

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF1176 — 20XX

## (0~2300) °C 钨铼热电偶校准规范

Calibration Specification for Tungsten Rhenium Thermocouples of (0~2300) °C

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

(0~2300) °C 钨铼热电偶校准规范  
Calibration Specification for tungsten rhenium  
Thermocouples of (0~2300) °C

---

JJF1176 - 20XX  
代替 JJF 1176 - 2007

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

## 目 录

引言	.....	(III)
1 范围	.....	(1)
2 引用文件	.....	(1)
3 术语	.....	(1)
4 概述	.....	(1)
5 计量特性	.....	(3)
5.1 绝缘电阻	.....	(3)
5.2 示值允差	.....	(3)
6 校准条件	.....	(3)
6.1 环境条件	.....	(4)
6.2 测量标准及其他设备	.....	(4)
7 校准项目和校准方法	.....	(5)
7.1 校准项目	.....	(5)
7.2 校准方法	.....	(5)
7.3 数据处理	.....	(6)
8 校准结果表达	.....	(7)
9 复校时间间隔	.....	(8)
附录 A 钨铼热电偶校准记录参考格式	.....	(9)
附录 B 钨铼热电偶校准结果参考格式	.....	(10)
附录 C 钨铼热电偶 1000℃校准结果不确定度分析示例	.....	(11)

# 引言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》规范进行编写。采用了JJF（军工）105—2015《1500℃～2300℃套管式钨铼热电偶校准规范》相关术语定义和技术内容。

本规范系修订，与 JJF1176-2007《（0～1500）℃钨铼热电偶校准规范》相比，主要变化如下：

规范名称更改为《（0～2300）℃钨铼热电偶校准规范》，规范适用温度范围更宽。

规范中增加了钨铼热电偶绝缘电阻的校准项目；增加了 1500℃～2300℃钨铼热电偶校准用设备的技术要求、校准方法及数据处理方法的说明。

规范适用范围中增加了钨铼热电偶适用长度的说明。

修订了钨铼热电偶校准结果不确定度分析。

# (0~2300) °C钨铼热电偶校准规范

## 1 范围

本规范适用于温度范围为 0°C~2300°C 的分度号为 A 型、C 型、D 型长度不小于 600mm 的带有保护管且不可拆卸钨铼热电偶的校准。

其他类型的高温热电偶可参考本规范进行校准。

## 2 引用文件

GB/T 16839.1-2018 《热电偶第 1 部分：分度表》

GB/T 29822-2013 《钨铼热电偶丝及分度表》

JJF1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

JJF1007-2010 《温度计量名词术语及定义》

JJF1262-2010 《铠装热电偶校准规范》

JJF1637-2017 《廉金属热电偶校准规范》

JJF（军工）105-2015 《1500°C~2300°C 套管式钨铼热电偶校准规范》

JB/T12529-2015 《工业钨铼热电偶技术条件》

ASTM E452-02（2007）《一种使用辐射温度计测量难熔金属材料热电偶的标准校准方法》

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

不可拆卸钨铼热电偶 non disassembly tungsten-rhenium thermocouples

不可拆卸钨铼热电偶（以下称钨铼热电偶）是由钨铼热电偶丝用保护套管封装制成的热电偶，热电偶组件不能从保护套管中取出。

## 4 概述

钨铼热电偶测温的基本原理是两种不同钨铼成分的均质导体组成闭合回路，当两端温度不同时，回路中将产生热电动势，这种现象称为热电效应，又称为塞贝克效应。两种不同成分的均质导体为热电极，两个热电极的一端焊接在一起形成一个测量端，测量时放置

于被测温场中，另一端为参考端，测量时置于某一恒定温场中。

不可拆卸钨铼热电偶由热电极、绝缘材料和保护管组成。其中绝缘材料一般为氧化铝（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）氧化镁（ $\text{MgO}$ ）、氮化硼（ $\text{BN}$ ）或氧化铪（ $\text{HfO}_2$ ）等；保护管一般为陶瓷保护管（适用于氧气环境）、钼保护管或钨保护管（适用于真空、惰性及干燥氢气环境）等。具体结构见图 1 所示。

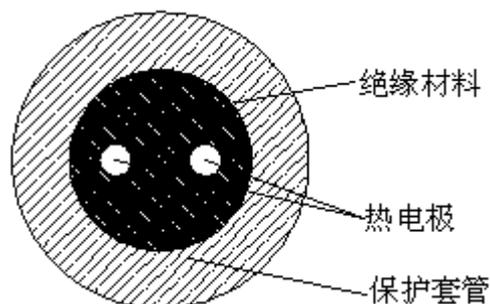


图 1 不可拆卸钨铼热电偶截面示意图

钨铼热电偶按其化学成分主要分为三大类型：钨铼 5-钨铼 20（A 型）、钨铼 5-钨铼 26（C 型）、钨铼 3-钨铼 25（D 型）。其具体的代号及名义化学成分见表 1。

表 1 热电偶的名称、代号及名义化学成分

热电偶名称	偶丝名称	极性	代号	名义化学成分（质量含量）/%	
				W	Re
钨铼 5-钨铼 20 热电偶	钨铼 5 合金丝	正极	WRe5	95	5
	钨铼 20 合金丝	负极	WRe20	80	20
钨铼 5-钨铼 26 热电偶	钨铼 5 合金丝	正极	WRe5	95	5
	钨铼 26 合金丝	负极	WRe26	74	26
钨铼 3-钨铼 25 热电偶	钨铼 3 合金丝	正极	WRe3	97	3
	钨铼 25 合金丝	负极	WRe25	75	25

## 5 计量特性

### 5.1 绝缘电阻

钨铼热电偶需要测量绝缘电阻，其绝缘电阻应符合以下规定：

a) 对于长度不小于 1m 的钨铼热电偶，其绝缘电阻与其长度的乘积应不小于  $100\text{M}\Omega \cdot \text{m}$ 。

$$\text{即：} R_r \cdot L \geq 100\text{M}\Omega \cdot \text{m}$$

式中： $R_r$ —钨铼热电偶的绝缘电阻， $\text{M}\Omega$ ；

$L$ —钨铼热电偶的长度， $\text{m}$ 。

b) 对于长度小于 1m 的钨铼热电偶，其绝缘电阻应不小于  $100\text{M}\Omega$ 。

## 5.2 示值允差

钨铼热电偶示值允差见表 2。

表 2 钨铼热电偶示值允差

热电偶分度号	温度范围/℃	示值允差/℃
A 型 (WRe5-WRe20) C 型 (WRe5-WRe26) D 型 (WRe3-WRe25)	0~2300	±4 或 ±1.0% <i>t</i>
注 1: <i>t</i> 为测量温度, 单位为℃; 注 2: 允差取大值。		

## 6 校准条件

## 6.1 环境条件

环境温度: 20℃ ± 5℃

相对湿度: 不大于 80%

环境条件还应满足所用标准器和其它配套设备正常使用的其它要求。

## 6.2 测量标准及其他设备

校准用设备应经过计量技术机构检定或校准, 满足校准使用要求, 并在有效期内, 测量标准及其他设备见表 3。

表 3 测量标准及其他设备

序号	仪器设备名称	技术指标	用途	备注
1	标准铂电阻温度计	温度范围: (0~300)℃ 准确度等级: 二等标准	校准用标准器	可用不低于其准确度等级要求的其他标准器
2	标准铂铑 10-铂热电偶	温度范围: (300~1100)℃ 准确度等级: 二等标准		
3	标准铂铑 30-铂铑 6 热电偶	温度范围: (1100~1500)℃ 准确度等级: 二等标准		
4	光电高温计	温度范围: (1500~2300)℃ 准确度等级: 标准		
5	恒温设备	温度范围: (0~300)℃ 水平温场 ≤ 0.01℃ 垂直温场 ≤ 0.02℃ 温度波动度 < 0.04℃/10min	提供恒定的均匀温场	根据不同的校准温度范围, 可选择与其相对应满足该技术要求恒温设备
		温度范围: (300~1100)℃ 长度约 600mm 最高均匀温场中心与炉子几何中心沿轴线上偏差 ≤ 20mm, 均匀温场长度 ≥ 60mm, 半径为 14mm 范围内, 任意两点间温差 < 1℃		
		温度范围: (1100~1500)℃ 长度约 500mm 最高均匀温场中心与炉子几何		

		中心沿轴线上偏差不大于 20mm, 均匀温场长度 $\geq 40$ mm 任意两点间温差 $< 1^{\circ}\text{C}$		
		温度范围: (1500~2300) $^{\circ}\text{C}$ 均匀温场长度不小于 10mm, 轴向 温差 $< 8^{\circ}\text{C}$ 黑体腔发射率 $\geq 0.98$ 温度波动度 $< 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$		
6	冰点恒温器	恒温器深度 $\geq 200$ mm, 工作区域 温度变化为 $(0 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$	为参考端提供 $0^{\circ}\text{C}$ 的 恒温场	/
7	电测仪器	准确度等级不低于 0.02 级 分辨力不低于 $1 \mu\text{V}/1\text{m}\Omega$	用于测量热电偶热电动势和标准铂电阻温度计阻值	或采用其他符合要求的设备
8	绝缘电阻测试仪	500V 兆欧表 准确度等级不低于 10 级	用于绝缘电阻的测量	
9	转换开关	各路寄生电势及各路寄生电势 之差 $\leq 1 \mu\text{V}$	切换各路的热电动势	/
10	补偿导线	温度范围: (室温~70) $^{\circ}\text{C}$ 允许偏差: $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$	将被校热电偶信号输出端引至冰点恒温器	/
11	尺子	测量范围: (0~5) m	测量被校热电偶长度	/

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

#### (1) 绝缘电阻;

钨铼热电偶的绝缘电阻在热电极与套管之间测量。一对以上热电极的钨铼热电偶还应测量每对热电极之间的绝缘电阻。绝缘电阻应符合 5.1 的规定。

#### (2) 示值误差。

钨铼热电偶的实际热电动势与分度表的偏差。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 绝缘电阻

测量钨铼热电偶的绝缘电阻在环境温度  $(20 \pm 15)^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度不大于 80% 下进行, 将热电极与外套管或不同对热电极分别连接在绝缘电阻测试仪器上, 并施加直流  $(500 \pm 50)\text{V}$  测量电压, 记录 1min 时其绝缘电阻示值。

#### 7.2.2 示值误差

##### 7.2.2.1 校准温度点

在钨铼热电偶测量温度范围内, 至少校准三个温度点, 通常选取测量范围的上、下限和中间点, 也可根据客户要求选择其他校准温度点。

### 7.2.2.2 参考端的连接方法

校准钨铼热电偶时，热电偶参考端与铜导线连接后应置于冰点恒温器内。当参考端无法插入冰点恒温器内，可用补偿导线（约 500mm）的一端连接热电极信号输出端，另一端与铜导线连接后，置于装有酒精或变压油的玻璃试管内，再均匀地插入冰点恒温器中，插入深度应不小于 150mm，铜导线的另一端通过转换开关与电测设备连接。

### 7.2.2.3 0℃～300℃钨铼热电偶的校准

采用比较法，将被校热电偶与标准铂电阻温度计进行比较。

将标准器感温点与被校热电偶测量端置于恒温设备有效工作区域的同一水平位置，插入深度应不小于 200mm。当标准器温度偏离校准温度点 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内，温度变化每分钟不超过 $0.1^{\circ}\text{C}$ 时，开始读数，读数顺序为：



每支热电偶的读数不少于四次，在每个温度点整个读数过程中，温度的变化不得超过 $0.2^{\circ}\text{C}$ 。

### 7.2.2.4 300℃～1500℃钨铼热电偶的校准

采用比较法，将被校热电偶与标准热电偶进行比较。

将标准热电偶套上一端密封的刚玉管，然后将被校热电偶捆扎在标准热电偶的周围。使其测量端处于垂直于热电偶束的同一平面上，然后将其置于恒温设备的均匀温场中心位置。校准应由低温向高温逐点升温进行。当标准器温度偏离校准温度点 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内，温度变化每分钟不超过 $0.2^{\circ}\text{C}$ 时，开始读数。读数顺序与 7.2.2.3 相同，每个校准点的测量次数应不少于四次，在每一温度点的整个读数过程中，温度的变化不得超过 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

当校准由易氧化材质（如钨、钼等）做保护管的热电偶时，被校热电偶在校准时应处于氩气或其他惰性气氛中，防止保护管发生氧化。密封装置应设计成标准热电偶外保护管的开口端能够穿过密封引出炉外，被校热电偶的参考端也能够穿过密封引出炉外。

### 7.2.2.5 1500℃～2300℃钨铼热电偶的校准

采用比较法，将被校热电偶与标准光电高温计进行比较。

被校热电偶的测量端插至均温块测试孔底部，并置于恒温设备均匀温场位置，其参考端穿过密封引出炉外，标准光电温度计瞄准均温块辐射孔。校准应由低温向高温逐点升温进行。当标准器温度偏离校准温度点 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内，温度变化每分钟不超过 $2^{\circ}\text{C}$ 时，开始读

数。读数顺序与 7.2.2.3 相同，每个校准点的测量次数应不少于四次，在每一温度点的整个读数过程中，温度的变化不得超过 1℃。

### 7.3 数据处理

7.3.1 被校准热电偶在各校准点示值误差计算公式：

$$\Delta t_{\text{被}} = \Delta e_{\text{被}} / S_{\text{被}} \quad (1)$$

式中： $\Delta t_{\text{被}}$ —被校热电偶在校准温度点上的示值误差，℃；

$\Delta e_{\text{被}}$ —被校准热电偶在校准温度点热电动势对分度表的偏差，mV；

$S_{\text{被}}$ —被校热电偶在校准温度点的微分热电动势，mV/℃。

7.3.2 被校准热电偶在各校准点热电动势对分度表的偏差 $\Delta e_{\text{被}}$ 计算公式：

$$\Delta e_{\text{被}} = \bar{e}_{\text{被}} + S_{\text{被}} \cdot \Delta t_{\text{校}} + e_{\text{补}} - e_{\text{分}} \quad (2)$$

式中： $\bar{e}_{\text{被}}$ —被校热电偶在实际温度测得的热电动势算术平均值，mV；

$\Delta t_{\text{校}}$ —校准温度点与实际温度的差值，℃；

$e_{\text{补}}$ —补偿导线修正值，mV；

$e_{\text{分}}$ —被校热电偶分度表上查得的校准温度点的热电动势值，mV。

7.3.3 被校准热电偶校准温度点与实际温度的差值 $\Delta t_{\text{校}}$ 计算公式：

1) 校准温度点在 0℃～300℃ 范围内时

$$\Delta t_{\text{校}} = \frac{W_{t_{\text{校}}} - W_t}{\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_{\text{校}}}} \quad (3)$$

式中： $t_{\text{校}}$ —校准温度点，℃；

$W_{t_{\text{校}}}$ —由标准铂电阻温度计分度表给出的校准温度点对应的电阻比；

$W_t$ —标准铂电阻温度计在实际温度  $t$  时的电阻比；

$\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_{\text{校}}}$ —由标准铂电阻温度计分度表给出的校准温度点对应的电阻比随温度的变

化率，℃<sup>-1</sup>。

2) 校准温度点在 300℃～1500℃ 范围内时

$$\Delta t_{\text{校}} = \frac{e_{\text{标证}} - \bar{e}_{\text{标}}}{S_{\text{标}}} \quad (4)$$

式中： $e_{\text{标证}}$ —标准热电偶证书在校准温度点的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{\text{标}}$ —标准热电偶在实际温度测得的热电动势算术平均值，mV；

$S_{\text{标}}$ —标准热电偶在校准温度点的微分热电动势，mV/°C。

3) 校准温度点在 1500°C~2300°C 范围内时

$$\Delta t_{\text{校}} = t_{\text{校}} - \left[ \frac{1}{\frac{1}{T_w + 273.15} - A} - 273.15 \right] \quad (5)$$

式中： $T_w$ —带玻璃窗口标准所测温度值，°C；

A—石英玻璃透过率，°C<sup>-1</sup>。

## 8 校准结果表达

经校准的热电偶出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- 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；
- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

## 9 复校时间间隔

建议复校间隔时间为半年，使用特别频繁时应适当缩短。凡在使用过程中经过修理、更换重要器件等的一般需重新校准。

由于复校间隔时间的长短是由环境试验设备的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定，因此，送校单位可根据实际使用情况确定复校时间间隔。

## 附录 A

## 钨铼热电偶校准记录参考格式

被校热电偶名称		被校热电偶型号	
被校热电偶编号		制造商	
依据规范			
标准器名称		型号	
编号		有效期	
绝缘电阻/M $\Omega$		石英玻璃透过率/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	
标称温度/ $^{\circ}\text{C}$	标准器读数	被校热电偶读数	--
	温度/ $^{\circ}\text{C}$ 、输出电压值/mV 或输出电阻值/ $\Omega$	输出电势值/mV	示值误差/ $^{\circ}\text{C}$
1			
...			
4			
平均值/mV			
补偿导线修正值/mV	--		
	温度/ $^{\circ}\text{C}$ 、输出电压值/mV 或输出电阻值/ $\Omega$	输出电势值/mV	示值误差/ $^{\circ}\text{C}$
1			
...			
4			
平均值/mV			
补偿导线修正值/mV	--		
	温度/ $^{\circ}\text{C}$ 、输出电压值/mV 或输出电阻值/ $\Omega$	输出电势值 (mV)	示值误差/ $^{\circ}\text{C}$
1			
...			
4			
平均值/mV			
补偿导线修正值/mV	--		
环境温度/ $^{\circ}\text{C}$		相对湿度/%	
校准人		核验人	
校准日期		校准地点	

## 附录 B

## 钨铼热电偶校准结果参考格式

## 校 准 结 果

1. 绝缘电阻：
2. 校准结果表达

校准温度点/℃	示值误差/℃	校准结果扩展不确定度 $U/^\circ\text{C}$ ( $k=2$ )

## 附录 C

## 钨铼热电偶 1000℃校准结果不确定度分析示例

## C.1 校准方法

校准钨铼热电偶时，将标准热电偶与被校钨铼热电偶放在恒温设备均温区中，用双极比较法进行校准。

校准钨铼热电偶，读数顺序为标准→被检 1→被检 2→被检 3，然后再按相反的顺序回到标准，读数 4 次，分别计算算数平均值，得到被校钨铼热电偶的实际热电动势值，进而得到其示值误差。

## C.2 数学模型

用双极比较法校准热电偶时被校热电偶在校准温度点的热电势值为 $\bar{e}_{被}$ ，其计算公式为：

$$\bar{e}_{被} = \frac{\bar{e}_{标证} - \bar{e}_{标}}{S_{标}} \times S_{被} + \bar{e}_{被}$$

式中： $\bar{e}_{被}$ ——被检热电偶在校准温度点的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{标证}$ ——标准热电偶证书在校准温度点的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{被}$ ——被校热电偶在实际温度测得的热电动势算术平均值，mV；

$\bar{e}_{标}$ ——标准热电偶在实际温度测得的热电动势算术平均值，mV；

$S_{标}$ ——标准热电偶在校准温度点的微分热电动势，mV/℃；

$S_{被}$ ——被校热电偶在校准温度点的微分热电动势，mV/℃。

## C.3 不确定度传播率

$$\bar{e}_{被} = \left( \bar{e}_{标证} + \delta e_{标} \right) \times \frac{S_{被}}{S_{标}} + \left( \bar{e}_{被} + \delta e_{电} + \delta e_{开关} + \delta e_{波动} + \delta e_{温场不均匀} + \delta e_{参} \right) - \left( \bar{e}_{标} + \delta e_{电} + \delta e_{开关} \right) \times \frac{S_{被}}{S_{标}} + \delta e_{重} + \delta e_{分}$$

式中： $\delta e_{标}$ ——标准器测量不确定度引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{重}$ ——热电偶重复性引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{电}$ ——热电偶电测设备引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{开关}$ ——多点转换开关引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{波动}$ ——检定炉温场的波动引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{温场不均匀}$ ——检定炉温场不均匀引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{\text{参}}$ ——热电偶参考端引入的影响量， $\mu\text{V}$ ；

$\delta e_{\text{分}}$ ——热电偶读数误差引入的影响量， $\mu\text{V}$ 。

#### C.4 标准不确定度分量

以钨铼 3-钨铼 25 热电偶 1000℃校准结果不确定度评定为例，具体评定如下：

##### C.4.1 输入量 $e_{\text{标证}}$ 的标准不确定度评定

###### C.4.1.1 由标准器带来的不确定度分量 $\delta e_{\text{标}}$

二等标准热电偶经检定合格，在有效期内，其扩展不确定度为：

1000℃： $U=0.4^{\circ}\text{C}$  ( $k=2$ )

$$u_{1.1} = \frac{U(\delta t_{\text{标}}) \times S_{1000^{\circ}\text{C}}}{k} = \frac{0.4^{\circ}\text{C} \times 11.54 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}}{2} = 2.3 \mu\text{V}$$

式中：

$S_{1000^{\circ}\text{C}}$ ——热电偶在 1000℃点的微分热电动势， $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ；

$\delta t_{\text{标}}$ ——标准器引入的不确定度， $^{\circ}\text{C}$ 。

##### C.4.2 输入量 $e_{\text{被}}$ 的标准不确定度评定

###### C.4.2.1 电测设备的影响 $\delta e_{\text{电}}$

装置采用的数字电压表为 KEITHLEY2000,根据其使用说明书,以每年检定一次计算,最大示值误差为 $\pm(50 \times 10^{-6} \times \text{测量值} + 35 \times 10^{-4}) \times 10^3 \mu\text{V}$ ,按均匀分布可得:

$$u_{2.1} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 18.226 + 35 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} \times 10^3 \mu\text{V} = 2.5 \mu\text{V}$$

###### C.4.2.2 参考端影响 $\delta e_{\text{参}}$

标准装置参考端使用冰瓶,根据规程要求,插入冰点恒温器中的所有热电偶的参考端和铜导线的接点相互温差 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ ,在区间内认为均匀分布可得:

$$u_{2.2} = \frac{U(\delta t_{\text{参}}) \times S_0}{\sqrt{3}} = \frac{0.1^{\circ}\text{C} \times 9.8 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.6 \mu\text{V}$$

式中： $\delta t_{\text{参}}$ ——热电偶参考端引入的影响量， $^{\circ}\text{C}$ ；

$S_0$ ——热电偶在 0℃点的微分热电动势， $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

###### C.4.2.3 多点转换开关的影响 $\delta e_{\text{开关}}$

转换开关的寄生电势的测量结果直接影响着最终的测量结果,依据检定规程转换开关的寄生电势 $\leq 1 \mu\text{V}$ ,按均匀分布可得:

$$u_{2.3} = \frac{U(\delta e_{\text{开关}})}{\sqrt{3}} = \frac{1 \mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.6 \mu\text{V}$$

###### C.4.2.4 检定炉炉温变化的影响 $\delta e_{\text{波动}}$

由于测量过程中标准和被检热电偶测量不能同时进行,根据规程要求,在各分度点的测量过程中,炉温变化应 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}$ ,按均匀分布可得:

$$u_{2.4} = \frac{U(\delta_{t_{\text{波动}}}) \times S_{1000^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.5^{\circ}\text{C} \times 20\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 5.8\mu\text{V}$$

式中： $\delta_{t_{\text{波动}}}$ ——检定炉温场波动引入的影响量， $^{\circ}\text{C}$ 。

#### C.4.2.5 检定温场不均匀性的影响 $\delta e_{\text{温场不均匀}}$

由于检定炉内温场存在不均匀性，导致标准和被检热电偶测量温度有差异，根据规程要求，在检定温度区域内，温差为  $1^{\circ}\text{C}$ ，取半宽区间，按均匀分布可得：

$$u_{2.5} = \frac{U(\delta_{\text{温场不均匀}}) \times S_{1000^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = \left( \frac{20\mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \times 0.5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} \right) = 5.8\mu\text{V}$$

式中： $\delta_{\text{温场不均匀}}$ ——检定炉温场不均匀引入的影响量， $^{\circ}\text{C}$ 。

### C.4.3 输入量 $\bar{e}_{\text{标}}$ 的标准不确定度评定

#### C.4.3.1 电测设备的影响 $\delta e_{\text{电}}$

装置采用的数字电压表为 KEITHLEY2000,根据其使用说明书,以每年检定一次计算,最大示值误差为  $\pm(50 \times 10^{-6} \times \text{测量值} + 35 \times 10^{-4}) \times 10^3 \mu\text{V}$ ,按均匀分布可得:

$$u_{3.1} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 9.587 + 35 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} \times 10^3 \mu\text{V} = 2.3\mu\text{V}$$

#### C.4.3.2 多点转换开关的影响 $\delta e_{\text{开关}}$

转换开关的寄生电势的测量结果直接影响着最终的测量结果，依据检定规程转换开关的寄生电势  $\leq 1\mu\text{V}$ ，按均匀分布可得：

$$u_{3.2} = \frac{U(\delta e_{\text{开关}})}{\sqrt{3}} = \frac{1\mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.6\mu\text{V}$$

### C.4.4 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $\delta E_{\text{重}}$

表 C.1 测量重复性数据如下

单位：(mV)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E1000	18.131	18.1231	18.131	18.130	18.131	18.131	18.132	18.132	18.131	18.131
$^{\circ}\text{C}$	0	6	4	8	5	5	3	2	6	5

计算其实验标准偏差： $n=10$ ，由于测量结果是四次读数的算数平均值，所以  $m=4$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{m \times (n-1)}} \approx 0.2\mu\text{V}$$

#### C.4.5 热电偶读数误差的影响 $\delta e_{\text{分}}$

检定工作用钨铼热电偶采用的数字电压表为 KEITHLEY2000,根据其使用说明书，读数分辨力为  $0.1\mu\text{V}$ ，按均匀分布计算

$$u_8 = \frac{U(\delta e_{\text{分}})}{\sqrt{3}} = \frac{0.1\mu\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.06\mu\text{V}$$

由于热电偶读数误差引入的不确定度小于热电偶重复性引入的不确定度，所以忽略热

电偶读数误差引入的不确定度。

C.5 合成标准不确定度的计算

C.5.1 标准不确定度分量汇总表见表 C.2

表 C.2 主要标准不确定度汇总表

不确定度来源 ( $x_i$ )	分布	$a_i$	$k_i$	标准不确定度( $\mu\text{V}$ )
标准器 $u_{1.1}$	正态	0.4℃	2	2.3
电测设备 $u_{2.1}$	均匀	4.4 $\mu\text{V}$	$\sqrt{3}$	2.5
参考端 $u_{2.2}$	均匀	0.1℃	$\sqrt{3}$	0.6
转换开关 $u_{2.3}$	均匀	1 $\mu\text{V}$	$\sqrt{3}$	0.6
检定炉炉温变化 $u_{2.4}$	均匀	0.5℃	$\sqrt{3}$	5.8
温场不均匀性 $u_{2.5}$	均匀	0.5℃	$\sqrt{3}$	5.8
电测设备 $u_{3.1}$	均匀	4.0 $\mu\text{V}$	$\sqrt{3}$	2.3
转换开关 $u_{3.2}$	均匀	1 $\mu\text{V}$	$\sqrt{3}$	0.6
重复性 $u_{4.1}$	t	0.2 $\mu\text{V}$	1	0.2

C.5.2 合成标准不确定度的计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u(e_{\text{被}}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(e_{\text{被}})} = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{被}}}{S_{\text{标}}}\right)^2 \times u_{1.1}^2 + u_{2.1}^2 + u_{2.2}^2 + u_{2.3}^2 + u_{2.4}^2 + u_{2.5}^2 + \left(\frac{S_{\text{被}}}{S_{\text{标}}}\right)^2 \times (u_{3.1}^2 + u_{3.2}^2) + u_{4.1}^2}$$

可得： $u_{1000^\circ\text{C}}(e_{\text{被}}) = 10.3\mu\text{V}$

C.6 扩展不确定度定

扩展因子  $k$  取 2, 可得扩展不确定度：

$$U_{1000^\circ\text{C}}(e_{\text{被}}) = u_{1000^\circ\text{C}}(e_{\text{被}}) \times k = 10.3\mu\text{V} \times 2 = 20.7\mu\text{V} \approx 1.1^\circ\text{C}$$