

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1183—2007

温度变送器校准规范

Calibration Specification of the Temperature Transmitter

2007-11-21 发布

2008-05-21 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 of
the Temperature Transmitter

JJF 1183—2007
代替 JJG 829—1993

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2007 年 11 月 21 日批准，并自 2008 年 5 月 21 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：上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

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：

朱家良（上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

刘 巍（天津市计量监督检测科学研究院）

李晓仲（天津市计量监督检测科学研究院）

潘晨言（上海市计量测试技术研究院）

姚丽芳（上海市计量测试技术研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 测量误差	(2)
4.2 安全性能	(2)
5 校准条件	(3)
5.1 校准器及其他设备	(3)
5.2 环境条件	(3)
5.3 电源	(5)
6 校准项目和校准方法	(5)
6.1 校准项目	(5)
6.2 校准方法	(5)
6.3 数据处理原则	(7)
7 校准结果表达	(7)
附录 A 温度变送器校准时的设备连接方式	(9)
附录 B DDZ 系列和模块式温度变送器影响计量性能的有关要求和测量方法	(11)
附录 C 关于采用热电偶仪表校准仪进行校准的要求	(13)
附录 D 校准记录格式	(14)
附录 E 校准报告内页参考格式	(16)
附录 F 不确定度分析实例	(17)

温度变送器校准规范

1 范围

本规范适用于传感器为热电偶或热电阻的温度变送器(以下简称变送器)的校准。变送器包括带温度传感器和不带温度传感器的。

2 引用文献

本规范引用下列文献:

GB/T 16839.2—1997 热电偶 第二部分:允差

JJG 128—2003 二等标准水银温度计检定规程

JJG 141—2000 工作用贵金属热电偶检定规程

JJG 229—1998 工业铂、铜热电阻检定规程

JJG 351—1996 工作用廉金属热电偶检定规程

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 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输出信号的仪表。主要用于工业过程温度参数的测量和控制。

带传感器的变送器通常由两部分组成:传感器和信号转换器。传感器主要是热电偶或热电阻;信号转换器主要由测量单元、信号处理和转换单元组成(由于工业用热电阻和热电偶的分度表是标准化的,因此信号转换器作为独立产品时也称为变送器),有些变送器增加了显示单元,有些还具有现场总线功能。如图1所示。

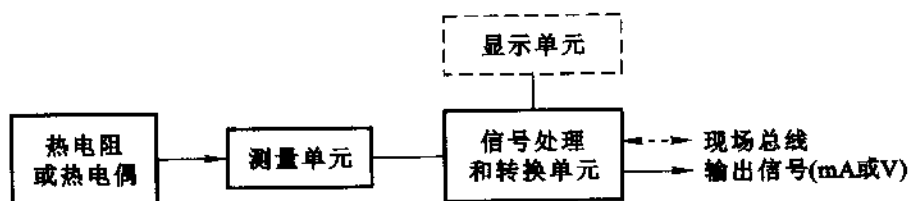


图1 变送器原理框图

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。

变送器的输出信号与温度变量之间有一给定的连续函数关系(通常为线性函数),早期生产的变送器其输出信号与温度传感器的电阻值(或电压值)之间呈线性函数关系。

标准化输出信号主要为0mA~10mA和4mA~20mA(或1V~5V)的直流电信号。

不排除具有特殊规定的其他标准化输出信号。

温度变送器按供电接线方式可分为二线制和四线制。

变送器有电动单元组合仪表系列的(DDZ-Ⅱ型、DDZ-Ⅲ型和DDZ-S型)和小型化模块式的、多功能智能型的。前者均不带传感器；后两类变送器可以方便地与热电偶或热电阻组成带传感器的变送器。

4 计量特性

4.1 测量误差

变送器的测量误差是将温度转换成标准化输出信号时产生的误差。

a) 不带传感器的变送器(信号转换器)最大允许误差按准确度等级予以划分。在标准条件下,变送器的准确度等级与最大允许误差的关系如表1规定。

表1 准确度等级及最大允许误差

准确度等级	最大允许误差 (%FS)
0.1	±0.1
0.2	±0.2
0.5	±0.5
1.0	±1.0
1.5	±1.5
2.5	±2.5

注:最大允许误差是以输出量程的百分数表示。当输入的温度变量与输出信号呈线性函数关系时,最大允许误差也可以以输入量程的百分数表示。

b) 带传感器的变送器最大允许误差由两部分组成:热电阻或热电偶允差和信号转换器允差,是两者绝对值之和。热电阻和热电偶的允差见JB/T 8622—1997、JB/T 8623—1997和GB/T 16839.2—1997。

注:带传感器的变送器,在测量范围内的最大允许误差可以折算成温度表示,也可以折算成输入量程的百分数表示。

4.2 安全性能

4.2.1 绝缘电阻

在环境温度为15℃~35℃,相对湿度为45%~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2的规定。

4.2.2 绝缘强度

在环境温度为15℃~35℃,相对湿度为45%~75%时,变送器各组端子(包括外壳)之间施加表3所规定的试验电压(频率为50Hz),历时1min应无击穿和飞弧现象。

带传感器的变送器不进行此项试验。

表 2 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	20MΩ	适用于二线制变送器
电源端子—外壳	50MΩ	适用于四线制变送器
输入、输出端子短接—电源端子	50MΩ	
输入端子—输出端子	20MΩ	只适用于输入、输出隔离的变送器

表 3 绝缘强度试验电压

试验部位	试验电压/V			说 明
	12V~48V 供电	110V 供电	220V 供电	
输入、输出端子短接—外壳	500	500	500	适用于二线制变送器
电源端子—外壳	500	1 000	1 500	适用于四线制变送器
输入、输出端子短接—电源端子	500	1 000	1 500	
输入端子—输出端子	500	500	500	只适用于输入、输出隔离的变送器

5 校准条件

5.1 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 4 中参考选择。从提高校准能力出发,标准仪器及配套设备引入的扩展不确定度与被校变送器最大允许误差绝对值相比应尽可能小。

5.2 环境条件

环境温度 15℃ ~ 35℃; 相对湿度 < 85%。

为保障校准具有尽可能小的不确定度,建议校准应在以下的标准环境条件下进行。这些条件还有利于在用户提出要求时,能给出是否符合仪表计量特性的说明。

a) 环境温度 20℃ ± 2℃ (0.1 级 ~ 0.2 级变送器); 20℃ ± 5℃ (0.5 级 ~ 2.5 级变送器)。

b) 相对湿度 45% ~ 75%。

c) 变送器周围除地磁场外,应无影响其正常工作的外磁场。

表4 标准仪器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备注
1	直流低电势电位差计或标准直流电压源	0.02级、0.05级	校准热电偶输入的变送器(不带传感器)	输出阻抗不大于100Ω
2	直流电阻箱	0.01级、0.02级	校准热电阻输入的变送器(不带传感器)	
3	补偿导线和0℃恒温器	补偿导线应与输入热电偶分度号相配,经检定具有10℃~30℃的修正值 0℃恒温器的温度偏差不超过±0.1℃	具有参考端温度自动补偿变送器(不带传感器)校准用的专用连线	0℃恒温器可用冰点槽代替
4	专用连接导线	其阻值应符合制造厂说明书的要求。三线制连接时,线间电阻值之差应尽可能小,在阻值无明确规定时,可在同一根铜导线上等长度(不超过1m)截取三段导线组成	直流电阻箱与变送器输入端之间的连接导线	
5	直流电流表	0mA~30mA 0.01级~0.05级	变送器输出信号的测量标准	
6	直流电压表	0V~5V、0V~50V 0.01级~0.05级	直流电压表单独可以作为变送器电压输出信号的测量标准;与标准电阻组合取代直流电流表作为变送器电流输出信号的测量标准	
7	标准电阻	100Ω(250Ω) 不低于0.05级		
8	交流稳压源	220V, 50Hz, 稳定性1%, 功率不低于1kW	变送器的交流供电电源	
9	直流稳压源	12V~48V, 允差±1%	变送器的直流供电电源	
10	二等铂电阻标准装置或二等水银温度计标准装置	符合JJG 229—1998或JJG 128—2003中对标准器及配套设备的要求	带热电阻温度变送器校准用的输入标准	
11	一、二等标准铂铑10-铂热电偶标准装置	符合JJG 351—1996或JJG 141—2000中对标准器及配套设备的要求	带热电偶温度变送器校准用的输入标准	
12	绝缘电阻表	直流电压100V, 500V 10级	测量变送器的绝缘电阻	带传感器的变送器用100V
13	耐电压试验仪	输出电压:交流0V~1500V 输出功率:不低于0.25kW	测量变送器的绝缘强度	

5.3 电源

变送器的电源:

——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 $\pm 1\%$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

- 变送器的校准项目为测量误差和绝缘电阻的测量。
- 新制造的不带传感器的变送器还应进行绝缘强度的测量。
- 对于 DDZ 系列变送器,根据委托者的要求还可以按附录 B 的要求进行负载特性、电源影响和输出交流分量的测量。

6.2 校准方法

6.2.1 测量误差的校准

6.2.1.1 准备工作

- 设备配置与连接。

带传感器的变送器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。变送器校准时与标准器及配套设备的连接见附录 A。

- 通电预热。

预热时间按制造厂说明书中的规定进行,一般为 15min;具有参考端温度自动补偿的变送器为 30min。

- 校准前的调整。(调整须在下列两种情况下进行)

不带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。

带传感器的变送器可以在断开传感器的情况下对信号转换器单独进行上述调整,如测量结果仍不能满足委托者的要求时,可在恒温槽或热电偶检定炉中重新调整。

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。

6.2.1.2 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、下限值和量程 50%附近在内不少于 5 个点;0.2 级及以上等级的变送器应不少于 7 个点。

a) 带传感器的变送器在校准时测量顺序可以先从测量范围的下限温度开始, 然后自下而上依次测量。在每个试验点上, 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进行反复 6 次读数。按式(1)计算测量误差:

$$\Delta A_t = \bar{A}_d - \left[\frac{A_m}{t_m} (\bar{t} - t_0) + A_0 \right] \quad (1)$$

式中: ΔA_t ——变送器各被校点的测量误差(以输出的量表示), mA 或 V;

\bar{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, $^{\circ}\text{C}$;

A_0 ——变送器输出的理论下限值, mA 或 V;

\bar{t} ——标准温度计测得的平均温度值, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——变送器输入范围的下限值, $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 不带传感器的变送器在校准时, 应从下限开始平稳地输入各被校点对应的信号值, 读取并记录输出值直至上限; 然后反方向平稳改变输入信号依次到各个被校点, 读取并记录输出值直至下限。如此为一次循环, 须进行三个循环的测量。在接近被校点时, 输入信号应足够慢, 以避免过冲。

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, 为获得整数的标准输出值, 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。

测量误差按式(2)计算:

$$\Delta A_t = A_d - \left[\frac{A_m}{t_m} \left(t_s + \frac{e}{S_i} - t_0 \right) + A_0 \right] \quad (2)$$

式中: A_d ——变送器被校点实际输出值, 取多次测量的平均值, 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, $^{\circ}\text{C}$;

A_0 ——变送器输出的理论下限值, mA 或 V;

t_s ——变送器的输入温度值, 即模拟热电阻(或热电偶)对应的温度值, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——变送器输入范围的下限值, $^{\circ}\text{C}$;

e ——补偿导线修正值, mV;

S_i ——热电偶特性曲线各温度测量点和斜率, 对于某一温度测量点可视为常数, mV/ $^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.1.3 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:

$$\Delta A_t = \frac{A_m}{t_m} \cdot \Delta t \quad (3)$$

式中： Δt ——以输入的温度所表示的误差，℃。

注：DDZ 系列变送器中有些产品的输出是热电偶毫伏信号(或热电阻的电阻信号)的线性函数。

此时，式(1)~式(3)中的 t 应以毫伏信号(或电阻信号)代替。

6.2.2 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。

6.2.3 绝缘强度的测量

断开变送器电源，按表 3 的规定将各对接线端子依次接入耐压试验仪两极上，缓慢平稳地升至规定的电压值，保持 1min，观察是否有击穿和飞弧现象。然后，将电压缓慢平稳地降至零。

注：为保护变送器试验时不被击穿，试验时可使用具有报警电流设定的耐电压试验仪。设定值一般为 5mA(特殊要求除外)。使用该仪器时，以是否报警作为判断绝缘强度合格与否的依据。

6.3 数据处理原则

测量结果和误差计算过程中数据处理原则：小数点后保留的位数应以修约误差小于变送器最大允许误差的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 为限(相当于比最大允许误差多取一位小数)。

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。

7 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) 证书或报告的惟一性标识(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；

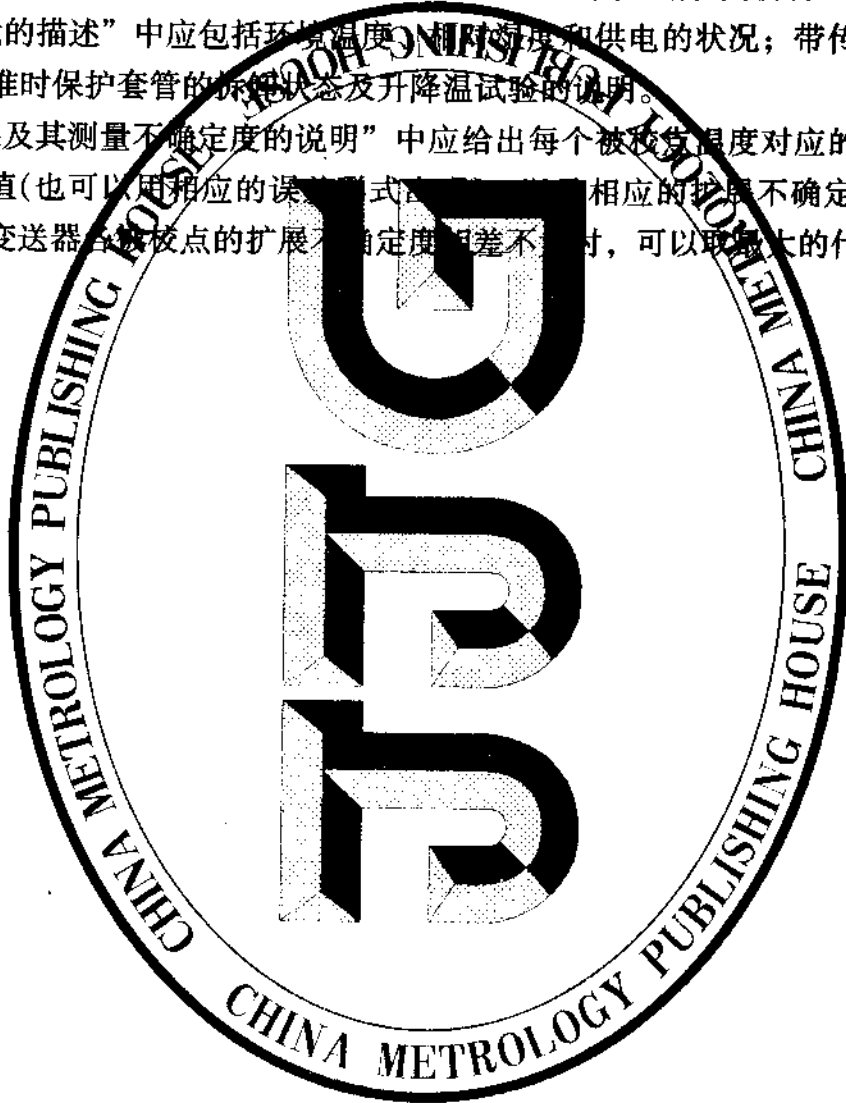
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识, 以及签发日期;
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

其中:

“本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明”中应包括标准器的名称、型号规格、测量范围及不确定度(或准确度等级、最大允差)、有效日期等说明。

“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标识状态及升降温试验的说明。

“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换算成温度值(也可以用相应的误差形式表示), 并给出相应的扩展不确定度和包含因子。如同一台变送器各被校点的扩展不确定度相差不大时, 可以取最大的代替。



附录 A

温度变送器校准时的设备连接方式

A.1 输出部分的连接

A.1.1 二线制电动温度变送器



图 A.1 二线制电动温度变送器输出部分的连接

A.1.2 四线制电动温度变送器



图 A.2 四线制电动温度变送器输出部分的连接

A.2 变送器不带传感器时输入部分的连接

A.2.1 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 A.3 接线。

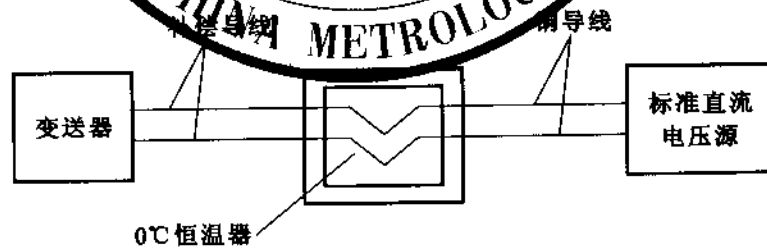


图 A.3 补偿导线法测量接线示意图

——不具有参考端温度自动补偿时，按图 A.4 接线。

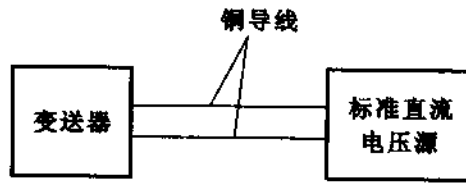


图 A.4 不具有参考端温度自动补偿时的测量接线示意图

A.2.2 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 A.5 接线。

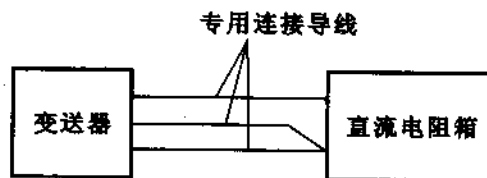


图 A.5 热电阻输入的变送器的测量接线示意图

附录 B

DDZ 系列和模块式温度变送器影响计量性能的有关要求和测量方法

B.1 负载特性

当负载电阻在允许的范围内变化时, 变送器输出的变化应满足制造厂规定的要求。其中, DDZ 系列电动变送器负载电阻在表 B.1 规定的范围内变化时, 变送器输出的下限值及量程变化不应超过允许误差的绝对值, 而模块式温度变送器不应超过输出量程的 0.1%。

表 B.1 DDZ 系列电动温度变送器负载电阻的变化范围

变送器类型	负载电阻的变化范围/ Ω	输出形式
DDZ - II 系列	0~1 500	四线制, 0mA~10mA 输出
DDZ - III 系列	0~50	四线制, 1V~5V 输出
	250~350	二线制, 4mA~20mA 输出
DDZ - S 系列	250~350	二线制, 4mA~20mA 输出
	0~600	四线制, 4mA~20mA 输出
模块式	250~350	二线制, 4mA~20mA 输出
	0~500	四线制, 4mA~20mA 输出

测量方法: 将负载电阻置于变化范围的上限值, 分别输入测量范围的下限值及上限值信号, 记录对应的输出下限值和上限值。然后改变负载电阻至变化范围的下限值, 再分别输入测量范围的下限值和上限值信号, 并记录相应的输出下限值和上限值。依据两组输出的上、下限值, 计算负载电阻变化引起的变送器输出下限值变化和量程变化。

B.2 电源影响

当电源电压在允许的范围内变化时, 变送器输出的变化应满足制造厂规定的要求。其中, DDZ 系列电动温度变送器的电源电压在表 B.2 规定的范围内变化时, 变送器输出的下限值及量程变化不应超过允许误差的绝对值, 而模块式温度变送器不应超过允许误差绝对值的 1/2(除 0.1 级以外)。

测量方法: 将电源电压调至额定值, 分别输入测量范围的下限值和上限值, 记录相应的输出下限值和上限值。然后改变电源电压至变化范围的下限值和上限值, 再分别输入测量范围的下限值和上限值, 并记录相应的输出下限值和上限值。依据变送器三组输出的上、下限值, 计算电源电压由额定值变化至下限值和上限值时所引起的变送器输出下限值变化和量程变化。

表 B.2 DDZ 系列电动温度变送器电源电压的变化范围

变送器类型	电源电压的变化范围	输出形式
DDZ-Ⅱ系列	187V~242V	四线制, 交流电压, 额定电压 220V
DDZ-Ⅲ系列	187V~242V	四线制, 交流电压, 额定电压 220V
	22.8V~25.2V	二线制, 直流电压, 额定电压 24V
DDZ-S 系列	21.6V~26.4V	二线制, 直流电压, 额定电压 24V
模块式	21.6V~26.4V	二线制, 直流电压, 额定电压 24V

B.3 输出交流分量

电动温度变送器输出交流分量应满足制造厂规定的要求。其中, DDZ 系列电动温度变送器和模块式温度变送器对输出交流分量的要求见表 B.3。

测量方法: 在输出为量程的 10%、50%、90% 时, 分别用交流电压表在表 B.3 规定的部位两端测量其交流电压的有效值。

表 B.3 DDZ 系列变送器和模块式温度变送器输出交流分量允许值

变送器类型	交流分量允许值	输出形式及测量部位
DDZ-Ⅱ系列	20mV	四线制, 电流输出, 在 200 Ω 负载电阻上测得
DDZ-Ⅲ系列	40mV	四线制, 电压输出, 在输出端子上测得
	150mV	二线制, 电流输出, 在 250 Ω 负载电阻上测得
DDZ-S 系列	150mV	二线制, 电流输出, 在 250 Ω 负载电阻上测得
模块式	40mV	电流输出, 在 250 Ω 负载电阻上测得

附录 C

关于采用热电偶仪表校准仪进行校准的要求

热电偶仪表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仪表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 C.1 所示。其中连接导线应与热电偶分度号相配的补偿导线。



图 C.1 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 D

校准记录格式

温度变送器(不带传感器)校准记录(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、编号及有效性: 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	第 一 次	上行程	3.986	7.189	10.396	13.596	16.798	19.998
		下行程	3.987	7.192	10.398	13.597	16.798	19.998
	第 二 次	上行程	3.987	7.190	10.395	13.597	16.797	19.997
		下行程	3.990	7.193	10.397	13.599	16.799	19.997
	第 三 次	上行程	3.990	7.193	10.398	13.599	16.798	19.998
		下行程	3.989	7.196	10.399	13.600	16.801	19.998
平均值/mA			3.988 2	7.190 2	10.397 2	13.598 0	16.798 5	19.997 7
s/\sqrt{n} /mA			0.000 7	0.000 5	0.000 6	0.000 6	0.000 6	0.000 2
误差/ μ A			-12(或 -0.4℃)	-10(或 -0.3℃)	-3(或 -0.1℃)	-2(或 -0.01℃)	-2(或 -0.01℃)	-2(或 -0.01℃)
U/μ A, $k=2$			13(相当于 0.4℃)					

校准员: _____, 核验员: _____, 校准日期: _____

温度变送器(带传感器)校准记录

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、降温试验情况: _____

标准器名称、编号及有效性: _____

被校点/℃					
标准温度 计读数	1				
	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)					
$s/\sqrt{6}$ /mA (或 V)					
U /mA (或 V), $k=2$					

校准员: _____, 核验员: _____, 校准日期: _____

附录 E

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 测量标准的溯源性及有效性说明：

标准器名称 及型号规格	编号	测量范围 及不确定度	证书编号	有效日期

7 校准结果：

被校点		理论输出值	实际输出平均值	误 差	
℃	mV 或 Ω	mA	mA	μA	℃

测量结果的扩展不确定度 $U =$, $k = 2$ 。

附录 F

不确定度分析实例

F.1 被校变送器

被校对象为 0.5 级与 K 型热电偶配用的温度变送器(不带传感器), 具有参考端温度自动补偿。测量范围: $0^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$, 输出 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 。

F.2 标准器

检定用标准器用 2553 标准直流电压电流发生器作为输入的标准器, 其 100mV 输出挡的最大允许误差为 $\pm(0.02\% \text{ 读数} + 0.01\text{mV})$ 。725 多功能现场校准仪作为测量标准, 测量范围($0 \sim 24$) mA , 最大允许误差 $\pm(0.02\% \text{ 读数} + 0.001\text{mA})$ 。

2553 直流电压电流发生器 100mV 挡的误差限对应于温度的最大允许误差如表 F.1 所示。

表 F.1 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 $e = 0.008\text{mV}$ 。

被标点为($^{\circ}\text{C}$): 0, 100, 200, 300, 400, 500。

F.3 数学模型

测量误差的数学模型为

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

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 ——变送器输出电流的理论下限值。

F.4 输入量的标准不确定度

F.4.1 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校准不确定度 $u(I_{d1})$

对温度变送器进行三个循环的测量，在输入同一温度信号，输出电流值不尽相同，取平均值作为测量结果。则标准不确定度(A类)可以用实验标准偏差来评估。

每个测量点共有六个读数，分别计算出实验标准偏差，取最大的。

本例中每一被校点单次测量的实验标准偏差最大值为 $s_{\max} = 1.8\mu\text{A}$ ，具体测量数据略。如果用平均值作为测量结果，则 $u(I_{d1}) = \frac{s}{\sqrt{6}} = 0.7\mu\text{A}$ 。

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：

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

F.4.2 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 F.1 的 Δ ，取本例测量范围(0~500)℃中最大的为 $\pm 0.3\text{℃}$ 。按均匀分布考虑。

$$\text{则 } u(t_s) = |\Delta|/\sqrt{3} = 0.17\text{℃}。$$

F.4.3 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 $e(20\text{℃})$ 经校准的扩展不确定度为 $U_{95} = 3.28\mu\text{V}$ ，包含因子 $k_{95} = 2.01$ 。

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

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 $\pm 0.08\text{℃}$ ，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：

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

F.5 合成标准不确定度

F.5.1 灵敏系数

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

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

$$c_3 = \partial\Delta I_t / \partial e = -I_m / (t_m S_i) = -(0.81 \sim 0.75)\text{mA}/\text{mV}$$

其中： $I_m = 16\text{mA}$ ， $t_m = 500^\circ\text{C}$ ， $S_0 \sim S_{500} = (39.45 \sim 42.63)\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

F.5.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 F.2。

表 F.2 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
$u(I_d)$				
$u(I_{d1})$	测量重复性	0.000 7mA		0.001 2
$u(I_{d2})$	725 示值误差	0.001 0mA	1	0.001 6
		0.001 4mA		0.001 9
		0.001 8mA		0.002 2
		0.002 1mA		0.002 6
		0.002 5mA		0.003 0
		0.002 9mA		
$u(t_s)$	2553 示值误差	0.17 $^\circ\text{C}$	-0.032mA/ $^\circ\text{C}$	0.005 4
$u(e)$	补偿导线和冰瓶	0.002 4mV	-0.81mA/mV	0.001 9
			-0.77mA/mV	0.001 8
			-0.80mA/mV	0.001 9
			-0.77mA/mV	0.001 8
			-0.76mA/mV	0.001 8
			-0.75mA/mV	0.001 8

F.5.3 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

$$u_c(\Delta I_0) = 0.005 8\text{mA}, u_c(\Delta I_{100}) = 0.005 9\text{mA}, u_c(\Delta I_{200}) = 0.006 0\text{mA},$$

$$u_c(\Delta I_{300}) = 0.006 1\text{mA}, u_c(\Delta I_{400}) = 0.006 3\text{mA}, u_c(\Delta I_{500}) = 0.006 4\text{mA}.$$

F.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ 。扩展不确定度 $U=2 \cdot u_c(\Delta I_1) = (0.012 \sim 0.013) \text{mA}$ 。

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， $U=0.4^\circ\text{C}$ 。

F.7 带传感器温度变送器测量不确定度评定的补充

对于温度变送器带传感器时，测量不确定度的分析中应没有输入量 e 的不确定度分量；输入量 t_s 的不确定度应来源于标准温度计测量的误差以及恒温源温场及波动等影响；输入量 I_d 的不确定度分析可以与 F.4.1 相同；A 类不确定度中应同时考虑输入和输出的测量重复性。