



福建省地方计量校准规范

JJF (闽) 1074—2016

压力无线数据记录器校准规范

Calibration Specification of Wireless Pressure Recorder

2016-01-15 发布

2016-03-15 实施

福建省质量技术监督局发布

压力无线数据记录器校准规范

Calibration Specification of
Wireless Pressure Recorder

JJF1074—2016

本规范经福建省质量技术监督局于 2016 年 01 月 15 日批准，并自 2016 年 03 月 15 日起施行。

归口单位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：福建省计量科学研究院

参加起草单位：厦门市计量检定测试院

北京中科京仪科技有限公司

本规范委托福建省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人:

王孔祥 (福建省计量科学研究院)

陈 玲 (福建省计量科学研究院)

林景星 (福建省计量科学研究院)

参加起草人:

叶晓路 (福建省计量科学研究院)

王在旗 (厦门市计量检定测试院)

钟祚斌 (北京中科京仪科技有限公司)

陈炯宇 (厦门市计量检定测试院)

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 压力记录器	(1)
3.2 绝压传感器	(1)
3.3 远程显示	(1)
3.4 无线通讯	(1)
3.5 记录间隔	(1)
3.6 发送间隔	(1)
3.7 灭菌温度	(1)
3.8 温度修正因子	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 密封性	(2)
5.2 耐压	(2)
5.3 压力示值误差	(2)
5.4 灭菌温度下压力示值误差	(2)
5.5 温度影响系数	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(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	(3)
8 校准结果表达	(6)
8.1 校准数据处理	(6)
8.2 校准证书	(6)
8.3 校准结果不确定度评定	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 记录器校准记录(式样)	(7)
附录 B 校准证书校准结果内容	(8)
附录 C 记录器压力示值误差测量结果不确定度评定(示例)	(10)
附录 D 记录器温度修正因子的测量结果不确定度评定(示例)	(13)

引 言

本规范按照 JJF 1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考 JJG 1084-2013《数字式气压计检定规程》、JJF 1366-2012《温度数据采集仪校准规范》编制而成。

本规范为首次制定。

压力无线数据记录器校准规范

1 范围

本规范适用于温度环境为(0~150)℃、绝对压力测量范围为(0~500)kPa的无线数据记录器(以下简称记录器)的压力示值及温度影响系数的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJG 1084-2013 数字式气压计检定规程

JJF 1366-2012 温度数据采集仪校准规范

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范。

3 术语

3.1 压力记录器 (pressure recorder)

直接置于被测环境中进行测量,具有自动采集被测压力信号、数据存储、记录、通讯等功能的压力测量仪器。

3.2 绝压传感器 (absolute pressure transducer)

测量绝对压力的传感器。

3.3 远程显示 (remote indication)

通过数据交互通讯在上位计算机中显示记录器测量数据的显示方式。

3.4 无线通讯 (wireless communication)

使用蓝牙、Zigbee 等无线通信技术将记录器采集到的数据通过无线传输的方式实时传输到通讯接收端,完成数据的交互功能。

3.5 记录间隔 (record interval)

记录器存储相邻两个数据的时间间隔。

3.6 发送间隔 (send interval)

记录器主机向通讯接收端发送相邻两个数据的时间间隔。

3.7 灭菌温度 (sterilization temperature)

杀灭耐热杆菌、孢子的饱和蒸汽温度。

3.8 温度影响系数 (temperature influence factor)

记录器压力示值的温度影响系数。

4 概述

记录器主要应用于热力灭菌领域中的压力监测或工业生产、工艺过程中的压力检测等。

记录器主要由压力传感器、温度传感器、测量及信号处理电路、非易失存储器、数据接口（有线、红外、射频）电路组成。采用内置电池供电，具有防水、防高温蒸汽的密封措施和结构，元器件为耐高温型并具有很低的温度系数，通过软硬件补偿保证使用温度范围内的技术指标满足要求。记录器的测量数据可以通过实时传输或在检测结束后从其存储器中读出传输到上位机（PC机），进一步数据处理，并以数字和曲线形式显示，上位机软件一般具有对记录器进行参数设置、校正、数据导出等功能。

记录器组成及工作原理示意图（见图1）。

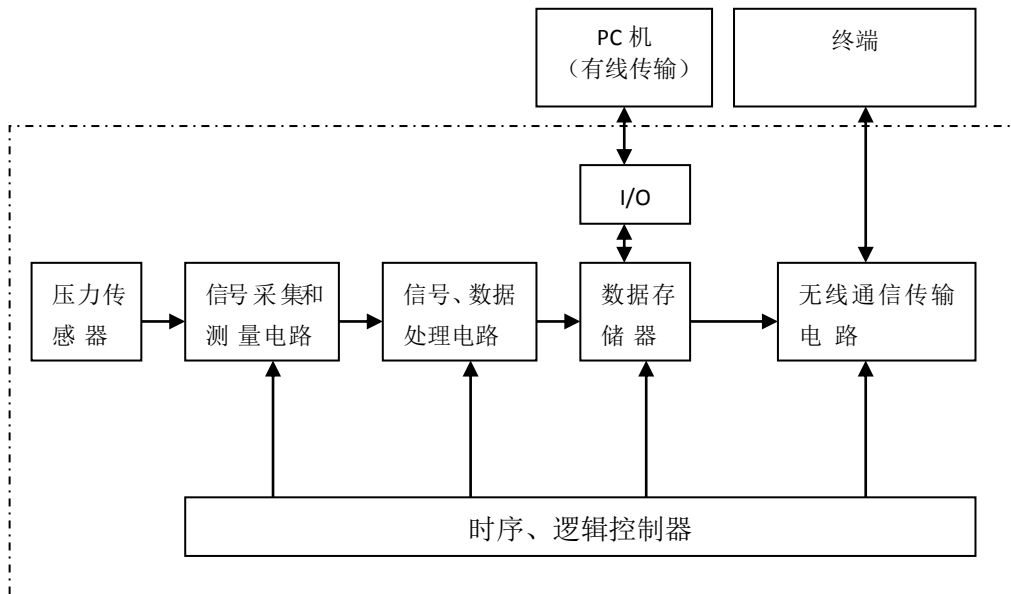


图1 记录器组成及工作原理示意图

5 计量特性

5.1 密封性

记录器在高压热力灭菌温度下，各部件及内部不得出现渗液现象。

5.2 耐压

记录器应能承受最大工作压力。

5.3 压力示值误差

记录器压力示值误差一般为量程的 $\pm(0.2\sim 2.5)\%$ 。

5.4 灭菌温度下压力示值误差

记录器压力示值误差一般为量程的 $\pm(0.5\sim 4.0)\%$ 。

5.5 温度影响系数

记录器的温度影响系数应不大于量程的 $0.01\%/^{\circ}\text{C}$ 。

注：以上所有指标不是用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度： $\leq 85\%$ 。

6.2 测量标准及其他设备

选用的压力标准器测量范围应大于或等于记录器的测量范围，其最大示值误差绝对值应不大于被校准的压力记录器最大示值误差绝对值的三分之一。

测量标准及其他设备见表 1。

表 1 测量标准及其他配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	a) 气体活塞式压力计 b) 数字压力计 c) 压力标准发生器	≤ 0.05 级	校准用压力标准器
2	压力源	$(0\sim 500)$ kPa	产生压力
	真空源	真空度 ≤ 15 Pa	产生真空
3	温度、压力试验装置	压力密封性： $\leq 1\%/min$ ； $(50\sim 140)^{\circ}\text{C}$ ；MPE： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	用于检查密封性和耐压、校准温度影响系数
4	压力表（计）	≤ 1.6 级	用于校准密封性和耐压试验
5	温度计	$(0\sim 150)^{\circ}\text{C}$ ；MPE： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	用于测量温度
6	计时器	MPE： ± 0.5 s/d	测量标准器读数的时间间隔
7	显示终端	/	设置、读取、存储、记录记录器数据等
8	温度压力隔离器	/	隔离温度对压力标准器的影响

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

记录器的校准项目为密封性和耐压检查、压力示值校准、灭菌温度下压力示值校准、温度影响系数校准。

7.2 校准方法

校准前应对电池供电的记录器,按其操作说明检查其电池的供电电压是否在正常工作范围内,如低于正常值应及时更换电池。并对记录器的通讯功能或存储功能以及记录间隔、发送间隔、启停方式等项目进行设置,应满足其操作说明书的要求。

7.2.1 密封性检查

将记录器放置于可产生模拟热力灭菌温度的压力试验装置,工作介质为水蒸汽,试验温度一般为 $(135 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,维持时间不少于5min,取出记录器检查其外壳应无明显变形或损坏。

7.2.2 耐压检查

按照记录器的使用说明,将记录器置入压力试验装置,加压至最大工作压力,保持3min能正常工作,检查记录器外壳应无明显变形或损坏。

7.2.3 示值误差校准

7.2.3.1 时钟调整

- a) 对于时钟可调的记录器,调整其时间与计时器的时间值一致;
- b) 对于时钟不可调的记录器,应分别同时记录记录器和计时器显示的时间值;
- c) 对于时钟可置零的记录器,应与计时器同时置零、启动。

7.2.3.2 压力示值校准

将设置好参数的记录器放置于压力试验装置,连接标准器及压力源,确认并同步记录标准器与被校记录器的时间间隔。工作介质采用清洁的空气或无毒、无害和化学性能稳定的气体。

选择包括上限值、下限值在内的不少于5个校准点,且均匀分布在整个测量范围内。对低于大气压力的校准点可选大气压力值作为下限值起始点,200 kPa(绝压)为必校点,也可按用户要求选择其他校准点。

平稳输入压力达到校准点, 校准点可由低到高直至上限, 每一校准点停留时间不少于 2 min, 压力变化量不应大于压力标准器读数值的 1%/min, 按同步的时间和间隔分别读取标准器和被检记录器的压力示值(无线通讯记录器为数据接收端显示的的压力值, 无接收端的记录器为取出记录器后读取的压力值)直至所有校准点, 每一校准点的读数值不少于 5 次。

记录器的压力示值误差按式 (1) 或式 (2) 计算:

$$\Delta p = \bar{p}_i - \bar{p}_{bi} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{\bar{p}_i - \bar{p}_{bi}}{p_m} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

Δp ——压力示值误差, kPa;

Δ ——压力示值误差, %;

\bar{p}_i ——第 i 个校准点被校记录器读数值的算术平均值, kPa;

\bar{p}_{bi} ——第 i 个校准点压力标准器示值的算术平均值, kPa;

p_m ——被校记录器的压力量程, kPa。

7.2.4 灭菌温度下压力示值校准

试验温度选取常规灭菌温度 121℃, 维持时间不少于 5min, 温度波动不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$, 水蒸汽产生的压力(绝压)在 (200 \pm 10) kPa 范围, 使用其他气体工作介质时应使标准器压力(绝压)维持在 200kPa, 分别读取压力标准器和被检记录器的压力示值, 每次校准点读数不少于 5 次。

记录器的压力示值误差按式 (1) 或式 (2) 计算。

记录器在其他温度下压力示值校准, 可按用户要求选择。

7.2.5 温度影响系数校准

20℃、121℃温度下 200kPa 压力示值校准分别按 7.2.3.2、7.2.4 进行。记录压力试验装置在 200kPa 时的温度值 t_1 、 t_2 。记录器的温度影响系数按式 (3) 计算:

$$k_t = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

式中: k_t ——温度影响因子, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$;

Δp_1 ——温度 t_1 时, 200 kPa (绝压) 校准点标准器与被检记录器的压力示值之差, kPa ;

Δp_2 ——温度 t_2 时, (200±10) kPa (绝压) 校准点标准器与被检记录器的压力示值之差, kPa ;

t_1 、 t_2 ——压力试验装置的温度值, $^\circ\text{C}$ 。

在 121 $^\circ\text{C}$ 温度下, 实际压力值按式 (4) 计算:

$$p_t = p_i - \Delta p_i - k_t \times \Delta t \quad (4)$$

式中:

p_t ——灭菌温度下的实际压力值, kPa ;

p_i ——灭菌温度下记录器的压力示值, kPa ;

Δp_i ——记录器在 p_i 点时的压力示值误差, kPa ;

Δt ——灭菌温度与压力示值误差校准时温度 (取 20 $^\circ\text{C}$) 之差, $^\circ\text{C}$ 。

8 校准结果的表达

8.1 校准数据处理

记录器校准记录 (式样) 见附录 A。

所有校准数据应先计算后修约, 出具的校准数据均保留与被校准记录器有效位数一致。

8.2 校准证书

记录器校准结果出具校准证书, 校准证书应包括的信息及校准证书校准结果内页 (式样) 见附录 B。

8.3 校准结果不确定度评定

校准结果的不确定度评定按照 JJF 1059.1—2012 进行, 不确定度评定实例见附录 C、附录 D。

9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况, 使用单位可根据实际使用情况自主

决定复校的时间，建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

记录器校准记录 (式样)

记录器校准记录 (式样) 见表A.1。

表A.1 压力无线数据记录器校准记录 (式样)

送检单位						记录编号			
样品	名称				型号规格				
	生产厂				出厂编号				
标准器	名称				仪器编号				
	型号规格				证书编号				
校准地点:					环境条件	温度_____℃, 湿度 _____%			
技术依据:									
一、密封性						二、耐压			
三、压力示值误差									
标准器示值 (kPa)		被检器示值 (kPa)				示值误差 (kPa)	扩展不 确定度, $k=2$		
		校准结果			均值				
四、灭菌温度下压力示值误差									
温度 (℃)	标准器 示值 (kPa)	被检器示值 (kPa)				示值误差 (kPa)	扩展不 确定度, $k=2$		
		校准结果			均值				
五、温度影响系数									
标准温度值 (℃)	标准压力 值 (kPa)	被检器压力值 (kPa)				示值误差 (kPa)	扩展不 确定 度, $k=2$		
		校准结果			均值				
121.0									
20.0									
温度影响系数 (kPa/℃)					温度影响量 (%/℃)				
备注:									

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____年 ____月 ____日

附录 B

校准证书校准结果内容

B.1 校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内校准）；
- f) 委托单位的名称和地址；
- g) 被校准记录器的信息；
- h) 校准所依据的校准规范名称和代号；
- i) 测量标准及其他设备的名称、技术参数及证书编号与有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 必要时，给出复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对校准对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2 记录器校准证书内页（式样）

记录器校准证书内页（式样）见表B.1。

表B.1 校准证书校准结果内页（式样）

序号	校准项目	技术要求	校准结果	扩展不确定度, $k=2$
1	耐压			/
2	密封性			/
3	压力示值 误差			

4	灭菌温度下				
	压力示值误				
	差				
5	温度影响系数 (kPa/°C)				
	温度影响量 (%/°C)				
<p>注： 灭菌温度下，实际压力值按照下式计算：</p> $p_t = p_i - \Delta p_i - k_t \times \Delta t$ <p>式中：</p> <p>p_t——灭菌温度下的实际压力值，kPa；</p> <p>p_i——灭菌温度下记录器的压力示值，kPa；</p> <p>Δp_i——记录器在 p_i 点时的压力示值误差，kPa；</p> <p>k_t——温度修正因子，kPa/°C；</p> <p>Δt——灭菌温度与压力示值误差校准时温度之差，°C。</p>					

附录 C

记录器压力示值误差测量结果不确定度评定 (示例)

C.1 概述

以校准测量范围为 (0~500) kPa, 0.5 级的 MPIII 型记录器为例, 用测量范围为 (0~500) kPa, 0.05 级的数字压力计作为测量标准, 采用直接比较法进行校准, 校准时的环境温度为 21.5℃, 相对湿度为 65%。现根据测量结果对其 200kPa 时的测量不确定度进行分析评定。

C.2 测量模型

C.2.1 测量模型

记录器压力示值误差的测量模型为:

$$\Delta p = \bar{p}_i - p_{bi}$$

式中: Δp —被校记录器压力示值误差, kPa;

\bar{p}_i —同一校准点记录器 5 次压力读数值算术平均值的算术平均值, kPa;

p_{bi} —标准数字压力计压力显示值, kPa;。

C.2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_i} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_s} = -1$$

C.3 标准不确定度分量来源

C.3.1 输入量 \bar{p}_i 导致的标准不确定度 $u(\bar{p}_i)$ C.3.1.1 被校记录器测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{p}_{i1})$ C.3.1.2 被校记录器分辨力引入的标准不确定度 $u(\bar{p}_{i2})$ C.3.2 数字压力计的传递误差 p_{bi} 导致的标准不确定度 $u(\bar{p}_{bi})$

C.4 标准不确定度分量评定

C.4.1 $u(\bar{p}_i)$ 的评定C.4.1.1 $u(\bar{p}_{i1})$ 的评定

压力源波动、示值波动以及校准过程中的其它随机因素等均会引起被校记

录器压力示值与标准数字压力计示值之差值的不重复。对被校记录器和标准数字压力计在重复性条件下，在 200kPa 压力点作 10 次测量，所得数据如下：

表 C.1 重复性测量结果 单位：kPa

200.03	200.03	200.05	200.04	200.04
200.04	200.04	200.04	200.05	200.05

$$\bar{p}_i = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_i}{10} = 200.041 \text{ kPa}$$

计算实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (p_i - \bar{p}_i)^2}{10-1}} = 0.0074 \text{ kPa}$$

实际校准中以 5 次重复测量的平均值作为测量结果，则重复性分量引入的标准不确定度分量为

$$u(\bar{p}_{i1}) = s / \sqrt{5} = 0.0033 \text{ kPa}$$

C.4.1.2 $u(\bar{p}_{i2})$ 的评定

被校记录器分辨力为 0.01kPa，则区间半宽 $a=0.005\text{kPa}$ ，该分布服从均匀分布，故

$$u(\bar{p}_{i2}) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029 \text{ kPa},$$

C.4.1.3 $u(\bar{p}_i)$ 的计算

输入量 $u(\bar{p}_{i1})$ 与 $u(\bar{p}_{i2})$ 分量计算有重复部分，取二者较大值，则

$$u(\bar{p}_i) = 0.0033 \text{ kPa}$$

C.4.2 $u(p_{bi})$ 的评定

$u(p)$ 主要由标准数字压力计的传递误差引入，测量范围为 (0~500) kPa，0.05 级的标准数字压力计在 200kPa 点上的最大允许误差为 $\pm 0.25\text{kPa}$ ，则区间半宽 $a=0.25\text{kPa}$ ，该分布服从均匀分布，故

$$u(\bar{p}_{bi}) = 0.25 / \sqrt{3} = 0.14 \text{ kPa}$$

C.5 合成标准不确定度的评定

C.5.1 标准不确定度分量一览表见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度的来源	标准不确定度 (kPa)	灵敏系数 c_i	标准不确定度分量 $ c_i u(x_i)$ (kPa)
$u(\bar{p}_i)$	测量重复性等	0.0033	1	0.0033
$u(p_{bi})$	标准器传递引入	0.14	-1	0.14

C.5.2 合成不确定度的计算

输入量 \bar{p}_i 、 \bar{p}_{bi} 彼此之间相互独立，则合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta p) = \sqrt{[c_1 u(\bar{p}_i)]^2 + [c_2 u(p_{bi})]^2} = 0.14 \text{ kPa}$$

C.6 扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U = k \times u_c(\Delta p) = 0.28 \text{ kPa}$$

C.7 测量不确定度的报告

记录器在 200kPa 压力校准点，其示值误差为+0.04kPa，扩展不确定度为：

$$U = 0.3 \text{ kPa}, k=2$$

附录 D

记录器温度影响系数的测量结果不确定度评定 (示例)

D.1 概述

以校准测量范围为 (0~500) kPa, 0.5 级的 MPIII 型记录器为例, 用测量范围为 (0~500) kPa, 0.05 级的数字压力计作为测量标准, 校准时的环境温度为 21.5℃, 相对湿度为 65%。

采用直接比较法进行校准, 试验温度选取常规灭菌温度 121℃, 维持时间不少于 5min, 温度波动不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$, 水蒸汽产生的压力在 (200 \pm 10) kPa (绝压) 范围, 分别读取标准器和被检记录器的压力示值, 读数次数不少于 5 次, 同时分别记录压力试验装置在不同压力示值下的温度值 t_1 、 t_2 。

D.2 测量模型

D.2.1 测量模型

记录器的温度影响系数按式 (D.1) 计算:

$$k_t = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{D.1})$$

式中: k_t ——温度修正因子, kPa/℃;

Δp_1 ——温度 t_1 时, 200 kPa (绝压) 校准点标准器与被检记录器的压力示值之差, kPa;

Δp_2 ——温度 t_2 时, (200 \pm 10) kPa (绝压) 校准点标准器与被检记录器的压力示值之差, kPa;

t_1 、 t_2 ——压力试验装置的温度值, ℃。

令 $\Delta p = \Delta p_2 - \Delta p_1$ 、 $\Delta t = t_2 - t_1$, 则式 (D.1) 为

$$k_t = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (\text{D.2})$$

D.2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial k_t}{\partial \Delta p} = \frac{1}{\Delta t}, \quad c_2 = \frac{\partial k_t}{\partial \Delta t} = -\frac{\Delta p}{\Delta t^2}$$

D.3 标准不确定度分量来源

D.3.1 输入量 Δp 导致的标准不确定度 $u(\Delta p)$

D.3.1.1 被校记录器测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\Delta p)$

D.3.1.2 被校记录器分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\Delta p)$

D.3.1.3 标准数字压力计的传递误差引入的标准不确定度 $u_3(\Delta p)$

D.3.2 输入量 Δt 导致的标准不确定度 $u(\Delta t)$

D.3.2.1 温度试验装置本身温度误差导致的标准不确定度 $u_1(\Delta t)$

D.3.2.2 温度试验装置温度波动度导致的标准不确定度 $u_2(\Delta t)$

D.4 标准不确定度分量评定

D.4.1 $u(\Delta p)$ 评定

D.4.1.1 $u_1(\Delta p)$ 评定

压力源波动、压力示值波动以及校准过程中的其它随机因素等均会引起被校记录器压力示值与标准数字压力计示值之差值的不重复。对被校记录器和标准数字压力计在重复性条件下, 在 200kPa 压力点作 10 次测量, 所得数据如下:

表 D.1 重复性测量结果 单位: kPa

200.03	200.03	200.05	200.04	200.04
200.04	200.04	200.04	200.05	200.05

$$\bar{p}_i = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_i}{10} = 200.041 \text{ kPa}$$

计算实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (p_i - \bar{p}_i)^2}{10-1}} = 0.0074 \text{ kPa}$$

实际校准中以 5 次重复测量的平均值作为测量结果, 则重复性分量引入的标准不确定度分量为

$$u(\bar{p}_{i1}) = s / \sqrt{5} = 0.0033 \text{ kPa}$$

D.4.1.2 $u_2(\Delta p)$ 评定

被校记录器分辨力为 0.01kPa, 则区间半宽 $a=0.005\text{kPa}$, 该分布服从均匀

分布, 故

$$u_2(\Delta p) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029 \text{ kPa}$$

输入量 $u_2(\Delta p)$ 、 $u_1(\Delta p)$ 有重复部分, 与 $u_1(\Delta p)$ 相比, 则 $u_2(\Delta p)$ 产生的标准不确定度可以忽略不计。

D.4.1.3 标准数字压力计的传递误差引入的标准不确定度 $u_3(\Delta p)$

$u_3(\Delta p)$ 主要由标准数字压力计的传递误差引入, 测量范围为 (0~500) kPa, 0.05 级的标准数字压力计的最大允许误差为 $\pm 0.25 \text{ kPa}$, 则区间半宽 $a = 0.25 \text{ kPa}$, 该分布服从均匀分布, 故

$$u_3(\Delta p) = 0.25 / \sqrt{3} = 0.14 \text{ kPa}$$

综合以上不确定度分析, 则输入量 Δp 导致标准不确定度 $u_1(\Delta p)$ 、 $u_3(\Delta p)$ 为

$$u(\Delta p) = \sqrt{0.033^2 + 0.14^2} = 0.14 \text{ kPa}$$

由于 $\Delta p = \Delta p_2 - \Delta p_1$ 采用两次压力示值之差, 所以

$$u(\Delta p) = 2 \times 0.14 \text{ kPa} = 0.28 \text{ kPa}$$

D.4.2 $u(\Delta t)$ 评定

D.4.2.1 $u_1(\Delta t)$ 评定

$u_1(\Delta t)$ 主要由标准温度计的传递误差引入, 测量范围为 (0~150) °C; MPE: ± 0.3 °C, 则区间半宽 $a = 0.3$ °C, 服从均匀分布, 故

$$u_1(\Delta t) = 0.3 / \sqrt{3} = 0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.4.2.1 $u_2(\Delta t)$ 评定

$u_2(\Delta t)$ 主要由温度试验装置的温度波动度引入, 温度波动不超过 ± 0.5 °C/min, 则 MPE: ± 0.5 °C, 则区间半宽 $a = 0.5$ °C, 服从均匀分布, 故

$$u_2(\Delta t) = 0.5 / \sqrt{3} = 0.29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

综合以上不确定度分析, 则输入量 Δt 导致标准不确定度 $u_1(\Delta t)$ 、 $u_2(\Delta t)$ 为

$$u(\Delta t) = \sqrt{0.17^2 + 0.29^2} = 0.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

由于 $\Delta t = t_2 - t_1$ 采用两次温度测量差值, 因此

$$u(\Delta t) = 2 \times 0.34 = 0.68^\circ\text{C}$$

D.5 合成标准不确定度的评定

D.5.1 灵敏系数计算

$t_1 = 20.0^\circ\text{C}$ 、 $t_2 = 121.0^\circ\text{C}$, $\Delta t = t_2 - t_1 = 101^\circ\text{C}$; $\Delta p_1 = 0.40 \text{ kPa}$ 、 $\Delta p_2 = 0.80 \text{ kPa}$,

$\Delta p = \Delta p_2 - \Delta p_1 = 0.40 \text{ kPa}$ 。则

$$c_1 = \frac{\partial k_t}{\partial \Delta p} = \frac{1}{\Delta t} = 0.01 / ^\circ\text{C}, \quad c_2 = \frac{\partial k_t}{\partial \Delta t} = -\frac{\Delta p}{\Delta t^2} = -3.92 \times 10^{-5} \text{ kPa}/^\circ\text{C}^2$$

D.5.2 标准不确定度分量一览表见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度符号	不确定度分量来源	标准不确定度分量	灵敏系数 c_i	标准不确定度分量 $ c_i \cdot u(x_i)$
$u(\Delta p)$	输入量 Δp	0.28 kPa	0.01 $^\circ\text{C}$	$0.28 \times 10^{-2} \text{ kPa}/^\circ\text{C}$
$u(\Delta t)$	输入量 Δt	0.68 $^\circ\text{C}$	$-3.92 \times 10^{-5} \text{ kPa}/^\circ\text{C}^2$	$2.67 \times 10^{-5} \text{ kPa}/^\circ\text{C}$

D.5.3 合成不确定度的计算

输入量 $u(\Delta p)$ 、 $u(\Delta t)$ 彼此之间相互独立, 则合成标准不确定度为

$$u_c(k_t) = \sqrt{u(\Delta p)^2 + u(\Delta t)^2} = 0.28 \times 10^{-2} \text{ kPa}/^\circ\text{C}$$

D.6 扩展不确定度的评定

取 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U = k \times u_c(k_t) = 0.56 \times 10^{-2} \text{ kPa}/^\circ\text{C}$$

D.7 测量不确定度的报告

记录器在 200 kPa 校准点上示值误差为 +0.04 kPa, 温度影响系数为 0.004 kPa/ $^\circ\text{C}$, 温度影响系数的扩展不确定度为 $U = 0.6 \times 10^{-2} \text{ kPa}/^\circ\text{C}$, $k=2$ 。