



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28855—2012

---

## 硅基压力传感器

Silicon-based pressure sensors



2012-11-05 发布

2013-02-15 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 分类与命名 .....	1
4.1 分类 .....	1
4.2 型号命名与图形符号 .....	2
5 基本参数 .....	2
5.1 测量范围 .....	2
5.2 工作温度范围 .....	2
5.3 补偿温度范围 .....	2
5.4 被测介质的类型 .....	2
5.5 与被测介质相接触的材料 .....	2
5.6 激励 .....	3
6 要求 .....	3
6.1 产品技术条件(详细规范) .....	3
6.2 外部连接性能 .....	3
6.3 电气性能 .....	3
6.4 静态性能 .....	3
6.5 稳定性 .....	4
6.6 温度影响 .....	5
6.7 过载 .....	5
6.8 静压影响 .....	5
6.9 动态性能 .....	6
6.10 环境性能 .....	6
6.11 疲劳寿命 .....	7
7 试验方法 .....	7
7.1 环境条件 .....	7
7.2 试验前准备 .....	8
7.3 外部连接性能 .....	8
7.4 电气性能 .....	8
7.5 静态性能 .....	9
7.6 稳定性 .....	10
7.7 温度影响 .....	11
7.8 过载 .....	11
7.9 静压影响 .....	11

7.10	动态性能	12
7.11	环境性能	13
7.12	疲劳寿命	15
8	检验规则	15
8.1	检验分类	15
8.2	出厂检验	15
8.3	型式检验	17
9	标志、包装、运输及贮存	18
9.1	产品标志	18
9.2	包装、运输及贮存	18
附录 A	(规范性附录) 传感器性能指标的计算方法	20
A.1	实际工作特性	20
A.2	参比工作直线	20
A.3	满量程输出( $Y_{FS}$ )	21
A.4	非线性( $\xi_L$ )	22
A.5	迟滞( $\xi_H$ )	22
A.6	重复性( $\xi_R$ )	22
A.7	准确度( $\xi$ )	23
A.8	零点漂移( $d_z$ )	25
A.9	零点长期稳定性( $r_z$ )	25
A.10	满量程输出漂移( $r_F$ )	25
A.11	热零点漂移( $\alpha$ )	25
A.12	热满量程输出漂移( $\beta$ )	25
A.13	振动对传感器零点影响( $Z_0$ )	26

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由中国机械工业联合会归口。

本标准起草单位：沈阳仪表科学研究所、传感器国家工程研究中心、国家仪器仪表元器件质量监督检验中心、昆山双桥传感器测控技术有限公司、大连理工大学、中国电子科技集团公司第 49 研究所、北京鑫诺金传感技术有限公司、北京瑞普恩德斯豪斯仪表有限公司、南京沃天科技有限公司、中国仪器仪表协会传感器分会、中国仪器仪表学会仪表元件分会。

本标准主要起草人：徐淑霞、刘沁、徐秋玲、于振毅、张治国、唐慧、殷波、王冰、唐祯安、陈信琦、王文襄、郭宏、宁宁、李延夫、高峰。



# 硅基压力传感器

## 1 范围

本标准规定了硅基压力传感器(以下简称传感器)的术语和定义、分类与命名、基本参数、要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输及贮存。

本标准适用于硅基压力传感器。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 191—2008 包装储运图示标志

GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温

GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温

GB/T 2423.3—2006 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验

GB/T 2423.5—1995 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击

GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)

GB/T 2423.15—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ga和导则:稳态加速度

GB/T 2423.16—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验J及导则:长霉

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ka:盐雾

GB/T 2423.22—2002 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化

GB/T 2829—2002 周期检验计数抽样程序及表(适用于对过程稳定性的检验)

GB/T 7665—2005 传感器通用术语

GB/T 7666—2005 传感器命名法及代码

GB/T 14479 传感器图用图形符号

GB/T 17626.1—2006 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论

GB/T 18459—2001 传感器主要静态性能指标计算方法

JJG 624—2005 动态压力传感器

## 3 术语和定义

GB/T 7665—2005 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**硅基压力传感器** **silicon-based pressure sensors**

以硅或硅复合材料为基本材料,由能独立实现压力测量功能的敏感器件(或组件)构成的传感器。

## 4 分类与命名

### 4.1 分类

#### 4.1.1 传感器输出信号类型

传感器按输出信号类型可分为:



- a) 模拟信号：
  - 电压信号；
  - 电流信号；
  - 电容信号；
  - 频率信号。
- b) 数字信号。

#### 4.1.2 传感器感受压力的类型

传感器按感受压力类型可分为：

- 表压传感器；
- 绝压传感器；
- 差压传感器。

#### 4.2 型号命名与图形符号

传感器型号命名应符合 GB/T 7666—2005 的规定。

传感器的图形符号应符合 GB/T 14479 的规定。

### 5 基本参数

#### 5.1 测量范围

除另有规定外,传感器测量范围宜从下列数值中选取：

$0, \pm 1 \times 10^n, \pm 1.6 \times 10^n, \pm 2 \times 10^n, \pm 2.5 \times 10^n, \pm 3 \times 10^n, \pm 4 \times 10^n, \pm 5 \times 10^n, \pm 6 \times 10^n, \pm 8 \times 10^n$ 。

其中  $n$  为整数,  $n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ 。

测量范围的单位为：帕(Pa)、千帕(kPa)、兆帕(MPa)、吉帕(GPa)。

#### 5.2 工作温度范围

除另有规定外,推荐工作温度范围下限值为： $-90\text{ }^{\circ}\text{C}, -80\text{ }^{\circ}\text{C}, -70\text{ }^{\circ}\text{C}, -60\text{ }^{\circ}\text{C}, -55\text{ }^{\circ}\text{C}, -45\text{ }^{\circ}\text{C}, -40\text{ }^{\circ}\text{C}, -30\text{ }^{\circ}\text{C}, -20\text{ }^{\circ}\text{C}, -10\text{ }^{\circ}\text{C}, 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

除另有规定外,推荐工作温度范围上限值为： $50\text{ }^{\circ}\text{C}, 60\text{ }^{\circ}\text{C}, 70\text{ }^{\circ}\text{C}, 85\text{ }^{\circ}\text{C}, 100\text{ }^{\circ}\text{C}, 125\text{ }^{\circ}\text{C}, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 175\text{ }^{\circ}\text{C}, 200\text{ }^{\circ}\text{C}, 300\text{ }^{\circ}\text{C}, 350\text{ }^{\circ}\text{C}, 400\text{ }^{\circ}\text{C}, 450\text{ }^{\circ}\text{C}, 500\text{ }^{\circ}\text{C}, 550\text{ }^{\circ}\text{C}, 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.3 补偿温度范围

除另有规定外,推荐补偿温度范围下限值为： $-55\text{ }^{\circ}\text{C}, -45\text{ }^{\circ}\text{C}, -40\text{ }^{\circ}\text{C}, -30\text{ }^{\circ}\text{C}, -20\text{ }^{\circ}\text{C}, -10\text{ }^{\circ}\text{C}, 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

除另有规定外,推荐补偿温度范围上限值为： $50\text{ }^{\circ}\text{C}, 60\text{ }^{\circ}\text{C}, 70\text{ }^{\circ}\text{C}, 85\text{ }^{\circ}\text{C}, 100\text{ }^{\circ}\text{C}, 125\text{ }^{\circ}\text{C}, 150\text{ }^{\circ}\text{C}, 200\text{ }^{\circ}\text{C}, 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.4 被测介质的类型

应给出与压力腔接触的介质类型：气体、液体、导电性介质、腐蚀性介质、非腐蚀性介质等。

#### 5.5 与被测介质相接触的材料

应给出与被测介质相接触材料的名称、牌号。

## 5.6 激励

应给出传感器的激励电源,包括额定激励电压(电流)和最大激励电压(电流)。

## 6 要求

### 6.1 产品技术条件(详细规范)

应制定符合本标准要求的产品技术条件(详细规范)。

传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的所有要求。

### 6.2 外部连接性能

#### 6.2.1 外观

传感器的外观应无目视可见的瑕疵、锈蚀和损伤,螺纹部分应无毛刺,标志应清晰完整、准确。

#### 6.2.2 外形及安装尺寸

传感器的外形及安装尺寸应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.2.3 电气连接

传感器的电气连接方式应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.2.4 重量

传感器重量应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

### 6.3 电气性能

#### 6.3.1 输入阻抗(传感器内阻)(适用时)

传感器输入阻抗(传感器内阻)应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.3.2 输出阻抗(适用时)

传感器输出阻抗应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.3.3 绝缘电阻(适用时)

传感器绝缘电阻应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.3.4 绝缘强度(介质耐电压)(适用时)

传感器绝缘强度应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

### 6.4 静态性能

#### 6.4.1 零点输出

传感器的零点输出应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.4.2 满量程输出

传感器的满量程输出应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

6.4.3 灵敏度输出对称性(适用时)

传感器测量组件为双结构时,或用单组件结构进行正负两个方向测量时,其灵敏度输出对称性应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

6.4.4 非线性(适用时)

传感器的非线性应符合产品技术条件(详细规范)的规定,推荐从表 1 数值中选取。

表 1 传感器准确度等级、非线性、符合度、迟滞、重复性

准确度等级	非线性、符合度 %FS	迟滞 %FS	重复性 %FS	准确度 %FS
0.01	$\leq 0.005$	$\leq 0.005$	$\leq 0.005$	$\pm 0.01$
0.02	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\pm 0.02$
0.05	$\leq 0.025$	$\leq 0.025$	$\leq 0.025$	$\pm 0.05$
0.1	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\pm 0.1$
0.25	$\leq 0.10$	$\leq 0.10$	$\leq 0.10$	$\pm 0.25$
0.5	$\leq 0.25$	$\leq 0.25$	$\leq 0.25$	$\pm 0.5$
1.0	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\pm 1.0$
2.5	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\pm 2.5$
5.0	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$	$\leq 2.5$	$\pm 5.0$

6.4.5 符合度(适用时)

传感器的符合度应符合产品技术条件(详细规范)的规定,推荐从表 1 数值中选取。

6.4.6 迟滞

传感器的迟滞应符合产品技术条件(详细规范)的规定,推荐从表 1 数值中选取。

6.4.7 重复性

传感器的重复性应符合产品技术条件(详细规范)的规定,推荐从表 1 数值中选取。

6.4.8 准确度

传感器的准确度应符合产品技术条件(详细规范)的规定,推荐从表 1 数值中选取。

6.5 稳定性

6.5.1 零点漂移

传感器在规定时间内零点漂移应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

规定时间推荐选取:4 h,8 h,24 h,72 h,96 h,120 h。

漂移量推荐选取:小于 0.05%FS,小于 0.1%FS,小于 0.25%FS,小于 0.5%FS。

6.5.2 零点长期稳定性(适用时)

在规定的周期内,传感器零点长期稳定性应符合产品技术条件(详细规范)的规定。



时间周期推荐选取:28 d,56 d,84 d,168 d,336 d。

### 6.5.3 满量程输出漂移(适用时)

在规定的时间内,传感器满量程输出漂移应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

时间周期推荐选取:28 d,56 d,84 d,168 d,336 d。

## 6.6 温度影响

### 6.6.1 热零点漂移

传感器在补偿温度范围内的热零点漂移应符合产品技术条件(详细规范)的规定。推荐从表2数值中选取。

表2 热零点漂移和热满量程输出漂移

准确度等级	热零点漂移 %FS/°C	热满量程输出漂移 %FS/°C
0.01	±0.005	±0.005
0.02	±0.01	±0.01
0.05	±0.01	±0.01
0.1	±0.02	±0.02
0.25	±0.04	±0.04
0.5	±0.05	±0.05
1.0	±0.08	±0.08
2.5	±0.10	±0.10
5.0	±0.20	±0.20

### 6.6.2 热满量程输出漂移

传感器在补偿温度范围内的热满量程输出漂移应符合产品技术条件(详细规范)的规定。推荐从表2数值中选取。

## 6.7 过载

传感器过载能力应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

当传感器用于双向测量时,产品技术条件(详细规范)应分别给出其正向和负向能承受的最大过载压力。

## 6.8 静压影响

### 6.8.1 双向静压

#### 6.8.1.1 最大静压(静压)(适用时)

对于差压传感器,产品技术条件(详细规范)应给出传感器能承受的最大静压压力(简称静压)。静压大小与差压测量范围相关。在承受最大静压压力后,传感器的零点输出变化误差应符合产品技术条件(详细规范)规定。

#### 6.8.1.2 零点静压误差(适用时)

传感器零点静压误差应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.8.1.3 量程静压误差(适用时)

传感器量程静压误差应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.8.2 单向静压(适用时)

传感器的单向静压应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

### 6.9 动态性能

#### 6.9.1 频率响应(适用时)

传感器的频率响应应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.2 谐振频率(适用时)

传感器的谐振频率应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.3 自振(振铃)频率(适用时)

传感器的自振(振铃)频率应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.4 阻尼比(适用时)

传感器的阻尼比应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.5 上升时间(适用时)

传感器的上升时间应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.6 时间常数(适用时)

传感器的时间常数应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

#### 6.9.7 过冲量(适用时)

传感器的过冲量应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

### 6.10 环境性能

#### 6.10.1 低温试验

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.2 高温试验

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.3 温度变化

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.4 振动

振动过程中和试验后,传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.5 冲击(适用时)

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.6 加速度(适用时)

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.7 湿热

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.8 霉菌(适用时)

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.9 盐雾(适用时)

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.10 电磁兼容性(适用时)

试验中及试验后,传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

#### 6.10.11 高温电寿命(适用时)

试验中及试验后,传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。



#### 6.11 疲劳寿命

试验后传感器应符合产品技术条件(详细规范)规定的性能要求。

### 7 试验方法

#### 7.1 环境条件

##### 7.1.1 参比大气条件

传感器的参比大气条件:

- 温度:  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 相对湿度:  $65\% \pm 10\%$ ;
- 大气压力:  $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ 。

##### 7.1.2 一般试验的大气条件

当传感器不可能或无必要在参比大气条件下进行试验时,推荐使用下述大气条件:

- 温度:  $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 相对湿度:  $30\% \sim 85\%$ ;
- 大气压力:  $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ 。

注: 试验期间允许的温度变化不大于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。相对湿度范围也可由供需方商定。

7.1.3 其他环境条件

除上述大气条件外,试验尚应在下述环境条件下进行:  
——磁场:除地磁场外,无其他外界磁场;  
——机械振动:无机械振动。

7.2 试验前准备

7.2.1 连接方式

被测传感器与激励电源、压力源和读数装置的连接方式,应符合产品技术条件(详细规范)的规定。

7.2.2 预置时间

被测传感器应在试验环境下达到温度平衡 1 h 以上。通电预热时间应不小于 30 min 或按产品技术条件(详细规范)的规定。

7.3 外部连接性能

7.3.1 外观

用目测方法检查传感器的外观,或用 5 倍的放大镜进行检查,结果应符合 6.2.1 的规定。

7.3.2 外形及安装尺寸

用卡尺、千分尺、千分表、标准规或其他标准量具仪器检测传感器的外形及安装尺寸,结果应符合 6.2.2 的规定。

7.3.3 电气连接

用目测方法检查传感器的电气连接,结果应符合 6.2.3 的规定。



7.3.4 重量

用天平或其他标准称量仪器称量传感器的重量,结果应符合 6.2.4 的规定。

7.4 电气性能

7.4.1 输入阻抗(传感器内阻)

传感器不含有源器件时,将传感器输出端开路,测量其电源端的阻抗,结果应符合 6.3.1 的规定。  
传感器包含有源器件时,在传感器电源端加激励电压,输出开路,测量供电回路电流,按公式(1)计算输入阻抗,结果应符合 6.3.1 的规定。

$$R_i = U_i / I_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:  
 $R_i$  ——输入阻抗(传感器内阻)值,单位为千欧(kΩ);  
 $U_i$  ——电源端激励电压,单位为伏(V);  
 $I_i$  ——供电回路电流,单位为毫安(mA)。

7.4.2 输出阻抗

传感器不含有源器件时,直接测量其输出端的阻抗,结果应符合 6.3.2 的规定。

传感器包含有源器件时,可采用以下方法:

保持输入的压力值不变,分别测量压力传感器在输出开路 and 并联  $R_L$  负载下的输出电压,按公式(2)计算。结果应符合 6.3.2 的规定。

$$R_0 = R_L(Y_{KL} - Y_{FL})/Y_{FL} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$R_0$  ——输出阻抗值,单位为千欧(k $\Omega$ );

$Y_{KL}$  ——输出端开路时的输出电压,单位为伏(V);

$Y_{FL}$  ——带  $R_L$  负载时的输出电压,单位为伏(V);

$R_L$  ——并联负载电阻,单位为千欧(k $\Omega$ );推荐使用 10 k $\Omega$  电阻。

### 7.4.3 绝缘电阻

在被测传感器不施加激励电源的条件下,用绝缘电阻测试仪或相应仪表,给传感器施加产品技术条件(详细规范)规定的直流电压,测量传感器引出线(应与外壳无连接)与壳体之间的绝缘电阻,结果应符合 6.3.3 的规定。

### 7.4.4 绝缘强度

在被测传感器不施加激励电源的条件下,用绝缘强度测试仪在传感器引出线与壳体之间,施加产品技术条件(详细规范)规定的交流电压,持续时间为 1 min 或按详细规范的规定,应无击穿和飞弧现象,结果应符合 6.3.4 的规定。

## 7.5 静态性能

### 7.5.1 试验方法

传感器在符合 7.2 规定条件下,给传感器施加不少于 3 次的满量程压力预压,使被测传感器压力升到测量上限值,待压力稳定后降压至测量下限值。然后在传感器测量上、下限的全量程范围内选择均匀分布的 5 个~11 个试验点,测量与输入压力点对应的传感器输出,并且重复三次或三次以上的升、降压循环。

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性能指标。

### 7.5.2 零点输出

在不加载荷的情况下测量传感器的输出值,结果应符合 6.4.1 的规定。

对绝压传感器,应在输入绝对真空压力时测量传感器的输出值。也可输入不大于 10 Pa 的绝对压力代替真空,但实际输入的压力应不大于传感器测量允许基本误差绝对值的 1/5。否则,应对输出值进行修正,按公式(3)计算零点输出,结果应符合 6.4.1 的规定。

$$Y_0 = Y'_0 - bx \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$Y_0$  ——零点输出,单位为伏(V);

$Y'_0$  ——输入绝对压力不大于 10 Pa 时的输出值,单位为伏(V);

$b$  ——校准特性曲线的端点连线的斜率,单位为伏/帕(V/Pa);

$x$  ——输入的绝对压力值,单位为帕(Pa)。

对差压传感器,在高压端和低压端同时通大气时,测量传感器的输出值,结果应符合 6.4.1 的规定。

### 7.5.3 满量程输出

传感器测量上限与测量下限输出值之差的绝对值(以参比直线的计算值为依据),按附录 A.3 的规

定计算,结果应符合 6.4.2 的规定。

7.5.4 灵敏度输出对称性

在传感器双测量结构的两端,如差压传感器的高压端和低压端分别测试灵敏度输出,或者使用单组件结构进行正反两个方向压力测量时,分别测量传感器的正压段和负压段灵敏度输出,按公式(4)进行计算,结果应符合 6.4.3 的规定。

$$p_d = \frac{Y_{FS}(h) - Y_{FS}(l)}{Y_{FS}(h)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  
 $p_d$  ——灵敏度输出对称性;  
 $Y_{FS}(h)$  ——高压端(或量程正压段)灵敏度输出值;  
 $Y_{FS}(l)$  ——低压端(或量程负压段)灵敏度输出值。

7.5.5 非线性

按附录 A.4 的规定计算传感器非线性,结果应符合 6.4.4 的规定。

7.5.6 符合度

按 GB/T 18459—2001 中 3.9 规定计算传感器符合度,当参比曲线为刻度方程时,按附录 A.4.2 计算符合度,结果应符合 6.4.5 的规定。

7.5.7 迟滞

按附录 A.5 的规定计算传感器的迟滞,结果应符合 6.4.6 的规定。

7.5.8 重复性

按附录 A.6 的规定计算传感器的重复性,结果应符合 6.4.7 的规定。

7.5.9 准确度

按附录 A.7 的规定计算传感器的准确度,结果应符合 6.4.8 的规定。

7.6 稳定性

7.6.1 零点漂移

按产品技术条件(详细规范)规定的条件,在不加载荷的条件下,每隔 1 h 记录一次传感器的零点输出,试验时间从 6.5.1 中选取,按附录 A.8 的规定计算零点漂移,结果应符合 6.5.1 的规定。

7.6.2 零点长期稳定性

按产品技术条件(详细规范)的规定的条件,对传感器施加电压激励,每天通电不少于 2 h,在规定时间周期内均匀选取不少于 5 个间隔点,每个间隔点进行 8 h 的试验,试验前应恒温通电 1 h,记录间隔为 1 h,试验期间工作温度应保持在 20℃±2℃。按附录 A.9 的规定,计算传感器零点长期稳定性,结果应符合 6.5.2 的规定。

7.6.3 满量程输出漂移

按产品技术条件(详细规范)规定的条件,在规定时间周期内均匀选取不少于 5 个间隔点,按规定的时间间隔记录传感器的满量程输出,按附录 A.10 的规定,计算规定时间内满量程输出的最大差值相对



满量程输出的百分比,结果应符合 6.5.3 的规定。

## 7.7 温度影响

### 7.7.1 热零点漂移

将传感器放入高、低温试验箱,分别在室温、补偿温度范围下限温度、补偿温度范围上限温度各恒温产品技术条件(详细规范)规定的时间,记录各温度点的零点输出值,按附录 A.11 的规定,计算热零点漂移,结果应符合 6.6.1 的规定。

### 7.7.2 热满量程输出漂移

将传感器放入高、低温试验箱,分别在室温、补偿温度范围下限温度、补偿温度范围上限温度各恒温产品技术条件(详细规范)规定的时间,记录各温度点的满量程输出值,按附录 A.12 的规定,计算热满量程输出漂移,结果应符合 6.6.2 的规定。



## 7.8 过载

在试验的大气条件下,按产品技术条件(详细规范)规定施加过载负荷,保持时间不少于 1 min,然后卸载至零负荷,重复 3 次,恢复 5 min,然后按产品技术条件(详细规范)规定的检验项目进行检测,结果应符合 6.7 的规定。

当单组件传感器用于双向压力测量时,应对传感器的负向和正向分别按上述方法进行过载试验。

## 7.9 静压影响

### 7.9.1 双向静压

#### 7.9.1.1 最大静压(静压)

对差压传感器的高压端和低压端同时施加产品技术条件(详细规范)规定的最大静压压力(简称静压),保持 5 min。卸载 10 min 后,按 7.5.2 的规定进行零点输出试验,结果应符合 6.8.1.1 的规定。

#### 7.9.1.2 零点静压误差

零点静压误差是指在给定静压下,传感器零点输出变化量相对于满量程输出值的百分比。试验前,对差压传感器的高压端和低压端都通大气,测量传感器的输出值。

将产品技术条件(详细规范)规定的静压压力源,同时施加到传感器高压端和低压端,保持 5 min,测量传感器的输出值。零点静压影响按公式(5)计算,结果应符合 6.8.1.2 的规定。

$$p_0 = \frac{Y_0(p) - Y_0}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$p_0$  ——零点静压影响;

$Y_0(p)$  ——施加静压时的零点输出值;

$Y_0$  ——试验前无静压时的零点输出值;

$Y_{FS}$  ——静态校准的满量程输出值。

#### 7.9.1.3 量程静压误差

量程静压误差是指在给定静压下,量程输出变化量相对于满量程输出值的百分比。试验前,测量传感器的测量范围下限输出值和测量范围上限输出值,其差值为满量程输出值。对传感器两端同时施加产品技术条件(详细规范)规定的最大静压,保持 5 min。在此基础上在传感器高压端分别施加传感器



的测量范围下限压力和测量范围上限压力,其差值为最大静压压力影响下的满量程输出值。满量程静压影响按公式(6)计算。

对传感器两端同时施加产品技术条件(详细规范)规定的 50% 的静压压力,保持 5 min。在此基础上在传感器高压端分别施加传感器的测量范围下限压力和测量范围上限压力,其差值为 50% 静压压力影响下的满量程输出值。满量程静压影响按公式(6)计算。

取两种静压压力对应的计算结果的最大值,结果应符合 6.8.1.3 的规定。

$$p_{FS} = \frac{Y_{FS}(p) - Y_{FS}(0)}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $p_{FS}$  —— 满量程静压影响;
- $Y_{FS}(p)$  —— 在 100% 或 50% 静压压力下测得的满量程输出值;
- $Y_{FS}(0)$  —— 试验前无静压时的满量程输出值;
- $Y_{FS}$  —— 静态校准的满量程输出值。

7.9.2 单向静压

对差压传感器高压端施加产品技术条件(详细规范)规定的正向静压压力,保持 5 min。卸载 10 min 后,按 7.5.2 的规定,进行零点输出试验。结果应符合 6.8.2 的规定。

再对低压端施加产品技术条件(详细规范)规定的负向静压压力,保持 5 min。卸载 10 min 后,按 7.5.2 的规定,进行零点输出试验。结果应符合 6.8.2 的规定。

7.10 动态性能

7.10.1 试验方法

7.10.1.1 瞬态激励法

将传感器与激波管或快速开启阀相连接,对于负压传感器用爆破膜片发生器产生一个负的阶跃压力信号,以上阶跃压力的上升时间应是传感器被预测的上升时间的三分之一或更短。当激励装置产生一个阶跃压力信号时,用瞬态记录仪器记录传感器的响应波形。

7.10.1.2 正弦激励法

对于 5 kHz 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,还可得到压力传感器的谐振频率、阻尼比和响应时间等。采用正弦激励法时,一般采用相对比较法进行测试,即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压力传感器动态性能指标的 5 倍~10 倍。

激波管动态压力试验方法,正弦压力校准检定方法的详细操作按 JJG 624—2005 的规定。

通过上述试验方法,可确定下列动态性能。

7.10.2 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测量来说,输出量与被测量幅值之比及输出量和被测量之间相位差随频率的变化为频率响应。结果应符合 6.9.1 的规定。

7.10.3 谐振频率

在产品技术条件(详细规范)规定的压力下,被测传感器具有最大输出幅值时的频率为该压力下的谐振频率。结果应符合 6.9.2 的规定。



#### 7.10.4 自振(振铃)频率

当测量(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(振铃)频率。按 JJG 624—2005 中 7.3.4.3 规定方法进行计算,结果应符合 6.9.3 的规定。

#### 7.10.5 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。当传感器的动态特性可以近似为单自由度二阶线性系统时,按 JJG 624—2005 中 7.3.4.3 和附录 A 规定方法计算出阻尼比,结果应符合 6.9.4 的规定。

#### 7.10.6 上升时间

由于被测量(压力)的阶跃变化,传感器输出从稳定值的 10% 上升到稳定值的 90% 持续时间,为上升时间。按 JJG 624—2005 中 7.3.4.3 规定方法进行计算,结果应符合 6.9.5 的规定。

#### 7.10.7 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。结果应符合 6.9.6 的规定。

#### 7.10.8 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。结果应符合 6.9.7 的规定。

### 7.11 环境性能

#### 7.11.1 低温试验

按 GB/T 2423.1—2008 中 5.2 规定的试验方法和以下规定试验:

- 试验温度:应为 5.2 规定的工作温度范围下限值;
- 降温速率:试验箱内温度变化速率应不超过 1 °C/min;
- 持续时间:宜从下列数值中选取或按产品技术条件(详细规范)规定:2 h, 16 h, 72 h, 96 h;
- 工作条件:从降温开始通电;
- 升温速率:试验持续时间结束时,升温至室温,温度变化速率应不超过 1 °C/min;
- 恢复时间:在一般试验的大气环境条件下进行恢复,至少 2 h。

传感器在室温状态稳定后,应按 7.5.2 规定进行零点输出或产品技术条件(详细规范)规定的性能测试,结果应符合 6.10.1 的规定。

#### 7.11.2 高温试验

按 GB/T 2423.2—2008 中 5.2 规定的试验方法和以下规定试验:

- 试验温度:应为 5.2 规定的工作温度范围上限值;
- 升温速率:试验箱内温度变化速率应不超过 1 °C/min;
- 试验时间:宜从下列数值中选取或按产品技术条件(详细规范)规定:2 h, 16 h, 72 h, 96 h, 168 h, 240 h, 336 h, 1 000 h;
- 工作条件:从升温开始通电;
- 降温速率:试验持续时间结束时,降温至室温,温度变化速率应不超过 1 °C/min;
- 恢复时间:在一般试验的大气环境条件下进行恢复,至少 2 h。

传感器在室温状态稳定后,应按 7.5.2 规定进行零点输出或产品技术条件(详细规范)规定的性能测试,结果应符合 6.10.2 的规定。

### 7.11.3 温度变化

按 GB/T 2423.22—2002 中规定的试验方法和以下规定试验:

- 试验温度:按产品技术条件(详细规范)规定选取低温点和高温点;
- 保持时间:宜从下列数值中选取或按产品技术条件(详细规范)规定:3 h,2 h,1 h,30 min;
- 转换时间:高温和低温之间转换时间应不大于 3 min;
- 循环数:循环数应为 5 个,或按产品技术条件(详细规范)规定;
- 恢复时间:在一般试验的大气环境条件下进行恢复,至少 2 h。

传感器在室温状态稳定后,应按 7.5.2 规定进行零点输出或产品技术条件(详细规范)规定的性能测试,结果应符合 6.10.3 的规定。

### 7.11.4 振动

按 GB/T 2423.10—2008 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应给出频率范围、振动幅值、加速度、振动方向和持续时间。记录传感器振动前和振动过程中及振动后的零点输出信号,按附录 A.13 的规定计算振动对传感器零点影响,结果应符合 6.10.4 的规定。

### 7.11.5 冲击

按 GB/T 2423.5—1995 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应给出以下规定:

- 脉冲波形;
- 冲击方向和次数;
- 峰值加速度;
- 标称脉冲持续时间。

试验后应检测传感器外观,并按 7.5.2 规定进行零点输出测试或产品技术条件(详细规范)规定的性能的测试,结果应符合 6.10.5 的规定。

### 7.11.6 加速度

按 GB/T 2423.15—2008 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应给出以下规定:

- 加速度等级;
- 加速度轴线和方向;
- 持续时间;
- 试验检测的功能及要求。

试验后应检测传感器外观,并按 7.5.2 规定进行零点输出测试或产品技术条件(详细规范)规定的性能的测试,结果应符合 6.10.6 的规定。

### 7.11.7 湿热

按 GB/T 2423.3—2006 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应给出以下规定:

- 试验温度、相对湿度;
- 持续时间:宜从下列数值中选取:12 h,16 h,24 h 或 2 d,4 d,10 d,21 d,56 d;
- 恢复时间:应不少于 2 h。

试验后,应检测传感器外观、绝缘电阻和零点输出,结果均应符合 6.10.7 的规定。

### 7.11.8 霉菌

按 GB/T 2423.16—2008 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应给出以下规定:

- 试验方法及试验持续时间;
- 试验后长霉程度的合格判定等级。

试验后,应检测传感器的绝缘性能或产品技术条件(详细规范)规定性能,结果应符合 6.10.8 的规定。

### 7.11.9 盐雾

按 GB/T 2423.17—2008 中规定的试验方法进行试验,产品技术条件(详细规范)应规定试验周期,宜从下列数值中选取:16 h,24 h,48 h,96 h,168 h,336 h,672 h。

试验后,应检测传感器外观、绝缘性能或其他规定性能,结果应符合 6.10.9 的规定。

### 7.11.10 电磁兼容性

电磁兼容性试验仅适于产品设计定型时的型式检验。试验样品数量可单独规定。

产品技术条件(详细规范)应根据传感器使用场合的电磁骚扰类型、环境条件、可靠性程度综合因素,按 GB/T 17626.1—2006 中表 1 要求,确定抗扰度试验项目和严酷度等级。

抗扰度试验过程中应测试传感器零点输出变化,产品技术条件(详细规范)应规定可接受的零点变化误差范围。结果应符合 6.10.10 的规定。

### 7.11.11 高温电寿命

在试验的一般大气条件下,将传感器放入温度箱,按产品技术条件(详细规范)规定施加激励电源,调整温度箱至上限工作温度,试验时间按产品技术条件(详细规范)规定,试验期间按规定监测传感器输出。试验后取出传感器恢复到室温,然后进行产品技术条件(详细规范)规定的项目检测。结果应符合 6.10.11 的规定。

## 7.12 疲劳寿命

传感器安装到疲劳试验装置上,按产品技术条件(详细规范)规定的压力、频率、波形和循环次数进行压力循环试验,压力下限应控制在 0%FS~20%FS 范围内,压力上限应控制在 80%FS~100%FS 范围内。试验后应测试传感器零点输出和满量程输出,或按产品技术条件(详细规范)规定的项目检测,结果应符合 6.11 的规定。

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

传感器检验分为出厂检验和型式检验。

### 8.2 出厂检验

每只传感器应经制造厂检验部门按照规定的检验项目进行检验,检验合格后方可出厂。出厂检验项目、检验顺序按表 3 规定进行。

表 3 检验项目和检验顺序

序号	检验项目	要求 章条号	试验方法 章条号	出厂检验 项目	型式检验 项目	检验项目 不合格类型
1	外观	6.2.1	7.3.1	√	√	C
2	外形及安装尺寸	6.2.2	7.3.2	√	√	C
3	电气连接	6.2.3	7.3.3	√	√	C
4	重量	6.2.4	7.3.4	√	√	C
5	输入阻抗(适用时)	6.3.1	7.4.1	√	√	C
6	输出阻抗(适用时)	6.3.2	7.4.2	√	√	C
7	绝缘电阻(适用时)	6.3.3	7.4.3	√	√	B
8	绝缘强度(适用时)	6.3.4	7.4.4	√	√	B
9	零点输出	6.4.1	7.5.2	√	√	C
10	满量程输出	6.4.2	7.5.3	√	√	C
11	灵敏度输出对称性(适用时)	6.4.3	7.5.4	√	√	C
12	非线性(适用时)	6.4.4	7.5.5	√	√	B
13	符合度(适用时)	6.4.5	7.5.6	√	√	B
14	迟滞	6.4.6	7.5.7	√	√	B
15	重复性	6.4.7	7.5.8	√	√	B
16	准确度	6.4.8	7.5.9	√	√	B
17	零点漂移	6.5.1	7.6.1	√	√	B
18	零点长期稳定性(适用时)	6.5.2	7.6.2	—	√	C
19	满量程输出漂移(适用时)	6.5.3	7.6.3	—	√	C
20	热零点漂移	6.6.1	7.7.1	√	√	B
21	热满量程输出漂移	6.6.2	7.7.2	√	√	B
22	过载	6.7	7.8	√	√	B
23	最大静压(适用时)	6.8.1.1	7.9.1.1	√	√	B
24	零点静压误差(适用时)	6.8.1.2	7.9.1.2	√	√	B
25	量程静压误差(适用时)	6.8.1.3	7.9.1.3	—	√	B
26	单向静压(适用时)	6.8.2	7.9.2	—	√	B
27	频率响应(适用时)	6.9.1	7.10.2	—	√	B
28	谐振频率(适用时)	6.9.2	7.10.3	—	√	B
29	自振(振铃)频率(适用时)	6.9.3	7.10.4	—	√	B
30	阻尼比(适用时)	6.9.4	7.10.5	—	√	B
31	上升时间(适用时)	6.9.5	7.10.6	—	√	B
32	时间常数(适用时)	6.9.6	7.10.7	—	√	B
33	过冲量(适用时)	6.9.7	7.10.8	—	√	B

表 3 (续)

序号	检验项目	要求 章条号	试验方法 章条号	出厂检验 项目	型式检验 项目	检验项目 不合格类型
34	低温试验	6.10.1	7.11.1	—	√	B
35	高温试验	6.10.2	7.11.2	—	√	B
36	温度变化	6.10.3	7.11.3	—	√	B
37	振动	6.10.4	7.11.4	—	√	B
38	冲击	6.10.5	7.11.5	—	√	B
39	加速度(适用时)	6.10.6	7.11.6	—	√	B
40	湿热	6.10.7	7.11.7	—	√	B
41	霉菌(适用时)	6.10.8	7.11.8	—	√	B
42	盐雾(适用时)	6.10.9	7.11.9	—	√	B
43	电磁兼容性(适用时)	6.10.10	7.11.10	—	√	B
44	高温电寿命(适用时)	6.10.11	7.11.11	—	√	B
45	疲劳寿命	6.11	7.12	—	√	B
注：“√”为检验项目；“—”为不检验项目。						

### 8.3 型式检验

#### 8.3.1 检验原则

传感器具备下列情况之一时,应进行型式检验:

- 新产品或老产品转厂生产的试验定型鉴定;
- 正式生产后,如结构、材料、工艺等有重大改变;
- 正常生产时,定期或积累一定产量后,应周期性的进行检验,检验周期一般应为 2 年;
- 产品停产 1 年以上,恢复生产时;
- 同类型产品进行比对时;
- 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

#### 8.3.2 型式检验项目

型式检验项目及检验顺序推荐按表 3 的规定进行,产品技术条件(详细规范)可根据传感器的不同类型、原理、使用环境规定检验项目。

#### 8.3.3 抽样、判定规定

本标准根据检验项目对质量特性的影响程度,将检验项目的不合格类型分为 B 类和 C 类,详见表 3。

型式检验的抽样按 GB/T 2829—2002 相应条款执行。采用判别水平 I 的一次性抽样方案,样本量  $n=10$ ,以不合格品数为判断依据。提供的用于抽样的样品基数应大于 2 倍抽样样品数量。

对于 B 类不合格项,采用不合格质量水平  $RQL=20$ ,  $Ac=1$ 、 $Re=2$ 。

对于 C 类不合格项,采用不合格质量水平  $RQL=40$ ,判定数组  $Ac=3$ 、 $Re=4$ 。

对于某具体项目检验时,当不合格品数小于或等于  $A_c$ ,则判该检验项目合格;而当不合格品数大于或等于  $R_e$  时,则判该检验项目不合格。

出现下列情况之一时,判本次型式检验不合格:

- 无 C 类项目不合格,有 3 个 B 类项目不合格时;
- 有 2 个 B 类项目不合格,同时有 1 个 C 类项目不合格时;
- 有 1 个 B 类项目不合格,同时有 3 个 C 类项目不合格时;
- 无 B 类项目不合格,有 5 个 C 类项目不合格时。

产品技术条件(详细规范)应规定具体采用的判别方法,也可根据具体产品本身的特点,规定不同于以上方案的抽样方案、样本量和判别水平。

#### 8.3.4 对不合格判定的处理

检验结果被判定为型式检验不合格时,按 GB/T 2829—2002 中 5.12.3 规定的原则进行处理。

#### 8.3.5 型式检验后样品的处置

经过型式检验的样品,原则上不允许再作为合格品交付使用。在特殊情况下,在得到使用方的认可后,可以交付使用方,但应注明该产品已进行过型式检验。

### 9 标志、包装、运输及贮存

#### 9.1 产品标志

传感器应有以下标志:

- a) 电源输入线和输出线及极性的标志;
- b) 差压传感器的高压端和低压端接口应有永久性标志;
- c) 型号标记应包含下列内容:
  - 1) 型号;
  - 2) 出厂编号;
  - 3) 量程;
  - 4) 生产日期;
  - 5) 生产单位名称或商标。

当传感器的尺寸小到无法全部标注以上内容时,至少应包含 a)、b) 两项内容。

#### 9.2 包装、运输及贮存

##### 9.2.1 随机文件

随机文件包括:

- a) 产品合格证书;
- b) 产品使用说明书;
- c) 装箱单;
- d) 随机备用附件清单;
- e) 安装图;
- f) 其他相关文件资料。

##### 9.2.2 传感器包装

传感器的包装应符合设计文件要求,包装的图示标志应符合 GB/T 191—2008 的规定。产品应采



用防雨、防潮气聚集的塑料薄膜包裹,顶部、底部及产品四角应按需衬垫泡沫层;技术文件如使用说明书、合格证明书和保修单等应进行密封防潮包装,固定在包装箱内部明显的位置。

### 9.2.3 运输

传感器的运输必须严格遵照包装箱上注明的条件,严禁日晒、雨淋、倾斜或强烈振动。运输方式按订货合同上载明的要求执行。

### 9.2.4 贮存

包装后的传感器应贮存在温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不超过85%、无凝露、无腐蚀性气体和腐蚀性化学药品、通风良好的室内,贮存期不应超过2年。



附 录 A  
(规范性附录)  
传感器性能指标的计算方法

### A.1 实际工作特性

在传感器的整个测量范围内取  $m$  个校准点,校准点通常应包括零点和测量上限点,一般取  $m=(5\sim 11)$  点,进行  $n$  次压力循环校准试验,校准循环一般取  $n=(3\sim 5)$  次,则在任一校准点上分别有  $n$  个正反行程试验数据,按公式(A.1)计算每个校准点上正行程试验数据的平均值,按公式(A.2)计算每个校准点上反行程试验数据的平均值,按公式(A.3)计算总的平均值:

正行程平均值:

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

反行程平均值:

$$\bar{Y}_{Di} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{Dij} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

总平均值:

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{2} (\bar{Y}_{Ui} + \bar{Y}_{Di}) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$Y_{Uij}$  ——正行程第  $i$  个校准点第  $j$  次的示值( $i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$ );

$Y_{Dij}$  ——反行程第  $i$  个校准点第  $j$  次的示值( $i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$ );

$\bar{Y}_i$  ——正反行程总平均值;

$n$  ——重复试验次数;

$m$  ——校准点个数。

### A.2 参比工作直线

#### A.2.1 端基直线平移法

按公式(A.4)计算端点连线方程  $Y_{EP}$ :

$$Y_{EP} = \frac{\bar{Y}_L \cdot X_H - \bar{Y}_H \cdot X_L}{X_H - X_L} + \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_L}{X_H - X_L} \cdot X \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$X_H, X_L$  ——表示测量上、下限压力值;

$\bar{Y}_H, \bar{Y}_L$  ——表示测量上、下限输出值的平均值;

按公式(A.5),端基平移直线作为参比工作直线方程为:

$$Y = a + bX \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

按公式(A.6)计算各检定点正行程算术平均值与端点连线方程的差值,按公式(A.7)计算各检定点反行程算术平均值与端点连线方程的差值。

$$(\Delta y_{LH})_{Ui} = \bar{Y}_{Ui} - Y_{EPi} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$(\Delta y_{LH})_{Di} = \bar{Y}_{Di} - Y_{EPi} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

从式(A.6)、式(A.7)的数据中,找出最大的正偏差  $\Delta y'_{LH}$  和负的绝对值最大差值  $\Delta y''_{LH}$ ,则端基平



移直线的截距  $a$  按公式(A.8)计算:

$$a = \frac{\bar{Y}_L \cdot X_H - \bar{Y}_H \cdot X_L}{X_H - X_L} + \frac{1}{2}(|\Delta y'_{LH}| - |\Delta y''_{LH}|) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

斜率  $b$  按公式(A.9)计算:

$$b = \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_L}{X_H - X_L} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

## A.2.2 最小二乘法

最小二乘法直线作为参比工作直线方程按公式(A.10)计算:

$$Y_{LS} = a + bX \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

截距  $a$  按公式(A.11)计算:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m X_i^2 \sum_{i=1}^m \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^m X_i \sum_{i=1}^m X_i \bar{Y}_i}{m \sum_{i=1}^m X_i^2 - (\sum_{i=1}^m X_i)^2} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

$m$ ——校准点个数。

斜率  $b$  按公式(A.12)计算:

$$b = \frac{m \sum_{i=1}^m X_i \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^m X_i \sum_{i=1}^m \bar{Y}_i}{m \sum_{i=1}^m X_i^2 - (\sum_{i=1}^m X_i)^2} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

$m$ ——校准点个数。

## A.2.3 总平均值工作特性

对于定点使用的非线性传感器,可采用正、反行程的总平均值为传感器的工作特性。

## A.2.4 刻度方程工作特性

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。

## A.3 满量程输出( $Y_{FS}$ )

### A.3.1 线性传感器满量程输出( $Y_{FS}$ )

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,按公式(A.13)计算:

$$Y_{FS} = |b(X_H - X_L)| \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

$b$  ——理论工作直线的斜率;

$X_H, X_L$  ——为测量上、下限的压力值。

### A.3.2 非线性传感器满量程输出( $Y_{FS}$ )

对于定点使用的非线性传感器,满量程输出按公式(A.14)计算:

$$Y_{FS} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

$\bar{Y}_H, \bar{Y}_L$ ——为测量上、下限输出值的平均值。

### A.3.3 非定点传感器满量程输出( $Y_{FS}$ )

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,满量程输出按公式(A.15)计算:

$$Y_{FS} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

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

## A.4 非线性( $\xi_L$ )

### A.4.1 线性传感器非线性( $\xi_L$ )

线性传感器的非线性,按公式(A.16)计算:

$$\xi_L = \frac{|\bar{Y}_i - Y_i|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

$\bar{Y}_i$ ——根据式(A.3)计算出的总平均值;

$Y_i$ ——根据式(A.5)或式(A.10)计算出的理论值,对于带刻度方程的线性压力传感器为其刻度方程对应值;

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出。

### A.4.2 非线性传感器刻度误差( $\xi_K$ )

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,按公式(A.17)计算刻度误差  $\xi_K$  (指标要求与非线性度相同):

$$\xi_K = \frac{|\bar{Y}_i - Y_i|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

式中:

$\bar{Y}_i$ ——根据式(A.3)计算出的总平均值;

$Y_i$ ——非定点使用的非线性压力传感器刻度方程对应值;

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出。

## A.5 迟滞( $\xi_H$ )

按公式(A.18)计算迟滞:

$$\xi_H = \frac{|\bar{Y}_{Ui} - \bar{Y}_{Di}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

式中:

$\bar{Y}_{Ui}, \bar{Y}_{Di}$ ——同一校准点上正、反行程示值的平均值;

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出。

## A.6 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:

按公式(A.19)计算正行程子样标准偏差  $s_{Ui}$  :

$$s_{Ui} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{Uij} - \bar{Y}_{Ui})^2} \quad \dots\dots\dots (A.19)$$

式中:

$n$  ——测量循环次数;

$\bar{Y}_{Ui}$  ——正行程第  $i$  个校准点处的一组测量值的算术平均值;

$Y_{Uij}$  ——正行程第  $i$  个校准点处的第  $j$  个测量值 ( $i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n$ )。

按公式(A.20)计算反行程子样标准偏差  $s_{Di}$  :

$$s_{Di} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{Dij} - \bar{Y}_{Di})^2} \quad \dots\dots\dots (A.20)$$

式中:

$n$  ——测量循环次数;

$\bar{Y}_{Di}$  ——反行程第  $i$  个校准点处的一组测量值的算术平均值;

$Y_{Dij}$  ——反行程第  $i$  个校准点处的第  $j$  个测量值 ( $i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n$ )。

按公式(A.21)计算传感器在整个测量范围内的子样标准偏差  $s$  :

$$s = \sqrt{\frac{1}{2m} \left( \sum_{i=1}^m s_{Ui}^2 + \sum_{i=1}^m s_{Di}^2 \right)} \quad \dots\dots\dots (A.21)$$

式中:

$m$  ——校准点个数。

则按公式(A.22)计算重复性:

$$\xi_R = \frac{\lambda s}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.22)$$

式中:

$\lambda$  ——包含因子。

传感器的校准试验,一般只做  $n=3\sim 5$  个循环,其测量值属于小样本。对于小样本,  $t$  分布比正态分布更符合实际情况。本标准按  $t$  分布取包含因子  $\lambda=t_{0.95}$  (保证 95% 的置信度)。 $t_{0.95}$  与校准循环次数  $n$  和置信度(本标准取 95%)有关,见表 A.1。

表 A.1 校准循环次数与包含因子

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{0.95}$	12.706	4.303	3.182	2.776	2.571	2.447	2.365	2.306	2.262

## A.7 准确度( $\xi$ )

### A.7.1 准确度计算原则

传感器的准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与随机误差带的大小。

### A.7.2 线性传感器的系统误差带( $U_1$ )

线性传感器的系统误差带按公式(A.23)计算:

$$U_1 = \pm \frac{1}{2} (|\bar{Y}_{Ui} - Y_i|_{\max} + |\bar{Y}_{Di} - Y_i|_{\max}) \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

a) 采用端基平移直线时:

式中:

$\bar{Y}_{Ui}, \bar{Y}_{Di}$ ——分别为根据式(A.1)、式(A.2)计算出的正、反行程平均值;

$Y_i$ ——为根据式(A.5)计算出的端基平移直线方程值。

b) 采用最小二乘法时:

按公式(A.24)计算正行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{Ui} = | \bar{Y}_{Ui} - Y_{LS} | \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

按公式(A.25)计算反行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{Di} = | \bar{Y}_{Di} - Y_{LS} |_{\max} \quad \dots\dots\dots (A.25)$$

式中:

$\bar{Y}_{Ui}, \bar{Y}_{Di}$ ——分别为根据式(A.1)、式(A.2)计算出的正、反行程平均值;

$Y_{LS}$ ——为根据式(A.10)计算出的最小二乘法直线方程值。

则  $U_1$  为  $|(\Delta Y)_{Ui}|$  与  $|(\Delta Y)_{Di}|$  中较大者。

### A.7.3 非线性传感器的系统误差带( $U_1$ )

对于定点使用的非线性传感器,按公式(A.26)计算系统误差带:

$$U_1 = \pm \frac{1}{2} | \bar{Y}_{Ui} - \bar{Y}_{Di} |_{\max} \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

式中:

$\bar{Y}_{Ui}, \bar{Y}_{Di}$ ——分别为根据式(A.1)、式(A.2)计算出的正、反行程平均值。

### A.7.4 非定点传感器系统误差带( $U_1$ )

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的系统误差带:

按公式(A.27)计算正行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{Ui} = | \bar{Y}_{Ui} - Y |_{\max} \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

按公式(A.28)计算反行程的系统误差为:

$$(\Delta Y)_{Di} = | \bar{Y}_{Di} - Y |_{\max} \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

式中:

$\bar{Y}_{Ui}, \bar{Y}_{Di}$ ——分别为根据式(A.1)、式(A.2)计算出的正、反行程平均值;

$Y$ ——刻度方程对应值。

则  $U_1$  为  $|(\Delta Y)_{Ui}|$  与  $|(\Delta Y)_{Di}|$  中较大者。

### A.7.5 传感器的随机误差( $U_2$ )

按公式(A.29)计算传感器的随机误差:

$$U_2 = \pm 3s \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

式中:

$s$ ——为按式(A.21)计算的传感器在整个测量范围内的子样标准偏差。

### A.7.6 传感器的准确度( $\xi$ )

按公式(A.30)计算传感器的准确度  $\xi$ :

$$\xi = \pm \frac{|U_1| + |U_2|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

**A.8 零点漂移( $d_z$ )**

按公式(A.31)计算传感器的零点漂移  $d_z$ ：

$$d_z = \frac{|Y_{\max} - Y_{\min}|}{Y_{\text{FS}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.31})$$

式中：

$Y_{\max}, Y_{\min}$  ——考核期间内零点示值的最大值、最小值；

$Y_{\text{FS}}$  ——静态校准的满量程输出。

**A.9 零点长期稳定性( $r_z$ )**

按公式(A.32)计算传感器的零点长期稳定性  $r_z$ ：

$$r_z = \frac{|Y_{\max} - Y_{\min}|}{Y_{\text{FS}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.32})$$

式中：

$Y_{\max}, Y_{\min}$  ——考核期间内零点输出的最大值、最小值；

$Y_{\text{FS}}$  ——静态校准的满量程输出。

**A.10 满量程输出漂移( $r_F$ )**

按公式(A.33)计算传感器的满量程输出漂移  $r_F$ ：

$$r_F = \frac{|Y_{\text{FSM}} - Y_{\text{FSN}}|}{Y_{\text{FS}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.33})$$

式中：

$Y_{\text{FSM}}, Y_{\text{FSN}}$  ——考核期间内满量程输出示值的最大值、最小值；

$Y_{\text{FS}}$  ——静态校准的满量程输出值。

**A.11 热零点漂移( $\alpha$ )**

按公式(A.34)计算传感器的热零点漂移  $\alpha$ ：

$$\alpha = \frac{Y_L(t_2) - Y_L(t_1)}{Y_{\text{FS}}(t_1) \cdot (t_2 - t_1)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.34})$$

式中：

$t_1$  ——室温，单位为摄氏度(℃)；

$t_2$  ——上限补偿温度或下限补偿温度，单位为摄氏度(℃)；

$Y_L(t_1)$  ——室温时传感器的零点输出；

$Y_L(t_2)$  ——上限补偿温度或下限补偿温度下，传感器零点输出；

$Y_{\text{FS}}(t_1)$  ——室温下传感器满量程输出。

**A.12 热满量程输出漂移( $\beta$ )**

按公式(A.35)计算传感器的热满量程输出漂移  $\beta$ ：

$$\beta = \frac{[Y_H(t_2) - Y_L(t_2)] - [Y_H(t_1) - Y_L(t_1)]}{[Y_H(t_1) - Y_L(t_1)](t_2 - t_1)} \times 100\% \quad \cdots \cdots (A.35)$$

式中:

$Y_H(t_1)$ ——室温下传感器的测量上限输出;

$Y_H(t_2)$ ——上限补偿温度或下限补偿温度下,传感器测量上限输出。

#### A.13 振动对传感器零点影响( $Z_0$ )

按公式(A.36)计算振动对传感器零点的影响  $Z_0$  :

$$Z_0 = \frac{|Y_L - Y_{L0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \cdots \cdots (A.36)$$

式中:

$Y_L$  ——振动过程中及振动后传感器零点输出的最大或最小值;

$Y_{L0}$  ——振动前传感器的零点输出值;

$Y_{FS}$  ——静态校准的满量程输出。