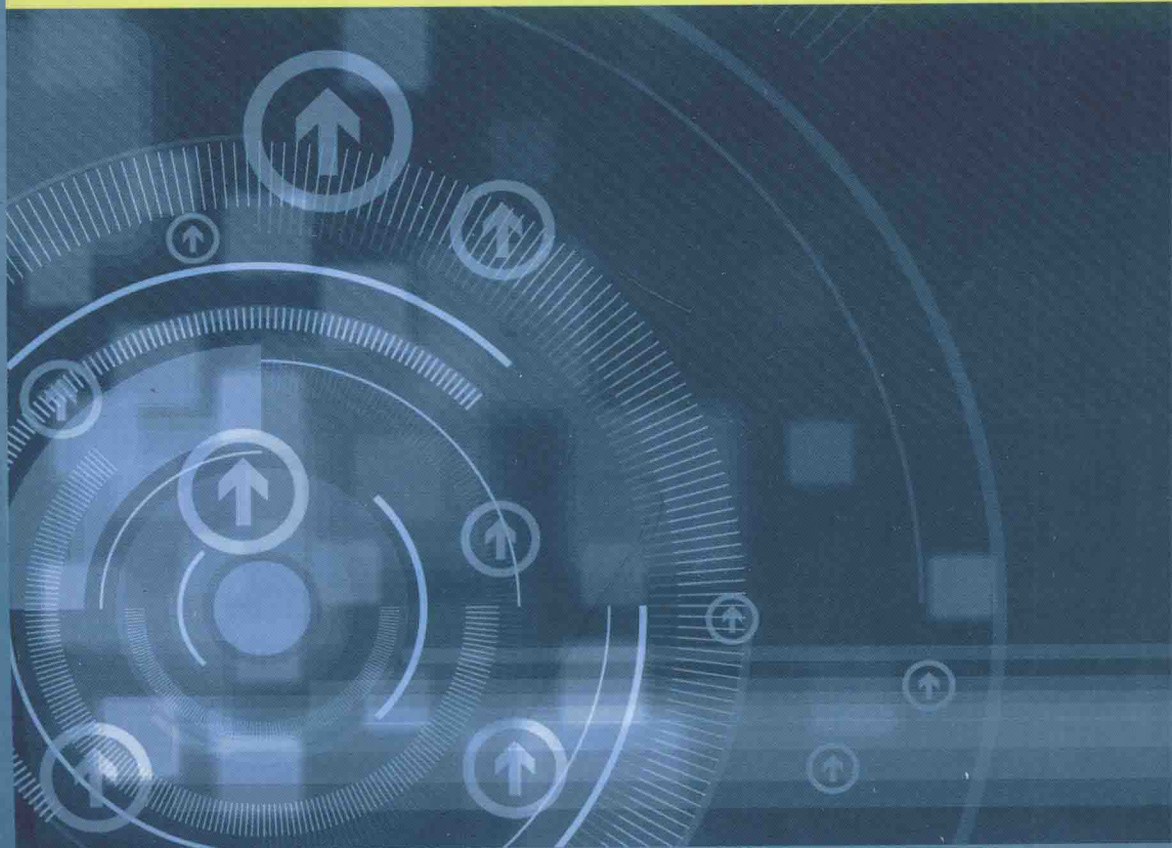




普通高等院校仪器仪表类专业规划教材
江苏省仪器仪表学会教育专委会审定

工程测量误差 与数据处理

卜雄洙 编著 陈熙源 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press



普通高等院校仪
江苏省仪器仪表

工程测量误差 与数据处理

卜雄洙 编著
陈熙源 主审

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书为测控技术与仪器专业的技术基础教科书,是在原误差理论与数据处理课程大纲基础上吸收了国外教科书的编写思想以及国内教学实践的经验总结后编写的。主要任务是为从事工程实验的学生在全面完成从实验设计到得出结论这一过程提供理论指导,并使他们根据实验结果分析实验成败的经验教训。全书共六章。内容为:测量的基本知识;误差理论的概率论基础;数据处理方法;测量不确定度及其分析;最小二乘法及其应用;试验设计。

本书可供理工科大学本专科生、研究生和工程技术人员作为教材或从事工程实验数据处理时参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量误差与数据处理 / 卜雄洙编著. —北京:
国防工业出版社, 2015. 5

普通高等院校仪器仪表类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 09948 - 5

I. ①工… II. ①卜… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 098955 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 358 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 29.50 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

普通高等院校仪器仪表类专业规划教材

编 委 会

主 任	陈熙源	(江苏省仪器仪表学会)
副主任	李伯全	(江苏大学)
	卜雄洙	(南京理工大学)
委 员	高 翔	(南京邮电大学)
	邱自学	(南通大学)
	潘雪涛	(常州工学院)
	许桢英	(江苏大学)
	周 严	(南京理工大学)
	江 剑	(南京理工大学)

前 言

本书是根据 21 世纪对理工科院校人才培养目标,在南京理工大学多年使用的工程实验理论基础教材的基础上,结合多年来的教学实践经验,以及参阅国内外有关资料和优秀教材整理编写而成的。

本教材的指导思想是给予学生以正确的计量学概念及实验测试工作的基本程序,误差分析与数据处理和实验结果表述的方法以及对实验工作预见与规划的能力。教材的最后一章编入了试验设计,目的是使学生掌握如何经济地、科学地安排试验并进行数据统计分析这一技术。同时在附录中简要介绍目前流行的 Matlab 和与本门课相关函数和实例等,解决本课程中各实例计算量大的问题,节省的时间用于结果分析之中,即实验成败的经验教训。

本教材先修课为高等数学、概率论与数理统计和线性代数。为使未学过概率论与数理统计的学生也能阅读本书并使用本教材的有关概念、公式,增加了第 2 章。对于已有此方面前修课基础的学生,教学时数可以酌减。

编者始终认为应用应该比繁琐的证明放在更重要的位置,力求通过少量精选的例题来说明这些公式的应用,希望能够对学生起到举一反三的作用。作业题也是精选的,但留有扩展的余地,有些题可供不同学生使用而无重复,集合起多个答案后还能反映出统计规律的特点。条件好的学校可以提供少量由学生自行设计的方案进行实验,兼做作业之用。

在编写过程中参阅了许多国内外同行撰写的文献资料,在此向这些作者深表谢意。东南大学仪器科学与工程学院陈熙源教授在百忙中对本书做了认真细致的审查,并提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。同时,编者的研究生们为本书的完成付出了辛勤的劳动,在此表示衷心的感谢。

江苏省仪器仪表学会教育专委会、国防工业出版社和南京理工大学对本书的出版给予了大力支持,在此深致谢忱。由于水平所限,书中有不当之处,敬请读者批评指正。

目 录

第1章 测量的基本知识	1
1.1 测量及其分类	1
1.1.1 测量的意义	1
1.1.2 测量的分类	1
1.2 测量误差的定义及其分类	3
1.2.1 误差的普遍性	3
1.2.2 误差的定义	4
1.2.3 误差的表示方法	5
1.2.4 测量误差的来源分析	7
1.2.5 测量误差的性质与分类	7
1.2.6 精度与不确定度	8
1.3 测量系统及精度指标	9
1.3.1 测量系统简介	9
1.3.2 测量系统性能指标	10
1.4 有效数字与数字运算	11
1.4.1 有效数字定义	11
1.4.2 有效数字的运算规则	12
1.4.3 数值修约及其规则	13
习题	14
参考文献	15
第2章 误差理论的概率论基础	16
2.1 随机现象	16
2.1.1 随机现象的本质和研究方法	16
2.1.2 随机事件	17
2.1.3 频率和概率	18
2.2 随机变量及其分布	19

2.2.1	随机变量	19
2.2.2	离散型随机变量	19
2.2.3	连续型随机变量	21
2.3	二维随机变量	26
2.4	随机变量的数字特征	29
2.4.1	数学期望	29
2.4.2	方差与标准偏差	30
2.4.3	协方差与相关系数	32
2.5	样本及抽样分布	34
2.5.1	随机样本和统计量	34
2.5.2	抽样分布	35
2.6	参数估计	40
2.6.1	点估计	40
2.6.2	区间估计	44
2.7	假设检验	46
2.7.1	假设检验的基本思想	46
2.7.2	弃真错误和存伪错误	48
2.7.3	β 的选择——样本容量的确定	50
习题		51
参考文献		52
第3章	数据处理方法	53
3.1	误差的统计性质	53
3.1.1	测量结果的统计分布	53
3.1.2	测量数据处理术语的概率意义	54
3.1.3	随机数据分布正态性的检验	54
3.2	直接测量值的数据处理	60
3.2.1	直接测量值的初步处理	60
3.2.2	系统误差	61
3.2.3	粗大误差	70
3.2.4	报道值的表示方法	78
3.3	不等精度测量数据处理	79
3.4	间接测量结果的处理与综合	83
3.4.1	误差传递的规律	83
3.4.2	误差传递公式的应用	84

3.5 计算检定中的一些问题	87
习题	89
参考文献	92
第4章 测量不确定度及其分析	93
4.1 测量不确定度的基本概念	93
4.1.1 测量不确定度的分类	93
4.1.2 测量误差与测量不确定度	94
4.2 标准不确定度的 A 类评定	95
4.2.1 单次测量结果标准偏差与平均值标准偏差	95
4.2.2 A 类不确定度评定的自由度	95
4.3 标准不确定度的 B 类评定	95
4.3.1 B 类不确定度评定的信息来源	95
4.3.2 B 类不确定度的评定方法	96
4.3.3 B 类不确定度评定的自由度及其意义	97
4.4 合成标准不确定度的评定	99
4.4.1 全部输入量 X 不相关时不确定度的合成	99
4.4.2 输入量相关时不确定度的合成	100
4.4.3 合成标准不确定度的自由度	100
4.5 扩展不确定度的评定	101
4.6 测量不确定度的报告与表示	101
4.6.1 测量结果及其不确定度的报告	101
4.6.2 测量结果及其不确定度的有效位	103
4.6.3 测量不确定度评定的总流程	104
习题	106
参考文献	107
第5章 最小二乘处理及其应用	108
5.1 最小二乘原理	108
5.1.1 最小二乘原理	108
5.1.2 非线性参数最小二乘处理	111
5.1.3 最小二乘原理与算术平均值原理的关系	112
5.2 精度估计	113
5.2.1 测量数据精度估计	113
5.2.2 最小二乘估计量的精度估计	114

5.3	组合测量的最小二乘处理	116
5.4	简单线性回归	118
5.4.1	一元线性回归	119
5.4.2	通过原点的一元线性回归	128
5.4.3	相关两变量都具有误差的情况分析	131
5.4.4	重复试验的情况	133
5.5	一元非线性回归	135
5.6	多元线性回归	142
5.6.1	多元线性回归方程	142
5.6.2	回归方程的显著性检验和预报精度	145
5.6.3	各个自变量在多元线性回归中所起的作用	146
5.6.4	多项式回归简述	147
	习题	149
	参考文献	151
第6章	试验设计	152
6.1	引言	152
6.1.1	试验设计的意义	152
6.1.2	试验设计的基本原则	153
6.1.3	试验设计中的一些名词术语	154
6.2	完全随机化的单因素试验	156
6.2.1	试验方案的制定	156
6.2.2	试验数据的结构模型	157
6.2.3	方差分析	158
6.2.4	水平效应间的比较	162
6.2.5	随机效应模型	164
6.3	随机区组单因素试验	166
6.3.1	试验数据的统计学模型	167
6.3.2	方差分析	167
6.3.3	漏估计的估计	169
6.3.4	拉丁方单因素试验设计	170
6.3.5	希腊·拉丁方单因素试验	174
6.4	多因素析因试验设计	174
6.4.1	没有重复的二因素试验设计	175
6.4.2	等重复二因素试验设计	177

6.4.3	2^k 析因试验	180
6.5	正交试验设计	184
6.5.1	正交表的构成和特点	185
6.5.2	正交表的使用	188
6.5.3	正交试验的数据统计学模型	190
6.5.4	正交试验的数据处理	192
6.5.5	漏测数据的补缺	198
6.5.6	正交试验设计中的几个具体问题	198
6.5.7	试验设计的一般步骤	200
	习题	200
	参考文献	204
附录 A	常用表格	205
附录 B	MATLAB	220

第1章

测量的基本知识

1.1 测量及其分类

1.1.1 测量的意义

科学实验中,为取得对客观事物的数量概念,必须进行测量。为得到事物的某种特性的数值表征的实验过程称为测量。它是人类获得客观世界的定量信息的重要手段,是科学实验的不可分割的组成部分。有时把测量和试验的综合称为测试。

测量的最基本的形式是比较,将待测的未知量和预定的标准作比较。测量所得出的量值表示为数值和计量单位的乘积。为使测量结果具有普遍的科学意义,需要满足两个条件:

- (1) 用作比较的标准必须是精确已知的,得到公认的;
- (2) 实施测量的测量系统必须工作稳定,经得起检验。

由于测量对科学研究和工程技术的各行各业有重要意义,与国民经济发展有密切关系,因此有必要建立研究测量方法和测量工具的专门学科,测量技术的状态很大程度上反映了一个国家的经济发展和科学技术的水平。

1.1.2 测量的分类

可以从不同的角度对测量进行分类。如按被测量的状态分类,可分为静态测量和动态测量。静态测量是指对测量过程中不随时间变化的物理量进行测量;动态测量是指对在测量过程中随时间变化的物理量进行测量。又如按被测量的类别分类,把测量分为长度测量、时间测量、温度测量、压力测量等。除此之外,为便于分析测量过程中产生的误差,还有以下几种分类形式。

1. 按取得测量结果的方式分类

实践中常按取得测量结果的方式对测量结果进行分类,把测量分为直接测量、间接测量和组合测量。

1) 直接测量

无需经过函数计算,直接通过测量仪器得到被测量值的测量称为直接测量。它又可分为直接比较和间接比较两种:

(1) 直接比较。直接把被测量和标准作比较的测量方法称为直接比较。如长度测量是最简单的直接比较。直接比较的一个显著特点是被测量和标准量是同一种物理量。

(2)间接比较。利用仪器仪表把被测物理量的变化变换为与之保持已知函数关系的、能人的感官感受的另一种物理量的变化,再行比较得到被测量值的测量方法称为间接比较。温度计测温、弹簧秤测力等都属间接比较。

2) 间接测量

在直接测量基础上,根据已知函数关系计算出待测量值的测量称为间接测量。如用定距测时法测量弹丸速度便是间接测量的典型例子。

3) 组合测量

对待测物理量的不同组合进行直接测量,再通过求解方程组得出被测量值的测量称为组合测量。例如已知铂电阻的电阻值和温度之间有以下函数关系:

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2) \quad (1-1)$$

式中 R_t —— $t^\circ\text{C}$ 时铂电阻的电阻值;

R_0 —— 0°C 时铂电阻的电阻值;

a, b ——铂电阻的电阻温度系数。

为测量铂电阻的温度系数,要先测出不同温度下的电阻值,再通过求解方程组得出 a 和 b 的量值。

评定测量结果中所包含的随机误差的数据处理方法决定于测量结果的获取方式。一般来说,直接测量数据的处理方法基于随机样本的参数估计;间接测量数据的处理还需借助于误差传递法则;而组合测量的数据处理普遍使用最小二乘法估计。

2. 按测量条件变化与否分类

根据测量条件是否发生变化,测量可分为等精密度测量和不等精密度测量。

1) 等精密度测量

等精密度测量,指在测量过程中测量仪器、测量方法、测量条件和操作人员都保持不变。因此,对同一被测量进行的多次测量结果可认为具有相同的信赖程度,应按同等原则对待。

2) 不等精密度测量

不等精密度测量,指测量过程中测量仪器、测量方法、测量条件或操作人员某一因素或某几因素发生变化,使得测量结果的信赖程度不同。对不等精密度测量的数据应按不等权原则进行处理。

3. 按有无机械接触分类

根据被测工件的表面与测量仪器的测量头之间是否有机接触,可以把测量分为接触测量和非接触测量。

接触测量是指测量仪器的测量头与被测工件表面直接接触并存在有测量力的测量。对于具有精密表面或者表面容易损伤的工件,不适合用接触测量,必须使用不带任何测量力的非接触测量方法,一般来讲利用成像原理的光学法测量都属于非接触测量,并且相对来讲具有较高的测量精度。

4. 按测量结果的要求分类

根据对测量结果的要求不同,测量可分为工程测量和精密测量。

1) 工程测量

工程测量指对测量误差要求不高的测量。用于这种测量的设备和仪器的灵敏度和准确度比较低,对测量环境没有严格要求。因此,对测量结果只需给出测量值。

2) 精密测量

精密测量指对测量误差要求比较高的测量。用于这种测量的设备和仪器应具有一定的灵敏度和准确度,其示值误差的大小一般需经计量检定或校准。

5. 按被测量的属性分类

根据被测量的属性,测量可分为电量测量和非电量测量

1) 电量测量

电量测量指电子学中有关量的测量。包括:表征电磁能的量,电流、电压、功率、电场强度、噪声等;信号特征的量,如频率、相位、波形参数等;元件和电路参数的量,网络特性的量,如带宽、增益、带内波动、带外衰减等。

2) 非电量测量

非电量测量指非电子学中量的测量,如压力、温度、湿度、气体浓度、机械力、速度、加速度等非电学参数的测量。

综上所述,其测量的分类框图如图1-1所示。

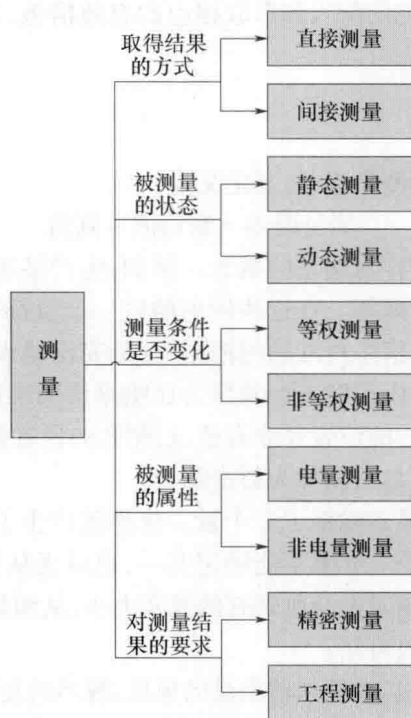


图1-1 测量分类

1.2 测量误差的定义及其分类

1.2.1 误差的普遍性

在生产实践、科学研究和社会生活中,实际遇到的量大都不是绝对精确的。其原因,一是因

为我们观察的结果不可能没有误差,而这些误差值的大小,取决于观察者的能力和经验。无论观察者的实验技术多么高超,经验多么丰富,误差总不可能完全避免。二是即使测量者对测量工作做得十分精细、完善,而周围环境因素(如温度、湿度、气压、光照强度、电磁场等)的微小波动和变化,仍不可避免地要引入误差。一切从事科学实验的人们都公认这一事实,可表述为下列误差公理:测量结果都具有误差,误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程之中。

由于误差存在的必然性和普遍性,人们不断深入研究测量过程中产生的误差以及数据处理方法,归纳起来研究误差意义有以下三点:

(1) 正确地认识误差的性质、特点和产生的原因,充分利用测量数据所提供的信息,以便减小和消除产生误差的因素及其对测量结果的影响,保证测量精度和测量的合理性。

(2) 在误差理论的基础上,研究正确处理测量数据的方法,合理地评价测量结果,以便在一定的条件下获得最为接近真值的最后结果。

(3) 在理论指导下,正确地选择测量方法和安排测量程序,合理地设计或使用仪器,以便在最经济的条件下得到理想的符合要求的测量结果。

总之,随着人们对误差研究的深入和采取相应的有效措施,可以使存在于科学实验和测量结果中的误差得到减小或消除。

1.2.2 误差的定义

本书中所用误差一词均指测量误差,其定义为

$$\text{测量误差} = \text{测量值} - \text{真值} \quad (1-2)$$

这一定义排除了其他应该称为偏差的概念。例如:生产某零件的实际值与标称值之差,实测某个量的值与理论计算值之差等。在这些例中的后一个值都不能认为是真值。尤其是常有人将理论计算值作为测量所得值是否准确的依据,这是完全错误的,违背了实践是检验真理的唯一标准的基本原理。不少书中用射击偏差作为比喻来说明准确度、精密度,固然有一定形象的效果,其实也是错误的。靶心的位置并非真值,过靶孔的位置倒是实实在在地有一个真值,每一发子弹与目标中心之间的距离只能称为射击偏差。

在上述定义中,用一个关系式联系了三个量。这里就产生了一个矛盾,即当只有测量结果时,如何确定误差与真值的问题。如果不能确定其一,也就无从计算另一个量值。真值是一个理想的概念,它是在该量被观测时本身所具有的真实大小,从测量角度讲,不可能确切获知。在实际中,下列几种情况认为真值可知:

(1) 定义值。例如规定的基本量和辅助量的单位,视当时复现这些单位的条件而具有最高的精度,实际上仍依赖于人类每一历史阶段的认识水平,并随认识的提高而不断修改。

(2) 计量标准器所复现的量值(其最高等级在我国常称为基准)相对于低一等级的计量标准器,可以认为充分接近于真值,称为约定真值。推而广之,只要对于给定目的,被认为充分接近真值,都可以作为约定真值。

(3) 实际值经过测量表明能满足规定准确度的量值,也可作为约定真值。

修正了系统误差的算术平均值,就是一种实际值。这时不限定为计量标准器,但也失去了量值传递的权力,只用在与固定值、理论值或相互之间比较。

另外,一个量本身在某一任意时刻都只有一个真值。当同时用不同测量仪器或方法对其测量所得的结果,可以借以比较彼此之间的偏差。替代测量法也是利用了这一点。同时性是很重

要的,而同时的概念则是相对于该量变化的快慢而言的。

总之,真值的认识是在一个无限过程中逐步接近的,不是一步接近的。

修正值定义为误差的相反数,即

$$\text{修正值} = (-1) \times \text{误差} = \text{真值} - \text{测量值}$$

于是有

$$\text{测量值} + \text{修正值} = \text{真值}$$

这个式子的理解也只能是相对意义的,即由测量结果加上修正值后,可以得到更接近理想的结果。要值得注意的一点是,修正值的应用是在该标准器被校准以后,用来校准或测量其他量值的时候。即使加上了修正值,它仍然不具备高一级标准器的精度等级和权威,也不能承担高一级标准器的职能,只能说它是称职而已。

1.2.3 误差的表示方法

误差值可以有下列几种表示方法:

(1) 绝对误差

即按式(1-2)原定义写出的表示方法,它具有数值、计量单位以及符号,表现为数字和单位的乘积。适合于同一量级的同种量的测量结果的误差比较和单次测量结果的误差计算。

【例1-1】某机加工车间加工一批直径为20mm的轴,抽检两根轴的直径,其测量结果分别为19.9mm和19.8mm,两根轴的绝对误差分别为

$$\delta_1 = 19.9\text{mm} - 20\text{mm} = -0.1\text{mm}$$

$$\delta_2 = 19.8\text{mm} - 20\text{mm} = -0.2\text{mm}$$

【例1-2】一个10g的三等标准砝码,经二等标准砝码计量检定得到误差为-0.002g,则该砝码的修正值就是+0.002g,则实际值为

$$10\text{g} + 0.002\text{g} = 10.002\text{g}$$

(2) 相对误差

由于绝对误差用于不同量级的同种量误差间的比较有困难,如用一长度计量器具测量真值分别为100cm和10cm的两个物体长度值,测量结果分别为:

物体1测得值为100.1cm,其绝对误差为0.1cm;

物体2测得值为10.1cm,其绝对误差为0.1cm。

两物体的绝对误差均为0.1cm,但显然物体1的测量精度更高些,为此引入相对误差。其定义为

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差} \div \text{真值} \quad (1-3)$$

当误差值较小时,有近似式

$$\text{相对误差} \approx \text{误差} \div \text{测量结果}$$

相对误差具有确定的大小和正负号,但无计量单位,通常情况下,常用百分数(%)、千分数(‰)或百万分数(ppm)表示。

【例1-3】真值=2.000mA,测量结果1.989mA,则

$$\text{绝对误差} = 1.989 - 2.000 = -0.011(\text{A})$$

$$\text{相对误差} = (-0.011) \div 2.000 = -0.0055 = -0.55\% = -5.5\text{‰} = -5500\text{ppm}$$

(3) 引用误差

它是一个具有相对误差的形式的绝对误差,用于具有连续刻度和多挡量程的测量仪器的误差表示。其定义为:仪器示值误差与特定值(也称引用值,如仪器的量程或标称范围的最高值)之比,通常用百分数表示。即

$$\text{引用误差} = \frac{\text{示值误差}}{\text{特定值}} \quad (1-4)$$

其中,仪器的示值误差表示的是仪器的指示值与被测量的实际值之差。

国家标准和国家计量技术规范将某些专业的仪器仪表,按引用误差的大小分为若干准确度等级。例如,电表测量用仪器设备(0.1级精度最高,5级精度最低)的等级分为0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5,5.0等7个等级。符合某一个等级S,说明该仪表在整个测量范围内,各示值点的引用误差均不超过S%,同时也只有在仪表整个测量范围内,各示值点的引用误差不超过S%时,才能确定该仪表符合S级。

图1-2是一电流表的度盘示意图,如果在示值20A处有示值误差0.5A,满量程为50A,则引用误差为 $0.5/50=1\%$ 。

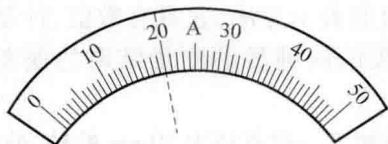


图1-2 电流表度盘

把整个量程范围内的最大示值误差与其满量程最大指示值之比称为最大引用误差。

【例1-4】 一块0.5级测量范围为0~150V的电压表,经更高等级标准电压表校准,在示值为100.0V时,测得实际电压(相对真值)为99.4V,问该电压表是否合格?

解:示值为100.0V时的绝对误差为

$$\delta = 100.0\text{V} - 99.4\text{V} = -0.6\text{V}$$

该电压表的引用误差为

$$\text{引用误差} = \frac{-0.6}{150} = -0.4\%$$

0.5级电压表允许的引用误差为0.5%,因 $|-0.4\%| < 0.5\%$,所以该电压表合格。

【例1-5】 有一块测量范围为-0.1MPa~+0.1MPa,2.5级的压力真空表,在进行计量校准时,各示值点上最大允许误差是多少?

解:该压力真空表在-0.1MPa~+0.1MPa范围内各示值点上的引用误差不应超过2.5%,则各示值点上允许误差的最大示值误差应为

$$\delta \leq 2.5\% \times [0.1 - (-0.1)] = 0.05(\text{MPa})$$

(4) 分贝误差

分贝误差是具有绝对误差形式的相对误差,定义为

$$\text{分贝误差} = 20\lg(\text{测得结果} \div \text{真值})\text{dB} \quad (1-5)$$

当所测值为广义功时,对数前乘的因子用10。

【例1-6】 真值为2.000mA,测量结果=1.989mA,则

$$\text{分贝误差} = 20\lg(1.989 \div 2.000) = -0.048(\text{dB})$$

分贝误差与相对误差关系:在数值上前者约为后者的 $20\lg e$ 或 $10\lg e$ 倍($e = 2.7182818\cdots$)即 8.69 倍或 4.34 倍。

在无线电、声学等计量中常用分贝误差来表示相对误差。

1.2.4 测量误差的来源分析

研究测量误差必须掌握误差的来源,弄清楚在测量的全过程中,哪些环节、哪些因素会给测量带来误差。

由于被测对象是千差万别的,从而决定了测量仪器和测量方法也是千差万别的。对于某项具体的测量而言,各有其特殊的误差来源。不同的测量,仪器误差的具体原因也不相同。因此,在这里不是研究某项具体测量的具体误差来源,而是从千差万别的测量中找出误差来源的共性,作为每项测量工作分析误差来源的指导原则。

测量误差的来源,应从测量的共性中去寻求。对被测量的实际量值的确定,无论哪类测量,必须具备复现量值单位的标准器具以及相应的仪器仪表(包括必要的辅助设备)。同时,测量工作又必然在某个特定的环境里,由测量人员按照一定的测量方法来完成。因此,测量误差从总体上讲有测量装置(包括标准器具、仪器仪表等)、测量方法、测量环境、测量人员四个来源。

(1) 器具误差。由于测量仪器(计量器具)本身所具有的不准确性带来的误差。它包括设计原理误差,制造和安装误差,调整误差(倾斜误差、零位误差),附件误差等。

(2) 方法误差。由测量方法和计算方法不完善所引起的误差。如使用了某些简化假设下的数学模型;又如电学测量中引线电阻上的压降往往未在测量结果的表达式中得到反映等。

(3) 环境误差。测量时环境状态变化所引起的误差。如果这种变化在规定的工作条件允许范围以内称为基本误差,若超出了这一范围,所增加的误差称为附加误差。例如,温度误差、湿度误差、电源电压误差等。

(4) 人员误差。测量过程中由于观测者主观判断所引起的误差。如读数误差(包括估读误差,也称内插误差),视差等。

1.2.5 测量误差的性质与分类

在测量中,存在着诸多的测量误差,这些误差均由不同的因素造成的,由于产生的原因不同,以致误差的特征也不同。研究误差的一个重要内容就是要掌握各种误差所具有的特征,只有这样,才能有正确的误差处理方法。根据误差的性质,可将测量误差分为随机误差、系统误差和粗大误差。

(1) 随机误差是在实际测量条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号以不可预定的方式变化着的误差。

(2) 系统误差是在偏离规定测量条件时或由于测量方法所引入的因素,按某确定的规律变化所引起的误差,包括已定系统误差和未定系统误差。前者指符号和绝对值或规律已经确定的系统误差;后者指符号或绝对值未能确定的系统误差。已定系统误差可以通过修正方法进行消除。

(3) 粗大误差是超出规定条件下预期范围的误差,有时简称粗差。处理数据时,这种误差会明显地歪曲测量结果。所以允许剔除少量这种含有粗大误差的数据,但应有充分理由。

必须指出,上述分类定义是排中的,非此即彼的;但某种因素所造成的误差归入哪一类则是