

T/ZOIA

中关村光电产业协会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

微机电系统（MEMS）技术 基于 MEMS 技术的航空大气压力传感器技术要求

Technical requirements of air data pressure sensors for aviation based on MEMS technology

（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	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.3 解算方程	2
3.4 温度跟随性	2
4 分类	2
4.1 测量功能分类	2
4.2 感受压力类型分类	2
5 基本参数	2
5.1 被测介质的类型	2
5.2 工作温度范围	2
5.3 环境温度等级	2
5.4 温度跟随性等级	3
5.5 工作电压	3
5.6 信号输出	3
5.7 测量范围	3
6 技术要求	4
6.1 外观	4
6.2 封装外形	4
6.3 重量	4
6.4 示值误差	4
6.5 准确度	4
6.6 迟滞	4
6.7 重复性	4
6.8 过电压	4
6.9 输出阻抗	5
6.10 存储器（适用时）	5
6.11 气密性	5
6.12 启动时间	5

6.13 上升时间	5
6.14 绝缘电阻(适用时)	5
6.15 介质耐电压(适用时)	5
6.16 可靠性	5
6.17 环境特性	5
6.17.1 过载压力	5
6.17.2 爆破压力	5
6.17.3 低气压(高度)	5
6.17.3.1 低气压贮存	6
6.17.3.2 低气压工作	6
6.17.4 低温	6
6.17.4.1 低温贮存	6
6.17.4.2 低温工作	6
6.17.5 高温	6
6.17.5.1 高温贮存	6
6.17.5.2 高温工作	6
6.17.6 温度跟随性	6
6.17.7 温度冲击	6
6.17.8 温度-湿度-高度(适用时)	6
6.17.9 湿热(适用时)	6
6.17.10 霉菌(适用时)	7
6.17.11 盐雾(适用时)	7
6.17.12 加速度	7
6.17.13 振动	7
6.17.13.1 功能振动	7
6.17.13.2 耐久振动	7
6.17.14 冲击	7
6.17.15 长期稳定性	7
6.17.16 电磁兼容性(适用时)	7
6.17.17 耐久性	7
6.17.17.1 疲劳寿命	8
6.17.17.2 高温电寿命	8
7 试验方法	8

7.1 环境条件	8
7.1.1 一般试验的大气条件	8
7.1.2 其它环境条件	8
7.2 性能	8
7.2.1 外观	8
7.2.2 封装外形	8
7.2.3 重量	8
7.2.4 示值误差	8
7.2.5 准确度	8
7.2.6 迟滞	9
7.2.7 重复性	9
7.2.8 过电压	9
7.2.9 输出阻抗 (适用时)	9
7.2.10 存储器 (适用时)	9
7.2.11 气密性	9
7.2.12 启动时间	10
7.2.13 上升时间 (适用时)	10
7.2.14 绝缘电阻 (适用时)	10
7.2.15 介质耐电压 (适用时)	10
7.2.16 可靠性	10
7.2.17 环境特性	10
7.2.17.1 过载压力	10
7.2.17.2 爆破压力	11
7.2.17.3 低气压 (高度)	11
7.2.17.3.1 低气压贮存	11
7.2.17.3.2 低气压工作	11
7.2.17.4 低温	11
7.2.17.4.1 低温贮存	11
7.2.17.4.2 低温工作	11
7.2.17.5 高温	11
7.2.17.5.1 高温贮存	11
7.2.17.5.2 高温工作	11
7.2.17.6 温度跟随性	11

7.2.17.7 温度冲击	12
7.2.17.8 温度-湿度-高度 (适用时)	12
7.2.17.9 湿热 (适用时)	12
7.2.17.10 霉菌 (适用时)	13
7.2.17.11 盐雾 (适用时)	13
7.2.17.12 加速度	13
7.2.17.13 振动	13
7.2.17.13.1 功能振动	13
7.2.17.13.2 耐久振动	13
7.2.17.14 冲击	13
7.2.17.15 长期稳定性	13
7.2.17.16 电磁兼容性	14
7.2.17.17 耐久性	14
7.2.17.17.1 疲劳寿命	14
7.2.17.17.2 高温电寿命	14
附录 A	15
A.1 实际校准特性	15
A.2 满量程压力值 (Y_{FS})	15
A.3 符合性误差 (A)	15
A.4 迟滞 (ξH)	16
A.5 重复性 (ξR)	16
A.6 准确度	16

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：

微机电系统（MEMS）技术 基于 MEMS 技术的航空大气压力传感器技术要求

1 范围

本文件规定了航空大气MEMS压力传感器（以下简称传感器）的术语和定义、分类、技术要求和试验方法。

本文件适用于航空飞机用大气压力传感器，主要适用于本文件第4节所列的航空用大气压力传感器，其他压力传感器可参考使用。

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 26111-2023 微机电系统（MEMS）技术 术语
- 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 军用设备和分系统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
- GJB 4409A-2011 压力传感器通用规范
- JJG 624-2005 动态压力传感器检定规程
- JB/T 13359-2018 硅谐振压力传感器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 航空大气压力传感器 air data pressure sensors in aviation

性能和可靠性满足航空大气数据系统使用要求的压力传感器，包括静压、总压以及差压传感器。

3.2 航空大气 MEMS 压力传感器 air data MEMS pressure sensors in aviation

应用于航空飞机大气数据系统的MEMS压力传感器,包括硅压阻式压力传感器、硅电容式压力传感器、硅压电式压力传感器、硅谐振式压力传感器、硅微熔压力传感器等。

3.3 解算方程 calculation equation

根据传感器输出信号解算对应压力值的函数方程。

3.4 温度跟随性 temperature following performance

当环境温度在规定的数值之间以规定的速率变化时,在被测量给定条件下,传感器输出的瞬时误差特性。

4 分类

4.1 测量功能分类

航空大气数据系统根据测量大气的方式不同,分为静压传感器、总压传感器以及动压传感器。

4.2 感受压力类型分类

根据不同的受压类型,分为表压传感器、绝压传感器、差压传感器。

5 基本参数

5.1 被测介质的类型

与传感器压力腔接触的介质类型为空气。

5.2 工作温度范围

除另有规定外,根据传感器使用场景和工作环境要求,压力传感器的工作温度范围可分0、1、2、3、4五个等级,见表1。

表1 工作温度范围

等级	温度范围
0	-55°C~+125°C
1	-55°C~+85°C
2	-45°C~+125°C
3	-45°C~+85°C
4	-40°C~+85°C

5.3 环境温度等级

根据传感器环境特性要求,除另有规定外,压力传感器的环境温度可分0、1、2、3、4五个等级,见表2。

表2 环境温度范围

等级	温度范围
0	-55°C~+125°C
1	-55°C~+85°C
2	-45°C~+125°C

3	-45°C~+85°C
4	-40°C~+85°C

5.4 温度跟随性等级

根据使用场景，除另有规定外，压力传感器的允许的最大温度变化速率等级可分0、1、2、3、4五个等级，见表3。注：超过最大允许变温速率将不保证温度跟随性性能。

表3 温度变化速率等级

等级	变温速率
0	≥25°C/min
1	≥10°C/min
2	≥5°C/min
3	≥3°C/min
4	<3°C/min

除另有规定外，在最大允许的温度变化速率下，绝压压力传感器的温度跟随性准确度等级可分0、1、2、3、4五个等级，见表4。

表4 绝压传感器温度跟随性等级

等级	变温速率
0	0.02%FS
1	0.05%FS
2	0.1%FS
3	0.2%FS
4	其他的规定

除另有规定外，在允许的温度变化速率下，差压传感器的温度跟随性准确度等级可分0、1、2、3、4、5共六个等级，见表5。

表5 差压传感器温度跟随性等级

等级	变温速率
0	0.02%FS
1	0.05%FS
2	0.1%FS
3	0.2%FS
4	0.5%FS
6	其他的规定

5.5 工作电压

除另有规定外，传感器工作电压范围宜为1.8V~15V，典型电压可为3.3V或5V或者15V。

5.6 信号输出

信号输出形式可为模拟信号输出或数字信号输出。

5.7 测量范围

静压/总压传感器测量范围的上、下限值宜从下列数值中选取：

上限：110kPa、140kPa、265kPa、350kPa、700kPa、1MPa；

下限：1kPa、1.7kPa、3.5kPa。

动压传感器的测量范围上、下限值适宜从下列值中选取：

上限：2.5kPa、5kPa、7kPa、10kPa、16kPa、20kPa、25kPa、30kPa、35kPa、40kPa、50kPa、60kPa、70kPa、80kPa；

下限：0kPa。

6 技术要求

6.1 外观

传感器的外观应无目视可见的瑕疵、锈蚀和损伤，标志应清晰完整、准确。

6.2 封装外形

传感器封装外形应符合产品技术条件或详细规范的规定。

6.3 重量

传感器重量应符合产品技术条件或详细规范的规定。

6.4 示值误差

传感器的示值误差应不超过允许误差的绝对值。

6.5 准确度

绝压传感器的准确度等级从表6选取，应优于0.05级。

表 6 绝压传感器准确度等级及允许误差

准确度等级	0.01	0.02	0.05
允许误差	±0.01%FS	±0.02%FS	±0.05%FS

注：允许误差以测量上限的百分数表示。

差压传感器的准确度等级从表 7 选取，应优于 0.5 级。

表 7 差压传感器准确度等级及允许误差

准确度等级	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
允许误差	±0.01%FS	±0.02%FS	±0.05%FS	±0.01%FS	±0.02%FS	±0.05%FS

注：允许误差以测量上限的百分数表示。

6.6 迟滞

传感器迟滞应不大于其允许误差绝对值的 1/2。

6.7 重复性

传感器重复性应不大于其允许误差绝对值的 1/2。

6.8 过电压

传感器过电压宜不小于工作电压的110%。

6.9 输出阻抗

传感器输出阻抗误差宜不大于标称值的 $\pm 15\%$ 。

6.10 存储器（适用时）

存储器宜选用I2C或SPI接口芯片，存储容量应不小于8Kbytes。

6.11 气密性

传感器测压腔漏率不大于 $5 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

6.12 启动时间

传感器启动时间应不大于400ms。

6.13 上升时间

传感器上升时间应不大于25ms。

6.14 绝缘电阻(适用时)

传感器绝缘电阻应不小于 $20 \text{M}\Omega$ 。湿热条件下绝缘电阻不小于 $2 \text{M}\Omega$ 。

6.15 介质耐电压（适用时）

宜参考传感器电源线、信号线与壳体之间施加不低于100V直流电压，历时1min，传感器应无击穿和电晕现象出现。

6.16 可靠性

传感器平均故障间隔时间应不小于100000小时。

6.17 环境特性

6.17.1 过载压力

传感器的过载压力应符合产品技术条件（详细规范）的规定。

推荐过载压力从下列数值中选取：

测量上限的1.25倍数、1.5倍、2倍、2.5倍、3倍、3.8倍、5倍、7.5倍、10倍。

6.17.2 爆破压力

按规定要求进行试验，试验后传感器结构应完整，部件无脱落，性能可以失效。传感器的爆破压力应符合产品技术条件（详细规范）的规定。

推荐过载压力从下列数值中选取：

测量上限的2倍、2.5倍、3倍、3.8倍、5倍、7.5倍、10倍。

6.17.3 低气压（高度）

6.17.3.1 低气压贮存

按7.2.17.3.1的规定进行试验。试验后恢复到标准大气条件下，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.3.2 低气压工作

按7.2.17.3.2的规定进行试验，试验中传感器的示值误差符合6.4的要求；试验后，恢复到标准大气条件下，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.4 低温

6.17.4.1 低温贮存

按7.2.17.4.1的规定进行试验。试验后恢复到标准大气条件下，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.4.2 低温工作

按7.2.17.4.2的规定进行试验，试验中传感器的示值误差符合6.4的要求；试验后，恢复到标准大气条件下，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.5 高温

6.17.5.1 高温贮存

按7.2.17.5.1的规定进行试验。试验后恢复到标准大气条件下，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.5.2 高温工作

按7.2.17.5.2的规定进行试验，试验中传感器的示值误差符合6.4的要求；试验后，恢复到标准大气条件下，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.6 温度跟随性

按7.2.17.6的规定进行试验，传感器的温度跟随性应符合产品技术条件（详细规范）的要求。

6.17.7 温度冲击

按7.2.17.7的规定进行试验，试验后恢复到标准大气条件下，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.8 温度-湿度-高度（适用时）

按7.2.17.8的规定进行试验，传感器应能正常工作，试验后恢复到标准大气条件下，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.9 湿热（适用时）

按7.2.17.9的规定进行试验。在试验的第5个周期及第10个周期接近结束前进行测试，传感器的绝缘电阻符合6.14的要求，示值误差符合6.4的要求。试验后恢复到标准大气条件下，传感器的传感器气密性符合6.11的要求，传感器的示值误差符合6.4的要求。

6.17.10 霉菌（适用时）

按7.2.17.10的规定随整机进行试验，允许长霉等级为2级。

6.17.11 盐雾（适用时）

按7.2.17.11的规定进行试验，根据应用环境随整机或单机进行。试验后传感器外观应符合下列规定：

- a) 金属表面无明显发暗变黑；
- b) 金属焊接及接合处无严重锈蚀；
- c) 金属防护层腐蚀面积不大于防护层面积的30%；
- d) 涂漆层除棱边外，应无气泡、起皱、开裂或脱落，且底金属未出现锈蚀；
- e) 非金属无明显泛白、膨胀、起泡、皱裂及凹坑等。

试验后恢复到标准大气条件下，气密性应符合6.11的要求，示值误差应符合6.4的要求。

6.17.12 加速度

按7.2.17.12的规定进行试验。试验后，传感器的气密性应符合6.11的要求，示值误差应符合6.4的要求。

6.17.13 振动

6.17.13.1 功能振动

按7.2.17.13.1的规定进行试验。试验过程中，传感器应能正常工作；试验后传感器的示值误差应符合6.4的要求。

6.17.13.2 耐久振动

按7.2.17.13.2的规定进行试验。试验后，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性应符合6.11的要求，传感器的示值误差应符合6.4的要求。

6.17.14 冲击

按7.2.17.13.2的规定进行试验。试验过程中传感器应能正常工作。试验后，传感器的外观符合6.1的要求，传感器气密性应符合6.11的要求，传感器的示值误差应符合6.4的要求。

6.17.15 长期稳定性

按7.2.17.15的规定进行试验，传感器长期稳定性以年漂移误差进行计算，年漂移误差应优于允许误差。

6.17.16 电磁兼容性（适用时）

随整机进行试验。根据GJB 151B-2013和传感器配套整机平台要求选取试验项目和试验条件，试验中和试验后传感器性能应符合整机使用要求。

6.17.17 耐久性

6.17.17.1 疲劳寿命

按 7.2.17.17.1 的规定进行试验。试验后，传感器气密性应符合 6.11 的要求，传感器的示值误差应符合 6.4 的要求。

6.17.17.2 高温电寿命

按 7.2.17.17.2 的规定进行试验。试验后，恢复到标准大气条件下，传感器的示值误差应符合 6.4 的要求。

7 试验方法

7.1 环境条件

7.1.1 一般试验的大气条件

宜使用下述大气条件：

——温度：15℃~35℃；

——相对湿度：30%~85%；

——大气压力：86kPa~106kPa。

注：试验期间允许的温度变化，1h不大于1℃。

7.1.2 其它环境条件

除上述大气条件外，试验应在下述环境条件下进行：

——磁场：除地磁场外，无其它外界磁场；

——机械振动：无机械振动。

7.2 性能

7.2.1 外观

目测检查传感器的外观，或用10倍的放大镜进行检查，结果应符合6.1的要求。

7.2.2 封装外形

目测检查传感器的封装外形，并用满足测量精度要求的测量仪器对外形尺寸进行测量，结果应符合6.2的要求。

7.2.3 重量

用数字指示秤称重，结果应符合6.3的要求。

7.2.4 示值误差

在标准大气条件下，按7.2.5的方法测试传感器，进行1次正反行程的压力检定，将各检定点对应输出信号代入传感器的解算方程，分别解算出每个检定点正、反行程的压力值 YU_{ij} 和 YD_{ij} ；计算各检定点压力值 P_{ij} 与给定标准压力值 P 的差值 ΔP_{ij} ，选取 ΔP_{ij} 中绝对值最大值，按附录B中B.3章计算示值误差，结果应符合6.4要求。

7.2.5 准确度

在标准大气条件下，按照GB/T 15478-2015进行准确度测试：

a) 选定压力检定点。在传感器测量范围内等间隔选取9~11个压力检定点（必须包含测量上限和下限值）；

b) 按照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，反复进行3个循环压力测试；

c) 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 YU_{ij} 和 YD_{ij} 。

按附录A中A.1~A.3、A.6章中的公式计算传感器准确度。结果应符合6.5要求。

7.2.6 迟滞

按附录A中A.4章计算迟滞，结果应符合6.6要求。

7.2.7 重复性

按附录A中A.5章计算重复性，结果应符合6.7要求。

7.2.8 过电压

对传感器输入端施加不小于工作电压1.1倍的电压，保持时间不小于1min。断电后，传感器的输入端施加工作电压，按照7.2.4中的方法测量传感器的示值误差，结果应符合6.4的要求。

7.2.9 输出阻抗（适用时）

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，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10k Ω 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（ $R_L=10k\Omega$ ）。针对电压输出类型的压力传感器。

按照公式（2）计算输出阻抗误差，结果应符合6.9的要求。

$$\beta = \frac{R_0}{R_n} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

β ——输出阻抗误差；

R_0 ——输出阻抗；

R_n ——输出阻抗标称值。

7.2.10 存储器（适用时）

在标准大气条件下，测试传感器存储器，应符合6.10要求。

7.2.11 气密性

在标准大气条件下，传感器处于非工作状态，将传感器测压管路与氦质谱检漏仪测试口连接，启动测试仪，待示值稳定后在管壳处喷氦气进行检漏测试，示值稳定后读取漏率示值，结果应符合6.11的要求。

7.2.12 启动时间

在标准大气条件下，给传感器施加恒定的测试压力，压力稳定后，接通传感器工作电源，以合适的采样频率同时采集传感器输出信号和工作电源电压，将采集到的传感器输出信号代入解算方程，计算压力值，按时间坐标绘制压力变化曲线和电压上升变化曲线，从工作电压达到传感器工作电压下限值时刻开始，压力值达到传感器允许误差值范围时刻结束，该时间间隔即为传感器启动时间。结果应符合6.12的要求。

7.2.13 上升时间（适用时）

将传感器与激波管或快速开启阀相连接，产生一个阶跃压力。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数据，记录传感器输出值从稳定值的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。

7.2.14 绝缘电阻（适用时）

在标准大气条件下，按GJB 360B-2009中方法302条款及如下条件进行：

- a) 试验电压：100VDC；
 - b) 持续时间：2min；
 - c) 测试位置：传感器各电气端子(除接地端子外)与传感器外壳。
- 结果应符合6.14要求。

7.2.15 介质耐电压（适用时）

在标准大气条件下，按GJB 360B-2009中方法301条款及如下条件进行：

- a) 试验电压：100VDC；
- b) 持续时间：1min；
- c) 测试位置：传感器各电气端子(除接地端子外)与传感器外壳。

试验中应无击穿和飞弧现象。试验后，在标准大气条件恢复2h，进行示值误差测试，应符合6.4的要求。

7.2.16 可靠性

可靠性指标通过可靠性预计、性能试验、鉴定试验、试飞、外场使用获得的数据及批产后的数据统计值进行评估，必要时可开展可靠性试验验证，结果应符合6.16要求。

7.2.17 环境特性

7.2.17.1 过载压力

传感器处于非工作状态，对传感器施加标称过载压力，持续时间3min，然后卸载至标准大气环境（零负荷），恢复1min，重复3次。试验后，按照测量传感器的示值误差，结果应符合6.4的要求。

当为差压传感器时，应对传感器的高压进气端和低压进气端分别按上述方法进行试验。

7.2.17.2 爆破压力

传感器处于非工作状态，对传感器施加标称爆破压力，持续时间1min，然后卸载至标准大气环境（零负荷），恢复1min，重复5次。试验后，在试验后检查传感器爆破试验情况，结果应符合6.17.2的规定。

当为差压传感器时，应对传感器的高压进气端和低压进气端分别按上述方法进行试验。

7.2.17.3 低气压（高度）

7.2.17.3.1 低气压贮存

按照GJB 150.2A-2009中程序I规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定，试验后恢复至标准大气条件进行检测，其结果应符合6.17.3.1的要求。

7.2.17.3.2 低气压工作

按照GJB 150.2A-2009中程序II规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定，试验后恢复至标准大气条件进行检测，其结果应符合6.17.3.2的要求。

7.2.17.4 低温

7.2.17.4.1 低温贮存

按照GJB 150.4A-2009中程序I规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定。试验后恢复至标准大气条件进行检测，其结果应符合6.17.4.1的要求。

7.2.17.4.2 低温工作

按照GJB 150.4A-2009中程序II规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定。试验过程中和试验后对传感器进行检测，其结果应符合6.17.4.2的要求。

7.2.17.5 高温

7.2.17.5.1 高温贮存

按照GJB 150.4A-2009中程序I规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定。试验后恢复至标准大气条件进行检测，其结果应符合6.17.5.1的要求。

7.2.17.5.2 高温工作

按照GJB 150.3A-2009中程序II—恒温工作规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定。试验过程中和试验后对传感器进行检测，其结果应符合6.17.5.2的要求。

7.2.17.6 温度跟随性

传感器处于非工作状态下，置于高低温试验箱内。按照如下方法和图1曲线要求进行试验：

- a) 试验箱以不大于3°C/min速率降温到工作温度下限，温度稳定后保温1h；
- b) 温度稳定0.5h后，接通电源，施加恒定压力，稳定5min，采集传感器输出信号；

- c) 试验箱温度以详细规范规定的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信号；
- d) 试验箱温度以详细规范规定的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信号；
- e) 断电后，将试验箱以不大于 3°C/min 速率升温至标准大气条件，试验结束。

将采集到的信号代入解算方程，计算压力值，绘制压力-温度-时间曲线进行分析，计算误差变化。结果应符合6.17.6要求。

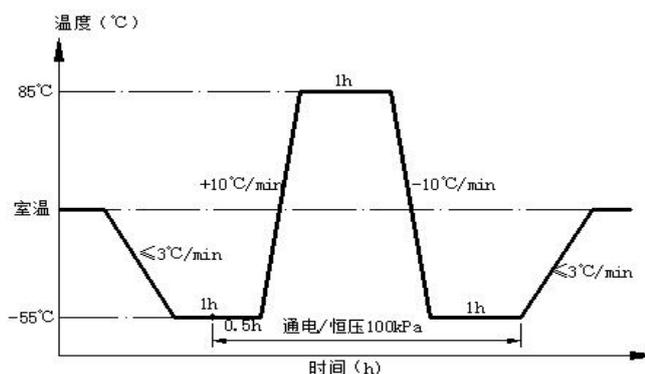


图 1 温度跟随性试验温度变化曲线（示例）

7.2.17.7 温度冲击

按照GJB 150.5A-2009程序I-恒温极值温度冲击规定的试验方法和如下条件进行试验：

- a) 温度：工作温度上限，工作温度下限；
- b) 高温、低温持续时间：1h；
- c) 转换时间：不大于 1min；
- d) 循环次数：3 次。

试验后恢复至标准大气条件，稳定 2h 后，对传感器进行检测，结果应符合 6.17.7 要求。

7.2.17.8 温度-湿度-高度（适用时）

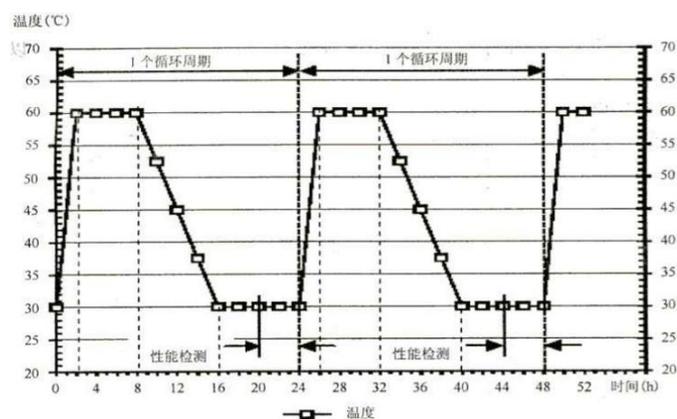
按照GJB 150.24A-2009程序III规定的试验方法，试验条件按照相关详细规范的规定。试验中传感器应能正常工作，试验后恢复至标准大气条件对传感器进行检测，示值误差符合6.17.8的要求。

7.2.17.9 湿热（适用时）

按照GJB 150.9A-2009规定中的方法和如下条件进行试验：

- a) 试验时间：24h为一个循环周期，进行10个循环周期；
- b) 试验温度、湿度控制：见图2；
- c) 测试时机：在第5、第10个周期结束之前4h内，测试传感器符合性误差、绝缘电阻。

试验后在标准大气条件下恢复2h后，测试传感器气密性和示值误差，结果应符合6.17.9要求。



除在温度下降期间相对湿度可以降至 85%外, 其它时间段相对湿度应保持为 $95\% \pm 5\%$ 。

图 2 湿热循环控制图

7.2.17.10 霉菌（适用时）

按照GJB 150.10A-2009规定的方法, 试验条件按相关详细规范的规定。试验后, 检查传感器表面霉菌生长程度, 结果应符合3.6.7要求。

7.2.17.11 盐雾（适用时）

试验前, 清洁传感器表面。按照GJB 150.11A-2009规定的方法, 试验条件按照相关详细规范的规定。试验后, 可用软毛刷和绸布沾温度不高于28°C的水清洗积盐, 水不能进入传感器内。在标准大气条件下恢复2h后, 检查传感器、测试传感器气密性和示值误差, 结果应符合6.7.11的要求。

7.2.17.12 加速度

按照GJB 150.15A-2009中程序II规定的方法, 试验条件按照相关详细规范的规定。试验后, 传感器的气密性和示值误差应符合的6.17.12要求。

7.2.17.13 振动

7.2.17.13.1 功能振动

按 GJB 150.16A-2009 规定的方法, 试验条件按照相关详细规范的规定。试验过程中, 传感器应能正常工作; 试验后, 传感器的示值误差应符合 6.17.13.1 的要求。

7.2.17.13.2 耐久振动

GJB 150.16A-2009 中规定的方法进行耐久振动试验, 试验条件按照相关详细规范的规定。试验后, 传感器气密性、示值误差和外观质量应符合 6.17.13.2 的要求。

7.2.17.14 冲击

按照GJB 150.18A-2009中程序 I 规定的方法, 试验条件按照相关详细规范的规定, 试验过程中传感器应能正常工作。试验后, 传感器检测结果符合6.17.14的要求。

7.2.17.15 长期稳定性

长期稳定性测试以30天为周期，连续进行至少1年。

在标准大气条件下，传感器每天至少通电4h，每个月按照7.2.4方法进行一次压力测试，持续进行12个月以上，以首次示值误差数据为参考，计算每次测试数据与首次数据的差值，分析传感器在试验周期内压力漂移分布情况。按照式（3）计算传感器长期稳定性 T_Z ，结果应符合6.17.15要求。

$$T_Z = \frac{|\Delta P|_{\max}}{N \times Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

T_Z ——长期稳定性；

$|\Delta P|_{\max}$ ——差值绝对值的最大值，单位为千帕(kPa)；

N ——测试时间，单位为年（a）；

Y_{FS} ——满量程压力值(测量上限压力)，单位为千帕(kPa)。

7.2.17.16 电磁兼容性

随配套产品进行按照GJB 151B-2013中规定的方法进行整机试验，结果应符合6.17.16要求。

7.2.17.17 耐久性

7.2.17.17.1 疲劳寿命

在标准大气条件下，将传感器安装到压力疲劳试验机上，按照表8规定的条件进行试验，试验中输入的交变压力不应有过冲现象。试验周期有由产品详细规范规定，但不少于100000次。试验后在标准大气条件下恢复，测试传感器气密性和示值误差，结果应符合6.17.17.1的要求。

表 8 疲劳寿命试验条件

试验压力波形	幅值 kPa		交变频率 次/min	试验循环次数 次
	波谷值	波峰值		
正弦波或梯形波	下限~（下限+25%FS）	（下限+80%FS）~上限	≤60	≥100000
注： 测量范围上限小于150 kPa可不进行疲劳寿命试验。				

6.17.17.2 高温电寿命

在标准大气条件下，将传感器置于高低温试验箱，使其处于工作状态，将试验箱温度设置为上限工作温度，持续试验1000h。试验中，应每24h记录传感器的输出示值，判定是否正常工作。试验后在标准大气条件下恢复，测试传感器示值误差，结果应符合6.17.17.2的要求。

附录 A
(规范性附录)
性能指标的计算方法

A.1 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：

正行程平均压力值 \bar{Y}_{Ui} 按照公式 (A.1) 计算：

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

反行程平均压力值 \bar{Y}_{Di} 按照公式 (A.2) 计算：

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

总平均压力值 \bar{Y}_i 按照公式 (A.3) 计算

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

式中：

\bar{Y}_{Ui} —— 正行程平均压力值；

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

n —— 重复试验次数；

\bar{Y}_{Di} —— 反行程平均压力值；

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

\bar{Y}_i —— 总平均压力值 \bar{Y}_i ；

A.2 满量程压力值 (Y_{FS})

传感器测量上限输出值与测量下限输出值差值的绝对值(以拟合方程的解算值为依据)为满量程输出值，按照公式 (A.4) 计算：

$$Y_{FS} = |Y_H - Y_L| \dots \dots \dots (A.4)$$

式中：

Y_{FS} —— 满量程压力值；

Y_H —— 测量上限平均压力值；

Y_L —— 测量下限平均压力值。

A.3 符合性误差 (A)

符合性误差 A 按照公式 (A.5) 计算：

$$A = \pm |\Delta P_{ij}|_{\text{Max}} \dots \dots \dots (A.5)$$

式中：

A —— 传感器符合性误差；

$|\Delta P_{ij}|$ —— 各检定点解算压力值与标定压力值差值的绝对值，单位 (kPa)。

A.4 迟滞 (ξ_H)

迟滞按照公式 (A.6) 计算:

$$\xi_H = \frac{|Y_{Uij} - Y_{Dij}|_{\max}}{Y_{FS}} \dots\dots\dots (A.6)$$

A.5 重复性 (ξ_R)

采用贝塞尔公式分别计算每个校验点上正、反行程的子样标准偏差:

正行程的子样标准偏差 S_{Ui} 按照公式 (A.7) 计算:

$$S_{Ui} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{Uij} - \bar{Y}_{Ui})^2} \dots\dots\dots (A.7)$$

反行程的子样标准偏差 S_{Di} 按照公式 (A.8) 计算:

$$S_{Di} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{Dij} - \bar{Y}_{Di})^2} \dots\dots\dots (A.8)$$

传感器在整个测量范围内的子样标准偏差 S 按照公式 (A.9) 计算为:

$$S = \sqrt{\frac{1}{2m} (\sum_{j=1}^m S_{Ui}^2 + \sum_{j=1}^m S_{Di}^2)} \dots\dots\dots (A.9)$$

则重复性 ξ_R 按照公式 (A.10) 计算:

$$\xi_R = \frac{3S}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

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

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

\bar{Y}_{Ui} ——正行程平均压力值;

\bar{Y}_{Di} ——反行程平均压力值;

n ——重复试验次数;

m ——校准点个数。

A.6 准确度

A.6.1 准确度计算方法

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 U_1 与随机误差带 U_2 的大小。

A.6.2 传感器的系统误差带 (U_1)

正行程的系统误差按照公式 (A.11) 计算为:

$$(\Delta Y)_{Ui} = |\bar{Y}_{Ui} - Y|_{\max} \dots\dots\dots (A.11)$$

反行程的系统误差按照公式 (A.12) 计算为:

$$(\Delta Y)_{Di} = |\bar{Y}_{Di} - Y|_{\max} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

\bar{Y}_{Ui} ——正行程平均压力值;

\bar{Y}_{Di} ——反行程平均压力值;

Y ——拟合方程对应压力值。

系统误差带 U_1 取 $(\Delta Y)_{Ui}$ 与 $(\Delta Y)_{Di}$ 中较大者,按照公式 (A.13) 计算:

$$U_1 = \max |(\Delta Y)_{U_i}, (\Delta Y)_{D_i}| \dots \dots \dots (A.13)$$

A.6.3 传感器的随机误差带(U_2)

传感器的随机误差带 (U_2) 按照公式 (A.14) 计算:

$$U_2 = \pm 3S \dots \dots \dots (A.14)$$

A.6.4 传感器的准确度 (ξ)

传感器的准确度 (ξ) 按照公式 (A.15) 计算:

$$\xi = \pm \frac{|U_1| + |U_2|}{Y_{FS}} \times 100\% \dots \dots \dots (A.15)$$