



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—20XX

精密数字测温仪校准规范

Calibration Specification for the Digital Precision Temperature Measuring
Instrument

(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

精密数字测温仪校准规范

Calibration Specification for the Digital
Precision Temperature Measuring Instrument

JJF XXXX - 20XX

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：

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：

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目与校准方法	(3)
6.1 校准项目	(3)
6.2 校准方法	(4)
6.3 数据结果处理	(7)
7 校准结果表达	(8)
8 复校时间间隔	(8)
附录 A A.1 精密数字测温仪（标准表法）校准原始记录参考格式	(9)
附录 A A.2 精密数字测温仪（标准电阻法）校准原始记录参考格式	(10)
附录 B B.1 精密数字测温仪（标准表法）校准证书内页参考格式	(11)
附录 B B.2 精密数字测温仪（标准电阻法）校准证书内页参考格式	(12)
附录 C 精密数字测温仪温度示值校准结果不确定度评定示例（标准表法）	(13)
附录 D 精密数字测温仪电阻示值校准结果不确定度评定示例（标准电阻法）	(17)
附录 E 标准铂电阻温度计分度表示例 (SPRT25)	(20)
附录 F 标准铂电阻温度计分度表示例 (SPRT100)	(21)
附录 G 测温电桥电阻测量值（标准电阻电阻值）转换标准温度值计算示例	(22)

引言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行编写。

本规范为首次制定。

精密数字测温仪校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围（-196~660）℃配合标准铂电阻温度计使用的精密数字测温仪的校准，其他类似的设备也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：

JJG 160-2007 标准铂电阻温度计

JJF 1309-2011 温度校准仪校准规范

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 概述

精密数字测温仪（以下简称为测温仪）是用于接收标准铂电阻温度计（标称电阻值 R_p 为 25Ω 或 100Ω ）电阻信号，并通过内置电阻-温度公式直接读取温度显示值的测温仪表，常用于物理、化学、生物、医疗等科学研究及工业生产中温度的高精度测量，并作为各标准实验室标定、检验、校准温度计的重要配置。测温仪主要由恒流源模块、测量模块、信号处理模块和数据显示模块构成。测温仪结构示意图见图 1。

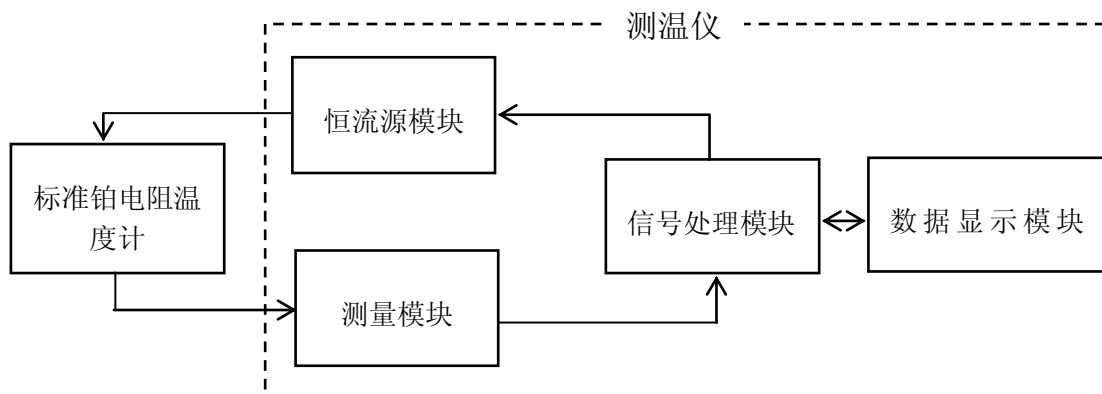


图 1 测温仪结构示意图

4 计量特性

示值误差

测温仪的温度示值或电阻示值与对应输入量的标准值之差。

常用测温仪的技术要求见表 1。

表 1 测温仪技术要求

项目	技术要求
测量范围	$(-196\sim 660)$ °C, $(4\sim 400)$ Ω
分辨力	优于 0.001°C, 0.0001Ω
温度最大允许误差	$\pm (0.001\sim 0.010)$ °C
电阻最大允许误差	$\pm (0.0004\%\sim 0.004\%)$

注：1) 测温仪温度最大允许误差是在 0°C 时配标准铂电阻温度计的技术要求。

2) 以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度： (20 ± 5) °C；

相对湿度：不大于 85%；

电源电压：交流 (220 ± 11) V，电源频率 (50 ± 0.5) Hz。

周围应无强烈振动及电磁场干扰存在。实际工作中，环境条件还应满足测量标准器正常使用的要求。

5.2 测量标准及其他设备

测温仪可采用标准表法或标准电阻法校准。校准时所需的测量标准及其他设备按照校准方法可从表 2，表 3 中参考选择。选用的原则为：校准时由测量标准及其他设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校测温仪最大允许误差绝对值的 1/3。

5.2.1 标准表法测量设备

标准表法测量设备见表 2

表 2 标准表法测量设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备注
1	测温电桥	测量范围： $(0.1\sim 400)$ Ω 相对误差： $\pm (8\times 10^{-7}\sim 8\times 10^{-6})$	测量直流电阻箱输出的电阻值	
2	直流电阻箱	测量范围： $(0.1\sim 400)$ Ω 准确度等级：不低于 0.02 级	模拟标准铂电阻温度计的输出，作	

			为校准测温仪的信号源	
3	标准电阻	标准电阻：25Ω 或 100Ω 准确度等级：一等标准及以上	与测温电桥配套使用	选用设备 当校准温度示值误差小于 2.0mK 的测温仪时，应配备。 恒温装置为恒温油槽或恒温空气槽。
4	标准电阻恒温装置	控温精度：(20±0.1)℃ 温度均匀性≤0.05℃ 温度波动性≤0.05℃/10min	为标准电阻提供恒温环境	
5	四端转换开关	接触电势不大于 0.4μV	校准用转换器	

注：相对误差±8×10⁻⁶换算为温度误差（0℃时配标准铂电阻温度计）为±2.0mK。

5.2.2 标准电阻法测量设备

标准电阻法测量设备见表 3

表 3 标准电阻法测量设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备注
1	标准电阻	1Ω (或 5Ω)、10Ω、25Ω、50Ω、100Ω、200Ω、300Ω (或 400Ω) 年变化不大于 3×10 ⁻⁶	标准电阻值信号输入	可根据需要增加满足被测对象指标要求的定值电阻或定值电阻箱。
2	标准电阻恒温装置	控温精度：(20±0.1)℃ 温度均匀性≤0.05℃ 温度波动性≤0.05℃/10min	为标准电阻提供恒温环境	恒温油槽或恒温空气槽

6 校准项目与校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 4

表 4 测温仪校准项目

方法	校准项目	备注
标准表法	外观及通电检查	1. 选择温度、电阻示值误差其中一项进行校准，标准表法推荐校
	温度示值误差	

	电阻示值误差	准温度示值误差，标准电阻法推荐校准电阻示值误差。 2. 也可根据客户需要选择校准项目。
标准电阻法	外观及通电检查	
	电阻示值误差	
	温度示值误差	

6.2 校准方法

6.2.1 外观及功能性检查

6.2.1.1 外观

a) 首先对测温仪外观进行检查，外形结构应完好，接线端钮、按键无接触不良现象，不应有影响校准结果的缺陷。

b) 被校测温仪产品名称、制造厂家、仪器型号和编号等应有明确标记。

c) 供电电压和频率标志应正确无误。

6.2.1.2 功能性检查

通电检查测温仪测量功能、显示功能应正常、数字显示字符应完整正确。测温仪具有多个测量通道时，应对每个测量通道进行检查，校准时，完成一个通道所有校准点的校准后再进行下一个通道的校准。

6.2.2 校准前准备

a) 校准前测温仪应预热，预热时间按照测温仪使用说明书中的规定确定，一般不少于30min。

b) 测温仪由内部可充电电池提供供电电源时，校准前应做好充电准备，校准过程不应再进行充电。具有修正功能的测温仪在校准过程中不得进行调整。

c) 校准前将标准铂电阻温度计的 ITS-90 相关参数输入测温仪。

d) 设定测量标准与测温仪的工作电流均为 1mA。

e) 测量标准与被校测温仪的接线方法均采用四线制连接。

6.2.3 校准点的选取

测温仪校准点的选取原则上覆盖配标准铂电阻温度计范围的上、下限的温度或电阻校准点，一般不少于 5 个，也可根据客户要求增加或选择校准点。

6.2.4 标准表法示值误差校准

6.2.4.1 校准点

根据 6.2.3 校准点的选取原则，配标称电阻值 R_p 为 25Ω 或 100Ω 的标准铂电阻温度计，一般选择 -196°C 、 0°C 、 660°C 、整百度温度校准点或对应的电阻校准点。

注：标准表法需校准电阻示值误差时，建议按附录 E、F 计算对应电阻校准点。

6.2.4.2 接线示意图

标准表法接线示意图如图2。

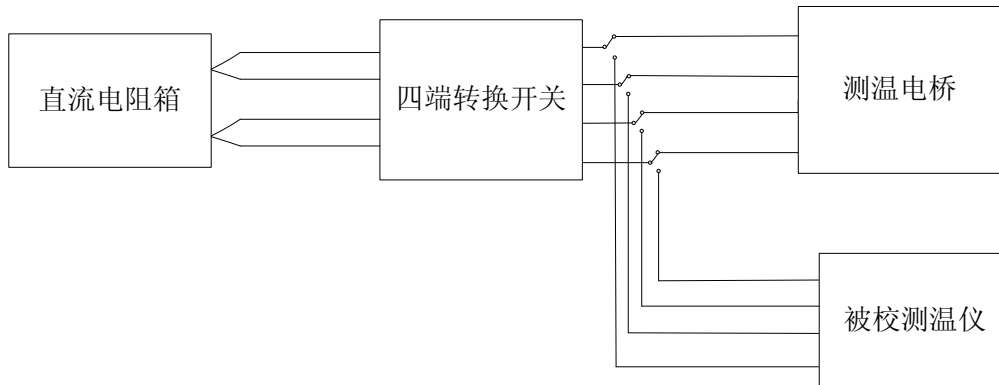


图2 测温仪校准接线示意图（标准表法）

6.2.4.3 温度示值误差

首先按照图2接线，直流电阻箱通过四端转换开关分别连接测温电桥和被校测温仪，当直流电阻箱与测温电桥连接并稳定10min后开始测量。

各校准温度点标称电阻值依据ITS-90及标准铂电阻温度计相应的分度表查出，然后通过直流电阻箱输出下限温度对应的电阻值，当与测温电桥连接时，测温电桥测量直流电阻箱输出的电阻值，具有温度显示功能的测温电桥，输入标准铂电阻温度计的ITS-90相关参数（如： R_p 、 a_7 、 b_7 、 c_7 ）后，直接读取其显示值作为标准温度值；不具有温度显示功能的测温电桥采用计算的方法将测得的电阻值转换为标准温度值（换算方法见附录G）。当直流电阻箱与测温仪连接时，读取测温仪的温度示值。按照标准→被校→被校→标准的顺序分别读取标准值和被校测温仪的示值，进行两个循环的测量，取四次读数的平均值，按公式（1）计算温度示值误差。

$$\Delta t = \bar{t}_d - \bar{t}_s \quad (1)$$

式中： Δt ——各校准点温度示值误差， $^\circ\text{C}$ ；

\bar{t}_d ——测温仪温度示值平均值， $^\circ\text{C}$ ；

\bar{t}_s ——标准温度值平均值， $^\circ\text{C}$ 。

6.2.4.4 电阻示值误差（可选）

接线方式和标称电阻值的查出过程与6.2.4.3条款相同，通过直流电阻箱输出下限电阻值，当与测温电桥连接时，测温电桥测量直流电阻箱输出的电阻值，作为标准电阻值，当与测温仪连接时，读取测温仪的电阻示值。按照标准→被校→被校→标准的顺序分别读取标准电阻值和被校测温仪的示值，进行两个循环的测量，取四次读数的平均值，按公式（2）计算电阻示值误差。

$$\Delta R = \overline{R_d} - \overline{R_s} \quad (2)$$

式中： ΔR ——各校准点电阻值示值误差， Ω ；

$\overline{R_d}$ ——测温仪电阻示值平均值， Ω ；

$\overline{R_s}$ ——标准电阻值平均值， Ω 。

注：1）温度示值校准输入的标准铂电阻温度计 SPRT25（标称电阻值 R_p 为 25Ω ）分度表示例见附录 E；标准铂电阻温度计 SPRT100（标称电阻值 R_p 为 100Ω ）分度表示例见附录 F。

2）温度示值校准中采用计算的方法得到标准温度值的示例见附录 G。

6.2.5 标准电阻法示值误差校准

6.2.5.1 校准点

根据6.2.3校准点的选取原则，配标称电阻值 R_p 为 25Ω 的标准铂电阻温度计时，一般选择 1Ω （或 5Ω ）、 10Ω 、 25Ω 、 50Ω 、 100Ω 或可对应的温度校准点。

配标称电阻值 R_p 为 100Ω 的标准铂电阻温度计时，一般选择 10Ω （或 25Ω ）、 50Ω 、 100Ω 、 200Ω 、 300Ω （或 400Ω ）或可对应的温度校准点。

注：标准电阻法需校准温度示值误差时，建议按附录 E、F 计算对应温度校准点。

6.2.5.2 接线示意图

标准表电阻法接线示意图如图3。

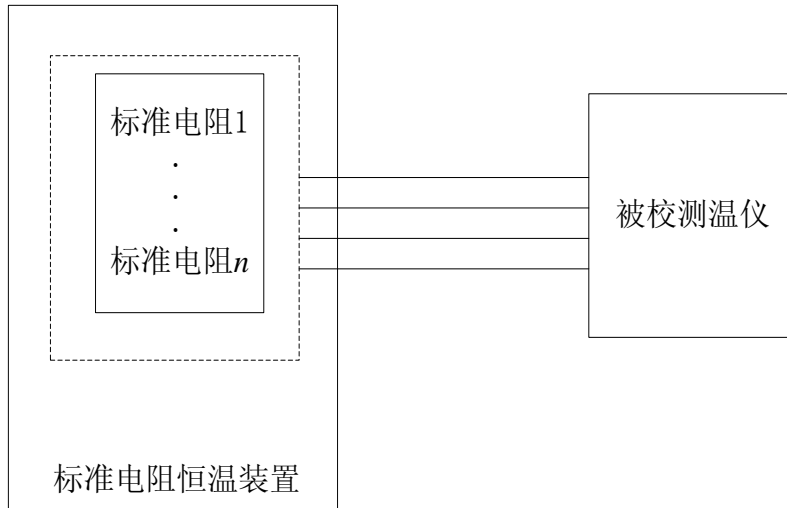


图3 测温仪校准接线示意图（标准电阻法）

6.2.5.3 电阻示值误差

待标准电阻恒温槽达到20℃并稳定至少1小时后，将标准电阻与测温仪按图3连接，待示值稳定10min后，读取四次测温仪电阻示值，取四次读数的平均值，标准电阻的溯源证书值作为标准电阻值，按公式（4）计算电阻示值误差。

$$\Delta R = \overline{R_d} - R_s \quad (4)$$

式中： ΔR ——电阻示值误差， Ω ；

$\overline{R_d}$ ——测温仪电阻示值平均值， Ω ；

R_s ——标准电阻值， Ω 。

6.2.5.4 温度示值误差（可选）

接线方式和标准电阻证书值的查出过程与6.2.5.3条款相同，测温仪示值稳定10min后，读取四次测温仪温度示值，取四次读数的平均值，并根据标准电阻溯源证书值 R_s ，通过计算将标准电阻证书值转换为标准温度值（换算方法见附录G）。按公式（5）计算温度示值误差：

$$\Delta t_R = \overline{t_{Rd}} - t_{Rs} \quad (5)$$

式中： Δt_R ——温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\overline{t_{Rd}}$ ——测温仪温度示值平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{Rs} ——标准温度值， $^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 数据结果处理

校准结果保留位数与仪表分辨力一致，校准结果不确定度保留两位有效数字。

7 校准结果表达

按本规范进行校准，出具校准证书，校准证书应至少包括：

- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- l) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- m) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由测温仪的使用情况、使用者、测温仪本身质量等诸多因素所决定的，因此送校单位根据实际使用情况自行决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A

A.1 精密数字测温仪（标准表法）校准原始记录参考格式

记录编号			证书编号		
委托单位			仪器名称		
制造厂			型号规格		出厂编号
测量设备	名称		编号		测量范围
	证书编号		有效期至		准确度等级/ 最大允许误差/ 不确定度
测量设备	名称		编号		测量范围
	证书编号		有效期至		准确度等级/ 最大允许误差/ 不确定度
校准地点			环境温度	℃	相对湿度
技术依据					
校准项目	<input type="checkbox"/> 温度示值误差 <input type="checkbox"/> 电阻示值误差				
类型	<input type="checkbox"/> SPRT25 <input type="checkbox"/> SPRT100				
校准点 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	次数	标准值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	测温仪示值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	校准结果 不确定度 $k=2$	
	1				
	2				
	3				
	4				
平均值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	/				
示值误差 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	/	/			
校准点 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	次数	标准值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	测温仪示值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	校准结果 不确定度 $k=2$	
	1				
	2				
	3				
	4				
平均值 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	/				
示值误差 <input type="checkbox"/> ℃ <input type="checkbox"/> Ω	/	/			
备注					
校准员			核验员		
校准日期	年	月	日	核验日期	年 月 日

附录 A

A.2 精密数字测温仪（标准电阻法）校准原始记录参考格式

记录编号			证书编号		
委托单位			仪器名称		
制造厂			型号规格	出厂编号	
测量设备	名称		测量范围		
	证书编号		有效期至		准确度等级/ 最大允许误差/ 不确定度
校准地点			环境温度	℃	相对湿度 %
技术依据					
校准项目	<input type="checkbox"/> 电阻示值误差 <input type="checkbox"/> 温度示值误差				
类型	<input type="checkbox"/> SPRT25 <input type="checkbox"/> SPRT100				
校准点 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	次数	标准值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	测温仪示值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	校准结果 不确定度 $k=2$	
	1				
	2				
	3				
	4				
平均值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	/				
示值误差 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	/	/			
校准点 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	次数	标准值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	测温仪示值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	校准结果 不确定度 $k=2$	
	1				
	2				
	3				
	4				
平均值 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	/				
示值误差 <input type="checkbox"/> Ω <input type="checkbox"/> ℃	/	/			
备注					
校准员			核验员		
校准日期	年	月	日	核验日期	年 月 日

附录 B

B.1 精密数字测温仪（标准表法）校准证书内页参考格式

温度示值误差校准结果：

校准点 ℃	标准值平均值 ℃	测温仪示值 平均值 ℃	示值误差 ℃	校准结果不确定 度℃, $k=2$

注：配合标准铂电阻温度计类型为_____。

以下空白

附录 B

B.2 精密数字测温仪（标准电阻法）校准证书内页参考格式

电阻示值误差校准结果：

校准点 Ω	标准值 Ω	测温仪示值 平均值 Ω	示值误差 Ω	校准结果不确定 度 Ω ， $k=2$

注：配合标准铂电阻温度计类型为_____。

以下空白

附录 C

精密数字测温仪温度示值校准结果不确定度评定示例（标准表法）

C.1 被校对象：

以测量范围（-196~660）℃，分辨力为 0.0001℃，最大允许误差：±0.010℃（0℃时），±0.034℃（660℃时）的精密数字测温仪为被校对象。以校准 0℃ 的温度示值误差为例进行校准不确定度的分析。

C.2 测量标准及其他设备：

测温电桥：测量范围：0.1Ω ~ 1kΩ，相对误差：±8×10⁻⁶。

直流电阻箱：测量范围：0.1Ω ~ 10kΩ，准确度等级：0.02 级。

四端转换开关：接触电势不大于 0.4μV。

C.3 测量方法

按照本规范 6.2.4.3 温度示值误差校准方法，首先查出 0℃ 对应的标称电阻值，然后通过直流电阻箱输入对应的电阻值，当与测温电桥连接时，测温电桥测量直流电阻箱输出的电阻值，该测温电桥具有温度显示功能，输入标准铂电阻温度计的 ITS-90 相关参数后直接读取测温电桥显示值作为标准温度值，当直流电阻箱与测温仪连接时，读取测温仪的温度示值。

C.4 测量模型

$$\Delta t = \bar{t}_d - \bar{t}_s \quad (\text{C.1})$$

式中：Δt——各校准点温度示值误差，℃；

\bar{t}_d ——测温仪温度示值平均值，℃；

\bar{t}_s ——标准温度值平均值，℃。

C.5 合成方差与灵敏系数

$$u_c^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(\bar{t}_d) + c_2^2 u^2(\bar{t}_s) \quad (\text{C.2})$$

式中：c₁、c₂——灵敏系数； $c_1 = \frac{\partial \Delta t}{\partial \bar{t}_d} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta t}{\partial \bar{t}_s} = -1$ 。

C.6 标准不确定度分量的评定

不确定度主要来源有：输入量 \bar{t}_d 的标准不确定度 $u(\bar{t}_d)$ 和输入量 \bar{t}_s 的标准不确定度 $u(\bar{t}_s)$ 。

C.6.1 输入量 \bar{t}_d 的标准不确定度 $u(\bar{t}_d)$ 的评定

输入量 \bar{t}_d 的标准不确定度的主要来源：测量重复性 $u(\bar{t}_{d1})$ 和测温仪分辨力 $u(\bar{t}_{d2})$ ，两者取大者。

C.6.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{d1})$

采用 C.3 测量方法在 0℃ 对被校测温仪进行 10 次测量，得到测量结果：

0.011℃, 0.012℃, 0.011℃, 0.011℃, 0.011℃, 0.011℃, 0.010℃, 0.011℃, 0.010℃, 0.011℃。

测量结果的实验标准差为：

$$s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{di} - \bar{t}_d)^2}{10-1}} \quad (\text{C.3})$$

则， $u(\bar{t}_{d1}) = s_1 = 0.00057^\circ\text{C}$ 。

C.6.1.2 被校测温仪分辨力引入的不确定度 $u(\bar{t}_{d2})$

仪表分辨力为 0.0001Ω，则区间半宽度 $a=b/2=0.001/2=0.0005^\circ\text{C}$ ，假设为均匀分布，取包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，得

$$u(\bar{t}_{d2}) = 0.0005/\sqrt{3} \quad (\text{C.4})$$

则， $u(\bar{t}_{d2}) \approx 0.00029^\circ\text{C}$ 。

C.6.2 输入量 \bar{t}_s 的标准不确定度 $u(\bar{t}_s)$ 的评定

输入量 \bar{t}_s 的标准不确定度的主要来源：测温电桥引入的不确定度 $u(\bar{t}_{s1})$ ，四端转换开关引入的不确定度 $u(\bar{t}_{s2})$ ，直流电阻箱的短期稳定性引入的不确定度 $u(\bar{t}_{s3})$ 。

C.6.2.1 测温电桥引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{s1})$

根据测温电桥的技术指标，在 0℃（25Ω）时相对误差为 $\pm 8 \times 10^{-6}$ ，在 0℃ 时由测温电桥的电阻测量误差值转化为温度值，可通过公式 C.5 计算得出：

$$\Delta(t_s) = \frac{R_s \times \delta}{R_p \times (dW/dt)_t} \quad (\text{C.5})$$

式中： $\Delta(t_s)$ 为标准器的测量误差，单位为℃； R_s 、 R_p 分别为标准铂电阻温度计在各校准温度点、水三相点的电阻值，单位为Ω； δ 为测温电桥的相对误差； $(dW/dt)_t$ 为标准铂

电阻温度计的电阻比值在各校准温度点随温度变化率，单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。按均匀分布，则：

$$u(\bar{t}_{s1}) = \frac{8 \times 10^{-6} \times 25}{25.001 \times 0.004 \times \sqrt{3}} \approx 0.00115^{\circ}\text{C}。$$

C.6.2.2 四端转换开关引入的不确定度 $u(\bar{t}_{s2})$

四端转换开关接触电势不大于 $0.4\mu\text{V}$ ，通过的工作电流为 1mA ，按均匀分布考虑，标准不确定度

$$u(\bar{t}_{s2}) = (0.4 \times 10^{-6} \text{V} \times 1 \times 10^{-3} \text{A}) / \sqrt{3} \quad (\text{C.5})$$

则 $u(\bar{t}_{s2}) \approx 2.3 \times 10^{-10} \Omega$ ，由于四端转换开关接触电势引入的不确定度相对其它不确定度分量很小，可以忽略不计。

C.6.2.3 直流电阻箱的短期稳定性引入的不确定度 $u(\bar{t}_{s3})$

校准时，直流电阻箱分别与测量电桥和被校测温仪连接进行实时测量，测量过程中在 0°C 校准点时，直流电阻箱的短期稳定性小于 0.5mK 。按均匀分布，则 $u(\bar{t}_{s3}) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \approx 0.00029^{\circ}\text{C}$ 。

C.7 标准不确定度分量汇总见表 C.1

表 C.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i) / ^{\circ}\text{C}$	分布	灵敏系数 c_i
$u(\bar{t}_d)$	测量重复性	0.00057	正态	1
	仪表分辨力	0.00029	均匀	1
$u(\bar{t}_s)$	测温电桥	0.00115	均匀	-1
	四端转换开关	0.00000	均匀	-1
	直流电阻箱短期稳定性	0.00029	均匀	-1

考虑到测温仪的分辨力对测量结果的重复性测量有影响，为避免重复计算，只取最大的影响分量 $u(\bar{t}_{d1})$ ，而舍弃 $u(\bar{t}_{d2})$ 不确定度分量。

C.8 合成标准不确定度计算

各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

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_i^2} \quad (\text{C.6})$$

则， $u_c = \sqrt{(0.00057)^2 + (0.00115)^2 + (0.00029)^2} \approx 0.0013^{\circ}\text{C}$ 。

C.9 扩展不确定度评定

$$U = k \times u_c \quad (\text{C.7})$$

取包含因子 $k=2$ ，则： $U=0.0026^{\circ}\text{C}$ 。

附录 D

精密数字测温仪测量误差不确定度评定示例（标准电阻法）

D.1 被校对象：

以测量范围（-196~660）℃，分辨力为 0.0001℃，配标准铂电阻温度计使用的精密数字测温仪表为被校对象。以校准 25Ω 的电阻示值误差为例进行标准不确定度的分析。

D.2 测量标准及其他设备：

标准电阻：测量范围：25Ω，年变化不大于 3×10^{-6} 。

标准电阻恒温装置：控温精度：(20±0.1)℃，温度均匀性≤0.05℃，温度波动性≤0.05℃/10min。

D.3 校准方法：

按照本规范 6.2.5.3 电阻示值误差校准方法，开机预热后，将标准电阻接入测温仪测量端，待示值稳定 10min 后，读取被校测温仪的电阻示值。

D.4 测量模型

$$\Delta R = \overline{R_d} - R_s \quad (\text{D.1})$$

式中：ΔR——电阻示值误差；

$\overline{R_d}$ ——测温仪电阻示值平均值；

R_s ——标准电阻溯源证书值。

D.5 合成标准不确定度与灵敏系数

D.5.1 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(\overline{R_d})]^2 + [c_2 u(R_s)]^2} \quad (\text{D.2})$$

D.5.2 灵敏系数

$\overline{R_d}$ 的灵敏系数： $c_1 = \partial \Delta R / \partial \overline{R_d} = 1$ ， R_s 的灵敏系数 $c_2 = \partial \Delta R / \partial R_s = -1$

D.6 标准不确定度分量的评定

不确定度主要来源有：输入量 $\overline{R_d}$ 的标准不确定度 $u(\overline{R_d})$ 和输入量 R_s 的标准不确定度 $u(R_s)$ 。

D.6.1 输入量 $\overline{R_d}$ 的标准不确定度 $u(\overline{R_d})$ 的评定

输入 $\overline{R_d}$ 的不确定度来源主要有两部分：测量重复性和仪表的分辨力，二者取数值大者为 $u(\overline{R_d})$ 。

D.6.1.1 测量重复性的标准不确定度 $u(R_{d1})$

使用分辨力为 0.0001Ω 的数字测温仪表在 25Ω 上进行 10 次测量得到一组数据：

25.0003, 25.0004, 25.0003, 25.0003, 25.0004, 25.0003, 25.0004, 25.0003, 25.0003, 25.0003 (单位： Ω)。

测量结果的实验标准差为：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{di} - \overline{R_d})^2}{n-1}} = 4.83 \times 10^{-5} \Omega \quad (\text{D.3})$$

D.6.1.2 仪表分辨力引入的标准不确定度 $u(R_{d2})$

$u(R_{d2})$ 可以采用 B 类方法评定。由仪表分辨力 b 导致的示值误差区间半宽为 $a=b/2$ ，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此：

$$u(R_{d2}) = a/k \quad (\text{D.4})$$

分辨力为 0.0001Ω 的精密数字测温仪：

$$u(R_{d2}) = 2.89 \times 10^{-5} \Omega \quad (\text{D.5})$$

D.6.2 输入量 R_s 的标准不确定度 $u(R_s)$ 的评定

输入量 R_s 的不确定度主要来自标准电阻溯源引入、标准电阻稳定性引入、油槽温度偏离 20°C 引入的标准不确定度。

D.6.2.1 标准电阻溯源引入标准不确定度：标准电阻溯源至中国计量科学研究院， 20°C 的示值检定结果测量不确定度 $U_{rel} = 1.5 \times 10^{-6}$ ($k=3$)。因此标准不确定度 $u(R_s)$ 采用 B 类方法进行评定，按均匀分布考虑。

根据 25Ω 标准电阻的证书值， 20°C 下溯源实测值 25.00001Ω ，因此溯源引入的标准不确定度为：

$$u(R_{s2}) = 2.17 \times 10^{-5} \Omega \quad (\text{D.6})$$

D.6.2.2 标准电阻稳定性引入的标准不确定度：标准电阻年变化不大于 3×10^{-6} 。按均匀分布考虑，因此标准电阻稳定性引入的最大标准不确定度为：

$$u(R_{s3}) = 4.33 \times 10^{-5} \Omega \quad (\text{D.7})$$

D.6.2.3 标准电阻恒温装置温度偏离 20°C 引入的不确定度：

标准电阻恒温装置控温精度： $(20 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ，温度均匀性 $\leq 0.05^\circ\text{C}$ ，温度波动性 $\leq 0.05^\circ\text{C}/10\text{min}$ 。由于标准电阻温度系数 $\leq 10 \times 10^{-6}$ ，因此油槽温度偏离 20°C 引入的 25Ω 标准电阻的电阻最大变化为： $1.5 \times 10^{-5}\Omega$ 。按均匀分布考虑，半宽 $a=7.5 \times 10^{-6}\Omega$ ，则油槽温度偏离 20°C 引入的不确定度为：

$$u(R_{s1})=4.3 \times 10^{-6}\Omega \quad (\text{D.8})$$

D.7 标准不确定度分量汇总见表 D.1

表 D.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度符号	不确定度的来源	标准不确定度/ ($\times 10^{-5}$) Ω	灵敏系数 c_i	备注
$u(R_d)$	测量重复性	4.83	1	两者取大者
	分辨力	2.89		
$u(R_s)$	标准电阻恒温装置温度偏离 20°C 值	0.43	-1	/
	标准电阻溯源	2.17		
	标准电阻稳定性	4.33		

D.8 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(R_d)]^2 + [c_2 u(R_s)]^2} = 6.85 \times 10^{-5}\Omega \quad (\text{D.9})$$

D.9 扩展不确定度评定

$$U = k \times u_c \quad (\text{D.10})$$

取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U = 1.4 \times 10^{-4}\Omega \quad (\text{D.11})$$

附录 E

标准铂电阻温度计分度表示例 (SPRT25)

$$R_{tp}=25.0010$$

$$a_4=-0.00016982 \quad b_4=0.00002373$$

$$a_7=-0.00021227 \quad b_7=-0.00001244 \quad c_7=0.00000282$$

$t/^\circ\text{C}$	$W(t)$	dw/dt	$R(t)$	dR/dt
-196	0.18717672	0.00432324	4.67961	0.10809
-194	0.19583135	0.00433096	4.89598	0.10828
-193	0.20016383	0.00433391	5.00430	0.10835
-192	0.20449898	0.00433631	5.11268	0.10841
-190	0.21317524	0.00433963	5.32959	0.10850
-150	0.38541285	0.00424917	9.63571	0.10623
-147	0.39814682	0.00424017	9.95407	0.10601
-146	0.40238551	0.00423721	10.06004	0.10593
-145	0.40662125	0.00423428	10.16594	0.10586
-100	0.59461466	0.00412920	14.86596	0.10323
-50	0.79902136	0.00405098	19.97633	0.10128
0	0.99996012	0.00398769	25.00000	0.09970
50	1.19782808	0.00392717	29.94690	0.09818
100	1.39268771	0.00386731	34.81859	0.09669
150	1.58456731	0.00380796	39.61577	0.09520
200	1.77349298	0.00374915	44.33910	0.09373
250	1.95949135	0.00369086	48.98924	0.09228
260	1.99634192	0.00367926	49.91054	0.09199
261	2.00002060	0.00367810	50.00251	0.09196
262	2.00369811	0.00367694	50.09446	0.09193
300	2.14258571	0.00363296	53.56679	0.09083
350	2.32279007	0.00357521	58.07207	0.08938
400	2.50010419	0.00351730	62.50510	0.08794
450	2.67451150	0.00345889	66.86546	0.08648
500	2.84598044	0.00339973	71.15236	0.08500
550	3.01446906	0.00333966	75.36474	0.08349
600	3.17993194	0.00327871	79.50148	0.08197
660	3.37443686	0.00320465	84.36430	0.08012

附录 F

标准铂电阻温度计分度表示例（SPRT100）

 $R_{tp}=100.0040$
 $a_4=-0.00016982 \quad b_4=0.00002373$
 $a_7=-0.00021227 \quad b_7=-0.00001244 \quad c_7=0.00000282$

t/°C	W(t)	dw/dt	R(t)	dR/dt
-196	0.18717672	0.00432324	18.71842	0.43234
-190	0.21317524	0.00433963	21.31838	0.43398
-150	0.38541285	0.00424917	38.54283	0.42493
-122	0.50329326	0.00417439	50.33134	0.41746
-123	0.49911771	0.00417670	49.91377	0.41769
-124	0.49493984	0.00417904	49.49596	0.41792
-100	0.59461466	0.00412920	59.46384	0.41294
-50	0.79902136	0.00405098	79.90533	0.40511
0	0.99996012	0.00398769	100.00001	0.39879
50	1.19782808	0.00392717	119.78760	0.39273
100	1.39268771	0.00386731	139.27434	0.38675
150	1.58456731	0.00380796	158.46307	0.38081
200	1.77349298	0.00374915	177.35639	0.37493
250	1.95949135	0.00369086	195.95697	0.36910
260	1.99634192	0.00367926	199.64218	0.36794
261	2.00002060	0.00367810	200.01006	0.36782
262	2.00369811	0.00367694	200.37783	0.36771
300	2.14258571	0.00363297	214.26714	0.36331
350	2.32279007	0.00357521	232.28830	0.35754
400	2.50010419	0.00351730	250.02042	0.35174
450	2.67451150	0.00345889	267.46185	0.34590
500	2.84598044	0.00339973	284.60943	0.33999
544	2.99440930	0.00334692	299.45291	0.33471
545	2.99775561	0.00334571	299.78755	0.33458
546	3.00110072	0.00334450	300.12208	0.33446
550	3.01446906	0.00333966	301.45896	0.33398
600	3.17993194	0.00327871	318.00591	0.32788
660	3.37443686	0.00320465	337.45718	0.32048

附录 G

测温电桥电阻测量值（标准电阻电阻值）转换标准温度值计算示例

以 0℃ 校准温度点为例，如测温电桥电阻测量值（标准电阻证书值） $\overline{R_s(0)}=25.00052\Omega$ ，从附录 E 的标准铂电阻温度计分度表查出 0℃ 时分度表中 $R(0)$ 为 25.00000Ω ，电阻值对温度的变化率 $(dR/dt)_{t=0}$ 为 $0.09970\Omega/^\circ\text{C}$ ，通过计算公式计算测温电桥（标准电阻）的标准温度值，如式 F. 1：

$$t_s = t + \frac{\overline{R_s(0)} - R(0)}{(dR/dt)_{t=0}} \quad (\text{F. 1})$$

式中： t ——校准温度点， $^\circ\text{C}$ ；

$\overline{R_s(0)}$ ——测温电桥电阻测量平均值（标准电阻证书值）， Ω ；

$R(0)$ ——0℃ 时分度表中标称电阻值， Ω ；

$(dR/dt)_{t=0}$ ——0℃ 时分度表中电阻值对温度的变化率。

计算如式 F. 2：

$$\begin{aligned} t_s &= 0 + \frac{25.00052 - 25.00000}{0.09970} \\ &= 0.0052 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

因此，测温电桥（标准电阻）的标准温度值 $t_s=0.0052^\circ\text{C}$ 。