
for Temperature Itinerant Detecting Instrument

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：北京市计量检测科学研究院

河北省计量监督检测研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王 喆 (天津市计量监督检测科学研究院)

余松林 (天津市计量监督检测科学研究院)

刘红彦 (河北省计量监督检测研究院)

吴 健 (北京市计量检测科学研究院)

参加起草人：

蒋 静 (天津市计量监督检测科学研究院)

沈文杰 (天津市计量监督检测科学研究院)

李强光 (天津市计量监督检测科学研究院)

王晓丹 (天津市计量监督检测科学研究院)

目 录

引言	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
3.1 温度巡回检测仪.....	(1)
3.2 热电偶温度示值偏差.....	(1)
3.3 热电偶间测温一致性.....	(1)
3.4 巡检仪温度示值误差.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 热电偶温度示值偏差.....	(2)
5.2 热电偶间测温一致性.....	(2)
5.3 巡检仪温度示值误差.....	(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.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(4)
7.3 数据处理.....	(4)
8 校准结果表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A.....	(6)
附录 B.....	(7)
附录 C.....	(8)
附录 D.....	(12)

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1007-2007《温度计量名词术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求起草。

本规范为首次制定。

(300~1500) °C温度巡回检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量传感器是热电偶的温度巡回检测仪（以下简称巡检仪）的校准，测量范围为（300~1500）°C，热电偶长度不小于700mm。由热电偶、补偿导线、电测设备、多点转换开关等仪器设备连接组成的测试装置可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011	通用计量术语及定义
JJF 1007-2007	温度计量名词术语及定义
JJG 141-2013	工作用贵金属热电偶
JJF 1262-2010	铠装热电偶校准规范
JJF 1376-2012	箱式电阻炉校准规范
JJF 1637-2017	廉金属热电偶校准规范

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

在本规范中不仅界定了术语和定义，而且还引用了其他文件界定的术语和定义：JJF 1007-2007、JJF 1637-2017 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 温度巡回检测仪 temperature itinerant detecting instrument

由传感器和显示、记录仪表构成。由多个传感器的输出电参数（电压、电阻、电流或PN结电压等）随温度的变化而变化，输出并变换成统一规格的电信号，由多路自动开关逐路选通，以采样、量化、编码和必要的辅助运算方法将模拟量转换成数字量。再经相应电路处理后，输出至驱动显示器和记录机构，周期性地采集被测信号。

3.2 热电偶温度示值偏差 thermocouple temperature indication deviation

热电偶在某一温度点的热电动势偏差除以微分热电动势。

3.3 热电偶间测温一致性 consistency of temperature measurement between thermocouples

巡检仪各通道所配热电偶在相同校准点下温度偏差的最大值与最小值之差的绝对值。

3.4 巡检仪温度示值误差 temperature indication error of inspection instrument

巡检仪各通道温度示值与标准值之差。

4 概述

(300~1500)℃温度巡回检测仪是由多个热电偶温度传感器、多路数据采集、转换、显示及数据处理等单元构成，一般用于测量箱式电阻炉、热处理炉的温度偏差、温度稳定性和温场均匀度。通常铠装热电偶热电极直径不小于1.0mm，贵金属热电偶的直径不小于0.5mm。

5 计量特性

5.1 热电偶温度示值偏差

热电偶温度示值偏差见表1。

表1 热电偶温度示值偏差

分度号	温度范围/℃	技术要求/℃
K, N	300~1100	$\pm 0.4\% \cdot t$
S, B	600~1600	$\pm 0.25\% \cdot t$
注： t 为校准温度点		

5.2 热电偶间测温一致性

热电偶间测温一致性见表2。

表2 热电偶间测温一致性

分度号	温度范围/℃	技术要求/℃
K, N	300~1100	2.5
S, B	600~1600	3.0

5.3 巡检仪温度示值误差

巡检仪温度示值误差见表3。

表3 巡检仪温度示值误差

分度号	温度范围/℃	技术要求/℃
K, N	300~1100	$\pm 0.4\% \cdot t$
S, B	600~1600	$\pm 0.25\% \cdot t$

注：1. 以上所有技术指标不用于合格性判定，仅供参考；

2. 其他分度号热电偶可参考。

6 校准条件

6.1 环境条件环境温度为(23±5)℃，环境湿度不大于75%RH；

实验室除地磁场外，应无影响其正常工作的外电磁场干扰。

6.2 测量标准及其他设备

校准所需的测量标准及配套设备见表 4 和表 5，也可使用满足要求的其他设备。选用的原则为：校准时由标准器及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应尽可能小，以满足校准工作的要求。

表 4 测量标准

序号	设备名称	技术要求	用途	备注
1	标准铂铑 10-铂热电偶	一等	(300~1100) °C 测量标准	——
2	标准铂铑 30-铂铑 6 热电偶	不低于二等	(1100~1500) °C 测量标准	——

表 5 配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途	备注
1	电测设备	电压准确度等级不低于 0.01 级，分辨力不低于 0.1 μ V；	测量热电动势	可选择满足条件的其他设备
		温度分辨力不低于 0.01°C；	与标准热电偶配套使用，可直接显示温度值	
2	廉金属热电偶检定炉	(300~1100) °C；有效工作区域轴向 30mm 内，任意两点温差绝对值不大于 0.5°C；径向半径不小于 14mm 范围内，同一截面任意两点的温差绝对值不大于 0.25°C	提供恒定的均匀温场	
	贵金属热电偶检定炉	(400~1600) °C；炉内温度最高点偏离炉子几何中心不大于 20mm，温度最高点 ± 20 mm 内有温度变化梯度 ≤ 0.4 °C/10mm 均匀温场		
3	冰点恒温器	最大允许误差： ± 0.1 °C	为热电偶参考端提供 0°C 恒温场	——

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 外观检查

7.1.2 热电偶温度示值偏差

7.1.3 热电偶间测温一致性

7.1.4 巡检仪温度示值误差

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

巡检仪外形结构应完好，表面不应有明显的缺陷，铭牌内容清晰、完整，巡检仪配件齐全，各部位开关、按键应灵活可靠。

7.2.2 热电偶温度示值偏差的校准

7.2.2.1 按照每支热电偶接入巡检仪的通道号做标记，巡检仪使用时与标记通道号一致。

7.2.2.2 贵金属热电偶，校准方法按 JJG 141 《工作用贵金属热电偶》进行。

7.2.2.3 铠装热电偶，校准方法按照 JJF 1262 《铠装热电偶校准规范》进行。

7.2.3 热电偶间测温一致性校准

与校准热电偶温度示值偏差同时进行。

注：如果热电偶温度示值偏差和测温一致性符合技术要求，进行巡检仪示值误差的校准，如果不符合建议应停止校准。

7.2.4 巡检仪的温度示值误差的校准

7.2.3.1 校准前巡检仪在校准环境条件下放置 30min。

7.2.3.2 选择热电偶冷端补偿方式，除非用户说明，一般按内置方式。

7.2.3.3 选择校准点

校准点应根据巡检仪所配置温度传感器的分度号，至少校准 3 个温度点，也可以根据用户需要选择，应包括使用范围上下限。

7.2.3.4 校准方法

按照从低温到高温的顺序逐点进行校准。当测量标准示值偏离校准点 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内，温度变化每分钟不超过 0.2°C 时，开始读数，在每一校准点的整个读数过程中，温度变化不得超过 0.5°C 。读数时，测量标准读取温度值，巡检仪各通道读取巡检仪显示值。

读数顺序如下：

标准 \rightarrow 通道 1 \rightarrow 通道 2 \rightarrow ... \rightarrow 通道 n

每个校准点的测量次数不少于 2 次

7.3 数据处理

7.3.1 贵金属热电偶温度示值偏差计算参照 JJG 141 《工作用贵金属热电偶》进行。

7.2.1.3 铠装热电偶度示值偏差计算参照 JJF 1262 《铠装热电偶校准规范》进行。

7.3.2 热电偶间测温一致性

$$\Delta t_j = t_{j\max} - t_{j\min} \quad (1)$$

式中： Δt_j ——热电偶第 j 个校准点的一致性， $^\circ\text{C}$ ；

$t_{j\max}$ ——热电偶第 j 个校准点偏差最大值, °C;

$t_{j\min}$ ——热电偶第 j 个校准点偏差最小值, °C。

7.3.3 巡检仪温度示值误差

取各通道读数的平均值与实际温度的差值来确定该校准点的示值误差。

$$\Delta t_{ij} = \bar{t}_{ij} - t_{0j} \quad (2)$$

式中: Δt_{ij} ——巡检仪第 i 通道第 j 个校准点的示值误差, °C;

\bar{t}_{ij} ——巡检仪第 i 通道第 j 个校准点的 2 次读数的平均值, °C;

t_{0j} ——第 j 个校准点的标准实际值, °C。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息:

- 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), 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, 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- 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

为确保被校巡检仪在规定的技术性能下使用, 建议复校时间间隔一般不超过半年, 贵金属热电偶复校时间间隔一般不超过一年。

附录 A

巡检仪温度示值记录

记录编号: _____ 证书编号: _____
 客户名称 _____ 客户地址 _____
 器具名称 _____ 型号 _____ 出厂编号 _____ 制造单位 _____
 校准地点 _____ 环境温度 _____ °C 相对湿度 _____ %

校准点 /°C	标准器 编号	标准器 /°C	巡检仪各通道示值/°C									标准器 /°C	
			1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#		
		1											
		2											
实际温度偏差 $\Delta t =$		平均值											
		误差											/
		测量不确定度 /°C											/
		1											
		2											
实际温度偏差 $\Delta t =$		平均值											
		误差											/
		测量不确定度 /°C											/
		1											
		2											
实际温度偏差 $\Delta t =$		平均值											
		误差											/
		测量不确定度 /°C											/
		1											
		2											
实际温度偏差 $\Delta t =$		平均值											
		误差											/
		测量不确定度 /°C											/
校准员		核验员		校准日期		年	月	日					

第 页 共 页

附录 B

校准证书内页参考格式

证书编号: ××××-××××

校准结果

一、热电偶温度示值偏差

校准点/°C	示值偏差/°C	扩展不确定度 $U/°C(k=2)$

二、热电偶间测温一致性

校准点/°C	测温一致性/°C	扩展不确定度 $U/°C(k=2)$

三、巡检仪温度示值误差

通道号 校准点/°C	示值误差/°C									扩展不确定度 $U/°C(k=2)$
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	

以下空白

共 × 页 第 × 页

附录 C

巡检仪 (300~1100) °C 温度示值误差的不确定度评定示例

C.1 适用范围

以廉金属热电偶为例, 长度不小于 700mm, 直径不低于 1.0mm, 在 (300~1100) °C 温度范围内对巡检仪的温度示值误差进行不确定度分析。

C.2 测量条件

C.2.1 环境条件:

环境温度为 (23±5) °C, 环境湿度不大于 75%RH。

C.2.2 测量标准和配套设备:

测量所使用的测量标准和配套设备如下表所示。

表 C.1 测量标准和配套设备

名称	型号规格	测量范围	扩展不确定度/最大允许误差/准确度等级
标准铂铑 ₁₀ -铂热电偶	S	(300~1100) °C	一等
智能多通道超级测温仪	ConST685	(0~100) mV	± (14×10 ⁻⁶ 读数 + 8×10 ⁻⁶ 量程)
热电偶检定炉	KRJ-600	(300~1300) °C	温度梯度≤0.4°C/10mm
零度恒温器	PR540	0°C	孔间温差≤0.1°C

C.3 测量方法

将一等标准铂铑₁₀-铂热电偶(以下简称标准热电偶)套上保护管, 与被校巡检仪热电偶用细镍铬丝捆扎成一束, 其测量端应处于同一径向截面上, 然后将热电偶束插入热电偶检定炉炉内。标准热电偶处于炉轴线位置上, 热电偶的测量端应处于炉内最高均匀温区, 炉口处用绝缘耐火材料封堵。在各校准点上分别读取标准热电偶和被校巡检仪示值, 然后分别计算算数平均值, 通过比较得出被校巡检仪的测量误差。

C.4 测量模型

校准点测量结果的测量模型:

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{\text{标}} \quad (\text{C.1})$$

式中: Δt_i ——在每一校准点上, 被校巡检仪的测量误差, °C;

\bar{t}_i ——在每一校准点上, 被校巡检仪显示值的平均值, °C;

$\bar{t}_{\text{标}}$ ——在每一校准点上, 标准热电偶通过电测设备获得的测得值的平均值, °C。

C.5 不确定度传播公式

由式 (C.1) 可得:

$$u_c^2 = [c_1 u(\bar{t}_1)]^2 + [c_2 u(\bar{t}_{\text{标}})]^2 \quad (\text{C.2})$$

其中, 灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial \bar{t}_1} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial (\bar{t}_{\text{标}})} = -1$$

C.6 标准不确定度评定

主要不确定度来源: 测量重复性、标准器、电测设备、参考端、炉温变化、径向温场不均匀、被校巡检仪冷端补偿及冷端温度不一致等影响量。

C.6.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 , 用 A 类方法进行评定。

用标准热电偶 (电测设备为智能多通道超级测温仪) 对被校巡检仪在 1000℃ 进行测量, 测得 5 组每组 10 个重复测量数据, 则合并样本标准偏差 s_p 为:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 s_i^2}{5}} = 0.15^\circ\text{C}$$

实际测量以 2 次测量值得平均值作为测量结果, 故 $u_1 = s_p / \sqrt{2} = 0.11^\circ\text{C}$ 。

智能多通道超级测温仪的分辨力引入的标准不确定度分量与 u_1 相比很小, 只考虑重复性引入的不确定度分量。

C.6.2 标准热电偶引入的标准不确定度 u_2 , 用 B 类方法进行评定。

标准热电偶在 (400~1100)℃ 温度区间内, 任意温度点的标准不确定度按公式 (C.3) 计算:

$$u(t) = \sqrt{\varphi_1^2(t) \times u^2(t_{\text{铜}}) + \varphi_2^2(t) \times u^2(t_{\text{铝}}) + \varphi_3^2(t) \times u^2(t_{\text{锌}}) + u^2(E_r)} \quad (\text{C.3})$$

公式 (C.3) 中的系数按照下面公式计算:

$$\varphi_1(t) = \frac{(t - t_{\text{铝}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铜}} - t_{\text{铝}})(t_{\text{铜}} - t_{\text{锌}})}$$

$$\varphi_2(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铝}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{铝}} - t_{\text{锌}})}$$

$$\varphi_3(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{铝}})}{(t_{\text{锌}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{锌}} - t_{\text{铝}})}$$

$u(E_r) = 1.667$ (标准热电偶年稳定性为 5μV, 按正态分布处理)

式中: $u(t)$ —— 某温度点 t 的标准不确定度, μV;

$\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ 、 $\varphi_3(t)$ ——某温度点 t 的相应系数；

$u(t_{\text{锌}})$ 、 $u(t_{\text{铝}})$ 、 $u(t_{\text{铜}})$ ——锌、铝、铜凝固点的标准不确定度， μV ；

$u(E_r)$ ——标准热电偶年稳定性引入的标准不确定度， μV ；

由上式计算并换算成温度可得： $u_2(400^\circ\text{C})=0.28^\circ\text{C}$ 、 $u_2(600^\circ\text{C})=0.24^\circ\text{C}$ 、 $u_2(800^\circ\text{C})=0.26^\circ\text{C}$ 、 $u_2(1100^\circ\text{C})=0.26^\circ\text{C}$ 。

400℃以下标准不确定度计算采用差值线性化， $u_2(300^\circ\text{C})\approx u_2(400^\circ\text{C})=0.28^\circ\text{C}$ 。

C.6.3 电测设备对标准热电偶引入的标准不确定度 u_3 ，用B类方法进行评定。

测量标准热电偶使用的电测设备是智能多通道超级测温仪，其测量值的误差按一年内的准确度 $\pm(14\times 10^{-6}\text{读数}+8\times 10^{-6}\text{量程})$ 计算，区间半宽度 a 为 $(14\times 10^{-6}\text{读数}+8\times 10^{-6}\text{量程})$ ，按均匀分布处理，测量值近似取检定温度点的分度值，铂铑₁₀-铂热电偶在300℃、400℃、600℃、800℃、1100℃校准点分度表上的热电动势值分别为：2.323 mV、3.259 mV、5.239 mV、7.345 mV、10.757 mV。经计算得： $u_3(300^\circ\text{C})=0.48\mu\text{V}$ （相当于 0.05°C ）、 $u_3(400^\circ\text{C})=0.49\mu\text{V}$ （相当于 0.05°C ）、 $u_3(600^\circ\text{C})=0.51\mu\text{V}$ （相当于 0.05°C ）、 $u_3(800^\circ\text{C})=0.52\mu\text{V}$ （相当于 0.05°C ）、 $u_3(1100^\circ\text{C})=0.55\mu\text{V}$ （相当于 0.05°C ）。

C.6.4 标准热电偶参考端温差引入的标准不确定度 u_4 ，用B类方法进行评定。

标准热电偶参考端在冰点恒温器内，工作区域温度变化为 $(0\pm 0.1)^\circ\text{C}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1°C ，按均匀分布处理，得： $u_4=0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.06^\circ\text{C}$ 。

C.6.5 炉温变化引入的标准不确定度 u_5 ，用B类方法进行评定。

校准时，炉温波动不大于 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1°C ，按均匀分布处理，得： $u_5=0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.06^\circ\text{C}$ 。

C.6.6 炉温径向温场不均匀引入的标准不确定度 u_6 ，用B类方法进行评定。

校准时，由于炉温径向温场不均匀，经测试最大差值为 0.25°C ，按均匀分布考虑，取半宽为 a 为 0.125°C 。则标准不确定度为： $u_6=0.125/\sqrt{3}=0.07^\circ\text{C}$ 。

C.7 标准不确定度分量汇总表

表 C.2 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 / $^\circ\text{C}$	灵敏系数 c_i	标准不确定度 / $^\circ\text{C}$
u_1	测量重复性	0.11	1	0.11
u_2	标准热电偶	0.28	-1	0.28
		0.28		0.28
		0.24		0.24
		0.26		0.26
		0.26		0.26

u_3	电测仪器	0.05	-1	0.05
		0.05		0.05
		0.05		0.05
		0.05		0.05
		0.05		0.05

表 C.2 (续) 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 /°C	灵敏系数 c_i	标准不确定度 /°C
u_4	参考端温差	0.03	-1	0.06
u_5	炉温变化	0.03	-1	0.06
u_6	温场不均匀	0.07	-1	0.07

C.8 评定结果

C.8.1 合成标准不确定度

由于各输入量之间相互独立, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2}$$

由此可得:

$$t = 300^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.33^\circ\text{C};$$

$$t = 400^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.33^\circ\text{C};$$

$$t = 600^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.29^\circ\text{C};$$

$$t = 800^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.31^\circ\text{C};$$

$$t = 1100^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.31^\circ\text{C}。$$

C.8.2 扩展不确定度

$$t = 300^\circ\text{C} \text{ 时: } U = 0.66^\circ\text{C}, k = 2;$$

$$t = 400^\circ\text{C} \text{ 时: } U = 0.66^\circ\text{C}, k = 2;$$

$$t = 600^\circ\text{C} \text{ 时: } U = 0.58^\circ\text{C}, k = 2;$$

$$t = 800^\circ\text{C} \text{ 时: } U = 0.62^\circ\text{C}, k = 2;$$

$$t = 1100^\circ\text{C} \text{ 时: } U = 0.62^\circ\text{C}, k = 2。$$

附录 D

巡检仪 1500℃温度示值误差的不确定度评定示例

D.1 适用范围

以 B 型热电偶为例，长度不小于 700mm，热电极直径不小于 0.5mm，以 1500℃校准温度点为例对巡检仪的温度示值误差进行不确定度分析。

D.2 测量条件

D.2.1 环境条件

环境温度为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，环境湿度不大于 75%RH。

D.2.2 测量标准和配套设备

测量所使用的测量标准和配套设备如下表所示。

表 D.1 测量标准和配套设备

名称	型号规格	测量范围	扩展不确定度/最大允许误差/准确度等级
标准铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶	B	(1100~1500) °C	一等标准
数字多用表	2010	(0~100) mV	$\pm (37 \times 10^{-6} \text{ 读数} + 9 \times 10^{-6} \text{ 量程})$
高温热电偶检定炉	WTJ-40BS	(600~1600) °C	温度梯度 $\leq 0.4^\circ\text{C}/10\text{mm}$
零度恒温器	HL-01	0°C	$(0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$

D.3 测量方法

将一等标准铂铑₃₀-铂铑₆热电偶（以下简称标准热电偶）与被校巡检仪热电偶用铂丝或铂铑丝扎成一束，被校热电偶和标准热电偶的测量端处于同一垂直平面且相互间接触良好。将捆扎好的热电偶束置于管式炉中，使测量端面处于炉均匀温场的中心。然后将热电偶束插入管式炉内。在各校准温度点上分别读取标准热电偶和被校温度巡检仪示值，然后分别计算其算数平均值，通过比较得出被校巡检仪的温度示值误差。

D.4 测量模型

校准点测量结果的测量模型：

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{i\text{标}} \quad (\text{D.1})$$

式中： Δt_i ——在某一校准温度点上，被校巡检仪的温度示值误差，°C；

\bar{t}_i ——在某一校准温度点上，被校巡检仪示值读数的平均值，°C；

$\bar{t}_{i\text{标}}$ ——在某一校准温度点上，标准热电偶测得值的温度平均值，°C。

D.5 不确定度传播公式

测量模型中各个输入量的不确定度相互独立，根据不确定度传播率：

$$u_c^2 = [c_1 u(\bar{t}_i)]^2 - [c_2 u(\bar{t}_{\text{标}})]^2 \quad (\text{D.2})$$

其中，灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial \bar{t}_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial \bar{t}_{\text{标}}} = -1$$

D.6 标准不确定度评定

主要不确定度来源：测量重复性、标准热电偶、电测设备、标准热电偶参考端、炉温变化、径向温场不均匀、被校巡检仪冷端补偿及冷端温度不一致等影响量。

D.6.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 ，用 A 类方法进行评定。

用标准热电偶（电测仪器为数字多用表）对被校巡检仪在 1500℃ 进行测量，测得 5 组每组 10 个重复测量数据，则合并样本标准偏差 s_p 为：

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 s_i^2}{5}} = 0.19^\circ\text{C}$$

实际测量以 2 次测量值得平均值作为测量结果，故 $u_1 = s_p / \sqrt{2} = 0.14^\circ\text{C}$ 。

数字多用表的分辨力引入的标准不确定度分量与 u_1 相比很小，所以可以忽略。

D.6.2 标准热电偶引入的标准不确定度 u_2 ，用 B 类方法进行评定。

根据国家检定系统表 JJG 2003-1987，一等标准铂铑₃₀-铂铑₆热电偶在（1200~1600）℃ 范围的总不确定度为： $\delta = 2.5^\circ\text{C}$ ， $k=3$ 。因此其引入的标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = 0.83^\circ\text{C}$$

D.6.3 电测设备对标准热电偶引入的标准不确定度 u_3 ，用 B 类方法进行评定。

电测设备测量标准热电偶使用的数字多用表为 KEITHLEY2010，其测量值的误差按一年内的准确度 $\pm (37 \times 10^{-6} \text{ 读数} + 9 \times 10^{-6} \text{ 量程})$ 计算，对应校准温度点读数取 10.099 μV ，量程为 100mV，误差为 $\pm 1.27 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，半宽为 1.27 μV （相当于 0.11℃）则标准不确定度 u_3 为： $u_3 = 0.06^\circ\text{C}$

D.6.4 标准热电偶参考端温差引入的标准不确定度 u_4 ，用 B 类方法进行评定。

标准热电偶参考端在冰点恒温器内，工作区域温度变化为 $(0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1℃，按均匀分布处理，得： $u_4 = 0.06^\circ\text{C}$

D.6.5 炉温变化引入的标准不确定度 u_5 ，用 B 类方法进行评定。

校准时，炉温波动不大于 0.5°C ，取区间半宽度 a 为 0.5°C ，按均匀分布处理，得： $u_5=0.29^{\circ}\text{C}$

D.6.6 炉温径向温场不均匀引入的标准不确定度 u_6 ，用 B 类方法进行评定。

校准时，由于炉温径向温场不均匀，经测试最大差值为 0.5°C ，按均匀分布考虑，取半宽为 a 为 0.25°C 。则标准不确定度为： $u_6=0.14^{\circ}\text{C}$

D.7 标准不确定度分量汇总表

表 D.2 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量 u_i	不确定度来源	类别	标准不确定度 / $^{\circ}\text{C}$	灵敏系数 c_i
1	u_1	测量重复性	A	0.14	1
2	u_2	标准热电偶	B	0.83	-1
3	u_3	电测仪器	B	0.06	-1
4	u_4	参考端温差	B	0.06	-1
5	u_5	炉温变化	B	0.29	-1
6	u_6	温场不均匀	B	0.14	-1

D.8 评定结果

D.8.1 合成标准不确定度

由于各输入量之间相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2} = 0.91^{\circ}\text{C}$$

D.8.2 扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c = 1.82^{\circ}\text{C}, \quad k=2$$

