

石油计量及检测技术 概论

主 编 王文良

副主编 任桂山 宋永泰 史明义 王 山



石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对油田计量及检测技术所涉及的计量基础知识、误差理论与误差分析、流量计、传感器、调节与执行机构、自动计量系统等展开阐述和探讨。

本书内容丰富,可操作性强,适合从事计量及检定工作的技术人员和大专院校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

石油计量及检测技术概论/王文良主编.

北京:石油工业出版社,2009.1

ISBN 978-7-5021-6878-0

I. 石…

II. 王…

III. ① 石油-计量-概论

② 石油-检测-概论

IV. TE863.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 183225 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523541 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15

字数:378 千字

定价:50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前言

计量作为动名词亦属广义范畴,几乎贯穿了人类发展的整个历程。而计量发展史则是与社会进步紧密联系在一起,是人类文明史的一个重要组成部分。

远古人类在观察自然的同时,不断发现各种自然现象的一般规律,如族群人数的多少、河流的宽窄、树木的高低等,开始这些认识仅仅局限于模糊的比较,当经过长期的思维积淀和经验积累后,逐渐产生了“量”的概念。这种以“量”概念描述物体自然形态的做法是人类发展史上极为重要的里程碑,它标志着人类对自然事物的描述已从定性比较逐步过渡到准确定量。为了更准确地阐明“量”的大小,人类发明了“数”,从狭义上说“数”作为单体就是“计”。

远古人类在“量”的基础上,开始有目的地计算所打的猎物或生产的谷物以及因战争所获的战利品,能否够个人、家庭、部落一段时间内的生活用度,这个阶段是计量产生的初始阶段。随着社会进步和物质的不断丰富,计量范畴渐趋扩大。

商、周及战国时期,各诸侯国分别诞生了以国界为区别的度、量、衡制度,使计量逐步走上了法制化轨道。但由于国情和习惯上的不同,度、量、衡的量值标准也不同,给以后日渐繁荣的民间交换或国家之间的贸易交换带来了诸多不便。秦始皇兼并六国入主华夏后,所做的重大贡献之一就是统一度、量、衡,它为贸易交换的公平性奠定了可靠基础。两千多年来因朝代更迭,度、量、衡在单位制(度)或衡(法规和标准计量器具)上虽有变动,但基本计量方法则延续至今。

“量”通常可分可“数”的量和可“测”的量。可“数”的量可通过“计”来得到,如一个箱里有多少个篮球,这种“量”除非“计”错一般不会产生其他结果。而可“测”的量是通过器具或仪表进行检测才能得到结果,这种结果往往带有不可预测的误差。如原油输送过程中的仪表计量因流量计本身的固有误差或其他随机误差而造成的结果误差等。

“量”由数值和计量单位组成,如某油品的油温是 16.4°C ,这里的“16.4”指的是数值,而“ $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度)”则表示计量单位。只有同计量单位的“量”才能比较大小,如 12.8kg 和 19.9kg 相比,前者比后者小。因此若对计量单位不同的“量”进行比较,在实际上是毫无意义的。

现实生活中,我们所接触到的都是混合物的计量过程,而纯净物质计量是不存在的,如购买 5kg 食用油、 2kg 肉类等,其中都包含着少量水和其他物质,也就是说,在购买上述物品的同时也购进了属性不同的东西,单纯强调单一属性计量是不可取的。

随着现代工业的飞速发展,人们对计量的要求越来越高,对检测技术的研究也在不断深入,检测方法和仪表种类越来越多。由于被检测量种类繁多,物性参数和状态参数差异极大,每种测量方法和仪表只能适用一种或一类物理量在特定条件下的测量。世界上不存在一种能适应各种工况条件又能准确测量各种物理量的检测仪表,各种仪表都有其适用范围和局限性。

石油领域尤其在开发系统中,计量的对象主要是油、气、水。气、水两相介质单一,经适当分离并各自计量,在一定误差范围内可以得到满意的计量结果。但油井产出的是混合相流体,

组分相当复杂,其中包括碳氢化合物(原油,天然气)、矿化水、砾石、沙、蜡等多种成分。就目前世界上可能有的无论采用何种测量原理的流量仪表,都不可能单独识别或描述其中某一相介质的真实量值。换句话说,对于混合相流体任何仪表都不能直接测量其中的某一相,而只能间接测量,这在一定程度上加大了原油计量难度。

油田计量及检测技术是油田生产管理和内外交接的基础。被检测量主要是油、气、水以及储罐的液位等,与日常生活不同的是,由于经济利益强烈,交接双方都力求计量的准确度和介质的单一性,所以其过程必须严肃,结果必须准确。

本书针对油田计量及检测技术所包括的计量基础知识、误差理论与误差分析、流量计、传感器等展开阐述和探讨。

目 录

第一部分 基础知识引论

第一章 误差和误差分析	(3)
第一节 误差分析基础	(3)
第二节 误差分类及分析	(8)
第三节 随机误差分析	(11)
第四节 测量不确定度	(14)
第二章 流量检测基础知识	(18)
第一节 流量检测基本概念	(18)
第二节 流体物性参数	(19)
第三节 流体基础知识	(22)
第三章 油田计量技术	(28)
第一节 油井计量	(28)
第二节 原油静态计量	(35)
第三节 原油动态计量	(37)

第二部分 流量检测

第四章 流量仪表	(45)
第一节 计量仪表分类(流量计)	(45)
第二节 流量仪表测量特性	(46)
第五章 容积式流量计	(50)
第一节 测量原理	(50)
第二节 容积式流量计特性分析	(51)
第三节 其他物理参数对误差特性的影响	(53)
第六章 差压流量计	(55)
第一节 差压流量计测量原理	(55)
第二节 节流装置的结构	(59)
第三节 差压计和差压变送器	(62)
第四节 其他差压流量计	(66)
第七章 叶轮式流量计	(70)
第一节 涡轮式流量计结构及原理	(70)

第二节	涡轮流量计数学模型	(71)
第三节	涡轮流量计特性分析	(74)
第八章	电磁流量计	(77)
第一节	电磁流量计测量原理	(77)
第二节	电磁流量计结构	(81)
第三节	电磁转换器	(83)
第九章	旋涡流量计	(85)
第一节	旋涡流量计测量原理	(85)
第二节	涡街流量计结构	(88)
第三节	信号采集及检测方法	(90)
第四节	涡街流量计对流体适应性	(91)
第五节	旋进旋涡流量计对流体的适应性	(92)
第十章	超声波流量计	(95)
第一节	超声波流量计测量原理	(95)
第二节	超声波流量计流量信号测取方法	(100)
第三节	超声波声道布置方法及安装要求	(103)
第十一章	质量流量计	(106)
第一节	直接式质量流量计	(106)
第二节	热式质量流量计	(111)
第三节	间接式质量流量计	(116)
第十二章	其他流量仪表	(119)
第一节	插入式流量计	(119)
第二节	靶式流量计	(121)
第三节	核磁共振流量计	(124)
第四节	相关流量计	(126)

第三部分 传感器及过程参数检测

第十三章	过程参数检测基础知识	(131)
第一节	过程参数检测系统的一般知识	(131)
第二节	传感器	(132)
第十四章	电阻传感器	(135)
第一节	电阻应变原理及应变片	(135)
第二节	转换电路原理及应用	(137)
第三节	热电阻传感器	(142)
第四节	气敏电阻传感器	(145)
第十五章	电感传感器	(148)
第一节	自感式传感器	(148)

第二节	差动电感传感器	(150)
第三节	差动变压器式传感器	(151)
第十六章	电涡流式传感器	(156)
第一节	电涡流效应及其他	(156)
第二节	电涡流传感器的实际应用	(160)
第十七章	压电式传感器	(163)
第一节	压电传感器原理	(163)
第二节	压电传感器测量转换电路	(164)
第三节	压电传感器应用	(165)
第十八章	热电偶传感器	(168)
第一节	温度测量基本概念	(168)
第二节	热电偶传感器工作原理	(169)
第三节	热电偶的结构	(171)
第四节	热电偶的实际应用和配套仪表	(174)
第十九章	电容式传感器	(176)
第一节	电容传感器结构及工作原理	(176)
第二节	电容传感器测量转换电路	(179)
第三节	电容传感器的应用	(180)
第二十章	超声波传感器	(185)
第一节	声波概念	(185)
第二节	超声波换能器	(189)
第三节	超声波传感器应用	(191)
第二十一章	光电传感器	(195)
第一节	光电效应与光电元件	(195)
第二节	光电传感器的应用	(201)
第三节	光电开关及应用	(205)
第二十二章	磁性传感器	(207)
第一节	磁性伸缩效应及应用	(207)
第二节	磁敏传感器及应用	(210)
第二十三章	光纤传感器	(215)
第一节	光纤的基础知识	(215)
第二节	光纤传感器分类	(217)
第三节	光纤传感器的应用	(219)
第二十四章	集成温度和霍尔传感器	(223)
第一节	集成温度传感器的测温原理及应用	(223)
第二节	霍尔传感器	(226)
第三节	霍尔集成电路	(228)

第一部分 基础知识引论

第一章 误差和误差分析

测量过程中,由于测量手段、环境、人员素质以及测量方法等因素的制约,平行多次测量结果各不相同。另外,我们知道“真值”在具体实践中具有不确定性,每次测量结果,误差的存在是人们必须承认的公理。随着科学技术的提高、测量手段的进步、经验、技巧以及专业知识的逐渐丰富,误差可以被控制的越来越小,但却无法彻底消除,或者说,无法将误差降低为零。

第一节 误差分析基础

人们对某一物理量或参数进行检测时,首先要借助检测手段取得检测数据,然后对数据进行处理、归纳,最后得出检测结果。误差分析必须在检测结果的基础上进行。

一、测量结果和真值

由测量而得到的赋予被测量的值称为测量结果。真值一般则解释为“在特定条件下,某量的实际值”,它在客观世界是真实存在的,实践上却通常不确知,但有些真值在人为约定下则认为是已知的,如:

(1)平面三角内角和恒为 180° ;

(2)数值自身之比恒为 1 或自身之差恒为 0;

(3)当用高一标准器具检定一般仪器、仪表时,前者的特定值可约定为后者的相对真值;

(4)人为对某物理量赋值,并得到公认。

上述这些都可被表述成人为公理,在实践中可以替代真值。

二、误差公理

误差始终存在于一切检测和测量过程中,检测或计量结果必然包括真值和误差两个因子,不含误差的检测或计量结果是无意义的,这就是误差公理。

任何测量过程,无论测量手段多精确,测量态度多认真,测量方法多合理,测量人员素质多高,其测量结果或大或小都存在误差。其中最重要的原因是,尽管真值是客观存在的,但在实际测量中却无法得到,试想没有真值(基准值)的任何计算或测量结果必然是一近似值。而近似值和真值之间必然存在误差。

三、测量结果和对比结果的差别

测量结果在数学中严格定义为必然包含两个因子,即真值和误差,它是在被测物理量已被人为赋值情况下的数学结果。

对比结果则是不知被测物理量已被人为赋值情况下的数学结果。

通常对物理量进行测量,如储油罐的高度测量,当不知确切高度时,用标准卷尺测量出的数值,可认为不存在误差,显然与测量结果的数学定义相悖,所以说,这种结果只能说是对比结果。

实践中进行的一切测量和检测,其结果大都是人为赋值的两物理量的对比结果,当无歧义时,不必分测量与对比结果,均可称为测量结果。

四、误差定义和误差表示法

误差被定义为单次测量结果 x 与真值 μ_0 之差的绝对值,用 $|\varepsilon|$ 表示,其表达式为

$$|\varepsilon| = x - \mu_0 \quad (1-1)$$

1. 绝对误差

绝对误差与误差的实践概念相同,也是单次测量结果 x 与真值 μ_0 的差值。但不同的是,绝对误差在数学上定义为自然值。当测量结果大于真值时,绝对误差为正值,反之为负值,其表达式为:

$$\pm \varepsilon = x - \mu_0 \quad (1-2)$$

2. 相对误差

相对误差是指绝对误差与真值的比值再乘以百分号,用 E_r 表示,其表达式为:

$$E_r = \frac{\pm \varepsilon}{\mu_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

从式(1-3)可看出,当绝对误差相等时,对于不同真值,其相对误差不同,真值越大相对误差越小。如用同一把卷尺分别测量标称高度为 5m 和 10m 的原油储罐,测量结果分别为 5.01m 和 10.01m,当采用(1-2)式可求得绝对误差均为 +0.01m;若按(1-3)式可求得相对误差分别为 0.2% 和 0.1%,也就是说,绝对误差泛指测量结果与真值的差值,不能很好表述测量结果的准确度,所以在实践中往往习惯采用相对误差来描述测量结果的准确度。

3. 引用误差

引用误差(E_y)是指测量仪器的绝对误差 $\pm \varepsilon_c$ 与测量仪器特定值 T 之间的比值再乘以百分号,即:

$$E_y = \frac{\pm \varepsilon_c}{T} \times 100\% \quad (1-4)$$

式(1-4)中,所谓测量仪器绝对误差是指仪器测量结果(或称视值,即仪器指示值)减去真值后的结果。特定值一般称为引用值,它可以是测量仪器量程范围某一段上下限之差的模,也可以是测量仪器整个量程范围上下限之差的模。一般来讲,仪器给出的偏差等级若为 $s\%$,仅能说明该仪器最大引用误差不会超过 $s\%$ 。也可以认为它在任意分度线(刻度线)上,引用误差不会超过 $s\%$,但并不是指在每一分度线上,引用误差均为 $s\%$,这可从(1-4)式中看出。当测量仪器的绝对误差相同时,由于特定值不同引用误差也不同。为了求取最小引用误差,当采用仪表测量时,尽可能在仪表上限处或 $2/3$ 量程以上测量。另外,要根据被测量大小,合理选择仪表。

当绝对误差 $\pm \varepsilon$ 与测量仪器的绝对误差 $\pm \varepsilon_0$ 相等时,可将式(1-3)和(1-4)合并整理,得:

$$\frac{E_r}{E_y} = \frac{\frac{\pm \varepsilon}{\mu_0} \times 100\%}{\frac{\pm \varepsilon_0}{T} \times 100\%} \quad E_r = \frac{T}{\mu_0} \cdot E_y \quad (1-5)$$

【例1】某条输油管线每小时流量约为 200m^3 , 现有 0.2 级 $30 \sim 300\text{m}^3$ 和 0.1 级 $50 \sim 750\text{m}^3$ 两台流量计,问选择哪台为好?

当选择 0.2 级 $30 \sim 300\text{m}^3$ 流量计时,相对误差为

$$300/200 \times 0.2\% = 0.3\%$$

当选择 0.1 级 $50 \sim 750\text{m}^3$ 流量计时,相对误差为

$$750/200 \times 0.1\% = 0.375\%$$

因此选择前一个较好。

比较计算结果不难发现,若流量范围选择合理,采用低级别流量计时,相对误差反而小。

一般仪表出厂前应进行分段标定,即下限、中限、上限三段标定。每段通过规定的有限次测量,按贝塞尔公式求出各段的样本标准偏差 S (或称修正系数),选择最高的作为出厂准确度等级。这样可保证出厂后的仪表最大引用误差不会超过 $s\%$ 。

智能仪表因配装有数据自动处理单元,出厂前可按要求可分三段或多段标定,每段通过规定的有限次测量,按贝塞尔公式求出各段样本标准偏差 S_i ,存入数据存储器,测量时按流量范围分段读出对应值,采用数据平滑技术进行测量结果修正。

智能仪表和一般仪表相比,后者因结构限制,只能对误差进行粗线条修正。而智能仪表从理论上可以做到无限制多区段误差修正,其准确度大大超过一般仪表。

五、几个统计概念和数学定义

1. 概念

1) 总体、个体和样本

研究对象的所有特征值集合表述为总体,也称母体。组成总体的每一个特征值或每一个元素称为个体。

测量过程中,针对原油储罐内的某一液位进行测量,多次平行测量结果 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 所组成的数列也是总体,其中每一测量结果则为个体。不同的液位在统计学上称为不同的特征值,且有一个总体[平行测量结果 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$]与之对应,有多少特征值就有多少总体。

从总体中随机抽取两个或两个以上但不包括全部个体而形成的个体集合称为样本,也称子样。样本中所含个体的数量成为样本容量。

在实际工作中,人们要了解的是总体的某些特性,但一般仅能掌握的则是一个或几个样本(一组或几组测量值),这就需要根据样本所能提供的统计信息对总体做出科学推断。为使样本具有代表性,抽取样本时必须遵循以下原则:

(1) 总体中的每一个体均具同等地位,没有任何理由抽取这个,不抽取那个。

(2) 抽取的个体是互相独立的,即抽取的个体不影响其他个体的抽取,也不受其他个体抽取的影响。

按上述原则抽取称作随机抽取,而抽取的样本称为随机样本。

2) 准确度与精密度

准确度和精密度两者概念不同。

准确度是指测量值(或测量平均值)与真值的接近程度,测量值越接近真值,说明准确度高,反之则低。准确度以相对误差的大小来衡量。

精密度是指用相同条件对某个被测量进行有限次平行测量,得到一组不尽相同的测量值。这些测量值之间彼此接近程度越高,表示精密度高,反之则低。

另外,精密度只表示平行数据的相互接近程度,不表示测量值(或测量平均值)与真值的接近程度,因此精密度好,不一定准确度高。

精密度高说明平行数据的重复性好,是保证测量结果可靠性的必要条件。精密度差则说明:

- (1) 检测手段与测量对象的某一或所有特征值不匹配;
- (2) 测量策略不合理或不完善;
- (3) 测量人员素质和测量手法存在问题;
- (4) 现有测量和检测技术、理论有待突破;
- (5) 检测手段和装置本身存在问题等。

上述情况下的测量结果均不可靠应被否定。

2. 数学定义

1) 总体平均值

在相同测量条件下,对同一被测量做 n 次($n \rightarrow \infty$)测量得 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组成一个总体,其总体中所有个体的算术平均值称为总体平均值,用 μ 来表示,即:

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1-6)$$

在消除系统误差的情况下,总体平均值 μ 等于真值 μ_0 。

2) 样本平均值

在相同测量条件下,对同一被测量做 n (有限)次测量得 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 这些测量值的算术平均值称为样本平均值 $\bar{x}$, 即:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1-7)$$

在消除系统误差的情况下,样本个数足够多的算术平均值 $\bar{x}$ 可近似替代 μ_0 。

3) 绝对偏差

任何一个测量值(或称单次测量值)与样本平均值 $\bar{x}$ 之差称为该次测量的绝对偏差,用 d_i

表示,即:

$$\pm d_i = x_i - \bar{x} \quad (1-8)$$

式中 i 为 $1 \sim n$ 的正整数。该偏差可正可负,亦可等于零,但同一样本中各单次测量值的绝对偏差之和一定等于零,即:

$$\sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x}$$

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

$$\therefore n\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\therefore \sum_{i=1}^n d_i = nA - nA = 0 \quad (1-9)$$

这说明当测量次数趋近无限时,绝对偏差的数值或正或负地趋近于真值点的足够小邻域内。

4) 平均偏差

若对样本中所有个体的绝对偏差绝对值进行算术平均,其值称为平均偏差,用 $\overline{d_r}$ 表示,即:

$$\overline{d_r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| \quad (1-10)$$

平均偏差是以算术平均值方式统计了样本中各测量值的偏差,因此可作为精密度的度量单位,它的大小可反映精密度的高低。

5) 总体方差

当消除系统误差时,总体平均值 μ 等于真值 μ_0 ,因此单次测量值与总体平均值 μ 的偏差可视为误差,即:

$$\varepsilon_i = x_i - \mu = x_i - \mu_0 \quad (1-11)$$

将各次测量所得误差经平方后再求取算术平均值,称为总体方差,用 σ^2 表示,即:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (1-12)$$

6) 总体标准偏差(总体标准误差或简称标准误差)

总体方差开方并取正根称为总体标准偏差,用 σ 表示,即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (1-13)$$

7) 样本方差

与总体方差定义相近,样本方差是指绝对偏差经平方后再求取 $n-1$ 次算术平均值,称为样本方差,用 S^2 表示,即:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (n < 20) \quad (1-14)$$

8) 样本标准偏差

同理,样本方差的正方根称为样本标准偏差,用 S 表示,即:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (n < 20) \quad (1-15)$$

其中 $n-1$ 称为自由度。自由度是在绝对偏差 $\sum d_i = 0$ 的前提下引出的。根据经典数学中的齐次定律:“若有 n 个量进行代数和运算,其中只有 $n-1$ 个量为自由变量,另外一个必须相对固定才能满足齐次条件”。同理,对绝对偏差 $\sum d_i = 0$ 而言,若均为可变化独立偏差,显然 $\sum d$ 不等于零,将与数学推论相悖。

当 $n \rightarrow \infty$ 时,自由度 $n-1$ 趋近于 n ,样本平均值 $\bar{x}$ 趋近于总体平均值 μ ,所以:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}} = \sigma \quad (1-16)$$

式(1-16)表明,样本标准偏差 S 将趋近总体标准偏差 σ 。一般当 $n > 20$ 时, S 与 σ 就已基本接近。这说明,要使测量结果达到满意条件,对某一特征值测量次数需超过 20 次。

9) 协方差

当两组测量值 x_{ik} 和 x_{jk} ($k=1,2,\dots,n$) 的算术平均值分别为 $\bar{x}_i$ 和 $\bar{x}_j$ 时,协方差被定义为:

$$\sigma_{x_i x_j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j) \quad (1-17)$$

第二节 误差分类及分析

一、误差分类

1. 系统误差

系统误差也可称为可测误差或偏倚、偏差等,一般指由于某些确定原因而产生的有规律误差。系统误差可分为恒定系统误差和可变系统误差两类,其中恒定系统误差又分恒正系统误差(测量结果恒为正)和恒负系统误差(测量结果恒为负)。可变系统误差则分为线性系统误差、周期性系统误差以及复杂规律系统误差等。

系统误差可分为计量装置误差、环境误差、人为误差和方法误差四种。

1) 计量装置误差

计量装置误差包括标准器误差、仪器仪表误差、附件误差三种。标准器误差的存在是因为真值仅是一个理想概念,通常是未知的,而所谓标准器和真值也仅是人为约定,所以按误差定义任何标准器都有误差。

仪器、仪表误差因受设计原理、制造和安装、调整、材质以及使用等多方面影响,存在误差也是必然的。即使现代智能仪表配装单片机后,可进行数值整理和平滑,也仅能减少样本标准偏差 S 与总体标准偏差 σ 之间的差值,或者说,仅能提高测量结果的准确度,不可能消除误差。

附件误差是指仪器仪表在使用时所用的转换开关、供电电源、连接导线、元器件等所产生的误差。

2) 环境误差

环境误差是指因温度、湿度、压力、机械震动、工业杂波干扰、电磁场和室外测量时的风效应、透明度、空气含尘量等单项或多项作用下产生的测量误差。

3) 人为误差

测量人员由于受分辨能力、大脑反应速度、个人固有习惯、操作熟练程度等原因所造成的误差称为人为误差,如视差、估读误差等。

4) 方法误差

采用近似的或不合理测量以及计算方法而引起的误差叫做方法误差。如在计算中取 $\pi \approx 3.1415926$ 所造成的计算结果误差;计算机采用单精度数或双精度数计算产生的结果误差;算法中包含微分和积分近似计算所得结果,均为方法误差。

需要指出的是,系统误差可通过检测器具校正或改变检测方法进行修正,但不能彻底消除。

2. 随机误差

随机误差也可称为偶然误差或不可测误差、绝对偏差、残差等。随机误差是由许多难以控制的、尚未掌握规律的以及不可避免的变化因素所造成的,它有如下特点。

(1) 在测量过程中,随机误差是不可避免的,也不可能通过“校正”的方法减小。

(2) 随机误差是因随机因素决定的变量,其值或大或小,或正或负。

(3) 按统计规律,随机因素对测量结果的影响可以相互叠加或相互抵消,这可以使多次测量结果的算术平均值的随机误差小于单次测量值的随机误差。

就某单次测量结果而言,误差出现纯属偶然,不具规律性。但若反复多次测量后分析所得的误差数列,则可发现随机误差是有界的,且在界内存在对称峰值,即数列具有对称性(既相消性),符合高斯正态分布,这就说明了随机误差具有统计规律。

3. 粗大误差

粗大误差又称过失,是指明显超出人们预期的误差,又称过失误差或疏忽误差。这种误差主要是人为因素造成的。其他可能是因测量条件突然变化或测量方法不当或测量仪器有严重缺陷等因素造成的。

粗大误差严重影响测量结果的可信度,扭曲人们的判断,必须设法从测量结果数列中剔除,以保证测量结果的符合性。

二、消除误差的方法

研究误差的目的是为了最大限度地减少误差,以提高测量准确度。以下介绍各类误差的消除方法。

1. 系统误差消除

消除系统误差一般采用修正值法对测量结果进行修正。在测量过程中选择适当的测量方法,使系统误差抵消。

恒定系统误差的消除有两种方法:

(1) 检定修正法。将计量器具送检,按高一标准器出具的检测值对今后测量结果进行修正。

(2) 异号法(反向对称法)。在测量过程中改变测量条件,如改变测量方向,使两种测量方向所测得的结果其符号相反,采用代数和法消除误差。

2. 粗大误差剔除

在分析测量结果数列时,有经验的人凭感觉可以将一些偏离程度较大的数值检出,然而问题在于如何判断这些数值是否为粗大误差。若人为将某些结果剔除,极有可能将一些不属于粗大误差范畴但又偏差较大的正常值舍去,如此而产生的高准确度是虚假的,也是人们不愿看到的。

判别粗大误差最常用方法是莱依达法则(即 3σ 准则),它是以测得数据均为正态分布为前提,采用逐步剔除法判别测量数列中是否包含粗大误差。

我们从数理统计和概率论中可知,符合正态分布的数值落在 $(-3\sigma, +3\sigma)$ 区间的概率为 0.9973,这说明在 10000 数值中仅有 27 个落在 $\pm 3\sigma$ 区间之外。另外,根据统计学小概率原理:“小概率事件在一次实现时几乎不可能发生”。因此,可以认为大于 3σ 范围的数值为“异常值”。

当将上述数学原理引用于误差分析时,所谓“异常值”就是我们说的粗大误差, σ 指的是标准误差。

如果测量值 x_i 的模和样本平均值 $\bar{x}$ 之差,即绝对偏差大于 $3S$ 时,可视测量结果为粗大误差,应予剔除。判别和剔除步骤如下:

(1) 根据(1-7)式求出样本平均值;

(2) 根据(1-8)式依次求出样本所含各绝对偏差,再根据式(1-15)求出样本标准偏差 S 以及 $3S$;

(3) 将每一绝对偏差的模与 $3S$ 进行对比,如果大于 $3S$ 说明该次测量结果为粗大误差,予以剔除;

(4) 将剔除后的 $n-1$ 项测量结果再求算术平均值;

(5) 按(2)~(4)继续进行,直至所有粗大误差全部剔除。当最后一项粗大误差剔除后计算出的 S 值即为样本标准偏差。

需要指出,在工程上常用 σ 符号作为出厂仪表的准确度标识,而 σ 和 S 是两个不同概念,分别代表总体标准偏差和样本标准偏差。总体标准偏差是在无限次测量结果下得出的,实际上做不到。样本标准偏差是在有限次测量下得出的,当测量次数大于 20,其 S 与 σ 基本接近,所以通常采用 σ 代替 S 。