

实验名称	实验三 传感器的误差计算		
姓 名	张厚今	组别	
同组实验者			
指导教师	徐文正	实验日期	2020/04/27
指 导 教 师 评 语	<div>指导教师签名： _____年____月____日</div>		
实验成绩			

# 山东科技大学实验报告书

## 实验三 传感器的误差计算

### 一、实验目的

掌握传感器的误差分析方法，掌握对检测系统的误差检测、计算和消除的步骤。

### 二、实验要求

对某一传感器，来计算其误差。

1. 举例对某量进行了 15 次重复测量，测量的数据：20.42, 20.43, 20.40, 20.43, 20.42, 20.43, 20.39, 20.30, 20.40, 20.43, 20.42, 20.41, 20.39, 20.39, 20.40。试判定测量数据中是否存在粗大误差（ $P=99\%$ ）

2. 对温度计自己测量自己体温 15 次，然后判断有无误差，有哪些误差？至少列出 2 种误差，然后谈论消除方法。

### 三、实验步骤

#### 3.1 粗大误差的判别

统计判别法的准则很多，主要有两种判别粗大误差的准则。

##### 3.1.1 拉依达准则（ $3\hat{\sigma}$ 准则）

设对被测量进行等精度测量，得到  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，算出其算术平均值及剩余误差  $v_i$ ，按贝塞尔公式算出标准误差  $\sigma$ ，若某个测量值  $x_b$  的剩余误差满足下式

$$|v_b| = |x_b - \bar{x}| > 3\sigma$$

则认为是含有粗大误差的坏值，应予剔除。

根据误差理论，当测量数据呈正态分布时，误差出现在  $-3\sigma \sim +3\sigma$  范围内的概率为 99.73%，可以认为出现绝对值大于  $3\sigma$  的误差为小概率事件。若测量次数为有限次，测量误差绝对值大于  $3\sigma$ ，即可判定为粗大误差。

##### 3.1.2 格罗布斯（Grubbs）准则

当测量数据中某数据  $x_i$  的残差满足

$$|v_i| > g(a, n)\hat{\sigma}$$

则该测量数据含有粗大误差，应予以剔除。

式中： $g(a, n)$  为格罗布斯准则鉴别系数，与测量次数  $n$  和显著性水平  $a$  有关。显著性水平  $a$  一般取 0.05 或 0.01，置信概率： $P = 1 - a$ 。 $\hat{\sigma}$  为测量数据的误差估

# 山东科技大学实验报告书

计值。

## 3.2 系统误差的判别与消除

系统误差是产生测量误差的主要原因，消除或减小系统误差是提高测量精度的主要途径。

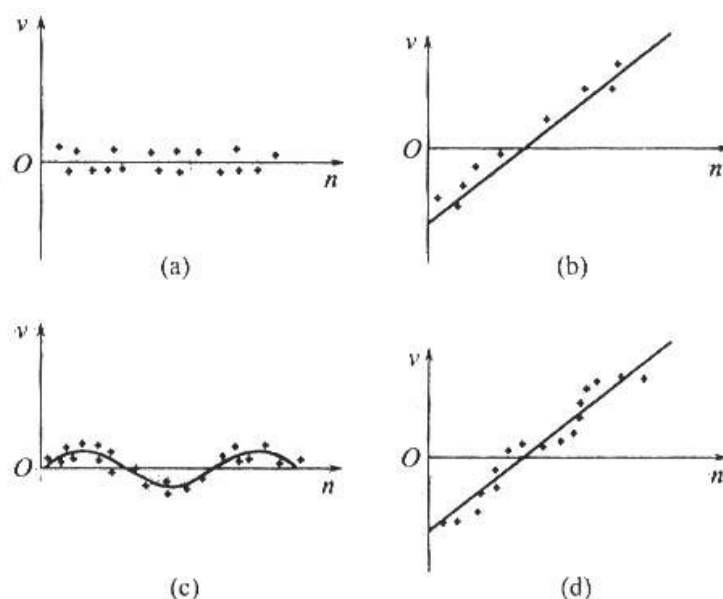
### 3.2.1 系统误差的判别

#### (1) 实验对比法

实验对比法是通过改变产生系统误差的条件，在不同的条件下测量，从而发现系统误差。

#### (2) 残差观察法

根据测量的各个残差的大小和符号的变化规律，直接由误差数据或误差曲线图来判断是否存在系统误差。这种方法主要适用于判断有规律的系统误差。下图为一组残差曲线图。



#### (3) 马利科夫判据

设对某一被测量进行  $n$  次测量，依次得到一组测量值  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，相应的残差为  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ 。将前面一半以及后一半数据的残差分别求和，然后取其差值。

当  $n$  为偶数时

$$M = \sum_{i=1}^k v_i - \sum_{i=k+1}^k v_i, \quad k = \frac{n}{2}$$

# 山东科技大学实验报告书

当  $n$  为奇数时

$$M = \sum_{i=1}^k v_i - \sum_{i=k+1}^k v_i, k = \frac{n+1}{2}$$

当  $M$  趋近于零时, 则测量值中不存在系统误差, 当  $M \geq v_i$  时, 则测量值中存在系统误差; 当  $0 < M < v_i$  时, 则不能肯定测量值中是否存在系统误差。

## 4) 阿卑-赫梅特准则

阿卑-赫梅特准则将残差按测量顺序排列, 并依次两两相乘, 然后取和的绝对值, 如果

$$B = \left| \sum_{i=1}^{n-1} v_i v_{i+1} \right| > \sqrt{n-1} \sigma^2$$

则可以判断测量数据中存在周期性系统误差。

## 3.2.2 系统误差的消除

### (1) 从系统误差的来源上消除

系统误差的来源上消除系统误差是最基本的方法。

例如: 选择精度等级高的仪器设备来消除仪器的基本误差; 在规定的条件下, 使用正确调零、预热来消除仪器设备的附加误差; 选择合理的测量方法, 设计正确的测量步骤来消除方法误差和理论误差; 提高测量人员的测量素质来消除人为误差等。

### (2) 引入修正值法

引入修正值法是在测量前或测量过程中, 求取某类系统误差的修正值, 在测量数据处理时手动或自动地将测量值和修正值相加, 这样就可以从测量数据或结果中消除或减弱该类系统误差。

设某类系统误差为  $C$ ,  $x$  为测量值, 则不含该类系统误差的测量值  $A_1$  为

$$A_1 = x + C$$

修正值可以通过如下三种途径求取:

①从有关资料中查取, 如从仪器仪表的检定证书中获取。

②通过理论推导求取。

③通过实验的方法求取, 对影响测量结果的各种因素引起的系统误差, 可通过实验做出相应的修正曲线或表格, 共测量时使用。

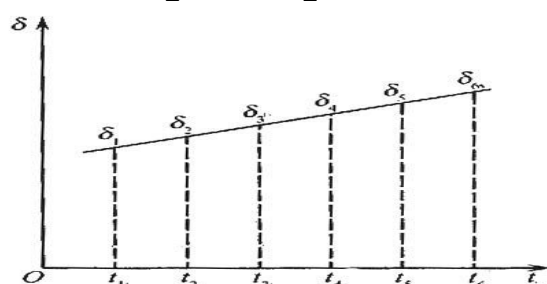
# 山东科技大学实验报告书

## (3) 对称法

对称法是消除测量结果随某影响量线性变化的系统误差的有效方法。

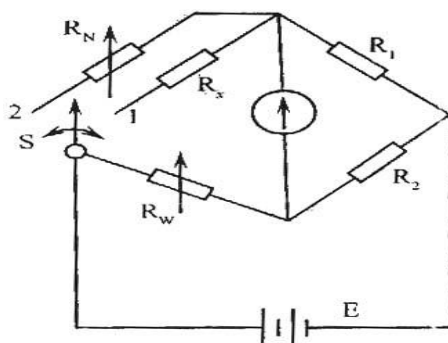
下图为某线性系统误差，若选定某一时刻为中心，则对应此中点的两对称时刻的系统误差算术平均值都相等，即

$$\frac{\delta_1 + \delta_2}{2} = \frac{\delta_2 + \delta_4}{2} = \delta_3$$



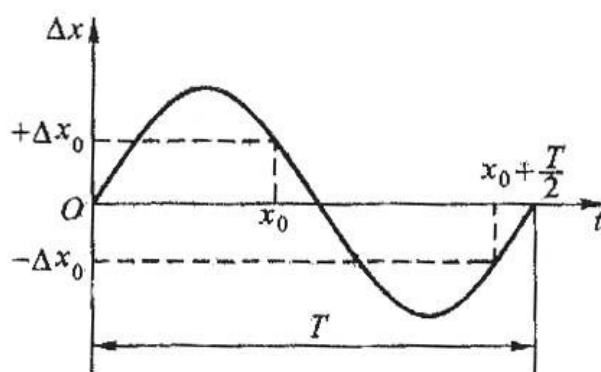
## (4) 替代法

替代法是比较测量法的一种，是在相同的测量条件下，先将被测量接入测量装置中，调节测量装置使之处于某一状态，然后用与被测量相同的同类标准量代替被测量接入测量装置中，调节标准量，使测量装置的指示值与被测量接入时相同，此时标准器具的读数等于被测量。用电桥测量被测量  $R_x$  原理如下图所示。



## (5) 半周期法

对周期性系统误差，可以相隔半个周期进行一次测量，如下图所示。



# 山东科技大学实验报告书

## 四、实验结果

### 4.1 试判定测量数据中是否存在粗大误差

首先求得数据的平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{15} x_i = 20.404$$

测量数据的标准偏差

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{0.01496}{14}} \approx 0.033$$

求得第八个数据的残差

$$|v| = 0.104 > 3\sigma = 0.099$$

根据拉依达准则可以判定，数据 20.30 为异常值，应当剔除。

剔除后，重新计算平均值和标准偏差，得：

$$\bar{x}' = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} x_i = 20.404$$

$$\hat{\sigma}' = \sqrt{\frac{1}{n'-1} \sum_{i=1}^{n'} v_i^2} = \sqrt{\frac{0.03374}{13}} \approx 0.016$$

这时剩余数据的残差

$$|v| < 3\sigma = 0.048$$

即剩余数据不再含有粗大误差。

### 4.2 列出温度数据的误差并谈论消除方法

首先对温度计自己测量自己体温 15 次，得出下表

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
数															
温	36.1	36.4	36.0	36.8	36.3	36.7	37.1	36.0	36.2	36.3	36.9	36.4	36.6	36.4	36.2
度	5	2	5	8	1	5	2	4	6	4	5	4	1	6	2

#### 4.2.1 存在测量误差

本次实验测量的体温数据，是由水银式温度计测量得到的。水银体温计是依据热胀冷缩原理制成的。其水银玻璃泡和玻璃管连接处有一狭窄，增加了水银的

# 山东科技大学实验报告书

表面张力，使温度下降时水银柱无法回缩到玻璃泡而断开，使体温计离开身体后读数仍保持稳定。其精确度可达到  $0.1^{\circ}\text{C}$ 。

实验记录过程中，精确值保留两位小数，因此最后一位数据为估算值，存在数据的测量误差。可以通过选择精度等级高的仪器设备来消除仪器的基本误差；在规定的条件下，使用正确调零、预热来消除仪器设备的附加误差；选择合理的测量方法，设计正确的测量步骤来消除方法误差和理论误差；提高测量人员的测量素质来消除人为误差等。

比如，体温测量就可以使用精度更高的电子体温计。电子体温计最核心的原件是温度传感器，利用温度传感器输出电信号，直接输出数字信号或将电信号转换成数字信号，最后通过显示器以数字形式显示。其分辨率普遍可达到  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，可以提高数据精度。

## 4.2.2 检测是否存在粗大误差

求得数据的平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} x_i = \frac{1}{15} \times 547 = 36.47$$

计算得到残差  $|x_b - \bar{x}|$  以及  $|x_b - \bar{x}|^2$

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
温度	36.15	36.42	36.05	36.88	36.31	36.75	37.12	36.04	36.26	36.34	36.95	36.44	36.61	36.46	36.22
$ x_b - \bar{x} $	0.317	0.047	0.417	0.413	0.157	0.283	0.653	0.427	0.207	0.127	0.483	0.027	0.143	0.007	0.247
$ x_b - \bar{x} ^2$	0.100	0.002	0.174	0.171	0.025	0.080	0.426	0.182	0.043	0.016	0.234	0.001	0.021	0.000	0.061

测量数据的标准偏差

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{1.535}{14}} \approx 0.110$$

计算得

$$3\hat{\sigma} = 3 \times 0.110 = 0.330$$

根据上表数据以及  $3\hat{\sigma}$  可知，

第 3、4、7、8、11 个数据，其  $|v_b| = |x_b - \bar{x}| > 3\sigma$ ，为粗大数据，应当剔除。

# 山 东 科 技 大 学 实 验 报 告 书

---

剔除粗大数据之后的数据为

次数	1	2	5	6	9	10	12	13	14	15
温度	36.15	36.42	36.31	36.75	36.26	36.34	36.44	36.61	36.46	36.22

通过上述方法，可以检测并剔除粗大数据。

## 五、收获与心得

通过本次实验我了解了误差产生的原因，误差的分类，掌握了传感器的误差分析方法，掌握了对检测系统的误差检测、计算和消除的步骤。明确了测量方法，了解了各种误差的消除方法。