

JJF（有色金属）XXX—XXXX

中华人民共和国工业和信息化部

有色金属计量技术规范

中国人民共和国工业和信息化部发布

202X-XX-XX实施

202X-XX-XX发布

叉式热电偶校准规范

Calibration Specification for Fork-type Thermocouples

（审定稿）



叉式热电偶校准规范

Calibration Specification

For Fork-type Thermocouples

**JJF（有色金属）XXX-XXXX**

归 口 单 位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西南铝业（集团）有限责任公司

参加起草单位：XXX

XXX

XXX

XXX

XXX

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

XXX（XXX）

XXX（XXX）

XXX（XXX）

目 录

[引 言 （II](#_Toc12572)）

[1 范围 （1](#_Toc30813)）

[2 引用文件 （1](#_Toc26506)）

[3 概述 （1](#_Toc8871)）

[4 计量特性 （1](#_Toc4376)）

[4.1 热电偶的热电动势和温度示值偏差 （1](#_Toc31069)）

[5 校准条件 （2](#_Toc11510)）

[5.1 环境条件 （2](#_Toc30563)）

[5.2 测量标准及其他设备 （2](#_Toc10531)）

[6 校准项目和校准方法 （3](#_Toc24253)）

[6.1 校准项目 （3](#_Toc9099)）

[6.2 校准方法 （3](#_Toc4539)）

[6.3 数据处理 （5](#_Toc2318)）

[7 校准结果表达 （7](#_Toc13922)）

[8 复校时间间隔 （7](#_Toc10674)）

[附录A](#_Toc32329) [热电偶校准记录参考格式 （9](#_Toc21404)）

[附录B](#_Toc32330) [热电偶校准证书内页参考格式 （11](#_Toc21114)）

[附录C](#_Toc7341) [热电动势和温度示值偏差测量不确定度评定示例 （12](#_Toc24447)）

引 言

本规范是以国家计量技术规范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》为基础性系列规范进行编写的。

本规范为首次发布。

叉式热电偶校准规范

1. 范围

本规范适用于测量范围（-40～1000）℃，长度不小于 300 mm，镍铬-镍硅（K型）、镍铬硅-镍硅镁(N型)、镍铬-铜镍（E型）、铁-铜镍（J型）廉金属叉式热电偶的校准。其他类型的叉式热电偶也可参照本规范进行校准。

1. 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1637-2017 廉金属热电偶校准规范

GB/T4989-2013 热电偶用补偿导线

GB/T16839.1-2018 热电偶：电动势规范和允差

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。

1. 概述

叉式热电偶是两种不同材料的导体基于塞贝克效应及中间导体定律制成的温度计，主要用于测量金属的表面温度。两种不同材料的导体称为叉式热电偶的两个电极，其两个电极的一端与被测温金属表面紧密接触在一起形成一个测量端；另一端为参考端，测量时与测温仪相接，其工作示意图见图1。

1

2

3

4

图1 叉式热电偶工作示意图

1—测温仪；2—补偿导线；3—叉式热电偶电极；4—被测温金属。

1. 计量特性
   1. 热电偶的热电动势和温度示值偏差

热电偶的热电动势表征其热电特性。当热电偶参考端为0℃时，热电动势与温度的关系应符合 GB/T16839.1。

在一定的温度范围内，被校热电偶的温度示值偏差符合表1的要求。

表 1 叉式热电偶允许偏差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 分度号 | 适用温度范围及其允许偏差 |
| 镍铬-镍硅热电偶 | K | （-40~+333）℃，  ±3 ℃；  （333~1000）℃，  ±（0.0075·|t|+0.5 ℃） |
| 镍铬硅-镍硅镁热电偶 | N |
| 镍铬-铜镍热电偶 | E | （-40~+333）℃，  ±3 ℃；  （333~900）℃，  ±（0.0075·|t|+0.5 ℃） |
| 铁-铜镍热电偶 | J | （-40~+333）℃，  ±3 ℃；  （333~750）℃，  ±（0.0075·|t|+0.5 ℃） |

1. 校准条件
   1. 环境条件

电测设备工作的环境温度和相对湿度应符合相应规定的要求；恒温设备工作的环境 应无影响校准的气流扰动和外电磁场的干扰。

* 1. 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备的技术要求可从表2中选择。

表2 测量标准及其他设备技术要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测量标准或设备 | 技术要求 | 用途 | 备注 |
| 1 | 标准铂铑 10-铂热电偶 | 300 ℃以上：二等 | 校准300 ℃以上时作为测量标准 | —— |
| 2 | 标准铂电阻温度计 | ( -189.3442~+419.527) ℃：二等 | 校准300 ℃以下时作为测量标准 | —— |
| 3 | 电测仪器 | 准确度等级不低于0.02级、分辨力不低于1 μV | 校准被校热电偶时，测量热电动势 | —— |
| 准确度等级不低于0.02级、分辨力不低于0.1 mΩ | 测量二等标准铂电阻温度计的电阻值 | —— |

表2（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测量标准或设备 | 技术要求 | 用途 | 备注 |
| 4 | 恒温设备 | ( -40~+300) ℃  在有效工作区域内任意两点温差不大于0.1 ℃ | 提供恒定的均匀温场 | 根据不同的校准温度范围，可选择与其相对应满足该技术要求的恒温设备，比如干体炉、盐浴槽、干粉槽等 |
| 300 ℃以上  导电均温块表面任意两点的温差绝对值不大于0.5 ℃ |
| 5 | 多点转换开关 | 各路寄生电势及各路寄生电势之差均不大于0.5μV | 切换各路的热电动势 | —— |
| 6 | 参考端恒温器 | 恒温器深度应不小于200 mm，工作区域温度变化为（0±0.1）℃ | 为参考端提供0 ℃的恒 温场 | 可用满足要求的其他设备 |
| 7 | 补偿导线 | 使用符合GB/T4989-2013的精密级补偿导线 | 将被校热电偶信号输出端引至参考端恒温器 | —— |
| 8 | 导电均温块 | 表面应平整、未氧化，在校准温度下不发生形变，导热性能好 | 均温，与叉式热电偶工作端两电极接触，形成电路回路 | —— |

1. 校准项目和校准方法
   1. 校准项目

热电偶的热电动势和温度示值偏差。

* 1. 校准方法
     1. 准备工作

在校准前需检查导电均温块的表面状况，均温块表面应平整、无污染物、未氧化。如图2，将被校热电偶安装到热电偶固定装置上，使被校热电偶测量端与均温块表面紧密接触，若采用管式炉作为恒温设备，可参照图3安装被校热电偶。

1

2

5

4

3

图2 叉式热电偶安装示意图

1—热电偶固定装置；2—叉式热电偶；3—导电均温块；4—恒温设备；5—标准铂电阻

1

1

2

3

4

5

6

图3 管式炉叉式热电偶安装示意图

1—导电均温块固定装置；2—导电均温块；3—管式炉；4—叉式热电偶；

5—叉式热电偶固定装置；6—标准热电偶。

* + 1. 校准温度点

在被校热电偶使用温度范围内，至少校准三个温度点，通常选取被校热电偶使用范围的最高、最低温度点和中间点。也可根据用户要求选择校准点。

* + 1. 参考端的连接方法

将剥去绝缘层的铜导线一端与被校热电偶参考端连接，置入装有酒精或变压器油的玻璃试管内，再均匀地插入参考端恒温器内。如果被校热电偶电极信号输出端无法插入参考端恒温器内，可用补偿导线（约500 mm）的一端与其连接，另一端与铜导线连接后，置入装有酒精或变压器油的玻璃试管内，再均匀地插入参考端恒温器内。标准热电偶参考端与铜导线的一端连接后，也插入参考端恒温器。插入深度均不小于150 mm。铜导线的另一端通过转换开关与电测仪器连接。

注:连接用导线应使用同一卷铜导线。

* + 1. 300℃以下温区被校热电偶的校准

采用比较法，将被校热电偶与测量标准进行比较。

见图2，将被校热电偶与测量标准置于恒温设备中，测量标准感温点与被校热电偶测量端置于有效工作区域的同一水平位置，插入深度应不小于200 mm。被校热电偶参考端的连接，按6.2.3的方法操作。当测量标准温度偏离校准温度点±1 ℃以内，温度变化每分钟不超过0.1 ℃时开始读数，读数顺序为：

标准热电偶→被校热电偶1→被校热电偶2→被校热电偶3→ … →被校热电偶*n*

↓

标准热电偶←被校热电偶1←被校热电偶2←被校热电偶3← … ←被校热电偶*n*

每支热电偶的读数不少于4次，在每一校准温度点的整个读数过程，温度的变化不得大于0.2 ℃。

* + 1. 300 ℃以上温区被校热电偶的校准

采用比较法，将被校热电偶与测量标准进行比较。

将标准热电偶套上保护管，插入恒温设备内与导电均温块表面接触，使其测量端与被校热电偶的测量端处于同一个径向截面上。炉口处用绝缘耐火材料封堵。被校热电偶参考端的连接按6.2.3的方法操作。

校准应由低温向高温逐点升温进行，当测量标准温度偏离校准温度点±5 ℃以内，温度变化每分钟不超过0.2 ℃时开始读数。读数顺序按6.2.4进行，每支热电偶的读数不少于4次，在每一校准温度点的整个读数过程，温度的变化不得大于0.5 ℃。

* 1. 数据处理
     1. 被校热电偶热电动势计算公式：

 （1）

其中：  （2）

式中：

——被校热电偶在某校准温度点的热电动势值，mV；

 ——被校热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV；

 ——被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势，mV/℃；

 ——校准温度点与实际温度的差值，℃；

 ——补偿导线修正值，mV；

 ——校准温度点，℃；

 ——测量标准测得的实际温度，℃（实际温度=测量标准读数平均值+修正值)。

* + 1. 标准热电偶作测量标准校准时，被校热电偶热电动势计算公式：

 （3）

式中：

 ——标准热电偶证书上某校准温度点的热电动势值，mV；

 ——标准热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV；

、——分别表示标准、被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势， mV/℃；

、、见6.3.1。

* + 1. 标准铂电阻温度计作测量标准校准时，被校热电偶热电动势计算公式：

 （4）

其中： 

式中：

 ——校准温度点；

 ——温度*t*时的电阻比；

 ——标准铂电阻温度计在温度t时，测得电阻的算术平均值，Ω；

 ——标准铂电阻温度计在水三相点的电阻值，Ω；

，——由标准铂电阻温度计分度表给出的温度对应的电阻比和电阻比随温度的变化率，℃-1；

、、、见6.3.1。

* + 1. 被校热电偶热电动势偏差计算公式：

 (5)

式中：

——被校热电偶热电动势偏差， mV；

——被校热电偶分度表上查得的某校准温度点的热电动势值，mV；

见6.3.1。

* + 1. 被校热电偶温度示值偏差计算公式：

 （6）

式中：

——某校准温度点的热电动势偏差除以微分热电动势，℃；

见6.3.1，见6.3.5。

用不同测量标准进行校准时，计算示例见JJF 1637-2017附录B。

1. 校准结果表达

经校准的油膜测厚仪出具校准证书，校准原始记录参考格式见附录A，校准证书（报告）参考格式见附录B。校准结果应在校准证书上反应，校准证书应至少包括以下信息：

1. 标题：“校准证书”；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如与实验室的地址不同）；
4. 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
5. 客户的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识；
7. 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；
8. 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
9. 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
10. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
11. 校准环境的描述；
12. 校准结果及测量不确定度的说明；
13. 对校准规范的偏离的说明；
14. 校准证书签发人的签名或等效标识；
15. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
16. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。
17. 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般不超过6个月。送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A

热电偶校准记录参考格式

记录编号 :

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量标准及主要配套设备 | | 仪器名称 | 型号  规格 | 出厂  编号 | 不确定度/准确度等级 | 证书号 | 有效日期 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 校准依据： | | | | | | | |
| 校准地点： | | | | | 室温 ℃ ， 相对湿度 % | | |
| 委托单位 | | |  |  |  |  |  |
| 型号 | | |  |  |  |  |  |
| 制造单位 | | |  |  |  |  |  |
| 出厂编号 | | |  |  |  |  |  |
| 证书编号 | | |  |  |  |  |  |
| 读数顺序 | | 标准热电偶读数/mV | 被校热电偶热电动势/mV | | | | |
| 标准热电偶证书值 e标证= mV 校准温度点： ℃ | | | | |
| 1 | |  |  |  |  |  |  |
| 2 | |  |  |  |  |  |  |
| 3 | |  |  |  |  |  |  |
| 4 | |  |  |  |  |  |  |
| 平均值 | |  |  |  |  |  |  |
| 差 值 | Δt校 /℃ |  |  |  |  |  |  |
| S被· Δt校 |  |
| e被（t） | |  |  |  |  |  |  |
| Δe被 | |  |  |  |  |  |  |
| Δt被 /℃ | |  |  |  |  |  |  |
| 扩展不确定度 *U*/℃ | | |  |  |  |  |  |
| ︙ | | | ︙ | ︙ | ︙ | ︙ | ︙ |
| 读数顺序 | | 标准热电偶 读数/mV | 标准热电偶证书值e标证= mV 校准温度点： ℃ | | | | |
| 1 | |  |  |  |  |  |  |
| 2 | |  |  |  |  |  |  |
| 3 | |  |  |  |  |  |  |
| 4 | |  |  |  |  |  |  |
| 平均值 | |  |  |  |  |  |  |
| 差 值 | Δt校 /℃ |  |  |  |  |  |  |
| S被· Δt校 |  |
| e被（t） | |  |  |  |  |  |  |
| Δe被 | |  |  |  |  |  |  |
| Δt被 /℃ | |  |  |  |  |  |  |
| 扩展不确定度 *U*/℃ | | |  |  |  |  |  |
| 外观检查 | | |  |  |  |  |  |

附录B

## 热电偶校准证书内页参考格式

**校准结果**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准温度点  ℃ | 热电动势  mV | 温度示值偏差  ℃ | 扩展不确定度  *U*（*k*=2）/℃ |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 注：热电偶参考端温度为 0 ℃ 。 | | | |

以下空白

附录C

热电动势和温度示值偏差测量不确定度评定示例

C.1 概述

本次评定是对叉式热电偶热电动势和温度示值偏差校准结果的不确定度评定，本评定方法遵循JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。

C.1.1 测量标准

测量标准技术指标如表C.1所示。

表C.1 测量标准技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 测量标准或设备 | 主要技术指标 |
| 1 | 标准铂铑10-铂热电偶 | 300 ℃以上：二等 |
| 2 | 标准铂电阻温度计 | (-196~+419.527) ℃：二等 |
| 3 | 数字多用表 | 安捷伦34420A，最大允许误差：±(40×10-6读数+4×10-6量程) |

C.1.2 被校对象

K型叉式热电偶。

C.1.3 校准方法

采用比较法中的双极法，将被校热电偶安装在热电偶固定装置上，使被校热电偶测量端与导电均温块紧密接触，放入管式炉内，将二等标准铂铑10-铂热电偶 (以下简称标准热电偶)套上保护管，插入管式炉内至导电均温块表面进行比较，测量标准热电偶和被校热电偶的热电动势。

C.2 测量模型

被校热电偶在校准温度点上 (参考端为 0.0℃时) 的测量模型：

 （C.1）

式中：

 — 被校热电偶在某校准温度点的热电动势值，mV；

— 被校热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算术平均值，mV；

—标准热电偶证书上某校准温度点的热电动势值，mV；

—标准热电偶在某校准温度点附近， 测得的热电动势算术平均值，mV；

、 — 分别为标准热电偶、被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势，μV/℃；

— 补偿导线修正值，mV。

C.2.1 不确定度传播公式

测量模型中各个输入量的不确定度相互独立，根据不确定度传播律:



其中，灵敏系数:



C.3 测量不确定度的来源分析

被校热电偶输入量引入的标准不确定度，其来源有被校热电偶的重复性测量、电测仪器测量误差、炉内导电均温块径向温场的不均匀性、炉温的波动、转换开关接触电势、参考端温度不等于0℃、补偿导线。标准热电偶引入的不确定度，其来源有整百摄氏度点和输入量重复性测量等。

C.4 测量不确定度评定

C.4.1 被校热电偶重复测量引入的标准不确定度

用二等标准热电偶对被校热电偶 (以热电偶K型在校准温度点400℃)进行测量，测得5组每组10个重复性测量数据，用A类方法进行评定，合并样本标准偏差为:



实际测量以4次测量值的平均值作为测量结果，故。

C.4.2 电测仪器测量被校热电偶引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

电测仪器测量被校热电偶使用的数字表为安捷伦34420A，其测量值的误差按一年内的准确度±(40×10-6读数+4×10-6量程)计算，量程100mV，对应校准点读数取16.468mV，经计算误差为±1.06μV。按均匀分布考虑，包含因子*k*=，半宽为1.06μV。则标准不确定度为：



C.4.3 导电均温块径向温场不均匀引入的标准不确定度 ，用B类方法进行评定

校准时，由于炉内放置的金属均温块径向温场不均匀，经测试最大差值为 0.20℃，换算成热电势值为8.45μV。温场不均匀会导至叉式热电偶的两个电极所处的温度不一样，以及被校热电偶与标准热电偶所处的温度不一样，按均匀分布考虑，包含因子*k*=，取半宽为4.22μV。则标准不确定度为:



C.4.4 炉温波动引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

测量时，标准热电偶测得温场实际变化不超过1.0μV，以微分电势9.567μV/℃计算(相当于0.10℃)，再以微分电势 2.24μV/℃计算，带来的误差为4.22μV。按均匀分布考虑，包含因子*k*=，取半宽为2.11μV，则标准不确定度为：



C.4.5 转换开关寄生电势引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

转换开关各路之间最大寄生电势之差不大于0.5μV，按均匀分布考虑，包含因子*k*=，半宽为0.5μV，则标准不确定度为：



C.4.6 参考端温差引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

经测量参考端不为0℃，误差为0.05℃，以微分电势39.45μV/℃计算，换算成热电势值为1.97μV。按均匀分布考虑，包含因子*k*=，则标准不确定度为：



由于输入量彼此之间相互独立，则：



C.4.7 标准热电偶整百摄氏度引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

标准热电偶在400℃校准温度点标准不确定度为：



C.4.8 标准热电偶输入量引入的标准不确定度，用A类方法进行评定

输入量的标准不确定度，二等标准热电偶测得5组每组10个重复性测量数据，用A类方法进行评定，合并样本标准偏差为：



实际测量以4次测量值的平均值作为测量结果，故：



C.4.9 补偿导线引入的标准不确定度，用B类方法进行评定

经测量，K型补偿导线在30℃时，误差±0.2℃(±8.45μV) ，按均匀分布考虑， 包含因子*k*=，半宽为 8.45μV，则标准不确定度为



C.4.10 标准不确定度分量汇总表

热电偶(K型)在 400℃标准不确定度分量汇总表见表C4.1所示：

表C4.1 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度的来源 | | 类别 | 标准不确定度/μV | 灵敏系数 |
| 1 |  | 输入量带来的不确定度 |  | 3.96 | 1 |
| 1.1 |  | 重复测量 | A | 0.68 |
| 1.2 |  | 电测仪器 | B | 0.62 |

表C4.1（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度的来源 | | 类别 | 标准不确定度/μV | 灵敏系数 |
| 1.3 |  | 径向温场不均匀 | B | 3.45 | 1 |
| 1.4 |  | 炉温波动 | B | 1.22 |
| 1.5 |  | 转换开关寄生电势 | B | 0.29 |
| 1.6 |  | 参考端不等于0℃ | B | 1.14 |
| 2 |  | 标准热电偶带来的不确定度 | B | 3.63 | 4.41 |
| 3 |  | 输入量重复测量 | A | 0.41 | -4.41 |
| 4 |  | 补偿导线 | B | 4.88 | 1 |

C.4.11 合成标准不确定度的计算

输入量、、和之间相互独立，则合成标准不确定度为：



C.4.12 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度：

**

在400℃时，K型热电偶的微分热电势值*S*被=42.2μV/℃，因此：

校准点为400℃时



C.5 用标准铂电阻温度计作测量标准的不确定度评定

C.5.1 热电偶(K型)在 300℃标准不确定度分量汇总表见表C4.2所示：

表C4.2 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度的来源 | | 类别 | 标准不确定度/℃ | 灵敏系数 |
| 1 |  | 被校热电偶重复测量 | A | 0.003 | 1 |
| 2 |  | 电测仪器 | B | 0.019 |
| 3 |  | 恒温槽温场不均匀 | B | 0.012 |
| 4 |  | 恒温槽温度波动 | B | 0.012 |
| 5 |  | 转换开关寄生电势 | B | 0.010 |
| 6 |  | 参考端不等于0℃ | B | 0.050 |

表C4.2（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度的来源 | | 类别 | 标准不确定度/℃ | 灵敏系数 |
| 7 |  | 测量标准修正值 | B | 0.003 | 1 |
| 8 |  | 测量标准重复测量 | A | 0.001 | 1 |
| 9 |  | 补偿导线 | B | 0.120 | 1 |

C.5.2 合成标准不确定度的计算

输入量彼此之间相互独立，则合成标准不确定度为：



C.5.3 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度：

**

因此，校准点为300℃时

