



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1637—2017

廉金属热电偶校准规范

Calibration Specification for Base Metal Thermocouples

2017-09-26 发布

2018-03-26 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

廉金属热电偶校准规范

Calibration Specification for

Base Metal Thermocouples

JJF 1637—2017

代替 JJG 351—1996

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：辽宁省计量科学研究院

参加起草单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

辽阳市计量热工实验厂

大连市计量检测研究院

阜新市计量检定测试所

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：

侯素兰（辽宁省计量科学研究院）

王 浩（辽宁省计量科学研究院）

参加起草人：

董 亮（辽宁省计量科学研究院）

吕国义（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

国建军（辽阳市计量热工实验厂）

李 颖（大连市计量检测研究院）

徐霄峰（阜新市计量检定测试所）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 补偿导线	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
5.1 热电偶的热电动势和温度示值偏差	(1)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 外观检查	(3)
7.3 校准方法	(4)
7.4 数据处理	(4)
8 校准结果	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 热电偶参考校准温度点的选择	(7)
附录 B 热电偶温度示值偏差计算示例	(8)
附录 C 热电偶用补偿导线校准方法	(10)
附录 D 标准铂铑 10-铂热电偶热电动势计算方法	(12)
附录 E 热电偶校准原始记录参考格式	(14)
附录 F 热电偶校准结果参考格式	(15)
附录 G K、N、E、J 型热电偶热电动势允许偏差表	(16)
附录 H K、N、E、J 型热电偶整百摄氏度点微分热电动势表	(18)
附录 I 热电动势和温度示值偏差测量不确定度评定示例	(19)

引 言

本规范代替 JJG 351—1996《工作用廉金属热电偶》，用于廉金属热电偶的校准工作。

本次修订是以 GB/T 16701—2010《贵金属、廉金属热电偶丝热电动势测量方法》、GB/T 16839.1《热电偶 第1部分：分度表》、GB/T 16839.2《热电偶 第2部分：允差》、GB/T 30429—2013《工业热电偶》等国家标准及 JJF 1007—2007《温度计量名词术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》为基础，对 JJG 351—1996 进行修订。本规范与 JJG 351—1996 相比，除编辑性修改外，主要变化如下：

- 增加了引言部分；
 - 增加了术语部分；
 - 增加了引用文件部分；
 - 廉金属热电偶的校准温度范围和长度发生了变化；
 - 恒温设备技术要求发生了变化；
 - 增加了补偿导线的技术要求；
 - 删除了新制热电偶校准前的退火工作；
 - 增加了标准铂电阻温度计作测量标准的计算公式；
 - 更换了原规程中的计算实例；
 - 更改了标准铂铑 10-铂热电偶在 300 ℃ 以上范围内，整百摄氏度的热电动势和温度对照表计算方法；
 - 增加了热电偶补偿导线的校准方法；
 - 删除了管式炉炉温温场测试方法及热电偶的分度表；
 - 附录部分增加了热电动势和温度示值偏差校准不确定度评定示例。
- 本规范的历次版本发布情况为：
- JJG 351—1996；
 - JJG 351—1984；
 - JJG 141—1973。

廉金属热电偶校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，长度不小于500 mm，可拆卸的镍铬-镍硅（K型）、镍铬硅-镍硅镁（N型）、镍铬-铜镍（E型）、铁-铜镍（J型）廉金属热电偶（以下简称被校热电偶）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

GB/T 4989—2013 热电偶用补偿导线

GB/T 16701—2010 贵金属、廉金属热电偶丝热电动势测量方法

GB/T 16839.1 热电偶 第1部分：分度表

GB/T 16839.2 热电偶 第2部分：允差

GB/T 30429—2013 工业热电偶

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

JJF 1007—2007 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 补偿导线 extension or compensating cables

一对与被校热电偶配用的导线。若与所配用的被校热电偶正确连接，就把该被校热电偶的参考端移至这对导线的输出端。

4 概述

热电偶是两种不同材料的导体基于塞贝克效应制成的温度计。通常两种不同材料的导体称为热电偶的两个电极，其两个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。

5 计量特性

5.1 热电偶的热电动势和温度示值偏差

热电偶的热电动势表征其热电特性。当热电偶参考端为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，热电动势与温度的关系应符合 GB/T 16839.1。

在一定的温度范围内，被校热电偶的温度示值偏差符合表1的要求。

表 1 热电偶允许偏差

名称	分度号	1 级	2 级
		允许偏差及其适用温度范围	允许偏差及其适用温度范围
镍铬-镍硅热电偶	K	$(-40 \sim +375) ^\circ\text{C}$ $\pm 1.5 ^\circ\text{C}$ $(375 \sim 1\,000) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.004 \cdot t$	$(-40 \sim +333) ^\circ\text{C}$ $\pm 2.5 ^\circ\text{C}$ $(333 \sim 1\,200) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.0075 \cdot t$
镍铬硅-镍硅镁热电偶	N		
镍铬-铜镍热电偶	E	$(-40 \sim +375) ^\circ\text{C}$ $\pm 1.5 ^\circ\text{C}$ $(375 \sim 800) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.004 \cdot t$	$(-40 \sim +333) ^\circ\text{C}$ $\pm 2.5 ^\circ\text{C}$ $(333 \sim 900) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.0075 \cdot t$
铁-铜镍热电偶	J	$(-40 \sim +375) ^\circ\text{C}$ $\pm 1.5 ^\circ\text{C}$ $(375 \sim 750) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.004 \cdot t$	$(-40 \sim +333) ^\circ\text{C}$ $\pm 2.5 ^\circ\text{C}$ $(333 \sim 750) ^\circ\text{C}$ $\pm 0.0075 \cdot t$
注：以上所有指标不适用于合格性判别，仅供参考。			

6 校准条件

6.1 环境条件

电测设备工作的环境温度和相对湿度应符合相应规定的要求；恒温设备工作的环境应无影响校准的气流扰动和外电磁场的干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 测量标准

测量标准见表 2，也可用扩展不确定度满足要求的其他测量标准。

表 2 测量标准

序号	测量标准名称	测量范围	技术要求	备注
1	标准铂铑 10-铂热电偶	300 $^\circ\text{C}$ 以上	一等或二等	1 级被校热电偶的校准采用一等标准铂铑 10-铂热电偶
2	标准铂电阻温度计	$(-196 \sim +419.527) ^\circ\text{C}$	二等	—

6.2.2 其他设备见表 3。

表 3 其他设备

序号	设备名称	技术要求	用途	备注
1	电测仪器	准确度等级不低于 0.01 级、 分辨力不低于 $0.1 \mu\text{V}$	校准 1 级被校热电偶 时，测量热电动势	—
		准确度等级不低于 0.02 级、 分辨力不低于 $1 \mu\text{V}$	校准 2 级被校热电偶 时，测量热电动势	
		准确度等级不低于 0.02 级、 分辨力不低于 $0.1 \text{ m}\Omega$ （测量 标准为二等标准铂电阻温度 计）	测量二等标准铂电阻温 度计的电阻值	
2	恒温设备	$(-40 \sim +300)^\circ\text{C}$ 在有效工作区域内任意两点 温差不大于 0.1°C	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 的恒温 设备
		300 $^\circ\text{C}$ 以上 恒温设备为管式炉时，应配 置均温块： 有效工作区域轴向 30 mm 内，任意两点温差绝对值不大 于 0.5°C ；径向半径不小于 14 mm 范围内，同一截面任 意两点的温差绝对值不大于 0.25°C		
3	多点转换开关	各路寄生电势及各路寄生电 势之差均不大于 $0.5 \mu\text{V}$	切换各路的热电动势	—
4	参考端恒温器	恒温器深度应不小于 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°C 的恒 温场	可用满足 要求的其他 设备
5	补偿导线	温度范围： $(\text{室温} \sim 70)^\circ\text{C}$ ， 允许偏差： $\pm 0.2^\circ\text{C}$	将被校热电偶信号输出 端引至参考端恒温器	—

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

热电偶的热电动势和温度示值偏差。

7.2 外观检查

目测方法检查热电偶的外观。

7.4.1 被校热电偶热电动势计算公式：

$$e_{\text{被}}(t) = \bar{e}_{\text{被}} + S_{\text{被}} \cdot \Delta t_{\text{校}} + e_{\text{补}} \quad (1)$$

其中：

$$\Delta t_{\text{校}} = t_{\text{校}} - t_{\text{实}} \quad (2)$$

式中：

 $e_{\text{被}}(t)$ ——被校热电偶在某校准温度点的热电动势值，mV； $\bar{e}_{\text{被}}$ ——被校热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV； $S_{\text{被}}$ ——被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势，mV/℃； $\Delta t_{\text{校}}$ ——校准温度点与实际温度的差值，℃； $t_{\text{校}}$ ——校准温度点，℃； $t_{\text{实}}$ ——测量标准测得的实际温度，℃（实际温度 = 测量标准读数平均值 + 修正值）； $e_{\text{补}}$ ——补偿导线修正值，mV。

7.4.2 标准热电偶作测量标准校准时，被校热电偶热电动势计算公式：

$$e_{\text{被}}(t) = \bar{e}_{\text{被}} + \frac{e_{\text{标证}} - \bar{e}_{\text{标}}}{S_{\text{标}}} \cdot S_{\text{被}} + e_{\text{补}} \quad (3)$$

式中：

 $e_{\text{标证}}$ ——标准热电偶证书上某校准温度点的热电动势值，mV； $\bar{e}_{\text{标}}$ ——标准热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV； $S_{\text{标}}$ 、 $S_{\text{被}}$ ——分别表示标准、被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势，mV/℃； $e_{\text{被}}(t)$ 、 $\bar{e}_{\text{被}}$ 、 $e_{\text{补}}$ 见 7.4.1。

7.4.3 标准铂电阻温度计作测量标准校准时，被校热电偶热电动势计算公式：

$$e_{\text{被}}(t) = \bar{e}_{\text{被}} + \frac{W_{t_n} - W_t}{\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}} \cdot S_{\text{被}} + e_{\text{补}} \quad (4)$$

其中：

$$W_t = \frac{\bar{R}_t}{R_{\text{tp}}}$$

式中：

 t_n ——校准温度点； W_t ——温度 t 时的电阻比； $\bar{R}_t$ ——标准铂电阻温度计在温度 t 时，测得电阻的算术平均值，Ω； R_{tp} ——标准铂电阻温度计在水三相点的电阻值，Ω； W_{t_n} ， $\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}$ ——由标准铂电阻温度计分度表给出的温度 t_n 对应的电阻比和电阻比随温度的变化率，℃⁻¹； $e_{\text{被}}(t)$ 、 $\bar{e}_{\text{被}}$ 、 $S_{\text{被}}$ 、 $e_{\text{补}}$ 见 7.4.1。7.4.4 被校热电偶热电动势偏差 $\Delta e_{\text{被}}$ 计算公式：

$$\Delta e_{\text{被}} = e_{\text{被}}(t) - e_{\text{分}} \quad (5)$$

式中：

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

7.4.5 被校热电偶温度示值偏差 $\Delta t_{\text{被}}$ 计算公式：

$$\Delta t_{\text{被}} = \frac{\Delta e_{\text{被}}}{S_{\text{被}}} \quad (6)$$

式中：

$\Delta t_{\text{被}}$ ——某校准温度点的热电动势偏差除以微分热电动势，℃。

用不同测量标准进行校准时，计算示例见附录 B。

8 校准结果

经校准的被校热电偶出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映（校准结果内容见附录 E）。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和应用有关时，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

由于复校时间间隔的长短是由被校热电偶的使用情况、使用者、本身质量等诸多因素决定，因此，送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

为确保被校热电偶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。

附录 A

热电偶参考校准温度点的选择

表 A.1 校准温度点

热电偶 分度号	热电极直径/mm				校准温度点/℃				
K 或 N	0.3				400	600	700		
	0.5	0.8	1.0		400	600	800		
	1.2	1.6	2.0	2.5	400	600	800	1 000	
	3.2				400	600	800	1 000	(1 200)
E	0.3	0.5			100	200	250		
	0.8	1.0	1.2		100	300	400		
	1.6	2.0	2.5		100	(300)	400	600	
	3.2				400	600	700		
J	0.3	0.5			100	200	250		
	0.8	1.0	1.2		100	200	400		
	1.6	2.0			(100)	300	400	500	
	2.5	3.2			(100)	300	400	600	
注：括号内参考校准温度点根据用户要求进行校准。									

附录 B

热电偶温度示值偏差计算示例

B.1 用标准热电偶校准热电偶时的示例

在 1 000 °C 校准温度点附近,测得标准铂铑 10-铂热电偶热电动势的算术平均值 $\bar{e}_{\text{标}}$ 为 9.575 mV,被校 K 型热电偶热电动势的算术平均值 $\bar{e}_{\text{被}}$ 为 41.300 mV;从标准铂铑 10-铂热电偶检定证书中查得 1 000 °C 时热电动势($e_{\text{标证}}$)为 9.595 mV,微分热电动势 $S_{\text{标}}$ 为 0.012 mV/°C;从分度表中查得被校热电偶的热电动势($e_{\text{分}}$)为 41.276 mV,微分热电动势 $S_{\text{被}}$ 为 0.039 mV/°C。计算在 1 000 °C 时被校热电偶热电动势和温度示值偏差(被校热电偶未接补偿导线, $e_{\text{补}}=0.0$ mV)。

在 1 000 °C 时,被校热电偶热电动势 $e_{\text{被}}(t)$ 为:

$$\begin{aligned} e_{\text{被}}(t) &= \bar{e}_{\text{被}} + \frac{e_{\text{标证}} - \bar{e}_{\text{标}}}{S_{\text{标}}} \cdot S_{\text{被}} + e_{\text{补}} \\ &= 41.300 + \frac{9.595 - 9.575}{0.012} \times 0.039 + 0.0 \\ &= 41.365 \text{ (mV)} \end{aligned}$$

热电动势偏差 $\Delta e_{\text{被}}$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta e_{\text{被}} &= e_{\text{被}}(t) - e_{\text{分}} \\ &= 41.365 - 41.276 \\ &= 0.089 \text{ (mV)} \end{aligned}$$

温度示值偏差 $\Delta t_{\text{被}}$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{被}} &= \frac{\Delta e_{\text{被}}}{S_{\text{被}}} \\ &= \frac{0.089}{0.039} = 2.28 \text{ (°C)} \end{aligned}$$

B.2 用标准铂电阻温度计校准被校热电偶时的示例

在 400 °C 校准温度点附近,测得标准铂电阻温度计电阻的算术平均值 $\bar{R}_t$ 为 248.902 0 Ω ,被校 E 型热电偶热电动势的算术平均值 $\bar{e}_{\text{被}}$ 为 29.106 mV;从标准铂电阻温度计检定证书中查得,400 °C 水三相点的电阻值(R_{tp})为 99.435 2 Ω ,分度表给出(W_{t_n})为 2.500 092 96,电阻比的变化率 $(dW_t/dt)_{t_n}$ 为 0.003 575 02 °C⁻¹;从分度表中查得被校热电偶的热电动势($e_{\text{分}}$)为 28.946 mV,微分热电动势 $S_{\text{被}}$ 为 0.080 mV/°C。计算在 400 °C 时被校热电偶热电动势和温度示值偏差(被校热电偶未接补偿导线, $e_{\text{补}}=0.0$ mV)。

在 400 °C 时,被校热电偶热电动势 $e_{\text{被}}(t)$ 为:

$$e_{\text{被}}(t) = \bar{e}_{\text{被}} + \frac{W_{t_n} - W_t}{\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}} \cdot S_{\text{被}} + e_{\text{补}}$$

$$= 29.106 + \frac{2.500\ 092\ 96 - 248.902 \div 99.435\ 2}{0.003\ 575\ 02} \times 0.080 + 0.0$$

$$= 29.037\ (\text{mV})$$

热电动势偏差 $\Delta e_{\text{被}}$ 为:

$$\Delta e_{\text{被}} = e_{\text{被}}(t) - e_{\text{分}}$$

$$= 29.037 - 28.946$$

$$= 0.091\ (\text{mV})$$

温度示值偏差 $\Delta t_{\text{被}}$ 为:

$$\Delta t_{\text{被}} = \frac{\Delta e_{\text{被}}}{S_{\text{被}}}$$

$$= \frac{0.091}{0.080} = 1.14\ (^{\circ}\text{C})$$

B.3 用标准水银温度计校准热电偶时的示例

在 $200\ ^{\circ}\text{C}$ 校准温度点附近, 参考端为 $0.0\ ^{\circ}\text{C}$, 测得被校 E 型热电偶的热电动势算术平均值 $\bar{e}_{\text{被}}$ 为 $13.440\ \text{mV}$; 从分度表查得, 在 $200\ ^{\circ}\text{C}$ 时被校热电偶的热电动势值 ($e_{\text{分}}$) 为 $13.421\ \text{mV}$, 微分热电动势为 $S_{\text{被}} = 0.074\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$; 标准水银温度计测得温场的实际温度为 $200.05\ ^{\circ}\text{C}$ 。计算在 $200\ ^{\circ}\text{C}$ 时被校热电偶热电动势和温度示值偏差 (被校热电偶未接补偿导线, $e_{\text{补}} = 0.0\ \text{mV}$)。

在 $200\ ^{\circ}\text{C}$ 时, 被校热电偶热电动势为:

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

$$= 13.440 + 0.074 \times (200 - 200.05) + 0.0$$

$$= 13.436\ (\text{mV})$$

热电动势偏差为:

$$\Delta e_{\text{被}} = e_{\text{被}}(t) - e_{\text{分}}$$

$$= 13.436 - 13.421$$

$$= 0.015\ (\text{mV})$$

温度示值偏差 $\Delta t_{\text{被}}$ 为:

$$\Delta t_{\text{被}} = \frac{\Delta e_{\text{被}}}{S_{\text{被}}}$$

$$= \frac{0.015}{0.074} = 0.20\ (^{\circ}\text{C})$$

附录 C

热电偶用补偿导线校准方法

本校准方法适用于温度范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热电偶补偿导线（以下简称补偿导线）的校准。

C.1 概述

补偿导线按材料类型分为延长型与补偿型，按热电特性的允差分为精密级（符号S）和普通级。廉金属热电偶主要有K、N、E、J、T五种类型，其对应的热电偶补偿导线主要分为KC、KX、NC、NX、EX、JX、TX7种类型。补偿导线型号及成分见表C.1。

表 C.1 补偿导线型号及成分

型号		匹配热电偶的分度号	正极成分	负极成分
KC	KCA	K	KPCA（铁）	KNCA（铜镍 22）
	KCB	K	KPCB（铜）	KNCB（铜镍 40）
KX		K	KPX（镍铬 10）	KNX（镍硅 3）
NC		N	NPC（铁）	NNC（铜镍 18）
NX		N	NPX（镍铬 14 硅）	NNX（镍硅 4 镁）
EX		E	EPX（镍铬 10）	ENX（铜镍 45）
JX		J	JPX（铁）	JNX（铜镍 45）
TX		T	TPX（铜）	TNX（铜镍 45）

C.2 测量标准及配套设备

测量标准及配套设备见 6.2.1、6.2.2 和表 C.2。

表 C.2 测量标准及配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	恒温设备	$(-40\sim 200)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效工作区域任意两点温差 小于 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$	提供恒定的均匀温场
2	热电偶测量端焊接设备	—	焊接补偿导线测量端

C.3 校准项目和校准方法

C.3.1 校准项目

温度示值偏差。

C.3.2 校准方法

C.3.2.1 校准温度点

在测量温度范围内，参照表 C.3 选取校准温度点，也可以根据客户要求选择其他校准温度点。

表 C.3 校准温度点

类型	温度范围/℃	校准温度点/℃
一般	—40~100	—40、0、20、50、100
耐热	—40~200	—40、0、20、50、100、200

C.3.2.2 测量端焊接

选择补偿导线一端，除去 1 cm 的绝缘外皮，用热电偶焊机将补偿导线的正负极焊接在一起为测量端，要求焊点牢固、呈球状，表面光滑、无气孔、无夹渣。

C.3.2.3 参考端的连接方法

补偿导线参考端与铜导线一段连接后置于冰点恒温器内，插入深度不小于 150 mm，铜导线的另一端通过转换开关与电测仪器连接。

C.3.2.4 热电偶补偿导线的校准，参照本规范 7.3.3。

附录 D

标准铂铑 10-铂热电偶热电动势计算方法

300 ℃ 以上整百摄氏度标准铂铑 10-铂热电偶的热电动势和温度对照表计算方法。

D.1 计算差值 ΔE_1 、 ΔE_2 、 ΔE_3

将标准铂铑 10-铂热电偶（以下简称标准热电偶）检定证书上，锌、铝、铜三个凝固点的热电动势值，填入表 D.1，分别计算三个凝固点（设定为 t_1 、 t_2 、 t_3 ）与分度表中固定点上的热电动势值之差 ΔE_1 、 ΔE_2 、 ΔE_3 。

标准热电偶的热电动势 $E(t)$ 和 S 型热电偶分度表中固定点上的热电动势值 $E_s(t)$ 的差值函数 $\Delta E(t)$ ，按式 D.1 计算：

$$\Delta E(t) = E(t) - E_s(t) = a + bt + ct^2 \quad (\text{D.1})$$

表 D.1

序号	凝固点	温度 $t/^\circ\text{C}$	标准热电偶检定证书值 $E_i(t)/\mu\text{V}$	S 型热电偶分度表凝固点热 电动势值 $E_s(t)/\mu\text{V}$	$\Delta E_i/\mu\text{V}$
1	锌	419.527		3 446.89	ΔE_1
2	铝	660.323		5 860.13	ΔE_2
3	铜	1 084.62		10 574.80	ΔE_3

D.2 标准热电偶的系数 a 、 b 、 c

用表 1 中 ΔE_1 、 ΔE_2 、 ΔE_3 代入式 D.1 中，得到一组三元一次联立方程：

$$\Delta E_1 = a + bt_1 + ct_1^2$$

$$\Delta E_2 = a + bt_2 + ct_2^2$$

$$\Delta E_3 = a + bt_3 + ct_3^2$$

解联立方程，求出系数 a 、 b 、 c 。

$$\left. \begin{aligned} a &= 4.472\,01 \cdot \Delta E_1 - 4.453\,67 \cdot \Delta E_2 + 0.981\,667 \cdot \Delta E_3 \\ b &= -0.010\,895\,6 \cdot \Delta E_1 + 0.014\,722\,1 \cdot \Delta E_2 - 0.003\,826\,58 \cdot \Delta E_3 \\ c &= 6.244\,08 \times 10^{-6} \cdot \Delta E_1 - 9.787\,70 \times 10^{-6} \cdot \Delta E_2 + 3.543\,62 \times 10^{-6} \cdot \Delta E_3 \end{aligned} \right\} \quad (\text{D.2})$$

D.3 标准热电偶整百摄氏度点的差值 $\Delta E(t)$

将系数 a 、 b 、 c 代入式 D.1 中，可得出所求整百摄氏度点的差值 $\Delta E(t)$ 值。

D.4 标准热电偶整百摄氏度点的热电动势 $E(t)$

根据式 D.1 导出下式：

$$E(t) = E_s(t) + \Delta E(t) \quad (\text{D.3})$$

D.5 计算标准热电偶 1 000 ℃ 的热电动势

标准热电偶在锌、铝、铜三个凝固点上的热电动势值分别为： $E_1 = 3\,446\,\mu\text{V}$ 、 $E_2 = 5\,863\,\mu\text{V}$ 、 $E_3 = 10\,588\,\mu\text{V}$ 。求系数 a 、 b 、 c 和标准热电偶 1 000 ℃ 的热电动势值。

将 E_1 、 E_2 、 E_3 填入表 D.1 中, 求得:

$$\Delta E_1 = -0.89(\mu\text{V}), \quad \Delta E_2 = 2.87(\mu\text{V}), \quad \Delta E_3 = 13.2(\mu\text{V})$$

用 D.2 求系数 a 、 b 、 c 得:

$$a = -3.804\,117\,4, \quad b = 0.001\,438\,655, \quad c = 13.127\,853\,8 \times 10^{-6}$$

当 t 取 $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 将系数 a 、 b 、 c 代入式 D.1, 求得差值 $\Delta E(1\,000) \approx 10.8\text{ }\mu\text{V}$ 。

将 $\Delta E(1\,000)$ 代入式 D.3 中:

$$\begin{aligned} E(t) &= E_s(t) + \Delta E(t) \\ E(1\,000) &= E_s(1\,000) + \Delta E(1\,000) \\ &= 9\,587 + 10.8 \\ &= 9\,598\text{ }(\mu\text{V}) \end{aligned}$$

因此, 标准热电偶在 $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 的热电动势值为 9.598 mV 。



附录 E

热电偶校准原始记录参考格式

记录编号：

测量标准 及主要配 套设备	仪器名称	型号 规格	出厂 编号	不确定度/准 确度等级	证书号	有效日期
校准依据：						
校准地点：				室温	℃，相对湿度	%
委托单位						
型号						
制造单位						
出厂编号						
证书编号						
流水号						
读数顺序	标准热电偶 读数/mV	被校热电偶热电动势/mV				
		标准热电偶证书值 $e_{\text{标证}} =$ mV 校准温度点：℃				
1						
2						
3						
4						
平均值						
差 值	$\Delta t_{\text{校}}/^\circ\text{C}$					
	$S_{\text{被}} \cdot \Delta t_{\text{校}}$					
$e_{\text{被}}(t)$						
$\Delta e_{\text{被}}$						
$\Delta t_{\text{被}}/^\circ\text{C}$						
扩展不确定度 $U/^\circ\text{C}$						
∴		∴	∴	∴	∴	∴
读数顺序	标准热电偶 读数/mV	标准热电偶证书值 $e_{\text{标证}} =$ mV 校准温度点：℃				
1						
2						
3						
4						
平均值						
差 值	$\Delta t_{\text{校}}/^\circ\text{C}$					
	$S_{\text{被}} \cdot \Delta t_{\text{校}}$					
$e_{\text{被}}(t)$						
$\Delta e_{\text{被}}$						
$\Delta t_{\text{被}}/^\circ\text{C}$						
扩展不确定度 $U/^\circ\text{C}$						
外观检查						

校准员：

核验员：

年 月 日第 页共 页

附录 F

热电偶校准结果参考格式

校 准 结 果

校准温度点 ℃	热电动势 mV	温度示值偏差 ℃	扩展不确定度 $U(k=2)/^{\circ}\text{C}$
注：热电偶参考端温度为 0℃。			

以下空白



附录 G

K、N、E、J 型热电偶热电动势允许偏差表

镍铬-镍硅热电偶 (K 型)

mV

测量端 温度/℃	热电动势 标准值	1 级		2 级	
		允许偏差	热电动势范围	允许偏差	热电动势范围
100	4.096	±0.062	4.034~4.158	±0.103	3.993~4.199
200	8.138	±0.060	8.078~8.198	±0.100	8.038~8.238
300	12.209	±0.062	12.147~12.271	±0.104	12.105~12.313
400	16.397	±0.068	16.329~16.465	±0.127	16.270~16.524
500	20.644	±0.085	20.559~20.729	±0.160	20.484~20.804
600	24.905	±0.102	24.803~25.007	±0.191	24.714~25.096
700	29.129	±0.117	29.012~29.246	±0.220	28.909~29.349
800	33.275	±0.131	33.144~33.406	±0.246	33.029~33.521
900	37.326	±0.144	37.182~37.470	±0.270	37.056~37.596
1 000	41.276	±0.156	41.120~41.432	±0.292	40.984~41.568
1 100	45.119	—	—	±0.312	44.807~45.431
1 200	48.838	—	—	±0.328	48.510~49.166

镍铬硅-镍硅镁热电偶 (N 型)

mV

测量端 温度/℃	热电动势 标准值	1 级		2 级	
		允许偏差	热电动势范围	允许偏差	热电动势范围
100	2.774	±0.044	2.730~2.818	±0.074	2.700~2.848
200	5.913	±0.040	5.864~5.882	±0.082	5.831~5.995
300	9.341	±0.053	9.288~9.374	±0.089	9.252~9.430
400	12.974	±0.059	12.915~13.033	±0.111	12.863~13.085
500	16.748	±0.076	16.672~16.824	±0.143	16.605~16.891
600	20.613	±0.094	20.519~20.707	±0.175	20.438~20.788
700	24.527	±0.110	24.417~24.637	±0.206	24.321~24.733
800	28.455	±0.126	28.329~28.581	±0.235	28.220~28.690
900	32.371	±0.140	32.321~32.511	±0.264	32.107~32.635
1 000	36.256	±0.154	36.102~36.410	±0.290	35.966~36.546
1 100	40.087	—	—	±0.313	39.774~40.400
1 200	43.846	—	—	±0.335	43.511~44.181

镍铬-铜镍热电偶 (E 型)

mV

测量端 温度/℃	热电动势 标准值	1 级		2 级	
		允许偏差	热电动势范围	允许偏差	热电动势范围
100	6.319	±0.101	6.218~6.420	±0.169	6.150~6.488
200	13.421	±0.111	13.310~13.532	±0.186	13.236~13.606
300	21.036	±0.117	20.919~21.153	±0.195	20.841~21.231
400	28.946	±0.128	28.818~29.074	±0.240	28.706~29.186
500	37.005	±0.162	36.843~37.167	±0.303	36.702~37.308
600	45.093	±0.194	44.899~45.237	±0.363	44.730~45.456
700	53.112	±0.223	52.889~53.335	±0.418	52.694~53.530
800	61.017	±0.251	60.766~61.268	±0.471	60.546~61.488
900	68.787	—	—	±0.519	68.268~69.306

铁-铜镍热电偶 (J 型)

mV

测量端 温度/℃	热电动势 标准值	1 级		2 级	
		允许偏差	热电动势范围	允许偏差	热电动势范围
100	5.269	±0.082	5.187~5.351	±0.136	5.133~5.405
200	10.779	±0.083	10.696~10.862	±0.139	10.640~10.918
300	16.327	±0.083	16.244~16.410	±0.138	16.189~16.465
400	21.848	±0.088	21.760~21.936	±0.165	21.683~22.013
500	27.393	±0.112	27.281~27.505	±0.210	27.183~27.603
600	33.102	±0.140	32.962~33.242	±0.263	32.839~33.365
700	39.132	±0.174	38.958~39.306	±0.326	38.806~39.458
750	42.281	±0.191	42.090~42.472	±0.358	41.923~42.639

附录 H

K、N、E、J 型热电偶整百摄氏度点微分热电动势表

测量端温度/℃	微分热电动势 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$			
	分度号			
	K	N	E	J
0	39.45	26.16	58.67	50.38
100	41.37	29.64	67.52	54.36
200	39.97	32.99	74.03	55.51
250	40.71	34.31	76.24	55.51
300	41.45	35.42	77.91	55.35
350	41.91	36.35	79.15	55.19
400	42.24	37.13	80.06	55.15
500	42.63	38.27	80.93	55.99
600	42.51	38.96	80.66	58.49
700	41.90	39.26	79.65	62.15
750	41.47	39.29	79.05	63.70
800	41.00	39.26	78.43	—
900	40.00	39.04	76.83	—
1 000	38.98	38.61	—	—
1 100	37.85	37.98	—	—
1 200	36.49	37.19	—	—

附录 I

热电动势和温度示值偏差测量不确定度评定示例

I.1 校准方法

采用比较法中的双极法，在管式炉中放置金属均温块，将二等标准铂铑 10-铂热电偶（以下简称标准热电偶）套上保护管，与套上绝缘瓷珠的被校热电偶用细镍铬丝捆扎成一束，然后，将热电偶束插入管式炉内的均温块至底部进行比较，测量标准热电偶和被校热电偶的热电动势。

I.1.1 测量模型

被校热电偶在校准温度点上（参考端为 0.0 °C 时）的测量模型：

$$e_{\text{被}}(t) = \bar{e}_{\text{被}} + \frac{e_{\text{标证}} - \bar{e}_{\text{标}}}{S_{\text{标}}} \cdot S_{\text{被}} + e_{\text{补}} \quad (\text{I.1})$$

式中：

$e_{\text{被}}(t)$ ——被校热电偶在某校准温度点的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{\text{被}}$ ——被校热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV；

$e_{\text{标证}}$ ——标准热电偶证书上某校准温度点的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{\text{标}}$ ——标准热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV；

$S_{\text{标}}$ 、 $S_{\text{被}}$ ——分别为标准热电偶、被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势， $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ；

$e_{\text{补}}$ ——补偿导线修正值，mV。

I.1.2 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，根据不确定度传播律：

$$u_{\text{c}}^2 = [c_1 u(\bar{e}_{\text{被}})]^2 + [c_2 u(e_{\text{标证}})]^2 + [c_3 u(\bar{e}_{\text{标}})]^2 + [c_4 u(e_{\text{补}})]^2 \quad (\text{I.2})$$

其中，灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial e_{\text{被}}(t)}{\partial \bar{e}_{\text{被}}} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial e_{\text{被}}(t)}{\partial e_{\text{标证}}} = \frac{S_{\text{被}}}{S_{\text{标}}} = 4.41$$

$$c_3 = \frac{\partial e_{\text{被}}(t)}{\partial \bar{e}_{\text{标}}} = -\frac{S_{\text{被}}}{S_{\text{标}}} = -4.41$$

$$c_4 = \frac{\partial e_{\text{被}}(t)}{\partial e_{\text{补}}} = 1$$

I.1.3 标准不确定度评定

被校热电偶输入量 $\bar{e}_{\text{被}}$ 引入的标准不确定度 $u(\bar{e}_{\text{被}})$ ，其来源有被校热电偶的重复性测量、电测仪器测量误差、炉内金属均温块径向温场的不均匀性、炉温的波动、转换开

关接触电势、参考端温度不等于 0 °C、补偿导线。标准热电偶引入的不确定度，其来源有整百摄氏度点 $e_{\text{标证}}$ 和输入量 $e_{\text{标}}$ 重复性测量等。

I.1.3.1 被校热电偶重复测量引入的标准不确定度 u_1

用二等标准热电偶对被校热电偶（以热电偶 K 型在校准温度点 400 °C）进行测量，测得 5 组每组 10 个重复性测量数据，用 A 类方法进行评定，合并样本标准偏差 s_{p1} 为：

$$s_{p1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 s_i^2}{5}} = 1.24 (\mu\text{V})$$

实际测量以 4 次测量值的平均值作为测量结果，故 $u_1 = s_{p1}/\sqrt{4} = 0.63 (\mu\text{V})$ 。

I.1.3.2 电测仪器测量被校热电偶引入的标准不确定度 u_2 ，用 B 类方法进行评定

电测仪器测量被校热电偶使用的数字表为 KEITHLEY 2010，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，对应校准点读数取 16.5 mV，量程 100 mV，误差 $\pm 1.51 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，半宽为 $1.51 \mu\text{V}$ 。则标准不确定度为：

$$u_2 = 1.51/\sqrt{3} = 0.87 (\mu\text{V})$$

I.1.3.3 金属均温块径向温场不均匀引入的标准不确定度 u_3 ，用 B 类方法进行评定

校准时，由于炉内放置的金属均温块径向温场不均匀，经测试最大差值为 0.20 °C，换算成热电势值为 $8.45 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，取半宽为 $4.22 \mu\text{V}$ 。则标准不确定度为：

$$u_3 = 4.22/\sqrt{3} = 2.44 (\mu\text{V})$$

I.1.3.4 炉温波动引入的标准不确定度 u_4 ，用 B 类方法进行评定

测量时，标准热电偶测得温场实际变化不超过 $1.0 \mu\text{V}$ ，以微分电势 $9.567 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 计算（相当于 $0.10 ^\circ\text{C}$ ），再以微分电势 $42.24 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 计算，带来的误差为 $4.22 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，取半宽为 $2.11 \mu\text{V}$ 。则标准不确定度为：

$$u_4 = 2.11/\sqrt{3} = 1.22 (\mu\text{V})$$

I.1.3.5 转换开关寄生电势引入的标准不确定度 u_5 ，用 B 类方法进行评定

转换开关各路之间最大寄生电势之差不大于 $0.5 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，半宽为 $0.5 \mu\text{V}$ 。则标准不确定度为：

$$u_5 = 0.5/\sqrt{3} = 0.29 (\mu\text{V})$$

I.1.3.6 参考端温差引入的标准不确定度 u_6 ，用 B 类方法进行评定

经测量参考端不为 0 °C，误差为 $0.05 ^\circ\text{C}$ ，以微分电势 $39.45 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 计算，换算成热电势值为 $1.97 \mu\text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度为：

$$u_6 = 1.97/\sqrt{3} = 1.14 (\mu\text{V})$$

由于输入量 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 、 u_5 、 u_6 彼此之间相互独立，则：

$$\begin{aligned} u(e_{\text{被}}) &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \\ &= 3.16 (\mu\text{V}) \end{aligned}$$

I.1.3.7 标准热电偶整百摄氏度 $e_{\text{标证}}$ 引入的标准不确定度，用 B 类方法进行评定

标准热电偶在 400 °C 校准温度点标准不确定度 $u(e_{\text{标证}})$ 为：

$$u(e_{\text{标证}}) = 3.63(\mu\text{V})$$

I.1.3.8 标准热电偶输入量 $\bar{e}_{\text{标}}$ 引入的标准不确定度，用 A 类方法进行评定

输入量 $\bar{e}_{\text{标}}$ 的标准不确定度 $u(\bar{e}_{\text{标}})$ ，二等标准热电偶测得 5 组每组 10 个重复性测量数据，用 A 类方法进行评定，合并样本标准偏差 s_{p2} 为：

$$s_{p2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 s_i^2}{5}} = 0.80(\mu\text{V})$$

实际测量以 4 次测量值的平均值作为测量结果，故 $u(\bar{e}_{\text{标}}) = s_{p2}/\sqrt{4} = 0.40(\mu\text{V})$ 。

I.1.3.9 补偿导线引入的标准不确定度 $u(e_{\text{补}})$ ，用 B 类方法进行评定

经测量，K 型补偿导线在 30 °C 时，误差 ± 0.2 °C ($\pm 8.45 \mu\text{V}$)，按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，半宽为 $8.45 \mu\text{V}$ ，则标准不确定度为：

$$u(e_{\text{补}}) = 8.45/\sqrt{3} = 4.88(\mu\text{V})$$

I.1.4 标准不确定度分量汇总表

热电偶 (K 型) 在 400 °C 标准不确定度分量汇总表见表 I.1。

表 I.1 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度的来源		类别	标准不确定度/ μV	灵敏系数 c_i
1	$u(\bar{e}_{\text{被}})$	输入量 $\bar{e}_{\text{被}}$ 带来的不确定度		3.16	1
1.1	u_1	重复测量	A	0.63	
1.2	u_2	电测仪器	B	0.87	
1.3	u_3	径向温场不均匀	B	2.44	
1.4	u_4	炉温波动	B	1.22	
1.5	u_5	转换开关寄生电势	B	0.29	
1.6	u_6	参考端不等于 0 °C	B	1.14	
2	$u(e_{\text{标证}})$	标准热电偶 $e_{\text{标证}}$ 带来的不确定度	B	3.63	4.41
3	$u(\bar{e}_{\text{标}})$	输入量 $\bar{e}_{\text{标}}$ 重复测量	A	0.40	-4.41
4	$u(e_{\text{补}})$	补偿导线	B	4.88	1

I.1.5 合成标准不确定度的计算

输入量 $u(\bar{e}_{\text{被}})$ 、 $u(e_{\text{标证}})$ 、 $u(\bar{e}_{\text{标}})$ 和 $u(e_{\text{补}})$ 之间相互独立，则合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{[c_1 u(\bar{e}_{\text{被}})]^2 + [c_2 u(e_{\text{标证}})]^2 + [c_3 u(\bar{e}_{\text{标}})]^2 + [c_4 u(e_{\text{补}})]^2} \\
 &= 17.09(\mu\text{V})
 \end{aligned}$$

I.1.6 扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c$$

$$= 2 \times 17.09 = 35 (\mu V), k=2 \text{ (相当于 } 0.83 ^\circ C)$$

I.2 用标准铂电阻温度计作测量标准不确定度评定

I.2.1 热电偶 (K 型) 在 $300 ^\circ C$ 标准不确定度分量汇总见表 I.2。

表 I.2 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度的来源		类别	标准不确定度/ $^\circ C$	灵敏系数 c_i
1	u_1	被校热电偶重复测量	A	0.003	1
2	u_2	电测仪器	B	0.019	
3	u_3	恒温槽温场不均匀	B	0.012	
4	u_4	恒温槽温度波动	B	0.012	
5	u_5	转换开关寄生电势	B	0.010	
6	u_6	参考端不等于 $0 ^\circ C$	B	0.050	
7	u_7	测量标准修正值	B	0.003	1
8	u_8	测量标准重复测量	A	0.001	1
9	u_9	补偿导线	B	0.120	1

I.2.2 合成标准不确定度的计算

输入量 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 、 u_5 、 u_6 、 u_7 、 u_8 、 u_9 之间相互独立, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2 + (c_4 u_4)^2 + (c_5 u_5)^2 + (c_6 u_6)^2 + (c_7 u_7)^2 + (c_8 u_8)^2 + (c_9 u_9)^2}$$

$$= 0.13 (^\circ C)$$

I.2.3 扩展不确定度

$$U = k \cdot u_c$$

$$= 2 \times 0.13 = 0.26 (^\circ C), k=2$$