第3章 实验数据处理方法

3.1 测量误差

由检测实验系统实现的测量过程是一个变换、放大、比较、显示、读数等环节的综合过程，由于测量手段、测量方法、环境因素和外界干扰等的影响，测量结果总是不能准确地反映被测量的真值而存在一定的偏差，这个偏差就是测量误差。

1. 检测系统(仪器)的基本误差表示形式

（1）绝对误差。检测系统的测量值（即示值）X 与被测量的真值 X_0 之间的代数差值 ΔX 称为检测系统测量值的绝对误差，即

$$\Delta X = X - X_0 \tag{3-1}$$

式中，真值 X_0 可为约定真值，也可是由高精度标准器所测得的相对真值。绝对误差 ΔX 说明了系统示值偏离真值的大小，其值可正可负，具有和被测量相同的量纲。

用高一级标准仪表的示值对检测仪表的测量值加以修正，修正后才可得到被测量的实际值 X_0。

$$X_0 = X - \Delta X = X + C \tag{3-2}$$

式中，数值 C 称为修正值或校正量。修正值与示值的绝对误差数值相等，但符号相反，即

$$C = -\Delta X = X_0 - X \tag{3-3}$$

（2）相对误差。检测系统测量值（即示值）的绝对误差 Δx 与被测参量真值 X_0 的比值，称为检测系统测量（示值）的相对误差 δ，常用百分数表示，即

$$\delta = \frac{\Delta x}{X_0} \times 100\% = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100\% \tag{3-4}$$

用相对误差通常比用绝对误差更能说明不同测量的精确程度，一般来说，相对误差值小，其测量精度就高。相对误差是一个量纲为1的量，但相对误差只能说明检测系统测量不同数值时的准确程度，不能完全说明检测

系统本身准确程度。

(3) 引用误差(又称满度相对误差)。检测系统测量值的绝对误差 Δx 与系统量程 L 之比值，称为检测系统测量值的引用误差 γ，引用误差 γ 通常仍以百分数表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{L} \times 100\% \tag{3-5}$$

与相对误差相比，在 γ 的表示式中用量程 L 代替了真值 X_0，使用起来虽然方便，但引用误差的分子仍为绝对误差 Δx；当测量值为检测系统测量范围的不同数值时，各示值的绝对误差 Δx 也可能不同。因此，即使是同一检测系统，其测量范围内的不同示值处的引用误差也不一定相同。为此，可以取引用误差的最大值，既能克服上述不足，又更好地说明了检测系统的测量精度。

(4) 最大引用误差(或满度最大引用误差)。在规定的工作条件下，当被测量平稳增加或减少时，在检测系统全量程所有测量值引用误差(绝对值)的最大者，或者说所有测量值中最大绝对误差(绝对值)与量程的比值的百分数，称为该系统的最大引用误差，由符号 γ_{max} 表示

$$\gamma_{max} = \frac{|\Delta x|}{L} \times 100\% \tag{3-6}$$

通常用最大引用误差来表述检测系统的准确度。它是根据技术条件的要求，规定检测系统的误差不应超过的最大范围。

2. 误差分类

根据测量误差的性质(或出现的规律)、产生测量误差的原因，可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

(1) 系统误差。在相同条件下，多次重复测量同一被测参量时，其测量误差的大小和符号保持不变，或在条件改变时，误差按某一确定的规律变化，这种测量误差称为系统误差。

系统误差产生的原因大体上有：测量所用的工具(仪器、量具等)本身性能不完善或安装、布置、调整不当而产生的误差；在测量过程中因温度、湿度、气压、电磁干扰等环境条件发生变化所产生的误差；因测量方法不完善，或者测量所依据的理论本身不完善等原因所产生的误差；因操作人员视读方式不当造成的读数误差等。总之，系统误差的特征是测量误差出现的有规律性和产生原因的可知性，系统误差产生的原因和变化规律一般可以通过实验和分析查出。因此，系统误差可被设法确定并消除。

测量结果的准确度由系统误差来表征，系统误差越小，则表明测量准确度越高。

(2) 随机误差。在相同条件下多次重复测量同一被测参量时，测量误差的大小与符号均无规律变化，这类误差称为随机误差。随机误差主要是由于检测仪器或测量过程中某些未知或无法控制的随机因素(如仪器某些元器件性能不稳定，外界温度、湿度变化，空中电磁波扰动，电网的畸变与波动等)综合作用的结果，随机误差的

变化通常难以预测，因此也无法通过实验方法确定、修正和消除，但是通过足够多的测量比较可以发现随机误差服从某种统计规律（如正态分布、均匀分布、辛普松分布等）。

通常用精密度表征随机误差的大小。精密度越低，随机误差越大；反之，精密度越高，随机误差越小。

（3）粗大误差。粗大误差是指明显超出规定条件下预期的误差。其特点是误差数值大，明显歪曲了测量结果。粗大误差一般由外界重大干扰或仪器故障或不正确的操作等引起，存在粗大误差的测量值称为异常值或坏值，一般容易发现，发现后应立即剔除。也就是说，正常的测量数据应是剔除了粗大误差的数据，所以我们通常研究的测量结果误差中仅包含系统和随机两类误差。

由于在任何一次测量中，系统误差与随机误差一般都同时存在，所以常按其对测量结果的影响程度分三种情况来处理：系统误差远大于随机误差时，此时仅按系统误差处理；系统误差很小，已经校正，则可仅按随机误差处理；系统误差和随机误差不多时应分别按不同方法来处理。

3. 测量误差抑制或消除措施

在实际测量的过程中，会有许多因素产生测量误差。为了减少或消除误差，应分析产生误差的主要原因，采取相应的措施。一般常采用的措施如下：

（1）要按测量的要求，合理选择要求的测试仪器（包括准确度、特性指标等）；对测试仪表进行定期校准，并给出修正值；特别注意测试仪表的输入阻抗、频带等指标对测量结果的影响，这样可以减少或消除测试仪器带来的系统误差。

（2）选择合适的测量方法，正确估计方法误差的影响。

（3）对同一测量对象进行多次测量，取其平均值代表测量值，可以减少或消除随机误差。

（4）测量者要严格执行操作规程，测量过程中要认真观察、认真记录、严格按仪器说明书的要求进行仪器预热、仪表调零等，以免产生粗大误差。

3.2　测量有效数字

在实验过程中，既要记录数据，又要进行数据的运算，记录时应取几位数字，运算后应保留几位数字，这在实验数据的处理中是一个十分重要的问题。不能认为一个数据中，小数点后面的位数越多，这个数据就越准确；也不能认为计算测量结果中，保留的位数越多，准确度就越高。因为，一个数据不仅是位数多少的问题，还与测量误差大小直接有关。

1. 有效数字概念

正确而有效地表示测量和实验结果的数字，叫做有效数字。它由若干位准确数

字和一位欠准数字组成，是指从数据的左边第一个非零数字开始至右边最后一个数字为止所包含的所有数字。有效数字中最后一位数字虽然是欠准的，即存在误差，但它从一定程度上反映了测量值的准确程度，因此也是有效的。例如，测得信号的电压为0.345V，它是由3、4、5三个有效数字表示的，其左边的一个0不是有效数字，因为可通过单位变换，将这个数写成345mV。其末位数字“5”，是在测量中估计出来的，是欠准数字。该数据共有3位有效位数。

2. 有效数字的运算

有效数字经运算后的位数，应根据误差所在的位置确定，即欠准数字的位置和绝对误差所在的位置一致。在不知道误差的大小时，可根据有效数字的运算规则舍取有效位数。

运算规则包括：

(1) 准确数字之间的四则运算结果为准确数字；准确数字和欠准数字或欠准数字之间的运算结果为欠准数字，但运算进位的数字可以是准确数字。

具体来说，几个数相加减时，结果的有效数字在小数点以后的位数和参与运算的各数中小数点以后位数最少的相同；几个数相乘除时，结果的有效位数和参与运算的各数中有效数字位数最少的相同。

对于乘法运算，结果有时可多保留一位，除法运算有时可少保留一位，以便防止在多次运算过程中因舍取而带来附加误差。

(2) 在运算途中应暂时多保留一位，但运算到最后仍只取一位欠准数字，去掉第二位欠准数字时用四舍五入法。

例3.1：$2.1475+3.2945+0.025+4.305$。

应首先进行变换：$2.148+3.295+0.025+4.305$

得结果为9.773。

例3.2：$2.1475\times3.2945\times0.025\times4.305$。

应首先进行变换：$2.1\times3.3\times0.025\times4.3$

得结果为0.74。

说明：如果乘法运算，有效数字位数最少数据的第一位数是8或9，则其他数据的有效位数应多记一位。

3.3 实验数据的记录

在实验过程中，对测量结果的数字记录有严格的要求，在测量中判断哪些数应该记或不该记，标准是误差。有误差的那位数字之前的各位数字都是可靠数字，均应记；有误差的那位数字为欠准数，也应记；而有误差的那位数字后面的各位数字都是不确定的，是无意义的，都不应该记。因此，从第一位非零数字起到那位欠准数字止的所有各位数字都为有效数字。

例如，测量一个电阻，记录其值为10.43Ω，其中1、0、4、3是四位有效数字。又如测量一个电压，记录其值为0.0063V，只有6、3两位为有效数字。再如，测量一电流，记录其值为1000mA，是四位有效数字，若以A为单位记录此数，应记为1.000A，不能写为1A。

用有效数字记录测量结果时应注意以下几点：

(1) 用有效数字来表示测量结果时，可以从有效数字的位数估计测量的误差。一般规定误差不超过有效数字末位单位数字的一半。例如，测量结果记为1.000A，小数点后三位为末位有效数字，其单位数字为0.001A，单位数字的一半即0.0005A，测量误差可能为正或负，所以1.000A这一记法表示测量误差为±0.0005A。由此可见，记录测量的结果有严格的要求，不要少记有效数字位数，少记会带来附加误差；也不能多记有效位数，多记夸大了测量精度。

(2) 有效数字不能因为采用的单位不同而增或减，如1.000A，用mA为单位，则记为1000mA，两者均为四位有效数字；又如，有一测量结果记为1A，它是一位有效数字，若欲用mA为单位，不能记为1000mA，因为1000是四位有效数字，这样记夸大了测量精度，这时应记为1×10^3mA，它仍是一位有效数字；再如，一个记录数字为$13.5\times10^5\Omega$，它表示有三位有效数字，若用kΩ为单位，应记为13.5×10^2kΩ，不能记为1350kΩ。总之，单位变化时，有效位数不应变化。

在实验中记录有效数字时应遵循如下规定：

(1) 应只保留一位欠准数字。

(2) 有效数字的位数与小数点无关。

(3) “0”在数字之间或数字之末算作有效数字。

(4) 大数值与小数值为保证有效位数，要用幂的乘积形式来表示。

(5) 表示误差时，一般只取一位有效数字，最多取两位。如±1%，±2.5%等。

例如，用一块0.5级的电压表的100V量程进行测量，指示值为94.35V，试确定有效数字的位数。

该量程的最大绝对误差为

$$\Delta x = \pm 100 \times 0.5\% = \pm 0.5\text{V}$$

可见，示值范围为93.85V～94.85V，因为误差是0.5V，所以此数据的末位数应为整数，又因为末尾的0.35<0.5V，所以，不标注误差的数值应为94V。一般习惯是结果数据的末位与绝对误差对齐，因此结果可写成94.4V。

3.4 实验数据处理的基本方法

1. 数据处理的基本方法分类

实验数据的处理方法通常有方程法、列表法、图示法三种。

方程法是由实验数据总结出各量之间的函数关系，并用方程式(公式)表示这种

关系。这一方程式常称为经验公式，全部测量数据点都应基本满足此经验公式。

在很多情况下，检测系统的输入输出关系很难用一个解析函数表示，或者没有必要得出函数表达式，例如热敏电阻在宽温范围内的特性曲线。此时，常常用列表法和图示法进行数据处理。

列表法是把一组实验数据按一定顺序一一对应地列出来，这样形成的数据表格简单明了，易于寻找规律，所以是实验中常使用的一种方法。

图示法是依据实验数据将检测系统输出量与被测量之间的关系绘制成曲线。用曲线表示比较直观形象，能够显示出数据的最大值、最小值、转折点、周期性等，还可以从中总结出经验公式，所以图示法是应用最多的一种方法。

2. 图示法处理

(1) 选用合适的坐标纸、确定坐标轴，把实验数据记录表中的有效数据标注在坐标系中。

(2) 从包含各种测量误差的数据中确定出一条较理想的平滑曲线。

由于各种误差的影响，测量数据将出现离散现象。如果将各数据点依次连接起来所构成的曲线将呈现出折线状，不是一条光滑的曲线。由多段折线段构成的曲线不能真实地反映各物理量之间的准确关系，因此就需要从包含各种测量误差的数据中确定出一条较理想的平滑曲线。

(3) 为了保证所绘制的曲线能正确地反映测量的精度，对测量点的数目及分布应有一定的要求。

对于测量数据变化较大处，x 轴的间隔应加密一些，以更好地显示曲线的细节；对于个别离群数据点，应在离群数据点及附近补做测量，以确定离群数据点是粗大误差还是测量点数过于粗略造成的。

(4) 当坐标变量变化很宽时，往往采用对数坐标以压缩图幅。

3. 数据处理的注意点

(1) 在实验前进行预习，预估测量数据的规律，做到心中有数，可以分析实验数据的可靠性。

(2) 如果时间允许，每个参数多测量几遍，以便判断出实验中误差产生的原因，提高测量的准确性。

(3) 在测量中，可以根据实验误差的要求，预先确定测量数据应该保留的小数位数，不能过多，也不能过少，以免增大实验误差或者夸大测量的精确度。

(4) 正确估价方法误差的影响，对于检测技术中的许多公式是近似公式，这将带来方法误差。

(5) 应注意剔除粗大误差。在实验中，诸如仪器没有校准、没有调零、对弱信号引线过长、没有使用屏蔽线等都会带来较大的误差，在数据处理中，应该注意找出那些误差过大的数据予以剔除，尽量使测量结果更加准确一些。

3.5　检测系统主要特性测定与性能指标计算

检测系统的主要特性可分为静态特性和动态特性，对于被测参量为静态量或准静态量，采用检测系统的静态特性参数来表示、分析和处理；对于被测量为动态量，需采用检测系统的动态特性来表示、分析和处理。

系统的静态、动态特性，是通过对检测系统施加各种激励信号，分析其响应，进而测定系统的主要技术指标。一般情况下，检测系统的静态特性与动态特性是相互关联的，如检测系统的静态特性会影响动态条件下的测量。但为便于分析讨论，通常把静态特性与动态特性分开讨论，如把造成动态误差的非线性因素作为静态特性处理，或在列运动方程时，忽略非线性因素，简化为线性微分方程。这样可使许多非常复杂的非线性工程测量问题大大简化，虽然会因此而增加一定的误差，但是绝大多数情况下此项误差与测量结果中含有的其他误差相比都是可以忽略的。

1. 检测系统的实际静态特性曲线的测定

在静态标准条件下，采用更高精度等级（其测量允许误差小于被校检测系统允许误差的 1/3）的标准设备，同时对同一输入量进行对比测量，重复多次（不少于 3 次）进行全量程逐级地加载和卸载测量，全量程的逐级加载是指输入值从最小值逐渐等间隔地加大到满量程值；逐级卸载是指输入值从满量程值逐渐等间隔地减小到最小值。加载测量又称为正行程或进程，卸载测量称为反行程或回程。进行一次逐级加载和卸载就可以得到一条与输入值相对应的输出信号的记录曲线，此曲线即为校准曲线。

一般用多次校准曲线的平均值作为其静态特性曲线，将校准所得的一系列输入 x_i、输出 $y(x_i)$ 数据进行拟合，得到该被校检测系统的具体静态特性方程。经处理后获得被校检测系统全量程的一系列输入输出数据，并据此绘制出的曲线称为检测系统的实际静态校准曲线，也称为实际静态特性曲线。由实测确定检测系统输入和输出关系的过程称为静态校准或静态标定。

在对检测系统进行静态特性标定、测量时应满足一般静态校准的环境条件：环境温度（20±5）℃，湿度不大于 85%，大气压力为（101.3±8）kPa，没有振动和冲击等，否则将影响校准的准确度。

2. 主要静态性能指标的计算

衡量检测系统静态特性的主要参数是指测量范围、精度等级、灵敏度、线性度、滞环、重复性、分辨力、灵敏限、可靠性等。

（1）测量范围

每个用于测量的检测仪器都有其确定的测量范围，它是检测仪器按规定的精度对被测变量进行测量的允许范围。测量范围的最小值和最大值分别称为测量下限

和测量上限，简称下限和上限。量程可以用来表示其测量范围的大小，用其测量上限值与下限值的代数差来表示，即

$$量程 = | 测量上限值 - 测量下限值 | \tag{3-7}$$

(2) 灵敏度

灵敏度是指测量系统在静态测量时，输出量的增量与输入量的增量之比，即

$$S = \lim_{\Delta x \to 0}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} \tag{3-8}$$

对线性测量系统来说，灵敏度为

$$S = \frac{y}{x} = K = \frac{m_y}{m_x}\tan\theta \tag{3-9}$$

亦即线性测量系统的灵敏度是常数，可由静态特性曲线（直线）的斜率来求得，如图 3-1(a)所示。式中，m_y、m_x 为 y 和 x 轴的比例尺；θ 为相应点切线与 x 轴间的夹角。非线性测量系统的灵敏度是变化的，如图 3-1(b)所示。

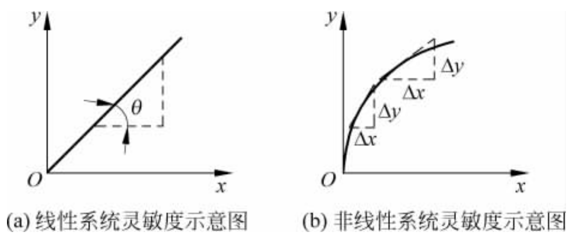

图 3-1 灵敏度示意图

对非线性测量系统来说，其灵敏度由静态特性曲线上各点的斜率来决定。

灵敏度的量纲是输出量的量纲和输入量的量纲之比。

(3) 线性度

线性度通常也称为非线性，理想的测量系统，其静态特性曲线是一条直线。但实际测量系统的输入与输出曲线并不是一条理想的直线。线性度就是反映测量系统实际输出输入关系曲线与据此拟合的理想直线 $y(x)=a_0+a_1x$ 的偏离程度。通常用最大非线性引用误差来表示，即

$$\delta_{\mathrm{L}} = \frac{|\Delta L_{\max}|}{Y_{\mathrm{FS}}} \times 100\% \tag{3-10}$$

式中，δ_{L} 为线性度；$\Delta L_{\max}$为校准曲线与拟合直线之间的最大偏差；Y_{FS}为以拟合直线方程计算得到的满量程输出值。

由于最大偏差 $\Delta L_{\max}$是以拟合直线为基准计算的，因此拟合直线确定的方法不同，则 $\Delta L_{\max}$不同，测量系统线性度 δ_{L} 也不同。所以，在表示线性度时应注意要同时说明具体采用的拟合方法。选择拟合直线，通常以全量程多数测量点的非线性误差都相对较小的为佳，实际工程中多采用理论线性度和最小二乘法线性度。

① 理论线性度及其拟合直线。理论线性度也称绝对线性度，它以测量系统静态理想特性 $y(x)=kx$ 作为拟合直线，如图 3-2 中的直线 1(曲线 2 为系统全量程多次

重复测量平均后获得的实际输出输入关系曲线；曲线 3 为系统全量程多次重复测量平均后获得的实际测量数据，采用最小二乘法方法拟合得到的直线)。此方法优点是简单、方便和直观；缺点是多数测量点的非线性误差相对都较大(ΔL_1 为该直线与实际曲线在某点的偏差值)。

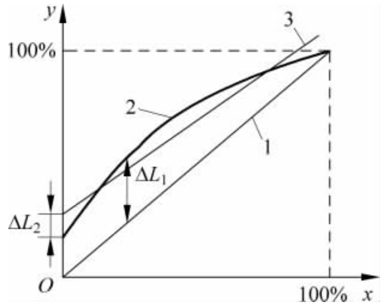

图 3-2　最小二乘和理论线性度及其拟合直线

② 最小二乘线性度及其拟合直线。最小二乘法方法拟合直线方程为 $y(x)=a_0+a_1x$，如何科学、合理地确定系数 a_0 和 a_1 是解决问题的关键。设测量系统实际输出输入关系曲线上某点的输入、输出分别为 x_i、y_i，在输入同为 x_i 情况下，最小二乘法拟合直线上得到输出值为 $y(x_i)=a_0+a_1x_i$，两者的偏差为

$$\Delta L_i = y(x_i) - y_i = (a_0 + a_1x_i) - y_i \tag{3-11}$$

最小二乘拟合直线的原则是使确定的 N 个特征测量点的均方差为最小值，因

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta L_i^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[(a_0 + a_1x_i) - y_i]^2 = f(a_0,a_1) \tag{3-12}$$

因此必有 $f(a_0,a_1)$对 a_0 和 a_1 的偏导数为零，即

$$\begin{aligned}\frac{\partial f(a_0,a_1)}{\partial a_0} &= 0\\ \frac{\partial f(a_0,a_1)}{\partial a_1} &= 0\end{aligned} \tag{3-13}$$

把 $f(a_0,a_1)$的表达式代入上述两方程，整理可得到关于最小二乘拟合直线的待定系数 a_0 和 a_1 的两个表达式

$$a_0 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N}x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^{N}y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N}x_iy_i\right)}{N\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)^2} \tag{3-14}$$

$$a_1 = \frac{N\sum_{i=1}^{N}x_iy_i - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N}y_i\right)}{N\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)^2} \tag{3-15}$$

(4) 迟滞

迟滞，又称滞环，它说明检测系统的正向(输入量增大)和反向(输入量减少)输

入时输出特性的不一致程度，亦即对应于同一大小的输入信号，检测系统在正、反行程时的输出信号的数值不相等程度，如图 3-3 所示。

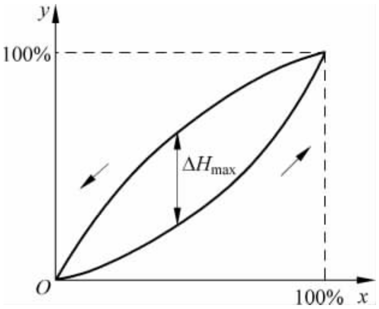

图 3-3 迟滞特性示意图

迟滞误差通常用最大迟滞引用误差来表示，即

$$\delta_H = \frac{\Delta H_{max}}{Y_{FS}} \times 100\% \tag{3-16}$$

式中，δ_H 为最大迟滞引用误差；ΔH_{max}为（输入量相同时）正反行程输出之间的最大绝对偏差；Y_{FS}为测量系统满量程值。

在多次重复测量时，应以正反程输出量平均值间的最大迟滞差值来计算。迟滞误差通常是由于弹性元件、磁性元件以及摩擦、间隙等原因所引起的，一般需通过具体实测才能确定。

（5）重复性

重复性表示检测系统在输入量按同一方向（同为正行程或同为反行程）作全量程连续多次变动时所得特性曲线的不一致程度，如图 3-4 所示。

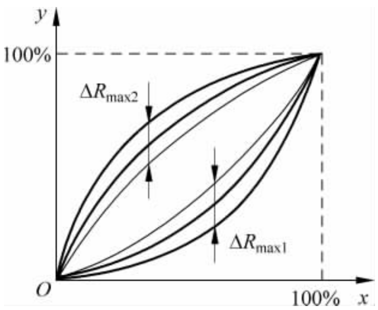

图 3-4 检测系统重复性示意图

特性曲线一致好，重复性就好，误差也小。重复性误差是属于随机误差性质的，测量数据的离散程度是与随机误差的精密度相关的，因此应该根据标准偏差来计算重复性指标。重复性误差 δ_R 为

$$\delta_R = \frac{z\sigma_{max}}{Y_{FS}} \times 100\% \tag{3-17}$$

式中，δ_R 为重复性误差；z 为置信系数，对正态分布，当 z 取 2 时，置信概率为 95%，z

取 3 时，概率为 99.73%，对测量点和样本数较少时，可按 t 分布表选取所需置信概率所对应的置信系数；$\sigma_{\max}$为正、反向各测量点标准偏差的最大值；Y_{FS}为测量系统满量程值。式中标准偏差 $\sigma_{\max}$的计算方法可按贝塞尔公式计算，按贝塞尔公式计算，通常应先算出各个校准级上的正、反行程的子样标准偏差，即

$$\sigma_{zj}=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_{zi}-y_{zj})^2} \tag{3-18}$$

$$\sigma_{Fj}=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_{Fi}-y_{Fj})^2} \tag{3-19}$$

式中，σ_{zj}、σ_{Fj}为第 j 次测量正行程和反行程测量数据的子样标准偏差（$j=1,2,\cdots,m$）；y_{zi}、y_{Fi}为第 j 次测量上正行程和反行程的第 i 个测量数据（$i=1,2,\cdots,n$）；$\overline{y}_{zj}$、$\overline{y}_{Fj}$为第 j 次测量上正行程和反行程测量数据的算术平均值。

取上述 σ_{zj}、σ_{Fj}（正反行程 σ 共 $2m$ 个测量点）中的最大值 $\sigma_{\max}$及所选置信系数和量程便可得到测量系统的重复性误差 δ_R。

（6）分辨力

能引起输出量发生变化时输入量的最小变化量称为检测系统的分辨力，许多测量系统在全量程范围内各测量点的分辨力并不相同，为统一，常用全量程中能引起输出变化的各点最小输入量中的最大值 $\Delta X_{\max}$相对满量程输出值的百分数来表示系统的分辨力，即

$$k=\frac{\Delta X_{\max}}{Y_{FS}} \tag{3-20}$$

（7）死区

死区又叫失灵区、钝感区、阈值等，它指检测系统在量程零点（或起始点）处能引起输出量发生变化的最小输入量。