

T/ZOIA

中关村光电产业协会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

硅微谐振压力传感器性能试验方法

Test methods of the performances for
silicon micro resonant pressure transducer/ sensor

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中关村光电产业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验条件	2
5 试验的一般规定	3
6 试验项目及试验方法	3
参 考 文 献	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。

本文件由中国科学院空天信息创新研究院提出。

本文件由中关村光电产业协会归口。

本文件起草单位：中国科学院空天信息创新研究院

本文件主要起草人：王军波，鲁毓岚，谢波，陈德勇。

硅微谐振压力传感器性能试验方法

1 范围

本标准规定了硅微谐振压力传感器性能的试验条件、试验的一般规定、试验项目及试验方法、数据计算及处理。

本标准适用于硅微谐振压力传感器(包括绝压传感器、差压传感器和表压传感器,以下简称传感器)。

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 7665-2005 传感器通用术语
- GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法
- GB/T 15478-2015 压力传感器性能试验方法
- GJB150.2A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第2部分:低气压(高度)试验
- GJB150.3A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第3部分:高温试验
- GJB150.4A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第4部分:低温试验
- GJB150.5A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第5部分:温度冲击试验
- GJB150.9A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第9部分:湿热试验
- GJB150.10A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第10部分:霉菌试验
- GJB150.11A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分:盐雾试验
- GJB150.12A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第12部分:砂尘试验
- GJB150.15A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第15部分:加速度试验
- GJB150.16A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分:振动试验
- GJB150.17A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第17部分:噪声试验
- GJB150.18A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分:冲击试验
- GJB150.24A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第24部分:温度-湿度-振动-高度试验
- GJB 151B-2013 军用装备和分析图电磁发射和敏感度要求与测量
- GJB 360B-2009 电子及电气元件试验方法
- JJG 875-2019 数字压力计检定规程
- JJG 860-2015 压力传感器(静态)检定规程
- JB/T 13359-2018 硅谐振式压力传感器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1 微谐振压力传感器 silicon micro resonant pressure transducer/ sensor
基于硅材料的微加工技术制作而成,利用谐振原理,将被测压力转化成谐振频率的传感器。
- 3.2 固有频率 intrinsic frequency
无压力作用(绝压)或正负压腔疏通大气(表压、差压)时传感器的输出频率值。
- 3.3 谐振频率 resonant frequency
传感器在压力作用下的输出频率值。
- 3.4 灵敏度 sensitivity
传感器承受压力时,因压力增加而产生的频率增量与压力增量的比值。
- 3.5 相对灵敏度 relative sensitivity
传感器承受压力时,因压力增加而产生的频率增量与固有频率的比值。

- 3.6 场压 Field pressure
试验现场的大气压力值。
- 3.7 采样波动（压力波动） Sampling variance
在规定的采样率下，传感器输出压力值的波动情况。
- 3.8 启动时间 Run-up time
传感器上电到输出达到传感器允许误差的时间。
- 3.9 温度跟随性 Temperature following performance
环境温度剧烈变化时，传感器的测量准确度。

4 试验条件

4.1 环境条件

4.1.1 一般大气条件

传感器的参比性能试验应在一般大气条件下进行：

温度：18°C~22°C；

相对湿度：30%~85%；

大气压力：86kPa~106kPa。

4.1.2 检定大气条件

传感器的检定试验应在检定大气条件下进行：

温度：0.02级及以上的传感器为（20±1）°C，0.05级的传感器为（20±2）°C，0.1级及以下的传感器为（20±5）°C；

湿度：不大于75%；

大气压力：86kPa~106kPa。

4.1.3 标准大气条件

传感器的环境试验应在标准大气条件下进行：

温度：15°C~35°C；

湿度：20%~80%；

大气压力：实验场所气压。

4.2 校准系统

4.2.1 校准系统的组成

校准系统由压力基准、电源和读数装置三部分组成。其综合误差可按照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确定。

4.2.2 压力基准

标准压力基准应选用活塞压力计、微压计、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：

1) 对于0.01级~0.05级的传感器,其误差不应超过被试传感器允许基本误差的1/2；

2) 对于0.1级及以下的传感器,其误差不应超过被试传感器允许基本误差的1/3；

3) 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100%~500%；

4) 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。

4.2.3 电源

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。

4.2.4 读数装置

模拟信号输出的被试传感器按输出要求，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。

数字信号输出的被试传感器按数字协议，应选用与数字接口相符的上位机、微处理器等。

4.2.5 其他试验设备

其他试验设备应按试验要求配备。

5 试验的一般规定

5.1 外观

传感器的外观应无明显的瑕疵、划痕，接头螺纹无毛刺、锈蚀和损伤，焊接处应处牢固，电气接口应接触可靠。

5.2 标志

传感器的标志清晰完整、准确无误。标志应在传感器表面明显位置做出标识，内容至少包含传感器型号、序列号、研制单位等内容。

差压传感器的压力输入端口处应有高压（H）、低压（L）的标志。

5.3 电气接口

传感器的详细规范或其他说明性文件应注明电气连接与标识。

5.4 安装方法

传感器的详细规范或其他说明性文件应注明传感器的安装方法。

6 试验项目及试验方法

6.1 外观、标志

6.1.1 检查项目

检查项目包括

- a) 外观；
- b) 标志；
- c) 外形尺寸；
- d) 安装尺寸；
- e) 重量。

6.1.2 检查方法

6.1.2.1 外观、标志

用目测或者借助显微镜进行外观、标志检查：

6.1.2.2 外形尺寸、安装尺寸

选择下列适当器具进行传感器的外形尺寸及安装尺寸检查：

- a) 游标卡尺，千分尺或千分表；
- b) 标准规、标准量仪；
- c) 带有测量功能的显微镜；
- d) 环规、塞规。

6.1.2.3 重量

用天平或其他标准仪器称量传感器质量。

6.1.3 试验条件

一般大气条件。

6.1.4 检查细节规定

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) 检查仪器的型号、细节等；
- c) 特征参数的规定值及判据；
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.2 电气特性

6.2.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 输出信号；
- b) 输出阻抗；

c) 绝缘电阻。

6.2.2 试验方法

6.2.2.1 输出信号

传感器在工作状态下,采用示波器等其他信号测试设备,测量传感器在空载状态下的输出信号的种类及其特性参数。

6.2.2.2 输出阻抗

按图A.1连接传感器,接通电源,在大气环境下,用数字万用表分别测量传感器在空载和接有10kΩ标准电阻(精度优于1%)负载条件下的输出信号有效值电压(对地),按照公式(1)进行计算:

$$R_0 = \frac{Y_{KL} - Y_{FL}}{Y_{FL}} \times R_L \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_0 ——输出阻抗;

Y_{KL} ——空载时谐振频率信号的有效值电压;

Y_{FL} ——负载接 R_L 时谐振频率信号的有效值电压;

R_L ——负载电阻 ($R_L=10k\Omega$)。

6.2.2.3 绝缘电阻

传感器在非工作状态下,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,测量传感器引出端与外壳之间的绝缘电阻。

6.2.3 试验条件

一般大气条件。

6.2.4 试验细节规定

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) 试验仪器的型号、细节等;
- c) 特征参数的规定值及判据;
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.3 性能特性

6.3.1 试验项目

试验项目包括:

- a) 准确度 (ξ);
- b) 迟滞 (ζ_H);
- c) 重复性 (ζ_R);
- d) 符合性误差 (A);
- e) 长期稳定性 (ζ_H);
- f) 零点漂移。

6.3.2 试验方法

6.3.2.1 准确度 (ξ)

按照GB/T 15478-2015中5.4的规定试验。

- a) 选定压力检定点。0.02级及以上的传感器压力检定点为11个(含零点);0.05级的传感器压力检定点为9个(含零点),0.1级及以下的传感器压力检定点为7个(含零点),选取的压力检定点应较均匀地分布在全量程范围内。
- b) 按图A.2连接传感器和测试设备,压力标准器与被测传感器应保持在同一高度;
- c) 测试密封性。通过压力标准器给管路建立比测试场所气压低60kPa的压力,压力稳定后,将压力标准器切换到测量模式,稳定3min后,记录1min压力变化,压力变化应不大于30Pa;
- d) 通过压力标准器给传感器施加不少于3次预压,使传感器经受测量上限值和下限值,然后将压力稳定到测量下限值;
- e) 按照a)确定的压力检定点从测量下限值开始测试,一直到测量上限值(称正行程),再按照检定点顺序回校(称反行程)。一个正、反行程为一个循环。采集被测传感器在各压力检定点的输出信号,连续进行3个循环压力测试:

f) 将各行程压力检定点的输出信号值代入解算方程，分别计算每个检定点的正、反行程压力值。准确度按附录B中B.1~B.4方法计算。

注：绝压传感器的零点按检定设备的极限给定。

6.3.2.2 迟滞 (ζ_H)

利用6.3.2.1数据，按附录B.2方法计算。

6.3.2.3 重复性 (ζ_R)

利用6.3.2.1数据，按附录B.3方法计算。

6.3.2.4 符合性误差 (A)

按图A.2连接传感器和测试设备，按6.3.2.1规定方法，进行一个正反行程的压力检定，计算各检定点传感器的输出压力值与给定标准值之间的差值，按公式(2)计算传感器的符合性误差。

$$A = \pm |y_i - y_0|_{\max} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

A ——符合性误差；

y_i ——各检定点传感器输出压力值；

y_0 ——给定的标准值。

6.3.2.5 长期稳定性 (ζ_L)

当考核试验时间低于1年时，按照方法I进行；当考核时间超过1年时可根据实际情况选择方法II或方法II进行。

a) 方法I

测试时间以2个月为周期，除测试情况外，传感器处于非工作状态。

按图A.2连接传感器和测试设备，按6.3.2.4方法进行压力测试，记录起始符合性误差。以第一次符合性误差测试完成之日为考核起点，每间隔2个月进行一次符合性误差测试，计算每次测试符合性误差与首次符合性误差的差值，按照公式(3)计算传感器的长期稳定性。

$$\zeta_L = \frac{|A_i - A_0|_{\max}}{N \times y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ζ_L ——长期稳定性；

A_i ——第*i*次符合性误差 ($i=1,2,3\dots$)；

A_0 ——首次符合性误差；

N ——考核期限。

b) 方法II

测试时间以3个月为周期，除测试情况外，传感器处于非工作状态。

按图A.2连接传感器和测试设备，按6.3.2.4方法进行压力测试，记录起始符合性误差。以第一次符合性误差测试完成之日为考核起点，每间隔3个月进行一次符合性误差测试，计算每次测试符合性误差与首次符合性误差的差值，按照公式(3)计算传感器的长期稳定性。

c) 方法III

采用同批次多只样品同时测试，测试期限为6个月，测试时间以3个月为周期，所有传感器始终处于工作状态。

按图A.2连接传感器和测试设备，按6.3.2.4方法进行压力测试，记录起始符合性误差。以第一次符合性误差测试完成之日为考核起点，每间隔3个月进行一次符合性误差测试，计算每次测试符合性误差与首次符合性误差的差值，按照公式(4)计算传感器的长期稳定性。

$$\zeta_L = \frac{|A_{ij} - A_{0j}|_{\max}}{N \times y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

ζ_L ——长期稳定性；

A_{ij} ——第*j*只传感器第*i*次符合性误差 ($i=1,2; j=1,2,3\dots$)；

A_{0j} ——第*j*只传感器首次符合性误差 ($j=1,2,3\dots$)。

注：样品数量不少于 $N/6$ 个月。

6.3.2.6 零点漂移

按GB/T 15478-2015中5.5的规定试验。

注：绝压传感器无此特性。

6.3.3 试验条件

检定大气条件。

6.3.4 试验细节规定

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) 试验仪器的型号、细节等；
- c) 特征参数的规定值及判据；
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.4 基本特性

6.4.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 测量范围（量程）；
- b) 工作温度；
- c) 压力灵敏度（ S_p ）；
- d) 温度灵敏度（ S_t ）；
- e) 分辨力/分辨率（ R/R_r ）；
- f) 工作频率范围；
- g) 品质因数（ Q ）；
- h) 功耗。

6.4.2 试验方法

6.4.2.1 测量范围（量程）

与6.3.2.1或6.3.2.4同时测试，加载压力的压力范围为测量范围。

6.4.2.2 工作温度

按GJB 150.4A-2009程序II规定的试验方法，提供工作温度下限温度测试环境，按7.6.4方法进行符合性误差测试。

按GJB 150.3A-2009程序II规定的试验方法，提供工作温度上限温度测试环境，按7.6.4方法进行符合性误差测试。

当以上测试结果需同时满足传感器详细规范允许误差要求。

6.4.2.3 压力灵敏度（ S_p ）

按图A.2连接传感器与测试设备，使用频率计等频率测量设备测量传感器的测量范围上下限压力点下传感器的谐振频率，按公式（5）计算传感器的压力灵敏度。

除另有规定外，测试点从测量范围上限值开始。

$$S_p = \left| \frac{f_{pH} - f_{pL}}{P_H - P_L} \right| \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- S_p ——压力灵敏度；
 f_{pH} ——加载测量范围下限压力点传感器的输出值；
 f_{pL} ——加载测量范围下限压力点传感器的输出值；
 P_H ——传感器的测量范围上限值；
 P_L ——传感器的测量范围下限值。

6.4.2.4 温度灵敏度（ S_t ）

将传感器放置于高低温试验箱中，按图A.2连接传感器与测试设备，给定100kPa压力（另有规定情况除外），使用频率计等频率测量设备测量传感器的工作温度上下限温度下传感器的谐振频率，按公式（6）计算传感器的温度灵敏度。

除另有规定外，测试点工作温度下限值开始。

$$S_t = \left| \frac{f_{iH} - f_{iL}}{T_H - T_L} \right| \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- S_t ——温度灵敏度；
 f_{iH} ——加载测量范围下限压力点传感器的输出值；
 f_{iL} ——加载测量范围下限压力点传感器的输出值；
 T_H ——传感器的工作温度上限值；
 T_L ——传感器的工作温度下限值。

6.4.2.5 分辨力/分辨率 (R/Rr)

按图A.2连接传感器与测试设备，按照下列步骤测试传感器的分辨力/分辨率：

- 给定被检压力传感器恒定压力值 P ，记录传感器输出 P_{R0} ；
- 给定被检压力传感器恒定压力值 $P_0 + \Delta P$ ，记录传感器输出 P_{R1} ；
- 给定被检压力传感器恒定压力值 $P_0 + 2\Delta P$ ，记录传感器输出值 P_{R2} ；
- 给定被检压力传感器恒定压力值 $P_0 + 3\Delta P$ ，记录传感器输出值 P_{R3} 。
- 计算每一压力给定增量下传感器的输出增量：

$$P_{Ej} = P_{Rj} - P_{R(j-1)} (j = 1, 2, 3) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

P_{Ej} ——给定压力增量下传感器输出增量。

- 比较实际压力输出增量最小值和给定压力增量的比值：

$$r = \frac{\text{Min}(P_{Ej})}{\Delta P} \times 100\% (j = 1, 2, 3) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

r ——传感器输出增量最小值与给定压力增量的比值。

当 $r > 50\%$ 时，则传感器的分辨力为 ΔP ，对应的分辨率按公式(9)计算：

$$R_r = \left| \frac{\Delta P}{y_{FS}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

R_r ——分辨率；

y_{FS} ——满量程，一般情况下绝压传感器和表压的满量程为测量范围上限值，差压传感器的满量程为测量范围的上限值与下限值之差。

其中，分辨力/分辨率的测试点为测量范围下限值的点称为阈值；

分辨力/分辨率的测试点为测量范围上限值的点称为死区；

无特殊声明情况下，传感器的分辨力/分辨率测试点为测量范围的中间值。

6.4.2.6 工作频率范围

按6.3.2.4方法测试，传感器的测量范围上下限压力点下传感器的谐振频率之间的范围为传感器的工作频率范围。

6.4.2.7 品质因数 (Q)

对于品质因数不大于50000的传感器，按方法I试验；对于品质因数大于50000的传感器，按方法II试验。

a) 方法I

通过网路分析仪等工具测量传感器敏感单元谐振器幅频曲线，如图1所示。

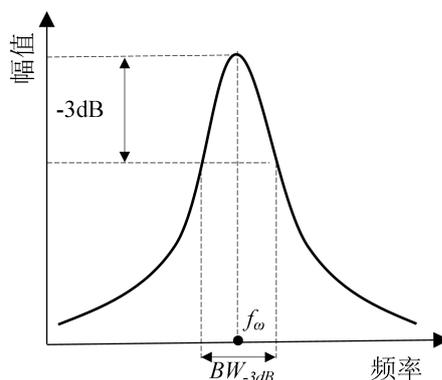


图1 品质因数测试中的幅频曲线

按照公式（10）计算品质因数：

$$Q = \frac{f_{\omega}}{BW_{-3dB}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

Q ——品质因数；

f_{ω} ——传感器谐振器的谐振频率；

BW_{-3dB} ——-3dB带宽。

b) 方法II

通过示波器等数据采集设备记录传感器断电后敏感单元谐振器输出幅值衰减波形，如图2所示。

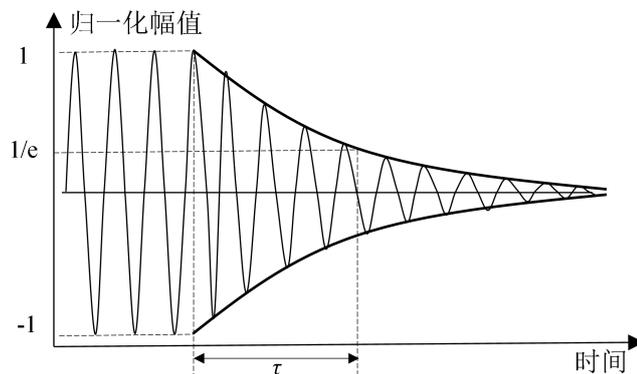


图2 品质因数测试过程中的幅值衰减曲线

按公式（11）计算品质因数

$$Q = \tau \pi f_{\omega} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

τ ——衰减时间常数，幅值降到 $1/e$ 经历的时间。

6.4.2.8 功耗

将电源调至额定工作电压值，读取电源电压值和电流值，按照功率等于电压乘以电流计算。若采用多路电源供电，传感器的功耗按多路电源输出功率求和计算。

6.4.3 试验条件

一般大气条件。

6.4.4 试验细节规定

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) 试验仪器的型号、细节等；
- c) 特征参数的规定值及判据；
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.5 其他特性

6.5.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 过载；
- b) 爆破。

6.5.2 试验方法

6.5.2.1 过载

按图A.2连接传感器和测试设备，按GB/T 15478-2015中5.6的规定试验：

- a) 传感器处于非工作状态；
- b) 过载压力根据传感器详细规范确定；
- c) 压力保持时间3min；
- d) 重复次数3次；
- e) 恢复时间2h。

试验后传感器按7.6.4方法进行符合性误差测试，结果应满足传感器允许误差要求。

6.5.2.2 爆破

按图A.2连接传感器和测试设备，按GB/T 15478-2015中5.6的规定试验：

- a) 传感器处于非工作状态；
- b) 爆破压力根据传感器详细规范确定；
- c) 压力保持时间1min；
- d) 重复次数1次。

试验后传感器按照6.1.2.1方法进行外观检查，结果应满足5.1要求。

6.5.3 试验条件

一般大气条件。

6.5.4 检查细节规定

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) 试验仪器的型号、细节等；
- c) 特征参数的规定值及判据；
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.6 响应特性

6.6.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 采样波动（压力波动）；
- b) 上升时间；
- c) 响应时间（时间常数）；
- d) 启动时间；
- e) 温度跟随性。

6.6.2 试验方法

6.6.2.1 采样波动（压力波动）

按图A.3连接传感器和测试设备，设置采集设备采样率，测试传感器输出的波动幅度，如图3所示。

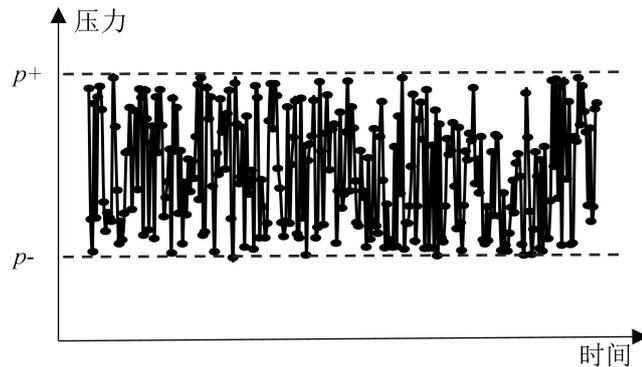


图3 采样波动（压力波动）数据图

按公式（12）计算采样波动（压力波动）。

$$\xi_p = \pm \frac{p_+ - p_-}{2 \times y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ξ_p ——采样波动（压力波动）；

p_+ ——采样压力的最大值；

p_- ——采样压力的最小值。

注：采样波动（压力波动）指标需要根据采样率一同给出，如 $\pm 0.01\%FS@5ms$ 。

6.6.2.2 上升时间

按图A.2连接传感器和测试设备，按GB/T 15478-2015中5.8.3.5的规定试验。

6.6.2.3 响应时间（时间常数）

按图A.2连接传感器和测试设备，按GB/T 15478-2015中5.8.3.6的规定试验。

6.6.2.4 启动时间

按图A.3连接传感器和测试设备，测试传感器上电到输出压力值达到传感器允许误差的时间。

6.6.2.5 温度跟随性

传感器处于非工作状态下，置于高低温试验箱，按图A.2连接传感器和测试设备，压力标准器与被测传感器应保持在同一高度。按照如下方法和图4所示的程序曲线进行试验：

- 试验箱以不大于 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 率降温到工作温度下限，温度稳定后保温1h；
- 温度稳定0.5h后，接通电源，施加100kPa恒定压力，稳定5min，采集传感器输出压力值；
- 试验箱温度以不小于 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 速率升温到工作温度上限，温度稳定后，保温1h，期间连续采集传感器输出压力值；
- 试验箱温度以不小于 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 速率降温到工作温度下限，温度稳定后，保温1h，期间连续采集传感器输出压力值；
- 传感器断电，将试验箱以不大于 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 速率升温至室温，试验结束。

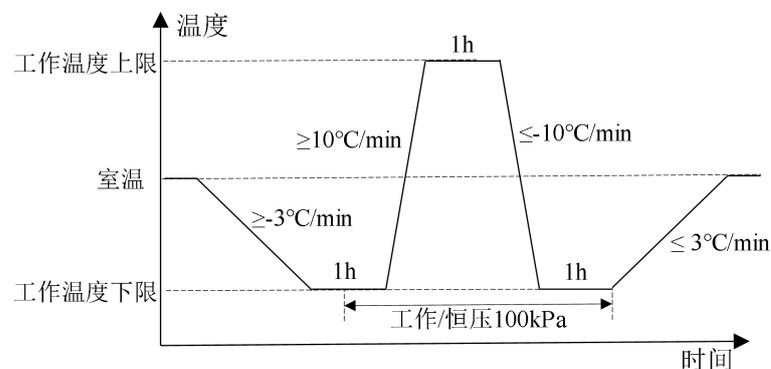


图4 温度跟随性试验温度变化曲线

将采集到的传感器输出压力值和初始传感器输出压力值比较，按公式（13）计算传感器的温度跟随性：

$$\xi_r = \frac{|y_i - y_0|_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：

ξ_r ——温度跟随性；

y_i ——传感器输出/解算压力值（ $i=1,2,\dots,k$ ）；

y_0 ——传感器初始输出/解算压力值。

6.6.3 试验条件

一般大气条件。

6.6.4 检查细节规定

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) 试验仪器的型号、细节等；
- c) 特征参数的规定值及判据；
- d) 与本标准实验方法的不同之处。

6.7 环境适应性

6.7.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 低气压（高度）试验；
- b) 高温试验；
- c) 低温试验；
- d) 温度冲击试验；
- e) 湿热试验；
- f) 霉菌试验；
- g) 盐雾试验；
- h) 砂尘试验；
- i) 加速度试验；
- j) 振动试验；
- k) 噪声试验；
- l) 冲击试验；
- m) 温度-湿度-振动-高度试验；
- n) 电磁兼容性；
- o) 疲劳寿命试验；
- p) 高温电寿命试验；

6.7.2 试验方法

6.7.2.1 低气压（高度）试验

按GJB 150.2A-2009规定进行试验。

6.7.2.2 高温试验

按GJB 150.3A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.3 低温试验

按GJB 150.4A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.4 温度冲击试验

按GJB 150.5A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.5 湿热试验

按GJB 150.9A-2009规定进行试验，试验条件根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.6 霉菌试验

按GJB 150.10A-2009规定进行试验，试验条件根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.7 盐雾试验

按GJB 150.11A-2009规定进行试验，试验条件根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.8 沙尘试验

按GJB 150.12A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.9 加速度试验

按GJB 150.15A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.10 振动试验

按GJB150.16A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.11 噪声试验

按GJB 150.17A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.12 冲击试验

按GJB 150.18A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.13 温度-湿度-振动-高度试验

按GJB 150.24A-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.2.14 电磁兼容性

按GJB 151B-2013规定进行试验，试验条件根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.7.3 试验条件

标准大气条件。

6.7.4 检查细节规定

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) 试验条件、试验程序；
- b) 试验过程中、试验后的检测项目；
- c) 试验的特征参数；
- d) 试验仪器的型号、细节等；
- e) 特征参数的规定值及判据；
- f) 与本标准实验方法的不同之处。

6.8 寿命试验

6.8.1 试验项目

试验项目包括：

- a) 疲劳寿命；
- b) 高温电寿命；

6.8.2 试验方法

6.8.2.1 疲劳寿命

将传感器安装于变压力给定设备上，传感器处于非工作状态，使传感器承受梯形波交变压力。试验压力波形的峰值、谷值与交变频率应在表1规定的范围之内，不应有过冲现象。试验后，恢复2h，进行传感器符合性误差测试，结果应传感器允许误差要求。

表1 疲劳寿命试验条件

幅值(满量程的百分比)		交变频率(次/min)	试验周次
谷值	峰值		
0~25	80~100	1~60	按详细规范执行

注：量程小于 150kPa 可不进行疲劳寿命考核。

6.8.2.2 高温电寿命

按GJB 360B-2009规定进行试验，试验条件、试验程序根据传感器详细规范确定，试验过程中、试验后的检测项目按详细规范执行。

6.8.3 试验条件

标准大气条件。

6.8.4 检查细节规定

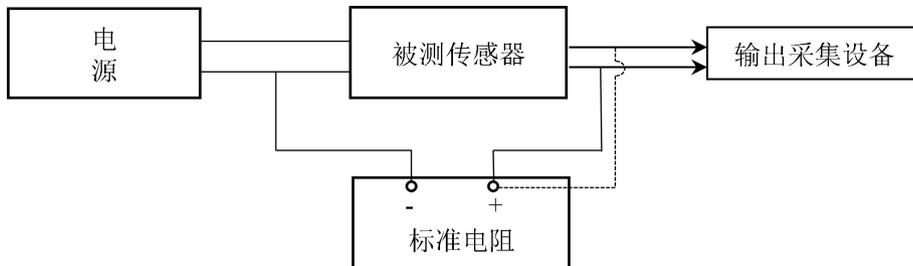
传感器试验的有关细节，应由传感器的详细规范规定。其中包括：

- g) 试验条件、试验程序；
- h) 试验过程中、试验后的检测项目；
- i) 试验的特征参数；
- j) 试验仪器的型号、细节等；
- k) 特征参数的规定值及判据；
- l) 与本标准实验方法的不同之处。

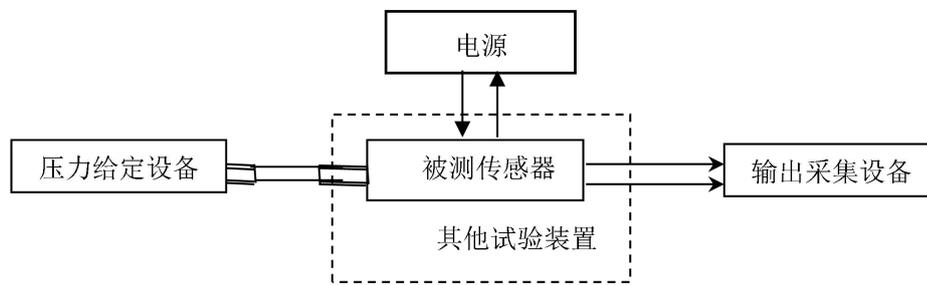
附录 A

(规范性附录)

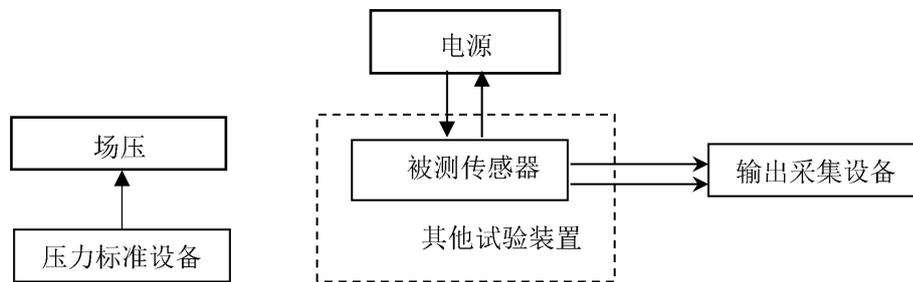
性能测试连接示意图



图A.1 输出阻抗测试连接示意图



图A.2 一般测试连接示意图



图A.3 其他试验测试连接示意图

附录 B

(规范性附录)

传感器工作直线与误差计算方法

B.1 校准特性

若压力传感器在整个测量范围内有 m 个检定点, 并进行 n 次循环检定。各检定点的正、反行程检定输出值的算术平均值, 分别按公式 (B.1) 和 (B.2) 计算:

$$\bar{y}_{li} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{lij} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\bar{y}_{Di} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{Dij} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

y_{lij} ——正行程第 i 个检定点第 j 次检定的压力值 ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$);

y_{Dij} ——反行程第 i 个检定点第 j 次检定的压力值 ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$).

分别由 \bar{y}_{li} 和 \bar{y}_{Di} ($i=1, 2, \dots, m$) 所连接的曲线, 称为正行程校准曲线和反行程校准曲线。各检定点的正行程和反行程检定输出值的算术平均值, 按公式 (B.3) 计算:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{2} (\bar{y}_{li} + \bar{y}_{Di}) \dots\dots\dots (B.3)$$

由 \bar{y}_i 所连接的曲线称为压力传感器的校准曲线。

B.2 迟滞 ζ_H

传感器的迟滞按公式 (B.4) 计算:

$$\varepsilon_H = \frac{\bar{y}_{li} - \bar{y}_{Di}}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

ζ_H ——迟滞。

B.3 重复性 ζ_R

按公式 (B.6) 算在各检定点上正行程子样标准偏差。

$$s_{li} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{lij} - \bar{y}_{li})^2} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

s_{li} ——正行程子样标准偏差。

按公式 (B.7) 计算在各检定点上反行程子样标准偏差。

$$s_{Di} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{Dij} - \bar{y}_{Di})^2} \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

s_{Di} ——反行程子样标准偏差。

传感器在整个测量范围内的标准偏差, 按公式 (B.8) 计算:

$$s = \sqrt{\frac{1}{2m} (\sum_{i=1}^m s_{li}^2 + \sum_{i=1}^m s_{Di}^2)} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

传感器的重复性误差表示为其随机误差的极限, 按公式 (B.9) 计算:

$$\xi_R = \frac{3s}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.9)$$

B.4 准确度 ζ

按公式 (B.10) 计算传感器正行程的系统误差:

$$(\Delta y_{LH})_I = \left| \bar{y}_{Ii} - y_{ij} \right|_{\max} \dots\dots\dots (\text{B.10})$$

式中:

$(\Delta y_{LH})_I$ ——为正行程的系统误差

按公式 (B.11) 计算传感器正行程的系统误差:

$$(\Delta y_{LH})_D = \left| \bar{y}_{Di} - y_{ij} \right|_{\max} \dots\dots\dots (\text{B.11})$$

式中:

$(\Delta y_{LH})_D$ ——为反行程的系统误差

传感器的系统误差按公式 (B.12) 计算:

$$\xi_{sy} = ((\Delta y_{LH})_I, (\Delta y_{LH})_D)_{\max} \dots\dots\dots (\text{B.12})$$

式中:

ξ_{sy} ——传感器的系统误差。

传感器的随机误差按公式 (B.13) 计算:

$$\zeta_{st} = \pm 3s \dots\dots\dots (\text{B.13})$$

式中:

ζ_{st} ——传感器的随机误差。

传感器的系统误差

传感器的准确度按公式 (B.14) 计算:

$$\xi = \pm \frac{\xi_{sy} + |\zeta_{st}|}{y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.14})$$

式中:

ξ ——准确度。

参 考 文 献

¹ Silva, Clarence W. De . Vibration damping, control and design. CRC Press/Taylor & Francis Group, 2007.