

黑龙江省地方计量技术规范

 JJF（黑）XX—2023

热电偶用补偿导线校准规范

Calibration Specification for Thermocouples

 Compensating Cables

 （公示稿）

2023-XX-XX发布 2023-XX-XX实施

黑龙江省市场监督管理局 发 布

热电偶用补偿导线校准规范

JJF（黑）xx—2023

Calibration Specification for

Thermocouples Compensating Cables

归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：齐齐哈尔市检验检测中心

本规范委托齐齐哈尔市检验检测中心负责解释

本规范主要起草人：

张宏宇（齐齐哈尔市检验检测中心）

 汤 磊（中国计量科学研究院）

 刘 聪（齐齐哈尔市检验检测中心）

 朱文静（齐齐哈尔市检验检测中心）

 吕 妍（黑龙江省计量检定测试研究院）

 于海南（伊春市检验检测中心）

 黄湘龙（齐齐哈尔市检验检测中心）

参加起草人：

詹 扬（齐齐哈尔市检验检测中心）

 付 佳（齐齐哈尔市检验检测中心）

 王 麒（伊春市检验检测中心）

目 录

引言 （Ⅱ）

1 范围 （1）

2 引用文件 （1）

3 术语 （1）

3.1 热电偶用补偿导线 （1）

4 概述 （1）

5 计量特性 （2）

6 通用技术要求 （2）

6.1 外观 （2）

7 校准条件 （3）

7.1 环境条件 （3）

7.2 测量标准及其他设备 （3）

8 校准项目和校准方法 （3）

8.1 校准项目 （3）

8.2 校准方法 （4）

9 数据处理 （5）

9.1 被校补偿导线各校准温度点的热电动势值计算公式： （5）

9.2 被校补偿导线各校准温度点的温度示值误差计算公式： （6）

10 校准结果表达 （6）

11 复校时间间隔 （6）

附录A K、N、E、J、T热电偶用补偿导线参考函数 （7）

附录B 热电偶用补偿导线示值误差计算示例 （8）

附录C 热电偶用补偿导线校准原始记录参考格式 （9）

附录D 热电偶用补偿导线校准证书内页参考格式 （10）

附录E 热电偶用补偿导线示值误差的不确定度评定示例 （11）

引 言

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》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

热电偶用补偿导线校准规范

1 范围

本校准方法适用于温度范围为（-25～200）℃，长度不小于1000 mm的热电偶用补偿导线的校准。

2 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

JJF 1991-2022 短型廉金属热电偶校准规范

GB/T 4989-2013 热电偶用补偿导线

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 术语

3.1 热电偶用补偿导线 extension and compensating cables for thermocouples

 在一定温度范围内（包括常温）具有与所匹配的热电偶的热电动势的标称值相同的一对带有绝缘层的导线，用于连接被校热电偶与测量装置，以补偿其与热电偶连接处的温度变化所产生的误差。

补偿导线分为延长型和补偿型两种，延长型补偿导线在热电偶分度号后附加字母“X”表示；补偿型补偿导线在热电偶分度号后附加字母“C”表示。

4 概述

补偿导线按热电特性的允差可分为精密级和普通级两种。按使用温度范围可分为一般用普通级（标识为G）和耐热用普通级（标识为H）两种。按线芯型式可分为单股线芯和多股线芯（软线）两种。

廉金属热电偶的分度号主要有K、N、E、J、T五种类型，其对应的热电偶用补偿导线主要分为KC、KX、NC、NX、EX、JX、TX七种类型。各型号补偿导线适用温度范围及电极材质成分见表1。

表1 补偿导线适用温度范围及电极材质成分

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 适用温度范围℃ | 使用分类 | 配用热电偶 | 电极成分 |
| 正极 | 负级 |
| KC | KCA | 0~100 | G | K | KPCA（铁） | KNCA（铜镍22） |
| KCA | 0~200 | H | K | KPCA（铁） | KNCA（铜镍22） |
| KCB | 0~100 | G | K | KPCA（铁） | KNCA（铜镍22） |
| KX | -20~100 | G | K | KPX（镍铬10） | KPX（镍硅3） |
| KX | -25~200 | H | K | KPX（镍铬10） | KPX（镍硅3） |
| NC | 0~100 | G | N | NPC（铁） | NPC（铜镍18） |
| NC | 0~200 | H | N | NPC（铁） | NPC（铜镍18） |
| NX | -20~100 | G | N | NPX（镍铬14硅） | NPX（镍硅4镁） |
| NX | -25~200 | H | N | NPX（镍铬14硅） | NPX（镍硅4镁） |
| EX | -20~100 | G | E | EPX（镍铬10） | EPX（铜镍45） |
| EX | -25~200 | H | E | EPX（镍铬10） | EPX（铜镍45） |
| JX | -20~100 | G | J | JPX（铁） | JPX（铜镍45） |
| JX | -25~200 | H | J | JPX（铁） | JPX（铜镍45） |
| TX | -20~100 | G | T | TPX（铜） | TPX（铜镍45） |
| TX | -25~200 | H | T | TPX（铜） | TPX（铜镍45） |

注：使用分类标识为G，是一般用普通级；标识为H，是耐热用普通级。

5 计量特性

5.1 温度示值误差

热电偶用补偿导线在适用温度范围内，（0～70） ℃最大允许误差应不超过±0.2 ℃，其他适用温度范围应不超过±0.3 ℃。

注：以上计量特性要求仅供参考，不作为判定依据。

6 通用技术要求

6.1 外观

补偿导线的结构通常应包含线芯、绝缘层、护套或加屏蔽层、信息标识。线芯及绝缘层表面应色泽均匀，电极平整，电极应无明显氧化，无机械损伤。补偿导线应有制造厂名，型号规格，使用温度范围等信息标识，信息要清晰牢固。

7 校准条件

7.1 环境条件

环境温度：（15~35）℃，相对湿度：（15~85）%。

周围除地磁场外，应无影响校准的气流扰动和外电磁场的干扰。

7.2 测量标准及其他设备

7.2.1 测量标准见表2，也可用扩展不确定度满足要求的其他测量标准。

表2 测量标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 仪器设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 标准铂电阻温度计 | 二等 | 标准器 |

7.2.2 其他设备见表3。

表3 其他设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 仪器设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 恒温设备 | 有效工作区域任意两点温差小于0.2 ℃，温度波动度±0.01 ℃/10min。 | 提供恒定的均匀温场 |
| 2 | 电测仪器 | MPE:±0.02 %分辨力不低于1 μV。 | 测量补偿导线的热电动势 |
| MPE:±0.02 %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 |
| 3 | 多通道转换开关 | 各路杂散电势及各路杂散电势之差均不大于0.5 μV。 | 测量过程中各通道的切换 |
| 4 | 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 ℃的有效恒温环境 |
| 5 | 热电偶测量端焊接设备 | — | 焊接补偿导线测量端 |
| 6 | 金属直尺 | 量程不小于1000 mm | 测量补偿导线长度 |

8 校准项目和校准方法

8.1 校准项目

热电偶用补偿导线的示值误差。

8.2 校准方法

8.2.1 校准前检查

应对补偿导线外观结构及标识进行检查，各项应符合6.1的要求。

补偿导线正负电极长度均不小于1000 mm。

8.2.2 校准温度点

在测量温度范围内，参照表4至少选取3个校准温度点，也可以根据客户要求选择其他校准温度点。

表4 校准温度点的选择

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 温度范围/℃ | 校准温度点/℃ |
| G 一般用普通级 | （-20～100）℃ | （-20、0、20、50、100）℃ |
| H 耐热用普通级 | （-25～200）℃ | （-25、0、20、50、100、200）℃ |

8.2.3 测量端的连接方法

选择补偿导线一端，除去约10 mm的绝缘外皮，将两个电极裸露电极材料部分表面绝缘物清除，用热电偶焊接机将补偿导线的正负极焊接形成测量端，要求焊点牢固、呈球状、表面光滑、无气孔、无夹渣。

8.2.4 参考端的连接方法

将剥去绝缘层的铜导线一端与补偿导线正负极分别连接，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。参考端插入深度均不小于150 mm。在测量过程中插入深度应保持一致，铜导线的另一端通过转换开关与电测仪器连接。

8.2.5 补偿导线的校准

将补偿导线的测量端与测量标准置于恒温设备有效均匀温度场区域，且全部测量端感温点应保持在同一水平位置，插入深度应不小于200 mm。测量接线如图1所示。

****图1 补偿导线校准接线参考图

校准时，在校准度点恒温温槽温度要控制在±1 ℃以内，温度变化不超过0.1 ℃/min时（以测量标准示值作为依据）按顺序依次测量读数，读数顺序为：

标准→被校1→被校2→ … →被校n

↓

标准←被校1←被校2← … ←被校n

各温度点的校准次数应不少于4次（两个循环），读数前后，恒温槽内温度波动不大于0.2 ℃（以测量标准示值作为依据）。

9 数据处理

9.1 被校补偿导线各校准温度点的热电动势值计算公式：

 （1）

其中：

  （2）

式中：

——被校补偿导线在校准温度点的热电动势，mV；

——被校补偿导线在实际温度测得热电动势的算术平均值，mV；

——标准铂电阻温度计分度表给出的温度*tn*对应的电阻比；

——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，Ω；

——电阻比随温度的变化率，℃-1；

**——被校热电偶在校准温度点*t*的微分热电动势，μV/℃。

9.2 被校补偿导线各校准温度点的温度示值误差计算公式：

 （3）

10 校准结果表达

经校准的热电偶用补偿导线出具校准证书，校准记录及校准证书的结果页信息和格式参见附录C和附录D。

11 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定，因此送校单位可根据实际情况自主决定复校的时间间隔。

建议复校时间间隔最长不超过1年。

附录A

K、N、E、J、T热电偶用补偿导线参考函数

K、N、E、J、T分度号热电偶用补偿导线各校准温度点热电动势参考函数见表A.1。

表A.1 K、N、E、J、T热电偶用补偿导线热电动势参考函数表

|  |  |
| --- | --- |
| 校准点/℃ | 热电动势/μV |
| 分度号 |
| K | N | E | J | T |
| -40 | -1527 | -1023 | -2255 | -1961 | -1475 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 798 | 525 | 1192 | 1019 | 790 |
| 50 | 2023 | 1340 | 3048 | 2585 | 2036 |
| 100 | 4096 | 2774 | 6319 | 5269 | 4279 |
| 200 | 8138 | 5913 | 13421 | 10779 | 9288 |

K、N、E、J、T分度号热电偶用补偿导线各校准温度点热电动势率参考函数见表A.2。

表A.2 K、N、E、J、T热电偶用补偿导线微分热电动势率参考函数表

|  |  |
| --- | --- |
| 校准点/℃ | 微分热电动势μV/℃ |
| 分度号 |
| K | N | E | J | T |
| -40 | 36.7 | 24.8 | 53.9 | 47.5 | 34.9 |
| 0 | 39.5 | 25.9 | 58.7 | 50.4 | 38.7 |
| 20 | 40.3 | 26.6 | 60.5 | 51.5 | 40.3 |
| 50 | 41.2 | 27.7 | 63.2 | 52.8 | 42.8 |
| 100 | 41.4 | 29.6 | 67.5 | 54.4 | 46.8 |
| 200 | 40.0 | 33.0 | 74.0 | 55.5 | 53.1 |

附录B

热电偶用补偿导线示值误差计算示例

使用二等标准铂电阻温度计作为测量标准，在20 ℃校准温度点附近，对EX型一般用普通级补偿导线进行校准，校准时参考端为0 ℃。测的标准铂电阻温度计电阻的算术平均值为27.4859 Ω，被校补偿导线热电动势的算术平均值为1.178 mV，从标准铂电阻温度计检定证书中查得，水三相点的电阻值为25.4667 Ω，分度表给出为1.07948751，电阻比的变化率为0.00396422731 ℃-1；从分度表中查询得到被校补偿导线的热电动势值为1.192 mV，微分热电势值为60.5 μV/℃。计算在20 ℃时被校补偿导线热电动势值及示值误差。

20 ℃时，被校补偿导线热电动势值计算公式为：



**=1.181 mV

热电动势误差为：

******=**1.181-1.192=-0.011 mV

换算热电动势误差的等效温度值为：

 -0.27 ℃

附录C

# 热电偶用补偿导线校准原始记录参考格式

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量标准器信息 | 仪器名称 | 型号规格 | 出厂编号 | 准确度等级 | 溯源证书号 | 有效日期 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 校准依据： |  | 测量范围： |
| 校准地点： |  | 室温 ℃，相对湿度 % |
| 委托单位： |  |  |  |  |  |
| 型号规格： |  |  |  |  |  |
| 出厂编号： |  |  |  |  |  |
| 证书编号： |  |  |  |  |  |
| 校准温度点/℃ | 标准温度/℃ | 读数顺序 | 实测值/mV |
| 　 | 　 | 1 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 4 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 平均值（mV) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 微分电动势值（μV/℃) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 实际热电动势值（mV) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| *E*分(mV)  | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 温度示值误差（℃) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 扩展不确定度 *U/*℃，*k* =2 |  |  |  |  |  |
| … | … | … | … | … | … |
| 校准温度点/℃ | 标准温度/℃ | 读数顺序 | 实测值/mV |
| 　 | 　 | 1 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 4 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 平均值(mV) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 微分电动势值(μV/℃) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 实际热电动势值(mV) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| *E*分(mV)  | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 温度示值误差(℃) | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 扩展不确定度 *U/*℃，*k* =2 |  |  |  |  |  |
| 外观检查 |  |  |  |  |  |
| 校准员： |  | 核验员： |  |  校准日期： | 　 |

附录D

# 热电偶用补偿导线校准证书内页参考格式

校 准 结 果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准温度点t（℃） | 示值误差（℃） | 校准不确定度*U/*℃（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

注：校准时参考端温度为0 ℃。

以下空白

附录E

# 热电偶用补偿导线示值误差的不确定度评定示例

E.1 概述

使用二等标准铂电阻温度计作为测量标准，Agilent 34420A型数字多用表作为电测设备，采用比较法，在20 ℃校准温度点，对适用于K型热电偶用补偿导线进行校准工作。校准过程中环境温度为（15～35）℃，相对湿度（15～85）%，恒温设备所处的环境，无影响测量的气流扰动，测量计算后得到被校补偿导线的示值误差。

E.2 测量模型

  （E.1）

式中：

—被校补偿导线在校准温度点*t*的温度示值误差，℃；

—被校热电偶在校准温度点*t*的微分热电动势，μV/℃

—被校补偿导线在校准温度点*t*的热电动势，mV；

—被校补偿导线分度表上查得的校准温度点*t*的热电动势，mV；

E.3 合成标准不确定度

由于各不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度按式（E.2）计算：

  （E.2）

灵敏系数：

  （E.3）

  （E.4）

E.4 不确定度来源

输入量的标准不确定度的分量有：

E.4.1 补偿导线测量重复性引入的标准不确定度；

E.4.2 标准铂电阻测量重复性引入的标准不确定度；

E.4.3 电测设备引入的标准不确定度；

E.4.4 恒温槽温场不均匀引入的标准不确定度；

E.4.5 恒温槽温度波动度引入的标准不确定度；

E.4.6 转换开关杂散热电势引入的标准不确定度；

E.4.7 补偿导线参考端温差引入的标准不确定度分量。

输入量的标准不确定度的分量有：

E.4.8 输入量通过查询分度表得到，影响可忽略不计。

E.5 标准不确定度评定

E.5.1 补偿导线测量重复性引入的标准不确定度，用A类标准不确定度评定。

将补偿导线放入恒定恒温槽中，待示值稳定后，进行10次重复测量，用A类方法进行评定为：

  =0.0003 mV （E.5）

其他三组测量数据的实验标准差分别为 0.00052 mV,0.00046 mV, 0.00030 mV，则：

  mV （E.6）

**0.00021 mV

20 ℃时热电偶的微分电动势为40.3 μV/℃，换算成等效温度值为0.005 ℃。

E.5.2 二等标准铂电阻温度计引入的标准不确定度，用B类方法评定。

二等标准铂电阻温度计不确定度：0.01 ℃，*k*=2

 0.005 ℃

E.5.3 电测仪器测量补偿导线电动势值引入的标准不确定，用B 类方法进行评定。Agilent 34420A型数字多用表测量电动势值，用10 mV直流电压挡，根据年稳定性技术指标±（0.0050%×读数+0.0003） mV，按均匀分布，用最大值作为读数，则：

 MPE=±(0.0050%×0.798+0.0003)=±0.34 μV

换算成温度为0.0084 ℃，则

0.0049 ℃

E.5.4 恒温槽温场不均匀引入的标准不确定，用B 类方法进行评定。

标准铂电阻温度计和被检的补偿导线的感温部分的最大温差为0.02 ℃，则不确定度区间半宽为0.01 ℃，按均匀分布，则：

 0.0058 ℃

E.5.5 恒温槽温度波动度引入的标准不确定，用B 类方法进行评定。

恒温槽温度波动度±0.01 ℃/10min，则不确定度区间半宽为0.01 ℃，按均匀分布，则：

0.0058 ℃

E.5.6 转换开关杂散热电势引入的标准不确定度分量，用B 类方法评定。

 各通道之间最大寄生电势不大于0.5 μV。按均匀分布，则：

 0.29 μV

换算成等效温度值为0.007 ℃。

E.5.7 补偿导线参考端温差引入的标准不确定度分量，用B 类方法评定。

补偿导线各电极和测量导线的接点间相互温差不大于0.05 ℃，按均匀分布，则：

 0.03 ℃

E.5.8 校准温度点对应分度表查询的热电动势值引入的标准不确定度

此分量数值通过查询分度表得到，影响可忽略不计。

E.6 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表E.1。

表E.1 标准不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 符号 | 来源 | 类别 | 灵敏系数 | 分布形式 | 标准不确定度 分量/℃ |
|  |  | 补偿导线测量重复性 | A |  | 正态 | 0.005 |
|   | 二等标准铂电阻温度计 | B | 均匀 | 0.005 |
|   | 电测仪器测量补偿导线电动势值 | B | 均匀 | 0.0049 |
|   | 恒温槽温场不均匀 | B | 均匀 | 0.0058 |
|  | 恒温槽温度波动度 | B | 均匀 | 0.0058 |
|  | 转换开关杂散热电动势 | B | 均匀 | 0.007 |
|  | 补偿导线参考端温差 | B | 均匀 | 0.03 |
|  |  | 可忽略不计 | —— | - | —— | —— |

E.7 合成标准不确定度

** =

=0.033 ℃

E.8 校准结果的扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则补偿导线热电动势示值误差扩展不确定度为：

 *U*=×=0.07 ℃

校准结果的扩展不确定度表达式为：*U*=0.07 ℃，*k*=2。

JJF(黑)xx—2023