

# T/HNBX

## 海南省标准化协会团体标准

T/HNBX XXXX—XXXX

T/CIET XXXX—XXXX

### 薄膜压力传感器稳定性及抗蠕变性能测试 方法

Test method for stability and creep resistance of thin film pressure sensor

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

海南省标准化协会  
中国国际经济技术合作促进会

发布



# 目 次

前言 .....	错误! 未定义书签。
1 范围 .....	错误! 未定义书签。
2 规范性引用文件 .....	错误! 未定义书签。
3 术语和定义 .....	错误! 未定义书签。
4 测试原理与设备 .....	3
4.1 测试系统构成 .....	3
4.2 关键设备要求 .....	3
5 测试程序 .....	4
5.1 外观检查 .....	4
5.2 抗蠕变性能测试 .....	5
5.3 长期稳定性测试 .....	6
5.4 环境稳定性测试 .....	11
5.5 特殊场景稳定性测试 .....	12
6 数据处理与评价 .....	14
6.1 数据处理 .....	14
6.2 稳定性等级判定 .....	14
6.3 数据输出格式 .....	15
附录 A (资料性) 蠕变率和恢复率测试计算说明 .....	16
A.1 蠕变率和恢复率的测试说明 .....	16
A.2 蠕变率和恢复率的计算 .....	16
A.3 满量程输出 (YFS) .....	17

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由悟通感控（北京）科技有限公司提出。

本文件由海南省标准化协会、中国国际经济技术合作促进会共同归口。

本文件起草单位：悟通感控（北京）科技有限公司、广东方舟智造科技有限公司、清华大学、天津大学浙江国际创新设计与智造研究院、北京大学、北京理工大学（珠海）、上海交通大学。

本文件主要起草人：陈立洋、高乃伟、佟超、孔令海、张松、王凯峰、赵云彪、姜久春、张继武。

# 薄膜压力传感器稳定性及抗蠕变性能测试方法

## 1 范围

本文件规定了薄膜压力传感器稳定性及抗蠕变性能的测试原理与设备、测试程序、数据处理与评价。本文件适用于薄膜压力传感器稳定性及抗蠕变性能测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 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—2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验  
GB/T 2423.24—2022 环境试验 第2部分：试验方法 试验S：模拟地面上的太阳辐射及太阳辐射试验和气候老化试验导则  
GB/T 7665—2005 传感器通用术语 第2部分 传感器一般分类术语 传感器性能特性及相关术语  
GB/T 15478—2015 压力传感器性能试验方法  
GB/T 17626.36—2024 电磁兼容 试验和测量技术 第36部分：设备和系统的有意电磁干扰抗扰度试验方法  
GB/T 18459—2001 传感器主要静态性能指标计算方法 第3部分 单项静态性能指标计算方法  
GB/T 18806—2002 00 电阻应变式压力传感器总规范  
GB/T 20672—2006 硬质泡沫塑料 在规定负荷和温度条件下压缩蠕变的测定  
GB/T 33010—2016 力传感器的检验 第5部分 检验方法  
GB/T 38001.62—2020 柔性显示器件 第6—2部分：环境试验方法  
GB/T 38001.53—2024 柔性显示器件 第5—3部分：目视评价方法  
JJG 860—2015 压力传感器（静态）检定规程  
JB/T 6170—2006 压力传感器  
QC/T 822—2024 汽车用压力传感器  
SJ 20721—1998 压力传感器总规范  
ASTM E4-24 试验机力校准和验证的标准规程（Standard Practices for Force Verification of Testing Machines）  
ASTM F2592 测量和记录薄膜力传感器弯曲变形的标准指南（Standard Guide for Measuring and Recording Flexural Deformation of Membrane Force Sensors）  
IEC 60770—1—2010 变送器用于工业过程控制系统—第1部分：性能评估方法（Transmitters for use in industrial-process control systems - Part 1: Methods for performance evaluation）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

薄膜压力传感器 thin-film pressure sensor

采用薄膜制备工艺（如物理气相沉积、化学气相沉积、印刷等）在柔性或刚性基底上形成敏感单元的器件，能够将外界施加的压力信号转换为可测量的电信号（如电阻、电容、电压等）。

### 3.2

#### 满量程 full scale

传感器在特定工作条件下，按其技术规范允许测量的压力上限值所对应的标称输出值。它是传感器校准和性能计算的基础参考值。

### 3.3

#### 稳定性 stability

传感器在规定的工况条件（如温度、湿度、压力范围）和时间区间内，其各项静态与动态性能特性（包括但不限于零点输出、满量程输出、线性度、迟滞）维持在特定允差范围内的能力。

### 3.4

#### 抗蠕变性能 creep resistance performance

传感器在承受持续且恒定的机械压力载荷时，其输出信号抵抗随时间发生非期望变化的特性。该性能反映了传感器材料与结构的内部应力松弛特性。

### 3.5

#### 蠕变率 creep rate

在施加并保持恒定的满量程压力条件下，传感器在指定时间周期内，输出信号的最大值与最小值之差，相对于满量程输出值的百分比。它是量化传感器抗蠕变性能的关键指标。

### 3.6

#### 恢复率 recovery rate

在持续施加规定的压力载荷一定时间后，当载荷被完全移除时，传感器输出信号恢复到其初始零点附近特定范围内的能力与速度。通常用卸载后特定时刻的残余输出偏差与满量程输出值的百分比来表示。

### 3.7

#### 热零点漂移 thermal zero drift

由于传感器工作环境温度的变化，导致其在无压力负载状态下的零点输出值发生变化的现象。通常用单位温度变化引起的零点输出变化量相对于基准温度下满量程输出的百分比（%FS/°C）来表示。

### 3.8

#### 热满量程输出漂移 thermal full-scale output drift

由于传感器工作环境温度的变化，导致其在满量程压力负载下的输出值发生变化的现象。通常用单位温度变化引起的满量程输出变化量相对于基准温度下满量程输出的百分比（%FS/°C）来表示。

### 3.9

#### 零点输出 zero-point output

传感器在参考条件下（如标准温度、无压力负载、通电稳定后），且未施加任何待测压力时的初始输出值。

### 3.10

#### 疲劳耐久性 fatigue durability

传感器在经历多次反复的压力加载和卸载循环后，其关键性能参数（如灵敏度、线性度）不产生不可逆的显著衰减或物理损坏（如开裂、分层）的能力。

### 3.11

#### 双85测试 double 85 Test

一种加速老化可靠性试验方法，指将传感器置于温度恒定为85°C、相对湿度恒定为85%的苛刻环境中，持续规定的时间，以评估其在高温高湿条件下的长期稳定性和材料可靠性。

### 3.12

#### 加速因子 acceleration factor

在加速寿命试验中，用于表征试验条件相对于正常使用条件的严酷程度倍数。该因子通过数学模型（如Peck模型、阿伦纽斯模型）计算，将加速试验条件下的失效时间换算为实际使用条件下的预期寿命。

### 3.13

#### 激励电源 excitation power supply

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、干电池或蓄电池等。其稳定度误差应不超过被试传感器允许基本误差的1/5。

### 3.14

#### 读数记录装置 reading record device

读数记录装置按被试传感器输出的要求，应选用数字式电压表、数字式频率计、电流表等。其准确度误差应不超过被试传感器允许基本误差的1/5。

## 4 测试原理与设备

### 4.1 测试系统构成

4.1.1 标准力源、采集设备、环境控制设备。测试系统由标准压力源、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，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。

4.1.2 标准压力源：用于提供符合实验预期的标准压力，在静态测试的环境下，可由固定传感器的定位工装和标准砝码组合提供一个恒定的压力。采集设备用于检测被测传感器的信号输出，根据传感器输出信号类型的不同，实现传感器信号到计算机可处理的数字信号的转换。在常温的测试条件下（23℃±2℃，相对湿度50%±5%），环境控制设备可由普通的实验室空调、加湿器和除湿机组成，仅由额外的温度计和湿度计提供环境温湿度记录即可。

4.1.3 激励电源：参考GB/T 15478—2015中3.2.3，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、干电池或蓄电池等。其稳定度误差应不超过被试传感器允许基本误差的1/5。

4.1.4 读数记录装置：参考GB/T 15478—2015中3.2.4，读数记录装置按被试传感器输出的要求，应选用数字式电压表、数字式频率计、电流表等。其准确度误差应不超过被试传感器允许基本误差的1/5。

### 4.2 关键设备要求

#### 4.2.1 力学实验仪器

##### 4.2.1.1 数字快速力学试验机

4.2.1.1.1 用于基本力学性能测试，要求：

- a) 力加载速度应于0.01 N/s~100 N/s可连续程控，控制精度不低于预期力加载速度的5%；
- b) 推荐力学测量精度：动态1%（测试波形：正弦波40 s周期），静态0.05%；
- c) 可设置输出波形：正弦波、三角波、方波、梯形波、脉冲冲击波形、用户自定义波形。

4.2.1.1.2 标准压力源，用于提供标准压力输入，推荐力学测量精度：不低于±0.5 %FS。

4.2.1.1.3 压力疲劳试验台，用于疲劳耐久性测试：

- a) 推荐力学测量精度：±0.5% FS；
- b) 频率范围：0 Hz~50 Hz。

#### 4.2.2 力学实验设备

4.2.2.1 弯曲试验机，用于弯曲性能测试，弯曲半径误差：±0.1 mm。

4.2.2.2 折叠试验机，用于折叠耐久性测试：

- a) 折叠角度：180°±1°；
- b) 频率：10次/min~1次/min。

#### 4.2.3 实验环境设备

4.2.3.1 高低温试验箱，用于高低温蠕变、温漂测试：

- a) 温度范围：-40℃~120℃；
- b) 温度波动：±1℃（部分要求±0.5℃）。

4.2.3.2 恒温恒湿箱，用于湿热可靠性测试、双85测试：

- a) 可设置温度：85℃；
- b) 可设置湿度：85%±3%；
- c) 如设备可同时满足高低温试验箱与恒温恒湿箱的参数要求，则可以使用此设备进行上述测试。

4.2.3.3 氙灯老化试验箱，用于光照可靠性测试，辐照度：1090 W/m<sup>2</sup>±10%；光谱符合 GB/T 2423.24—2022。

4.2.3.4 紫外老化试验箱：可选，可在光照可靠性测试中替代氙灯老化试验箱。

4.2.3.5 烟雾试验箱，用于盐雾腐蚀测试，温度：35℃±2℃。

4.2.3.6 细菌培养箱，用于微生物可靠性测试，温度：37℃±0.5℃；湿度：95%±5%。

4.2.3.7 标准铂电阻温度计用于温度监测与校准，精度：±0.5℃。

4.2.3.8 湿度计，用于湿度监测，精度：±2%RH。

#### 4.2.4 实验环境条件

##### 4.2.4.1 参比大气条件

参照GB/T 15478—2015，传感器的参比性能试验应在下述参比大气条件下进行：

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

##### 4.2.4.2 一般试验大气条件

参照GB/T 15478—2015，当传感器不可能或无必要在参比大气条件下进行试验，推荐采用下述大气条件：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：30%~85%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

注：在每项试验期间，允许的温度变化每小时不大于1℃。

#### 4.2.5 信号采集设备

4.2.5.1 LCR表，用于测量传感器的电容和电阻等电学参数：

- a) 采样率≥10 Hz；
- b) 精度：不低于±0.1%；
- c) 具有与实验系统的PC机通讯功能。

4.2.5.2 万用表，用于测量传感器的电压、电流、电阻等电学参数：

- a) 采样率≥10 Hz；
- b) 精度：不低于±0.1%；
- c) 具有与实验系统的PC机通讯功能。

#### 4.2.6 辅助检测设备

4.2.6.1 光学显微镜，用于结构完整性检查（开裂、分层等），放大倍数：具备50×档位。

4.2.6.2 菌落计数器，用于微生物试验后菌落计数。

4.2.6.3 生物安全柜，用于微生物试验操作环境。

4.2.6.4 电磁兼容测试系统，用于电磁抗扰度测试要求：

- a) 符合GB/T 17626系列标准；
- b) 场强：10 V/m（80 MHz~1 GHz）；
- c) 静电：±8 kV。

### 5 测试程序

#### 5.1 外观检查

应按照以下规定进行：

- a) 外观要求：传感器的外观应表面平整、无明显的缺陷或瑕疵（包括但不限于气泡、裂纹、异物等），接头螺纹应无毛刺、锈蚀和损伤，焊接处应牢固，电连接器应接触可靠，应符合 GB/T 38001.53—2024 中外观质量等级要求；
- b) 标志要求：传感器的标志应清晰、正确无误，其中包括：
  - 1) 电源输入端、信号输出端及极性的标志；
  - 2) 差压传感器的高压端和低压端接嘴应有永久性标志，应符合 GB/T 15478—2015 中要求。
- c) 检查项目：
  - 1) 标志；
  - 2) 材料；
  - 3) 表面加工质量；
  - 4) 焊接件牢固性；
  - 5) 电连接器接触可靠性。
- d) 检查方法：
  - 1) 用目测检查，操作者应具备正常视力和颜色分辨力，并选择在有利的观察距离和适当的照度下进行；
  - 2) 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。

## 5.2 抗蠕变性能测试

### 5.2.1 常温抗蠕变性能

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备；
- c) 样品制备：将样品固定在标准力源的水平测试台加载装置（可调压力）下，样品连接额定电源，连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，标记测试中心点；
- d) 试验步骤参照 GB/T 20672—2006 的规定，符合以下要求：
  - 1) 对样品施加恒定的满量程压力，加压状态下记录其规定时长内的输出电信号变化，完成蠕变数据采集，撤去压力负载后标准试验条件下放置 24 h，记录其规定时长内的输出电信号变化，完成蠕变恢复数据采集；
  - 2) 短期蠕变推荐测试时长为 30 min、1 h、或 24 h，长期蠕变推荐测试时长为 720 h、1000 h，或根据样品技术标准要求设定；
  - 3) 按照以下公式（1），计算测试的全周期内，最大信号差异值与满量程输出值的百分比；

$$\varepsilon_{FS} = \frac{\Delta Y}{Y_{FS}} = \frac{|Y_{max} - Y_{min}|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\varepsilon_{FS}$ ——满量程蠕变；

$Y_{max}$ ——满量程恒定压力下输出电信号最大值；

$Y_{min}$ ——满量程恒定压力下输出电信号最小值；

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值；

- 4) 输出电信号数据最大值与最小值以力值拐点作为参考点，上升拐点对应输出最小值，下降拐点对应最大输出值。

### 5.2.2 高温抗蠕变性能

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境： $-40^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  的恒温环境，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；

- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在标准力源的水平测试台加载装置（可调压力）下，样品连接额定电源并连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，标记测试中心点；
- d) 试验步骤参照 GB/T 20672—2006 的规定，符合以下要求：
  - 1) 将传感器置于合适温度的高低温试验箱内，在一定的温度下经过规定时长（不低于 30 min）的充分预热后，对样品施加恒定的满量程压力，加压状态下记录其规定时长内的输出电信号变化，完成蠕变数据采集，撤去压力；
  - 2) 所设置的温度参数（传感器工作的上、下限温度内）应不少于 3 个，且应均匀分布于其工作温度范围内；
  - 3) 短期蠕变推荐测试时长为 30 min、1 h、或 24 h，长期蠕变推荐测试时长为 720 h、1000 h，或根据样品技术标准要求设定；
  - 4) 按照以下公式（2），计算测试的全周期内，最大信号差异值与满量程输出值最大值的百分比；

$$\varepsilon_{FS,t} = \frac{\Delta Y_t}{Y_{FS,t}} = \frac{|Y_{max,t} - Y_{min,t}|}{Y_{FS,t}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\varepsilon_{FS,t}$ ——温度 t 下的满量程蠕变；
- $Y_{max,t}$ ——温度 t 下满量程恒定压力下输出电信号最大值；
- $Y_{min,t}$ ——温度 t 下满量程恒定压力下输出电信号最小值；
- $FS$ ——满量程；
- $Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

- 5) 输出电信号数据最大值与最小值以力值拐点作为参考点，上升拐点对应输出最小值，下降拐点对应最大输出值。

### 5.3 长期稳定性测试

#### 5.3.1 零点漂移

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：温度 23℃ ± 2℃，相对湿度 50% ± 5%，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台的加载装置下，样品连接额定电源并连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热 30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换；
- d) 试验步骤按照 GB/T 15478—2015 的规定，符合以下要求：
  - 1) 在规定的時間间隔及温湿条件下，零点输出的变化为零点漂移；
  - 2) 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应少于 2 h；
  - 3) 零点漂移按式（3）计算：

$$d_z = \frac{|\Delta Y_{L0}|_{max}}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $|\Delta Y_{L0}|_{max}$ ——零点漂移考核器件内零点示值的最大差值；
- $Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### 5.3.2 热零点漂移

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：-40℃~120℃的恒温环境，相对湿度50%±5%，或根据4.2.4和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在标准力源的水平测试台上，样品连接额定电源并连接数据采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力；
- d) 试验步骤参照GB/T 15478—2015、GB/T 2423.1—2008 试验 Ab 和 GB/T 2423.2—2008 试验 Bb 的规定进行，符合以下要求：
  - 1) 将传感器置于合适温度的高低温试验箱内，在一定的温度下经过规定时间的充分热稳定之后（不少于30 min），无压力负载状态下记录其规定时间内的输出电信号变化，同步记录温箱的实际温度值，完成数据采集；
  - 2) 针对不同类型的传感器，可选择合适的温度参数，所设置的温度参数应均匀分布于传感器工作的上、下限温度范围内，且不少于4个温度参数；
  - 3) 按照以下公式（4），计算测试的全周期内，传感器的热零点温漂系数（ $\alpha$ ）：

$$\alpha = \frac{\bar{Y}_L(t_2) - \bar{Y}_L(t_1)}{Y_{FS}(t_1) \times (t_2 - t_1)} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$t_1$ ——试验前室温温度，单位为摄氏度（℃）；

$t_2$ ——试验时的高温/低温，单位为摄氏度（℃）；

$\bar{Y}_L(t_1)$ ——在室温 $t_1$ 恒温规定的时间后，传感器的零点示值平均值；

$\bar{Y}_L(t_2)$ ——在规定的高温/低温 $t_2$ 恒温规定的时间后，传感器的零点示值平均

值；

$Y_{FS}(t_1)$ ——在室温 $t_1$ 温度时，传感器满量程输出值的平均值。

- 4) 根据公式（4）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，并以%FS/℃表述；
- 5) 根据4.2.4，推荐基准温度为20℃。

### 5.3.3 零点稳定性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：温度23℃±2℃，相对湿度50%±5%，或根据4.2.4和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台上，样品连接额定电源并连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换，测试其静态满量程压力下的电信号输出值；
- d) 试验步骤按照GB/T 15478—2015的规定，符合以下要求：
  - 1) 在规定的稳定性检定周期内，传感器每月至少连续通电4 h一次，并进行3次或3次以上的校准循环，方可确定零位稳定性指标；
  - 2) 在规定的期间（月）内，间隔一定时间测试传感器在无负载压力的零位状态下的电信号输出值，零点输出值的最大差值对静态满量程输出的百分比为零点稳定性，零点漂移按式（5）计算：

$$r_z = \frac{|\Delta Y_0|_{max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

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

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

### 5.3.4 满量程动态漂移

应按照以下规定进行：

- 推荐测试环境：温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台的加载装置下，样品连接额定电源并连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热 30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换；
- 试验步骤按照 GB/T 15478—2015 的规定，符合以下要求：
  - 设置标准力源程序为线性加压，加压过程是连续多次正反行程（0 kPa 至 100 %FS），对称性 50%；
  - 开始采集数据，运行线性加压的标准力源，达到规定的循环次数后结束测试；
  - 数据计算符合公式（6）要求：

$$r_{FS} = \frac{\Delta Y}{Y_{FS}} = \frac{|Y_{max} - Y_{min}|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$Y_{max}$ ——动态压力循环下满量程输出电信号最大值；

$Y_{min}$ ——动态压力循环下满量程输出电信号最小值；

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

### 5.3.5 热满量程输出漂移

应按照以下规定进行：

- 推荐测试环境：-40℃~120℃的恒温环境，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- 样品制备：将样品固定在恒温箱内标准力源水平测试台的加载装置下，样品连接额定电源并连接数据采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热 30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换；
- 试验步骤参照 GB/T 15478—2015、GB/T 33010—2016 的规定，符合以下要求：
  - 设置标准力源程序为阶梯加压模式，加压过程为连续 3 次正反行程，力级宜均匀分布，第一级力一般为力传感器额定力的 10%，力级不应少于 5 级（不含零点），推荐 8 级，即力传感器额定力的 10%、20%、30%、40%、50%、60%、80%、100%；
  - 将传感器置于一定温度的高低温试验箱内，在一定的温度下经过规定时长的充分热稳定之后（不少于 30 min），运行标准力源程序，记录其 3 次压力循环内的输出电信号变化，同步记录温箱的实际温度值，完成数据采集；
  - 按照以下公式（7），计算测试的全周期内，传感器的热满量程输出漂移（ $\beta$ ）：

$$\beta = \frac{\bar{Y}_{FS}(t_2) - \bar{Y}_{FS}(t_1)}{Y_{FS}(t_1) \times (t_2 - t_1)} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$t_1$ ——试验前室温温度，单位为摄氏度（℃）；

$t_2$ ——试验时的高温/低温，单位为摄氏度（℃）；

$\bar{Y}_{FS}(t_1)$ ——在室温  $t_1$  恒温规定的时间后，传感器的满量程示值平均值；

$\bar{Y}_{FS}(t_2)$ ——在规定的高温/低温  $t_2$  恒温规定的时间后，传感器的满量程示值平均值；

$Y_{FS}(t_1)$ ——在室温  $t_1$  温度时，传感器满量程输出值的平均值。

- 4) 根据式(7)分别计算出传感器在高温或低温时热满量程输出漂移 $\beta_+$ 和 $\beta_-$ ，其符号应根据计算结果选取，并以%FS/°C表述；
- 5) 根据4.2.4，推荐基准温度为20°C。

### 5.3.6 满量程稳定性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：温度23°C±2°C，相对湿度50%±5%，或根据4.2.4和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，精度±0.5°C，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台上，样品连接额定电源并连接数据采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换，测试其静态满量程压力下的电信号输出值；
- d) 试验步骤按照GB/T 15478—2015的规定，符合以下要求：
  - 1) 在规定的稳定性检定周期内，传感器每月至少连续通电4 h一次，并进行3次或3次以上的校准循环，方可确定零位稳定性指标；
  - 2) 在规定的期间（月）内，间隔一定时间测试传感器在满量程压力负载状态下的电信号输出值，满量程输出值的最大差值对满量程输出的百分比为满量程稳定性，满量程稳定性按式(8)计算：

$$r_s = \frac{|\Delta Y_H|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$|\Delta Y_H|_{\max}$ ——稳定性检定期内满量程输出值的最大差值；

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

### 5.3.7 疲劳耐久性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐试验环境：温度23°C±2°C，相对湿度50%±5%，或根据4.2.4和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：压力疲劳试验台或标准压力源，激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台上，样品连接额定电源并连接信号采集设备，使其处于正常工作状态，传感区域无预加载应力，预热30 min，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换；
- d) 试验步骤：
  - 1) 初始性能检测：在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
  - 2) 疲劳测试：设定压力循环的测试范围，周期性压力下限控制在0% FS~20% FS内，压力上限控制在80% FS~100% FS内，按产品技术条件规定的压力、频率（0 Hz~50 Hz）、波形和规定的循环次数进行压力循环试验（可根据需要确定是否同步监测其压力循环下的输出电信号变化），测试达到预定的疲劳循环次数后，评估传感器是否存在开裂、泄漏、密封失效等情况，按规定进行静态性能（零点输出、满量程输出、线性度、滞后等）检测；
  - 3) 性能衰减按照公式(9)计算，衰减率应≤10%。

$$\text{衰减率} = \frac{K_0 - K_n}{K_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

- $K_0$ ——疲劳循环测试前的性能参数；  
 $K_n$ ——疲劳循环测试后的性能参数。

### 5.3.8 折叠耐久性

应按照以下规定进行：

- 测试环境：温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- 仪器设备：折叠试验机，标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱，光学显微镜；
- 样品制备：将样品裁剪为正方形试样（ $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  或按需选择合适的尺寸），标记折叠轴线，距边缘  $5\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ ；
- 测试步骤：参照 GB/T 38001.62—2020，进行规定次数的折叠循环测试（不少于 10 万次，或根据产品技术标准规定设定），折叠角度  $180^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ，频率  $10\text{ 次}/\text{min} \pm 1\text{ 次}/\text{min}$ ，测试前后分别检测样品性能参数（如电阻、电容等），测试后用光学显微镜检查结构完整性（无分层、开裂等），按照公式（9）计算性能衰减率，性能衰减率应  $\leq 10\%$ 。

### 5.3.9 弯曲耐久性

应按照以下规定进行：

- 推荐测试环境：温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- 仪器设备：弯曲试验机，弯曲半径误差  $\pm 0.1\text{ mm}$ ，标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温箱，光学显微镜；
- 样品制备：将样品制备或裁剪成长条状试样（ $50\text{ mm} \times 10\text{ mm}$  或按需选择合适的尺寸），夹持固定在置于恒温箱内的弯曲试验机上，标记中间  $30\text{ mm}$  为有效弯曲测试区域，用无水乙醇清洁表面；
- 测试步骤：参照 GB/T 38001.62—2020，进行规定次数（消费级产品不低于 10 万次，工业级产品不低于 50 万次，车规级产品不低于 100 万次）的弯曲循环测试，弯曲半径（一般为  $5\text{ mm}$ ）及次数取决于产品规格，弯曲频率  $30\text{ 次}/\text{min} \pm 1\text{ 次}/\text{min}$ ，测试前后分别检测样品性能参数（如电阻、电容等），测试后用光学显微镜检查结构完整性（无分层、开裂等），按照公式（9）计算性能衰减率，性能衰减率应  $\leq 10\%$ 。

### 5.3.10 双 85 测试

应按照以下规定进行：

- 推荐测试环境：恒温恒湿箱，按照 GB/T 2423.50—2025 的规定，温度  $85^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $85\% \pm 3\%$ ；
- 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，恒温恒湿箱；
- 样品制备：将样品固定在恒温箱内水平测试台上，传感区域无预加载应力，预热  $30\text{ min}$ ，确保传感器与恒温箱内空气充分热交换；
- 试验步骤：
  - 根据其预估使用寿命计算其高温湿加速试验（双 85 测试）时长，计算参考 Peck 模型公式（10）和公式（11）：

$$AF = \left( \frac{RH_{test}}{RH_{use}} \right)^n \times e^{\frac{E_a}{K} \left( \frac{1}{T_{use}} - \frac{1}{T_{test}} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{预估寿命} = \text{加速试验时间} \times AF \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$AF$ ——加速因子，表示加速试验条件下的失效速度是正常使用条件的多少倍；

$RH_{test}$ ——试验环境下相对湿度；

$RH_{use}$ ——使用环境下相对湿度；

$T_{test}$ ——试验环境下的绝对温度，单位开尔文K ( $K=^{\circ}C+273.15$ )；

$T_{use}$ ——试验环境下的绝对温度，单位开尔文K ( $K=^{\circ}C+273.15$ )；

$n$ ——湿度加速指数，一般取2.5~3.0；

$Ea$ ——活化能，单位电子伏特eV，代表失效机理对温度的敏感程度，不同产品或失效模式的E值不同，对于塑封器件的腐蚀失效，取0.7 eV~0.9 eV，对于液晶显示器件LCD的失效，可取0.7 eV或其他经验值；

$K$ ——玻尔兹曼常数， $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K。

- 2) 初始性能检测：在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
- 3) 置于恒温恒湿箱内连续放置规定时间（根据样品技术标准寿命要求利用 Peck 模型公式计算加速试验时长），测试结束后测量静态下各性能参数输出，漂移按照公式（12）计算，各性能漂移应 $\leq \pm 5\%$ ；

$$\text{漂移率} = \frac{X_t - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$X_t$ ——t时刻值性能参数；

$X_0$ ——初始性能参数值。

## 5.4 环境稳定性测试

### 5.4.1 温度可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：高低温箱 - 40 $^{\circ}$ C~120 $^{\circ}$ C；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，标准铂电阻温度计，高低温箱；
- c) 样品制备：将样品处于工作状态，避免与热源直接接触；
- d) 试验步骤按照 GB/T 2423.1—2008 和 GB/T 2423.2—2008 的规定，符合以下要求：
  - 1) 工作温度：工作下限温度环境下和工作上限温度环境下各保持规定时长，功能正常；
  - 2) 存储温度：-40 $^{\circ}$ C和120 $^{\circ}$ C各存储规定时长，恢复后功能正常。

### 5.4.2 湿度可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：恒温恒湿箱应按照 GB/T 2423.3—2016 的规定，设定湿热环境；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，恒温恒湿箱、湿度计；
- c) 样品制备：样品处于工作状态，避免冷凝水直接接触；
- d) 试验步骤：
  - 1) 试验的严酷等级由温度、相对湿度、试验持续时间共同决定试验的温度和相对湿度应从表1中选择，或根据样品要求另行选择温度和湿度参数；
  - 2) 对于水凝胶类传感器，应在低湿干燥环境下进行可靠性检测；

表1 温度和相对湿度

温度 ℃	相对湿度 RH%
30±2	93±3
30±2	85±3
40±2	93±3
40±2	85±3
30±2	30±3
40±2	30±3

- 3) 在规定的湿度和温度环境下各保持规定时长后,将传感器取出放在一般试验大气条件环境中,恢复后按相关规定进行静态性能试验,各功能应正常。

### 5.4.3 光照可靠性

应按照以下规定进行:

- a) 推荐测试环境:参照 GB/T 2423.24—2022 的规定,光源参数如  $0.55 \text{ W/m}^2@340\text{nm}$  或  $1000 \text{ W/m}^2@300\text{nm}\sim 800\text{nm}$ ;试验箱还应设有能保持规定温度 ( $25^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ )、气流速度和湿度条件的装置。进行试验的试验箱应能提供符合表 2 规定的光谱分布的光源,在规定的辐射测量平面上的辐照度为  $1090 \times (1 \pm 10\%) \text{ W/m}^2$ 。该辐照度值应包括任何从试验箱内反射且被试样接受的辐射,但不宜包括试验箱发射的长波红外辐射。相对光谱辐照度的最低和最高水平在表 3 中给出。

表 2 光谱辐照度

光谱区域	紫外线Ba	紫外线A	可见光	红外线	总辐射
带宽/nm	300~320	320~400	400~800	800~2450	300~2450
辐照度/( $\text{W/m}^2$ )	4.06	70.5	604.2	411.2	1090
展总辐射比例/%	0.4	6.4	55.4	37.8	100

注1:本表是CIE 85:1989中表4的一个缩略版本。  
注2:A到达地球表面的波长短于300 nm的辐射可以忽略不计。

表 3 相对光谱辐照度的最低和最高水平

光谱区域	紫外线B	紫外线A	可见光	红外线	总辐射
带宽/nm	300~320	320~400	400~800	800~2450	300~2450
占总辐射比例/%	0.4	6.4	55.4	37.8	100
最低水平/%	0.3	4.2	43.8	33.7	-
最高水平/%	0.7	7.4	57	50.5	-

- b) 仪器设备:氙灯老化试验箱或紫外老化试验箱;
- c) 样品制备:将样品固定水平测试台上,在标准试验条件下,对传感器进行初始性能检测,记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数;
- d) 试验步骤:
- 1) 程序 Sa1—周期为 24 h, 8 h 照射, 16 h 黑暗, 按要求重复, 每周期的总辐照量为  $8.72 (\text{kW} \cdot \text{h}) / \text{m}^2$ , 接近于最严酷的自然条件, 当主要关注热效应时采用程序 Sa1;
  - 2) 程序 Sa2—周期为 24 h, 20 h 照射, 4 h 黑暗, 按要求重复, 每周期的总辐照量为  $21.8 (\text{kW} \cdot \text{h}) / \text{m}^2$ , 当主要关注降解效应时, 适用本程序;
  - 3) 程序 Sa3—连续光照, 按要求进行, 程序 Sa3 是一个简化的试验, 适用于循环热应力不重要且只评价光化学效应的情况, 该程序还适用于评价热容量小的试验样品的热效应;
  - 4) 样品放置于光源辐照箱内连续运行规定时长, 辐照结束后测量各性能参数输出, 漂移按照公式 (12) 计算, 各性能漂移应  $\leq \pm 5\%$ 。

## 5.5 特殊场景稳定性测试

### 5.5.1 振动可靠性

应按照以下规定进行:

- a) 推荐测试环境：温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度  $50\% \pm 5\%$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：振动试验机，标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，恒温箱；
- c) 样品制备：将样品固定在水平测试台上，在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
- d) 试验步骤：
  - 1) 传感器的振动影响试验应按 GB/T 2423.10—2008、GB/T 15478—2015 的规定进行；
  - 2) 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（或加速度），沿规定的方向振动；记录传感器振动前和振动过程中的零点输出信号，并按式（13）计算振动对零点的影响。振动试验后对样品进行静态性能试验，试验结果应符合传感器详细规范规定的要求；

$$Z_0 = \frac{|Y_L - Y_{L_0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$Y_L$ ——振动过程中，传感器的零点示值的最大或最小值；

$Y_{L_0}$ ——振动试验前，传感器的零点示值；

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

### 5.5.2 盐雾可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：温度  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，恒温箱，喷雾试验箱；
- c) 样品制备：将样品固定水平测试台上，在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
- d) 试验步骤：
  - 1) 传感器的盐雾影响试验应按 GB/T 2423.17—2008 的规定进行；
  - 2) 试验后，经蒸馏水洗净并经过干燥后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），传感器详细规范有要求时，还可进行相应的规定试验，以评定本试验对传感器性能的影响，试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

### 5.5.3 电磁可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：电磁屏蔽室，温度  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温湿度；
- b) 仪器设备：电磁干扰系统按照 GB/T 15478—2015 的规定，电磁干扰试验台，标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，恒温箱；
- c) 样品制备：样品连接额定负载，处于工作状态；
- d) 试验步骤按照以下规定进行：
  - 1) 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（50%~70%）量程的压力信号，记录传感器输出值，然后施加磁场强度为  $400\text{ A/M}$ （均方根）的磁场信号，调整移相器（ $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ）观察传感器的输出变化，并按以下公式（14）计算外磁场对传感器的输出值的影响，试验结果应符合传感器详细规范规定的要求；
  - 2) 外磁场对传感器输出值的影响（ $C_c$ ），按式（14）计算

$$C_c = \frac{Y_m - Y_{m0}}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

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

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

$Y_{FS}$ ——静态校准的满量程输出值。

#### 5.5.4 辐照可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 仪器设备：标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备，中子脉冲反应堆辐射源或钴 60  $\gamma$  射线辐射源；
- b) 样品制备：将样品固定水平测试台上，在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
- c) 试验步骤：
  - 1) 传感器应按照 GJB 548B—2005 的规定进行中子辐射或电离辐射影响试验；
  - 2) 试验后，按传感器详细规范要求，进行外观和辐照前后静态下各性能参数检测，试验结果应符合传感器详细规范规定的要求。

#### 5.5.5 微生物可靠性

应按照以下规定进行：

- a) 推荐测试环境：37℃ $\pm$ 0.5℃，湿度 95% $\pm$ 5%，或根据 4.2.4 和传感器工作条件设置测试环境温度湿度；
- b) 仪器设备：细菌培养箱、菌落计数器、生物安全柜，标准压力源、激励电源和读数记录装置组成的测试系统，信号采集设备；
- c) 样品制备：将样品固定水平测试台上，在标准试验条件下，对传感器进行初始性能检测，记录其零点输出、满量程输出、线性度、滞后等关键参数；
- d) 试验步骤：
  - 1) 样品接种大肠杆菌，10<sup>8</sup> CFU/mL，培养 24 h；
  - 2) 测试检测样品试验前后各项性能参数（如电阻、电容等），按照公式（12）计算性能漂移率，性能漂移率应 $\leq$ 5%。

### 6 数据处理与评价

#### 6.1 数据处理

性能参数数据处理详见第五节各性能参数测试程序。

#### 6.2 稳定性等级判定

6.2.1 本等级表以传感器满量程（FS）为归一化基准，所有相对漂移均以%FS 或%FS/℃表示（温漂等用%FS/℃）。

6.2.2 判定采用“等级划分制”，即按指标绝对数值范围划分为不同等级（如 0.01 级、0.05 级、0.1 级），而不使用“合格/不合格”的二元判定方式，企业可根据产品性能定位选定目标等级。

表 4 等级判定表

指标	0.01级	0.10级	0.50级	1.0级	5.0级
----	-------	-------	-------	------	------

T/CIET XXXX—XXXX

T/CIET XXXX—XXXX

指标	0.01级	0.10级	0.50级	1.0级	5.0级
零点稳定性	≤0.01% FS	≤0.10% FS	≤0.50% FS	≤1.00% FS	≤5.00% FS
满量程稳定性	≤0.01% FS	≤0.10% FS	≤0.50% FS	≤1.00% FS	≤5.00% FS
零点温漂系数	≤0.01% FS/°C	≤0.10% FS/°C	≤0.50% FS/°C	≤1.00% FS/°C	≤5.00% FS/°C
满量程温漂系数	≤0.01% FS/°C	≤0.10% FS/°C	≤0.50% FS/°C	≤1.00% FS/°C	≤5.00% FS/°C
蠕变率	≤0.01% FS	≤0.10% FS	≤0.50% FS	≤1.00% FS	≤5.00% FS

注1：等级命名（0.01级、0.05级等）直接对应指标限值，企业可根据需要引用。例如：零点稳定性达到 ≤0.05%FS，即可称为“0.05级稳定性”。

注2：所有%FS的计算基于静态校准所得满量程值。

注3：蠕变测试应明确测试时长，稳定性检定期应不少于3个月，并有周期性复测。

### 6.3 数据输出格式

企业需要输出原始数据（CSV）、处理说明、主要统计量（均值/最大/最小/标准差）、指标数值与对应等级。建议明确样本量（每次试验 $n \geq 5$ ），提供不同批次间稳定性差异（批次均值偏差≤一半等级阈值），同时对失效模式进行记录和归档。

附录 A  
(资料性)

蠕变率和恢复率测试计算说明

A.1 蠕变率和恢复率的测试说明

参照GB/T 33010—2016进行压力传感器蠕变率和蠕变恢复率的测试及计算：

- 将力传感器安装在力标准机上,连接力传感器和指示仪表并预热。需要时,可以重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整。根据需要调整指示仪表的零点;
- 对力传感器施加3次预加力,每次至力传感器额定力,然后卸除到零。如果施加预加力对力传感器的蠕变检测结果有影响,则不对力传感器施加预加力,并且,在检测前24 h之内不对力传感器施加任何力;
- 第3次预加力卸除后,根据需要可以重新对力传感器输入端的激励电压进行测量和调整。调整指示仪表的量程和零点并读取零点输出读数;
- 施加完预加力后,尽快施加力传感器额定力(施加时间不应超过30 s),施加到最大力后立即(建议在5 s~10 s内)读取力传感器的输出值,然后在30 min内按一定的时间间隔(一般不应超过5 min)依次读取力传感器的输出值;
- 尽快卸除施加到力传感器上的力(卸除时间一般不应超过30 s),卸除到零后立即(建议在5 s~10 s内)读取力传感器的输出值,然后在30 min内按一定的时间间隔(一般不应超过5 min)依次读取力传感器的输出值;
- 按式(14)和式(15)分别计算力传感器的蠕变 $C_p$ 和蠕变恢复 $C_r$ 。在给出蠕变 $C_p$ 时,应注明加力时间( $t_1-t_0$ )和第一次读数时间( $t_2-t_1$ ) (见图1);在给出蠕变恢复 $C_r$ 时,应注明卸力时间( $t_4-t_3$ )和第一次读数时间( $t_5-t_4$ )。

A.2 蠕变率和恢复率的计算

A.2.1 蠕变率

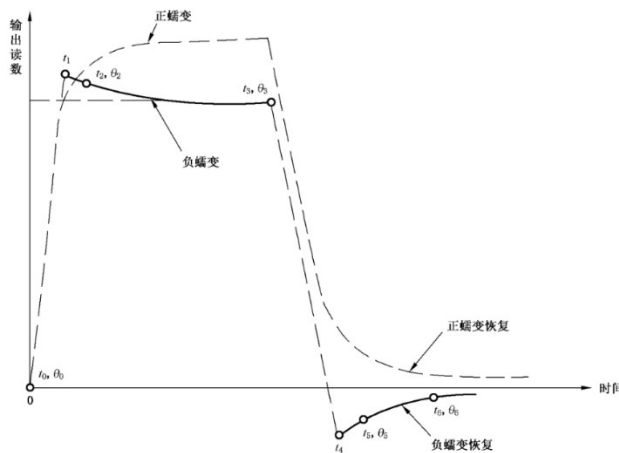
见公式A.1。

$$C_p = \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_f} \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

A.2.2 恢复率

见公式A.2。

$$C_r = \frac{\theta_5 - \theta_6}{\theta_f} \times 100\% \dots\dots\dots (A.2)$$



图A.1 压力传感器的蠕变特性

- $t_1-t_0$ ——从零试验力到力传感器额定力的时间;
- $t_2-t_1$ ——从加到力传感器额定力到第一次读数的时间 (5 s~10 s);
- $t_3-t_2$ ——观测蠕变的时间 (30 min);

$t_5-t_4$ ——从力卸除到零值第一次读数的时间（5 s~10 s）；

$t_6-t_5$ ——观测蠕变恢复的时间（30 min）；

$\theta_0$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_5$ 、 $\theta_6$ ——与时间 $t_0$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_5$ 、 $t_6$ 相对应的力传感器的输出读数；

$\theta_f$ ——力传感器额定力时的输出读数。

### A.3 满量程输出 ( $Y_{FS}$ )

A.3.1 参照GB/T 15478—2015进行压力传感器满量程输出的计算。

A.3.2 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，按式（A.3）计算即：

$$Y_{FS} = |b (X_H - X_L)| \dots\dots\dots (A.3)$$

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。

A.3.3 对于定点使用的非线性传感器，满量程输出，按式（A.4）计算：

$$Y_{FS} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$\bar{Y}_H$ 、 $\bar{Y}_L$ ——分别为测量上、下限的压力值。

A.3.4 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，满量程输出值按式（A.5）计算非线性传感器，满量程输出，按式（A.4）计算：

$$Y_{FS} = |\bar{Y}_H - \bar{Y}_L| \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

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