

2019--2020 学年 第二 学期

实验报告书

课程名称 智能传感器技术

学院名称 智能装备学院

专业班级 电科 17-2

学 号 201723010237

姓 名 张厚今

山东科技大学

实验名称	实验一 传感器的静态特性		
姓 名	张厚今	组别	
同组实验者			
指导教师	徐文正	实验日期	2020 年 4 月 21 日
指导教师评语	指导教师签名: _____ _____ 年 _____ 月 _____ 日		
实验成绩			

山东科技大学实验报告书

实验一 传感器的静态特性

一、实验目的

掌握传感器的静态特性计算方法，举例计算出传感器的静态特性。

二、实验要求

某力测量系统的静态标定数据如下表，求：灵敏度、线性度和滞后量。

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1

三、实验步骤

3.1 静态检测

检测系统的特性一般是指检测系统输入量和输出量关系的特性。它分为静态特性和动态特性。对于一个检测系统，必须在使用前进行标定和定期校验。静态标定是在规定条件下，利用一定准确度等级的标准设备(比被标定测试系统的准确度等级至少高一个等级)，产生已知标准的静态量(如标准压力、应变、位移等)作传感器或测试系统的输入量，用实验方法进行多次重复测量，从而得到输出量的过程。这种关系称为系统的静态特性。

3.2 静态标定条件

无加速度、无振动、无冲击(除非这些参数本身就是被测物理量)，环境温度一般为室温(20 ± 5)℃，相对湿度不大于 85%，大气压力为 0.1MPa。

3.3 静态标定过程

- ①将传感器或测试系统全量程(测量范围)分成若干等间距点(至少 6 个点)；
- ②根据量程分点情况，由小到大、再由大到小逐点输入标准静态量，并记录下与各输入值相对应的输出值；
- ③按步骤②的过程进行多次重复测量，将得到的输出—输入测量数据用表格列出或绘成曲线；

山东科技大学实验报告书

④对测量数据进行分析处理，根据处理结果就可确定测试系统的线性度、灵敏度、滞后量、重复性和稳定性等静态特性参数。

3.4 灵敏度

灵敏度是指检测系统对被测量变化的反应能力，即输出变化量与输入变化量之比，即

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

对于线性检测系统，其灵敏度是拟合直线的斜率。对于非线性检测系统，其灵敏度不是常数，即

$$K_d = \frac{d_y}{d_x}$$

如果输入和输出的变化量有不同的量纲，则灵敏度也有量纲。例如：输入量为温度，输出量为电压，则灵敏度的量纲为 mV/0C。如果灵敏度无量纲，则输入和输出量为同类，则灵敏度是无量纲。

一个检测系统必须有足够的灵敏度，以便准确地测量微小变化，但是，灵敏度过高，一方面因输出受到上限的限制，所以量程减小；另一方面可能导致输出与输入关系的不稳定。

3.5 线性度

线性度又叫非线性误差，是指标定曲线与拟合(理想)直线的接近程度。

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{max}}{Y_{FS}} \text{ 或 } \gamma_L = \frac{\Delta L_{max}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\%.$$

设拟合直线方程为： $\hat{y} = a_0 + a_1 x$

3.5.1 端点直线法或理论拟合直线

取零位输出值和满量程输出值作为直线的起点和终点，两个端点的连线为拟合直线。

3.5.2 端点平移直线法

将端点直线平行移动，移动间距为 ΔL_{max} 的一半，使标定曲线分布在拟合直线的两侧。

山东科技大学实验报告书

3.5.3 端基拟合直线

通过实际特性曲线的起点和满量程点，称为端基拟合直线。

3.5.4 平均法

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0$$

把实验数据按输入量由小到大依次排列，分成个数近似相等的两组，得

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k y_i &= k a_0 + a_1 \sum_{i=1}^k x_i \\ \sum_{i=k+1}^n y_i &= (n-k) a_0 + a_1 \sum_{i=k+1}^n x_i \\ (k = \frac{n}{2} \text{ 或 } k = \frac{n+1}{2}) \end{aligned}$$

若静态标定数据过零点， $a_0 = 0, \hat{y} = a_1 x$ ，则

$$a_1 = \frac{\sum y_i}{\sum x_i}$$

3.5.5 最小二乘法

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 = \min$$

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a_1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

将 $a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$ 代入 $\hat{y} = a_0 + a_1 x$ 得： $\hat{y} - \bar{y} = a_1(x - \bar{x})$ 该式表明拟合直线通过点 (\bar{x}, \bar{y}) 。当 $a_0 = 0$ 时，有

$$a_1 = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

3.6 迟滞性

迟滞性也称为“滞后量”或“滞环”，是指检测系统在全量程范围内，输入

山东科技大学实验报告书

量在正（输入量增大）、反（输入量减小）行程期间二者的静态特性曲线不一致的程度。

$$\delta_H = \frac{|\Delta H_m|}{Y_{FS}} \times 100\%$$

四、实验结果

4.1 方法一、最小二乘法

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{353 - \frac{1}{9} \times 32 \times 64.16}{176 - \frac{1}{9} \times 32^2} = 2.01$$

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a_1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{y} - a_1 \bar{x} = \frac{64.16}{9} - \frac{2.01 \times 32}{9} = -0.02$$

拟合直线为：

$$\hat{y} = -0.02 + 2.01x$$

计算可得 \hat{y} ：

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1
\hat{y} (mV)	-0.02	4.00	8.02	12.04	16.06	12.04	8.02	4.00	-0.02

灵敏度：

$$S \approx a_1 = 2.01 \left(\frac{mV}{kN} \right)$$

线性度：

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{max}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\% = \left| \frac{3.82 - 4.00}{16.16} \right| \times 100\% = 1.11\%$$

滞后量：

$$\delta_H = \frac{|\Delta H_m|}{Y_{FS}} \times 100\% = \left| \frac{4.1 - 3.82}{16.16} \right| \times 100\% = 1.73\%$$

山东科技大学实验报告书

4.2 方法二、平均法

原始测量数据为：

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1

把实验数据按输入量由小到大依次排列，分成个数近似相等的两组，得

组别	1					2				
	x(kN)	0	2	4	6	8	0	2	4	6
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	0.1	4.1	8.1	12.02

根据平均法的求解方法，得

$$\sum_{i=1}^k y_i = k a_0 + a_1 \sum_{i=1}^k x_i \quad (k = 5)$$

$$\sum_{i=k+1}^n y_i = (n - k) a_0 + a_1 \sum_{i=k+1}^n x_i \quad (k = 5, n = 9)$$

以此列出二元一次方程组：

$$\begin{cases} 5a_0 + 20a_1 = 39.84 \\ 4a_0 + 12a_1 = 24.32 \end{cases}$$

解得：

$$\begin{cases} a_0 = 0.42 \\ a_1 = 1.89 \end{cases}$$

拟合直线为：

$$\hat{y} = 0.42 + 1.89x$$

计算可得 \hat{y} 为：

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1
\hat{y} (mV)	0.42	4.20	7.98	11.76	15.54	11.76	7.98	4.20	0.42

灵敏度：

$$S \approx a_1 = 1.89 \left(\frac{mV}{kN} \right)$$

山东科技大学实验报告书

线性度：

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{max}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\% = \left| \frac{16.16 - 15.54}{16.16} \right| \times 100\% = 3.84\%$$

滞后量：

$$\delta_H = \frac{|\Delta H_m|}{Y_{FS}} \times 100\% = \left| \frac{4.1 - 3.82}{16.16} \right| \times 100\% = 1.73\%$$

与最小二乘法相比，由于拟合直线的计算方法不同，所求的 \hat{y} 也就不一样，所以最后的计算结果会有差别。

4.3 方法三、端点直线法

取零位输出值和满量程输出值作为直线的起点和终点，两个端点的连线为拟合直线。这种方法比较简单一些，但是计算出来的精度比较低。

原始测量值为：

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1

零位输出值为 0，满量程输出值为 16.16。已知两点为(0,0)和(8,16.16)，所以直线过原点，可得

$$\begin{cases} a_0 = 0.00 \\ a_1 = 2.02 \end{cases}$$

拟合直线方程为：

$$\hat{y} = 2.02x$$

计算可得 \hat{y} 为：

x(kN)	0	2	4	6	8	6	4	2	0
y(mV)	0	3.82	7.9	11.96	16.16	12.02	8.1	4.1	0.1
\hat{y} (mV)	0	4.04	8.08	12.12	16.16	12.12	8.08	4.04	0

灵敏度：

$$S \approx a_1 = 2.02 \quad \left(\frac{mV}{kN} \right)$$

线性度：

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{max}}{y_{max} - y_{min}} \times 100\% = \left| \frac{3.82 - 4.04}{16.16} \right| \times 100\% = 1.36\%$$

山东科技大学实验报告书

滞后量：

$$\delta_H = \frac{|\Delta H_m|}{Y_{FS}} \times 100\% = \left| \frac{4.1 - 3.82}{16.16} \right| \times 100\% = 1.73\%$$

五、收获与心得

本次实验是对测量的数据进行分析处理，根据处理结果计算系统的线性度、灵敏度、滞后量等静态特征参数。在计算的过程中，发现计算精度对结果的影响比较大，保留两位小数和保留三位小数时，结果会有较大的差异。本次实验全部使用了保留两位小数的计算结果。

通过本次实验，基本了解了传感器静态参数的计算过程。对各种静态参数的含义也有了更深的理解。