



中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX—20XX

# 热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

Calibration Specification for Auto-measuring System of Thermocouples and  
Resistance Thermometers

(征求意见稿)

20XX-XX-XX发布 20XX-XX-XX实施

国家市场监督管理总局发布



# 热电偶、热电阻自动测量系统 校准规范

JJF XXXX—20XX  
代替 JJF 1098—2003

Calibration Specification for Auto-measuring

System of Thermocouples and Resistance Thermometers

本规范经国家市场监督管理总局××××年××月××日批准，并自××××年××月××日起施行。

归口单位： 全国温度计量技术委员会

主要起草单位： 中国测试技术研究院

参加起草单位：

本规范由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 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 名词术语 .....	1
4 概述 .....	2
5 计量特性 .....	3
5.1 计量特性要求 .....	3
5.2 绝缘电阻 .....	3
5.3 测量软件 .....	3
6 校准条件 .....	4
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 .....	4
7.1 校准项目 .....	4
7.2 校准方法 .....	5
8 校准结果表达 .....	7
9 复校时间间隔 .....	8
附录 A 热电偶、热电阻自动测量系统校准记录参考格式 .....	9
附录 B 热电偶、热电阻自动测量系统校准结果参考格式 .....	10
附录 C 标准热电偶自动测量系统测量结果不确定度评定示例 .....	11
附录 D 工业热电阻系统测量不确定度评定示例 .....	17
附录 E 扫描开关寄生电势测量不确定度评定示例 .....	22

## 引 言

本规范参照了国家计量技术规范 JJF1007-2007《温度计量名词术语及定义》和 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》中规定的相关术语、定义和编写规则，测量不确定度的评定参照 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。

本规范代替 JJF1098-2003《热电偶、热电阻自动测量系统校准规范》，与 JJF1098-2003 相比，除编辑性修改外，主要变化如下：

- 增加了引言；
- 增加了引用文件；
- 增加了名词术语；
- 扩展了适用范围；
- 校准用标准器和试样发生了变化；
- 增加了计量特性内容和测试内容；
- 部分计量特性重新表述；
- 部分校准方法重新进行描述；
- 附录部分修改了校准的不确定度评定示例。

本规范历次版本发布情况：

- JJF 1098-2003

# 热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

## 1 范围

本规范适用于 S 型标准热电偶、工作用热电偶和工业热电阻自动测量系统计量性能的校准。对于 R 型、B 型标准热电偶测量系统的校准也可参照执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 75 《标准铂铑 10-铂热电偶检定规程》

JJG 141-2013 《工作用贵金属热电偶检定规程》

JJG 229-2010 《工业铂、铜热电阻检定规程》

JJF 1262—2010 《铠装热电偶校准规范》

JJF 1637—2017 《廉金属热电偶校准规范》

GB 4793.1-2007 《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求》

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 名词术语

JJF1001-2011、JJF1007-2007 界定的及以下术语和定义适合于本规范。

### 3.1 恒温设备 constant temperature equipment

用于提供恒定温场的设备，如热电偶检定炉或恒温槽等。

### 3.2 扫描开关 scanning switch

用于切换数据采集通道的装置，又称为多路转换开关或电子扫描器。

### 3.3 通道间动态数据采集串扰 dynamic data acquisition crosstalk between channels

扫描开关动态切换时，由于切换时间影响，导致相邻两个通道之间产生的数据采集黏连。

### 3.4 通道间数据采集差值 data acquisition difference between channels

模拟信号源与扫描开关相连接，当模拟信号源输出同一信号时，扫描开关各个通道采集的数据值之间的最大差值。

### 3.5 恒温性能 thermostatic performance

热电偶、热电阻自动测量系统控制恒温设备达到标称温度附近时的控温能力。

### 3.6 测量数据处理结果验证 verification of measurement data processing results

利用热电偶、热电阻自动测量系统采集的原始数据，人工计算结果与其自身计算结果的差值。

### 3.7 系统比对误差 System comparison error

通过热电偶、热电阻自动测量系统得到的试样的误差值与上级单位给出的试样已知误差值之间的差值。

## 4 概述

热电偶、热电阻自动测量系统（以下简称测量系统）一般由计算机、电测仪表、扫描开关和恒温设备等共同组成，它可以是一体化的，也可以是由若干部件构成的。测量系统是在计算机的操作下，能够控制恒温设备（部分测量系统恒温设备可以独立控温），判定温度稳定状态，自动对热电偶或热电阻传感器进行采样、处理数据，显示、打印、保存和查询测量结果的系统。

测量系统按照被测传感器类型可以分为以下几种：被测传感器为一等标准铂铑 10-铂热电偶的测量系统（以下简称一等标准偶系统）；被测传感器为二等标准铂铑 10-铂热电偶的测量系统（以下简称二等标准偶系统）；被测传感器为工作用铂铑 10-铂热电偶、工作用铂铑 13-铂热电偶、工作用铂铑 30-铂铑 6 热电偶的测量系统（以下简称工作偶系统）；被测传感器为廉金属热电偶、铠装热电偶的测量系统（以下简称廉金属偶系统）；被测传感器为工业热电阻的测量系统（以下简称工业阻系统）。

测量系统典型结构如图 1 所示。

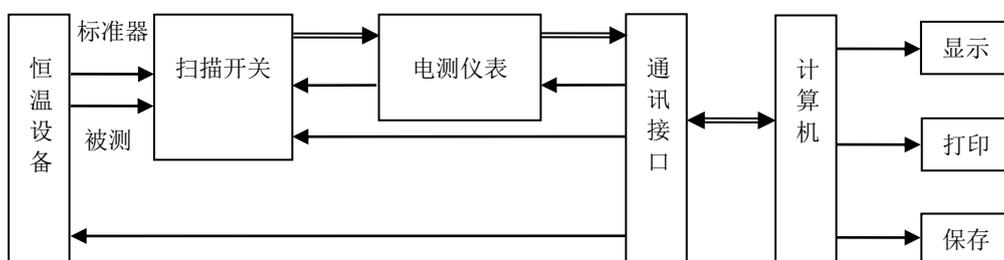


图 1 测量系统的典型结构图

## 5 计量特性

### 5.1 计量特性要求

测量系统扫描开关寄生电势、通道间动态数据采集串扰、通道间数据采集差值、恒温性能、测量重复性、测量数据处理结果验证、校准结果不确定度验证应符合表 1 的要求。

表 1 计量特性要求

名称	一等标准偶系统 二等标准偶系统	工作偶系统	廉金属偶系统	热电阻系统
扫描开关寄生电势	$\leq 0.4\mu\text{V}$		$\leq 0.5\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$
通道间动态数据采集串扰	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$ 或 $2\text{m}\Omega$
通道间数据采集差值	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$ 或 $2\text{m}\Omega$
恒温性能	设定点偏差不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ 恒温 $0.5^\circ\text{C}/6\text{min}$ 测量 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$	设定点偏差不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ 恒温 $0.5^\circ\text{C}/6\text{min}$ 测量 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$	设定点偏差不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ 恒温 $0.6^\circ\text{C}/10\text{min}$ 测量 $0.2^\circ\text{C}/\text{min}$	设定点偏差不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 恒温 $0.04^\circ\text{C}/10\text{min}$ 测量 $0.02^\circ\text{C}/\text{min}$
测量重复性	$\leq 1.5\mu\text{V}$	$\leq 3\mu\text{V}$	$\leq 0.3^\circ\text{C}$	$\leq 12\text{m}\Omega$
测量数据处理结果验证	$\leq 0.5\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$	A 级: $\leq 0.4\text{m}\Omega$ B 级: $\leq 2\text{m}\Omega$
校准结果不确定度验证	不确定度验证结果应符合国家计量检定系统表中相应的规定。			

### 5.2 绝缘电阻

测量系统各部件绝缘电阻应符合 GB4793.1《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求》的规定。系统电源端子和输入端对外壳的绝缘电阻应不小于  $20\text{M}\Omega$ 。

### 5.3 测量软件

测量系统软件应该带有安全程序，有完整的操作使用、维护说明和必要的备份，可以加密。具备原始测量数据安全记录保存功能，在测量过程中由于干扰、断电、部件故障和误操作、病毒及软件冲突等原因引起死机或不能完成本次测量工作时，应该保证恒温装置不因失控而被损坏，并且保留故障前已有的测量数据。软件应该能够保证其原始数据不能进行人工修改。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

标准器及配套设备工作的环境条件应符合相应规定的要求。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准各计量特性的测量标准见表 2。

表 2 校准用标准器及配套设备

名称	一等标准偶系统	二等标准偶系统	工作偶系统	廉金属偶系统	热电阻系统
标准器	标准组铂铑 10-铂热电偶	一等标准铂铑 10-铂热电偶	一等标准铂铑 10-铂热电偶	一等标准铂铑 10-铂热电偶, 二等标准铂电阻温度计	二等标准铂电阻温度计
试样 (溯源有效周期内的)	标准组铂铑 10-铂热电偶	一等标准铂铑 10-铂热电偶	二等标准铂铑 10-铂热电偶	1 级 N 型廉金属热电偶	四线制 A 级铂 Pt100
电测仪表	测量转换开关寄生电势: 纳伏表				
	热电阻系统: 0.005 级及以上等级, 最小分辨力不低于 0.1mΩ, 热电偶系统: 0.01 级及以上等级, 最小分辨力不低于 0.1μV				
标准模拟信号源	0.01 级及以上等级, 最小分辨力不低于 0.1μV, 稳定性优于被测年热电动势变化允差的 1/5。				
绝缘电阻表	额定电压为 500V, 10.0 级				
秒表	MPE: ±1s, 用于测量恒温性能。				

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 校准项目列表

校准项目	首次	复校
安全性能检查	+	+
扫描开关寄生电势	+	+
通道间动态数据采集串扰	+	-
通道间数据采集差值	+	+
恒温性能	+	-

校准结果不确定度验证	+	+
测量重复性	+	-
测量数据处理结果验证	+	+
注 1：设备调整或者软件更新后，需要按照首次进行项目校准。		

## 7.2 校准方法

### 7.2.1 校准前的准备

7.2.1.1 在测量系统校准前，应该确认测量系统配置的标准传感器、电测仪表、恒温设备、参考端恒温器、补偿导线等计量性能符合相关检定规程或校准规范所规定的技术指标要求。

7.2.1.2 扫描开关外接测量导线选用同轴上截取的纯铜导线。测量导线应绞接或采取屏蔽措施以避免空间电磁场干扰。接线前应去除测量导线上的氧化层，以避免测量回路中杂散电势的影响。

7.2.1.3 测量系统外观结构应完好、系统构成原理图与接线图、各部件标识齐全。各个部件连接线和接插件应该有明显标志，数量，长度满足实际工作需求，接插件安全可靠。

7.2.1.4 专用测量软件名称、版本、序列号、生产日期和制作单位等信息应标识清楚。

7.2.1.5 按操作使用维护说明书的要求对系统进行预设置，使其处于正常工作状态。

### 7.2.2 安全性能检查

#### a) 绝缘电阻

用 500V 兆欧表测量系统短接后的电源输入端子、信号输入端子对系统外壳的绝缘电阻，其结果应该满足 5.2 的要求。

#### b) 软件性能

人为设置故障，使系统中断测量，其结果应保证恒温装置不因失控而被损坏，并保留故障前已有的测量数据，保证测量数据不被人为修改，其结果应该满足 5.3 的要求。

### 7.2.3 扫描开关寄生电势

扫描开关寄生电势用电测仪表进行测量。其方法是：

- a) 将扫描开关各输入端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接；
- b) 将扫描开关输出端子用相同铜导线短接后分别接至电测仪表表输入端；
- c) 20min 后，对电测仪表清零，并剪断扫描开关输出端的短路导线；
- d) 依次切换扫描开关通道进行测量，在每个通道停留 60s，记录绝对值的最大电势；扫描开关断电 5min 后，重复上述检查，如此反复测量 3 次，取各通道 3 次测量结果的最大值为该通道的寄生电势值，其结果应符合表 1 的规定。

#### 7.2.4 通道间动态数据采集串扰

通道间动态数据采集串扰采用标准模拟信号源输入模拟信号的方法进行。其方法是：

- a) 将扫描开关奇数通道各输入端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接；扫描开关偶数通道输入同名端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接后与信号源相连，模拟信号输出选用检定规程或校准规范要求的检定或校准最高温度点；
- b) 进行数据采集测试，在计算机按通道顺序分别读取各通道的采样值，反复测量 2 次，奇数通道数据与 0mV 或者  $0\Omega$  比较，偶数通道数据与输入标称值比较，计算其差值，取绝对值最大值为串扰测试值，其结果应符合表 1 的规定。

#### 7.2.5 通道间数据采集差值

通道间数据采集差值的测试可采用标准模拟信号源输入模拟信号的方法进行。测量点选用检定规程或校准规范要求的检定或校准最高温度点。其方法是：

- a) 将扫描开关的输入同名端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接后与信号源相连；
- b) 在计算机上分别按照通道顺序读取各通道的采样值，反复测量三次，取各通道数据采集结果的平均值为各通道的数据采集值，计算其中的最大差值为通道间数据采集差值，其结果应符合表 1 的规定。

#### 7.2.6 校准结果不确定度验证

使用测量系统上配置的标准器作标准，表 2 中的试样作被校。依据相应检定规程或校准规范在各个校准点执行。其方法是：

- a) 将系统控制到被测温度点，当达到表 1 恒温性能要求状态时方可进行测量；
- b) 按系统采用的检定方法或校准规范实际检测，得出被校点上的实测值；
- c) 将实测值与试样证书上的已知值比较，得到系统比对误差，其绝对值不大于

$\sqrt{U_1^2 + U_2^2}$  ( $U_1$ 为  $p = 95\%$  时实测值的不确定度,  $U_2$ 为  $p = 95\%$  时试验证书上的不确定度), 应符合表 1 的要求。

#### 7.2.7 测量重复性

使用测量系统上配置的标准器作标准器, 表 2 中的试样作比较, 校准点选用检定规程或校准规范要求的检定或校准最高温度点。其方法是:

- a) 将测量系统控温到最高温度点;
- b) 进行测量工作, 测量结束后, 关闭硬件电源, 关闭软件。
- c) 待热电偶测量系统降温  $50^{\circ}\text{C}$  左右, 热电阻测量系统降温  $1^{\circ}\text{C}$  左右, 重复 a) 和 b), 得到三次测量数据;
- d) 三次测量结果间的最大差值为系统重复性, 其结果应符合表 1 的规定。

#### 7.2.8 恒温性能

恒温性能的校准点选用检定规程或校准规范要求的检定或校准最高温度点。其方法是:

- a) 将测量系统温度控制线路连接控温传感器, 将控温传感器放入恒温设备。另外取标准器放入恒温设备, 并连接电测仪器;
- b) 在计算机设置控温参数, 将系统预设到被测温度点, 恒温设备控温并趋于稳定;
- c) 记录测量系统数据采集前 10min 标准器的恒温性能与测量时的温度变化率, 其结果应符合表 1 的规定。

#### 7.2.9 测量数据处理结果验证

测量数据处理结果验证可以按照 7.2.5 模拟信号方式进行, 输入各个分度号最高校准点模拟信号; 或与 7.2.6 测试同时进行。进行检定或者校准后, 软件计算结果与确认的人工计算结果比较, 其差值应符合表 1 的规定。

## 8 校准结果表达

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;
- 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, 包括名称和代号;
- 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

测量系统应定期进行校准, 由于复校时间间隔的长短影响测量数据的质量风险, 送校单位应根据仪器的使用情况、仪器本身质量等诸因素自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔最长不超过一年。测量系统进行拆线改造、调整, 或者计算机软件进行升级后应对其进行复校。

## 附录 A

## 热电偶、热电阻自动测量系统校准记录参考格式

记录编号: _____	证书编号: _____	依据的技术文件: _____
委托方: _____	样品名称: _____	制造厂: _____
型号规格: _____	出厂编号: _____	
校准地点: _____	环境条件 温度: _____	湿度: _____
标准器名称: _____	编号: _____	证书编号: _____
测量范围: _____	不确定度/准确度等级: _____	有效期至: _____年__月__日

扫描开关寄生电势: \_\_\_\_\_ 单位 ( $\mu\text{V}$ )

序列	通道号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一次									
第二次									
第三次									
最大值									

串扰测试值: \_\_\_\_\_ 标准信号奇数通道: \_\_\_\_\_ 标准信号偶数通道: \_\_\_\_\_ 单位 ( $\mu\text{V}$ )

序列	通道号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一次									
第二次									
第三次									
第四次									
平均值									

通道间数据采集差值: \_\_\_\_\_ 单位: ( $\mu\text{V}$ )

序列	通道号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第一次									
第二次									
第三次									
平均值									

校准数据结果整理表:

项目	数据	项目	数据
安全性能检查		测量重复性	_____ $\mu\text{V}$
寄生电势	$\leq$ _____ $\mu\text{V}$	恒温性能	设定点偏差 $\leq$ _____ $^{\circ}\text{C}$ 恒温 $\leq$ _____ $^{\circ}\text{C}/$ _____ min 测量 $\leq$ _____ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
串扰测试值			
通道间数据采集差值	$\leq$ _____ $\mu\text{V}$	测量数据处理结果验证	$\leq$ _____ $\mu\text{V}$
系统比对误差	_____ $^{\circ}\text{C}$	测量结果的不确定度	$U=$ _____ $^{\circ}\text{C}$ , $k=2$
校准结果不确定度验证	_____ 1		

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

## 附录 B

## 热电偶、热电阻自动测量系统校准结果参考格式

## 校准结果

校准项目	数据
安全性能	
扫描开关寄生电势	
串扰测试值	
系统比对误差	
校准结果不确定度验证	
通道间数据采集差值	
测量重复性	
恒温性能	
测量数据处理结果验证	
测量结果的不确定度	

以下空白

## 附录 C

## 标准热电偶自动测量系统测量结果不确定度评定示例

## C.1 被校对象

二等标准铂铑 10-铂热电偶自动测量系统，试样等级：二等，分度点：1084.62℃。

## C.2 测量标准

测量标准：一等标准铂铑 10-铂热电偶。

## C.3 校准方法

将测量标准和试样的测量端置于检定炉中，参考端置于冰点恒温器中，采用比较法进行校准。

## C.4 测量模型

被校试样的热电势值为：

$$E_{\text{被}}(t) = E_{\text{标证}}(t) + \bar{e}_{\text{被}}(t) - \bar{e}_{\text{标}}(t) \quad (\text{C.1})$$

式中： $E_{\text{被}}(t)$ ——被校试样在校准点上的热电动势值，mV；

$E_{\text{标证}}(t)$ ——测量标准证书上给出的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{\text{被}}(t)$ ——分度时，被校试样测得的热电动势值，mV；

$\bar{e}_{\text{标}}(t)$ ——分度时，测量标准测得的热电动势值，mV。

## C.5 合成方差及灵敏度系数

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(E_{\text{标证}}) + c_2^2 u^2(\bar{e}_{\text{被}}) - c_3^2 u^2(\bar{e}_{\text{标}}) \quad (\text{C.2})$$

式中： $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ ——灵敏系数； $c_1=1$ ， $c_2=1$ ， $c_3=-1$ ；

## C.6 标准不确定度分量

不确定度来源：测量标准证书给出的，测量标准漂移，测量仪表，标准和试样测量端温差，扫描开关寄生电势，参考端温差，二次捆扎，测量数据处理，通道间串扰，通道间数据采集差值，被校试样的热电不均匀性，重复性。

C.6.1 测量标准有关的标准不确定度  $u(E_{\text{标证}})$ 

输入量  $E_{\text{标证}}(t)$  的标准不确定度  $u(E_{\text{标证}})$  来源：测量标准证书给出的测量不确定度、稳定性引入的不确定度。

C.6.1.1 测量标准证书给出的不确定度  $u_1(E_{\text{标证}})$

由标准热电偶测量结果的不确定度分析报告可知,在 1084.62℃为 $U(E_{\text{标证}})=0.6^\circ\text{C}$  ( $k=2.85$ )。服从正态分布,其对应的标准不确定度为

$$u_1(E_{\text{标证}})=2.484\mu\text{V}$$

#### C.6.1.2 测量标准漂移引入的标准不确定度 $u_2(E_{\text{标证}})$

测量标准在 1084.62℃年变化不超过 $5\mu\text{V}$ ,半宽度 $a_{\text{标证}}$ 为 $5\mu\text{V}$ ,则,

$$u_2(E_{\text{标证}})=5/3=1.667\mu\text{V}$$

以上输入量各项 $u_1(E_{\text{标证}})$ 、 $u_2(E_{\text{标证}})$ 彼此独立不相关,则

$$u(E_{\text{标证}})=\sqrt{u_1^2(E_{\text{标证}})+u_2^2(E_{\text{标证}})}$$

#### C.6.2 被校试样测得的热电动势值引入的标准不确定度 $u(\bar{e}_{\text{被}})$

##### C.6.2.1 测量仪表测量误差引入的标准不确定度 $u_1(\bar{e}_{\text{被}})$

测量时,测量仪表为 KEI 2010 数字多用表,在使用范围 100mV 档,其年允许基本误差计算公式为 $\pm(0.0037\%\times\text{读数}+0.0009\%\times\text{量程})\text{mV}$ ,按从均匀分布,即

$$u_1(\bar{e}_{\text{被}})=\frac{10.575\text{mV}\times 37\times 10^{-6}+100\text{mV}\times 9\times 10^{-6}}{\sqrt{3}}=0.746\mu\text{V}$$

##### C.6.2.2 标准和试样测量端温差引入的标准不确定度 $u_2(\bar{e}_{\text{被}})$

该标准不确定度是由恒温性能引起的,测量时炉温可控制在 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ ,保持 6 分钟以上。目前自动测量时一般 2min 内完全可以测毕,以炉温单向变化为极端情况,采集数据完毕后炉温变化 $0.2^\circ\text{C}$ ,则标准与最末被检可能有 $0.1^\circ\text{C}$ 的影响,按反正弦分布计算,则,

$$u_2(\bar{e}_{\text{被}})=\frac{11.8\mu\text{V}/^\circ\text{C}\times 0.1^\circ\text{C}}{\sqrt{2}}\approx 0.835\mu\text{V}$$

##### C.6.2.3 测量回路寄生电势引入的标准不确定度 $u_3(\bar{e}_{\text{被}})$

扫描开关最大寄生电动势不大于 $0.4\mu\text{V}$ ,区间半宽度为 $0.2\mu\text{V}$ ,按均匀分布处理,则,

$$u_3(\bar{e}_{\text{被}})=0.2/\sqrt{3}\approx 0.115\mu\text{V}$$

##### C.6.2.4 参考端温度差引入的标准不确定度分量 $u_4(\bar{e}_{\text{被}})$

由经验和试验可知:参考端温度差为 $(0\pm 0.04)^\circ\text{C}$ ,区间半宽度为 $0.04^\circ\text{C}$ ,换

算为电势值为  $0.472\mu\text{V}$ ，按均匀分布处理，则

$$u_4(\bar{e}_{\text{被}}) = 0.472/\sqrt{3} \approx 0.272\mu\text{V}$$

#### C.6.2.5 测量数据处理结果引入的标准不确定度 $u_5(\bar{e}_{\text{被}})$

由数据修约或者软件本身引起的测量数据处理结果，其值不能大于  $0.5\mu\text{V}$ ，区间半宽度为  $0.25\mu\text{V}$ ，服从均匀分布，则

$$u_5(\bar{e}_{\text{被}}) = 0.25/\sqrt{3} \approx 0.144\mu\text{V}$$

#### C.6.2.6 各个通道串扰采集数据引入的标准不确定度 $u_6(\bar{e}_{\text{被}})$

由于标准和被检均属于同种类型 S，所以通道跳步后，采集数据基本无影响。引入的标准不确定度分量可以忽略不计。

#### C.6.2.7 被校试样热电不均匀引入的标准不确定度 $u_7(\bar{e}_{\text{被}})$

考虑到热电偶各处热电特性不同，对被校试样的影响量估计为热电势的  $0.01\%$ ，按均匀分布计算，则：

$$u_7(\bar{e}_{\text{被}}) = 10.575/10000/\sqrt{3} \approx 0.611\mu\text{V}$$

#### C.6.2.8 二次捆扎引入的标准不确定度 $u_8(\bar{e}_{\text{被}})$

测量时应做 2 次重新捆扎复检，其值不大于  $4\mu\text{V}$ 。取平均值作为结果，区间半宽度为  $2\mu\text{V}$ ，服从均匀分布，则

$$u_8(\bar{e}_{\text{被}}) = 2/\sqrt{3} \approx 1.155\mu\text{V}$$

以上各项彼此独立不相关，则

$$u_1(\bar{e}_{\text{被}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_2^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_3^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_4^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_5^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_6^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_7^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u_8^2(\bar{e}_{\text{被}})}$$

### C.6.3 测量标准测得的热电动势值有关的标准不确定度 $u(\bar{e}_{\text{标}})$

#### C.6.3.1 电测仪表测量误差引入的标准不确定度 $u_1(\bar{e}_{\text{标}})$

电测仪表在测量标准器时由于其热电势值与被校 S 偶为同一量级，根据对电测仪表测量结果确定定度的分析，在短时间内环境温度没有明显大变化时，C6.2.1 所述的前项可视为得以抵消，只剩后项 ( $0.0009\% \times \text{量程}$ )。作为与被校的数值不同时非线性在起作用，服从均匀分布，即

$$u_1(\bar{e}_{\text{标}}) = \frac{100\text{mV} \times 9 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.520\mu\text{V}$$

C.6.3.2 炉温变化引入的标准不确定度  $u_2(\bar{e}_{\text{标}})$ 

被校试样炉温变化引入的标准不确定度已经评定，标准不重复计算。

C.6.3.3 测量回路寄生电势引入的标准不确定度  $u_3(\bar{e}_{\text{标}})$ 

测量回路寄生电势对标准器的影响也与被校试样的情况相同，故

$$u_3(\bar{e}_{\text{标}}) = u_3(\bar{e}_{\text{被}}) = 0.115 \mu\text{V}$$

C.6.3.4 参考端温度差引入的标准不确定度  $u_4(\bar{e}_{\text{标}})$ 

参考端对标准器的影响与被校试样的情况相同，故

$$u_4(\bar{e}_{\text{标}}) = u_4(\bar{e}_{\text{被}}) = 0.272 \mu\text{V}$$

C.6.3.5 测量数据处理结果引入的标准不确定度  $u_5(\bar{e}_{\text{标}})$ 

由数据修约或者其他软件本身引起的测量数据处理结果引入的标准不确定度分量同 C.6.2.5，

$$u_5(\bar{e}_{\text{标}}) = u_5(\bar{e}_{\text{被}}) = 0.144 \mu\text{V}$$

C.6.3.6 标准通道串扰采集数据引入的标准不确定度  $u_6(\bar{e}_{\text{标}})$ 

与被校试样分析相同，引入的标准不确定度分量可以忽略不计。

C.6.3.7 整套系统的重复性引入的标准不确定度  $u_7(\bar{e}_{\text{标}})$ 

系统校准重复性只对标准通道及一个被检通道得出代表数据（不大于  $1.5 \mu\text{V}$ ）；还规定一模拟值供并联的各通道采集数据，对通道间偏差做出检验（不大于  $1 \mu\text{V}$ ），因此重复性指标应将通道间偏差指标也计入内（同向叠加），这是考虑到各个通道的重复性都包含在测得结果中，以极差法计算实验标准差，即

$$u_7(\bar{e}_{\text{标}}) = s_{\text{单}} = \frac{1.5+1}{1.69} = 1.479 \mu\text{V}$$

以上各项彼此独立不相关，则

$$u_1(\bar{e}_{\text{标}}) = \sqrt{u_1^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_2^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_3^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_4^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_5^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_6^2(\bar{e}_{\text{标}}) + u_7^2(\bar{e}_{\text{标}})}$$

## C.7 标准不确定度分量汇总

标准不确定度汇总表见下表

表 C.1 标准不确定度分量汇总表

符号	不确定度来源	类别	分布	标准不确定度值 $u(x_i)/\mu\text{V}$	灵敏系数 $c_i$
$u(E_{\text{标证}})$					1
$u_1(E_{\text{标证}})$	测量标准不确定度	B	正态	2.484	
$u_2(E_{\text{标证}})$	测量标准漂移	B	正态	1.667	
$u(\bar{e}_{\text{被}})$					1
$u_1(\bar{e}_{\text{被}})$	测量仪表	B	均匀	0.746	
$u_2(\bar{e}_{\text{被}})$	恒温性能	B	反正弦	0.835	
$u_3(\bar{e}_{\text{被}})$	测量回路寄生电势	B	正态	0.115	
$u_4(\bar{e}_{\text{被}})$	参考端温度差	B	均匀	0.272	
$u_5(\bar{e}_{\text{被}})$	测量数据处理结果	B	均匀	1.144	
$u_6(\bar{e}_{\text{被}})$	通道串扰	B	均匀	0.000	
$u_7(\bar{e}_{\text{被}})$	热电不均匀	B	均匀	0.611	
$u_8(\bar{e}_{\text{被}})$	二次捆扎	B	均匀	1.155	
$u(\bar{e}_{\text{标}})$					-1
$u_1(\bar{e}_{\text{标}})$	测量仪表	B	均匀	0.520	
$u_2(\bar{e}_{\text{标}})$	恒温性能	B	均匀	0.000	
$u_3(\bar{e}_{\text{标}})$	测量回路寄生电势	B	均匀	0.115	
$u_4(\bar{e}_{\text{标}})$	参考端温度差	B	均匀	0.272	
$u_5(\bar{e}_{\text{标}})$	测量数据处理结果	B	均匀	0.144	
$u_6(\bar{e}_{\text{标}})$	通道串扰	B	均匀	0.000	
$u_7(\bar{e}_{\text{标}})$	重复性	A	t	1.479	

### C.8 合成标准不确定度

以上各项输入量标准不确定度分量彼此独立，互不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u^2(E_{\text{标证}}) + u^2(\bar{e}_{\text{被}}) + u^2(\bar{e}_{\text{标}})} \approx 3.98\mu\text{V}$$

### C.9 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 3.98 = 7.96 \mu\text{V}$$

换算成温度为

$$U = 7.96 \mu\text{V} \div 11.80 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \approx 0.67^\circ\text{C}$$

#### C.10 验证

根据检定系统表，二等标准 S 型热电偶的不确定度为  $\delta = 1.0^\circ\text{C}$ ， $k=3$ ，按照本规范校准符合要求的系统使用时测量结果扩展不确定度满足要求，故可作二等标准 S 型热电偶的校准。

## 附录 D

## 工业热电阻系统测量不确定度评定示例

## D.1 被校对象

热电阻自动测量系统，试样等级：A 级，校准温度点 100℃。

## D.2 测量标准

测量标准：二等标准铂电阻温度计

## D.3 校准方法

将测量标准和试样放入恒温槽中，采用比较法校准。

## D.4 测量模型

被校试样的铂电阻测量模型为

$$\Delta t_{100} = \frac{R_h - R_{100}}{(dR/dt)_{t=100}} - \frac{\frac{R_h^*}{R_{tp}^*} - W_{100}^S}{(dW_t^S/dt)_{t=100}} \quad (\text{D.1})$$

式中： $\Delta t_{100}$ ——被校热电阻测得的偏离 100℃ 的差，℃；

$R_h$ ——被校热电阻在约 100℃ 测得的电阻值，Ω；

$R_{100}$ ——被校热电阻在 100℃ 的标称值，Ω；

$(dR/dt)_{t=100}$ ——被校热电阻在 100℃ 时，电阻值对温度的变化率，Ω/℃；

$R_h^*$ ——标准铂电阻温度计在约 100℃ 测得的电阻值，Ω；

$R_{tp}^*$ ——标准铂电阻温度计的水三相点电阻值，Ω；

$W_{100}^S$ ——标准铂电阻温度计在证书上 100℃ 的电阻比。

$(dW_t^S/dt)_{t=100}$ ——标准铂电阻温度计在 100℃ 时，电阻比对温度的变化率，1/℃；

$R_{100}$ 、 $R_{tp}^*$ 、 $(dR/dt)_{t=100}$ 、 $(dW_t^S/dt)_{t=100}$  的不确定度很小，可以忽略不计。

## D.5 合成方差及灵敏度系数

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\Delta t_h) + c_2^2 u^2(\Delta t_h^*) \quad (\text{D.2})$$

式中： $c_1$ 、 $c_2$ ——灵敏系数； $c_1 = 1$ ， $c_2 = 1$ ；

## D.6 标准不确定度

D.6.1 被校试样输入量的标准不确定度  $u(\Delta t_h)$

不确定度来源：测量重复性，插孔之间的温差，电测仪表，测量电流引起的自热，通道串扰，测量数据处理结果。

#### D.6.1.1 测量的重复性 $u_1(\Delta t_h)$

系统校准重复性只对标准通道及一个被检通道得出代表数据（不大于  $12\text{m}\Omega$ ）；还规定一模拟值供并联的各通道采集数据，对通道间偏差做出检验（不大于  $2\text{m}\Omega$ ），因此重复性指标应将通道间偏差指标也计入内（同向叠加），这是考虑到各个通道的重复性都包含在测得结果中，以极差法计算实验标准差，即

$$u_1(\Delta t_h)=0.037/1.69=21.9\text{mK}$$

#### D.6.1.2 标准与被校试样温差引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_h)$

在  $100^\circ\text{C}$  时，油槽插孔之间的温场均匀性不超过  $0.01^\circ\text{C}$ ；检定过程中温度波动不大于  $0.04^\circ\text{C}/10\text{min}$ ，因标准和被检的读数间隔很小，温度波动影响忽略不计，只考虑水平温差的影响。均服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。因此，

$$u_2(\Delta t_h)=0.005/\sqrt{3}=2.9\text{mK}$$

#### D.6.1.3 电测仪表引起入的标准不确定度 $u_3(\Delta t_h)$

$100^\circ\text{C}$  时，电测仪表用到 Keithley2010，在使用范围  $1000\Omega$  档，其年允许基本误差计算公式为  $\pm(0.0050\% \times \text{读数} + 0.0002\% \times \text{量程})$  的不确定度区间半宽为  $138.51\Omega \times 0.005\% + 1000\Omega \times 0.0002\% = 0.00893\Omega$ ，在区间内可认为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。

$$u_3(\Delta t_h)=0.00893/0.37928/\sqrt{3}=13.6\text{mK}$$

#### D.6.1.4 自热引起的标准不确定度 $u_4(\Delta t_h)$

电测仪表供感温元件的测量电流为  $1\text{mA}$ ，根据实际经验感温元件一般有约  $2\text{m}\Omega$  的影响。可作两点分布处理， $k=1$ ，为  $2 \times 10^{-3}\Omega$ ，换算成温度：

$$u_4(\Delta t_h)=0.002/0.37928=5.3\text{mK}$$

#### D.6.1.5 各个通道串扰引入的标准不确定度分量 $u_5(\Delta t_h)$

将标准与被校分别静态和动态的测量各个阻值，对比二者的差异，采集数据基本无影响。引入的标准不确定度分量可以忽略不计。

#### D.6.1.6 测量数据处理结果引入的标准不确定度分量 $u_6(\Delta t_h)$

由数据修约或者其他软件本身引起的测量数据处理结果，其值不能大于  $100\text{u}\Omega$ ，

区间半宽度为  $50\mu\Omega$ ，服从均匀分布，换算成温度：

$$u_6(\Delta t_h) = 0.08\text{mK}$$

#### D.6.1.7 扫描开关寄生电势引入的标准不确定度分量 $u_7(\Delta t_h)$

扫描开关寄生电势引入的不确定度相对很小，可以忽略不计。

由于上述不确定度分量之间相互独立。因此，合成为：

$$u(\Delta t_h) = \sqrt{u_1^2(\Delta t_h) + u_2^2(\Delta t_h) + u_3^2(\Delta t_h) + u_4^2(\Delta t_h) + u_5^2(\Delta t_h) + u_6^2(\Delta t_h) + u_7^2(\Delta t_h)}$$

#### D.6.2 测量标准的标准不确定度 $u(\Delta t_h^*)$

主要有 3 个不确定度来源：测量重复性，电测仪表，测量电流引起的自热。

##### D.6.2.1 标准铂电阻复现性引入的标准不确定度 $u_1(\Delta t_h^*)$

按规程要求，水沸点附近为  $U_{99} = 3.4\text{mK}$ ， $k = 2.58$ 。因此，

$$u_1(\Delta t_h^*) = 1.32\text{mK}$$

##### D.6.2.2 电测仪表引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_h^*)$

100℃时，电测仪表用到 Keithley2010，在使用范围 100Ω 档，其年允许基本误差计算公式为  $\pm (0.0052\% \times \text{读数} + 0.0009\% \times \text{量程})$  的不确定度区间半宽为  $35.20\Omega \times 0.0052\% + 100\Omega \times 0.0009\% = 0.00273\Omega$ ，在区间内可认为均匀分布， $k = \sqrt{3}$ 。则  $u(R_{h3}) = 0.00158\Omega$ ，换算成温度：

$$u_2(\Delta t_h^*) = \frac{0.00158}{25.6567 \times 0.0038682} = 15.92\text{mK}$$

##### D.6.2.3 测量电流引起自热带来的标准不确定度 $u_3(\Delta t_h^*)$

100℃时，由于在较高温度流动介质的恒温槽中，自热影响可以忽略不计。

##### D.6.2.4 $W_{100}^S$ 的标准不确定度 $u_4(\Delta t_h^*)$

由于  $W_{100}^S$  是二等标准铂电阻温度计证书中给出的，为 14mK，按均匀分布估计  $k = \sqrt{3}$ 。则，

$$u_4(\Delta t_h^*) = 8.1\text{mK}$$

##### D.6.2.5 测量数据处理结果引入的标准不确定度分量 $u_5(\Delta t_h^*)$

由数据修约或者其他软件本身引起的测量数据处理结果，其值不能大于  $10\mu\Omega$ ，区间半宽度为  $5\mu\Omega$ ，服从均匀分布，为  $0.003 \times 10^{-3}\Omega$ ，换算成温度：

$$u_5(\Delta t_h^*)=0.03\text{mK}$$

由于上述不确定度分量之间相互独立。因此，合成为：

$$u(\Delta t_h^*) = \sqrt{u_1^2(\Delta t_h^*) + u_2^2(\Delta t_h^*) + u_3^2(\Delta t_h^*) + u_4^2(\Delta t_h^*) + u_5^2(\Delta t_h^*)}$$

#### D.7 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总表见下表

表 D.1 标准不确定度分量汇总表

符号	不确定度来源	类别	分布	标准不确定度值 /mK	灵敏系数 $c_i$
$u(\Delta t_h)$					1
$u_1(\Delta t_h)$	测量重复性	A	t	21.9	
$u_2(\Delta t_h)$	插孔间温差	B	均匀	2.9	
$u_3(\Delta t_h)$	电测仪表	B	均匀	13.6	
$u_4(\Delta t_h)$	自热影响	B	两点	5.3	
$u_5(\Delta t_h)$	通道串扰	B	均匀	0.00	
$u_6(\Delta t_h)$	扫描开关寄生电势	B	均匀	0.00	
$u_7(\Delta t_h)$	测量数据处理结果	B	均匀	0.08	1
$u(\Delta t_h^*)$					
$u_1(\Delta t_h^*)$	标准铂电阻复现性	B	正态	1.32	
$u_2(\Delta t_h^*)$	电测仪表	B	均匀	15.92	
$u_3(\Delta t_h^*)$	自热影响	B	均匀	0.00	
$u_4(\Delta t_h^*)$	标准铂电阻稳定性	B	均匀	8.08	
$u_5(\Delta t_h^*)$	测量数据处理结果	B	均匀	0.03	

#### D.8 合成标准不确定度

以上各项输入量标准不确定度分量彼此独立，互不相关，合成标准不确定度为

$$100^{\circ}\text{C}: u_c(\Delta t_{100}) = \sqrt{u^2(\Delta t_h) + u^2(\Delta t_h^*)} = 32.0 \text{ mK}$$

#### D.7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定为：

$$100^{\circ}\text{C}: U = ku_c(R_{100}') = 64 \text{ mK} = 0.06^{\circ}\text{C}。$$

#### D.9 验证

根据 JJG229-2010，A 级工业铂热电阻在  $100^{\circ}\text{C}$  的允许误差为  $0.32^{\circ}\text{C}$ ，则有  $U < \frac{1}{5} \text{MPE}$ ，按照本规范校准符合要求的系统使用时测量结果扩展不确定度满足要求，故可作工业铂热电阻的检定。

## 附录 E

## 扫描开关寄生电势测量不确定度评定示例

## E.1 被校对象

扫描开关寄生电势，不大于  $0.4\mu\text{V}$ 。

## E.2 测量标准

测量标准：数字多用表，分辨力： $0.01\mu\text{V}$ ，量程  $2\text{mV}$ 。

## E.3 校准条件

温度： $(20\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $\leq 75\%$ 。

## E.4 校准方法

采用规范中的校准方法。

## E.5 测量模型

被校扫描开关寄生电势测量模型为

$$E = \max(E_{i\max}) \quad (\text{E.1})$$

式中： $E$ ——被校扫描开关的寄生电势， $\mu\text{V}$ ；

$E_{i\max}$ ——第  $i$  次测量时扫描开关的寄生电势值最大值， $\mu\text{V}$ ；

## E.6 合成方差及灵敏度系数

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(\max E_i) \quad (\text{E.2})$$

式中： $c_1$ ——灵敏系数； $c_1 = 1$ ；

## E.7 标准不确定度

## E.7.1

E.7.1.1 测量的重复性  $u_1$ 

扫描开关寄生电势测得值，共计 10 次，分别为  $E_1, E_2, \dots, E_{10}$ ，测量值及计算结果见表 E.1，属 A 类不确定度分量，服从正态分布。

表 E.1 测量值及计算结果

单位： $\mu\text{V}$ 

组数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

测量值	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24
$s(E_{\max}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}_i)^2}{n-1}} = 0.007$										

标准不确定度为：

$$u_1 = s(E_{\max}) \div \sqrt{3} = 0.007 / \sqrt{3} = 0.004 \mu\text{V}$$

### E.7.1.2 标准器引入的标准不确定度 $u_2$

标准器为电测仪表 Keithley181，由测量结果的不确定度分析可知，量程为 2mV 时， $U_{\text{标}} = 0.09 \mu\text{V}$  ( $k=2$ )。其对应的标准不确定度为

$$u_2 = U_{\text{标}} / 2 = 0.045 \mu\text{V}$$

### E.7.1.3 标准器分辨力引入的标准不确定度 $u_3$

电测仪表分辨力为  $0.01 \mu\text{V}$ ，服从均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，其标准不确定度为

$$u_3 = 0.01 / \sqrt{3} = 0.006 \mu\text{V}$$

由于上述不确定度分量之间相互独立。因此，合成为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

## E.8 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总表见下表

表 E.2 标准不确定度分量汇总表

符号	不确定度来源	类别	分布	标准不确定度值 / $\mu\text{V}$	灵敏系数 $c_1$
$u_1$	测量重复性	A	正态	0.004	1
$u_2$	标准器	B	正态	0.045	
$u_3$	分辨力	B	均匀	0.006	

## E.9 合成标准不确定度

以上各项输入量标准不确定度分量彼此独立，互不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{0.004^2 + 0.05^2 + 0.006^2} = 0.05 \mu\text{V}$$

#### E.10 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定为：

$$U = ku_c = 0.1 \mu\text{V}。$$

---