JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1098—2025

热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

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

2025-11-05 发布　　2026-11-05 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

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

JJF 1098—2025
代替 JJF 1098—2003

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

中国计量科学研究院

重庆市计量质量检测研究院

参加起草单位：泰安磐然测控科技有限公司

深圳市艾依康仪器仪表科技有限公司

上海量值测控仪器科技有限公司

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：

付志勇（中国测试技术研究院）

韩志鑫（中国测试技术研究院）

汤　磊（中国计量科学研究院）

张　雯（重庆市计量质量检测研究院）

参加起草人：

徐震震（泰安磐然测控科技有限公司）

潘若宇（深圳市艾依康仪器仪表科技有限公司）

陈式跃（上海量值测控仪器科技有限公司）

目　　录

引言 ……（Ⅱ）
1　范围 ……（1）
2　引用文件 ……（1）
3　概述 ……（1）
4　计量特性 ……（2）
4.1　主要计量特性 ……（2）
4.2　绝缘电阻 ……（3）
4.3　测量软件 ……（3）
5　校准条件 ……（3）
5.1　环境条件 ……（3）
5.2　测量标准及其他设备 ……（3）
6　校准项目和校准方法 ……（5）
6.1　校准项目 ……（5）
6.2　校准方法 ……（5）
7　校准结果表达 ……（7）
8　复校时间间隔 ……（8）
附录 A　校准记录参考格式 ……（9）
附录 B　校准证书结果内页参考格式 ……（12）
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 ……（13）
附录 D　工业热电阻测量系统测量结果不确定度评定示例 ……（16）
附录 E　扫描开关寄生电势测量结果不确定度评定示例 ……（21）

引　　言

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》和JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编写的基础性规范。

本规范是对JJF 1098—2003《热电偶、热电阻自动测量系统校准规范》的修订，与JJF 1098—2003相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化如下：

——增加了引用文件；

——调整了范围；

——校准用标准器和试样发生了变化；

——增加了计量特性内容和校准内容；

——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为：

——JJF 1098—2003。

热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

1 范围

本规范适用于标准铂铑10-铂热电偶、工作用热电偶和工业热电阻自动测量系统的校准。对于标准铂铑30-铂铑6热电偶测量系统的校准也可参照执行。

2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJG 75 标准铂铑10-铂热电偶

JJG 141 工作用贵金属热电偶

JJG 229 工业铂、铜热电阻

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1007 温度计量名词术语及定义

JJF 1030 温度校准用恒温槽技术性能测试规范

JJF 1184 热电偶检定炉温度场测试技术规范

JJF 1262 铠装热电偶校准规范

JJF 1637 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 第1部分：通用要求

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 概述

标准铂铑10-铂热电偶、工作用热电偶和工业热电阻自动测量系统（以下简称测量系统）一般由电测仪表、扫描开关、恒温设备、计算机及专用软件等组成，它可以是一体化的，也可以是由若干部件构成的。测量系统在软件控制下，使恒温设备达到稳定状态（部分测量系统恒温设备可以独立控温），实现对热电偶或热电阻温度计进行自动采样、处理数据、显示、打印、保存和查询测量结果。

测量系统按照被测对象类型可以分为热电偶测量系统和热电阻测量系统。热电偶测量系统是指被测对象为标准铂铑10-铂热电偶的测量系统（以下简称标准偶系统），被测对象为工作用铂铑10-铂热电偶(S)的测量系统、工作用铂铑13-铂热电偶(R)的测量系统、工作用铂铑30-铂铑6热电偶(B)的测量系统（以下简称工作用贵金属偶系统），被测对象为廉金属热电偶、铠装热电偶的测量系统（以下简称廉金属偶系统）。热电阻测量系统指被测对象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。

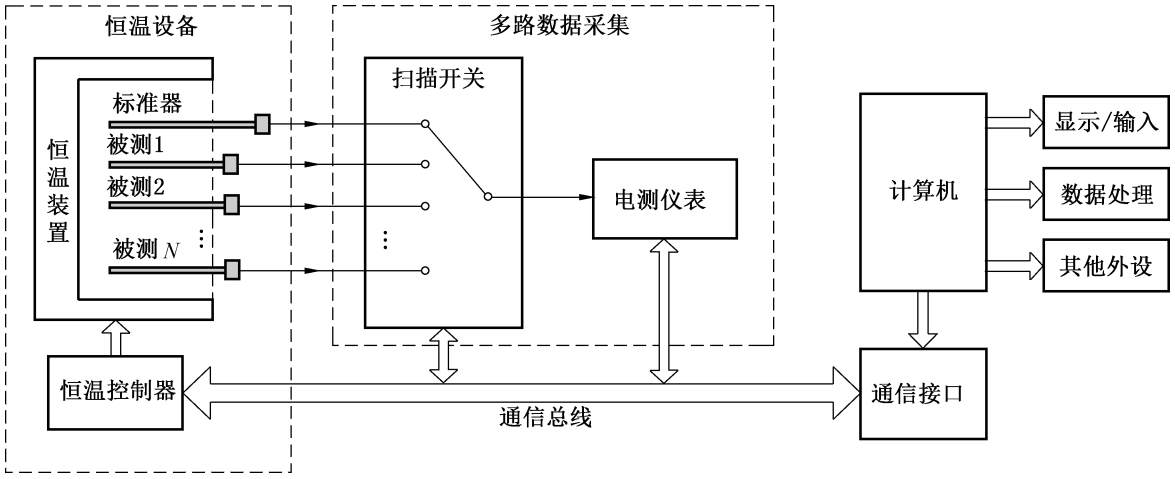


图 1　测量系统的典型结构图

4　计量特性

4.1　主要计量特性

扫描开关寄生电势、通道间数据采集差值、恒温性能、测量重复性、软件计算结果验证、校准结果验证应符合表 1 的规定。

表 1　主要计量特性

名称		标准偶系统	工作用贵金属偶系统	廉金属偶系统	工业阻系统
扫描开关寄生电势		≤0.4 μV		≤0.5 μV	≤1.0 μV
通道间数据采集差值（动态、静态）		≤1.0 μV		≤2.0 μV	≤2.0 μV 或 ≤2.0 mΩ
恒温性能	设定点偏差	不超过±5.0 ℃	不超过±5.0 ℃	300 ℃及以下：不超过±1.0 ℃，300 ℃以上：不超过±5.0 ℃	100 ℃：不超过±2.0 ℃
	恒温波动性	≤0.5 ℃/6 min	≤0.5 ℃/6 min	≤0.6 ℃/10 min	≤0.04 ℃/10 min
	测量前温度变化	≤0.1 ℃/min	≤0.1 ℃/min（S、R），≤0.2 ℃/min（B）	300 ℃及以下：≤0.1 ℃/min，300 ℃以上：≤0.2 ℃/min	——
	测量期间温度变化	≤0.1 ℃/min	≤0.1 ℃/min（S、R），≤0.2 ℃/min（B）	300 ℃及以下：≤0.1 ℃/min，300 ℃以上：≤0.2 ℃/min	≤0.02 ℃/min

表 1（续）

名称		标准偶系统	工作用贵金属偶系统	廉金属偶系统	工业阻系统
恒温性能	测量期间温度差值	——	≤0.5 ℃	300 ℃及以下：≤0.2 ℃ 300 ℃以上：≤0.5 ℃	——
测量重复性 s		≤0.9 μV	≤1.8 μV	≤0.2 ℃	≤7.1 mΩ
软件计算结果验证		≤0.5 μV	≤1.0 μV	≤1.0 μV	A 级及以上：≤0.4 mΩ， B 级及以下：≤2.0 mΩ
校准结果验证		$\lvert y_1-y_2\rvert \leqslant \sqrt{U_1^2+U_2^2}$（$y_1$为测量值，$y_2$为证书值，$U_1$为测量值的不确定度，$U_2$为试样证书值的不确定度）			
注：U_2中应包含试样稳定性引入的不确定度分量。					

4.2　绝缘电阻

测量系统电源端子和输入端对外壳的绝缘电阻应不小于 20 MΩ。

4.3　测量软件

测量系统软件应带有安装程序，有完整的操作使用、维护说明和必要的备份，可以加密。专用测量软件名称、版本号和版权单位等信息应标识清楚。

测量软件具备原始测量数据安全记录保存功能，原始测量记录应有唯一的记录编号以及软件版本号，测量数据的采集计算与测量结果处理及证书报告的出具应符合相关国家计量技术规范要求。软件应能够保证其原始数据不能进行人工修改，并且能够显示、打印、保存和查询其原始记录和证书报告。

测量系统在测量过程中应有当前运行状态明确的标识。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，应保证恒温设备不因失控而被损坏，并且保留故障前已有的测量数据。

5　校准条件

5.1　环境条件

环境温度：（23±5）℃；

相对湿度：≤80%；

其他条件：以不影响对系统的正常校准为限。

5.2　测量标准及其他设备

校准各计量特性的测量标准及其他设备见表 2。

表 2　测量标准及其他设备

序号	测量标准名称	技术要求	用途	备注
1	标准铂铑 10-铂热电偶	一等	标准偶系统的试样	测量标准偶系统须使用 1 支一等标准作为试样，1 支二等标准测量恒温性能。 测量工作用 S 偶系统须使用 1 支二等标准作为试样，另取 1 支二等标准测量恒温性能
		二等	工作用 S 偶系统的试样或用于测量热电偶系统（B 除外）恒温性能	
2	标准铂铑 30-铂铑 6 热电偶	二等	工作用 B 偶测量系统的试样或用于测量 B 偶系统恒温性能	测量工作用 B 偶系统须使用 1 支二等标准作为试样，另取 1 支二等标准测量恒温性能
3	标准铂电阻温度计	二等	用于测量工作阻系统恒温性能	——
4	廉金属热电偶	1 级、铠装、N 型	廉金属偶系统的试样	经近期溯源的
5	铂电阻温度计	四线制、A 级、Pt100 型	工业阻系统的试样	经近期溯源的。试样溯源涵盖的校准点应包含测量系统所能达到的最高温度点
6	电测设备	准确度等级不低于 0.005 级，分辨力不低于 0.01 μV	测量转换开关寄生电势、热电偶系统恒温性能热电动势值、热电偶测量系统通道间数据采集差值	测量转换开关寄生电势建议使用纳伏表
		准确度等级不低于 0.005 级，分辨力不低于 0.1 mΩ	测量工业阻系统恒温性能的电阻值、工业阻系统通道间数据采集差值	——
7	模拟温度信号源	准确度等级不低于 0.01 级，分辨力不低于 0.1 μV	输出电势值	——
		准确度等级不低于 0.01 级，分辨力不低于 1 mΩ	输出电阻值	建议使用标准电阻箱
8	绝缘电阻表	额定电压为 500 V，10 级	测量绝缘电阻	——
9	秒表	最大允许误差：±1 s	用于测量恒温性能	——

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 校准项目列表

校准项目	首次校准	后续校准
绝缘电阻	+	+
软件性能	+	−
扫描开关寄生电势	+	+
通道间数据采集差值（动态、静态）	+	−
恒温性能	+	−
校准结果验证	+	+
测量重复性 s	+	−
软件计算结果验证	+	−
注：设备调整或对测量结果产生影响的软件更新后，需要按照首次校准项目进行校准。		

6.2 校准方法

6.2.1 校准前的准备

6.2.1.1 在测量系统校准前，应确认测量系统配置的标准器、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。

6.2.1.2 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。

6.2.1.3 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有明显标识，数量、长度满足实际工作需求，接插件安全可靠。

6.2.1.4 专用软件功能应满足 4.3 的要求，并进行以下工作：

a）检查专用软件标识，并确认软件是否具有安装程序和备份；

b）确认测量数据采集计算与测量结果处理及证书报告的出具是否符合相关国家计量标准规范；

c）确认原始数据无法进行人工修改；

d）检查专用软件显示、打印、保存和查询原始记录和证书功能是否正常。

6.2.1.5 按操作使用维护说明书的要求对测量系统进行预设置，使其处于正常工作状态。将校准所用的电测设备和模拟温度信号源开启预热。

6.2.2　绝缘电阻

用绝缘电阻表测量系统短接后的电源输入端子、信号输入端子对测量系统外壳的绝缘电阻，其结果应满足 4.2 的要求。

6.2.3　软件性能

a）确认测量软件运行时包括升温、恒温、测量以及结束的软件或者硬件的状态标识；

b）在软件运行时，人为设置故障，使系统死机或中断测量，其结果应满足 4.3 的要求。

6.2.4　扫描开关寄生电势

a）将扫描开关（或扫描开关校准接线台）各输入端分别用直径 1 mm 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设备输入端；

c）20 min 后，对电测设备清零，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 20 s，记录电势值，重复测量 3 次，取各通道 3 次测量结果绝对值的最大值为该通道的寄生电势值。

6.2.5　通道间数据采集差值

6.2.5.1　通道间动态数据采集差值

a）模拟温度信号源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，使用电测设备测量模拟温度信号源信号。

b）将扫描开关（或扫描开关校准接线台）通道（i＝2，3，6，7，10，11，…）各输入端分别用直径 1 mm 单芯铜导线短接；扫描开关（i＝1，4，5，8，9，12，13，…）各输入同名端分别用直径 1 mm 单芯铜导线短接后与模拟温度信号源相连。

c）运行自动测量系统软件测量最高温度点，采样次数为 3 次，计算机依次读取各通道的采样值。短接通道的采样值之间比较，与模拟信号源相连通道采样值之间比较，计算其同次采样时的最大差值，取最大值的绝对值为测量值。

d）再次使用电测设备测量模拟温度信号源信号，测量值与 a）测得数据进行比较，其差值的绝对值应不超过被测传感器最大允许误差的 1/5。

6.2.5.2　通道间静态数据采集差值

a）模拟温度信号源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，使用电测设备测量模拟温度信号源信号；

b）将扫描开关（或扫描开关校准接线台）的输入同名端分别用直径 1 mm 单芯铜导线短接后与信号源相连；

c）读取电测设备各通道的采样值，重复测量 3 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，计算数据采集值的最大值与最小值的差值；

d）再次使用电测设备测量模拟温度信号源信号，测量值与 a）测得数据进行比较，其差值的绝对值应不超过被测传感器最大允许误差的 1/5。

6.2.6　校准结果验证

使用测量系统上配置的标准器作标准，表 2 中的试样作被测对象。依据相应检定规

程或校准规范的要求在各设定点执行。其方法是：

a）将测量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）按测量系统采用相应的检定规程或校准规范进行测量，得出设定点上的测量值；

c）将测量值与试样证书上的已知值进行比较，得到测量系统比对差值，其绝对值不大于$\sqrt{U_1^2+U_2^2}$。

6.2.7　测量重复性 s

测量重复性 s 可参考与 6.2.6 同时进行，使用测量系统上配置的标准器作标准器，表 2 中的试样作被测对象，设定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进行测量；

b）待 300 ℃以上的热电偶测量系统降温 50 ℃左右，300 ℃以下的廉金属偶系统和热电阻测量系统降温 1 ℃左右，重复 a），得到 3 次测量数据；

c）3 次测量结果间的最大差值除以极差系数 $C=1.69$ 得到测量重复性 s。

6.2.8　恒温性能

恒温性能可参考与 6.2.6 或 6.2.7 同时进行，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）热电阻系统将恒温性能用标准器插入恒温槽，并连接电测仪器。热电偶系统可以将恒温性能用标准器与测量标准、试样同时捆扎，从测量端放入恒温设备，将恒温性能用标准器参考端接入零度恒温器后连接电测仪器。

b）待测量系统程序稳定状态标识提示后，数据采集标识提示前，以每分钟至少 6 次的均匀间隔读取恒温性能用标准器示值。以标准偶系统、工业偶系统数据采集前最后 6 min 的数据，廉金属偶系统、工业阻系统数据采集前最后 10 min 的数据，取最大值与最小值的差，为此温度点测量系统的恒温波动性。取数据采集前最后 1 min 的最大值与最小值的差，为测量系统测量前温度变化值。

c）测量系统程序数据采集标识提示后，以每分钟至少 6 次的均匀间隔读取标准器示值，待数据采集程序结束后，取最大值与最小值的差，为测量系统在数据采集时的测量期间温度差值。计算每分钟温度变化率为测量期间温度变化值。

d）取 c）中标准器示值最大值和最小值，计算与设定温度点差值的绝对值，取绝对值的最大值为设定点偏差值。

6.2.9　软件计算结果验证

软件计算结果验证可以参考 6.2.5 模拟信号方式进行，或与 6.2.6 校准结果验证同时进行，在特征点（不少于 2 点，包括上限、下限）进行测量，将软件计算结果与确认的人工计算结果相比较，计算其差值的绝对值作为软件计算结果验证值。

7　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。

8 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，因此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 1 年。

附录 A

校准记录参考格式

A.1　基本信息

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：_____　温度：_____　相对湿度：_____
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
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

A.2　校准数据

A.2.1　绝缘电阻：_____

A.2.2　软件性能：

专用软件具有安装程序和备份。是□　否□

测量数据采集计算与测量结果处理及证书报告的出具符合相关国家计量标准规范。是□　否□

原始数据不能进行人工修改。是□　否□

软件能够显示、打印、保存和查询其原始记录和证书报告。是□　否□

测量系统在测量过程中应有当前运行状态明确的标识。是□　否□

在测量过程中中断时，可以保留故障前已有的测量数据。是□　否□

A.2.3　扫描开关寄生电势

单位：μV

通道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第 1 次									
第 2 次									
第 3 次									
最大值									
不确定度									

A.2.4　通道间动态数据采集差值

标准信号值：首次_____　末次_____　　单位：

通道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第1次									
第2次									
第3次									
差值最大值									

A.2.5　通道间静态数据采集差值

标准信号值：首次_____　末次_____　　单位：

通道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
第1次									
第2次									
第3次									
平均值									
最大差值									

A.2.6　校准结果验证

校准温度点	试样证书值	证书测量结果不确定度	试样测量值	测量值测量结果不确定度	比对差值	是否满足 $\lvert y_1-y_2\rvert\leqslant\sqrt{U_1^2+U_2^2}$

A.2.7　测量重复性 s

校准温度点 ℃	第1次	第2次	第3次	测量重复性 s（$C=1.69$）

A.2.8　恒温性能

单位：

恒温状态												
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测量值												
次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
测量值												
次数	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
测量值												
次数	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
测量值												
次数	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
测量值												
恒温波动性：____ ℃/____ min						测量前温度变化：____ ℃/min						
数据采集状态												
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测量值												
次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
测量值												
次数	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
测量值												
次数	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
测量值												
次数	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
测量值												
测量期间温度差值：____ ℃						测量期间温度变化：____ ℃/min						
设定点偏差：____ ℃												

A.2.9　软件计算结果验证：

温度点	测量值	人工计算值	验证结果

校准员：_____　　核验员：_____　　校准日期：_____年____月____日

附录 B

校准证书结果内页参考格式

校 准 结 果

B.1 绝缘电阻：＞____ MΩ

B.2 软件性能

专用软件具有安装程序和备份。是□ 否□

测量数据采集计算与测量结果处理及证书报告的出具符合相关国家计量标准规范。是□ 否□

原始数据不能进行人工修改。是□ 否□

软件能够显示、打印、保存和查询其原始记录和证书报告。是□ 否□

测量系统在测量过程中应有当前运行状态明确的标识。是□ 否□

在测量过程中中断时，可以保留故障前已有的测量数据。是□ 否□

B.3 扫描开关寄生电势

测量值：_____；测量结果不确定度：_____。

B.4 通道间数据采集差值

通道间动态数据采集差值：_____；通道间静态数据采集差值：_____。

B.5 校准结果验证

校准 温度点	试样 证书值	证书测量结果 不确定度	试样 测量值	测量值测量 结果不确定度	比对差值	是否满足 $\lvert y_1-y_2\rvert \leqslant \sqrt{U_1^2+U_2^2}$

B.6 测量重复性 s

校准温度点 ℃	第 1 次	第 2 次	第 3 次	测量重复性 s（C=1.69）

B.7 恒温性能

恒温波动性	测量前温度变化	测量期间温度差值	测量期间温度变化	设定点偏差
__ ℃/__ min	__ ℃/min	__ ℃	__ ℃/min	__ ℃

B.8 软件计算结果验证

验证结果：_____。

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

标准铂铑 10-铂热电偶自动测量系统，试样等级：二等，校准温度点：1 084.62 ℃。

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

将测量标准和试样捆扎，测量端置于热电偶检定炉中，参考端置于冰点恒温器中，采用双极比较法校准。

C.4　测量模型

被校试样的热电势值为

$$E_{被}(t)=E_{标证}(t)+\Delta e(t) \tag{C.1}$$

式中：

$E_{被}(t)$ ——被校试样在校准点上的热电动势值，mV；

$E_{标证}(t)$——标准器证书上给出的热电动势值，mV；

$\Delta e(t)$ ——在校准温度点，标准器与试样热电偶热电动势测量结果的差值，mV。

不确定度来源：测量标准证书给出的、标准器稳定性、测量重复性、通道间数据采集差值、电测设备误差、转换开关寄生电势、参考端温度差、测量端温差引入、测量数据处理结果、被校试样热电不均匀性引入的标准不确定度。

C.5　标准不确定度分量

C.5.1　测量标准有关的标准不确定度 $u(E_{标证})$

C.5.1.1　测量标准证书给出的不确定度 $u_1(E_{标证})$

由标准热电偶测量结果的不确定度分析报告可知，一等标准铂铑 10-铂热电偶在 1 084.62 ℃为 $U=0.4$ ℃ （$k=2$），其灵敏度为 11.8 μV/℃，即

$$u_1(E_{标证})=0.4\times11.8/2=2.36(\mu V)$$

C.5.1.2　标准器稳定性引入的标准不确定度 $u_2(E_{标证})$

测量标准在 1 084.62 ℃年变化不超过 5 μV，符合正态分布，即

$$u_2(E_{标证})=5/3\approx1.67(\mu V)$$

C.5.2　输入量 $\Delta e(t)$ 的标准不确定度 $u(\Delta e)$

C.5.2.1　测量重复性和通道间数据采集差值引入的标准不确定度 $u_1(\Delta e)$

测量系统校准重复性只对标准通道及一个被校通道得出代表数据（不大于 1.5 μV），还规定一模拟值供并联的各通道采集数据，对通道间偏差做出测量（不大于 1 μV），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

$$u_1(\Delta e)=(1.5+1)/1.69\approx1.48(\mu V)$$

C.5.2.2　电测设备误差引入的标准不确定度 $u_2(\Delta e)$

测量时，使用的电测设备范围在 200 mV 量程的年允许基本误差计算公式为±(0.003 7%×读数+0.000 6%×量程) mV。按照均匀分布，即

$$u_2(\Delta e)=(3.7\times10^{-5}\times10.6+6\times10^{-6}\times200)/\sqrt{3}=1.6/\sqrt{3}\approx0.92\ (\mu V)$$

C.5.2.3　转换开关寄生电势引入的标准不确定度 $u_3(\Delta e)$

扫描开关最大寄生电动势不大于 0.4 μV，按均匀分布处理，即

$$u_3(\Delta e)=0.4\ /\sqrt{3}\approx0.23\ (\mu V)$$

C.5.2.4　参考端温度差引入的标准不确定度 $u_4(\Delta e)$

根据要求，热电偶参考端需要放入冰点恒温器中，其温度差小于 (0±0.05) ℃，区间半宽度为 0.05 ℃，其灵敏度为 5.8 μV/℃，按均匀分布处理，则

$$u_4(\Delta e)=0.05\times5.8/\sqrt{3}\approx0.17\ (\mu V)$$

C.5.2.5　测量端温度差引入的标准不确定度 $u_5(\Delta e)$

热电偶检定炉有 0.4 ℃/cm 温度梯度的均匀温场，测量时炉温控制在 0.1 ℃/min，保持 6 min 以上。目前自动测量时一般 2 min 内完全可以测毕，标准器与被校试样测量端温度最大的差值应小于±0.2 ℃，按反正弦分布计算，S_t=11.8 μV/℃ ，则

$$u_5(\Delta e)=0.2\times11.8/\sqrt{3}\approx1.36(\mu V)$$

C.5.2.6　测量数据处理结果引入的标准不确定度 $u_6(\Delta e)$

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 μV，区间半宽度为 0.25 μV，服从均匀分布，则

$$u_6(\Delta e)=0.25/\sqrt{3}\approx0.14\ (\mu V)$$

C.5.2.7　被校试样热电不均匀性引入的标准不确定度 $u_7(\Delta e)$

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最大为热电势的 0.02%，按均匀分布计算，则

$$u_7(\Delta e)=10\ 575\times0.000\ 2/\sqrt{3}\approx1.22\ (\mu V)$$

C.6　标准不确定度分量汇总

标准不确定度汇总表见表 C.1。

表 C.1　标准不确定度分量汇总表

符号	来源	灵敏系数	分布	标准不确定度分量 μV
$u_1(E_{标证})$	标准器溯源	1	正态	2.36
$u_2(E_{标证})$	稳定性		正态	1.67
$u_1(\Delta e)$	测量重复性	1	t	1.48
$u_2(\Delta e)$	电测设备误差		均匀	0.92
$u_3(\Delta e)$	转换开关寄生电势		均匀	0.23
$u_4(\Delta e)$	参考端温度差		均匀	0.17
$u_5(\Delta e)$	测量端温度差		反正弦	1.36
$u_6(\Delta e)$	测量数据处理结果		均匀	0.14
$u_7(\Delta e)$	被校试样热电不均匀性		均匀	1.22

C.7　合成标准不确定度

由于以上各项输入量标准不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c=\sqrt{u_1^2(E_{标证})+u_2^2(E_{标证})+u_1^2(\Delta e)+u_2^2(\Delta e)+u_3^2(\Delta e)+u_4^2(\Delta e)+u_5^2(\Delta e)+u_6^2(\Delta e)+u_7^2(\Delta e)}$$

$$\approx 3.85\ (\mu V)$$

C.8　扩展不确定度

取包含因子 $k=2$，则扩展不确定度为

$$U=k\cdot u_c=2\times 3.85=7.70\ (\mu V)$$

在铜点换算成温度

$$U=7.70/11.80\approx 0.66\ (℃)$$

附录 D

工业热电阻测量系统测量结果不确定度评定示例

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 ℃、0 ℃。

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

100 ℃时，被校试样的铂电阻测量模型为

$$\Delta t_{100}=\frac{R_{\mathrm{h}}-R_{100}}{(\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)_{t=100}}-\frac{\dfrac{R_{\mathrm{h}}^{*}}{R_{\mathrm{tp}}^{*}}-W_{100}^{S}}{(\mathrm{d}W_{t}^{S}/\mathrm{d}t)_{t=100}}=\Delta t_{\mathrm{h}}-\Delta t_{\mathrm{h}}^{*} \tag{D.1}$$

式中：

Δt_{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；

$(\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)_{t=100}$ ——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；

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

Δt_{h} ——被校热电阻在 100 ℃恒温槽中测得的偏离 100 ℃的差，℃；

$\Delta t_{\mathrm{h}}{}^{*}$ ——标准铂电阻在 100 ℃恒温槽中测得的偏离 100 ℃的差，℃；

R_{100}、R_{tp}^{*}、$(\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)_{t=100}$、$(\mathrm{d}W_{t}^{S}/\mathrm{d}t)_{t=100}$的不确定度很小，可以忽略不计。

0 ℃时，被校试样的铂电阻测量模型为

$$\Delta t_{0}=\frac{R_{\mathrm{i}}-R_{0}}{(\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)_{t=0}}-\frac{\dfrac{R_{\mathrm{i}}^{*}}{R_{\mathrm{tp}}^{*}}-W_{0}^{S}}{(\mathrm{d}W_{t}^{S}/\mathrm{d}t)_{t=0}}=\Delta t_{i}-\Delta t_{i}^{*} \tag{D.2}$$

式中：

Δt_{0} ——被校热电阻测得的偏离 0 ℃的差，℃；

R_{i} ——被校热电阻在约 0 ℃测得的电阻值，Ω；

R_{0} ——被校热电阻在 0 ℃的标称值，Ω；

$(\mathrm{d}R/\mathrm{d}t)_{t=0}$ ——被校热电阻在 0 ℃时，电阻值对温度的变化率，Ω/℃；

R_{i}^{*} ——标准铂电阻温度计在约 0 ℃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_0^S ——标准铂电阻温度计在证书上 0 ℃的电阻比；

$(dW_t^S/dt)_{t=0}$——标准铂电阻温度计在 0 ℃时，电阻比对温度的变化率，1/℃；

Δt_i ——被校热电阻在 0 ℃恒温槽中测得的偏离 0 ℃的差，℃；

Δt_i^{*} ——标准铂电阻在 0 ℃恒温槽中测得的偏离 0 ℃的差，℃。

R_0、R_{tp}^{*}、$(dR/dt)_{t=0}$、$(dW_t^S/dt)_{t=0}$的不确定度很小，可以忽略不计。

D.5 标准不确定度

D.5.1 被校试样输入量的标准不确定度 $u(\Delta t_h)$

以 100 ℃时测量为例，不确定度来源：测量重复性、插孔之间的温差、电测设备、测量电流引起的自热、通道耦合、测量数据处理结果。

D.5.1.1 测量的重复性 $u_1(\Delta t_h)$

测量系统校准重复性只对标准通道及一个被校通道得出代表数据（不大于12 mΩ）；还规定一模拟值供并联的各通道采集数据，对通道间数据采集差值做出测量（不大于 2 mΩ），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

$$u_1(\Delta t_h)=14/0.379\ 28/1.69\approx21.84\ (\mathrm{mK})$$

D.5.1.2 温场均匀性引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_h)$

在 100 ℃时，油槽插孔之间的温场均匀性不超过 0.01 ℃；校准过程中温度波动不大于 0.04 ℃/10 min，因标准和被校试样的读数时间一般小于 5 min，考虑总体影响，标准与被校试样温度差不超过 0.02 ℃。均服从均匀分布，$k=\sqrt{3}$。因此

$$u_2(\Delta t_h)=0.020/\sqrt{3}\approx11.55\ (\mathrm{mK})$$

D.5.1.3 电测设备引入的标准不确定度 $u_3(\Delta t_h)$

100 ℃时，电测设备允许基本误差计算公式为±(0.003 6%×读数+0.000 7%×量程）的不确定度区间半宽为 138.51 Ω×0.003 6%+200 Ω×0.000 7%=0.006 39 Ω，在区间内可认为均匀分布，$k=\sqrt{3}$。

$$u_3(\Delta t_h)=0.006\ 39/0.379\ 28/\sqrt{3}\approx9.73\ (\mathrm{mK})$$

D.5.1.4 自热引入的标准不确定度 $u_4(\Delta t_h)$

电测设备供感温元件的测量电流为 1 mA，根据实际经验感温元件一般有约 2 mΩ 的影响。可按均匀分布处理，$k=\sqrt{3}$，为 2×10^{-3}Ω，换算成温度

$$u_4(\Delta t_h)=0.002/0.379\ 28/\sqrt{3}\approx3.04\ (\mathrm{mK})$$

D.5.1.5 测量数据处理结果引入的标准不确定度 $u_5(\Delta t_h)$

由数据修约或者其软件本身引起的测量数据处理结果，其值不能大于 0.4 mΩ，区间半宽度为 0.2 mΩ，服从均匀分布，换算成温度

$$u_5(\Delta t_h)=0.000\ 2/0.379\ 28/\sqrt{3}\approx0.30\ (\mathrm{mK})$$

D.5.1.6 扫描开关寄生电势引入的标准不确定度分量 $u_6(\Delta t_h)$

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彼此不相关。因此，合成为

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

D.5.2　测量标准的标准不确定度 $u(\Delta t_h^*)$

不确定度来源：标准铂电阻的溯源和电阻比值的周期稳定性、电测设备的测量误差、测量电流引起的自热。

D.5.2.1　标准铂电阻溯源引入的标准不确定度 $u_1(\Delta t_h^*)$

100 ℃时，$U=2.7$ mK，$k=2$，则

$$u_1(\Delta t_h^*)=1.35\ (\mathrm{mK})$$

D.5.2.2　电测设备引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_h^*)$

校准 A 级工业铂电阻时采用的电测设备测量 R_t^* 和 R_{tp}^* 的不确定度评估如下：

因 $W_t^S=\dfrac{R_t^*}{R_{tp}^*}$，直接引用标准铂电阻 R_{tp}^* 证书值，测量结果不具有相关性。对 W_t^S 的全微分

$$\begin{aligned}(\mathrm{d}W_t^S)^2&=\left(\frac{\mathrm{d}R_t^*}{R_{tp}^*}\right)^2+\left(\frac{R_t^*\cdot\mathrm{d}R_{tp}^*}{R_{tp}^{*2}}\right)^2=\left[\frac{1}{R_{tp}^*}(0.003\ 6\%R_t^*+0.001\ 4)\right]^2+\\&\left[\frac{(0.003\ 6\%R_t^*+0.001\ 4)}{R_{tp}^*}\frac{\mathrm{d}R_{tp}^*}{R_{tp}^*}\right]\\&=\left[\frac{1}{25.266\ 5}\ (0.003\ 6\%\times35.186\ 0+0.001\ 4)\right]^2+\\&\left[\frac{0.003\ 6\%\times35.186\ 0+0.001\ 4}{25.266\ 5}\times0.003\ 986\ 354\right]^2\\&=1.113\times10^{-8}\end{aligned}$$

均匀分布，则

$$u_2(\Delta t_h^*)=\frac{\sqrt{1.113\times10^{-8}}}{0.003\ 865\ 9\times\sqrt{3}}=15.76\ (\mathrm{mK})$$

D.5.2.3　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.5.2.4　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 14 mK，按均匀分布估计 $k=\sqrt{3}$，则

$$u_4(\Delta t_h^*)=14/\sqrt{3}\approx8.08\ (\mathrm{mK})$$

由于上述不确定度分量之间彼此不相关，合成为

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

D.6　标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总表见表 D.1。

表 D.1　100 ℃标准不确定度分量汇总表

符号	来源	灵敏系数	分布	标准不确定度分量 mK
$u_1(\Delta t_h)$	测量重复性	1	t	21.84
$u_2(\Delta t_h)$	温场均匀性		均匀	11.55
$u_3(\Delta t_h)$	电测设备		均匀	9.73
$u_4(\Delta t_h)$	自热影响		两点	3.04
$u_5(\Delta t_h)$	测量数据处理结果		均匀	0.30
$u_6(\Delta t_h)$	扫描开关寄生电势		均匀	0.00
$u_1(\Delta t_h^*)$	标准铂电阻溯源	−1	正态	1.35
$u_2(\Delta t_h^*)$	电测设备		均匀	15.76
$u_3(\Delta t_h^*)$	自热影响		均匀	0.00
$u_4(\Delta t_h^*)$	标准铂电阻稳定性		均匀	8.08

同理，0 ℃时标准不确定度分量汇总表见表 D.2。

表 D.2　0 ℃标准不确定度分量汇总表

符号	来源	灵敏系数	分布	标准不确定度分量 mK
$u_1(\Delta t_i)$	测量重复性	1	t	8.88
$u_2(\Delta t_i)$	温场均匀性		均匀	2.89
$u_3(\Delta t_i)$	电测设备		均匀	7.39
$u_4(\Delta t_i)$	自热影响		两点	3.04
$u_5(\Delta t_i)$	测量数据处理结果		均匀	0.30
$u_6(\Delta t_i)$	扫描开关寄生电势		均匀	0.00
$u_1(\Delta t_i^*)$	标准铂电阻溯源	−1	正态	1.00
$u_2(\Delta t_i^*)$	电测设备		均匀	9.56
$u_3(\Delta t_i^*)$	自热影响		均匀	1.15
$u_4(\Delta t_i^*)$	标准铂电阻稳定性		均匀	5.77

D.7　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不相关，合成标准不确定度为

$$100\ ℃：u_c(\Delta t_{100})=\sqrt{u^2(\Delta t_h)+u^2(\Delta t_h^*)}=32.1\ (\mathrm{mK})$$

$$0\ ℃：u_c(\Delta t_0)=\sqrt{u^2(\Delta t_i)+u^2(\Delta t_i^*)}=16.7\ (\mathrm{mK})$$

D.8　扩展不确定度

取包含因子 $k=2$，扩展不确定为：

100 ℃：$U=ku_c(R_{100})=32.1\ \text{mK}\times 2=64.2\ \text{mK}\approx 0.065\ ℃$

0 ℃：$U=ku_c(R_0)=16.7\ \text{mK}\times 2=33.4\ \text{mK}\approx 0.034\ ℃$

附录 E

扫描开关寄生电势测量结果不确定度评定示例

E.1　被校对象

扫描开关寄生电势，不大于 0.4 μV。

E.2　测量标准

数字多用表，量程 2 mV。

E.3　校准条件

温度：(20±2) ℃；

相对湿度：≤80%。

E.4　校准方法

采用本规范中的校准方法。

E.5　不确定度来源

不确定度来源有测量的重复性引入的标准不确定度、标准器引入的标准不确定度、测量导线引入的标准不确定度。

E.6　标准不确定度

E.6.1　测量的重复性引入的标准不确定度 u_1

扫描开关寄生电势测量值，共计 10 次，分别为 E_1，E_2，…，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：μV

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
$s(E_x)=\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(E_i-\overline{E}_i)^2}{n-1}}=0.007$										

标准不确定度为

$$u_1=s(E_x)=0.007\ (\mu V)$$

E.6.2　标准器引入的标准不确定度 u_2

电测设备由测量结果的不确定度分析可知，量程为 2 mV 时，$U_{标}=0.09$ μV ($k=2$)。其对应的标准不确定度为

$$u_2=U_{标}/2=0.045\ (\mu V)$$

E.6.3　测量导线引入的标准不确定度 u_3

根据经验，测量导线电势值最大为 0.05 μV，服从均匀分布，$k=\sqrt{3}$，其标准不确定度为

$$u_3 = 0.05/\sqrt{3} \approx 0.029\ (\mu V)$$

E.7　标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总表见表 E.2。

表 E.2　标准不确定度分量汇总表

符号	来源	分布	标准不确定度分量 μV
u_1	测量重复性	正态	0.007
u_2	标准器	正态	0.045
u_3	测量导线	均匀	0.029

E.8　合成标准不确定度

由于以上各标准不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.054\ \mu V$$

E.9　扩展不确定度

取包含因子 $k=2$，扫描开关寄生电势扩展不确定为：

$$U = k u_c \approx 0.11\ \mu V$$