

团 体 标 准

T/QGCML 4624—2024

柔性薄膜压力传感器标定测试方法

Calibration and testing method for flexible thin film pressure sensors

2024 - 08 - 16 发布

2024 - 08 - 31 实施

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 标定测试技术要求	2
5 标定测试设备	3
6 标定测试流程	4
7 检测报告	6
附录 A (资料性) 标定测试报告	7
附录 B (资料性) 标定测试的具体操作方式	9
附录 C (资料性) 标定压力与电信号数学模型的建立及误差分析	11
附录 D (资料性) 复杂数学关系的建立	13
附录 E (资料性) 可参考的标定设备示例图	14

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。

本文件由浙江大学提出。

本文件由全国城市工业品贸易中心联合会归口。

本文件主要起草单位：浙江大学。

本文件参与起草单位：中国科学院声学研究所、国家纳米科学中心、温州理工学院、浣江实验室、浙江省计量科学研究院、安徽膜感科技有限公司。

本文件主要起草人：付浩然、田亚会、李红浪、卢孜筱、梁冠文、孙伟、张弘、唐瑞涛、赵丽、马丙辉、陈云敏。

本文件为首次发布。

柔性薄膜压力传感器标定测试方法

1 范围

本文件规定了柔性薄膜压力传感器（以下简称“传感器”）标定测试的术语和定义、技术要求、测试设备、测试流程、数学模型的建立以及误差分析。

本文件适用于薄膜类型的压力传感器，包括绝压传感器、差压传感器、表压传感器和负压传感器。

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 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 2423.1 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 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 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 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)
- GB/T 2423.15 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 7665 传感器通用术语
- GB/T 15478 压力传感器性能试验方法
- JB/T 7482 压电式压力传感器

3 术语和定义

GB/T 7665界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性薄膜压力传感器 flexible thin-film pressure transducer/sensor

指一种采用薄膜材料制作的压力传感器，其特点是薄且可弯折，即使在弯折状态下也可以正常使用。该类传感器在经历一定程度的弯折后仍能够进行压力数据测量，其中，弯折状态下的传感器可以分为两种类型：一种是非敏感单元弯折，此时可将传感器视为平面形态进行测试和使用；另一种是敏感单元弯折，此时需要对传感器进行弯折工况下的标定和使用。

3.2

标定 Calibration

指传感器通过测试建立输出与输入之间的准确对应的关系，并确定不同使用条件下准确度的情况。标定过程需要对其性能进行全面的测试。

3.3

分辨率 resolution ratio

指传感器能够检测或测量的最小变化量或最小可分辨的细微差异，反映了传感器能够区分的信号的精度或精细度水平。

3.4

曲率角 angle of curvature

指传感器敏感单元在弯折后，与其边缘垂直的两条垂线所形成的夹角。

3.5

恢复时间 recovery time

薄膜传感器一般由聚合物材料作为全部或者部分结构层，聚合物材料在压力作用下的恢复会有一定的滞后性。恢复时间是指一次加载完成后，传感器从被激励状态恢复到初始状态的时间。

4 标定测试技术要求

4.1 静态性能

在规定工作条件下，测量误差或准确度等级需要保持在规定范围内。由于传感器感受不同压力的绝对误差不相等，为了衡量传感器的准确度，建立传感器测量误差的计算公式，即

$$\gamma_{max} = \frac{\Delta x_{max}}{x_m} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

γ_{max} 为测量误差；

Δx_{max} 为测量值与真实值的最大偏差；

x_m 为真实值。

表 1 测量误差与准确度等级

测量误差 γ_{max}	±0.02%	±0.05%	±0.1%	±0.2%	±0.3%	±0.5%	≥ 1.0%
准确度等级s	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	≥ 1.0
注：准确度等级是指在传感器的量程范围内，其所对应的误差小于或等于最大允许误差，用s表示。							

4.2 动态性能

对于动态压力传感器，需要测试以下性能：

- 频率响应：指其对输入信号中不同频率成分的响应能力。频率响应规定了传感器对于输入信号中频率变化的敏感度和准确性；
- 谐振频率：指在特定条件下，动态压力传感器发生共振的频率。在谐振频率附近，传感器的灵敏度通常会增加，但也可能导致信号失真或不稳定；
- 自振频率：指在没有外部激励的情况下，动态压力传感器的固有振动频率。这是传感器自身的固有特性，通常用来描述传感器的动态响应速度；
- 时间常数：是指动态压力传感器输出信号的响应速度所需的时间。它反映了传感器系统对于输入信号的响应速度和惯性；
- 过冲量：指动态压力传感器输出信号在达到稳定值之前，可能会出现临时超出目标值的情况。过冲量通常是由于系统响应速度过快或者控制参数不合适所引起。

4.3 影响量

对于传感器可靠性，需要参考相应试验标准考虑以下影响量试验：

- 温度影响：指传感器输出信号受环境温度变化影响的程度，参照 GB/T 2423.1、GB/T 2423.2 进行试验。温度影响通常指传感器在不同温度下的输出偏差或漂移；
- 振动影响：指传感器输出信号受外部振动影响的程度，参照 GB/T 2423.10 进行试验。振动影响通常指在振动环境下传感器输出的变化或偏差；
- 冲击影响：指传感器输出信号受外部冲击或撞击影响的程度，参照 GB/T 2423.5 进行试验。冲击影响通常指在受到冲击时传感器输出的变化或偏差；
- 加速度影响：指传感器输出信号受加速度变化影响的程度，参照 GB/T 2423.15 进行试验。加速度影响通常指在不同加速度环境下传感器输出的变化或偏差；
- 湿热影响：指传感器输出信号受环境湿度和温度共同影响的程度，参照 GB/T 2423.3 进行试验。湿热影响通常指在高湿度和高温环境下传感器输出的变化或偏差；
- 静压影响（仅针对压电式传感器）：对于压电式传感器，指传感器输出信号受环境静态压力变化影响的程度，参照 JB/T 7482 进行试验。静压影响通常指在不同静压环境下传感器输出的变化或偏差。

4.4 寿命试验

寿命试验旨在评估传感器在规定使用条件下的持久性能和耐久性，其应当包含以下条款：

——循环寿命：指传感器在满量程或规定的部分量程偏移的情况下保持性能不变的最大循环次数；

——贮存寿命：指传感器处于非工作状态时，在贮存环境下发生的敏感单元寿命衰减现象。

注：贮存环境的影响可能导致传感器的寿命衰减，应在贮存寿命测试中加以考虑。

5 标定测试设备

5.1 薄膜传感器与常规刚性传感器相比，其厚度较薄且具备柔性，该特性使得对测试设备的平面度和平行度有更高的要求。

5.2 标定测试设备需考虑传感器静态和动态标定测试的方式，包括质量加载块、加载压头、固定装置、加热设备、制冷设备、环境试验箱和温湿度传感器等模块组成。质量加载块的精度应控制在规定的范围内，且需经过第三方校准验证。

5.3 本文件提供了一种标定测试设备的示意图（见图1），测试设备参考示例图见附录E。本文件着重考虑设备的原理。从业人员可根据待校准传感器的具体情况设计相应的传感器校准测试设备。

5.4 设备和测试方法应符合 GB/T 1804 和 GB/T 15478 中涉及的相关条款。

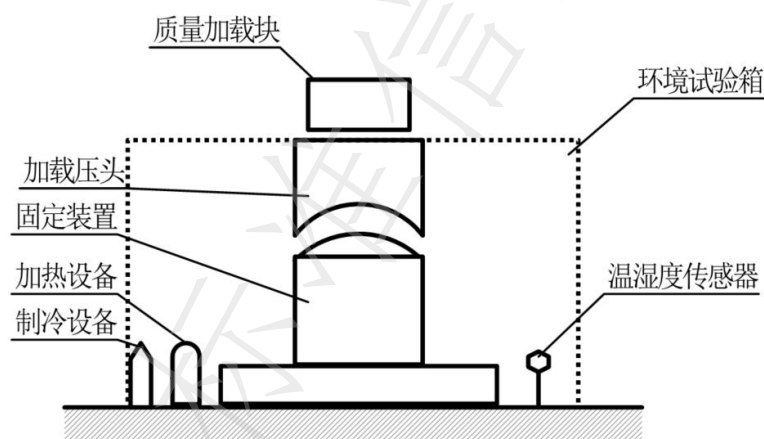


图1 试验设备装置示意图

5.5 传感器固定装置应能够固定传感器并可根据使用环境调整其曲率角，见图2。对于平面标定环节，固定装置和加载压头应保持平整状态，其粗糙度、平整度、精度等级应符合 GB/T 1804 的要求。对于曲面标定环节，固定装置应能够调整传感器测试过程中的曲率半径，加载压头的曲率角度应与固定装置保持一致。

5.6 加载装置如图2所示，由加载压头和质量加载块组成。质量加载块应位于加载压头的中心位置。质量加载方式可采用标准质量块、标准压力源进行加载。特别的，采用标准压力源进行标定测试需要增加相应的高精度传感器。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。

5.7 标准压力源选择应当遵循如下标准：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；对于 0.1 级~1.0 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；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%~500%；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。

5.8 针对动态标定测试，建议采用标准压力源加载，以确保每次加载的精度和可重复性可控。

5.9 读数记录装置的选择：根据被试传感器输出的要求选择读数记录装置。应选用数字式电压表、数字式频率计、示波器、电流表、数据采集设备等。所选装置的准确度误差应不超过被试传感器允许基本误差的 1/5。

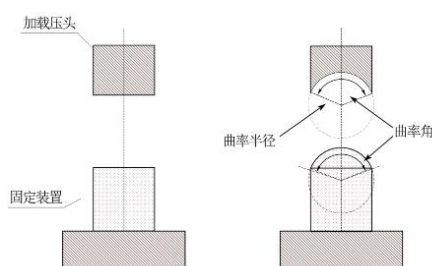


图2 加载压头、固定装置的曲率半径与曲率角度示意图

6 标定测试流程

6.1 标定测试前要求

进行标定测试前，必须进行准备工作，确定标定需求、标定测试和环境设置三项准备工作。完成这些准备工作后方可进行标定测试工作。标定测试流程包括压力静态标定测试、压力动态标定测试、压力增量标定测试和压力极端标定测试。在进行上述测试流程时，应根据传感器的实际使用情况选择相应的测试方式。不需要完成所有测试项目。标定测试结束后，必须进行结束工作，需提供标定测试传感器的标准检测报告，从标定设备中取出测试样品后，必须进行封装处理。封装后的样品必须按照要求严格执行存储条件。标定测试流程见图3所示。

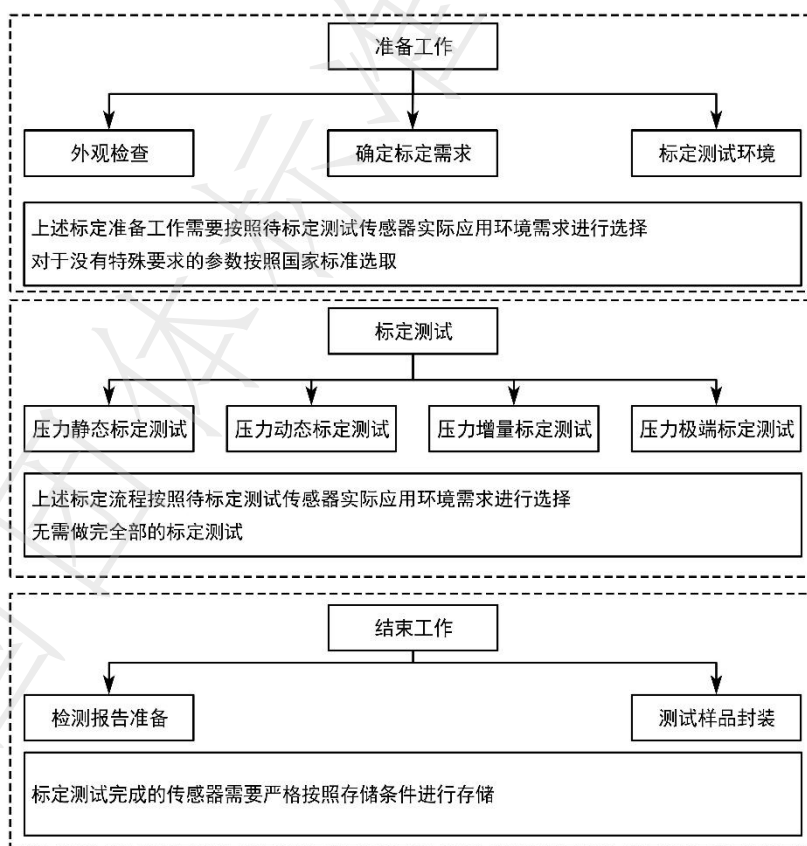


图3 传感器标定测试流程

6.2 准备工作

6.2.1 对待标定测试传感器的外观，应使用目测方式观察标识颜色，并使用放大镜检查线缆连接处；对待标定测试传感器的外形尺寸、厚度尺寸和机械接口情况，应使用标准计量器具进行检查；对产品的重量进行称量；对待标定测试传感器的电路连接安全性进行检查，明确传感器的输入阻抗、输出阻抗、

负载阻抗、绝缘阻抗和绝缘强度进行试验。明确测试传感器在实际使用环境中的需求，包括但不限于环境温湿度（传感器的温度影响试验应按照 GB/T 2423.1 试验 A 和 GB/T 2423.2 试验 B 的规定进行）、压力情况、受压频率、线缆连接长度、弯折情况以及后端记录设备的规格。同时，特别注意明确安装过程中的具体方式。在标定过程中，应考虑传感器在实际使用环境中的安装方式，并尽可能模拟该安装方式。示意图中未包含安装方式和夹具等设备，测试人员应根据实际情况选择适当的安装方式和夹具设备。

6.2.2 关于电荷放大器的使用：若传感器在实际使用环境中需要使用电荷放大器，则在标定过程中必须采用实际使用环境中的电荷放大器。将电荷放大器接入标定测试电路中，并应与待标定传感器一同参与标定测试。

6.2.3 关于激励电源的选择：应根据被试传感器的要求和类型确定是否需要使用激励电源。对于无源器件，无需使用激励电源。对于有源器件，应选择精密稳压电源、稳流电源、干电池或蓄电池等。所选电源的稳定度误差不应超过被试传感器允许误差的 1/5。根据待标定测试传感器的使用环境，应设置标定设备。若待标定传感器的使用环境温湿度未明确规定，则应按照以下测试环境设置：温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 45%RH~75%RH，大气压力为 86 kPa~106 kPa。电磁场的影响应根据实际情况确定。在每项试验期间，允许的最大温度变化率应控制在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以内。相对湿度范围应由供需双方商定，并根据弯折情况准备相应的加载压头。

6.3 标定测试

6.3.1 一般要求

标定测试分为压力静态标定测试、压力动态标定测试、压力增量标定测试和压力极端标定测试。需要格外注意对传感器的两次标定测试间隔需大于传感器所需要的恢复时间。标定测试的操作方式见附录 B。

6.3.2 压力静态标定测试

6.3.2.1 压力静态标定测试是指对传感器在静态加载过程中开展检验性试验和检测，应分为以下几个阶段：

- a) 设计使用量程内测试，在传感器设计使用量程内逐次增加压力；
- b) 常规工作条件测试，测试传感器在真实实际使用环境条件下的性能，包含温度、湿度等条件；
- c) 不同弯折曲率角度测试：测试传感器在不同弯折曲率角度下的性能（曲面压头要考虑压头模具的平整性和质量）；
- d) 根据标定测试数据得到加载压力和标定测试传感器输出电信号的函数关系；
- e) 压力和力之间的关系转换可以通过加载面积进行换算。

6.3.2.2 在进行测试时，应确保测试的压力数值范围在真实测试的受力范围内。经过测试合格的传感器可以被认定为检验合格。此步骤的操作应当包括定义单个传感器的静态分辨率、静态压力和静态输出电压的静态传递函数，并提供在不同测试条件下的准确度。针对弯折曲率角度的测试应当结合实际使用情况进行开展测试工作。加载压力和标定测试传感器输出电信号的函数关系及误差计算见附录 C，复杂函数关系见附录 D。

6.3.3 压力动态标定测试

6.3.3.1 压力动态标定测试是指对传感器在动态加载过程中开展检验性试验和检测，应分为以下几个阶段：

- a) 设计使用量程内测试：在传感器设计使用量程内开展不同压力、频率、幅值动态标定测试；
- b) 常规工作条件测试：测试传感器在真实实际使用环境条件下的性能，包含温度、湿度等条件；
- c) 不同弯折曲率角度测试：测试传感器在不同弯折曲率角度下的性能（曲面压头要考虑压头模具的平整性和质量）；
- d) 根据标定情况得到加载压力和标定测试传感器输出电信号的函数关系；
- e) 压力和力之间的关系转换可以通过加载面积进行换算。

6.3.3.2 测试应按 GB/T 2423.10 试验 Fc 的规定试验条件进行，应确保动态测试的压力、幅值、频率等数值范围在真实测试的受力范围内。经过测试合格的传感器可以被认定为检验合格。此步骤的操作应当包括定义单个传感器的动态分辨率、动态压力和动态输出电压的动态传递函数，并提供在不同测试条

件下的准确度。针对弯折曲率角度的测试应当结合实际使用情况进行开展测试工作。加载压力和标定测试传感器输出电信号的函数关系及误差计算见附录 C，复杂函数关系见附录 D。

6.3.4 压力增量标定测试

压力增量测试指测试传感器能够感知的最小激励增量即分辨力。通过此步骤可以获得传感器在感知压力增量时的最小分辨力。

6.3.5 压力极端标定测试

压力极端测试指探索传感器能够承受的的最极端的压力状态，仅针对特定需求的传感器进行的测试工作，通过不断提高传感器上方的荷载大小，得到传感器的使用极限条件。这项测试存在一定的破坏性，会对传感器造成不可逆的影响。

6.4 结束工作

6.4.1 对完成标定测试的样品进行封装处理，注意封装保存的环境温湿度，若没有特别指出，则需要按照相应的国家标准处理。

6.4.2 传感器标定测试流程主要包括 6.2、6.3 和 6.4 三步，测试人员可以依据待标定传感器的真实使用环境进行选择合适标定流程，无需完成全部标定测试项目。

7 检测报告

需要对已经标定测试完成的传感器提供标准的检测报告，标定测试数据记录参考表格见附录 A，检测报告应包括以下内容：

- 报告编号；
- 试验日期；
- 测试人员；
- 测试设备及仪器的型号、规格及计量情况；
- 测试地区、环境温度、湿度、磁场强度、重力加速度；
- 测试时出现的异常情况；
- 测试结果，包括数学模型的建立；
- 测试传感器的工作量程；
- 分辨力；
- 测试的最低和最高温湿度环境；
- 传感器不同弯折曲率角度下的测试结果；
- 任何偏离本文件的细节及异常现象。

附 录 A
(资料性)
标定测试报告

传感器标定测试报告参考模版，从业人员可根据实际需求设计测试报告，见表A.1(包括但不限于下列条款)：

表 A.1 标定测试报告

压力传感器测试标准化技术报告编号：					
测试名称				测试时间	
试内容					
测试地点		区域重力加速度		测试人员	
测试环境 1					
测试环境 2					
测试环境 3					
测试设备的型号、规格、计量情况					
力电响应公式及曲线、工作量程、分辨力					
建议使用的弯折曲率角度范围及不确定度					

表A.1 标定测试报告（续）

建议使用的温湿度环境范围及极端温湿度环境下的不确定度
极端压力下的传感器的典型失效曲线
测试过程中的异常现象

附录 B
(资料性)
标定测试的具体操作方式

B.1 标定测试可以分为大交路标定测试和小交路标定测试，从业人员可根据实际需求选择合适的标定测试方法。

B.2 大交路标定测试为针对传感器性能进行的压力循环标定测试，当完成一组新的压力数值标定测试之后，向后跳跃两位已经测试过的压力数值进行重复标定测试，应当按照图 B.1 的压力规律进行标定测试，数据记录表格见 B.1。

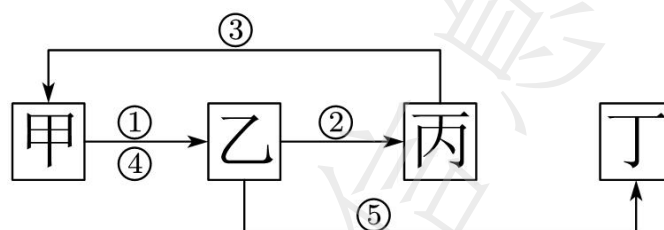


图 B.1 大交路标定测试示意图

表 B.1 大交路标定测试数据记录表格

		大交路阶跃压力测试步长																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
测 压 力 数 值	甲	1			4																
	乙		2			5		7													
	丙			3				8		10											
	丁					6					11		13								
	戊								9					14		16					
	己											12						17		19	
	庚															15					20
	辛																		18		

B.3 小交路标定测试为针对传感器性能进行的压力循环测试，当完成一组新的压力数值标定测试之后，向后跳跃一位已经测试过的压力数值进行重复标定测试，应当按照图 B.2 的压力规律进行标定测试，数据记录表格见 B.2。

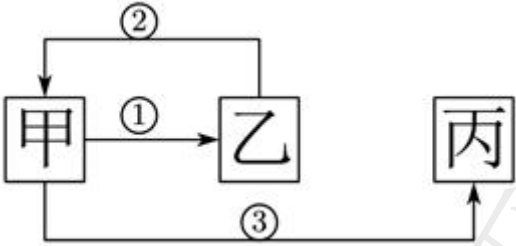


图 B.2 小交路标定测试示意图

表 B.2 小交路数据标定测试记录表格

		小交路阶跃压力测试步长																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
测 试 压 力 数 值	甲	1		3																	
	乙		2			5															
	丙				4			7													
	丁						6			9											
	戊								8			11									
	己										10			13							
	庚												12				15				
	辛															14				17	

附录 C

(资料性)

标定压力与电信号数学模型的建立及误差分析

C.1 传感器存在激励响应, 如何对其建立合适的数学模型反映其力电响应是标定测试的关键, 如果输入输出函数是不随时间变化的, 通常称之为传递函数, 传递函数反映了激励 s 和传感器产生的响应电信号 E 之间的关系, 这种关系可以表示为:

$$E = f(s) \quad \text{..... (C.1)}$$

C.2 采用逼近的方法对实验观测数据进行曲线拟合, 逼近函数应当简单方便进行数值运算、逆运算和其他数学处理, 常见的逼近方法分为线性传递函数逼近, 其余传递函数请见附录 C。

C.3 线性传递函数逼近:

$$f(s) = A + Bs \quad \text{..... (C.2)}$$

式中:

式中 A 、 B 为定值。

误差分析与计算

C.4 对于一组重复测量结果, 宜采用平均值或中值都来表达这组数据的均值。随着重复测量次数的增加, 应采用平均值与中值之间的差异会降低到非常小的程度。对于 n 次重复测量得到的数据 x_1, x_2, \dots, x_n , 应当采用平均值的计算方法。

$$x_{mean} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{..... (C.3)}$$

C.5 中值无需进行加和处理, 只需要将 n 次测量结果按照大到小排序后, 取中间数值, (n 为奇数):

$$x_{median} = x_{(n+1)/2} \quad \text{..... (C.4)}$$

$$x_{median} = (x_{n/2} + x_{n/2+1})/2 \quad \text{..... (C.5)}$$

C.6 对误差的估计, 应采用统计学中的标准差或方差。标准差或方差更客观地描述了测量值围绕均值的波动情况。假定均值为 x_{mean} , 每次测量值与均值之差为 $d_i = x_i - x_{mean}$, 方差的计算公式为:

$$Var = \frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n-1} \quad \text{..... (C.6)}$$

C.7 线性拟合得到的系数 R^2 , 计算公式为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{..... (C.7)}$$

C.8 相关系数给出了两组数据之间相互关联的程度; 需要由输出读数反推出被测输入量的数值, 因此一般要求 $r=0.80 \sim 1.0$ 。对于物理量的测量而言, r 的取值应当非常接近于 1, 因此常用 r^2 形式给出。

C.9 “关联”程度的取值范围:

- $r=0.00-0.19$, 很弱;
- $r=0.20-0.39$, 弱;
- $r=0.40-0.59$, 中度;
- $r=0.60-0.79$, 强;
- $r=0.80-1.0$, 很强。

C.10 回归直线的置信区间: 回归直线用于对某个输入值 x^* 进行测量, 响应均值的估计程度。计算公式

为:

$$\hat{y} \pm t_{n-2}RSD \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x^* - \bar{x})^2}{(n-1)\sum_i (x_i - \bar{x})^2}} \dots\dots\dots (C.8)$$

C.11 预测值的置信区间: 对某个输入值 x^* 进行测量, 响应输出值的可信程度。计算公式为:

$$\hat{y} \pm t_{n-2}RSD \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x^* - \bar{x})^2}{(n-1)\sum_i (x_i - \bar{x})^2}} \dots\dots\dots (C.9)$$

全国团体标准信息平台

附 录 D
(资料性)
复杂数学关系的建立

D.1 简单的数学关系并不能完全满足所有标定传感器的压力与电信号响应的关系，因此需要建立复杂的数学关系。

D.2 对数传递函数逼近：

$$f(s) = A + B \ln s \quad \text{..... (D. 1)}$$

式中：

A、B为定值。

D.3 指数传递函数逼近：

$$f(s) = A e^{ks} \quad \text{..... (D. 2)}$$

式中：

A、B为定值。

D.4 幂传递函数逼近：

$$f(s) = A + B s^k \quad \text{..... (D. 3)}$$

式中：

A、B为定值；

k为幂指数。

D.5 线性分段传递函数逼近：是将任一形状的非线性传递函数分为几个部分，将每一个部分看做一种传递函数逼近形式，这样简化了样本点之间的函数形式。

D.6 样条插值传递函数逼近：用高阶（三阶及以上）多项式逼近存在曲线的一侧选择点会对远离曲线的部分点产生很大影响。这一缺点宜采用样条插值逼近法解决。样条法是在选择的被称为样本点的实验点之间使用不同的三阶多项式插值。两个相邻样本点间形成一条曲线，而后所有曲线“连接”或“粘接”在一起获得一条光滑的拟合曲线。

D.7 多维度传递函数逼近：当传感器的输出取决于多个输入激励时，传递函数可能是一个多变量函数。因多维度传递存在复杂的函数表达式，因此本文件不给出具体的形式。

附录 E
(资料性)
可参考的标定设备示例图

E.1 附录 E 提供了标定设备的参考形式。该示例图作为一种落杆测试装置，可以满足动态和静态的测试方式，测试装置包含落杆，传感器支撑平台，见图 E.1 和图 E.2。动态测试方式是将薄膜传感器放置在支撑平台上，落杆被拉升到一定高度释放，落杆的端头加载到薄膜传感器的功能区，根据传感器支撑平台的读数可以得到薄膜传感器所受的冲击力，进而建立标定压力与电信号数学模型。

E.2 静态的测量方式为更改落杆的材料密度或改变落杆上方的荷载，达到增加传感器上方荷载的质量，进而建立标定压力与电信号数学模型。

E.3 该示例图旨在为操作人员提供标定设备的外观特征，以确保操作人员能够正确理解并设计合适标定测试需求的设备。

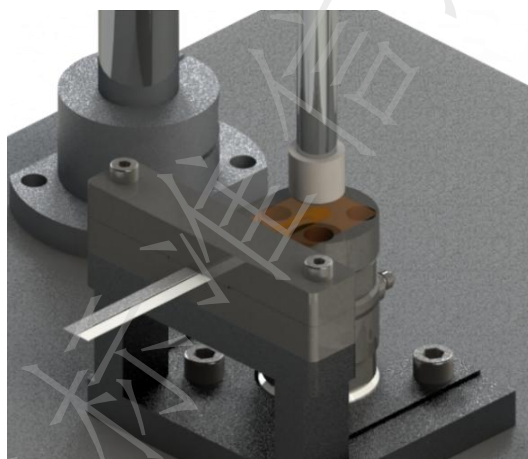


图 E.1 标定设备参考示例图 A



图 E.2 标定设备参考示例图 B