

34-36

12

# 现代质量工程方法讲座(十三)

Lectures on Modern Quality Engineering Method(13)

P2

## 第十四讲 测量系统分析

· 王秉刚

关键词: 测量系统 分析

MSA  
质量工程 极差法

### 1 基本概念

测量系统分析(MSA——Measurement System Analysis),是实施SPC的基础条件之一,有关概念和方法对实施一般的试验、检测工作也适用。

#### 1.1 测量系统

用来获得表示产品或过程特性的数值的系统,称之为测量系统。测量系统是与测量结果有关的仪器、设备、软件、程序、操作人员和环境的集合。

#### 1.2 测量系统的统计特性

测量系统的输出——测量数据的质量,是以稳定条件下测量结果的统计特性来评定的。

通常情况下,可以假设测量数据符合正态分布,可以用其均值与变差来描述。测量系统必备的统计特性包括:

a) 统计稳定性:测量过程必须处于统计受控状态,即变差只能由普通原因产生,而没有特殊原因的变差。这方面的概念请见SPC。

b) 测量数据的正确性必须能追溯到国家标准。

c) 测量系统必须有足够的分辨力,一般应不大于过程变差的0.1。

d) 测量系统的变差足够小于过程变差。

e) 在规定的测量范围内,测量数据统计特性的稳定性。

#### 1.3 测量系统分析的两个阶段

a) 在初期,确定测量系统是否满足过程的需要,是否具备必需的统计特性,以及环境因素的影响。

b) 在长期使用中,分析其是否持续地得到具备所需的统计特性。

### 2 测量系统的统计特性及其分析方法

#### 2.1 分辨力(Resolution)

它是指测量系统检出被测特性微小变化的能力。测量系统的分辨力一般主要决定于测量仪器的分辨力,并反映在仪器的最小增量(如刻度值),称之为可视分辨力(Apparent Resolution)。建议可视分辨力等于过程标准差6倍的0.1,即可视分辨力 $\leq 6\sigma/10$ 。

可通过过程控制图来检验测量系统是否具有足够的分辨力。如在控制图的控制限范围内,只有1~3个极差数值,或有4个极差数值,但超过1/4为0时,可认为测量系统的分辨力不足。如图1所示,在极差控制限内,只有两个极差数值0,0.01,显然这种极差控制图是不能正确识别变差的特殊原因。

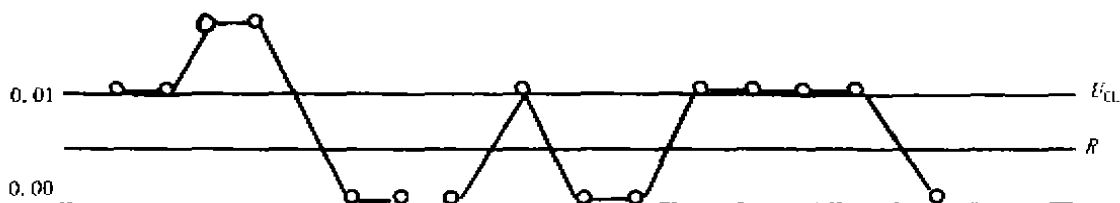


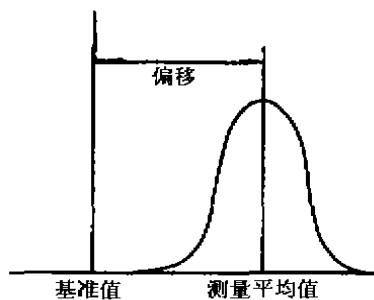
图1 分辨力不足时极差控制图

## 2.2 稳定性

利用控制图方法(SPC)来确定。与过程控制不同之处,在研究测量系统时,被测量的对象应该是标准样件,它保持良好,特性不随时间变化。在控制图上没有出现特殊原因的变差,就表明测量系统具有统计稳定性。

## 2.3 偏移(Bias)

采用测量系统所测得的平均值与采用更精密仪器测量所得数据的平均值之差,称之为偏移,也就是我们通常所称的“准确度”,如图2所示。



偏移 = 测量平均值 - 基准值

其中测量次数  $\geq 10$

偏移率 = 偏移 / 过程偏差  $\times 100\%$

图2 偏移图示

## 2.4 重复性(Repeatability)

通常指同一个评价人,采用同一种测量仪器,多次测量同一零件的同一特性时,获得的数据的变差。

在极差图受控的情况下,重复性标准差用极差均值来估计,即  $\sigma_r = \bar{R}_e / d_2$ 。重复性用正态分布概率为99%的变差来表示,用下式计算:

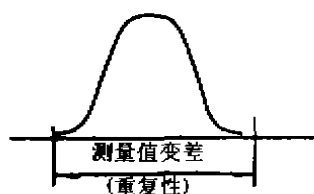


图3 重复性

$$\begin{aligned} \text{重复性} &= 5.15\sigma_r \\ &= 5.15\bar{R}_e / d_2 \\ d_2 \text{ 因数见 SPC} \end{aligned}$$

## 2.5 再现性(Reproducibility)

通常指不同评价人,采用相同测量仪器,测量同一零件的同一特性时,其均值的变差。

再现性用不同评价人测量结果均值的极差  $R_0$  来估计其标准差。

$R_0$ ——不同评价人测量结果均值的最大值与最小值之差。

再现性同样也可以表示为:

$$\sigma_r = 5.15 \sqrt{\left( \frac{R_0}{d_2} \right)^2 - \frac{\sigma_e^2}{nr}}$$

《世界汽车》1999年第6期

$n, r$  分别为零件数和试验数。

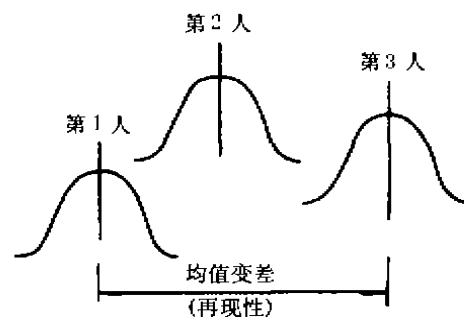


图4 再现性

利用重复性与再现性可以估算测量系统的总变差。

首先按下式计算其总变标准差,

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_o^2}$$

测量系统的总变差用所谓的仪器(量具)双性  $R\&R$  表示:

$$R\&R = 5.15\sigma_m$$

在研究测量系统双性时,通常要采用“盲测”法。

## 2.6 线性(Linearity)

线性是指测量系统在预期的工作范围内偏移的变化。

举尺寸测量的例子说明。在预期的仪器测量范围内选择数个不同尺寸的零件,使用精密测量方法测得每个零件的均值  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , 称为基准值。

使用所研究的测量系统测得的每个零件的均值,求出这些均值与对应的基准值的差,即偏移  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ 。

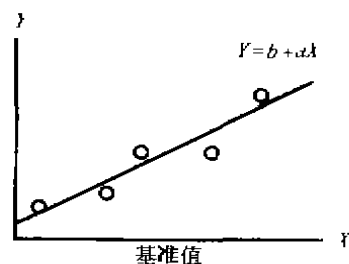


图5 线性

应用线性拟合方法,求出拟合方程如下:

$$Y = d + aX$$

则线性指数 =  $a \cdot$  过程变差。

## 3 测量系统 $R\&R$ 分析(均值——极差法)

这里介绍常用的均值——极差法,用来研究测量系统的双性; $R\&R$ 。

研究 R&R 的前提是测量系统已经过校准,而且其偏移、线性及稳定性已经过评价并认为可接受。

以下举一典型情况说明此方法。

3.1 确定  $M$  名操作者 A、B、C、..., 选定  $n$  个被测零件, 按 1、2、..., 编号。被选定零件尽可能反映整个过程的变差。

3.1.1 测取数据: A 以随机顺序测取所有数据并记录之, B、C: 在不知他人测量结果的前提下, 以同样方法测量各零件的数据并记录之。

再以随机顺序重复上述测量  $r$  次(如 2~3 次)。

### 3.2 数据处理

#### 3.2.1 极差计算

a) 分别计算每个操作者对各个  $r$  次测量的极差  $R_{aj}, R_{bj}, R_{cj}; j=1, 2, \dots, n$ ;

b) 计算每个操作者的平均极差  $\bar{R}_a, \bar{R}_b, \bar{R}_c, \dots, \bar{R}_m$ ;

c) 总平均极差  $\bar{R} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c + \dots + \bar{R}_m) / M$ ;

d) 计算控制限  $U_{CLR} = \bar{R}D_4$

$$U_{CLR} = \bar{R}D_3$$

$D_3, D_4$  可根据试验次数  $r$  查表, 当  $r < 7$  时,  $D = 0$ 。

#### 3.2.2 均值计算

a) 求出各人各零件的均值  $\bar{A}_1, \bar{B}_1, \bar{C}_1, \dots, \bar{M}_1$

b) 求出所有人各零件的均值  $\bar{X}_j = \frac{1}{M}(\bar{A}_j + \bar{B}_j + \bar{C}_j + \dots + \bar{M}_j)$

c) 求出各人所有零件的均值  $\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C, \dots, \bar{X}_M$

$$\text{例如 } \bar{X}_a = \frac{1}{n}(A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

d) 总均值  $= \frac{1}{M}(\bar{X}_a + \bar{X}_b + \bar{X}_c + \dots + \bar{X}_M)$

e) 求各人均值中最大值与最小值之差, 认为

$$X_{\text{DIFF}} = X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}}$$

f) 求各零件均值中最大值与最小值之差, 认为

$$R_P = X_{j\text{Max}} - X_{j\text{Min}}$$

### 3.3 结果分析

以下计算的变差均以 99% 的正态概率为基础,

即变差  $= 5.15\sigma$ 。

#### 3.3.1 重复性

$$EV = \bar{R} \times K_1$$

当试验次数  $r=2, K_1=4.45$

$r=3, K_1=3.05$

#### 3.3.2 再现性

$$A = \sqrt{(X_{\text{DIFF}} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV}{nr}\right)^2}$$

其中  $K_2 = 5.15/d_2, d_2$  取决于  $m$ 。

其中  $n$ ——零件数,  $r$ ——试验数

当评价人数  $M=2$  时,  $K_2=3.65$

$M=3$  时,  $K_2=2.70$

若根号内为负值, 则  $AV=0$

#### 3.3.3 测量系统双性(R&R)

$$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

#### 3.3.4 零件变差

$$PV = R_P \times K_3$$

$K_3$  值见表 1

表 1  $K_3$  值

| 零件数 $n$ | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K_3$   | 3.65 | 2.70 | 2.30 | 2.08 | 1.93 | 1.82 | 1.74 | 1.67 | 1.62 |

#### 3.3.5 总变差

$$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$$

#### 3.3.6 各变差占总变差的百分比

$$\%AV = AV/TV \times 100\%$$

$$\%R\&R = R\&R/TV \times 100\%$$

$$\%PV = PV/TV \times 100\%$$

应同时将  $EV, AV, R\&R$  各值与公差带宽度比较, 得出各变差占公差带的百分比。

$\%R\&R$  可接受的条件是:

<10% 可接受;

10~30% —— 有条件可接受;

>30% —— 不可接受, 应改进。

(本文编辑: 张力)

(收稿日期: 1999-04-26)