

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						
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 σ ，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 3σ 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 3σ ，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。

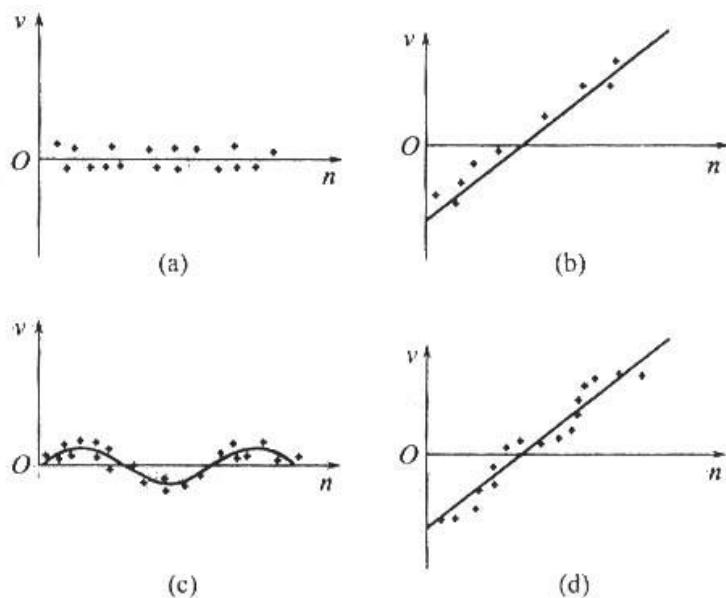
3.2.1 系统误差的判别

(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

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

山东科技大学实验报告书

当 n 为奇数时

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

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。

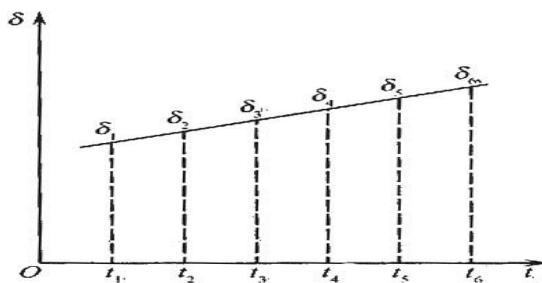
山东科技大学实验报告书

(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。

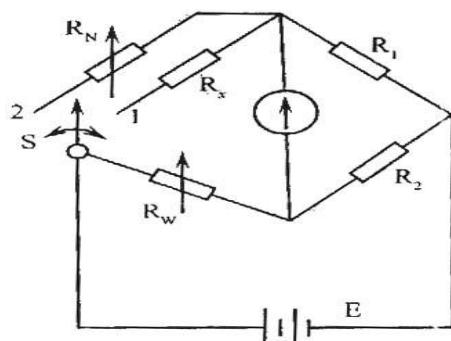
下图为某线性系统误差，若选定某一时刻为中心，则对应此中点的两对称时刻的系统误差算术平均值都相等，即

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



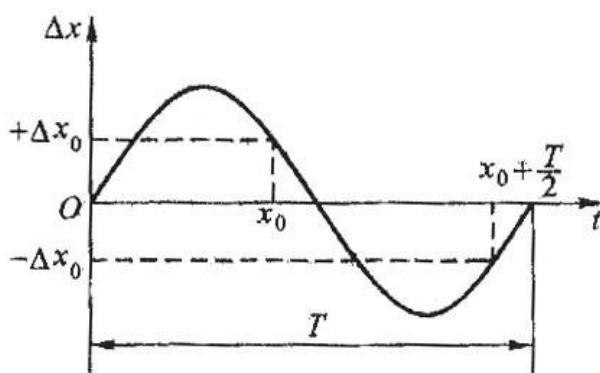
(4) 替代法

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介入测量装置中，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 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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°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 $|v_i| = |x_b - \bar{x}| > 3\hat{\sigma}$ ，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。