



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1170—2007

---

## 负温度系数低温电阻温度计校准规范

Calibration Specification for Cryogenic Resistance

Thermometers with Negative Sensitivity

2007-02-28 发布

2007-08-28 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

**负温度系数低温电阻温度计  
校准规范**

**Calibration Specification for Cryogenic Resistance**

**Thermometers with Negative Sensitivity**

---

**JJF 1170—2007  
代替 JJG 857—1994**

本规范经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 2 月 28 日批准，并于 2007 年 8 月 28 日起实施。

**归口单位：全国温度计量技术委员会**

**起草单位：中国科学院理化技术研究所**

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：**

林 鹏（中国科学院理化技术研究所）

**参加起草人：**

张庆庚（中国科学院理化技术研究所）

喻力弘（中国科学院理化技术研究所）

# 目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 温度计的基本信息	(1)
4.2 温度计的稳定性	(2)
4.3 温度计的测量电流和自热效应	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 标准和其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 老化实验	(3)
6.2 外观检查	(3)
6.3 示值校准	(3)
6.4 校准数据处理	(5)
7 校准结果表达	(6)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 测量不确定度评定	(8)
附录 B 校准证书拟合数据页格式(建议)	(13)

## 负温度系数低温电阻温度计校准规范

### 1 范围

本规范适用于测量范围为 1.2K~273.16K 的低温铂电阻温度计、低温氧化物热敏电阻温度计和低温渗碳玻璃电阻温度计。

本规范文本中未指明何种类型的温度计时，以下都简称温度计。

### 2 引用文献

JJG 350—1994 《标准套管铂电阻温度计检定规程》

JJG 858—1994 《标准铱铁电阻温度计检定规程》

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

### 3 概述

负温度系数的低温电阻温度计，包括低温铂电阻温度计、低温氧化物热敏电阻温度计和低温渗碳玻璃电阻温度计等，是根据半导体的电阻随温度变化而变化的特性来测量温度的。这些温度计的特点是电阻随温度呈负指数变化，灵敏度高，使用温区宽窄不一，互换性不好，需单支多点校准。

低温铂电阻温度计、低温渗碳玻璃电阻温度计和低温氧化物热敏电阻温度计，一般都做成四引线，分别是正负电流、正负电压引线，封装在金属壳套管中，为增强传热效果，套管内多充入少量氦气以减小温度计自热效应的影响。

低温氧化物热敏电阻温度计，也有二引线式、玻璃封装的，校准时用四引线法测量电阻。

这些温度计校准数据通常采用切比雪夫多项式做最小二乘法拟合，其电阻—温度关系主要有以下四种：

$$T = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos(i \cos^{-1} x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos[i \cos^{-1}(A \ln R + B)] \quad (1)$$

$$T = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos(i \cos^{-1} x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos\{i \cos^{-1}[A \ln(\ln R) + B]\} \quad (2)$$

$$\ln T = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos(i \cos^{-1} x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos[i \cos^{-1}(A \ln R + B)] \quad (3)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos(i \cos^{-1} x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos[i \cos^{-1}(A \ln R + B)] \quad (4)$$

式中，A、B 是归一化常数，保证对全部校准点  $-1 \leq x \leq +1$ ， $a_i$  是拟合系数。最常用的拟合形式是式 (1)。根据不同情况，有时校准数据的拟合需分段进行。

### 4 计量特性

#### 4.1 温度计的基本信息

被校的温度计包装盒必须标有温度计生产厂商名称、温度计名称、型号和温度计编号，温度计电流、电压引线需区分的型号，应有引线的识别。温度计外壳应有编号，或在引线上加识别编号。

被校温度计应说明使用温区和准确度要求。

温度计封装的环氧树脂或玻璃，不应有开裂现象。

#### 4.2 温度计的稳定性

温度计通常在液氮沸点、液氮沸点或靠近使用温区的高温端测定其稳定性。相邻两个校准间隔在同一温度点的示值差，作为温度计的稳定性。

#### 4.3 温度计的测量电流和自热效应

温度计通常按元件输出电压为(3~6) mV确定测量电流。若对测量电流或测量电压有特殊要求的，应书面说明。

在额定工作条件下，温度计允许最大自热效应为3mK。

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

校准时的环境温度为15℃~28℃，相对湿度为20%~80%。

#### 5.2 标准和其他设备

校准温度计所需的标准器和配套设备见表1。

表1 校准用标准器和配套设备

序号	名称	计量特性	用途
1	低温标准铱铁电阻温度计	温区：1.2K~24.56K 扩展不确定度：3mK， $k=2$	标准器
2	低温标准铂电阻温度计	温区：13.8033K~273.16K 扩展不确定度：5mK， $k=2$	标准器
3	测温电桥	量程：0~100Ω 允许最大相对误差： $3 \times 10^{-6}$	测量标准电阻温度计
4	标准电阻	标称值：1Ω，10Ω 扩展相对不确定度： $U=1.5 \times 10^{-6}$ ， $k=1.73$	与测温电桥配套
5	低温恒温器	温区：1.2K~273.16K 控温波动 $\pm 0.5\text{mK}/20\text{min}$ (20K及以下) 控制波动 $\pm 2.5\text{mK}/20\text{min}$ (20K以上) 比较铜块最大温差小于1mK	校准用恒温装置
6	低温控温仪	温区：1.2K~273.16K 控温波动 $\pm 0.5\text{mK}$ (20K及以下) 控温波动 $\pm 2.5\text{mK}$ (20K以上)	与恒温器配套

表 1 (续)

序号	名称	计量特性	用途
7	精密数字电压表	分辨力: $0.01\mu\text{V}$ 允许最大相对误差: $50 \times 10^{-6}$	测量被校温度计
8	精密可调恒流源	输出范围: $0.01\mu\text{A} \sim 10\text{mA}$ 稳定度: $1 \times 10^{-5}$	提供被校温度计的测量电流
9	标准电阻	标称值: $100\Omega, 1\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$ 允许最大相对误差: $5 \times 10^{-6}$	修正被校温度计的测量电流
10	四刀多点转换开关	寄生热电势 $< 0.4\mu\text{V}$	被校温度计电测配套用

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 老化实验

首次校准的温度计应先做 20 次液氮温度至室温的热循环老化, 提高温度计的稳定性。

对于使用温度下限低于 77K 的温度计, 在液氮温度老化后, 至少再做 5 次液氮温度至室温的热循环老化。

### 6.2 外观检查

目视检查温度计外观。

室温下用数字电压表检查温度计阻值, 温度计阻值应稳定, 不得有短路或断路现象。对于金属外壳的温度计, 感温体不得与外壳短路。

### 6.3 示值校准

#### 6.3.1 温度计的安装

外观检查合格的温度计, 装入低温比较恒温器中。温度计安装时要保证与比较铜块做好热接触, 同时做好引线热锚。

根据被校准温度计的校准温区, 选择低温标准铂电阻温度计和/或低温标准铱铁电阻温度计作为标准器。

#### 6.3.2 校准点的确定

根据被校准温度计的实际使用温区, 参考表 2 所列的校准点间隔, 确定校准点。当被校准温度计的使用温区下限高于 4K 时, 或用户有要求时, 应该在靠近校准温区的下限端适当增加校准点数。

表 2 校准点分布建议表

温 区	校准点间隔
1.2K~1.8K (含)	0.1K
1.8K~2.4K (含)	0.2K

表 2 (续)

温 区	校准点间隔
2.4K~5.0K (含)	0.3K~0.5K
5K~10K (含)	1K
10K~26K (含)	2K
26K~100K (含)	3K~5K
100K~273.16K	10K

### 6.3.3 温度计测量电流的选择

本规范覆盖的这几种被校准温度计，随着温度下降电阻呈指数上升。为了兼顾测量灵敏度和温度计的自热效应，在校准中应根据温度计阻值变化调整测量电流，保持温度计有适当的输出电压。

测量电流不能反向的温度计，测量一次正向测量电流时的电压输出，再测量一次测量电流为零时的电压输出，二者之差 ( $V_+ - V_0$ ) 除以测量电流，就是温度计的电阻值。

测量电流可以反向的温度计，测量一次正向测量电流时的电压输出，再测量一次反向测量电流时的电压输出，二者差值的平均值  $\frac{V_+ - V_-}{2}$ ，除以测量电流，就是温度计的电阻值。

具体温度计的测量电流（测量电压）数值确定方法和测量电流反向与否，以厂家的温度计使用说明书为准。

### 6.3.4 被校温度计电阻值的确定

由于温度计阻值变化可达几个数量级，测量电流要随之调整，恒流源的输出电流对名义值可能会有偏离，为此需要用几只不同阻值的标准电阻来监测、修正测量电流的数值。

针对被校准温度计的阻值，选择同一量级阻值的标准电阻做测量电流的修正。具体方法是确定测量电流  $I$  之后，测量标准电阻  $R_s$  上的电压降  $V_s$ ，再测被校准温度计  $R_x$  上的电压降  $V_x$ ，两次测量的电流换向/反向模式相同。

被校准温度计的阻值：

$$R_x = \frac{V_x}{V_s} R_s \quad (5)$$

### 6.3.5 温度计的校准过程

根据温度计的使用温区和第 6.3.2 条确定的校准点进行校准，按照 6.3.3 条确定温度计的测量电流。

用电桥检测标准电阻温度计指示比较铜块的控温效果，校准点上恒温器比较铜块的温度波动，20K 及其以下控温波动一般控制在  $20\text{min} \pm 0.5\text{mK}$  之内，20K 以上控温波动一般控制在  $20\text{min} \pm 2.5\text{mK}$  之内。



在恒温器比较铜块的温度波动小于允许值后稳定 5min，开始温度计的测量。

若温度计测量未结束，铜块温度波动超出允许值，则需等待温度稳定后再重新开始测量。

被测温度计的测量由精密数字电压表完成，按照如下顺序测量：

被测温度计 1 的正向测量电流，被测温度计 1 的零电流或反向测量电流；

被测温度计 2 的正向测量电流，被测温度计 2 的零电流或反向测量电流；

……

被测温度计  $n$  的正向测量电流，被测温度计  $n$  的零电流或反向测量电流。

测量一遍后，再按顺序重复测一遍，按第 6.3.4 条给出的电阻计算方法取两遍测量结果的平均值为被测温度计在这个温度点的阻值。

标准电阻温度计的示值由电桥给出。标准电阻温度计的温度，按低温标准铈铁电阻温度计或低温标准铂电阻温度计检定规程给出的方法计算。

### 6.3.6 温度计自热效应的测定

通常选择液氮沸点、液氮沸点或被校准温度计使用温区的较高温度段做温度计自热效应的测定。一般在一、二个典型温度点上测量自热效应即可。

温度计自热效应的测定，一般先用第 6.3.3 条选择的测量电流  $I_1$  测量被校准温度计的阻值  $R_1$ ，接着测量电流  $I_2$  取原先的 1.5 倍或 2 倍，再测量被校准温度计的阻值  $R_2$ 。待校准完成之后，依据分度表中的电阻灵敏度，按式 (6) 计算出被校准温度计的自热效应  $S_H$ ：

$$S_H = \frac{R_2 - R_1}{[(I_2/I_1)^2 - 1](dR/dT)} \quad (6)$$

这里的  $dR/dT$  是这支温度计在这个温度点上的电阻灵敏度，从校准数据拟合计算分度表中查出。

通常情况下数据拟合计算时不用做自热效应修正，只在不不确定度评定和证书中说明即可。

## 6.4 校准数据处理

### 6.4.1 校准数据拟合计算

校准完成后，首先整理出全部校准点的温度-电阻数据组，按温度由低到高排列。

选择式(1)~式(4)中的一种形式用最小二乘法做拟合计算，通常情况下选式 (1) 即可。

选式 (1) 拟合时，取校准数据中电阻最大 ( $R_{\max}$ ) 和最小 ( $R_{\min}$ ) 的两个值，按式 (7) 和式 (8) 计算归一化常数  $A$  和  $B$ 。

$$A = \frac{2}{\ln(R_{\max}) - \ln(R_{\min})} \quad (7)$$

$$B = 1 - \frac{2\ln(R_{\max})}{\ln(R_{\max}) - \ln(R_{\min})} \quad (8)$$

可以在整个被校准温度计的使用温区上做数据拟合，当在整个使用温区上拟合偏差较大时，可以将整个使用温区分成二个至三个温区进行拟合。

校准数据拟合的标准偏差按式(9)计算。

$$DT_{\text{std}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (T_{C-i} - T_{E_i})^2 / (m - n - 1)} \quad (9)$$

式中,  $DT_{\text{std}}$ 是校准数据拟合的标准偏差,按温度表示;  $T_{C-i}$ 是校准点数据拟合后得出的温度值;  $T_{E_i}$ 是校准点实测的温度值;  $m$ 是参加拟合的校准点数;  $n$ 是拟合的方次。

拟合方次按以下两条原则确定:第一,在某一个温区做拟合计算时,随着拟合方次的增加,拟合标准偏差明显减小,但拟合方次达到某一方次后,再增加拟合方次,拟合标准偏差不再明显减小了;第二,一般情况下拟合方次不要超过11次方,或者不要超过拟合校准点数的一半。

若以上两条原则不能同时满足,就要考虑重新划分拟合温区,或者分析校准数据的质量,判断是控温测量的问题,还是温度计本身的问题。

当温度计的校准数据分成二个以上温区拟合时,应保证相邻温区有适当的重叠,确保拟合曲线连续一致。

#### 6.4.2 分度表的计算

依据选用的拟合形式和最小二乘法拟合系数,计算出  $R \sim T \sim \frac{dR}{dT}$  分度表。

在温度计使用温区的低温段,分度表中灵敏度变化极快,在以电阻为自变量的分度表中,电阻的步长应随温度、电阻灵敏度的变化而调整。分度表相邻两个点的电阻灵敏度相对变化  $\frac{\Delta(dR/dT)}{dR/dT}$  与分度表相邻两个点温度差值 ( $\Delta T$ ) 的乘积,应控制在测量不确定度的10%之内。

#### 6.4.3 拟合结果的检验

本规范覆盖的这几种温度计在其使用温区的低温段,电阻灵敏度变化特别快,为了检验拟合计算的合理性和可靠性,防止过度拟合,应做电阻灵敏度曲线图  $\frac{dR}{dT} \sim T$  和相对电阻灵敏度曲线图  $\frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \sim T$ 。灵敏度曲线应单调、平滑,否则需考虑调整拟合方次与温区划分。

#### 6.4.4 温度计使用温区与相对应的不确定度

本规范覆盖的这几种温度计,在使用温区内阻值和灵敏度变化大,随着温度上升灵敏度下降明显,相同电测仪表在不同温区同一支温度计的测量不确定度会有较大变化。

因此,需要判定温度计的合理校准温区,并依据分度表的灵敏度分段评定温度计的不确定度。根据实际校准温区、温度计灵敏度与电测仪表的性能指标,依据校准点数据拟合的偏差情况,确定温度计的不确定度。可以划分温区给出各段温区的不确定度评定结果。

## 7 校准结果表达

校准结果在校准证书上反映,校准证书应给出校准实验室和被校准温度计的基本信息,说明本次校准所用测量标准的溯源性及有效性,校准过程中采用的测量电流/测量

电压数值的确定方法和测量电流反向与否，以及校准结果及其测量不确定度的说明。

校准证书应给出校准点数据，给出各温区拟合计算所采用的多项式形式，给出拟合偏差表、拟合系数，各温区相对应的不确定度，分度表一般以  $R \sim T \sim \frac{dR}{dT}$  形式给出。

校准证书应给出自热效应的测定点、测量电流及相应的自热效应数值。

分度表中温度与电阻值的有效位数末位数，根据不确定度评定结果确定。

## 8 复校时间间隔

温度计的复校时间间隔由用户自主决定，建议最长不超过 2 年。

## 附录 A

## 测量不确定度评定

根据 JJF 1170—2007《负温度系数低温电阻温度计校准规范》，负温度系数低温电阻温度计的校准在一系列的温度点上与标准温度计做比较测量，有关的测量不确定度评定如下。

由于负温度系数低温电阻温度计包括了低温锗电阻温度计、低温氧化物热敏电阻温度计和低温渗碳玻璃电阻温度计等几种，具有种类多、规格多、温区宽、灵敏度变化大的特点，需要根据实际校准温区、温度计灵敏度与电测仪表的性能指标，依据校准点数据拟合的偏差情况，确定温度计的不确定度。

由于篇幅的限制，在本附录中仅以低温锗电阻温度计为例，做不确定度的分析和评定。对于其他几种温度计，需根据各自的使用温区和特性，参照锗电阻温度计的不确定度的分析和评定方法执行。

## A.1 实验与数学模型

锗电阻温度计校准采用比较法，在一系列温度点上完成比较测量，这些数据用切比雪夫多项式做最小二乘法拟合，计算出被校准温度计的电阻值—温度分度表。

温度与参与测量的各种因素难以写出直观的表达式，数学模型只能用一个温度与电阻函数关系式表达如下：

$$T = f(R) \quad (A1)$$

这个函数关系式中包含了标准器、电测仪表、比较恒温器温场，以及数据拟合处理等诸多因素的影响。

有关测量不确定度是由最小二乘法拟合标准偏差、标准器、电测仪表、控温等各不确定度分量的和，共有 12 项分量：

$$u^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2 + u_{12}^2 \quad (A2)$$

在本校准的测量不确定度评定中，一部分分量（标准电阻温度计、温场不均匀度等）可以直接按温度计算，另一部分（电测部分）按电压或电阻计算。按电压或电阻计算的这一部分不确定度分量，需除以温度计的灵敏度，才能换算成温度不确定度分量。

## A.2 标准不确定度各分量的评定

## A.2.1 标准不确定度的 A 类评定

在锗电阻温度计的校准中，需在一系列温度点上与标准温度计做比较测量，测量的温度值、电阻值数据，采用最小二乘法拟合计算，求出温度、电阻、电阻灵敏度分度表。根据积累的经验，实验数据拟合计算时一般不超过 11 次方，拟合标准偏差在 0.3mK~2.5mK 之间。标准不确定度的 A 类评定结果  $u_1$ ，取温度计校准数据的拟合标准偏差值。

## A.2.2 标准不确定度的 B 类评定

A.2.2.1 由标准电阻温度计引入的不确定度  $u_2$

根据规范的要求，低温标准铂电阻温度计的测温扩展不确定度为 5mK，低温标准铑铁电阻温度计的测量扩展不确定度为 3mK，相应的标准不确定度  $u_2$  分别为 2.5mK 和 1.5mK（取  $k=2$ ）。

#### A.2.2.2 由标准电阻温度计的电测设备引入的不确定度 $u_3$

采用允许最大误差为  $3 \times 10^{-6}$  电测设备测量标准电阻温度计，对标准铂电阻温度计和低温标准铑铁电阻温度计来讲，几个典型温度时的电阻测量不确定度折算成的温度值见表 A.1（按均匀分布）。

表 A.1 标准电阻温度计的电测设备引入的不确定度

电阻温度计	温 度	电 阻	电测设备引入的不确定度	电测设备引入的标准不确定度 $u_3$
标准铂电阻	20K	0.13 $\Omega$	0.03mK	0.02mK
标准铑铁电阻	20K	5 $\Omega$	0.2mK	0.12mK

#### A.2.2.3 由标准电阻引入的不确定度 $u_4$

采用扩展不确定度为  $1.5 \times 10^{-6}$  标准电阻配合电测设备，来测量标准电阻温度计。对标准铂电阻温度计和低温标准铑铁电阻温度计来讲，几个典型温度时的电阻测量不确定度折算成的温度值见表 A.2（按均匀分布）。

表 A.2 由标准电阻引入的标准电阻温度计的不确定度

电阻温度计	温 度	电 阻	标准电阻引入的不确定度	标准电阻引入的标准不确定度 $u_4$
标准铂电阻	20K	0.13 $\Omega$	0.02mK	0.01mK
标准铑铁电阻	20K	5 $\Omega$	0.1mK	0.06mK

#### A.2.2.4 由铑电阻温度计稳定性引入的不确定度 $u_5$

根据实际测量到的数据，铑电阻温度计的稳定性一般优于 3mK。这样，由温度计稳定性引入的不确定度见表 A.3（按均匀分布）。

表 A.3 由铑电阻温度计稳定性引入的不确定度

项 目	铑电阻温度计的稳定性	由铑电阻温度计稳定性引入的标准不确定度 $u_5$
示 值	3mK	1.7mK

#### A.2.2.5 由铑电阻温度计自热效应引入的不确定度 $u_6$

根据规范的要求，温度计允许最大自热效应为 3mK，相应的由温度计自热效应引入的不确定度见表 A.4（按均匀分布）。

表 A.4 由铑电阻温度计自热效应引入的不确定度

项 目	铑电阻温度计的允许最大自热效应	铑电阻温度计自热效应引入的标准不确定度 $u_6$
示 值	3mK	1.7mK

A.2.2.6 由锗电阻温度计电压测量用精密数字电压表引入的不确定度  $u_7$ 

根据规范的要求，采用允许最大误差为  $50 \times 10^{-6}$  的精密数字电压表测量锗电阻温度计的电压降。由于锗电阻温度计的灵敏度和相对灵敏度变化大，这项由精密数字电压表引入的不确定度折算成的温度值见表 A.5（按均匀分布）。

表 A.5 由精密数字电压表引入的锗电阻温度计的不确定度

锗电阻温度计的相对灵敏度	精密数字电压表引入的不确定度	精密数字电压表引入的标准不确定度 $u_7$
10%/K	0.5mK	0.3mK
5%/K	1mK	0.6mK

A.2.2.7 由锗电阻温度计测量用转换开关引入的不确定度  $u_8$ 

本规范选用寄生电势低于  $0.4 \mu\text{V}$  的转换开关。由于锗电阻温度计的电压灵敏度变化大，这项由转换开关寄生电势引入的不确定度折算成的温度值见表 A.6（按均匀分布）。

表 A.6 由转换开关寄生电势引入的不确定度

锗电阻温度计的电压灵敏度	转换开关寄生电势引入的不确定度	转换开关寄生电势引入的标准不确定度 $u_8$
2mV/K	0.2mK	0.1mK
1mV/K	0.4mK	0.2mK
0.5mV/K	0.8mK	0.5mK

A.2.2.8 由锗电阻温度计用精密恒流源稳定度引入的不确定度  $u_9$ 

根据规范的要求，锗电阻温度计用精密恒流源稳定度应优于  $1 \times 10^{-5}$ ，由此引入的锗电阻温度计的电阻测量不确定度折算成的温度值见表 A.7（按反正弦分布）。

表 A.7 由精密恒流源稳定度引入的锗电阻温度计的不确定度

锗电阻温度计的相对灵敏度	精密恒流源稳定度引入的不确定度	精密恒流源稳定度引入的标准不确定度 $u_9$
10%/K	0.1mK	0.07mK
5%/K	0.2mK	0.14mK
1%/K	1mK	0.7mK

A.2.2.9 由精密恒流源准确度引入的不确定度  $u_{10}$ 

根据规范的要求，锗电阻温度计由精密恒流源提供测量电流，该测量电流的准确度用允许最大误差为  $5 \times 10^{-6}$  的标准电阻修正，由于恒流源输出准确度引入的锗电阻温度计的电阻测量不确定度折算成的温度值见表 A.8（按均匀分布）。

表 A.8 由精密恒流源准确度引入的铂电阻温度计的不确定度

铂电阻温度计的相对灵敏度	精密恒流源准确度引入的不确定度	精密恒流源准确度引入的标准不确定度 $u_{10}$
10%/K	0.05mK	0.03mK
5%/K	0.1mK	0.06mK
1%/K	0.5mK	0.3mK

A.2.2.10 由控温波动引入的不确定度  $u_{11}$ 

根据规范的要求, 20min 最大控温波动为 0.5mK~2.5mK, 相应的由恒温器铜块控温波动引入的不确定度见表 A.9 (按反正弦分布)。

表 A.9 由恒温器铜块控温波动引入的不确定度

项 目	恒温器铜块的最大控温波动	由恒温器铜块控温波动引入的标准不确定度 $u_{11}$
示 值	0.5mK~2.5mK	0.4mK~1.8mK

A.2.2.11 由铜块最大温差引入的不确定度  $u_{12}$ 

规范要求 1mK, 标准不确定度 0.6mK (按均匀分布)。

## A.3 标准不确定度分量明细表

标准不确定度分量明细见表 A.10。

表 A.10 标准不确定度分量明细表

序 号	来 源	分 类	标准不确定度	分 布	$k$ 值
1	拟合标准偏差	A类	0.3mK~2.5mK		
2	标准电阻温度计	B类	1.5mK~2.5mK	正态分布	2
3	标准电阻温度计的电测设备	B类	0.02mK~0.12mK	均匀分布	1.73
4	标准电阻温度计测量用的标准电阻	B类	0.01mK~0.06mK	均匀分布	1.73
5	铂电阻温度计的稳定性	B类	1.7mK	均匀分布	1.73
6	铂电阻温度计的自热效应	B类	1.7mK	均匀分布	1.73
7	精密数字电压表	B类	0.3mK~0.6mK	均匀分布	1.73
8	铂电阻温度计测量用的转换开关	B类	0.1mK~0.5mK	均匀分布	1.73
9	精密恒流源稳定性	B类	0.07mK~0.7mK	反正弦分布	1.41
10	精密恒流源准确度	B类	0.03mK~0.3mK	均匀分布	1.73
11	铜块控温波动	B类	0.4mK~1.8mK	反正弦分布	1.41
12	铜块最大温差	B类	0.6mK	均匀分布	1.73

A.4 合成标准不确定度  $u_c$

根据不确定度的方和根合成计算方法，计算出铂电阻温度计的测量标准不确定度：  
 $u_c = 4.9\text{mK}$ 。

A.5 扩展不确定度  $U$

取包含因子  $k = 2$ ，计算出温度计的扩展不确定度： $U = 9.8\text{mK} \approx 10\text{mK}$ 。



## 附录 B

## 校准证书拟合数据页格式 (建议)

证书编号		第 页 共 页
温度计编号		
校准日期		

本温度计校准数据采用切比雪夫多项式做最小二乘法拟合, 其电阻 - 温度关系如下:

$$T = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos(i \cos^{-1} x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos[i \cos^{-1}(A \ln R + B)]$$

式中,  $A$ 、 $B$  是归一化常数, 保证对全部校准点  $-1 \leq x \leq +1$ ,  $a_i$  是拟合系数。

低温铂电阻温度计校准点数据拟合系数表

拟合温区	K ~ K
测量数据点数	
拟合方次	
归一化常数 $A$ 值	
归一化常数 $B$ 值	
拟合系数 $a_0$	
拟合系数 $a_1$	
拟合系数 $a_2$	
拟合系数 $a_3$	
拟合系数 $a_4$	
拟合系数 $a_5$	
拟合系数 $a_6$	
拟合系数 $a_7$	
拟合系数 $a_8$	
拟合系数 $a_9$	
拟合系数 $a_{10}$	
拟合系数 $a_{11}$	
拟合系数 $a_{12}$	

证书编号		第 页 共 页
温度计编号		
校准日期		

低温铂电阻温度计校准点数据及拟合偏差如下（范例）：

序 号	电阻值/ $\Omega$	温度测量/K	温度计算值/K	偏差/mK
1	15604.500000	1.2403	1.2403	-0.02
2	15588.330000	1.2406	1.2407	0.08
3	12854.410000	1.3205	1.3204	-0.11
4	12845.030000	1.3208	1.3207	-0.10
5	10309.610000	1.4215	1.4217	0.18
6	8216.731000	1.5370	1.5371	0.14
7	6617.314000	1.6605	1.6604	-0.08
8	5353.045000	1.7964	1.7961	-0.31
9	4344.065000	1.9463	1.9463	0.02
10	3460.860000	2.1310	2.1312	0.16
11	2784.675000	2.3318	2.3321	0.33
12	2082.715000	2.6457	2.6454	-0.34
13	1546.097000	3.0322	3.0322	0.01
14	1055.012000	3.6480	3.6477	-0.25
15	780.913000	4.2387	4.2390	0.27
16	780.214100	4.2407	4.2409	0.18
17	631.134200	4.7160	4.7161	0.09
18	419.882500	5.7594	5.7588	-0.63
19	302.811600	6.7089	6.7094	0.55
20	214.783500	7.8169	7.8167	-0.23
21	168.223500	8.6774	8.6774	0.05

残差的平方和 =  $1.356575 \times 10^{-6}$

标准偏差 =  $3.511766 \times 10^{-1}$  mK

最大正偏差 = 0.5464554 mK AT 19

最大负偏差 = -0.6308556 mK AT 18