

压力传感器性能试验方法

Test methods of the performances  
for pressure transducer/sensor

1 主题内容与适用范围

本标准规定了压力传感器(以下简称传感器)性能的试验条件、试验项目及试验方法。

本标准适用于研制、生产、使用中的压力传感器(包括绝压传感器、差压传感器、表压传感器和负压传感器)的性能试验和质量评定。

2 引用标准

- GB 2421 电工电子产品基本环境试验规程 总则
- GB 2422 电工电子产品基本环境试验规程 名词术语
- GB 2423 电工电子产品基本环境试验规程
- GB 7665 传感器通用术语
- GJB 150 军用设备环境试验方法

3 试验条件

3.1 环境条件

3.1.1 参比大气条件

传感器的参比性能试验应在下述参比大气条件下进行:

- 温度:18~22℃;
- 相对湿度:60%~70%;
- 大气压力:86~106 kPa。

3.1.2 一般试验大气条件

当传感器不可能或无必要在参比大气条件下进行试验时,推荐采用下述大气条件:

- 温度:15~35℃;
- 相对湿度:45%~75%;
- 大气压力:86~106 kPa。

注:在每项试验期间,允许的温度变化每小时不大于1℃。相对湿度范围也可由供需双方商定。

3.1.3 仲裁大气条件

当对试验结果有争议时,经供需双方商定后,可从表1中任选一组大气条件进行试验。

表 1

大气条件 参 数	组 别			
	A	B	C	D
温度(℃)	20±1	23±1	25±1	27±1
相对湿度(%)	65±2	50±2	50±2	65±2
大气压力(kPa)	86~106			

注：试验过程中，如果相对湿度对试验结果没有影响，则可不予考虑；如果试验温度超出表 1 中规定的范围，应由供需双方协商规定特性参数的合适极限。

### 3.1.4 其他环境条件

除上述大气条件外，还应在下述环境条件下进行：

- a. 磁场 除地磁场外，应无其他外界磁场；
- b. 机械振动 应无机械振动。

### 3.2 动力条件

#### 3.2.1 公称值

按有关国家、行业、企业标准规定。

#### 3.2.2 允差

##### a. 电源

- 电压：±1%；
- 频率：±1%；
- 谐波失真：小于 5%（交流电源）；
- 纹波：小于 0.1%（直流电源）。

##### b. 气源

- 压力：±1%；
- 供气温度：环境温度±2℃；
- 供气湿度：在工作压力下，露点至少低于传感器表壳温度 10℃；
- 无油、无灰尘：气源含油量应不大于 100 g/m<sup>3</sup>，灰尘微粒应不大于 3 μm。

注：对允差如有特殊要求，可由传感器详细规范规定。

### 3.3 校准系统

校准系统由标准压力源、激励电源和读数记录装置三部分组成。其综合误差可按三部分装置误差的均方根的方法计算，而且应不超过被试传感器允许基本误差的 1/3。综合误差也可由传感器的详细规范规定。

#### 3.3.1 标准压力源

标准压力源应选用工作基准活塞压力计、工作基准微压计、标准活塞式压力计、标准活塞式压力真空计、气动活塞式压力计、标准浮球式压力计、标准液体压力计（微压计）、数字式压力计、精密压力表以及其他相应准确度等级的压力计量标准器。

标准压力源选择原则如下：

- a. 对于 0.01~0.05 级的传感器，其误差应不超过被试传感器允许基本误差的 1/2。
- b. 对于 0.1~4.0 级的传感器，其误差应不超过被试传感器允许基本误差的 1/3~1/5。
- c. 提供的仪表或监视标准压力源的仪表量程，应为被试传感器满量程的 125%。

d. 在整个量程范围内的压力输出应连续可调,压力输出也可以采用阶跃式调节,但阶跃的方式必须保证被试传感器在试验过程中不因过冲和扰动而引起迟滞误差。

注:对于精确度超过 0.01 级的传感器,可由传感器详细规范规定。

### 3.3.2 激励电源

激励电源按被试传感器要求,应选用精密稳压电源、稳流电源、干电池或蓄电池。其稳定度误差应不超过被试传感器允许基本误差的  $1/5\sim 1/10$ 。

### 3.3.3 读数记录装置

读数记录装置按被试传感器的要求,应选用数字式电压表、数字式频率计、电流表。其精确度误差应不超过被试传感器允许基本误差的  $1/5\sim 1/10$ 。

### 3.3.4 其他试验设备

其他试验设备应按试验要求配备。

## 4 试验的一般规定

### 4.1 证书文件

试验用的主要仪器设备和计量器具必须具有计量检定单位签发的有效期内的检定证书。

### 4.2 外观

传感器的外观应无明显的瑕疵、划痕,接头螺纹应无毛刺、锈蚀和损伤,焊接处应牢固,接插件应接触可靠。

### 4.3 标志

传感器的标志应清晰、正确无误。其中包括:

- a. 电源输入线、输出线及极性的标志;
- b. 差压传感器的高压端和低压端接嘴应有永久性标志。

### 4.4 放置时间

试验前,被试传感器应在试验环境条件下放置,放置时间应不小于 1 h。放置时间也可按传感器的详细规范规定。

### 4.5 预热时间

试验前,被试传感器及其相连接的测试仪器和激励电源应通电预热,预热时间应不小于 0.5 h。预热时间也可按传感器的详细规范规定。

### 4.6 连接方式

被试传感器与其激励电源、压力源和读数装置的连接方式,应按其压力系统管路图和电路图的规定。连接方式也可按传感器的详细规范规定。

### 4.7 安装方法

被试传感器的安装方法,应按传感器的详细规范规定。

## 5 试验项目及方法

### 5.1 外观检查

#### 5.1.1 检查项目

- a. 标志;
- b. 材料;
- c. 表面加工质量;
- d. 焊接件牢固性,接插件接触可靠性。

#### 5.1.2 检查方法

除详细规范有要求外,对传感器外观不允许采用特殊检查方法,如偏振光(观察材料的内部张力)、

其他指示器(观察内部材料的龟裂或细小气孔),应使用下列方法之一进行外观检查:

**a.** 用目测检查

操作者应具备正常视力和颜色分辨力,并在选择最有利的观察距离和适当的照度下进行。

**b.** 用放大镜检查

如传感器详细规范中有规定时,可使用放大镜进行检查。

**5.1.3 检查细节的规定**

被试传感器外观检查的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

**a.** 检查的特征参数;

**b.** 检查的细节;

**c.** 放大镜倍数(如果有规定);

**d.** 特征参数的规定值及判据;

**e.** 与本标准试验方法的不同之处。

**5.2 尺寸和重量检查**

**5.2.1 检查项目**

**a.** 外形尺寸;

**b.** 重量。

**5.2.2 检查方法**

应使用下述的适当量仪进行传感器的外形尺寸和重量检查:

**a.** 游标卡尺、千分尺及千分表;

**b.** 标准规;

**c.** 具有适当线性放大倍数的投影仪;

**d.** 测量显微镜;

**e.** 天平。

**5.2.3 检查细节的规定**

被试传感器检查的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

**a.** 检查的特征参数;

**b.** 标准规细节(如适用);

**c.** 测量设备的型号及放大倍数;

**d.** 特征参数的规定值及判据;

**e.** 与本标准试验方法的不同之处。

**5.3 电气性能试验**

**5.3.1 试验项目**

**a.** 输入阻抗;

**b.** 输出阻抗;

**c.** 负载阻抗;

**d.** 绝缘电阻;

**e.** 绝缘强度。

**5.3.2 试验方法**

用下述的适当量仪进行传感器的输入阻抗、输出阻抗、负载阻抗、绝缘电阻和绝缘强度的试验。

**a.** 输入阻抗

在传感器输出端开路情况下,用数字万用表或相应仪表测量其输入端的阻抗。

**b.** 输出阻抗

在传感器输入端短路情况下,用数字万用表或相应仪表测量其输出端的阻抗。

**c. 负载阻抗**

在被试传感器输入端施加激励电源、输出端接可变电阻器的情况下,逐步减小可变电阻器的阻值,直到传感器的输出值超过规定值时,可变电阻器指示的阻值即为传感器的负载阻抗。

**d. 绝缘电阻**

在被试传感器不施加激励电源条件下,用绝缘电阻测试仪或相应仪表给传感器施加规定的直流电压,测出传感器引出线与壳体之间的绝缘电阻(包括插头座和引出线)。

**e. 绝缘强度**

在被试传感器不施加激励电源条件下,用绝缘强度试验仪或相应仪表给传感器引出线与壳体之间施加 50 Hz 规定的交流电压,在规定的时间内应无击穿及飞弧现象。

**5.3.3 试验细节的规定**

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验用的仪器设备;
- c. 试验的环境条件;
- d. 特征参数的规定值及判据;
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

**5.4 静态性能试验****5.4.1 试验项目**

- a. 零点输出;
- b. 满量程输出;
- c. 非线性度;
- d. 迟滞;
- e. 重复性;
- f. 精确度;
- g. 灵敏度;
- h. 零点漂移;
- i. 超负荷。

**5.4.2 试验方法**

被试传感器在符合本标准 4.1~4.7 条的规定条件下,给传感器施加不少于 3 次的预压,使被试传感器压力升到测量上限值,待压力稳定后降压,返回零点。然后在包括传感器测量上、下限的全量程范围内选择均匀分布的 6~11 个试验点进行,并且重复三次或三次以上的升、降压校准循环。

通过上述试验获得的数据,按附录 A 的计算方法可确定下列静态特性指标。

**5.4.2.1 零点输出( $Y_0$ )**

在室内条件下,所加被测量为零时传感器的输出值为零点输出。

**5.4.2.2 满量程输出( $Y_{F.S}$ )**

a. 传感器测量上限输出值与测量下限输出值之差的绝对值(以理论特性直线的计算值为依据)为满量程输出值,按附录 A 的公式(A11)计算。

b. 对于定点使用的非线性传感器,为传感器测量上、下限示值的平均值之差的绝对值,按附录 A 的公式(A12)计算。

c. 对于非定点使用的非线性传感器及带刻度方程的线性传感器,为刻度方程上的上、下点输出值之差的绝对值,按附录 A 的公式(A13)计算。

**5.4.2.3 非线性度( $\xi_L$ )**

校准曲线与某一规定直线偏离的程度为非线性度。

a. 线性传感器的非线性度( $\xi_L$ ),按附录 A 的公式(A14)计算。

b. 非线性传感器,不计算非线性度指标;对于已给刻度方程的传感器,要在数据处理后按附录 A 的公式(A14)计算。对于非定点使用的非线性传感器,按附录 A 的公式(A15)计算刻度误差( $\xi_k$ )。刻度误差的指标要求与非线性度要求相同。

#### 5.4.2.4 迟滞( $\xi_H$ )

在规定的范围内,在同一试验点当被测量值增加和减少时输出中出现的最大差值为迟滞( $\xi_H$ ),按附录 A 的公式(A16)计算。

#### 5.4.2.5 重复性( $\xi_R$ )

在所有下述条件(相同测量方法、相同观测者、相同测量仪器、相同地点、相同使用条件和在短时期内的重复)下,对同一被测量进行多次连续测量所得结果之间的符合程度为重复性( $\xi_R$ ),按附录 A 的公式(A17)~(A20)计算。

#### 5.4.2.6 精确度( $\xi$ )

被试传感器的测量结果与(约定)真值间的一致程度为精确度( $\xi$ )。它取决于系统误差带与随机误差带的大小。精确度( $\xi$ )按附录 A 的公式(A21)~(A28)计算。

#### 5.4.2.7 灵敏度( $s$ )

传感器输出量的增量与相应的输入量增量之比为灵敏度,按附录 A 的公式(A29)~(A31)计算。

#### 5.4.2.8 零点漂移( $d_z$ )

在规定的间隔及室内条件下,零点输出的变化为零点漂移。

传感器通电预热到规定时间(min)后,读取零点输出值,然后每隔规定时间(min)记录一次零点示值,从开始记录起连续进行的时间不得少于 2 h。零点漂移按附录 A 的公式(A32)计算。

#### 5.4.2.9 超负荷(过载)

在规定允差范围内,能够加在传感器上不致引起性能永久性变化的被测量的最大值为超负荷。

对传感器施加规定的测量上限\_\_\_\_(%)的超负荷压力信号,保持规定时间(min)后卸载,按规定时间(min)予以恢复;然后按本标准 5.4 条的规定进行静态性能试验。传感器的性能指标值应符合静态性能各项指标的规定值。

#### 5.4.3 试验细节的规定

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验设备及量仪型号;
- c. 试验的环境条件;
- d. 特征参数的规定值及判据;
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

#### 5.5 稳定性试验

##### 5.5.1 试验项目

- a. 零点稳定性;
- b. 灵敏度稳定性。

##### 5.5.2 试验方法

在规定的稳定性检定周期内,传感器每月至少应连续通电 4 h 一次,并进行 3 次或 3 次以上的校准循环,方可确定下述稳定性指标

###### 5.5.2.1 零点稳定性( $r_z$ )

在规定的期间(月)内,零点示值的最大差值对满量程输出的百分比为零点稳定性,按附录 A 的公式(A33)计算。

###### 5.5.2.2 灵敏度稳定性( $r_s$ )

在规定的期间(月)内,灵敏度示值的最大差值对满量程输出的百分比为灵敏度稳定性,按附录 A 的公式(A34)计算。

### 5.5.3 试验细节的规定

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验设备及量仪的型号;
- c. 试验的环境条件;
- d. 特征参数的规定值及判据;
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

## 5.6 动态性能试验

### 5.6.1 试验项目

- a. 频率响应;
- b. 谐振频率;
- c. 自振频率;
- d. 阻尼比;
- e. 上升时间;
- f. 时间常数;
- g. 过冲量。

### 5.6.2 试验方法

传感器的动态性能参数应使用下列方法之一进行动态性能试验:

#### a. 瞬态激励法

将传感器与激波管或快速开启阀相连接,对于负压传感器可用爆破膜片发生器产生一个负的阶跃压力信号,上述阶跃压力的上升时间至少应是传感器被预测的上升时间的 1/3 或更短。

当激励装置产生一个阶跃压力信号时,用瞬态记录仪记录传感器的响应波形;然后对其进行分析,以确定动态特性的各参数。

#### b. 正弦激励法

对于几千赫芝以下的频率、10 MPa 以下的峰值动态压力,可用正弦压力发生器直接测得传感器的频率响应。如果传感器本身的谐振频率在正弦压力发生器的频率范围之内,还可得到传感器的谐振频率、阻尼比和响应时间等。

采用正弦激励法时,应在正弦压力发生器上安装标准传感器,其动态性能指标要高于被测传感器动态性能指标的 5~10 倍。

通过上述试验方法,可确定下列动态特性指标:

#### 5.6.2.1 频率响应

在规定的被测量频率范围内,对加在传感器上的正弦变化的被测量来说,输出量与被测量振幅之比及输出量和被测量之间相差随频率的变化为频率响应。表示为:从零至\_\_\_\_(Hz)时,幅值误差不大于\_\_\_\_%;相位偏差不大于\_\_\_\_。

频率响应应以在规定的被测量频率范围内的频率和某一规定的被测量为基准。

#### 5.6.2.2 谐振频率

传感器具有最大输出幅值的被测量频率为谐振频率。表示为:\_\_\_\_(Hz 或 kHz)。

#### 5.6.2.3 自振频率(亦称振铃频率)

当被测量(压力)为阶跃变化时,在传感器输出中瞬时出现的自由振荡频率为自振频率。表示为:\_\_\_\_(Hz 或 kHz)。

#### 5.6.2.4 阻尼比

实际阻尼系数与临界阻尼所对应的阻尼系数之比为阻尼比。表示为临界阻尼的\_\_\_\_(%)。

#### 5.6.2.5 上升时间

由于被测量(压力)的阶跃变化,传感器输出从规定最终值一个小的百分率上升到一个大的规定百分率的持续时间,为上升时间。表示为:对传感器施加压力\_\_\_\_(MPa)的阶跃压力信号从10%上升至90%的持续时间(ms或 $\mu$ s)。

#### 5.6.2.6 时间常数

由于被测量(压力)的阶跃变化,传感器输出上升到最终值的63%时所需要的持续时间为时间常数。对传感器施加\_\_\_\_(MPa)压力的阶跃压力信号,从输出上升到最终值的63%时所需要的持续时间表示为\_\_\_\_(ms或 $\mu$ s)。

#### 5.6.2.7 过冲量

对传感器施加阶跃压力信号后,其输出超过稳定值的最大值为过冲量。

#### 5.6.3 试验细节的规定

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验设备及量仪的型号;
- c. 试验的环境条件;
- d. 特征参数的规定值及判据;
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

#### 5.7 影响量试验

##### 5.7.1 试验项目

- a. 温度影响;
- b. 振动影响;
- c. 冲击影响;
- d. 加速度影响;
- e. 湿热影响;
- f. 外磁场影响;
- g. 气密性影响;
- h. 盐雾影响;
- i. 热辐射影响;
- j. 低气压影响;
- k. 低温/低气压综合影响;
- l. 高温/低气压综合影响;
- m. 低温/低气压/湿热综合影响;
- n. 砂尘影响;
- o. 噪声影响。

##### 5.7.2 试验方法

###### 5.7.2.1 温度影响试验

传感器的温度影响试验应按 GB 2423.1 试验 A 和 GB 2423.2 试验 B 的规定进行。

试验时,首先记录室温温度,在室温下进行三次上、下限校准循环,测其室温时零点输出平均值及满量程输出平均值。然后,将传感器置于合适的高低温试验箱内,在一定的温度(至少是工作温区的上、下限)下经过规定时间的充分热稳定之后,记录其温度值并进行三次测量上、下限校准循环,返回到开始前的同一温度值,再测一次零点输出值及满量程输出值(允许只测一次)。最后按附录 A 的公式(A35)、(A36)、(A37)和(A38)计算热零点漂移( $\alpha$ )、热灵敏度漂移( $\beta$ )、热零点滞后( $\alpha_H$ )和热灵敏度滞后( $\beta_H$ )。



试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.7.2.2 振动影响试验

传感器的振动影响试验应按 GB 2423.10 试验 Fc 的规定进行。

试验时,将传感器安装在振动试验台上,按规定的频率和振幅,沿规定的方向振动。记录传感器振动前和振动过程中的零位输出信号,并按附录 A 的公式(A39)计算振动对零点影响。振动试验后按 5.4 条方法进行静态性能试验,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.7.2.3 冲击影响试验

传感器的冲击影响试验应按 GB 2423.5 试验 Ea 的规定进行。

将传感器安装在冲击试验台上,按规定的加速度和轴向进行冲击,达到规定的冲击次数后,按 5.4 条方法进行静态性能试验,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.7.2.4 加速度影响试验

传感器的加速度影响试验应按 GB 2423.15 试验 Ga 的规定进行。

将传感器安装在离心试验机上,在规定的方向上施加规定的加速度,记录传感器加速前和加速过程中的零位输出信号,并按附录 A 的公式(A40)计算加速度对零点影响。加速度试验后,按 5.4 条方法进行静态性能试验,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.7.2.5 湿热影响试验

传感器的湿热影响试验应按 GB 2423.3 试验 Ca 的规定进行。

将被试传感器放置在恒温恒湿试验箱内,施加规定的温度( $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ )和湿度( $93\pm 2\%$ ),保持规定的时间(48 h)后,将传感器取出放到试验环境中,在 10 min 内测量传感器的绝缘电阻,并按 5.4 条方法进行静态性能试验,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.7.2.6 外磁场影响试验

将传感器放置在电磁场干扰试验台中,使磁场方向对准传感器第一坐标轴向(Y 轴向)。首先,对传感器施加量程为 50%~70%的压力信号,记录传感器输出值,然后施加磁场强度为 400 A/M(均方根)的磁场信号,调整移相器( $0\sim 360^{\circ}$ )观察传感器的输出变化,并按附录 A 的公式(A38)计算外磁场对传感器输出值的影响,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

上述试验,应在磁场对准与第一坐标轴互相垂直的其他两个坐标轴上重复进行。

#### 5.7.2.7 气密性影响试验

按被试传感器型式的不同,使用下列方法之一进行气密性影响试验:

##### a. 绝压和密封参考压力传感器

将被试传感器置于真空箱内,接上测试记录仪器。当真空度达到规定值并保持恒定时,记下传感器的零位输出。在此状态下,保持规定时间,再记下零位输出,其零位输出变化所引起的误差应符合传感器详细规范规定的要求。

##### b. 单向和双向差压传感器

将传感器的“高”、“低”压两端的接管嘴用一个三通接头与真空泵及标准气压表相连,并将整个系统抽空到规定的压力值,关闭真空泵。在规定的温度和规定的时间内,观察标准气压表压力指示变化应符合规定值(Pa)。亦可采用将真空泵换成一高压源,向传感器“高”、“低”压腔加压至规定值,并将传感器浸入液体介质(如水)中,不应有气泡逸出。

#### 5.7.2.8 盐雾影响试验

传感器的盐雾影响试验应按 GB 2423.17 试验 Ka 的规定进行。

经本试验后,不进行电气试验,但传感器详细规范有要求时,可进行无电荷下的规定试验,以评定本试验对传感器性能的影响。试验后,经蒸馏水洗净和干燥进行传感器外观检查(要特别注意龟裂、起皮和暴露处的麻点),试验结果应符合传感器详细规范规定要求。

#### 5.7.2.9 热辐射影响试验

传感器的热辐射影响试验应按 GB 2423. 24 试验 Sa 的规定进行。

经本试验后,应按 5. 2 和 5. 3 条规定进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 10 低气压影响试验

传感器在常温低气压条件下贮存、运输和使用时,应按 GB 2423. 21 试验 M 的规定进行。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条规定进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 11 低温/低气压综合试验

传感器在低温和低气压同时作用下贮存、运输和使用时,应按 GB 2423. 25 试验 Z/AM 的规定进行低温/低气压综合试验。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条规定进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 12 高温/低气压综合试验

传感器在高温和低气压同时作用下贮存、运输和使用时,应按 GB 2423. 26 试验 Z/BM 的规定进行高温/低气压综合试验。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条规定进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 13 低温/低气压/湿热连续综合试验

传感器在低温、低气压和湿热所组成的连续综合环境下贮存、运输和使用时,应按 GB 2423. 27 试验 Z/AMD 的规定进行低温/低气压/湿热连续综合试验。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条规定进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 14 砂尘试验

传感器在尘埃环境下贮存、运输和使用时,应按 GB 2423. 37 试验 L 进行砂尘试验。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5. 7. 2. 15 噪声试验

传感器在噪声环境下贮存、运输和使用时,应按 GJB 150. 17 进行噪声试验。

经本试验后,按 5. 2 和 5. 3 条进行外观和电气性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

### 5. 7. 3 试验细节的规定

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验设备及量仪的型号;
- c. 试验的环境条件;
- d. 特征参数的规定值及判据;
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

## 5. 8 寿命试验

### 5. 8. 1 试验项目

- a. 循环寿命;
- b. 贮存寿命。

### 5. 8. 2 试验方法

#### 5. 8. 2. 1 循环寿命试验

将传感器安装到专用的压力疲劳试验机上,按规定的压力范围、压力循环次数和变化速度(每分钟循环次数)进行压力循环后,按 5.4 条进行静态性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.8.2.2 贮存寿命试验

将传感器按规定的贮存条件贮存至规定时间后,按 5.4 条进行静态性能检测,试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.8.3 试验细节的规定

被试传感器试验的有关细节,应由传感器的详细规范规定。其中包括:

- a. 试验的特征参数;
- b. 试验设备及量仪的型号;
- c. 试验的环境条件(温度、湿度等);
- d. 特征参数的规定值及判据(如压力范围、变化速度、贮存时间等);
- e. 与本标准试验方法的不同之处。

## 6 数据计算及处理

本标准中有关性能试验数据的计算方法按附录 A 的规定,计算的数值需要修约时,应在规定的精确范围内,按统一的数字修约规则进行。

附 录 A  
性能指标的计算方法  
(补充件)

### A1 实际校准特性

传感器的实际校准特性通过传感器的静态校对获得。

设在传感器的整个测量范围内有  $m$  个校准点,进行  $n$  次压力循环校准试验,则在任一校准点上分别有  $n$  个正反行程校准数据。计算每个校准点上正、反行程校准数据的平均值和总的平均值:

正行程平均值  $\bar{Y}_{Ui}$  为:

$$\bar{Y}_{Ui} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{Ui,j} \quad \dots\dots\dots (A1)$$

反行程平均值  $\bar{Y}_{Di}$  为:

$$\bar{Y}_{Di} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{Di,j} \quad \dots\dots\dots (A2)$$

总平均值  $\bar{Y}_i$  为:

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{2} (\bar{Y}_{Ui} + \bar{Y}_{Di}) \quad \dots\dots\dots (A3)$$

上述式中:  $Y_{Ui,j}$ ——正行程第  $i$  个校准点第  $j$  次的示值 ( $i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$ );  
 $Y_{Di,j}$ ——反行程第  $i$  个校准点第  $j$  次的示值 ( $i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$ );  
 $n$ ——重复试验次数。

### A2 工作特性方程

线性传感器工作特性方程的一般形式为:

$$Y = a + bX \quad \dots\dots\dots (A4)$$

#### A2.1 端基直线方程

端基直线方程为:

$$Y_{TB} = a + bX \quad \dots\dots\dots (A5)$$

其中:  $b = \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_L}{X_H - X_L}$ ;  $a = \bar{Y}_L - bX_H$ 。

当测量下限输入值为零(即  $X_L=0$ )时,  $a = \bar{Y}_L$ 。

#### A2.2 零基直线方程

零基直线方程为:

$$Y_{ZB} = bX \quad \dots\dots\dots(A6)$$

零基直线斜率  $b$  可按传感器实际(平均)校准曲线与该直线的最大正、负偏差的绝对值相等的条件以逐步逼近方法求出。

**A2.3 平移端基直线方程**

平移端基直线方程为：

$$Y_{SB} = a + bX \quad \dots\dots\dots(A7)$$

因平移端基直线斜率与端基直线斜率相等,故  $b = \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_L}{X_H - X_L}$ 。

平移端基直线截距  $a$  由  $a = \bar{Y}_L - \frac{1}{2} [ |(\Delta Y_L)'_{\max}| - |(\Delta Y_L)''_{\max}| ] - bX_L$  求出。当测量下限输入值为零(即  $X_L = 0$ )时,则截距  $a$  由  $a = \bar{Y}_L - \frac{1}{2} [ |(\Delta Y_L)'_{\max}| - |(\Delta Y_L)''_{\max}| ]$  求出。

式中:  $(\Delta Y_L)'_{\max}$  为实际(平均)校准曲线相对端基直线数值的最大正偏差;

$(\Delta Y_L)''_{\max}$  为实际(平均)校准曲线相对端基直线数值的最大负偏差。

**A2.4 最小二乘直线方程**

最小二乘直线方程为：

$$Y_{LS} = a + bX \quad \dots\dots\dots(A8)$$

其中截距  $a$  和斜率  $b$  分别按公式(A9)和公式(A10)求出：

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m X_i^2 \cdot \sum_{i=1}^m \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^m X_i \cdot \sum_{i=1}^m X_i \bar{Y}_i}{m \sum_{i=1}^m X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m X_i \right)^2} \quad \dots\dots\dots(A9)$$

$$b = \frac{m \sum_{i=1}^m X_i \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^m X_i \sum_{i=1}^m \bar{Y}_i}{m \sum_{i=1}^m X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m X_i \right)^2} \quad \dots\dots\dots(A10)$$

上述式中:  $X_i$ ——第  $i$  个鉴定点的压力值( $i=1,2,3,\dots,m$ );

$\bar{Y}_i$ ——第  $i$  个鉴定点正、反行程的总平均值;

$m$ ——校准点个数。

**A2.5** 对于定点使用的非线性传感器,可采用正、反行程的平均值为传感器的工作特性。

**A2.6** 对于非定点使用的非线性传感器及带刻度方程的线性传感器,可采用刻度方程为其工作特性。

**A3 满量程输出值( $Y_{F.S}$ )**

**A3.1** 传感器测量上限输出值与测量下限输出值之差的绝对值(以理论特性直线的计算值为依据)为满量程输出值,即:

$$Y_{F.S} = |b \cdot (X_H - X_L)| \quad \dots\dots\dots(A11)$$

式中： $b$ ——理论工作直线的斜率；  
 $X_H, X_L$ ——分别为测量上、下限的压力值。

**A3.2** 对于定点使用的非线性传感器，满量程输出值：

$$Y_{F.S} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \quad \dots\dots\dots(A12)$$

式中： $\bar{Y}_H, \bar{Y}_L$ ——分别为测量上、下限示值平均值。

**A3.3** 对于非定点使用的非线性传感器及带刻度方程的线性传感器，满量程输出值为：

$$Y_{F.S} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \quad \dots\dots\dots(A13)$$

式中： $\bar{Y}_H, \bar{Y}_L$ ——分别为刻度方程上的上、下点输出值。

#### A4 非线性度( $\xi_L$ )

**A4.1** 线性传感器的非线性度指标

$$\xi_L = \frac{|\bar{Y}_i - Y_i|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(A14)$$

式中： $\bar{Y}_i$ ——根据(A3)式计算出的总平均值；

$Y_i$ ——根据(A5)式或(A8)式计算出的数值；对于带刻度方程的线性传感器为其刻度方程对应值；

$Y_{F.S}$ ——根据(A11)式、(A12)式或(A13)式计算出的满量程输出值。

**A4.2** 非线性传感器不计算非线性度指标，对于非定点使用的非线性传感器，计算刻度误差  $\xi_K$  (指标要求与非线性度相同)：

$$\xi_K = \frac{|\bar{Y}_i - Y|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(A15)$$

式中： $\bar{Y}_i$ ——根据(A3)式计算出的总平均值；

$Y$ ——非定点使用的非线性传感器刻度方程对应值；

$Y_{F.S}$ ——根据(A11)式、(A12)式或(A15)式计算出的满量程输出值。

#### A5 迟滞( $\xi_H$ )

$$\xi_H = \frac{|\bar{Y}_{U_i} - \bar{Y}_{D_i}|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(A16)$$

式中： $\bar{Y}_{U_i}, \bar{Y}_{D_i}$ ——分别为同一校验点上正、反行程示值的平均值；

$Y_{F.S}$ ——满量程输出值。

**A6 重复性( $\xi_R$ )**

采用贝赛尔公式分别计算每个校验点上正、反行程的子样标准偏差:

正行程子样标准偏差  $S_{U_i}$  为:

$$S_{U_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{U_{ij}} - \bar{Y}_{U_i})^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A17})$$

反行程子样标准偏差  $S_{D_i}$  为:

$$S_{D_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{D_{ij}} - \bar{Y}_{D_i})^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A18})$$

传感器在整个测量范围内的子样标准偏差  $S$ :

$$S = \sqrt{\frac{1}{2m} \left( \sum_{j=1}^m S_{U_i}^2 + \sum_{j=1}^m S_{D_i}^2 \right)} \quad \dots\dots\dots (\text{A19})$$

则,重复性  $\xi_R$  为:

$$\xi_R = \frac{\lambda S}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A20})$$

上述式中:  $Y_{U_{ij}}$ ——正行程第  $i$  点第  $j$  次的示值;

$Y_{D_{ij}}$ ——反行程第  $i$  点第  $j$  次的示值;

$\bar{Y}_{U_i}$ ——正行程平均值;

$\bar{Y}_{D_i}$ ——反行程平均值;

$n$ ——重复试验次数;

$m$ ——校准点个数;

$\lambda$ ——包含因子。

注: 包含因子  $\lambda$  可按下述原则之一选取: 1) 按  $t$  分布, 取置信概率等于 95%; 2) 按极差法取 2~3。

**A7 精确度( $\xi$ )**

传感器的精确度是系统误差与随机误差的综合反映, 即取决于系统误差带  $U_1$  与随机误差带  $U_2$  的大小。

**A7.1 线性传感器的系统误差带  $U_1$** 

a. 采用平移端基直线时:

$$U_1 = \pm \frac{1}{2} (|\bar{Y}_{U_i} - Y_{SB}|_{\max} + |\bar{Y}_{D_i} - Y_{SB}|_{\max}) \quad \dots\dots\dots (\text{A21})$$

式中:  $\bar{Y}_{U_i}, \bar{Y}_{D_i}$ ——分别为根据(A1)、(A2)式计算出的正、反行程平均值;

$Y_{SB}$ ——根据(A7)式计算出的平移端基直线方程值。

b. 采用最小二乘直线时:

正行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{U_i} = |\bar{Y}_{U_i} - Y_{LS}|_{\max} \dots\dots\dots (A22)$$

反行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{D_i} = |\bar{Y}_{D_i} - Y_{LS}|_{\max} \dots\dots\dots (A23)$$

上述式中:  $Y_{LS}$ ——根据(A8)式计算出的最小二乘直线方程值。

则  $U_1$  为  $(\Delta Y)_{U_i}$  与  $(\Delta Y)_{D_i}$  中较大者。

**A7.2** 对于定点使用的非线性传感器,系统误差带  $U_1$  为:

$$U_1 = \pm \frac{1}{2} |\bar{Y}_{U_i} - Y_{D_i}|_{\max} \dots\dots\dots (A24)$$

**A7.3** 对于非定点使用的非线性传感器及带刻度方程的线性传感器,系统误差带  $U_1$  为  $(\Delta Y)_{U_i}$  与  $(\Delta Y)_{D_i}$  中较大者。

正行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{U_i} = |\bar{Y}_{U_i} - Y|_{\max} \dots\dots\dots (A25)$$

反行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{D_i} = |\bar{Y}_{D_i} - Y|_{\max} \dots\dots\dots (A26)$$

上述式中:  $\bar{Y}_{U_i}$ ——正行程平均值;

$\bar{Y}_{D_i}$ ——反行程平均值;

$Y$ ——刻度方程对应值。

**A7.4** 传感器的随机误差带  $U_2$  为:

$$U_2 = \pm 3S \dots\dots\dots (A27)$$

**A7.5** 传感器的精确度( $\xi$ )为:

$$\xi = \pm \frac{|U_1| + |U_2|}{Y_{F.S}} \times 100\% \dots\dots\dots (A28)$$

**A8** 灵敏度( $s$ )

$$s = \frac{\Delta f}{\Delta p} \dots\dots\dots (A29)$$



$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad \dots\dots\dots(\text{A } 30)$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 \quad \dots\dots\dots(\text{A } 31)$$

上述式中： $\Delta f$ ——输出量的增量；

$\Delta p$ ——输入量的增量；

$f_1, f_2$ ——输出量变化前、后的值；

$p_1, p_2$ ——输入量变化前、后的值。

#### A9 零点漂移( $d_z$ )

$$d_z = \frac{|\Delta Y_{L0}|_{\max}}{Y_{F \cdot S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A } 32)$$

式中： $|\Delta Y_{L0}|_{\max}$ ——零点漂移考核期间内零点示值的最大差值；

$Y_{F \cdot S}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### A10 零点稳定性( $r_z$ )

$$r_z = \frac{|\Delta Y_0|_{\max}}{Y_{F \cdot S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A } 33)$$

式中： $|\Delta Y_0|_{\max}$ ——稳定性检定期间内零点示值的最大差值；

$Y_{F \cdot S}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### A11 灵敏度稳定性( $r_s$ )

$$r_s = \frac{|\Delta Y_H|_{\max}}{Y_{F \cdot S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A } 34)$$

式中： $|\Delta Y_H|_{\max}$ ——稳定性检定期间内灵敏度示值的最大差值；

$Y_{F \cdot S}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### A12 热零点漂移( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{\bar{Y}_L(t_2) - \bar{Y}_L(t_1)}{Y_{F \cdot S}(t_1)(t_2 - t_1)} \times 100\% \text{F} \cdot \text{S}/^\circ\text{C} \quad \dots\dots\dots(\text{A } 35)$$

式中： $t_1$ ——试验前室温温度；

$t_2$ ——试验时的高温或低温温度；

$\bar{Y}_L(t_1)$ ——在室温  $t_1$  温度时，传感器的零点示值平均值；

$\bar{Y}_L(t_2)$ ——在规定的高温或低温温度  $t_2$  恒温规定的时间后，传感器零点示值的平均值；

$\bar{Y}_{F \cdot S}(t_1)$ ——在室温  $t_1$  温度时，传感器满量程输出值的平均值。

根据(A35)式分别计算出传感器在高温或低温时零点温度漂移  $\alpha_+$  和  $\alpha_-$ ，其符号应根据计算结果选取。

#### A13 热灵敏度漂移( $\beta$ )

$$\beta = \frac{\bar{Y}_{F.S}(t_2) - \bar{Y}_{F.S}(t_1)}{Y_{F.S}(t_1)(t_2 - t_1)} \times 100\% \text{F} \cdot \text{S}/\text{C} \quad \dots\dots\dots(\text{A36})$$

式中： $t_1$ ——试验前室温温度；

$t_2$ ——试验时的高温或低温温度；

$\bar{Y}_{F.S}(t_1)$ ——在室温  $t_1$  温度时，传感器满量程输出值的平均值；

$\bar{Y}_{F.S}(t_2)$ ——在规定的高温或低温  $t_2$  恒温规定的时间后，传感器满量程输出值的平均值。

根据(A36)式分别计算出传感器在高温或低温时灵敏度温度漂移  $\beta_+$  和  $\beta_-$ ，其符号应根据计算结果选取。

#### A14 热零点滞后( $\alpha_H$ )

$$\alpha_H = \frac{\bar{Y}_{\alpha 0} - \bar{Y}'_{\alpha 0}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A37})$$

式中： $\bar{Y}_{\alpha 0}$ ——温度循环前室温零点输出平均值；

$\bar{Y}'_{\alpha 0}$ ——温度循环后同一室温零点输出值；

$Y_{F.S}$ ——静态校准的满量程输出值。

应用时，应注明温度循环的上、下限值。

#### A15 热灵敏度滞后( $\beta_H$ )

$$\beta_H = \frac{\bar{Y}_{\beta 0} - \bar{Y}'_{\beta 0}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A38})$$

式中： $\bar{Y}_{\beta 0}$ ——温度循环前室温满量程输出平均值；

$\bar{Y}'_{\beta 0}$ ——温度循环后同一室温满量程输出值；

$Y_{F.S}$ ——静态校准的满量程输出值。

应用时，应注明温度循环的上、下限值。

#### A16 振动对零点的影响( $Z_0$ )

$$Z_0 = \frac{|Y_L - Y_{L0}|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A39})$$

式中： $Y_L$ ——振动过程中，传感器的零点示值的最大或最小值；

$Y_{L0}$ ——振动试验前，传感器的零点示值；

$Y_{F.S}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### A17 加速度对零点的影响( $J_0$ )

$$J_0 = \frac{|Y_J - Y_{J0}|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{A40})$$

式中： $Y_J$ ——加速度过程中，传感器的零点示值的最大或最小值；

$Y_{J0}$ ——加速试验前，传感器的零点示值；

$Y_{F.S}$ ——静态校准的满量程输出值。

A18 外磁场对传感器输出值的影响( $C_c$ )

$$C_c = \frac{|Y_m - Y_{m0}|_{\max}}{Y_{F.S}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(A41)$$

式中： $Y_m$ ——施加外磁场过程中，传感器在 50%~70% 的量程上输出示值的最大或最小值；

$Y_{m0}$ ——施加外磁场之前，传感器在 50%~70% 的量程上输出示值；

$Y_{F.S}$ ——静态校准的满量程输出值。

## 附加说明：

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由机械工业部沈阳仪器仪表工艺研究所负责起草并归口。

本标准主要起草单位：华东电子仪器厂、成都航空仪表公司、上海自动化仪表四厂、襄樊市机电研究所、国营 749 厂和余姚传感器厂。

本标准主要起草人任金山、徐清发。