



“十二五”国家重点图书出版规划项目

INSTRUMENT ACCURACY THEORY

仪器精度理论

● 丁振良 袁峰 等编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目

INSTRUMENT ACCURACY THEORY

仪器精度理论

● 丁振良 袁峰 等编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书以误差理论为基础,讨论了测量仪器的精度设计、精度评价和精度实验。具体内容包括:误差的特性及表征方法,测量不确定度的评定及其统计模拟分析方法,测量仪器的计量特性及其评定,测量仪器的量值溯源,提高仪器精度的途径,测量仪器设计、使用和评价中的精度分析与精度实验。

本书可供高等院校相关专业研究生以及从事仪器设计、生产和测试技术的工作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

仪器精度理论/丁振良,袁峰等编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.9

ISBN 978-7-5603-5587-0

I. ①仪… II. ①丁… ②袁… III. ①仪器-精度
IV. ①TH701

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 204255 号

策划编辑 王桂芝
责任编辑 刘 瑶
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 310 千字
版 次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-5587-0
定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

仪器科学与技术在现代科学技术、工农业生产、国防建设及社会生活的各领域中占有极其重要的地位。在一定程度上,可以说仪器技术的发展代表了科学技术和工业技术发展的水平。现代科学技术和工业技术的发展为仪器科学技术的发展提供了动力,仪器科学技术得到了飞速的发展。人们对仪器科学与技术的重视与日俱增。

测量仪器在设计、生产和使用中,精度具有决定性意义,本书以精度理论为基础讨论仪器的计量特性、量值溯源、精度设计和精度实验。

以精度为核心的计量特性参数是评价仪器的基本内容。仪器的精度是仪器的核心价值所在,对于仪器价值具有一票否决的意义。只有满足精度要求的仪器才有使用价值,这是讨论仪器精度的基本意义。

本书中“精度”一词的含义,只作一般表述,以精度为主的仪器计量特性的精准描述应由相应的技术参数给出。因此,本书不考虑如一般著述中对精度、精密度、精确度、准确度等词含义的刻意区分,这些词义本书只作为仪器示值可靠性的一种通常的表述,不赋予其具体含义。

对于以精度为主的仪器计量特性的描述应考虑如下特点:

(1) 仪器精度参数评定具有统计特性。测量仪器的误差服从统计规律,一批仪器的计量特性总体上看也具有统计特性,以仪器示值误差为主的精度参数反映仪器工作的可信赖程度,皆以最大允许值为其表征参数,其值按统计方法评价。统计学理论是仪器精度理论的基础,本书以此为基础讨论仪器的精度特性及精度分析,仪器设计、工艺过程及实验的精度设计,仪器的校准不确定度的分析等。

(2) 测量仪器精度参数体系的同一性。客观上,测量仪器种类繁多,仪器的测量原理、结构特点、测量对象、量程等千差万别,但必须遵循计量学的基本要求。为便于测量仪器在生产、校准、验收、使用中的计量学管理,测量仪器的特性参数应满足基本的计量学要求,不同种类的仪器其参数的定义、评定须保持同一性、共同性。因此,本书特别关注仪器计量特性中的共性问题,而不同的个别仪器的计量特性问题则需要进一步考察相应的技术文件。

(3) 测量仪器管理的法制性。保持量值统一,这是社会对测量技术的基本要求。测量仪器是保证量值统一的工具,因而具有社会性,为此国家以行政手段对仪器的管理体系赋予法制性,这是仪器计量特性满足量值统一的基本保证。表现为测量仪器受计量管理体系监管,包括测量仪器的生产、销售和使用过程。这一监管以法制文件予以规定,并具有法制效力。因此,本书在讨论仪器精度过程中,也对仪器的法制管理及法制计量学的内容予以关注。

(4) 测量仪器精度参数评定具有实践性。仪器精度参数的定义及其评定与仪器的使用实践密不可分,虽然仪器的计量特性参数具有共同性,但测量仪器千差万别,不同仪器的相

应参数的定义与评定仍必须依据具体的实践确定,在设计与使用时的精度分析中,都要根据具体实际情况处理。在这个意义上,精度评定又具有很强的实践性。

(5)测量仪器发展的信息化、智能化。现代科学技术的发展对测量仪器的信息化、智能化提出了越来越高的要求,数字技术和计算机技术的发展为此提供了必要条件。现代的计量仪器借助于数字技术与计算机技术,不同程度地实现了测量过程和数据处理的自动化、智能化。测量结果的数字化,为构建信息化的系统创造了必要的条件。这是现代测量仪器发展的显著特点。本书也关注仪器在信息化、智能化条件下的测量仪器计量特性。

为了更好地理解相应的内容,本书加入了较多的实例,但为叙述的简便,都做了适当的简化,阅读时应予以注意。每章后附有思考与练习供参考,其中一些由实际中抽象出来的练习题也经过简化处理。

本书是作者经多年科研与教学积累,基于历年讲义编写而成的。本书由哈尔滨工业大学仪器科学技术专业从事相应科研与教学工作的同仁编写,丁振良、袁峰主笔,参加编写的有李凯、叶东、陈刚及郭玉波。

限于作者水平,书中难免存在疏漏及不妥之处,敬请读者批评指正。

作者
2015年1月

目 录

第 1 章 测量仪器误差构成	1
1.1 测量仪器系统结构	1
1.2 测量仪器各环节的误差	5
1.3 测量仪器的误差构成	9
1.4 思考与练习	12
第 2 章 测量误差的分析计算	14
2.1 概述	14
2.2 按定义计算误差	15
2.3 误差的线性叠加法则	15
2.4 矢量分析法	22
2.5 坐标变换法	23
2.6 本章小结	29
2.7 思考与练习	29
第 3 章 测量不确定度的评定	31
3.1 不确定度及其表示方法	31
3.2 不确定度分量的估计	32
3.3 标准不确定度的合成	41
3.4 按正态分布合成扩展不确定度	43
3.5 按 t 分布评定扩展不确定度	44
3.6 不确定度合成问题小结	47
3.7 相关系数的估计	50
3.8 本章小结	52
3.9 思考与练习	52
第 4 章 不确定度的统计模拟分析	55
4.1 不确定度的统计模拟分析概述	55
4.2 不确定度统计模拟分析方法及其理论基础	56
4.3 随机数的模拟方法	57
4.4 不确定度的统计模拟分析的实施方法	60
4.5 不确定度统计模拟分析结果及其评价	63
4.6 不确定度的统计模拟分析的应用	64
4.7 不确定度的统计模拟分析的实施实例	66

4.8	本章小结	69
4.9	思考与练习	69
第5章	测量仪器的计量特性及其评定	70
5.1	概述	70
5.2	测量仪器计量学特性与测量仪器参数概述	71
5.3	测量仪器的示值误差	72
5.4	测量仪器的重复性	80
5.5	测量仪器的鉴别力(灵敏阈)和分辨力	86
5.6	测量仪器的稳定性	88
5.7	测量仪器的线性度	91
5.8	测量仪器的测量范围	94
5.9	测量仪器动态参数概述	95
5.10	测量仪器特性评定的形式	96
5.11	按计量学特性评定仪器的精度等级	106
5.12	本章小结	110
5.13	思考与练习	110
第6章	测量仪器的量值溯源	113
6.1	概述	113
6.2	计量单位和计量基准	113
6.3	国际单位制基本单位及其复现	117
6.4	量值传递和量值传递系统	123
6.5	量值溯源	129
6.6	本章小结	133
6.7	思考与练习	134
第7章	提高测量仪器精确度的途径	136
7.1	概述	136
7.2	合理地拟定测量原理方案	136
7.3	材料和元器件的选择	139
7.4	工艺方法的改进	140
7.5	测量仪器调整环节的设置	142
7.6	误差补偿	144
7.7	误差分离技术	147
7.8	随机误差抵偿性的应用	153
7.9	测量信号的数字化	154

7.10	测量过程自动化	155
7.11	零部件的老化处理	156
7.12	克服环境影响	156
7.13	本章小结	157
7.14	思考与练习	157
第8章	测量仪器的精度设计	158
8.1	仪器精度参数设计的基本关系式	158
8.2	仪器特性参数的设计	160
8.3	仪器各环节的精度设计	165
8.4	本章小结	173
8.5	思考与练习	174
第9章	测量仪器的精度实验	176
9.1	概述	176
9.2	实验环境	176
9.3	仪器误差因素的实验分析	184
9.4	仪器计量特性的测试实验	189
9.5	仪器的可靠性实验	193
9.6	本章小结	193
9.7	思考与练习	194
参考文献		195

第 1 章 测量仪器误差构成

以精度参数为核心的计量特性是测量仪器设计、选用时要考虑的首要条件。影响测量仪器计量特性的误差因素很多,分析这些误差的来源、特征、构成及对测量仪器计量特性的影响,对于测量仪器的设计具有关键性意义,对于正确使用测量仪器也有指导意义。

1.1 测量仪器系统结构

测量的过程就是被测量与标准量比较的过程,通过比较给出被测量的测量结果。测量仪器所实现的基本工作过程,如图 1.1 所示。



图 1.1 测量过程

为实现这一比较,测量仪器应包含被测量输入环节、标准量环节、比较环节、量值转换放大环节、数据处理环节、输出环节、测量控制环节等。其结构框图如图 1.2 所示。

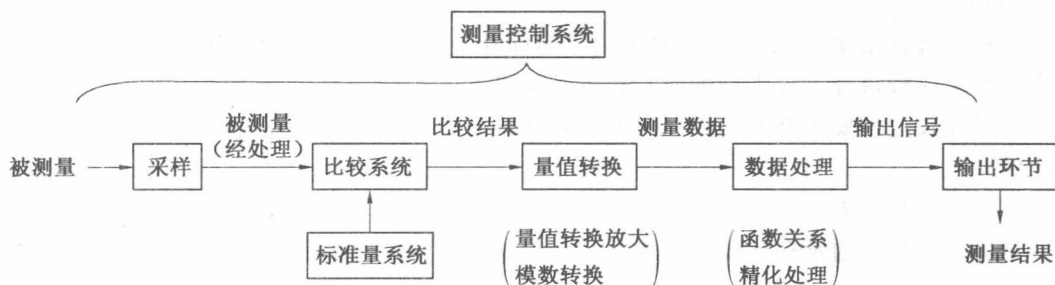


图 1.2 测量仪器结构框图

在图 1.2 所示测量仪器构成框图中,列出了一般的构成环节,不同仪器不尽相同,有些环节不存在,有些环节可能综合在一起,但采样、标准量、比较环节和输出环节则是必不可少的核心环节。

(1) 采样环节。

采样环节的功能是采集被测量信号,采样环节在一些较简单的仪器中常与比较环节等融合在一起,没有单独的采样环节。

对于采样环节的要求如下:

①信号采集过程不会影响到被测量。例如,图 1.3 所示电压表测量电压时,电压表并联于被测支路两端。由此造成了被测支路的分流而使待测电压降低,产生测量误差。为使这一影响控制在允许的限度以内,设计时应保证电压表的内阻足够大,

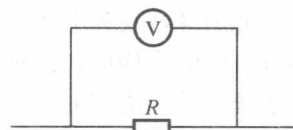


图 1.3 电压表测量电压示意图

以使其产生的分流作用可忽略不计。

②信号采集可靠。信号的采集应准确可靠,避免采样误差,更不允许产生错误数据。例如,测温传感器通过热传导采集温度信号时要受到其保护层热传导特性的影响,会使测得温度值产生误差,这就要在设计时考虑传感器传热特性。又如,在动态量的测量中,为使测量仪器响应速度不会歪曲测量结果,要求测量仪器有足够的响应频率。

③进行必要的信号转换和处理。为便于测量比较,有时需要对测量信号做必要的预处理,如转换处理、放大处理、信号筛选等。各种非电量的电测传感器中,都需要将被测量信号转换成电学量,以便进行测量比较和后续处理。在光电测量中,光学镜头将物体形貌在接收屏上形成影像并转换成电信号。

(2) 标准量系统。

标准量系统以特定形式给出量值标准,包括单位量标准和细分系统。具体要求如下:

- ①具有足够的准确度。
- ②稳定可靠。
- ③便于进行比较。
- ④具有较好的经济性。

标准量系统的性能是决定测量仪器计量特性的关键因素,其性能参数常作为指标性参数标示出来。

标准量系统的设计除考虑上述要求外,还要特别注意到与其他环节的配合使用,不可孤立地看待标准量。

(3) 比较环节。

比较系统将采集、经处理后的测量信号与标准量系统提供的标准量进行比较,给出比较结果。要求比较过程不损失精度或其影响可忽略不计。

测量比较过程要求被测信号与标准量必须具有可比性,即必须是同一量且具有同一量值比例。

(4) 量值转换放大环节。

量值转换环节通常在比较环节之后,有时也在比较环节之前。量值转换环节的功能如下:

①实现量值类型的转换。机械量转换成电学量,如各类测微传感器;电学量变成机械量,如电压表测量结果的电压转变成线圈的机械转动,并由指针的偏转指示出来;光学量转换成电学量,如光电测量中,光信号经光电器件转换成电信号;温度变化转变成电学量变化,如各种电子测温仪等。

②实现量值放大。将量值放大有利于比较、细分,是提高仪器精度的有效措施。

但也有例外,量值转换过程中被测量值缩小,这是由测量系统的特点所决定的。

例如,如图 1.4 所示,在机器视觉测量中,被测几何图像经物镜成像于光电转换器件上,再将此成像转换为电信号,从而给出被测物体的几何尺寸。实际上,被测物往往远大于光电器件,即物、像构成大比例的缩小关系。这自然降低了仪器的分辨力,损失了精度,这是由测量系统的特点决定的。为提高测量的分辨力,应使物、像比尽可能小,即应使系统的物距与像距比尽可能小。由于受条件限制,这一光学转换常是缩小的。

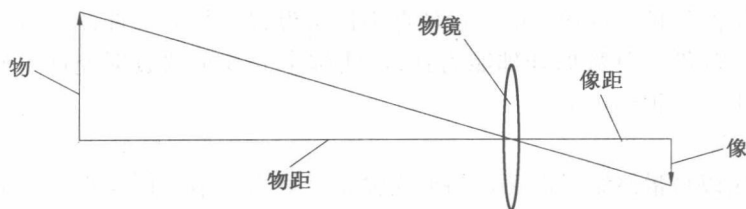


图 1.4 相机成像原理

③实现模数转换。模、数转换是数字化仪器不可缺少的重要环节。数字化不仅便于以后的数据处理,而且除数字处理误差以外,数字化系统不会带来其他误差,有利于提高仪器精度。模数转换要考虑转换精度,转换精度要求决定了所采用的模数转换芯片的位数。

转换芯片的转换位数的选择要恰当,不可少,也不可多。既要保证转换精度,又要具有好的经济性。

(5) 数据处理系统。

数据处理系统用于函数关系处理和数据的精化处理。

①函数关系处理。主要处理间接测量问题的函数关系以及各种各样复杂数据处理算法的实施。例如,从图 1.5 所示准直仪原理看到,在测量中,被测角度 α 与光电器件的检测结果 S 按如下关系计算:

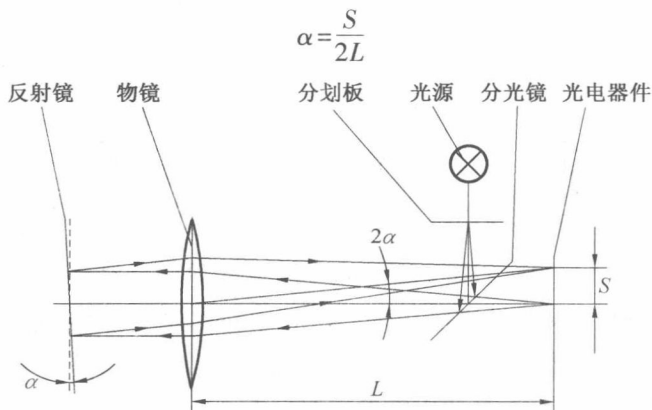


图 1.5 准直仪原理图

仪器的数据处理系统应完成这一处理工作。实际的仪器 $\alpha \sim S$ 的关系为非线性关系,即

$$\tan 2\alpha = \frac{S}{L}$$

即

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{S}{L}$$

当 α 较大时,为获得精确结果,应按上式非线性结果处理。

②数据精化处理。数据处理系统实施各种处理方法,以最大限度地减少误差影响。例如,仪器多次采样取算术平均值;测量数据的拟合处理;测量结果的误差修正;各种误差补偿算法;数据处理的各种优化算法等。

在一些简单的仪器中并不需要数据处理环节,或因处理要求简单,可借助于简单的技术

措施实施模拟量的处理。现代化的测量仪器中通常设置了数据处理环节(即单片机或系统计算机及相应的软件),其数据处理能力强,可实施十分复杂的数据处理工作,并且有对仪器的某些参数重新校正的可能。

(6) 输出环节。

输出环节用以将最终结果以一定的形式输出。输出环节有两类形式,即模拟量输出和数字量输出。

具体的方法有:指针式或其他标记形式指示结果;数码显示(包括计算机屏显);记录曲线;模拟或数字信号输出;打印输出(数字或曲线)等。

设计要求:可靠、方便。

(7) 测量控制系统。

自动化测量仪器需设置测量控制系统,按设计的测量程序控制测量过程,代替人工操作,控制各环节按预定要求有序地工作。测量控制系统由单片机(或PC机)和控制程序组成。

下面给出两个测量系统框图,说明仪器系统构成。

例 1.1 激光测长仪的构成。

激光测长仪的原理如图 1.6 所示。

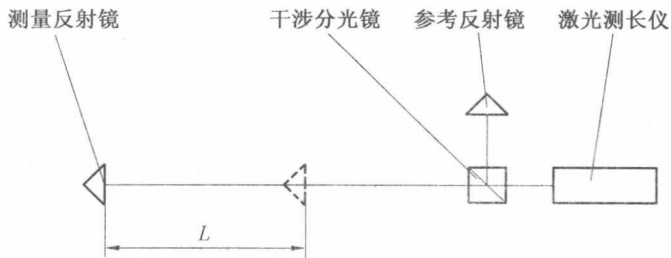


图 1.6 激光测长仪的原理

激光器发出的测量光束经分光镜分为两束光,一束经参考反光镜后返回到分光镜,另一束通过分光镜射入测量反射镜后返回到分光镜,该光束与参考反射镜反射回来的光束产生干涉,干涉场进入光电器件转换成电信号。

当两路光的光程差为波长的整数倍时,干涉场呈亮景;当两路光的光程差为波长的半波长时,干涉场呈暗景。

在测量过程中,随着测量反射镜的移动,两路光的光程差随之变化,则干涉场出现反复的明暗变化。由此光电转换器给出强弱变化的正弦信号,设信号变化波数为 N ,激光波长为 λ ,则测量反射镜位移 L 为

$$L = \frac{1}{2} N \lambda$$

激光测长仪的构成框图如图 1.7 所示。

例 1.2 铂电阻测温仪的系统构成。

铂电阻测温仪的工作原理:温度变化引起铂电阻传感器阻值的变化,该变化引起测量电路参数变化,从而给出电压变化信号,该电压信号与标准电压比较得到测量信号,经模数转换和数据处理得到测量结果。

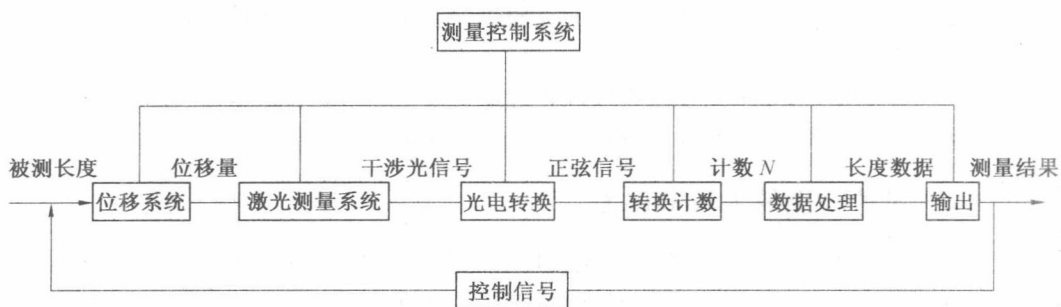


图 1.7 激光测长仪的构成框图

铂电阻测温仪的构成框图如图 1.8 所示。

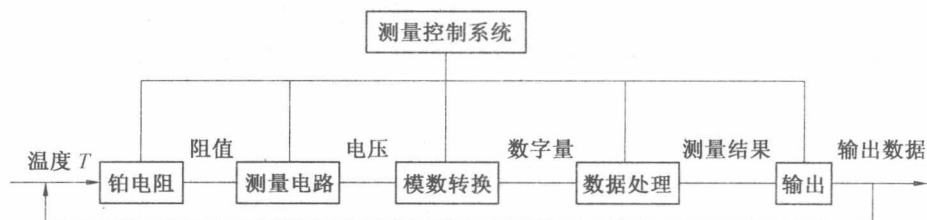


图 1.8 铂电阻测温仪的构成框图

1.2 测量仪器各环节的误差

分析各环节的误差将为完善测量仪器计量特性提供基本条件,对仪器各环节的设计具有指导意义。

以下对各环节的误差因素做一般性讨论,对于具体仪器环节的误差分析则需要针对具体情况进行。

1.2.1 测量信号采集环节误差

测量信号采集环节是测量仪器的第一环节,采集环节应不失真地拾取测量信号。该环节常为传感器,即一次表(测量头)。

该环节产生的误差直接影响到测量结果,影响最大,是仪器的关键环节之一。该环节的误差形式多种多样,可采取的克服采样误差的措施也千差万别。

测量信号采集环节的误差有以下几类:

- (1) 采样过程改变被测量。
- (2) 敏感器件特性的非线性。
- (3) 环节产生的滞后、变动、噪声等。
- (4) 器件变形、特性变化等。
- (5) 环节构件的特性校准误差。

例如,用测温传感器测温时,其特性非线性造成的采样误差;由于热传导构成的信号拾取的滞后,使之在测量温度变化时产生滞后误差。这些都是器件特性产生的采样误差。

用电流表测量电流时,要串联接入被测支路,电流表的内阻改变了支路的参数,使被测

电流产生变化,这是原理性的采样误差。为克服这一误差,设计中电流表的内阻应充分小,使其影响可忽略不计。

在光电图像测量中,要求系统能将图像正确地成像于光电转换系统中,镜头器件、参数、材料特性等会影响到成像质量,这是设计和工艺性造成的采样误差。

1.2.2 量值转换放大环节误差

量值转换放大环节有时置于测量的比较环节之前,将被测信号转换放大以后再与相应标准量进行测量比较。对于非电量,当被测量直接与标准量比较时,常在测量比较以后设置转换放大环节,将测量比较结果转换成电学量,并进行放大以提高分辨力。

该环节产生的误差包括:

(1)转换特性误差。转换特性的非线性、滞后、特性的变化、不确定性(噪声)等。

(2)量值转换放大比误差。包括生产和使用中放大比的调整误差以及使用中转换放大比的变化等。

(3)转换特性的校准误差。通过标准器具比较测量给出的转换特性,由于标准器具及校准方法的误差,使所得转换特性与实际特性产生差异,导致量值转换误差。

(4)环境条件的影响。如供电电压的变化、温度偏差和变化等造成的漂移。

例如,用铂电阻测温仪测温时,温度变化转变成阻值的变化,经测量电路转变为电压信号,然后送给比较环节,与标准电压比较,给出温度变化值。铂电阻温度特性的校准误差直接影响铂电阻的使用精度。此外,铂电阻的非线性、测量电路的非线性及噪声也是该环节的主要误差。

用应变片测量构件变形时,变形转换成电信号,其特性的非线性、放大比误差和放大比变化,是转换放大环节的主要误差。

在光电测量中,图像经镜组成像后,光电转换器件转换成电信号、光学系统的像差、放大比误差等造成的成像误差、光电器件的敏感性不均匀、像素的坏点、光电器件的驱动电路都可造成转换误差。

用气压计测量气压,膜盒将压力转变为位移,位移经放大机构转换放大,使指针偏转,以度盘为标准指示出压力值,膜盒的特性和传动放大机构的传动误差是转换放大环节的主要误差因素。

1.2.3 标准量系统误差

标准量系统是仪器构成的必备环节,其构成形式、繁简程度各不相同,误差影响也千差万别。标准量误差对测量精度有直接影响,它是影响测量结果的主要误差因素之一。

标准量的精度水平是决定仪器总体精度的关键,它对测量仪器的计量特性具有指示性意义。

标准量系统的误差因素包括:

(1)原理性误差。采用标准量的形式不同,其精度水平也不同,某些形式的标准量设计中就存在误差,这是原理性的误差。

(2)器件、材料特性。器件、构件材料的特性缺欠及不稳定性,造成量值的均匀性和稳定性误差。

(3) 工艺误差。包括加工误差和调整误差,这是标准量系统的主要误差因素之一。

(4) 细分误差。标准量需要做细分处理时,细分误差是影响测量结果的主要因素之一。

(5) 校准误差。当使用校准值时,标准量的校准误差直接影响测量结果,这在高精度的标准量系统中尤为突出。

(6) 环境误差。标准量值的保持应有一定的环境条件要求,环境条件的偏差、变化对标准量系统有重大影响,其中温度的影响尤为突出。

例如,光栅式测角仪的圆光栅副为仪器提供了角度标准。细分电路对该角度信号再做细分,以获得高分辨力,圆光栅的刻划误差和安装偏心误差都直接影响到测量结果,这就是工艺误差。

用砝码称量质量时,为获得更高精度,要对砝码进行校准,以给出砝码质量的修正值,显然砝码质量的校准误差直接影响到该砝码的使用精度。

在激光干涉测长中,激光波长 λ 为标准量,波长误差和波长漂移对测量结果有直接影响,标准波长由基准通过校准获得,校准误差便被引入标准量。使用测长仪时,环境条件参数温度 T 、气压 P 、湿度 f 对空气折射率 n 有直接影响,因此也就影响到了波长值 $\lambda = \frac{n_0}{n} \lambda_0$ 。这里测量的环境条件对测量仪器的标准量有重大影响。

1.2.4 测量比较环节误差

拾取的被测量要与标准量进行比较才能给出测量结果,测量比较环节是测量仪器不可缺少的环节。该环节也处于测量键的前端,对仪器的计量特性也有直接影响。

测量比较环节的误差包括原理性误差、方法误差、器件误差及工艺误差。现考察测长仪的比较环节误差。

图 1.9 所示为测长仪比较测量的原理图。图 1.9(a) 所示为并列式测长仪,不符合阿贝原则,当导轨有直线度误差时,滑架沿导轨移动时会产生歪斜,测量显微镜在被测尺和标准尺上移动的距离不同,因而产生比较测量的误差,这就是阿贝误差。该误差与滑架歪斜(由导轨直线度误差引起)误差成一次方关系,影响较大。而图 1.9(b) 所示的比较方式为串联方式,符合阿贝原则,滑架沿导轨移动产生歪斜时,测量显微镜在标准尺和被测尺上的位移差异很小,与导轨直线度误差为二次方关系(误差量为微小量,其二次方更为微小),其影响大为减小。测量比较原理不同,产生误差也不同,这是标准量系统的原理性误差。

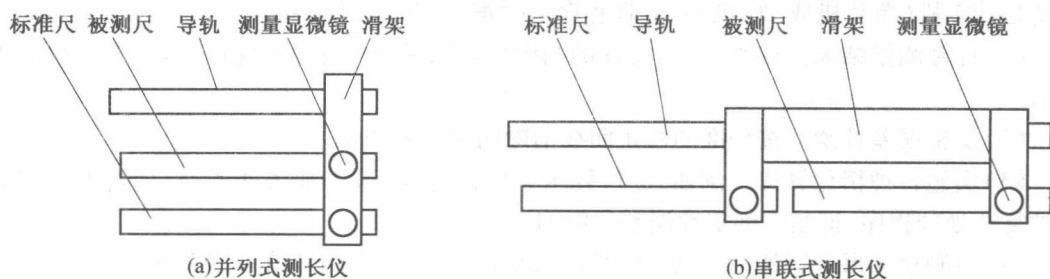


图 1.9 测长仪比较测量的原理

此外,该系统中导轨的直线度误差是比较误差的成因之一,属于工艺误差。瞄准方法可

分为光学方法和光电方法,引入的误差是方法误差。系统所选器件的性能特性带来的误差是器件误差。

杆秤称量质量的原理是利用杠杆使被称量的质量与标准砝码相比较得出测量结果,这种比较方式受杠杆刻度等多种因素影响,难以获得高精度的结果。利用天平称量质量,是按等臂杠杆原理工作的,这种比较方式具有良好的对称性,重力加速度、空气浮力等多种微小因素基本不会影响到比较结果,故在高精度的量值传递中都采用天平进行比较测量。可见,测量原理对质量测量的精度具有决定性影响。同样,该系统中也存在器件误差、方法误差及工艺误差。

现考察图 1.10 所示电阻测量中的电桥误差。

在图 1.10(a) 电路中,通过测量电阻上的电压 V 和通过的电流 I 可得电阻值 R_c 。这种方法受到多种因素的影响,不易实现高精度测量。采用图 1.10(b) 所示桥路测量电阻,因其具有对称性,能有效地克服电压波动等因素的影响,故有利于实现高精度测量。

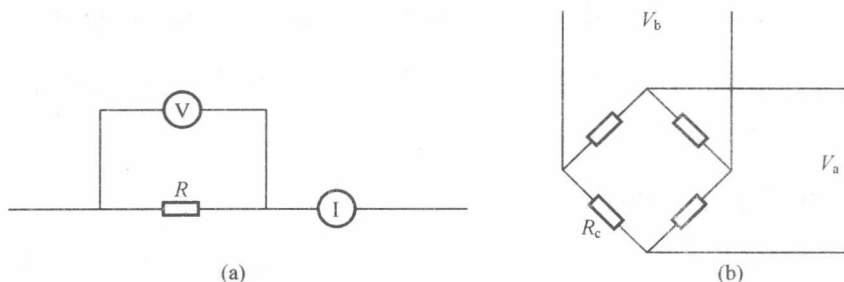


图 1.10 电桥测量误差

1.2.5 模数转换误差

为便于数据处理,控制某些误差因素,或为实现自动化,需要将测量信号数字化,通常由数字电路构成。其核心器件是模数转换芯片。

该环节将模拟信号转换成数字信号,转换误差来源主要是模拟转换的位数。

1.2.6 数据处理系统误差

测量信号经模数转换后变成数字量,送入数据处理系统进行处理。实际上,数据处理系统就是计算机(单片机或 PC 机)和处理程序。数据处理的工作包括:

- (1) 计算测量结果。按预定的(设计的)函数关系、系数、当量实现量值转换,获得测量结果。
- (2) 实施误差补偿。按校准的修正曲线消除测量的系统误差。
- (3) 实施各种精化算法。例如,进行算术平均值计算、最小乘法处理、拟合处理及完成各种复杂处理程序,抑制不确定性误差的影响。
- (4) 对测量结果进行评判。判别测量结果是否合格,给出测量结果的不确定度等。

该环节的误差来源和处理程序如下:

(1) 定标或数学模型误差。如量值的定度误差、非线性误差等,是原理性误差,由仪器设计决定。因为这类误差属于系统误差,故有时可通过实验或理论分析得到,然后予以消

除。

(2)数据运算及舍入误差。一般计算机的位数是足够的,主要控制有效数字。

(3)误差补偿或特性曲线补偿误差。主要来源于实验校准误差。

(4)算法误差。对于一些复杂的测量问题常需引入某种处理程序,如最小二乘法处理、回归分析、动态数据处理、有限元分析、遗传算法、小波分析、神经网络方法等算法。因各种原因,这些算法都有误差。要控制算法误差需针对具体算法分析处理。

1.2.7 测量结果输出环节误差

在模拟输出中涉及的误差因素较多,如指针式模拟仪表的输出误差有分度盘的刻度误差、安装偏心误差、读数瞄准误差等;打印曲线输出误差有绘图误差、标尺误差等。控制信号输出误差受输出干扰、衰减等方面的影响。

数字量输出只有数字显示误差即量化误差,大小是末位数字的半个单位。

1.2.8 测量控制系统误差

测量控制系统是自动化测量仪器必备的环节,它控制测量仪器按预定程序完成测量过程。测量控制系统包括控制计算机、控制程序、控制电路和控制机构等。

测量控制系统一般不直接影响仪器精度,但控制程序的设计也要考虑仪器的误差,特别是高精度测量、动态测量等情形,设计不当也有可能产生误差。

1.2.9 辅助系统误差

辅助系统包括机体、支架、外罩等,一般不直接影响仪器精度,但有时也会对仪器造成显著影响,如机体的变形、屏蔽性等,仪器设计时应注意。

1.3 测量仪器的误差构成

按误差性质,仪器误差分为随机误差和系统误差,出现粗大误差是不允许的,应避免。

按来源,仪器误差分为设计过程产生的误差、生产加工中产生的误差及使用中产生的误差。

1.3.1 设计误差

设计过程产生的误差有多种,下面主要介绍原理误差和参数设计误差。

(1)原理误差。

测量原理决定着仪器的基本面貌,在很大程度上决定仪器的计量特性。设计原理的近似,或某种不完善、数学模型的简化、数据处理的简化等都会产生原理性误差。

例 1.3 如图 1.11 所示,按正弦原理测量小角度,当测得相应位移 S ,角度可按正弦关系得到

$$\sin \alpha = \frac{S}{L}$$

式中 α ——被测角度;