

# 吉林省地方计量技术规范

JJF (吉) 31—2021

---

## 热工仪表校验仪校准规范

Calibration Specification

for Thermal Instrument Calibrators

2021-09-01 发布

2021-10-01 实施

---

吉林省市场监督管理厅 发布

# 热工仪表校验仪校准规范

Calibration Specification

for Thermal Instrument Calibrators

JJF (吉) 31—2021

替代 JJF (吉) 31—2009

归口单位：吉林省市场监督管理厅

负责起草单位：吉林省计量科学研究院

本规范条文由吉林省计量科学研究院负责解释

**本规范主要起草人：**

孙俊峰 (吉林省计量科学研究院)

王宇航 (吉林省计量科学研究院)

何佳融 (吉林省计量科学研究院)

吕 颖 (吉林省计量科学研究院)

**参加起草人：**

宋 鸽 (吉林省计量科学研究院)

贺会超 (吉林省计量科学研究院)

李 杰 (吉林省计量科学研究院)

# 目 录

引言	.....	(III)
1	范围	1
2	引用文献	1
3	术语的定义	1
3.1	热电偶	1
3.2	热电阻	1
3.3	量程	1
3.4	基本量程	1
3.5	短期稳定度	1
4	概述	1
5	计量特性	2
5.1	外观检查	2
5.2	通电检查	2
5.3	校验仪基本功能量程范围	2
5.4	基本功能各项目的示值误差	2
5.5	输出部分影响计量性能的其它要求	2
5.6	测量功能的重复性	3
6	校准条件	3
6.1	环境条件	3
6.2	校准所用标准器	3

---

6.3	标准器的要求 .....	3
7	校准项目和校准方法 .....	3
7.1	校准项目 .....	3
7.2	校准方法 .....	4
8	校准结果的表达 .....	11
9	复校时间间隔 .....	11
附录 A	校验仪示值误差的测量结果不确定度评定 .....	12
附录 B	校准记录格式 .....	23
附录 C	校准证书内页格式 .....	27
附录 D	热电阻的微分电阻和热电偶的塞贝克系数 .....	31

## 引 言

JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1472-2014《过程仪表校验仪校准规范》、JJF 1309-2011《温度校准仪校准规范》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF(吉)31-2009《热工仪表校验仪校准规范》的修订。

与 JJF (吉) 31-2009 相比, 本规范主要技术变化如下:

- 修改了引用文献, 替换成现行有效的文献, 并增加了与之相关的文献;
- 修改了热工仪表校验仪的范围;
- 术语和定义中增加了短期稳定度;
- 修改了概述部分, 增加了热工仪表校验仪原理框图;
- 修改了校验仪基本功能量程范围;
- 修改了 7.2.2.1.2、7.2.2.2.2、7.2.2.5.2、7.2.2.6.2、7.2.3.1.2、7.2.3.2.2、7.2.3.5.2、7.2.3.6.2 内容;
- 修改了校准结果的表达内容;
- 修改附录 D 内容, 改为热电阻的微分电阻和热电偶的塞贝克系数;
- 删除附录 E 和附录 F。

# 热工仪表校验仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于热工仪表校验仪，具有输出直流电压、直流电流、直流电阻、频率、热电偶模拟信号、热电阻模拟信号功能，以及同时具有测量交直流电压、交直流电流、直流电阻、频率、热电偶信号、热电阻信号功能的过程仪表校验仪的校准。也适用于具有部分以上测量和输出功能的过程仪表校验仪的校准，上述仪表以下简称校验仪。

## 2 引用文献

本规范引用下列文献

JJF 1472—2014 过程仪表校验仪校准规范

JJF 1587—2016 数字多用表校准规范

JJF 1309—2011 温度校准仪校准规范

JJF 1638—2017 多功能标准源校准规范

JJG 603—2018 频率表检定规程

JJG 617—1996 数字温度指示调节仪检定规程

GB/T 13978—2008 数字多用表通用技术条件

GB/T 15637—2012 数字多用表校准仪通用规范

JB/T 8622—1997 工业铂热电阻技术条件及分度表

JB/T 8623—1997 工业铜热电阻技术条件及分度表

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 术语和定义

### 3.1 热电偶

热电偶是用两种不同成分的导体焊接在一起，两端温度不同时，在回路中就会有热电势产生。

### 3.2 热电阻

热电阻是利用导体或半导体的电阻值随温度变化而变化的特性来测量温度的一种感温元件。

### 3.3 量程

满足规定不确定度极限的测量范围。测量范围的最大值和最小值即为量程的上限值或下限值。

### 3.4 基本量程

不确定度最小的量程。

### 3.5 短期稳定度

在规定时间内（一般取 3 分钟）记录数字多用表读数的最大值和最小值之差与校验仪输出值比值的百分比。

## 4 概述

校验仪是以中央控制单元为核心的数字式校准仪表，其原理框图如图 1 所示。

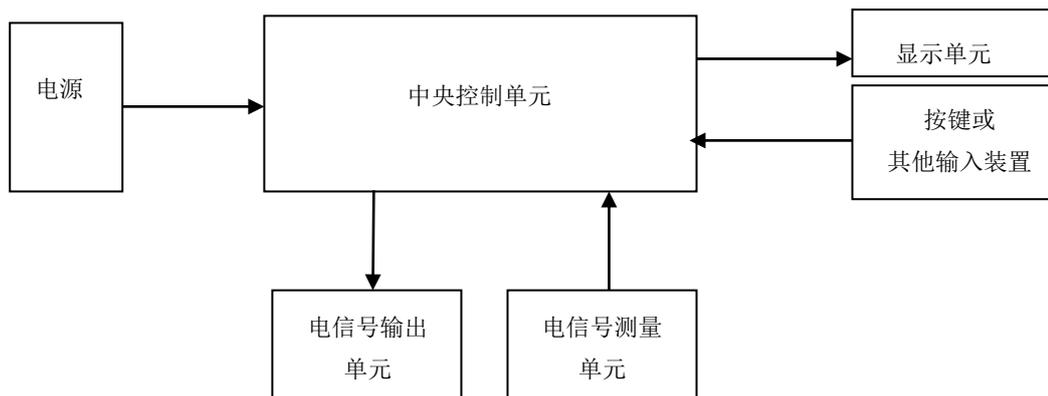


图1 校验仪原理框图

校验仪主要由输出和测量两部分组成。输出部分一般包括直流电压、直流电流、电阻、频率、模拟热电偶和模拟热电阻等输出功能；测量部分一般包括直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻、频率等测量功能，部分还具有配接热电偶(S、R、B、K、N、E、J、T等)或热电阻(Pt100、Pt10、Cu100、Cu50等)测量温度的功能。

## 5 计量特性

### 5.1 外观检查

校验仪应能保证无影响计量性能的缺陷。

### 5.2 通电检查

校验仪应能保证各功能工作正常。

校验仪各项功能各量程的分辨力所带来的误差应小于相应最大允许误差的 1/5。

校验仪各功能输出的调节细度所带来的误差应小于相应最大允许误差的 1/5。

### 5.3 校验仪基本功能量程范围

校验仪基本功能量程范围如表 1 所示。

表 1 应包含的范围

功能	输出范围	测量范围
直流电压	$\pm 100\text{V}$	$\pm 300\text{V}$
直流电流	$\pm 100\text{mA}$	$\pm 100\text{ mA}$
电阻	$(0\sim 10)\text{k}\Omega$	$(0\sim 100)\text{k}\Omega$
频率	$1\text{Hz}\sim 50\text{kHz}$	$1\text{Hz}\sim 500\text{kHz}$
模拟热电偶输出	$(-250\sim 1800)\text{ }^{\circ}\text{C}$	$(-250\sim 1800)\text{ }^{\circ}\text{C}$
模拟热电阻输出	$(-200\sim 850)\text{ }^{\circ}\text{C}$	$(200\sim 850)\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 5.4 基本功能各项目的示值误差

5.4.1 校验仪是多功能多量程仪表，不同的功能准确度差异很大，同一功能中不同量程有不同的准确度要求，其中准确度最高的量程称为基本量程。

5.4.2 校验仪的显示位数应具有 3 位半、4 位半、5 位半或 6 位半，同样的显示位数其最大允许误差会有很大的差异，因此无法统一规定，只能以说明书中规定的准确度指标为参考要求。把实际的测量值作为校准结果。

### 5.5 输出部分影响计量性能的其他要求

校验仪输出部分中由直流电压、直流电流的负载调整率所带来的误差应小于相应功能和量程的最大允许误差的 1/5。

校验仪输出部分中由直流电压、直流电流、电阻的 3 分钟短期稳定度所带来的误差应小于相应功能和量程的最大允许误差的 1/5。

### 5.6 测量功能的重复性

校验仪测量部分中直流电压、直流电流、电阻的重复性应小于相应功能和量程的最大允许误差的 1/5。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 温度： $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  湿度： $(60 \pm 15) \%RH$

交流供电电压： $(220 \pm 22) \text{V}$  电源频率： $(50 \pm 0.5) \text{Hz}$

6.1.2 校准装置（包括被校准仪器）应具有良好的屏蔽保护和接地措施，并远离机械振动和强电磁场，以避免外界干扰和静电感应等影响。

### 6.2 校准所用标准器

#### 6.2.1 数字多用表

#### 6.2.2 多功能校准器

#### 6.2.3 频率计

#### 6.2.4 标准电阻箱、标准电阻

注：除使用上述标准仪器外，也可以选用其它符合校准不确定度要求的标准器。

### 6.3 标准器的要求

整个校准装置的扩展不确定度（ $k=2$ ）应小于校验仪对应各功能和量程最大允许误差的 1/3；整个校准装置各功能和量程的分辨力应小于校验仪对应功能和量程最大允许误差的 1/5；整个校准装置各种标准输出信号的稳定性和调节细度应小于校验仪对应功能和量程最大允许误差的 1/5。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

建议校准项目如表 2 所示。

表 2 仪器的校准项目

序号	校准项目	
1	外观检查、通电检查	
	输出功能	直流电压输出的示值误差
3		直流电流输出的示值误差
4		电阻输出的示值误差
5		频率输出的示值误差
6		模拟热电偶输出的示值误差
7		模拟热电阻输出的示值误差
8		测量功能
9	直流电流测 的示值误差	
10	电阻测量的示值误差	
11	频率测量的示值误差	
12	热电偶测温的示值误差	
13	热电阻测温的示值误差	
14	输出影响	直流电压输出的负载调整率

15	计量性能的各项	直流电流输出的负载调整率
16		直流电压输出短期稳定度
17		直流电流输出短期稳定度
18		电阻输出短期稳定度
19	测量功能的重复性	

## 7.2 校准方法:

### 7.2.1 外观检查和通电检查

#### 7.2.1.1 外观检查

校验仪的外形结构应完好, 标识应清晰, 应标明仪器的名称、型号、规格、测量范围、制造厂名、出厂编号、制造年月等。

#### 7.2.1.2 通电检查

校验仪应按说明书中规定的时间预热, 室内外温差较大时应在恒温实验室中放置 4 小时以上再通电。

校验仪通电后应检查显示能力能否连续变化, 极性、小数点、单位符号等是否工作正常, 显示部分应清晰、无叠字, 不应有不亮、缺笔画等现象, 手持式校验仪检查电池电量是否充足。

检查校验仪各项功能各量程的分辨力应在最小量程进行, 用校准装置给校验仪一个显示值, 同时读出校准装置的示值  $U_1$ , 然后微调使校验仪读数在末位变化一个字, 再读出校准装置的示值  $U_2$ , 两次示值的变化即为校验仪在该量程的分辨力。测得值应小于说明书中的规定值。

检查校验仪各项功能输出应能做到连续可调, 调节范围应能覆盖整个量程。调节细度能保证调到输出值的任一个末位数值。

检查校验仪的各功能和各量程是否工作正常, 自动和手动功能、校零、校准、量程转换、功能转换等是否正常。

### 7.2.2 输出功能的校准方法

#### 7.2.2.1 直流电压输出的示值误差

7.2.2.1.1 按图 2 连接, 将数字多用表置于直流电压功能, 选择相应量程。

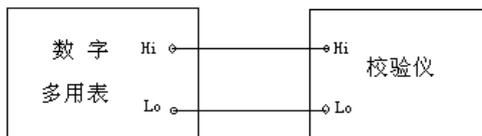


图 2 标准表法

7.2.2.1.2 基本量程选择不少于 5 个校准点, 包括上限值、下限值和量程 50%附近, 应尽可能量程覆盖且均匀分布, 有零位的可以适当增加零点。对于委托者有要求的可按委托者要求选择校准点。

7.2.2.1.3 预热后, 数字多用表校零, 接到校验仪的电压输出端, 调节校验仪的输出到规定值后, 读取数字多用表的读数, 根据式 (1) 计算校验仪的示值误差。

$$\gamma_0 = \frac{X_{x0} - X_{s0}}{X_{s0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $\gamma_0$ —校验仪第  $i$  个校准点输出的相对误差 (%);

$X_{x0}$ —校验仪第  $i$  个校准点的输出读数既显示值 (V, A,  $\Omega$ , Hz);

$X_{s0}$ —数字多用表第  $i$  个校准点的读数既标准值 (V, A,  $\Omega$ , Hz)。

## 7.2.2.2 直流电流输出的示值误差

7.2.2.2.1 按图 2 连接, 将数字多用表置于直流电流功能, 选择相应量程。

7.2.2.2.2 基本量程选择不少于 5 个校准点, 包括上限值、下限值和量程 50%附近, 应尽可能量程覆盖且均匀分布, 有零位的可以适当增加零点。对于委托者有要求的可按委托者要求选择校准点。

7.2.2.2.3 预热后, 数字多用表校零, 接到校验仪的电流输出端, 调节校验仪的输出到规定值后读取数字多用表的读数, 根据式 (1) 计算校验仪示值误差。

## 7.2.2.3 电阻输出的示值误差

7.2.2.3.1 电阻输出分为两线制和四线制, 两线制输出按图 1 连接, 四线制输出按图 3 连接, 将数字多用表置于电阻功能, 选择相应量程。

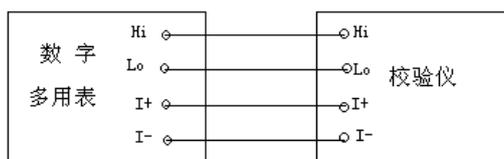


图 3 标准表法四线制电阻接线

7.2.2.3.2 常用量程选择不少于 3 个校准点, 其余量程可以只选取每个量程的满度点, 有零位的可以适当增加零点。也可按用户要求增加校准点。

7.2.2.3.3 预热后, 数字多用表校零, 接到校验仪的电阻输出端, 调节校验仪的输出到规定值后读取数字多用表的读数, 根据式 (1) 计算校验仪示值误差。

## 7.2.2.4 频率输出的示值误差

7.2.2.4.1 按图 2 连接, 将数字多用表 (也可用频率计) 置于频率功能, 选择相应量程, 并接到校验仪的频率输出端。

7.2.2.4.2 常用量程选择不少于 3 个校准点, 其余量程可以只选取每个量程的满度点, 也可按用户要求增加校准点。

7.2.2.4.3 预热后, 调节校验仪的输出到规定值后读取数字多用表的读数, 根据式 (1) 计算校验仪示值误差。

## 7.2.2.5 模拟热电偶输出的示值误差

7.2.2.5.1 按图 2 连接, 将数字多用表置于直流电压功能, 选择 mV 量程, 预热后校零, 接到校验仪的模拟热电偶输出端。

7.2.2.5.2 每个量程选择不少于 5 个校准点, 应尽可能量程覆盖且均匀分布。应根据用户实际情况选择热电偶类型进行校准, 热电偶的类型及温度值与 mV 值的对应关系详见附录 D。

7.2.2.5.3 校准方法采用测量被校准点输出电量值法: 预热后, 从下限开始增大输出信号 (上行程时), 由数字多用表分别测量校验仪模拟热电偶输出各被校准点温度值所对应的电量值, 直至上限; 然后减小输入信号 (下行程时), 由数字多用表分别测量校验仪模拟热电偶输出各被校准点温度值所对应的电量值, 直至下限。取测量中误差最大的点作为校验仪该点的示值误差, 按式 (2) 计算。

$$\Delta t = [X_d - (X_s + e)] / \left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{t_i} \quad (2)$$

其中:  $\Delta t$ —换算成温度值的示值误差 (°C);

$X_d$ —校验仪输出的温度值所对应的电量值 (mV,  $\Omega$ );

$X_s$ —数字多用表测量的电量值 (mV,  $\Omega$ );

$e$ —对具有参考温度自动补偿的仪表,  $e$  表示补偿导线参考温度时的修正值 (mV); 不具有参考端温度自动补偿的仪表  $e$  为 0;

$(\frac{\Delta A}{\Delta t})_{t_i}$ —校准点  $t_i$  的电量值-温度变化率 (mV/ $^{\circ}\text{C}$ ,  $\Omega/^{\circ}\text{C}$ ), 电量值-温度变化率表。

### 7.2.2.6 模拟热电阻输出的示值误差

7.2.2.6.1 按图 2 连接, 将数字多用表置于电阻功能, 选择相应的量程, 预热后校零接到校验仪的模拟热电阻输出端。

7.2.2.6.2 每个量程选择不少于 5 个校准点, 应尽可能覆盖量程且均匀分布。应根据用户实际使用情况选择热电阻类型进行校准。

7.2.2.6.3 校准方法及示值误差的计算方法同 7.2.2.5.3。

### 7.2.3 测量功能的校准方法

#### 7.2.3.1 直流电压测量的示值误差

7.2.3.1.1 按图 4 连接, 将多功能校准器置于直流电压功能, 选择相应量程, 并接到校验仪的电压输入端。

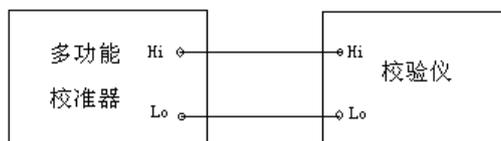


图 4 多功能校准器法

7.2.3.1.2 基本量程选择不少于 5 个校准点, 包括上限值、下限值和量程 50%附近, 应尽可能量程覆盖且均匀分布, 有零位的可以适当增加零点。对于委托者有要求的可按委托者要求选择校准点。

7.2.3.1.3 预热后, 首先多功能校准器输出零后校验仪校零, 然后使多功能校准器输出在校准点上, 分别读取多功能校准器和校验仪的读数, 根据式 (3) 计算示值误差。

$$\gamma_i = \frac{X_{xi} - X_{si}}{X_{si}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $\gamma_i$ —校验仪第  $i$  个校准点测量的相对误差 (%);

$X_{xi}$ —校验仪第  $i$  个校准点的读数既显示值 (V, A,  $\Omega$ , Hz);

$X_{si}$ —多功能校准器第  $i$  个校准点的读数既标准值 (V, A,  $\Omega$ , Hz)。

#### 7.2.3.2 直流电流测量的示值误差

7.2.3.2.1 按图 4 连接, 将多功能校准器置于直流电流功能, 选择相应量程, 并接到被校准仪表的电流输入端。

7.2.3.2.2 基本量程选择不少于 5 个校准点, 包括上限值、下限值和量程 50%附近, 应尽可能量程覆盖且均匀分布, 有零位的可以适当增加零点。对于委托者有要求的可按委托者要求选择校准点。

7.2.3.2.3 预热后, 首先多功能校准器输出零后校验仪校零, 然后使多功能校准器输出在校准点上, 分别读取多功能校准器和校验仪的读数, 根据式 (3) 计算示值误差。

#### 7.2.3.3 电阻测量的示值误差

7.2.3.3.1 电阻测量分为两线制和四线制, 两线制输出按图 4 连接, 四线制输出按图 5 连接,

将多功能校准器（或标准电阻箱）置于电阻功能，选择相应量程，并接到校验仪电阻输入端。

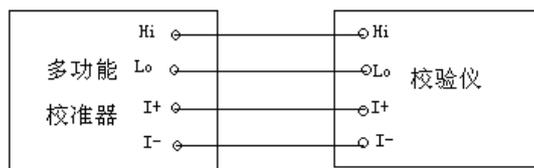


图5 多功能标准器法四线制电阻接线

7.2.3.3.2 基本量程选择不少于3个校准点，应尽可能量程覆盖且均匀分布，其余量程只选取每个量程的上限值作为校准点。也可按用户要求增加校准点。

7.2.3.3.3 预热后，首先多功能校准器（或标准电阻箱）输出零后校验仪校零，然后使多功能校准器（或标准电阻箱）输出显示在校准点上，分别读取多功能校准器（或标准电阻箱）和校验仪的读数，根据式（3）计算示值误差。

7.2.3.4 频率测量的示值误差

7.2.3.4.1 按图4连接，将多功能校准器置于频率功能，幅值在（1~2）V有效值之间的正弦波形或方波，选择相应量程，并接到校验仪的频率输入端。

7.2.3.4.2 基本量程选择不少于3个校准点，应尽可能量程覆盖且均匀分布，其余量程只选取每个量程的上限值作为校准点。也可按用户要求增加校准点。

7.2.3.4.3 使多功能校准器输出显示在校准点上，分别读取多功能校准器和校验仪的读数，根据式（3）计算示值误差。

7.2.3.5 热电偶测温的示值误差

7.2.3.5.1 按图4连接，将多功能校准器置于直流电压功能，选择相应的mV量程，并连接到校验仪的热电偶测温端。预热后，首先多功能校准器输出零后校验仪校零，然后设定多功能校准器输出值，读取校验仪的读数。

7.2.3.5.2 每个量程选择不少于5个校准点，应尽可能量程覆盖且均匀分布。应根据用户实际使用情况选择热电偶类型进行校准，热电偶的类型及温度值与mV值的对应关系详见附录D。

7.2.3.5.3 校准方法1：寻找转换点法（示值基准法）。从下限开始增大输入信号（上行程时），找出各被校准点附近转换点的值，直至上限；然后减少输入信号（下行程时），找出各被校准点的值，直至下限。

转换点的寻找方法：如图6所示，上行程时，增大输入信号，当指示值接近被校准点时应缓慢改变输入量，依次找到 $A_1$ ， $A_2$ ；下行程时，减少输入信号，当指示值接近被校准点时应缓慢改变输入量，依次找到 $A_1'$ ， $A_2'$ 。

$A_1$ 为上行程时，指示值刚能稳定在被校准点温度值的输入信号值； $A_1'$ 为下行程时，指示值刚能稳定在被校准点温度值的输入信号值； $A_2$ 为上行程时，离开被校准点，转换到下一值时（包括两值间的波动）的输入信号值； $A_2'$ 为下行程时，离开被校准点，转换到下一值时（包括两值间的波动）的输入信号值。

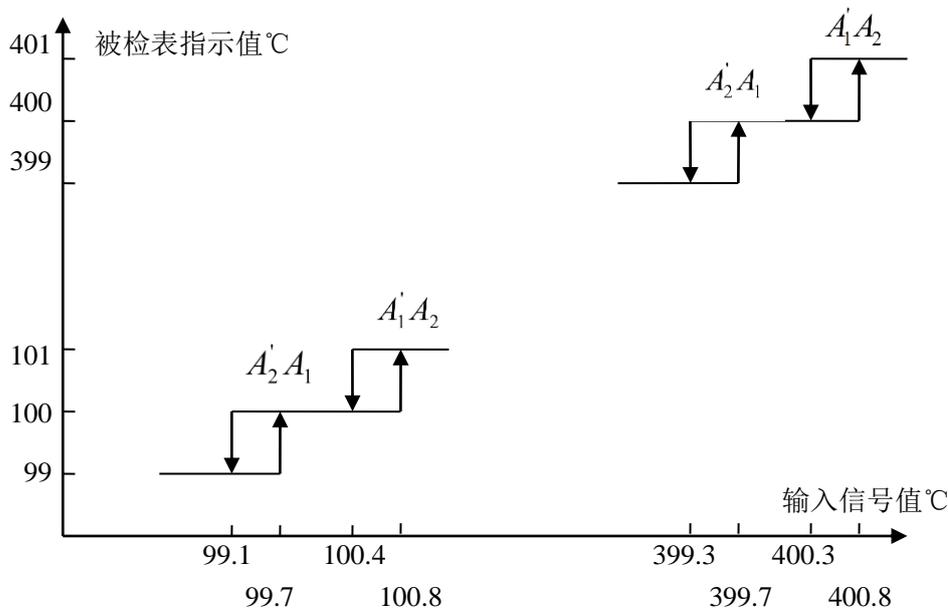


图6 两个被校准点(100°C和400°C)的校准情况

图6中为校准点100°C时的基本误差:

$$100^{\circ}\text{C} - 99.1^{\circ}\text{C} = 0.9^{\circ}\text{C} \quad (\text{取最大值})$$

校准点为400°C时的基本误差:

$$400^{\circ}\text{C} - 400.8^{\circ}\text{C} = -0.8^{\circ}\text{C} \quad (\text{取最大值})$$

校准时, 上限值只进行 $A_2$ 、 $A_1'$ 的寻找; 下限值只进行 $A_1$ 、 $A_2'$ 的寻找。

若仪表的滞后误差很小, 对判断不产生疑义时(即 $A_1$ 与 $A_2'$ 之差及 $A_1'$ 与 $A_2$ 之差很小, 小于校验仪该项允许基本误差的0.1时), 可以在上、下行程中只寻找 $A_1$ 、 $A_1'$ 两点来计算被校准点的基本误差。该基本误差按式(4)计算:

$$\Delta t = [A_d - (A_s + e)] / \left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{t_i} \quad (4)$$

其中:  $\Delta t$ —换算成温度值的基本误差(°C);

$A_d$ —被校准点的温度值所对应的电量值(mV,  $\Omega$ );

$A_s$ —校准时多功能校准器输出的电量值(mV,  $\Omega$ );

$e$ —对具有参考温度自动补偿的仪表,  $e$ 表示补偿导线参考温度时的修正值(mV), 不具有参考端温度自动补偿的仪表 $e$ 为0;

$\left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{t_i}$ —被校准点 $t_i$ 的电量值-温度变化率(mV/°C,  $\Omega$ /°C)。

7.2.3.5.4 校准方法 2: 采用输入被校准点标称电量值法(输入基准法): 从下限开始增大输入信号(上行程时), 由多功能校准器按各校准点分别给校验仪的热电偶测温端输入温度所对应的标称电量值, 读取校验仪相应的指示值(温度值), 直至上限; 然后减小输入信号(下行程时), 多功能校准器给校验仪热电偶测温端输入各被校准点温度所对应的标称电量值, 读取校验仪相应的指示值(温度值), 直至下限。取两次测量中误差最大的作为校验仪的最大基本误差。该基本误差按式(5)计算:

$$\Delta t = t_d - \left( t_s + e / \left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_{t_i} \right) \quad (5)$$

其中:  $\Delta t$ —换算成温度值的基本误差 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_d$ —校验仪显示的温度值 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_s$ —多功能校准器输入的电量值所对应的被校点温度值 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

### 7.2.3.6 热电阻测温的示值误差

7.2.3.6.1 按图 4 连接, 将多功能校准器换成标准电阻箱, 并接到校验仪的热电阻测温端。按校准点调整标准电阻箱的输出值给校验仪, 读取校验仪的显示值 (温度值)。

7.2.3.6.2 每个量程选择不少于 5 个校准点, 应尽可能量程覆盖且均匀分布。应根据用户实际使用情况选择热电阻类型进行校准。

7.2.3.6.3 校准方法及基本误差的计算同 7.2.3.5.4。

### 7.2.4 输出部分影响计量性能的各项校准方法

#### 7.2.4.1 直流电压输出的负载调整率

7.2.4.1.1 按图 7 连接, 将校验仪置于直流电压输出功能, 数字多用表置于直流电压功能相应量程。

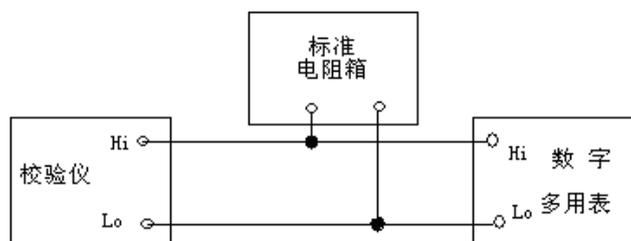


图 7 直流电压输出的负载调整率接线图

7.2.4.1.2 设定或调节校验仪的输出电压在最大常用点上, 通常取 5V, 负载电阻 (标准电阻箱) 开路 (即空载) 和负载电阻达到校验仪直流电压输出的满载电阻值 (说明书中没有具体要求时, 满载电阻值一般设为  $2\text{k}\Omega$ ), 分别读取数字多用表空载和满载时的数值。注意不能超过标准电阻箱的最大允许功率。

7.2.4.1.3 按式 (6) 计算校验仪的直流电压输出功能的负载调整率:

$$\delta_V = \frac{|U_{xkl} - U_{xmz}|}{U_{xmz}} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $\delta_V$ —直流电压输出的负载调整率 (%);

$U_{xkl}$ —直流电压输出负载电阻开路时即空载的数字多用表的读数 (V);

$U_{xmz}$ —直流电压输出负载电阻满载时的数字多用表的读数 (V)。

#### 7.2.4.2 直流电流输出的负载调整率

7.2.4.2.1 按图 8 连接, 将校验仪置于直流电流输出, 数字多用表置于直流电流功能。

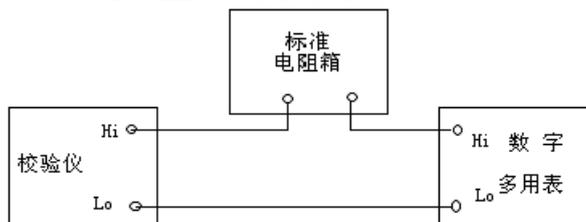


图 8 直流电流输出的负载调整率接线图

7.2.4.2.2 设定或调节校验仪的输出电流在最大常用点上, 通常取 20mA, 负载电阻 (标准

电阻箱)从0(空载)变化到直流电流输出的满载电阻值(说明书中没有具体要求时,满载电阻值一般为 $500\Omega$ ),分别读取数字多用表的读数。注意不能超过标准电阻箱的最大允许电流。

7.2.4.2.3 用式(7)计算校验仪的直流电流输出负载特性:

$$\delta_I = \frac{|I_{x0} - I_{xmz}|}{I_{xmz}} \times 100\% \quad (7)$$

式中:  $\delta_I$ —直流电流输出的负载调整率(%);

$I_{x0}$ —直流电流输出负载电阻为0(空载)时的数字多用表的读数(mA);

$I_{xmz}$ —直流电流输出负载电阻为满载时的数字多用表的读数(mA)。

7.2.4.3 直流电压输出短期稳定度

7.2.4.3.1 按图2连接,将数字多用表置于直流电压功能,选择相应量程,并接到校验仪的电压输出端。

7.2.4.3.2 校准点一般选择在最小量程的常用点上,通常取100mV,在规定时间内(一般取3分钟)记录数字多用表读数的最大值和最小值,按式(8)计算出某时间间隔内输出电压的稳定度。

$$S_V = \frac{U_{x\max} - U_{x\min}}{U_S} \times 100\% \quad (8)$$

式中:  $S_V$ —规定时间内直流电压输出短期稳定度(%);

$U_{x\max}$ —规定时间内数字多用表读数的最大值(V);

$U_{x\min}$ —规定时间内数字多用表读数的最小值(V);

$U_S$ —校验仪的输出电压值(V)。

7.2.4.4 直流电流输出短期稳定度

7.2.4.4.1 按图2连接,将数字多用表置于直流电流功能,选择相应量程,并接到校验仪的直流电流输出端。

7.2.4.4.2 校准点选择在常用量程接近满度值,通常取20mA,在规定时间内(一般取3分钟)记录数字多用表读数的最大值和最小值,按式(9)计算出某时间间隔内电流输出的短期稳定度。

$$S_I = \frac{I_{x\max} - I_{x\min}}{I_S} \times 100\% \quad (9)$$

式中:  $S_I$ —规定时间内直流电流输出短期稳定度(%);

$I_{x\max}$ —规定时间内数字多用表读数的最大值(mA);

$I_{x\min}$ —规定时间内数字多用表读数的最小值(mA);

$I_S$ —校验仪的输出电流值(mA)。

7.2.4.5 电阻输出短期稳定度

7.2.4.5.1 两线制输出按图2连接,四线制输出按图3连接,将数字多用表置于直流电阻功能,选择相应量程,并接到校验仪的电阻输出端。

7.2.4.5.2 校准点选择在常用量程的常用点,通常取 $100\Omega$ ,在规定时间内(一般取3分钟)记录数字多用表读数的最大值和最小值,按式(10)计算出某时间间隔内电阻输出短期稳定度。

$$S_R = \frac{R_{x\max} - R_{x\min}}{R_S} \times 100\% \quad (10)$$

式中： $S_R$ —规定时间内电阻输出短期稳定度（%）；  
 $R_{x\max}$ —规定时间内数字多用表读数的最大值（ $\Omega$ ）；  
 $R_{x\min}$ —规定时间内数字多用表读数的最小值（ $\Omega$ ）；  
 $R_S$ —校验仪的输出电阻值（ $\Omega$ ）。

#### 7.2.5 测量功能的重复性的校准方法

测量功能的重复性测量方法与相对应功能示值误差的校准方法相同，操作上要保证每一个数都要重新给定，校验仪也要不停的切换量程和功能，测量时间不能太长。

如果在校准结果的不确定度中，仪器的重复性不是主要分量时，可以在重复性条件下对校验仪进行不少于六次独立测量，重复性用实验标准偏差计算。

准确度较低的校验仪测量功能的重复性有可能为零，这时可以用分辨力作为读数引入的不确定度分量。五位半以上的所有测量功能应进行重复性测量，尽量选择常用点作重复性测量以给出测量不确定度典型值。

### 8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书(报告)上反映，校准证书(报告)应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“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) 证书或报告的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- e) 委托者的名称和地址；
- 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) 对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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 B，校准证书(报告)内页格式见附录 C。

### 9 复校时间间隔

校验仪的复校时间间隔建议最长不超过一年，使用特别频繁时应适当缩短复校时间间隔，可根据实际使用情况自行决定，如有需要可随时进行复校。

## 附录 A

## 校验仪示值误差的测量结果不确定度评定

校验仪是多功能多量程仪表，因此校准结果的测量不确定度评定按功能分别进行分析。本分析中选用的型号为 CST3005 热工仪表校验仪，编号为 2335003C。校准装置为 5720A 多功能校准器和数字多用表 1281 等。

## 一、校验仪测量功能 5V 示值误差的测量结果不确定度评定

## 1. 测量原理

作为常规校准工作的一部分，用多功能校准器 5720 A 对 CST3005 热工仪表校验仪中的直流数字电压表的 5 V 测量点进行校准。其校准程序为：

a. 将多功能校准器的输出端通过合适的测量线连接到 CST3005 热工仪表校验仪的电压输入端。

b. 经过充分的预热后，将多功能校准器输出设定为直流电压 5V，经过一段时间稳定后，记录 CST3005 热工仪表校验仪的读数。

c. 根据 CST3005 热工仪表校验仪的读数和多功能校准器的输出值计算 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差。

## 2. 数学模型

待校准 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差为： $\Delta = U_x - U_s$ ，

式中： $U_x$ —被校准 CST3005 热工仪表校验仪所测得的电压值；

$U_s$ —多功能校准器输出电压，即校准中所用的参考标准。

## 3. 方差和灵敏度系数

由数字模型可得方差为：

$$u_c^2(\Delta) = \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial U_x} u(U_x) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial U_s} u(U_s) \right]^2 = [C_1 u(U_x)]^2 + [C_2 u(U_s)]^2$$

由方差公式可得灵敏度系数为： $C_1 = 1$ ， $C_2 = -1$

合成标准不确定度公式可简化为： $u_c(\Delta) = [u(U_x)^2 + u(U_s)^2]^{1/2}$ 。

## 4. 标准不确定度分量计算

①. 被校热工仪表校验仪所测得的直流电压值  $U_x$  引入的标准不确定度分量  $u(U_x)$

由读数产生的不确定度分量中包括了热工仪表校验仪的稳定性、重复性、分辨力及多功能校准器的稳定性、重复性、分辨力的影响，当多功能校准器输出电压设定为 5V 时，得到实验数据如下：

5.00035	5.0007	5.0034	5.00038	5.00037
5.0038	5.00036	5.00035	5.00039	5.00036

通过计算得  $U_x$  的平均值为 5.000365V，实验标准差  $s(U_x) = 15.8 \mu\text{V}$ ，经格拉布斯准则判断， $|v_i| |g(n) \times s(x_k)| = 2.29 \times 0.0000158 = 0.0000362 \text{ V} = 36.2 \mu\text{V}$  为离群值，该测量无离群值。

因为不用平均值作为测量结果，所以，由于读数产生的 A 类标准不确定度分量  $u(U_x) =$

15.8  $\mu\text{V}$ ，其自由度为 9，为正态分布。

②. 多功能校准器输出直流电压  $U_s$  引入的标准不确定度分量  $u(U_s)$

a. 多功能校准器技术指标引入的年标准不确定度分量  $u(U_{s1})$

多功能校准器说明书给出置信概率为 99% 的 1 年绝对扩展不确定度为  $(10\text{V} \times 0.0004\% + 3 \mu\text{V}) = 43 \mu\text{V}$ ，消息来源可靠，按正态分布，查正态分布表， $k=2.58$ ，于是  $u(U_{s1}) = 43 \mu\text{V} / 2.58 = 16.7 \mu\text{V}$ 。绝对不确定度包括稳定性、温度系数、线性度、电源和负载调整率以及对外部标准的溯源性等影响。

b. 多功能校准器的溯源引入的标准不确定度分量  $u(U_{s2})$

校准证书中给出多功能校准器直流电压功能的测量结果扩展不确定度为  $2 \times 10^{-6}$ ， $k=3$ ，于是所引入的不确定度分量为  $u(U_{s2}) = 3 \times 10^{-6} \times 5\text{V} / 3 = 5 \mu\text{V}$ ，按正态分布。

上述两项合成得到多功能校准器输出直流电压  $U_s$  引入的标准不确定度分量  $u(U_s) = [u(U_{s1})^2 + u(U_{s2})^2]^{1/2} = [16.7^2 + 5^2]^{1/2} \approx 17.4 \mu\text{V}$ 。

5. 标准不确定度一览表

不确定度来源	标准不确定度分量		标准不确定度 ( $\mu\text{V}$ )		灵敏系数	$ C_i  u(x_i)$ ( $\mu\text{V}$ )
被检表的读数	$u(U_x)$		15.8		1	15.8
校准源的准确度	$u(U_{s1})$	$u(U_s)$	16.7	17.4	-1	17.4
标准源溯源性	$u(U_{s2})$		5			
$u_c(\Delta) = 552.4 \mu\text{V}$		$u_c(\Delta) = 23.5 \mu\text{V}$	$\nu_{\text{eff}} = 44$			

6. 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

7. 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta) = [u(U_x)^2 + u(U_s)^2]^{1/2} = (15.8^2 + 17.4^2)^{1/2} \approx 23.5 \mu\text{V}。$$

8. 被测量分布的估计

由不确定度一览表概算可知，共有三个不确定度分量均呈正态分布。校准源引入不确定度与被检引入不确定度分量大小相当，因此估计合成标准不确定度的分布为正态分布。

9. 扩展不确定度

由于分布为正态分布，有效自由度较大通常取包含因子  $k=2$ ，置信概率大约 95%，故扩展不确定度为  $U = k u_c(\Delta) = 2 \times 23.5 \mu\text{V} \approx 0.00005\text{V}$ 。

10. 结果报告

由本文提供的分析方法可知： $\Delta = U_x - U_s = 5.00036 - 5.00000 = 0.00036\text{V}$ 。

热工仪表校验仪的最大允许误差为： $\pm(0.01\%RD + 0.005\%FS)$ ，量程为 30V，当读数取 5V 时，最大允许误差为  $\pm 0.002\text{V}$ 。

报告热工仪表校验仪测量功能 5 V 校准点的校准结果：

示值	实际值	示值误差	示值误差扩展不确定度	包含因子
5.000 6V	5.00000V	0.00036V	$U=0.00005\text{V}$	$k=2$

## 二、校验仪测量功能 20mA 示值误差的测量结果不确定度评定

### 1. 测量原理

作为常规校准工作的一部分,用多功能校准器 5720 A 对 CST3005 热工仪表校验仪中的直流数字电流表的 20mA 测量点进行校准。其校准程序为:

a. 将多功能校准器的输出端通过合适的测量线连接到 CST3005 热工仪表校验仪的电流输入端。

b. 经过充分的预热后,将多功能校准器输出设定为直流电流 20mA,经过一段时间稳定后,记录 CST3005 热工仪表校验仪的读数。

c. 根据 CST3005 热工仪表校验仪的读数和多功能校准器的输出值计算 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差。

### 2. 数学模型

待校准 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差为:  $\Delta = I_x - I_s$ ,

式中:  $I_x$ —被校准 CST3005 热工仪表校验仪所测得的电流值;

$I_s$ —多功能校准器输出电流,即校准中所用的标准值。

### 3. 方差和灵敏度系数

由数学模型可得方差为:

$$u_c^2(\Delta) = \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial I_x} u(I_x) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial I_s} u(I_s) \right]^2 = [C_1 u(I_x)]^2 + [C_2 u(I_s)]^2$$

由方差公式可得灵敏度系数为:  $C_1 = 1$ ,  $C_2 = -1$

合成标准不确定度公式可简化为:  $u_c(\Delta) = [u(I_x)^2 + u(I_s)^2]^{1/2}$ 。

### 4. 标准不确定度分量计算

①. 被校热工仪表校验仪所测得的直流电流值  $I_x$  引入的标准不确定度分量  $u(I_x)$

由读数产生的标准不确定度分量中包括了热工仪表校验仪的稳定性、重复性、分辨力及多功能校准器的稳定性、重复性、分辨力的影响,当多功能校准器输出电流设定为 20mA 时,得到实验数据如下:

19.99778	19.99788	19.99782	19.99768	19.99784
19.99772	19.99780	19.99785	19.99775	19.9983

通过计算得  $I_x$  的平均值为 19.997795mA, 实验标准差  $s(I_x) = 0.000063\text{mA}$ , 经格拉布斯准则判断,  $|v_i| |g(n) \times s(x_k)| = 2.29 \times 0.000063 = 0.000143\text{mA}$  为离群值, 该测量无离群值。

因为不用平均值作为测量结果,所以,由于读数产生的 A 类标准不确定度分量  $u(I_x) = 0.000063\text{mA}$ , 其自由度为 9, 为正态分布。

②. 多功能校准器输出直流电流  $I_s$  引入的标准不确定度分量  $u(I_s)$

a. 多功能校准器技术指标引入的年标准不确定度分量  $u(I_{s1})$

多功能校准器说明书给出置信概率为 99% 的 1 年的绝对扩展不确定度为  $(20\text{mA} \times 0.004\% + 40\text{nA}) = 0.00084\text{mA}$ , 消息来源可靠,按正态分布,查正态分布表,  $k=2.58$ , 于是  $u(I_{s1}) = 0.00084\text{mA} / 2.58 = 0.00033\text{mA}$ 。绝对不确定度包括稳定性、温度系数、线性度、电源和负载调整率以及对外部标准的溯源性等影响。

b. 多功能校准器的溯源引入的标准不确定度分量  $u(I_{s2})$

校准证书中给出多功能校准器直流电流功能的测量结果扩展不确定度为  $1.2 \times 10^{-5}$ ,  $k=3$ ,

于是所引入的不确定度分量为  $u(I_{s2}) = 1.2 \times 10^{-5} \times 20\text{mA} / 3 = 0.00008\text{mA}$ ，按正态分布。

上述两项合成得到多功能校准器输出直流电压  $I_s$  引入的标准不确定度分量  $u(I_s) = [u(I_{s1})^2 + u(I_{s2})^2]^{1/2} = [0.00033^2 + 0.00008^2]^{1/2} = 0.00034\text{mA}$ 。

### 5. 标准不确定度一览表

不确定度来源	标准不确定度分量		标准不确定度 (mA)		灵敏系数	$ C_i  u(x_i)$ (mA)
被检表的读数	$u(I_x)$		0.000063		1	0.000063
校准源准确度	$u(I_{s1})$	$u(I_s)$	0.00033	0.00034	-1	0.00034
标准源溯源性	$u(I_{s2})$		0.00008			
$u_c^2(\Delta) = 0.0000001196\text{mA}$		$u_c(\Delta) = 0.00035\text{ mA}$		$\nu_{\text{eff}} = \infty$		

### 6. 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

### 7. 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta) = [u(I_x)^2 + u(I_s)^2]^{1/2} = (0.000063^2 + 0.00034^2)^{1/2} = 0.00035\text{mA}$$

### 8. 被测量分布的估计

由标准不确定度一览表概算可知，共有三个不确定度分量均呈正态分布。校准源引入不确定度占主要地位，因此估计合成标准不确定度的分布为正态分布。

### 9. 扩展不确定度

由于分布为正态分布，有效自由度较大通常取包含因子  $k=2$ ，置信概率大约 95%，故扩展不确定度为  $U = k u_c(\Delta) = 2 \times 0.00035\text{mA} = 0.00070\text{mA}$ 。

### 10. 结果报告

由本文提供的分析方法可知： $\Delta = I_x - I_s = 19.99778 - 20.00000 = -0.00222\text{mA}$ 。

热工仪表校验仪的最大允许误差为： $\pm(0.01\%RD + 0.005\%FS)$ ，量程为 30mA，当读数取 20mA 时，最大允许误差为  $\pm 0.0035\text{mA}$ 。

报告热工仪表校验仪测量功能 20mA 校准点的校准结果：

示值	实际值	示值误差	示值误差扩展不确定度	包含因子
19.99778mA	20.00000mA	-0.00222mA	$U = 0.00070\text{mA}$	$k=2$

### 三、校验仪测量功能 100 Ω 示值误差的测量结果不确定度评定

#### 1. 测量原理

作为常规校准工作的一部分,用多功能校准器 5720 A 对 CST3005 热工仪表校验仪中的直流数字欧姆表的 100Ω 测量点进行校准。其校准程序为:

a. 将多功能校准器的输出端通过四线方式线连接到 CST3005 热工仪表校验仪的欧姆表的四线输入端。

b. 经过充分的预热后,将多功能校准器输出设定为 100 Ω, 经过一段时间稳定后,记录 CST3005 热工仪表校验仪的读数。

c. 根据 CST3005 热工仪表校验仪的读数和多功能校准器的输出值计算 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差。

#### 2. 数学模型

待校准 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差为:  $\Delta = R_x - R_s$ ,

式中:  $R_x$ —被校准 CST3005 热工仪表校验仪所测得的电阻值;

$R_s$ —多功能校准器输出电阻,即校准中所用的标准值。

#### 3. 方差和灵敏度系数

由数学模型可得方差为:

$$u_c^2(\Delta) = \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial R_x} u(R_x) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta)}{\partial R_s} u(R_s) \right]^2 = [C_1 u(R_x)]^2 + [C_2 u(R_s)]^2$$

由方差公式可得灵敏度系数为:  $C_1 = 1$ ,  $C_2 = -1$

合成标准不确定度公式可简化为:  $u_c(\Delta) = [u(R_x)^2 + u(R_s)^2]^{1/2}$ 。

#### 4. 标准不确定度分量计算

①. 被校热工仪表校验仪所测得的直流电阻值  $R_x$  引入的标准不确定度分量  $u(R_x)$

由读数产生的不确定度分量中包括了热工仪表校验仪的稳定性、重复性、分辨力及多功能校准器的稳定性、重复性、分辨力的影响,当多功能校准器输出电阻设定为 100Ω 时,得到实验数据如下:

99.9978	99.9972	99.9982	99.969	99.9965
99.9962	99.9988	99.9976	99.9984	99.9965

通过计算得  $R_x$  的平均值为 99.99741Ω, 实验标准差  $s(R_x) = 0.00089\Omega$ , 经格拉布斯准则判断,为离群值  $|v_i| < [g(n) \times s(x_k)] = 2.29 \times 0.00089 = 0.00204\Omega$  为离群值,该测量无离群值。

因为不用平均值作为测量结果,所以,由于读数产生的 A 类标准不确定度分量  $u(R_x) = 0.00089\Omega$ , 其自由度为 9, 为正态分布。

②. 多功能校准器输出直流电阻  $R_s$  引入的标准不确定度分量  $u(R_s)$

a. 多功能校准器技术指标引入的年标准不确定度分量  $u(R_{s1})$

多功能校准器说明书给出置信概率为 99% 的 1 年的绝对扩展不确定度为  $100\Omega \times 0.0012\% = 0.0012\Omega$ , 消息来源可靠,按正态分布,查正态分布表,  $k=2.58$ , 于是  $u(R_{s1}) = 0.0012\Omega / 2.58 = 0.00047\Omega$ 。绝对不确定度包括稳定性、温度系数、线性度、电源和负载调整率以及对外部标准的溯源性等影响。

b. 多功能校准器的溯源引入的标准不确定度分量  $u(R_{s2})$

校准证书中给出多功能校准器直流电阻功能的测量结果扩展不确定度为  $1 \times 10^{-5}$ ,  $k=3$ , 于

是所引入的不确定度分量为  $u(I_{s2}) = 1 \times 10^{-5} \times 100 \Omega / 3 = 0.00033 \Omega$ , 按正态分布。

上述两项合成得到多功能校准器输出直流电阻  $R_s$  引入的标准不确定度分量  $u(R_s) = [u(R_{s1})^2 + u(R_{s2})^2]^{1/2} = [0.00047^2 + 0.00033^2]^{1/2} \approx 0.00057 \Omega$ 。

#### 5. 标准不确定度一览表

不确定度来源	标准不确定度分量	标准不确定度 ( $\Omega$ )	灵敏系数	$ C_i  u(x_i)$ ( $\Omega$ )
被检表的读数	$u(R_x)$	0.00089	1	0.00089
校准源的准确度	$u(R_{s1})$	0.00047	-1	0.00057
标准源溯源性	$u(R_{s2})$	0.00033		
$u_c(\Delta) = 0.0000011 \Omega$		$u_c(\Delta) = 0.00106 \Omega$	$\nu_{\text{eff}} = \infty$	

#### 6. 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

#### 7. 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta) = [u(R_x)^2 + u(R_s)^2]^{1/2} = (0.00089^2 + 0.00057^2)^{1/2} = 0.00106 \Omega$$

#### 8. 被测量分布的估计

由标准不确定度一览表概算可知, 共有三个不确定度分量均呈正态分布。校准源引入不确定度与被检热工仪表校验仪引入的不确定度大小相当, 因此估计合成标准不确定度的分布为正态分布。

#### 9. 扩展不确定度

由于分布为正态分布, 有效自由度较大通常取包含因子  $k=2$ , 置信概率大约 95%, 故扩展不确定度为  $U = k u_c(\Delta) = 2 \times 0.00106 \Omega \approx 0.0022 \Omega$ 。

#### 10. 结果报告

由本文提供的分析方法可知:  $\Delta = R_x - R_s = 99.9972 - 100.0000 = -0.0028 \Omega$ 。

热工仪表校验仪的最大允许误差为:  $\pm (0.01\%RD + 0.005\%FS)$ , 量程为  $400 \Omega$ , 当读数取  $100 \Omega$  时, 最大允许误差为  $\pm 0.03 \Omega$ 。

报告热工仪表校验仪测量功能  $100 \Omega$  校准点的校准结果:

示值	实际值	示值误差	示值误差扩展不确定度	包含因子
99.9972 $\Omega$	100.0000 $\Omega$	-0.0028 $\Omega$	$U=0.0022 \Omega$	$k=2$

#### 四、校验仪热电偶测温 (K 型 800℃) 示值误差的测量结果不确定度评定

##### 1. 测量原理

作为校准工作的一部分,用多功能校准器 5720 A 对 CST3005 热工仪表校验仪中热电偶测温功能 K 型热电偶 800℃ 测量点进行校准其校准程序为:

a. 将多功能校准器的 mV 电压输出端通过合适的测量线连接到 CST3005 热工仪表校验仪的热电偶测温端。

b. 经过充分的预热后,将多功能校准器输出设定为直流电压 (33.275-e)mV (其中 33.275 为 K 型热电偶冷端温度为 0℃, 测量端为 800℃ 时的热电势值; e 为冷端温度  $t_l$  对应的 mV 电压值), 经过一段时间稳定后,记录 CST3005 热工仪表校验仪的热电偶测温读数。

c. 根据 CST3005 热工仪表校验仪的读数、多功能校准器的输出值以及冷端温度  $t_l$  对应的 mV 电压值计算 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差。

##### 2. 数学模型

待校准 CST3005 热工仪表校验仪的热电偶测温示值误差为:

$$\Delta t = t_x - (t_s + e / (\frac{\Delta E}{\Delta t})_{t_l}) \quad (1)$$

其中:  $\Delta t$ —热电偶测温的基本误差 (℃);

$t_x$ —被校仪表测量的温度值 (℃);

$t_s$ —标准仪器输入的电压值所对应的被校点温度值 (℃);

$(\frac{\Delta E}{\Delta t})_{t_l}$ —被校准点  $t_l$  的热电势值-温度变化率 (mV/℃), 见附表 F。

##### 3. 方差和灵敏度系数

由数字模型可得方差为:

$$\begin{aligned} u_c^2(\Delta t) &= \left[ \frac{\partial(\Delta t)}{\partial t_x} u(t_x) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta t)}{\partial t_s} u(t_s) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta t)}{\partial e} u(e) \right]^2 \\ &= [C_1 u(t_x)]^2 + [C_2 u(t_s)]^2 + [C_3 u(e)]^2 \end{aligned}$$

由方差公式可得灵敏度系数为:  $C_1=1$ ,  $C_2=-1$ ,  $C_3=-1$

合成标准不确定度公式可简化为:  $u_c(\Delta t) = [u(t_x)^2 + u(t_s)^2 + u(e)^2]^{1/2}$ 。

##### 4. 标准不确定度分量计算

①. 被校热工仪表校验仪所测量的温度值  $t_x$  引入的标准不确定度分量  $u(t_x)$

由读数产生的不确定度分量中包括了热工仪表校验仪的稳定性、重复性、分辨力及多功能校准器的稳定性、重复性、分辨力的影响。当冷端温度  $t_l$  为 20℃ 时, 则  $e=0.798\text{mV}$ , 多功能校准器输出电压设定为 32.477mV 时, 得到实验数据如下:

800.57	800.56	800.57	800.58	800.60
800.63	800.61	800.58	800.67	800.63

通过计算得平均值  $\bar{t}_x=800.600\text{℃}$ , 实验标准差  $s(t_x)=0.035\text{℃}$ , 经格拉布斯准则判断,  $|v_i| |g(n) \times s(t_x)| = 2.29 \times 0.035 = 0.080\text{℃}$  为离群值, 该测量无离群值。

因为不用平均值作为测量结果, 所以, 由于读数产生的 A 类标准不确定度分量  $u(t_x)=0.035\text{℃}$ , 其自由度为 9, 为正态分布。

②. 多功能校准器输入的电压值所对应的被校点温度值  $t_s$  引入的标准不确定度分量  $u(t_s)$

a. 多功能校准器技术指标引入的标准不确定度分量  $u(U_1)$ 

多功能校准器说明书给出置信概率为 99% 的 1 年的绝对扩展不确定度为  $(100\text{mV} \times 0.0009\% + 0.5 \mu\text{V}) = 0.0014\text{mV}$ , 消息来源可靠, 按正态分布, 查正态分布表,  $k=2.58$ , 于是  $u(U_1) = 0.0014/2.58 = 0.00054\text{mV}$ 。绝对不确定度包括稳定性、温度系数、线性度、电源和负载调整率以及对外部标准的溯源性等影响。

b. 多功能校准器的溯源引入的标准不确定度分量  $u(U_2)$ 

校准证书中给出多功能校准器直流电压功能的测量结果扩展不确定度为  $5 \times 10^{-6}$ ,  $k=2$ , 于是所引入的不确定度分量为  $u(U_2) = 5 \times 10^{-6} \times 100\text{mV}/2 = 0.00025\text{mV}$ , 按正态分布。

上述两项合成得到多功能校准器输出直流电压所对应的被校点温度值  $t_s$  引入的标准不确定度分量:

$$\begin{aligned} u(t_s) &= \left[ (u(U_1) / \left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right)_{t_i})^2 + (u(U_2) / \left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right)_{t_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= (u(U_1)^2 + u(U_2)^2)^{\frac{1}{2}} / \left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right)_{t_i} \\ &= (0.00054^2 + 0.00025^2)^{\frac{1}{2}} / 0.041 \\ &\approx 0.015^\circ\text{C} \end{aligned}$$

③. 冷端温度  $t_l$  引入的标准不确定度分量  $u(e)$ 

CST3005 说明书给出机内温度测量参考准确度:  $\pm 0.33^\circ\text{C}$ , 信息来源可靠, 按均匀分布,  $k=\sqrt{3}$ , 于是  $u(e) = 0.33 / \sqrt{3} = 0.19^\circ\text{C}$ 。冷端温度  $t_l$  引入的标准不确定度分量  $u(e) = 0.19^\circ\text{C}$ 。

## 5. 标准不确定度一览表

不确定度来源	标准不确定度分量	标准不确定度	灵敏系数	$ C_i  u(x_i)$ ( $^\circ\text{C}$ )
被检表的读数	$u(t_x)$	$0.035^\circ\text{C}$	1	0.035
校准源的准确度	$u(U_1)$	$0.00054\text{mV}$	$0.015^\circ\text{C}$	-1
标准源溯源性	$u(U_2)$			
冷端温度测量的准确度	$u(e)$	$0.19^\circ\text{C}$	-1	0.19
$u_c^2(\Delta t) = 0.03755$		$u_c(\Delta t) = 0.194^\circ\text{C}$	$\nu_{\text{eff}} = 1933$	

## 6. 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

## 7. 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta t) = [u(t_x)^2 + u(t_s)^2 + u(e)^2]^{1/2} \approx 0.194^\circ\text{C}。$$

## 8. 被测量分布的估计

由标准不确定度一览表概算可知, 共有三个不确定度分量均呈正态分布。校准源引入不确定度与被检引入不确定度分量大小相当, 冷端温度测量的准确度引入的不确定度分量占主要地位, 因此估计合成标准不确定度的分布为均匀分布。

## 9. 扩展不确定度

由于分布为均匀分布，有效自由度较大通常取包含因子  $k=2$ ，故扩展不确定度为  $U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 0.194 \approx 0.39^\circ\text{C}$ 。

#### 10. 结果报告

由本文提供的分析方法可知：示值误差  $\Delta t = 800.67 - 800.00 = 0.67^\circ\text{C}$ 。

热工仪表校验仪热电偶测温（K型热电偶）800℃时的校准结果：

示值	实际值	示值误差	示值误差 扩展不确定度	包含因子
800.67℃	800.00℃	0.67℃	$U=0.39^\circ\text{C}$	$k=2$

## 五、校验仪热电阻测温 (Pt100 型 100℃) 示值误差的测量结果不确定度评定

### 1. 测量原理

作为校准工作的一部分,用 ZX78 型直流电阻箱对 CST3005 热工仪表校验仪中热电阻测温的 Pt100 型热电阻 100℃校准点进行校准。其校准程序为:

a. 将直流电阻箱通过四线制接线的方式连接到 CST3005 热工仪表校验仪的热电阻测温端。

b. 经过充分的预热后,将校验仪校零,直流电阻箱输出值设定为 138.51Ω (Pt100 型铂电阻 100℃对应的电阻值为 138.51Ω),经过一段时间稳定后,记录 CST3005 热工仪表校验仪的热电阻测温读数。

c. 根据 CST3005 热工仪表校验仪的读数、直流电阻箱的输出值对应的温度值计算 CST3005 热工仪表校验仪的示值误差。

### 2. 数学模型

待校准 CST3005 热工仪表校验仪的热电阻测温示值误差为:

$$\Delta t = t_x - t_s \quad (1)$$

其中:  $\Delta t$ —热电阻测温的基本误差 (℃);

$t_x$ —被校仪表测量的温度值 (℃);

$t_s$ —标准仪器输入的电阻值所对应的被校点温度值 (℃)。

### 3. 方差和灵敏度系数

由数字模型可得方差为:

$$u_c^2(\Delta t) = \left[ \frac{\partial(\Delta t)}{\partial t_x} u(t_x) \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\Delta t)}{\partial t_s} u(t_s) \right]^2 = [C_1 u(t_x)]^2 + [C_2 u(t_s)]^2 \quad (2)$$

由方差公式可得灵敏度系数为:  $C_1 = 1$ ,  $C_2 = -1$

合成标准不确定度公式可简化为:  $u_c(\Delta t) = [u(t_x)^2 + u(t_s)^2]^{1/2}$ 。

### 4. 标准不确定度分量计算

①. 被校热工仪表校验仪所测量的温度值  $t_x$  引入的标准不确定度分量  $u(t_x)$

由读数产生的不确定度分量中包括了热工仪表校验仪的稳定性、重复性、分辨力及直流电阻箱的稳定性、重复性、分辨力的影响。将直流电阻箱输出值设定为 138.51Ω,得到实验数据 (温度值) 如下:

100.04	100.04	100.04	100.04	100.04
100.04	100.04	100.05	100.03	100.05

通过计算得平均值  $\bar{t}_x = 100.041$ ℃, 实验标准差  $s(t_x) = 0.0057$ ℃, 经格拉布斯准则判断,  $|v_i| |g(n) \times s(t_x)| = 2.29 \times 0.0057 = 0.0130$ ℃为离群值, 该测量无离群值。

因为不用平均值作为测量结果, 所以, 由于读数产生的 A 类标准不确定度分量  $u(t_x) = 0.0057$ ℃, 其自由度为 9, 为正态分布。

②. 直流电阻箱输出的电阻值所对应的被校点温度值  $t_s$  引入的标准不确定度分量  $u(t_s)$

a. 直流电阻箱的准确度引入的标准不确定度分量  $u(U_1)$

138.51Ω时直流电阻箱的准确度为:

( $100 \times 0.005\% + 30 \times 0.01\% + 8 \times 0.05\% + 0.5 \times 0.5\% + 0.01 \times 5\% = 0.0150$ Ω, 消息来源可靠, 按正态

分布, 查正态分布表,  $k=2$ , 于是  $u(U_1) = 0.0150/2 = 0.0075\Omega$ 。

b. 直流电阻箱的溯源引入的标准不确定度分量  $u(U_2)$

校准证书中给出直流电阻箱的测量结果扩展不确定度为  $1 \times 10^{-5}$ ,  $k=2$ , 于是所引入的不确定度分量为  $u(U_2) = 1 \times 10^{-5} \times 138.51/2 = 0.0069\Omega$ , 按正态分布。

上述两项合成得到直流电阻箱输出直流电阻所对应的被校点温度值  $t_s$  引入的标准不确定度分量:

$$\begin{aligned} u(t_s) &= [(u(U_1)/(\frac{\Delta R}{\Delta t})_{t_i})^2 + (u(U_2)/(\frac{\Delta R}{\Delta t})_{t_i})^2]^{\frac{1}{2}} \\ &= (u(U_1)^2 + u(U_2)^2)^{\frac{1}{2}} / (\frac{\Delta R}{\Delta t})_{t_i} \\ &= (0.0075^2 + 0.0069^2)^{\frac{1}{2}} / 0.380 \\ &\approx 0.027^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$(\frac{\Delta R}{\Delta t})_{t_i}$  — 被校准点  $t_i$  的热电阻值-温度变化率 ( $\Omega/^\circ\text{C}$ ), 见附表 F。

## 5. 标准不确定度一览表

不确定度来源	标准不确定度分量	标准不确定度	灵敏系数	$ C_i  u(x_i)$ ( $^\circ\text{C}$ )
被校准表的读数	$u(t_x)$	0.0057 $^\circ\text{C}$	1	0.0057
标准源的准确度	$u(U_1)$	0.0075 $\Omega$	-1	0.027
标准源溯源性	$u(U_2)$	0.0069 $\Omega$		
$u_c^2(\Delta t) = 0.000752$		$u_c(\Delta t) = 0.027^\circ\text{C}$	$\nu_{\text{eff}} = 442$	

## 6. 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

## 7. 合成标准不确定度

$$u_c(\Delta t) = [u(t_x)^2 + u(t_s)^2]^{1/2} = 0.027^\circ\text{C}。$$

## 8. 被测量分布的估计

由标准不确定度一览表概算可知, 共有三个不确定度分量均呈正态分布。标准引入不确定度占主要地位, 因此估计合成标准不确定度的分布为正态分布。

## 9. 扩展不确定度

由于分布为正态分布, 有效自由度较大通常取包含因子  $k=2$ , 故扩展不确定度为  $U = k \times u_c(\Delta t) = 2 \times 0.027 \approx 0.06^\circ\text{C}$

## 11. 结果报告

由本文提供的分析方法可知: 示值误差  $\Delta t = 100.05 - 100.00 = 0.05^\circ\text{C}$ 。

热工仪表校验仪热电阻测温 (Pt100 型热电阻)  $100^\circ\text{C}$  时的校准结果:

示值	实际值	示值误差	示值误差 扩展不确定度	包含因子
100.05 $^\circ\text{C}$	100.00 $^\circ\text{C}$	0.05 $^\circ\text{C}$	$U=0.06^\circ\text{C}$	$k=2$



## 2.3 直流电阻输出的示值误差

量程	显示值	标准值

## 2.4 频率输出的示值误差

量程	显示值	标准值

## 2.5 模拟热电偶（\_\_\_型）输出的示值误差 冷端温度值：\_\_\_℃ e 值：\_\_\_mV

输出温度值/℃	理论电压值/mV	行程	输出实际电压值/mV	理论电压值-e/mV	误差/℃
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			

## 2.6 模拟热电阻（\_\_\_型）输出的示值误差

输出温度/℃	理论电阻值/Ω	行程	输出实际电阻值/Ω	误差/℃
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		

## 3、测量功能的校准

## 3.1 直流电压测量的示值误差

量程	标准值	显示值 (+)	显示值 (-)
			--
			--
			--
			--
			--
			--
			--

## 3.2 直流电流测量的示值误差

量程	标准值	显示值 (+)	显示值 (-)
			--
			--
			--
			--

## 3.3 直流电阻测量的示值误差

量程	标准值	显示值

## 3.4 频率测量的示值误差

量程	标准值	显示值

## 3.5 热电偶 (\_\_\_\_型) 测温的示值误差 冷端温度值: \_\_\_\_\_ °C e 值: \_\_\_\_\_ mV

输入标准电压值 /mV	输入标准电压值 -e/mV	行程	显示温度值/°C	理论温度值/°C	误差/°C
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			

## 3.6 热电阻 (\_\_\_\_型) 测温的示值误差

输入标准电阻值/ $\Omega$	理论温度值/ $^{\circ}\text{C}$	行程	显示温度值/ $^{\circ}\text{C}$	误差/ $^{\circ}\text{C}$
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		

## 4、输出部分影响计量性能各项目的校准

4.1 直流电压输出的负载调整率(5V):

空载\_\_\_\_\_满载(2k $\Omega$ )\_\_\_\_\_

4.2 直流电流输出的负载调整率(20mA):

空载\_\_\_\_\_满载(500 $\Omega$ )\_\_\_\_\_

4.3 直流电压输出 3 分钟短期稳定度(100mV):

最大\_\_\_\_\_最小\_\_\_\_\_

4.4 直流电流输出 3 分钟短期稳定度(20mA):

最大\_\_\_\_\_最小\_\_\_\_\_

4.5 直流电阻输出 3 分钟短期稳定度(100 $\Omega$ ):

最大\_\_\_\_\_最小\_\_\_\_\_

## 5、测量功能重复性的校准

	直流电压 5V	直流电流 20mA	电阻 100 $\Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
平均值			
实验标准偏差			

## 附录 C

## 校准证书内页格式

1、外观检查、通电检查

2、输出功能的校准

2.1 直流电压输出的示值误差

量程	显示值	标准值

2.2 直流电流输出的示值误差

量程	显示值	标准值

2.3 直流电阻输出的示值误差

量程	显示值	标准值

2.4 频率输出的示值误差

量程	显示值	标准值

2.5 模拟热电偶（\_\_\_型）输出的示值误差 冷端温度值：\_\_\_\_\_℃ e 值：\_\_\_\_\_mV

输出温度值/℃	理论电压值/mV	行程	输出实际电压值/mV	理论电压值-e/mV	误差/℃
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			

2.6 模拟热电阻（\_\_\_型）输出的示值误差

输出温度值/℃	理论电阻值/Ω	行程	输出实际电阻值/Ω	误差/℃
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		

### 3、测量功能的校准

#### 3.1 直流电压测量的示值误差

量程	标准值	显示值（+）	显示值（-）
			--
			--
			--
			--
			--
			--
			--
			--

## 3.2 直流电流测量的示值误差

量程	标准值	显示值 (+)	显示值 (-)
			--
			--
			--
			--
			--

## 3.3 直流电阻测量的示值误差

量程	标准值	显示值

## 3.4 频率测量的示值误差

量程	标准值	显示值

3.5 热电偶 (\_\_\_\_型) 测温的示值误差 冷端温度值: \_\_\_\_\_ $^{\circ}\text{C}$  e 值: \_\_\_\_\_mV

输入标准电压值 /mV	输入标准电压值 -e/mV	行程	显示温度值/ $^{\circ}\text{C}$	理论温度值/ $^{\circ}\text{C}$	误差/ $^{\circ}\text{C}$
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			
		上			
		下			

## 3.6 热电阻 (\_\_\_\_型) 测温的示值误差

输入标准电阻值/ $\Omega$	理论温度值/ $^{\circ}\text{C}$	行程	显示温度值/ $^{\circ}\text{C}$	误差/ $^{\circ}\text{C}$
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		
		上		
		下		

## 4、输出部分影响计量性能的各项校准

- 4.1 直流电压输出的负载调整率在 5V、2k $\Omega$ 负载时为 %。
- 4.2 直流电流输出的负载调整率在 20mA、500 $\Omega$ 负载时为 %。
- 4.3 直流电压输出 3 分钟短期稳定度在 100mV 为 %。
- 4.4 直流电流输出 3 分钟短期稳定度在 20mA 为 %。
- 4.5 直流电阻输出 3 分钟短期稳定度在 100 $\Omega$ 为 %。

## 5、测量功能的重复性的校准

- 5.1 直流电压测量 5V 的重复性为 V。
- 5.2 直流电流测量 20mA 的重复性为 mA。
- 5.3 直流电阻测量 100 $\Omega$ 的重复性为  $\Omega$ 。

## 测量结果的不确定度

The uncertainty of measurement results

输出 DC100mV:  $U_{rel} =$  DC20mA:  $U_{rel} =$   
 400 $\Omega$ :  $U_{rel} =$  50000Hz:  $U_{rel} =$   
 KTC1300 $^{\circ}\text{C}$ :  $U =$  Pt100RTD800 $^{\circ}\text{C}$ :  $U =$   
 测量 DC5V:  $U_{rel} =$  DC20mA:  $U_{rel} =$   
 400 $\Omega$ :  $U_{rel} =$  50000Hz:  $U_{rel} =$   
 KTC1300 $^{\circ}\text{C}$ :  $U =$  Pt100RTD800  $^{\circ}\text{C}$ :  $U =$   
 以上  $k=2$

## 附录 D

## 热电阻的微分电阻和热电偶的赛贝克系数

## D.1 热电阻的微分电阻

温度/℃	微分电阻/ (Ω/℃)	
	Pt100	Cu100
-200	0.432	—
-150	0.417	—
-100	0.405	—
-50	0.397	0.432
0	0.391	0.429
50	0.385	0.428
100	0.379	0.428
150	0.374	0.431
200	0.368	—
250	0.362	—
300	0.356	—
350	0.350	—
400	0.345	—
450	0.339	—
500	0.333	—
600	0.322	—
700	0.310	—
800	0.298	—
850	0.293	—

注：微分电阻  $dR/dt$  根据 JB/T 8622-1997、JB/T 8623-1997 中相关公式导出。

## D.2 热电阻的微分电阻

温度/℃	塞贝克系数/ ( $\mu\text{V}/\text{℃}$ )							
	S	R	B	K	N	E	J	T
-250	—	—	—	—	—	—	—	6.34
-200	—	—	—	—	—	—	—	15.74
-150	—	—	—	—	—	36.23	33.13	22.32
-100	—	—	—	30.49	20.92	45.17	41.09	28.39
-50	—	—	—	35.80	24.34	52.82	46.62	33.89
0	5.40	5.29	-0.25	39.45	26.16	58.67	50.38	38.75
10	5.65	5.65	-0.13	39.91	26.26	59.57	50.97	39.47
20	5.88	5.82	-0.01	40.33	26.60	60.49	51.50	40.27
30	6.10	6.06	0.10	40.69	26.97	61.41	51.33	41.11
40	6.31	6.30	0.22	41.00	27.34	62.33	52.44	41.96
50	6.50	6.52	0.33	41.25	27.72	63.24	52.85	42.82
100	7.34	7.48	0.90	41.37	29.64	67.52	54.36	46.78
200	8.46	8.84	1.99	39.97	32.99	74.03	55.51	53.15
300	9.13	9.74	3.05	41.45	35.42	77.91	55.35	58.09
400	9.57	10.37	4.06	42.24	37.13	80.06	55.15	61.80
500	9.90	10.89	5.04	42.63	38.27	80.93	55.99	—
600	10.21	11.36	5.96	42.51	38.96	80.66	58.49	—
700	10.53	11.83	6.81	41.90	39.26	79.65	62.15	—
800	10.87	12.31	7.64	41.00	39.29	78.43	64.63	—
900	11.21	12.79	8.41	40.00	39.04	76.83	62.44	—
1 000	11.54	13.23	9.12	38.98	38.61	75.16	59.26	—
1 200	12.03	13.92	10.36	36.49	37.19	—	57.24	—
1 300	12.13	14.08	10.87	34.93	36.01	—	—	—
1 400	12.13	14.13	11.28	—	—	—	—	—
1 600	11.85	13.88	11.69	—	—	—	—	—
1 800	—	—	11.48	—	—	—	—	—

注：塞贝克系数  $dE/dt$  根据 GB/T 16839.1-1997 中相关公式导出。

# 吉林省地方计量技术规范

## 热工仪表校验仪校准规范

JJF(吉)31—2021

吉林省市场监督管理厅发布

\*

版权所有 不得翻印

297 mm×210 mm A4 纸

2021年9月第1版 2021年9月第1次印刷