

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF1183—202X

温度变送器校准规范

Calibration Specification for Temperature Transmitters

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

国家质量监督检验检疫总局发布

温度变送器校准规范

Calibration Specification for Temperature Transmitters

JJF1183—XXXX
代替 JJF1183—2007

本规范经国家质量监督检验检疫总局××××年××月××日批准，并自××××年××月××日起施行。

归口单位： 全国温度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

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：

参加起草人：

目录

引 言.....	5
1 范围.....	6
2 引用文献.....	6
3 术语.....	6
4 概述.....	7
5 计量特性.....	8
5.1 测量误差.....	8
5.2 安全性能.....	8
6 校准条件.....	9
6.1 标准器及其他设备.....	9
6.2 环境条件.....	9
6.3 电源.....	10
7 校准项目和校准方法.....	10
7.1 校准项目.....	10
7.2 校准方法.....	11
7.3 绝缘电阻的测量.....	13
7.4 数据处理原则.....	13
8 校准结果表达.....	13

附录 A 温度变送器校准时的设备连接方式.....	14
附录 B 关于采用温度校准仪进行校准的要求.....	16
附录 C 校准记录格式.....	17
附录 D 校准报告内页参考格式.....	19
附录 E 不含传感器温度变送器测量结果的不确定度评定.....	20
附录 F 含传感器的温度变送器测量结果的不确定度评定.....	24
附录 G 数字温度变送器测量结果的不确定度评定.....	28

引 言

本规范是对 JJF1183-2007《温度变送器校准规范》的修订。

本次修订的依据是十多年来我国贯彻 JJF 1183-2007 的经验以及最新国家标准：GB/T 17614.1-2015《工业过程控制系统用变送器 第一部分：性能评定方法》、GB/T 17614.1-2018《工业过程控制系统用变送器 第三部分：智能变送器性能评定方法》。并参考了国际标准。IEC62828-1（2017）《工业和过程测量变送器试验的参考条件和程序第 1 部分：所有类型变送器的一般程序》（Reference conditions and procedures for testing industrial and process measurement transmitters- Part 1: General procedures for all types of transmitters）和 IEC62828-3（2018）《工业和过程测量变送器试验的参考条件和程序第 3 部分：温度变送器的具体程序》（Reference conditions and procedures for testing industrial and process measurement transmitters- Part 3: Specific procedures for temperature transmitters）。

与 JJF 1183-2007 相比，主要修订内容有：

——范围。按现行国家标准和 IEC62828-3 对适用范围作了补充，增加了输出为数字信号或模拟数字混合信号的温度变送器。

——引用文献。删去废止标准，调整为现行有效版本。

——概述。按国家标准修改了变送器的仪表模型，并进行相应阐述。删去了 DDZ 电动单元组合系列温度变送器的内容

——计量特性。删去测量误差准确度等级。删去了绝缘强度。

——校准条件。对校准用标准仪器及配套设备作适量调整、完善，并分为 2 个表格便于校准实验室参考。

——校准方法。以含温度传感器的变送器为主，不含温度传感器变送器为辅，对校

准程序进行叙述上的调整；不含温度传感器变送器的校准过程由 3 个循环调整为单行程操作，与最新 IEC62828-3（2018）相协调。增加数字信号温度变送器校准的叙述。

——删去原规范的附录 B

——增加增加含传感器的温度变送器的测量不确定度评定

——增加数字信号温度变送器的测量不确定度评定

本规范所替代的历次版本发布情况为：

——JJF 1183-2007

温度变送器校准规范

1 范围

本规范适用于温度传感器主要为热电阻或热电偶，输出为符合国家标准的模拟电信号及输出为数字信号或模拟数字混合信号的温度变送器（以下简称变送器）的校准。

2 引用文献

本规范引用下列文献：

GB/T16839.2-1997 热电偶 第 2 部分：允差

JJG 141-2013 工作用贵金属热电偶检定规程

JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻检定规程

JJF 1637-2017 工作用廉金属热电偶校准规范

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

智能温度变送器

基于数字电路及智能芯片的温度变送器，相对于传统的模拟温度变送器，具有输入

信号类型可调，量程可调等功能，输出信号一般为 4 mA ~ 20 mA 信号，带有叠加的 HART 协议或者用于现场总线协议的数字信号。

4 概述

温度变送器是一种将温度变量转换为可传送的标准化模拟或数字输出信号的仪表。其输出信号与温度变量之间有一个连续的函数关系（通常为线性函数），主要用于工业过程温度参数的测量和控制。

变送器按配置可分为智能变送器和一般变送器，最大配置时以基本模块组合的仪表模型如图 1 所示。变送器最小配置由两部分组成：温度传感器和信号转换器。温度传感器选择热电阻或热电偶；信号转换器由测量单元、数据处理单元和输出子系统组成；有些变送器增加了显示单元和人机接口以实现零点、量程等参数的调整；有些还具有外围系统接口（现场总线）功能。

变送器可以与温度传感器匹配，做到结构一体化，也可以分离，将温度传感器远程安装。当温度传感器采用工业热电阻或工业热电偶时，由于工业热电阻和工业热电偶是标准化的，各型号的分度表国际统一，因此变送器也可以是不含温度传感器且标识有传感器型号的信号转换器。

注：

1. 变送器的温度传感器也可以是非标准化的热电阻、热电偶；
2. 具有坚固防护功能外壳的现场安装变送器以及变送器集成在传感器头部接线盒内的（亦称传感器头变送器）均属于含温度传感器的变送器，亦称结构一体化的变送器；轨道安装及控制柜安装变送器属于不含温度传感器的变送器，如图 1 中的信号转换器便成为独立产品的变送器。

3. 变送器如果由两个用来测量温差的传感器组成时，输出信号与温差之间有一给定的连续函数关系，也称为温差变送器。

变送器可以有以下标准化输出信号：

- 4mA~20mA（或 1V~5V）模拟直流信号；
- 4mA ~ 20mA 直流信号，叠加 HART 协议的数字信号；
- 现场总线协议的数字信号。

不排除具有特殊规定的其他标准化输出信号。

变送器按供电的接线方式可分为二线制和四线制。

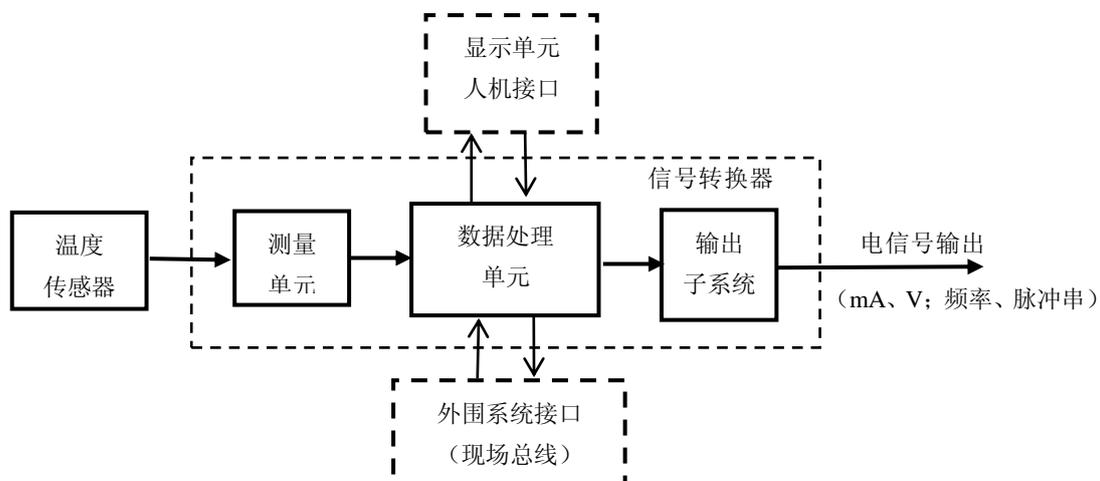


图1 温度变送器最大配置模型图

5 计量特性

5.1 测量误差

变送器的测量误差是将温度变量按约定函数转换成标准化电信号时产生的误差。

温度变送器测量误差可以用电信号或者温度值表示

注：本规范不对温度变送器测量误差进行准确度等级判定，如客户需要，其技术指标可参考产品说明书。

5.2 安全性能

5.2.1 绝缘电阻

在环境温度为 15℃~35℃,相对湿度为≤75%时,变送器各组端子(包括外壳)之间的绝缘电阻应不小于表1的规定。

表1 绝缘电阻的技术要求

试验部位	技术要求	说明
输入、输出端子短接—外壳	20 MΩ	适用于二线制变送器

电源端子—外壳	50 M Ω	适用于四线制变送器
输入、输出端子短接—电源端子	50 M Ω	
输入端子—输出端子	20 M Ω	只适用于输入、输出隔离的变送器

6 校准条件

6.1 标准器及其他设备

校准时所需的标准仪器及配套设备按被校变送器的类型可从表 2,表 3 中参考选择。选用的原则为：校准时由标准仪器及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校变送器最大允许误差绝对值的 1/3。

6.2 环境条件

- a) 环境温度 15℃~35℃；相对湿度 $\leq 75\%$ ；
- b) 除地磁场外，应无影响其正常工作的外磁场。

表 2 校准含传感器的温度变送器标准仪器及配套设备

变送器传感器类型	工业铂热电阻	工作用热电偶
标准器	二等及以上标准铂电阻温度计	二等及以上标准热电偶
标准器电测设备	相对误差不大于 5.0×10^{-5}	相对误差不大于 1.0×10^{-4} 分辨力不低于 0.1 μ V
恒温源	波动度 $\leq 0.04^\circ\text{C}$ 均匀度 $\leq 0.02^\circ\text{C}$	有效工作区域轴向 30mm 内,任意两点温差绝对值不大于 0.5°C ; 径向半径不小于 14mm 范围内,同一截面任意两点的温差绝对值不大于 0.25°C
输出信号电测设备	直流电流表 0mA~30mA, 相对误差不大于 5.0×10^{-4}	
	直流电压表 0V~5V、0V~50V, 相对误差不大于 5.0×10^{-4}	
	数据终端采集器 (过程校准仪或手持终端) 具有读取 HART 协议或者其他类型数字信号功能	
绝缘电阻测量	绝缘电阻表 直流电压 100V, 10 级	

表 3 校准不含传感器的温度变送器标准仪器及配套设备

变送器传感器类型	工业铂热电阻	工作用热电偶
标准器	直流电阻箱 相对误差不大于 2.0×10^{-4}	直流低电势电位差计 或标准直流电压源 相对误差不大于 5.0×10^{-4}
	温度校准仪 相对误差不大于 2.0×10^{-4} 室温补偿功能温度偏差不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$	
输出信号电测设备	直流电流表 0mA~30mA, 相对误差不大于 5.0×10^{-4}	
	直流电压表 0V~5V、0V~50V, 相对误差不大于 5.0×10^{-4}	
	数据终端采集器 (过程校准仪或手持终端) 具有读取 HART 协议或者其他类型数字信号功能	
绝缘电阻测量	绝缘电阻表 直流电压 100V, 10 级	
配套设备	/	补偿导线 经校准具有 $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 的修正值。
	/	0 $^\circ\text{C}$ 恒温器 温度偏差不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$

6.3 电源

变送器的工作电源：

——交流供电的变送器，其电压变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ 、频率变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ ；

——直流供电的变送器，其电压变化不超过额定值的 $\pm 1\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 校准项目为：测量误差。
- b) 安全检查项目为：绝缘电阻的测量。

7.2 校准方法

7.2.1 测量误差的校准

7.2.1.1 准备工作

a) 设备配置与连接。

含温度传感器的变送器，应将传感器插入温度源（恒温槽或热电偶检定炉）中，并尽可能靠近标准温度计。变送器的输出端与测量用标准器的连接见附录 A1、A2；

不含温度传感器的变送器，输入端与标准器的连接见附录 A3 及附录 B。

b) 通电预热。

变送器在进行校准前与标准器同时放置于校准环境中，应足够长的时间（通常不少于一小时），然后进行通电预热（通常不少于半小时）。

c) 校准前的调整。（调整须在委托方同意的情况下进行）

——不含温度传感器的变送器可以用改变输入信号的办法对相应的输出下限值和上限值进行调整，使其与理论的下限值和上限值相一致。

——对于输入量程可调的变送器，应在校准前根据委托者的要求将输入规格及量程调到规定值再进行上述调整。

——含温度传感器的变送器应将温度传感器与标准温度计置于同一温度源中，在上、下限温度状态时调整变送器的输出值，使其与理论的上、下限值相一致。

——温度传感器远程安装的变送器可以在断开传感器的情况下，按不含温度传感器的变送器对变送器进行上述调整，如测量结果仍不能满足委托者的要求时，还可以在恒温源中按含温度传感器的变送器重新调整。

——在测量过程中不允许调整零点和量程。

注：

1. 一般的变送器可以通过调整“零点”和“满量程”来完成调整。
2. 具有现场总线的变送器，必须按说明书的要求通过手操器（或适配器）分别调整输入部分及输出部分的“零点”和“满量程”来完成调整工作，同时应将变送器的阻尼值调整至最小。
3. 具有现场总线功能的变送器，在进行模拟信号输出的校准时应将现场总线功能关闭。

7.2.1.2 校准

校准点的选择：校准点的选择应按量程均匀分布，一般应包括上限值、下限值在内不少于 5 个点。

a) 含温度传感器的变送器校准。

测量顺序可以先从测量范围的下限温度开始，然后自下而上逐点进行测量直至上限。在每个校准点上，待温度源内的温度足够稳定后方可进行测量（一般不少于 30min）：应轮流对标准温度计的示值和变送器的输出（模拟或数字）进行读数（标准—被校 1—被校 2……被校 n—标准—被校 n……被校 2—被校 1—标准），如此三个循环。

模拟信号输出的变送器按式(1)计算测量误差：数字信号输出变送器按式（2）计算

$$\Delta_A = \overline{A_d} - \left[\frac{A_m}{t_m} (\bar{t} - t_0) + A_0 \right] \quad (1)$$

$$\Delta t = \bar{t} - t_s \quad (2)$$

式中： Δ_A ——模拟信号输出变送器各被校点的测量误差。mA 或 V

Δt ——数字信号输出变送器各被校点的测量误差。℃

$\overline{A_d}$ ——变送器被校点实际输出的平均值。mA 或 V

A_m ——变送器的输出量程。mA 或 V

t_m ——变送器的输入量程。℃

A_0 ——变送器输出的理论下限值。mA 或 V

\bar{t} ——变送器输出的平均温度值。℃

t_s ——标准温度计测得的温度值。℃

t_0 ——变送器输入范围的下限值。℃

b) 不含传感器的变送器校准。

应从下限开始平稳地输入各被校点对应的模拟电信号值，读取并记录各被校点对应的输出值直至上限，测量时在接近被校点时输入信号应足够慢，以避免过冲。如此只进行一个行程的测量即可。

注：在对热电偶输入的变送器（具有参考端温度自动补偿）进行校准时，各被校点的输入信号应为被校点对应的电量值减去补偿导线修正值。

测量误差仍按公式(1)计算。只是公式中的 \bar{t} 为模拟热电阻（或热电偶）输入信号对应

的温度值。

智能温度变送器在测量数字信号时，应该使用数据终端采集器（手持终端）直接读取数字信号输出的温度值或者其他测量结果（例如电流值等）。在数据终端采集器没有相应数字信号协议的情况下，可以用温度变送器显示单元的数据作为最后的测量结果。

7.2.1.3 测量结果的处理

测量误差可以用输出的单位表示，也可以用温度单位表示，或者以输入（或输出）的百分数表示。

由于变送器的输出通常都是温度的线性函数，它们之间的折算可以按式(3)进行：

$$\Delta_A = \frac{A_m}{t_m} \cdot \Delta_t \quad (3)$$

式中： Δ_A ——输出单位表示的误差。mA 或 V

Δ_t ——以输入的温度所表示的误差。℃

7.3 绝缘电阻的测量

断开变送器电源，用绝缘电阻表按表 2 规定的部位进行测量，测量时应稳定 5s 后读数。

7.4 数据处理原则

测量结果和误差计算过程中数据处理原则：温度变送器输出值为电信号的测量结果应该保留 3 位小数，输出值为温度值的测量结果保留 2 位小数。

在不确定度的计算过程中，为了避免修约误差，可以保留 2~3 位有效位数。但最终的扩展不确定度只能保留 1~2 位有效数字。测量结果是由多次测量的算术平均值给出，其末位应与扩展不确定度的有效位数对齐。

8 校准结果表达

校准报告至少应包括下列信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；

- 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) 送校单位的名称和地址；
- 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，以及签发日期；
- 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。

其中“校准结果及其测量不确定度的说明”中应给出每个被校点温度对应的输出平均值或折算成温度值（也可以用相应的误差形式出现），以及相应的扩展不确定度和包含因子，如各被校点的扩展不确定度相差不大，可以取最大的代替。

“校准环境的描述”中应包括环境温度、相对湿度和供电的状况；带传感器的变送器还应说明校准时保护套管的拆卸状态及升降温试验的说明。

附录 A 温度变送器校准时的设备连接方式

A1 模拟输出变送器输出部分的连接

A1.1 二线制温度变送器

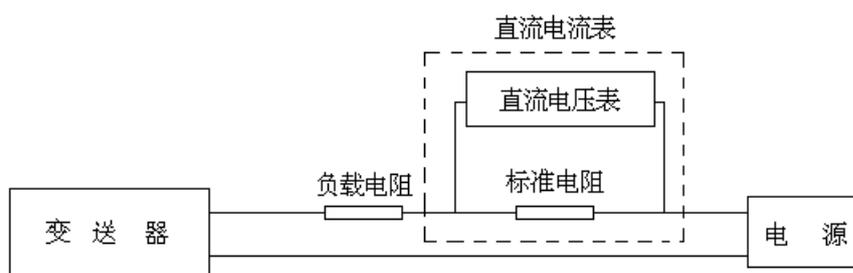


图 A1 二线制电动温度变送器输出部分的连接

A1.2 四线制温度变送器

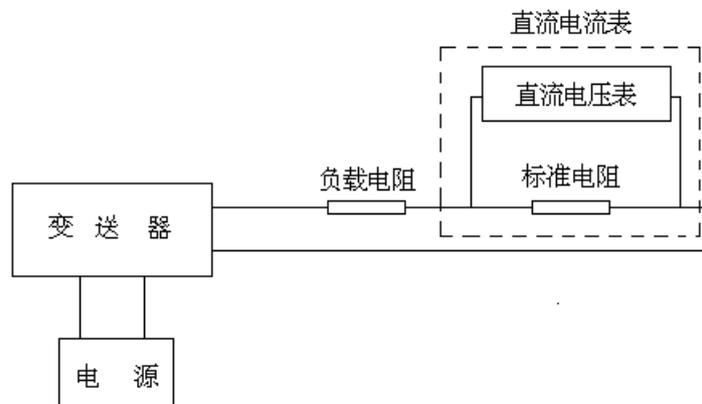


图 A2 四线制电动温度变送器输出部分的连接

A2 数字输出变送器输出部分的连接

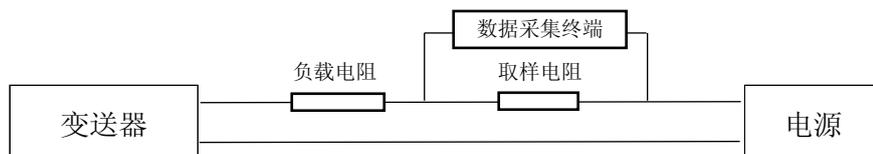


图 A3 数字信号变送器输出部分的连接

无线温度变送器会将数字信号以无线传输的方式发出，数据采集终端通过无线通信模块接受信号输出

A3 不含温度传感器的变送器输入部分的连接

A3.1 热电偶输入的变送器

——具有参考端温度自动补偿时，应采用补偿导线法，按图 A4 接线。

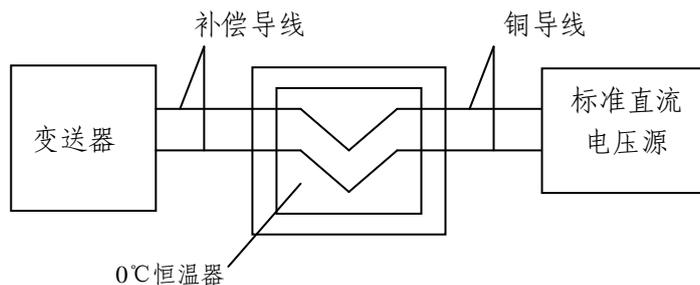


图 A4 补偿导线法测量接线示意图

——不具有参考端温度自动补偿时，按图 A5 接线。

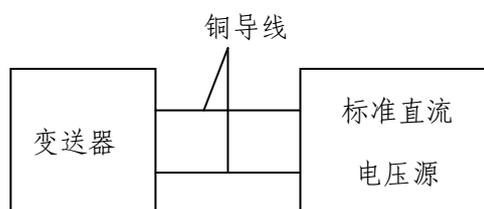


图 A5 不具有参考端温度自动补偿时的测量接线示意图

A3.2 热电阻输入的变送器

三线制热电阻输入的变送器，校准时可按图 A6 接线。

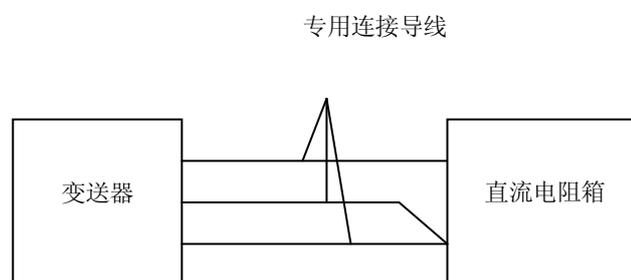


图 A6 热电阻输入的变送器的测量接线示意图

附录 B 关于采用温度校准仪进行校准的要求

温度校准仪是一种根据各类热电偶的分度号按温度值直接输出电势值的仪器，并具有冷端温度自动补偿功能。此类仪器经校准后通常可以校准不含热电偶，且具有参考端温度自动补偿的变送器。校准时校准仪的输出阻抗相对于被校变送器的输入阻抗应足够小，否则将产生较大的测量误差。变送器输入部分的接线方法如图 B1 所示。其中连接导线应为与热电偶分度号相配的补偿导线。

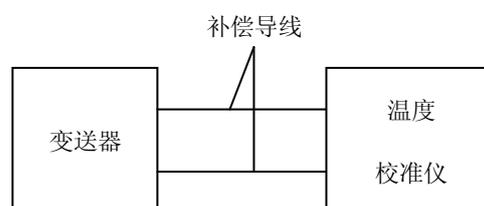


图 B1 具有参考端温度自动补偿的变送器输入部分的测量接线示意图

附录 C 校准记录格式

温度变送器校准记录（含温度传感器）

委托单位：_____，型号名称：_____，出厂编号：_____，
 分度号：_____，测量范围：_____，准确度等级：_____，
 制造单位：_____，室温：____℃，相对湿度：____%
 供电状况_____，升、温降试验情况_____。
 标准器名称：_____，使用仪器编号：_____，

被校点/℃					
	1				

标准温度 计读数	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	平均值					
	对应的输出 /mA (或 V)					
变送器 输出值 /mA、V	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	平均值					
误差 /mA (或 V)						
U /mA (或 V), $k=2$						

校准员：_____，核验员：_____，校准日期：_____

温度变送器校准记录（不含温度传感器）（例）

委托单位：_____略_____，型号名称：_____略_____，出厂编号：_____60851_____，
分度号：_____K_____，测量范围：_____0~500℃_____，准确度等级：_____0.5_____，
制造单位：_____略_____，室温：_____21℃_____，相对湿度：_____60%_____，
供电状况_____24V_____，补偿导线修正值 $e =$ _____0.008_____ mV
标准器名称：_____略_____，使用仪器编号：_____略_____，

被校点/℃	0.0	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0
对应电量值/mV	0.000	4.096	8.138	12.209	16.397	20.644

理论输出值/mA	4.000	7.200	10.400	13.600	16.800	20.000
实际输出值 /mA	3.986	7.189	10.396	13.596	16.798	19.998
误差 / μA	-12 (或-0.4℃)	-10 (或-0.3℃)	-3 (或-0.1℃)	-2 (或-0.1℃)	-2 (或-0.1℃)	-2 (或-0.1℃)
$U / \mu A, k=2$	13 (相当于 0.4℃)					

校准员：_____，核验员：_____，校准日期：_____

附录 D 校准报告内页参考格式

校 准 结 果

- 1 测量范围：
- 2 输出范围：
- 3 校准环境：温度 _____℃； 相对湿度 _____%
- 4 供电状况：
- 5 升、降温试验的说明：
6. 模拟输出/数字输出说明：

范围(0~24)mA，最大允许误差±(0.02%读数+0.001mA)。

2553 直流电压电流发生器 100mV 档的误差限对应于温度的最大允许误差如表 E1 所示。

表 E1 2553 直流电压电流发生器主要技术指标

热电偶类型	测量（输出）信号范围 $t/^\circ\text{C}$	最大允许误差 $\Delta/^\circ\text{C}$
K	$-200 \leq t < 0$	± 0.2
	$0 \leq t < 900$	± 0.3
	$900 \leq t \leq 1370$	± 0.6

校准时用补偿导线和冰瓶作为连接导线，补偿导线修正值 $e=0.008\text{mV}$ 。

被校点为($^\circ\text{C}$): 0、100、200、300、400、500。

E3 测量模型

测量误差的数学模型为：

$$\Delta I_t = I_d - \left[\frac{I_m}{t_m} (t_s - t_0 + \frac{e}{S_i}) + I_0 \right] \quad (\text{F1})$$

式中： ΔI_t ——变送器在温度 t 时的测量误差；

I_d ——变送器的输出电流值；

I_m ——变送器的输出量程；

t_m ——变送器的温度输入量程；

t_s ——变送器的输入温度值；

t_0 ——变送器输入的下限温度值；

e ——补偿导线修正值；

S_i ——热电偶特性曲线各温度测量点的斜率，对于某一温度测量点可视为常数。

I_0 ——变送器的输出起始电流值。

E4 输入量的标准不确定度

E4.1 输入量 I_d 的标准不确定度 $u(I_d)$ 的评定

输入量 I_d 的不确定度来源主要有两部分：被测变送器输出电流的重复性和 725 多功能现场校准仪的测量误差。

a) 输出电流重复性导致的标准不确定度 $u(I_d)$

重复性导致的标准不确定度 (A 类) 可以用实验标准偏差来评估。在对变送器各校准点进行等精度 6 次测量后分别计算出实验标准偏差，取最大的 $s_{\max}=1.8\mu\text{A}$ (具体测量数

据略)。由于校准时只对温度变送器进行一个行程的测量以计算测量误差，因此
 $u(I_{d1})=S_{\max}=1.8\mu\text{ A}$

b) 725 多功能现场校准仪的测量误差 $u(I_{d2})$

725 多功能现场校准仪的最大允许示值误差为 $\Delta = \pm (0.0018 \sim 0.0050) \text{ mA}$ ；按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。则 $u(I_{d2}) = 0.0010 \text{ mA} \sim 0.0029 \text{ mA}$ 。

c) 标准不确定度 $u(I_d)$ 的计算

由于 I_{d1} 和 I_{d2} 彼此相互独立，因此：

$$\begin{aligned} u(I_d) &= \sqrt{u(I_{d1})^2 + u(I_{d2})^2} \\ &= \sqrt{0.0012^2 + [0.0010 \sim 0.0029]^2} \\ &= 0.0016 \sim 0.0031 \text{ mA} \end{aligned}$$

E4.2 输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$ 的评定

输入量 t_s 的不确定度来源主要来自标准器的示值误差。由于测量时的环境温度均在标准器保持准确度的环境内，因此温、湿度影响可以忽略不计。

2553 直流电压电流发生器的标准不确定度 $u(t_s)$ 可以采用 B 类方法进行评定：标准器的最大允许误差见表 F1 的 Δ ，取测量范围中最大的为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 。按均匀分布考虑。

则， $u(t_s) = |\Delta| / \sqrt{3} = 0.17^\circ\text{C}$ 。

E4.3 输入量 e 的标准不确定度 $u(e)$

输入量 e 不确定度的主要来源为补偿导线修正值和冰瓶导致的不确定度。均可以采用 B 类方法进行评定。

a) 补偿导线导致的标准不确定度 $u(e_1)$ ：修正值 $e(20^\circ\text{C})$ 经校准的扩展不确定度为 $U_{95} = 3.28\mu\text{ V}$ ，包含因子 $k_{95} = 2.01$ 。

则 $u(e_1) = 3.28/2.01 = 1.63\mu\text{ V}$ 。

b) 冰瓶导致的标准不确定度 $u(e_2)$ ：冰瓶的最大允许误差为 $\pm 0.08^\circ\text{C}$ ，对于 K 型热电偶相当于 $\pm 3.12\mu\text{ V}$ 。按均匀分布考虑。因此， $u(e_2) = 1.80\mu\text{ V}$

c) 标准不确定度 $u(e)$ 的计算：由于 e_1 和 e_2 彼此相互独立，因此：

$$u(e) = \sqrt{u(e_1)^2 + u(e_2)^2} = 2.43\mu\text{ V}$$

E5 合成标准不确定度

E5.1 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta I_t / \partial I_d = 1$$

$$c_2 = \partial \Delta I_t / \partial t_s = -I_m / t_m = -0.032 \text{ mA}/^\circ\text{C}$$

$$c_3 = \partial \Delta I_t / \partial e = -I_m / (t_m S_i) = -(0.82 \sim 0.76) \text{ mA/mV}$$

E5.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 E2。

表 E2 变送器各被校点标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度 来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$ /mA
$u(I_d)$			1	0.0021 0.0023 0.0025 0.0028 0.0031 0.0034
$u(I_{d1})$	测量重复性	0.0018 mA		
$u(I_{d2})$	725 示值误差	0.0010 mA 0.0014 mA 0.0018 mA 0.0021 mA 0.0025 mA 0.0029 mA		
$u(t_s)$	2553 示值误差	0.17 $^\circ\text{C}$	-0.032 mA/ $^\circ\text{C}$	0.0054
$u(e)$	补偿导线和冰瓶	0.0024mV	-(0.82~0.76) mA/mV	0.0020 0.0019 0.0019 0.0019 0.0019 0.0018

E5.3 合成标准不确定度的计算

输入量 I_d 、 t_s 及 e 相互间彼此独立，所以合成标准不确定度可按下式得到：

$$u_c(\Delta I_t) = \sqrt{[c_1 \cdot u(I_d)]^2 + [c_2 \cdot u(t_s)]^2 + [c_3 \cdot u(e)]^2}$$

变送器各测量点的 $u_c(\Delta I_t)$ 依次为：

$$u_c(\Delta I_0) = 0.0061 \text{ mA}, \quad u_c(\Delta I_{100}) = u_c(\Delta I_{200}) = 0.0062 \text{ mA}, \quad u_c(\Delta I_{300}) = 0.0064 \text{ mA},$$

$$u_c(\Delta I_{400}) = 0.0065 \text{ mA}, \quad u_c(\Delta I_{500}) = 0.0067 \text{ mA}.$$

E6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ 。扩展不确定度 $U=2 \cdot u_c(\Delta I_t)$ 。

变送器各校准点测量误差的扩展不确定度取最大时， $U=0.013\text{mA}$ 。对于 $0^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的变送器而言，用输入温度变量表示时， $U=0.4^{\circ}\text{C}$ 。

附录 F 含传感器的温度变送器测量结果的不确定度评定

F1.概述

1.1 测量依据：《温度变送器校准规范》。

1.2 测量环境：温度 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度 $45\%\text{RH}\sim 75\%\text{RH}$ 。

1.3 测量标准：二等标准铂电阻温度计。

恒温槽： 恒温水槽 工作区水平温差 $\leq 0.005^{\circ}\text{C}$

恒温油槽 工作区水平温差 $\leq 0.01^{\circ}\text{C}$

电测设备： 测温电桥 MPE: $\pm 1.0 \times 10^{-6}$

双通道高精度多功能测试仪 MPE: $\pm 0.005\%$

1.4 被测对象：含传感器的温度变送器（以下简称变送器）。

1.5 测量过程：

按校准方法，在测量范围内选择五个测量点，包括上限值和下限值在内均匀分布，从下限值开始往上限值进行顺序测量。

用比较法将标准器与被检变送器置于恒温槽中，待示值稳定后，按标→被→被→标的次序读取数值（这样读数作为一个往返），须往返3次共读数6次，分别求得标准和被检的示值平均值，然后通过公式计算得出变送器的测量误差。

F2.数学模型

$$\Delta I_t = I_d - [(I_m / t_m)t_s + I_0] \quad (1)$$

式中：

ΔI_t ——变送器在温度 t 时的测量误差；

I_d ——变送器的输出电流值；

I_m ——变送器的输出量程；

t_m ——变送器的温度输入量程；

t_s ——标准铂电阻温度计测得的实际温度；

I_0 ——变送器的输出起始电流值。

F3.输入量的标准不确定度的评定

3.1 输入量 I_d 的标准不确定度 $u(I_d)$ 的评定

标准不确定度 $u(I_d)$ 由3个不确定度分项构成，记作 $u(x_1)$ 和 $u(x_2)$ 、 $u(x_3)$

3.1.1 测量重复性 $u(x_1)$ （A类不确定度）

$u(x_1)$ 由于电测设备漂移、环境温度的波动、被检变送器短期不稳定等因素引入的误差。为了简化，通过重复测量综合考虑。简称测量的重复性。本校准系统中用同一支标准、三支被检作等精度多次测量。

最后测量合并样本标准差 S_p 为:

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 S_i^2} = 0.00250 \text{mA}$$

实际测量以 6 次测量值平均值为测量结果, 所以

$$u(x_1) = S_p / \sqrt{6} = 0.00102 \text{ mA}$$

3.1.2 双通道高精度多功能校验仪示值误差 $u(x_2)$

对于温度变送器, 不确定度区间的半宽度为 $20 \text{mA} \times 0.005\% = 0.0010 \text{mA}$, 在区间内可认为均匀分布, $k = \sqrt{3}$ 。

$$u(x_2) = 0.00058 \text{mA}$$

3.1.3 恒温槽的均匀性引入的标准不确定度 $u(x_3)$

恒温油槽有几个指标, 由于被检与标准插入同一水平, 所以只需考虑水平温差。水平温差为 0.01°C 。

不确定度区间的半宽度为 $a = 16/300 \times 0.005 = 0.00027 \text{mA}$, 在区间内可认为均匀分布, $k = \sqrt{3}$ 。

$$u(x_3) = 0.00016 \text{mA}$$

同理, 恒温水槽水平温差为 0.005°C

$$u(x_3) = 0.00008 \text{mA}$$

3.2 输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$ 的评定

标准不确定度 $u(t_s)$ 由 2 个不确定度分项构成, 记作 $u(x_4)$ 、 $u(x_5)$

3.2.1 测温电桥的示值误差 $u(x_4)$

测温电桥不确定区间的半宽度为 $16/300 \times 0.5 \times 10^{-6} = 1.0 \times 10^{-5} \text{mA}$, 在区间内可认为均匀分布, $k = \sqrt{3}$ 。

$$u(x_4) = 2.67 \times 10^{-8} \text{mA} \text{ (忽略不计)}$$

3.2.2 标准器引入的标准不确定度 $u(x_5)$

0°C 时, 标准温度计经量值溯源获得 $U(R_{tp}) = 0.8 \text{mK}$, $k=2$, 由此引入的标准不确定度

$u=0.4\text{mK}$ 。

$$u(x_5) = 16/300 \times 0.0004/3 = 7.11 \times 10^{-6} \text{mA}$$

300℃时，根据固定点间各温度点误差传递， $U=5.2\text{mK}$ ， $k=2$ ，由此引入的标准不确定度 $u=2.6\text{mK}$ ，即 $4.62 \times 10^{-5} \text{mA}$ 。

表 F1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值		灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$ (mA)	
		0℃	300℃		0℃	300℃
$u(I_d)$	测量重复性	0.00102mA	0.00207mA	1	0.0012	0.0022
	双通道高精度多功能校验仪示值误差	0.00058mA	0.00058mA			
	温场均匀性	0.00008mA	0.00016mA			
$u(t_s)$	测温电桥的示值误差	$2.67 \times 10^{-8} \text{mA}$ (忽略不计)	$2.67 \times 10^{-8} \text{mA}$ (忽略不计)	0.0267	2.45×10^{-7} (忽略不计)	1.24×10^{-6} (忽略不计)
	标准器引入的不确定度	$7.11 \times 10^{-6} \text{mA}$	$4.62 \times 10^{-5} \text{mA}$			

F4.合成标准不确定度的计算

输入量 I_d 及 t_s 相互间彼此独立，所以合成标准不确定度可按式(5)得到：

$$u_c(\Delta I_t) = \sqrt{[c_1 \cdot u(I_d)]^2 + [c_2 \cdot u(t_s)]^2}$$

$u_c(\Delta I_t)$ 的数值大小可以根据被测仪表的规格(热电阻类型、测量点和输入输出范围)代入公式(5)计算得到。

本例变送器各测量点的 $u_c(\Delta I_t)$ 在 0℃ 和 300℃ 依次为：0.0012、0.0022(mA)。

F5.扩展不确定的评定

取包含因子 $k=2$ 。扩展不确定度 $U=2 \times u_c(\Delta I_t)$ 。

变送器各校准点测量误差的扩展不确定度取最大时， $U=0.0044\text{mA}$ 。对于 $0^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 的变送器而言，用输入温度变量表示时， $U=0.09^\circ\text{C}$ ($k=2$)。

附录 G 数字温度变送器测量结果的不确定度评定

G1.概述

1.1 测量依据：《温度变送器校准规范》。

1.2 测量环境：温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；相对湿度 45%RH~75%RH。

1.3 测量标准：二等标准铂电阻温度计。

恒温槽：恒温水槽 工作区水平温差 $\leq 0.005^\circ\text{C}$

恒温油槽 工作区水平温差 $\leq 0.01^\circ\text{C}$

电测设备：测温电桥 $\pm 1.0 \times 10^{-6}$

手持数据采集终端（分辨力 0.01°C ）

1.4 被测对象：数字信号温度变送器（以下简称变送器）。

1.5 测量过程：

按校准方法，在测量范围内选择五个测量点，包括上限值和下限值在内基本均等，从下限值开始往上限值进行顺序测量。

用比较法将标准器与被检变送器置于恒温槽中，待示值稳定后，按标→被→被→标的次序读取数值（这样读数作为一个往返），须往返 3 次共读数 6 次，分别求得标准和被检的示值平均值，然后通过公式计算得出变送器的测量误差。

G2.数学模型

$$\Delta t_i = t_i - t_s$$

Δt_i —— 变送器的示值误差；

t_i —— 变送器的测量值；

t_s —— 标准铂电阻温度计测得的实际温度。

G3.输入量的标准不确定度的评定

3.1 输入量 t_i 的标准不确定度 $u(t_i)$ 的评定

标准不确定度 $u(t_i)$ 由 3 个不确定度分项构成，记作 $u(x_1)$ 和 $u(x_2)$ 、 $u(x_3)$

3.1.1 测量重复性 $u(x_1)$ （A 类不确定度）

$u(x_1)$ 由于电测设备漂移、环境温度的波动、被检变送器短期不稳定等因素引入的误差。为了简化，通过重复测量综合考虑。简称测量的重复性。本校准系统中用同一支标准、三支被检作等精度多次测量。

最后测量合并样本标准差 S_p 为：

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 S_i^2} = 0.063^\circ\text{C}$$

实际测量以 6 次测量值平均值为测量结果，所以

$$u(x_1) = S_p / \sqrt{6} = 0.026^\circ\text{C}$$

3.1.2 恒温槽的均匀性引入的标准不确定度 $u(x_2)$

恒温油槽有几个指标，由于被检与标准插入同一水平，所以只需考虑水平温差。水平温差为 0.01°C 。

不确定度区间的半宽度为 0.005°C ，在区间内可认为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。

$$u(x_2) = 0.003^{\circ}\text{C}$$

同理,恒温水槽水平温差为 0.005°C 。

$$u(x_2) = 0.002^{\circ}\text{C}$$

3.1.3 分辨力引入的标准不确定度 $u(x_3)$

由于分辨力是 0.01°C 仪表分辨力引入的误差区间的半宽为分辨力的 $1/2$ ，均匀分布。

$$u(x_3) = 0.003^{\circ}\text{C}$$

3.2 输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_d)$ 的评定

标准不确定度 $u(t_s)$ 由 2 个不确定度分项构成，记作 $u(x_4)$ 、 $u(x_5)$

3.2.1 测温电桥的示值误差 $u(x_4)$

测温电桥不确定区间的半宽度为 $300 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.00015^{\circ}\text{C}$ ，在区间内可认为均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。

$$u(x_4) = 8.66 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C} \text{ (忽略不计)}$$

3.2.2 标准器引入的标准不确定度 $u(x_5)$

0°C 时，标准温度计经量值溯源获得 $U(R_{tp}) = 0.8\text{mK}$ ， $k=2$ ，由此引入的标准不确定度 $u = 0.4\text{mK}$ 。

$$u(x_5) = 0.0004^{\circ}\text{C}$$

300°C 时，根据固定点间各温度点误差传递， $U = 5.2\text{mK}$ ， $k=2$ ，由此引入的标准不确定度 $u = 2.6\text{mK}$ 。

$$u(x_5) = 0.0026^{\circ}\text{C}$$

表 G1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$ (mA)

		0℃	300℃			
		0℃	300℃		0℃	300℃
$u(t_i)$	测量重复性	0.026℃	0.055℃	1	0.027	0.063
	温场均匀性	0.002	0.003			
	分辨力	0.003℃	0.003℃			
$u(t_s)$	测温电桥的示值误差	$8.66 \times 10^{-5} \text{℃}$ (忽略不计)	$8.66 \times 10^{-5} \text{℃}$ (忽略不计)	-1	0.0004℃	0.0026℃
	标准器引入的不确定度	0.0004℃	0.0026℃			

G4.合成标准不确定度的计算

输入量 t_i 及 t_s 相互间彼此独立，所以合成标准不确定度可按下式得到：

$$u_c(\Delta t_i) = \sqrt{[c_1 \cdot u(t_i)]^2 + [c_2 \cdot u(t_s)]^2}$$

本例变送器各测量点的 $u_c(\Delta t_i)$ 在 0℃ 和 300℃ 依次为：0.055℃、0.127℃。

G5.扩展不确定的评定

取包含因子 $k=2$ 。扩展不确定度 $U=2 \times u_c(\Delta t_i)$ 。

对于 0℃~300℃ 的变送器而言， $U=0.16 \text{℃}$ ($k=2$)。